



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA**



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

✓ **CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN LA ZONA
COSTERA ADYACENTE A LA DESCARGA EL NARANJO/EL
GALLO EN BAHÍA TODOS SANTOS, B.C.**

TESIS

Que para obtener el Título de
OCEANÓLOGO

Presenta

LIZZ GONZÁLEZ MORENO

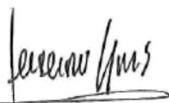
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA

SEPTIEMBRE DE 2003

RESUMEN de la tesis de la P. Oc. Lizz González Moreno, presentada como requisito parcial, para la obtención del Título de Licenciatura en OCEANOLOGIA. Ensenada, Baja California. Septiembre de 2003.

Contaminación microbiológica en la zona costera adyacente a la descarga El Naranjo/El Gallo en Bahía Todos Santos, B.C.

Resumen aprobado por:



Dr. Leopoldo G. Mendoza Espinosa

Se utilizó al grupo de bacterias coliformes, estreptococos y colífago MS2 (15597BI) para evaluar la contaminación fecal en Bahía Todos Santos. Se realizaron 23 muestreos en las descargas de las plantas de tratamiento El Naranjo y El Gallo, y 6 muestreos en la zona aledaña a dicha descarga. Los bacteriófagos se determinaron mediante el método modificado de doble capa de agar (Yahya *et al.*, 1991), y las bacterias indicadoras, mediante el método del número mas probable (APHA, 1995) en serie de cinco tubos. El valor promedio de coliformes fecales encontrado en las descargas y en la zona de playa fueron de 4,096 NMP 100 ml⁻¹ y 200 NMP 100 ml⁻¹ respectivamente. En general, ambas plantas de tratamiento presentan un buen funcionamiento, además de que observó una notable disminución en la contaminación microbiológica de la playa adyacente a las descargas, comparada con estudios anteriores, atribuida al mejoramiento en la calidad del agua descargada. Sin embargo, la calidad microbiológica en los sistemas de tratamiento de las plantas de la CESPE podría incrementarse teniendo un mejor control sobre sus procesos. Los bacteriófagos se presentaron en altas concentraciones en todas las estaciones muestreadas, principalmente en El Gallo, excediendo el límite utilizado como referencia para todas las estaciones. No se encontraron asociaciones entre los indicadores tradicionales y bacteriófagos, por lo que se propone continuar con estudios utilizando a los indicadores tradicionales, virus patógenos y bacteriófagos para demostrar la eficacia del empleo de estos últimos como indicadores de contaminación viral en costas mexicanas.

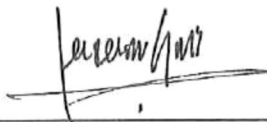
CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN LA ZONA COSTERA
ADYACENTE A LA DESCARGA EL NARANJO/EL GALLO EN BAHÍA
TODOS SANTOS, B.C.

TESIS

QUE PRESENTA:

LIZZ GONZÁLEZ MORENO

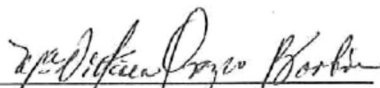
Aprobada por:



Dr. Leopoldo Guillermo Mendoza Espinosa
Director de tesis



Dra. Roxana Rico Mora
Sinodal propietario



M.C. María Victoria Orozco Borbón
Sinodal propietario

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi Mama, la cual con sacrificios me brindo una educación, me apoyo en mis decisiones a pesar de no estar de acuerdo en algunas de ellas. Ha sido para mi un ejemplo de superación y espero se sienta orgullosa de mi al igual que yo lo estoy de ella, espero no defraudarte, Te quiero.

A Benjamín Valdez, porque desde que se fue dejo un hueco muy grande en mi corazón, me siento satisfecha de haberlo conocido y formar parte de su familia, siempre fue un ejemplo a seguir y me ha inspirado a seguirme superando, me hubiera gustado que siguiera con vida y estuviera conmigo compartiendo mis penas y alegrías. Donde quiera que esté gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

A la Maestra Victoria Orozco, por sus enseñanzas y atinados consejos brindados durante la realización de este trabajo, su amistad y sus puntadas con las cuales nos hizo reír a todo el equipo del laboratorio.

A la Dra. Roxana Rico por aceptar ser mi sinodal y darme su apoyo para finalizar el presente trabajo.

Agradezco a mi Director y amigo Dr. Leopoldo Mendoza el cual, además de brindarme su apoyo como director me permitió conocer a su familia, me ha soportado mis cambios de humor y aun así, sigue confiando en mí.

A Rogelio Seañez, Lourdes Semental y Reyna, quienes con su apoyo y conocimiento me ayudaron durante la parte experimental de esta tesis. A Roberto Serrano, por su ayuda brindada para la realización de este trabajo

A todos mis maestros los cuales son pilares de mi educación a pesar de que con algunos de ellos no me haya ido muy bien, especialmente le agradezco a Juan Vaca, Armando Rodríguez Pinal, Pancho Aranda, Ramón Astorga, Gustavo Gascon, Raúl Yepis, Emilia Palacios (EDO), Sergio Larios, Raúl Canino, Lus López, Luis Cupul, Kinini (El Capi) y Martín Hdez. Ayón.

A mis amigos y compañeros del Almacén, los que me han soportado y me han consentido, sobre todo durante el largo proceso de mi titulación: Mili, Arturo, Epi y Manuel.

A todos mis compañeros del IIO, quienes me apoyaron, aconsejaron y cotorreaba durante la jornada de trabajo: Pedro Castro, José Luis Sánchez, Alejandra Lazo, Víctor Gendrop, Casandra Anguiano, Celia Pérez, Agustín Hernández, Zaúl García, Jessica Montaña, Eduardo Gil, Eduardo Morales, Marco Barbosa y Don Chuy Galarza.

A mis amigos, compañeros de la carrera con los que compartí buenos y malos momentos durante más de cinco años: Jorge (Pelvis), Diego (Ñet), Eric (Keno), Andrés (Hormiga), Luis Enríquez, Aldo (Cerdo), Rubén (Boby), Iván (Enano), Cristian (Chancros), Ramón (Mo- Mo) y Moma, Abisai (Homie), Juan Carlos (Fox), Eduardo (Peludo), Rogelio (KborK), Claudia (Cloui), Ricardo, Verónica, Miriam, Alberto (Beto), Vladislav (Vlad), Jacky, Zaida, Georgina, Mónica, Estefanía, Claudia (mazatleca), Vanesita, Paola Bata, Karel, Dennise (Bay Watch), Enrique Castro y Esteban Torres. A mis amiguitos de Física: José Manuel (Pepe-luches) y Rafael (Chicali).

Muy especialmente a mis compañeros de laboratorio de 1er semestre con los cuales inicié una muy buena amistad y que hasta la fecha continúa: Víctor (Seco), Noe (Juma), Alfonso (Ponchito), Addy (Adiposa) y sobre todo a mi Bebhita Maria Elena.

Agradezco a Axel Rosas, por los interminables pleitos y los buenos momentos pasados entre nosotros. Le agradezco por aquella fiesta en la que terminamos borrachos caminando por la calle 2da., todo por darme gusto de ir con mis compas.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1.- INTRODUCCIÓN	
1.1.-GENERALIDADES	1
1.2.- ANTECEDENTES	10
1.3.- OBJETIVO	16
2.- MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	17
2.2.- METODOLOGÍA DE CAMPO	19
2.3.- METODOLOGÍA DE LABORATORIO	24
2.4.- NORMATIVIDAD	25
2.4.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PROCESAMIENTO DE DATOS	26
3.- RESULTADOS	
3.1.- INDICADORES MICROBIOLÓGICOS	28
3.2.- VARIABLES FISICOQUÍMICAS	34
3.3.- CORRELACIONES	36
3.4.- CALIDAD MICROBIOLÓGICA	41
4.- DISCUSIONES	
4.1.- INDICADORES	43
4.2.- VARIABLES FISICOQUÍMICAS	49
4.3.- CALIDAD DEL AGUA	50

5.- CONCLUSIONES	53
6.- LITERATURA CITADA	55
7.- ANEXO	62

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
I Microorganismos patógenos presentes en aguas residuales y enfermedades que provocan.	3
II Fechas de muestreos semanales y mensuales realizados en las descargas de El Naranjo y El Gallo.	21
III Concentración promedio de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) NMP 100 ⁻¹ ml en las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos, B.C., de febrero a julio de 2002.	28
IV Concentración promedio de estreptococos fecales (EF) NMP 100 ⁻¹ ml y bacteriófagos (B) UFF 100 ml ⁻¹ en Bahía Todos Santos, B.C., de febrero a julio de 2002.	29
V Prueba de nivel de significancia (LSD) entre meses muestreados para promedios de coliformes totales en la descarga El Naranjo.	31
VI Prueba de nivel de significancia (LSD) entre meses muestreados para promedios de bacteriófagos en la descarga El Naranjo.	31
VII Análisis de varianzas entre grupos de estaciones muestreadas.	32
VIII Prueba de nivel de significancia (LSD) entre promedios de coliformes fecales en las diferentes estaciones muestreadas.	32
IX Prueba de nivel de significancia (LSD) entre promedios de bacteriófagos en las diferentes estaciones muestreadas.	33
X Valores promedio de temperatura ambiente y temperatura del agua en las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos, B.C., de febrero a julio de 2002.	35
XI Valores promedio de potencial de hidrógeno y salinidad en las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos, B.C., de febrero	35

	a julio de 2002.	
XII	Correlación entre variables para la estación de El Naranjo, de febrero a Julio de 2002.	37
XIII	Correlación entre variables para la estación de El Gallo, de febrero a julio de 2002.	37
XIV	Correlación entre variables para la estación Punto intermedio, de febrero a julio de 2002.	37
XV	Correlación entre variables para la estación Punto de mezcla, de febrero a julio de 2002.	38
XVI	Correlación entre variables para la estación 10m N, de febrero a julio de 2002.	38
XVII	Correlación entre variables para la estación de 20m N, de febrero a Julio de 2002.	38
XVIII	Correlación entre variables para la estación de 10m S, de febrero a Julio de 2002.	39
XIX	Correlación entre variables para la estación de 20m S, de febrero a Julio de 2002.	39
XX	Porcentaje de muestras que excedieron los valores límite permisibles de coliformes fecales en las descargas de aguas residuales.	41
XXI	Porcentaje de muestras que excedieron los valores límite permisibles para coliformes totales y coliformes fecales en aguas de uso recreativo.	41
XXII	Porcentaje de muestras que exceden los valores límite permisibles de bacteriófagos en aguas de uso recreativo..	42
A-1	Normas de calidad bacteriológica para aguas de uso recreativo (Noble <i>et al.</i> , 2000).	62

A-2	Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores y bienes nacionales (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; 1997).	62
A-3	Criterio propuesto para calidad del agua usando colífagos (Dionisio <i>et al.</i> , 2000).	62
A-4	Análisis de varianzas para la estación de El Gallo.	63
A-5	Análisis de varianzas para la estación de El Naranjo.	63
A-6	Correlación de Pearson para cloro total entre bacteriofagos y coliformes totales en la estación de El Naranjo.	64
A-7	Correlación de Pearson para cloro total entre bacteriofagos y coliformes totales en la estación de El Gallo.	64

LISTA DE FIGURAS.

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Localización de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ensenada B.C.	12
2	Localización de la Bahía de Todos Santos, B.C.	18
3	Localización de las estaciones de muestreo en Bahía de Todos Santos, B.C.	22
4	Determinación de bacteriófagos con el método modificado de doble capa de agar (Yahya <i>et al.</i> , 1991).	24
5	Variación temporal de la concentración de coliformes totales en la descarga de El Naranjo.	30
6	Concentración promedio de microorganismos en estaciones de agua dulce (a) y en estaciones de agua de mar (b) de febrero a julio de 2002.	34

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La contaminación es el proceso mediante el cual se alteran las condiciones naturales de un medio ambiente determinado. Existen dos tipos de contaminación: natural e inducida. La contaminación natural considera a todos los procesos en la naturaleza que llegan a provocar alteraciones a las condiciones de equilibrio de la misma. Por otra parte la contaminación inducida es provocada de manera directa o indirecta por las actividades del hombre, que generan compuestos que pueden provocar severas alteraciones en el medio ambiente (Rincón-Espinosa, 1996).

La contaminación marina se define como la introducción de sustancias ajenas al medio ambiente marino provocando la alteración de la calidad del agua de mar, dañando las actividades productivas como la pesca y acuicultura, reduciendo el valor recreativo del medio debido al aumento de riesgos a la salud humana (SARH, 1985).

Las principales fuentes de contaminación de las aguas costeras son las descargas de aguas residuales urbanas, agrícolas e industriales (Peña-Manjarrez, 1987). La contaminación proveniente de los residuos domésticos, a pesar de ser menos dañina para el medio ambiente que la contaminación industrial, puede causar grandes daños a los ecosistemas, debido a que los

residuos contienen grandes cantidades de materia orgánica y microorganismos patógenos (Rolim-Mendoca, 2000).

Para que los contaminantes orgánicos presentes en el agua de mar sean considerados como nocivos, deben sobrepasar la capacidad degradativa y de recirculación en el cuerpo de agua. Hasta la fecha se han propuesto indicadores, tanto físico-químicos como biológicos, del grado de contaminación de las aguas, tales como: concentración de nutrientes, oxígeno disuelto, ácido sulfhídrico, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos en suspensión y bacterias indicadoras. Con base a los niveles de concentración de estos indicadores se han establecido grados relativos de contaminación (Rolim-Mendoca, 2000).

Las aguas residuales urbanas derivadas de excretas, residuos domésticos, arrastres de lluvia e infiltraciones generalmente contienen una gran cantidad de organismos de origen humano de los cuales algunos son patógenos. Existen evidencias de que un individuo elimina cientos de millones de gérmenes por gramo de materia fecal (Rodier, 1989). En la tabla I se presentan algunos de los microorganismos que se pueden encontrar en las aguas residuales y las enfermedades que provocan. Al penetrar al medio marino, estos microorganismos se verán afectados por factores adversos para su desarrollo y sobrevivencia, como son: la presión osmótica, pH, temperatura, luz

solar y sedimentación. Sin embargo, es posible que logren sobrevivir en concentración suficiente como para ocasionar enfermedades.

Tabla I. Organismos patógenos presentes en aguas residuales y enfermedades que provocan.

PATÓGENO	ENFERMEDAD
<i>Salmonella</i> sp	Fiebre tifoidea, salmonelosis
<i>Shigella</i> sp	Disentería y shigelosis
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>E. coli</i> enteropatógena	Gastroenteritis
<i>Clostridium perfringens</i>	Gangrena gaseosa
Enterovirus	Gastroenteritis
Hepatitis A	Hepatitis infecciosa
Rotavirus	Gastroenteritis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amibiasis
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiasis
<i>Taenia</i> sp	Taeniasis

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

El estudio de la contaminación de las aguas (superficiales y subterráneas) suele ser llevado a cabo, mediante el uso de organismos indicadores, los cuales van a reflejar la presencia de organismos patógenos, causantes de infecciones intestinales. La ruta de contagio es por lo regular oral-fecal, que ocurre cuando el material fecal de una persona enferma llega a la boca de una persona sana, que será el nuevo huésped. Los principales agentes etiológicos de estas enfermedades infectocontagiosas (Tabla I) son transmitidos por dos mecanismos básicos: de forma directa, desde el orificio anal hasta la

boca, a través de los dedos contaminados o de forma indirecta, a través de los alimentos, utensilios domésticos y agua contaminada (Rolim-Mendoca, 2000).

Los microorganismos pueden penetrar también por el sistema respiratorio, por la inhalación de polvo ambiental o aerosoles contaminados. Lo anterior ocurre de manera frecuente con los virus, hongos y rara vez con las bacterias. Otros microorganismos pueden entrar a través de escoriaciones de la piel (Rolim-Mendoca, 2000).

Por décadas, la calidad microbiológica de las aguas residuales ha sido evaluada mediante el uso de indicadores de contaminación fecal. Rolim-Mendoca (2000) hace una recopilación de las características que deben reunir las bacterias para ser consideradas como indicadores de contaminación fecal:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presentes, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Presentarse en números elevados, para facilitar su aislamiento e identificación.
- Deben ser incapaces de reproducirse fuera del intestino de los organismos homeotérmicos.

- Su tiempo de sobrevivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior a la de los patógenos de origen fecal).
- Deben ser fáciles de aislar y cuantificar.
- No deben ser patógenas.

No existe ninguna bacteria u organismo que reúna todos los criterios de un indicador fecal ideal y apenas algunos grupos satisfacen alguno de estos requisitos. Dentro de ellos destacan: los indicadores tradicionales Coliformes (totales y fecales), *E. coli*, *Streptococcus fecales*, Clostridios sulfito reductores y *Clostridium perfringens*. Otros indicadores propuestos han sido: *Bifidobacterium* sp (anaeróbicos), fermentadores de sorbitol, *Bacteroides fragilis*, *Pseudomonas aeruginosa* y colífagos (Rolim-Mendoca, 2000).

Estudios recientes han mostrado que los indicadores tradicionales no proporcionan una información adecuada sobre la contaminación viral, ya que presentan una menor sobrevivencia y menor resistencia a la cloración y radiación UV (Gantzer *et al.*, 1998), además de una baja correlación con la ocurrencia de virus (Turner *et al.*, 1995). Por ello, en los últimos tiempos el uso de los indicadores tradicionales para predecir la calidad virológica en aguas residuales ha sido altamente cuestionado (Jiang *et al.*, 2000). Por el contrario,

Cabelli *et al.* (1982) y Dionisio *et al.* (2000) consideran que los *Estreptococos* fecales son los mejores indicadores en agua de mar debido a su capacidad de sobrevivencia en agua de mar y su asociación con enfermedades gastrointestinales.

Leclerc *et al.* (2000) mencionan que los virus pueden ser identificados por técnicas celulares o moleculares. Sin embargo, éstas son costosas y regularmente se requiere de laboratorios altamente especializados. Además cada prueba que se realiza detecta únicamente un virus específico, la técnica no diferencia entre virus activos e inactivos o entre infecciosos y no infecciosos y para el procesamiento de virus se necesitan grandes cantidades de muestra (de 10 a 100 litros). A pesar de que en la actualidad existe una gran variedad de métodos moleculares para la identificación de virus, éstos no proporcionan una buena información desde el punto de vista de la contaminación.

Recientemente los bacteriófagos han sido propuestos como indicadores de la calidad microbiana del agua ya que se encuentran en las heces de los animales y en las deposiciones humanas de manera casi constante. Los bacteriófagos son virus que infectan células bacterianas huéspedes y de estos, los colífagos son aquellos virus que infectan cepas de *Escherichia coli*, bacteria característica de contaminación fecal (Rodier, 1989). Estos virus pueden llegar a sobrevivir sin proliferar en ausencia de células huésped; no obstante, para su

replicación dependen de la energía metabólica y de la maquinaria sintetizadora de las macromoléculas del huésped (De Jawetz *et al.*, 1992).

Se han propuesto tres tipos de bacteriófagos como indicadores de contaminación viral: colífagos somáticos, fagos F-RNA específicos y *Bacteroides fragilis* HSP40. Cada bacteriófago es específico de un tipo de bacteria. Los colífagos somáticos son aquellos fagos que infectan bacterias como *Escherichia coli* la cual es específica de contaminación fecal; este grupo de colífagos es generalmente usado como indicador de calidad del agua y como potencial indicador de la presencia de virus patógenos. El otro grupo de colífagos conocido como macho-específico o F-RNA específico es aquel que sólo puede infectar bacterias huésped codificadas mediante fimbrias (pelos) con el factor genético de fertilidad (F). Las fimbrias son el sitio receptor de los fagos macho-específicos. Por su parte, los fagos que infectan a *Bacteroides fragilis* sólo se multiplican en el tracto gastrointestinal de animales de sangre caliente, lo que hace a estos fagos específicos de contaminación fecal, además de que pueden ser usados para distinguir entre contaminación fecal de origen humano y animal (Grabow *et al.*, 1995).

En plantas de tratamiento de aguas residuales los bacteriófagos que se encuentran presentes de manera natural son los del tipo F-específico (Yanko *et al.*, 1999) los cuales son más resistentes a la desinfección con cloro que los virus

entéricos. Los bacteriófagos tipo F-específico presentan una mayor resistencia al tratamiento de aguas residuales y poseen propiedades similares a las de los virus humanos en cuanto a estructura, composición, tamaño, morfología y sobrevivencia (IAWPRC, 1991). Dichas semejanzas y su consistente asociación con las aguas residuales los hacen específicos de contaminación fecal. Otra ventaja asociada a la determinación de bacteriófagos es el hecho de que pueden ser detectados en menos de 24 horas, a diferencia de las bacterias y virus cuyo análisis puede tardar desde días hasta semanas (Seañez-Reyes, 2001).

Recientemente, Dionisio *et al.* (2000) propusieron a los colífagos como organismos estándar para determinar la calidad sanitaria microbiológica en aguas costeras recreativas en la comunidad europea. Estos autores sugirieron un estándar para colífagos (unidades formadoras de fagos uff) donde 80% y 90% de las muestras cumplan con un máximo de 300 UFF/100ml y 2,000 UFF/100ml, respectivamente.

Por otra parte, Leclerc *et al.* (2000) discuten las desventajas de los colífagos y virus entéricos como indicadores de contaminación fecal debido a que carecen de especificidad de bacteria huésped; por ejemplo, mientras F⁺ colífago es generalmente específico para *Escherichia coli*, también puede atacar y multiplicarse en otros coliformes y en miembros de la familia Enterobacteriaceae. Los colífagos somáticos, presentan un grupo más

heterogéneo y son considerados malos indicadores fecales debido a que su huésped no es de origen fecal. Los fagos que infectan a *Bacteroides fragilis* son más resistentes a los procesos de inactivación natural que los colifagos F⁺ específicos y éstos a su vez son más resistentes que los colifagos somáticos (Leclerc *et al.*, 2000).

Con base a los antecedentes y tomando en cuenta las ventajas y desventajas, tanto de los indicadores clásicos como de los contemporáneos, se planteó utilizar al grupo de bacterias coliformes y al colífago MS2 (ATCC 15597B1) para la evaluación de la contaminación fecal en Bahía Todos Santos, B.C. En donde estudios referentes a la calidad bacteriológica indican que las principales fuentes de contaminación bacteriana son las áreas cercanas a la desembocadura de los arroyos El Gallo y El Sauzal de Rodríguez (Sañudo-Wilhelmy y Suárez-Vidal, 1984; Orozco-Borbón y Delgadillo-Hinojosa, 1989; Seañez, 2001).

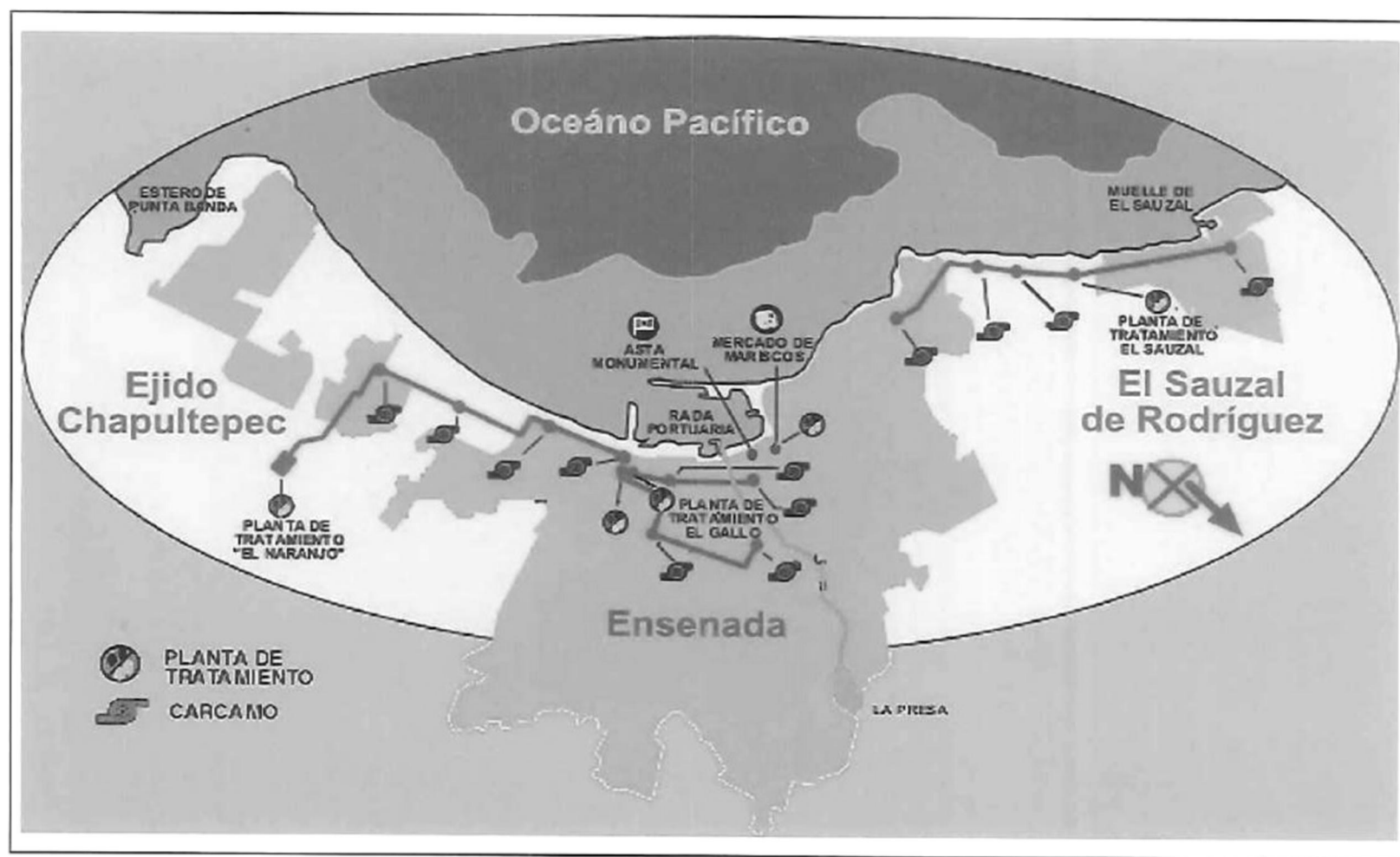
1.2 ANTECEDENTES

De acuerdo a registros históricos, las concentraciones de bacterias coliformes totales y fecales en la Bahía de Todos Santos, B. C. (BTS) presentan variaciones temporales, con valores mínimos en invierno y máximos en verano, periodo en el que la zona costera es utilizada mayormente para actividades recreativas (Segovia-Zavala y Orozco-Borbón, 1986). Estudios realizados en la columna de agua (Orozco-Borbón y Gutiérrez-Galindo, 1983) reportaron que la concentración de bacterias coliformes totales y fecales fue mayor a los límites establecidos por la legislación mexicana para uso recreativo (Sañudo-Wilhelmy y Suárez-Vidal, 1984), vigentes en ese entonces.

Las zonas que presentan mayor riesgo para la salud de la población que utiliza en forma directa la zona costera en BTS son: la dársena portuaria, playa municipal y la zona conocida como Cueva de los Tigres, ya que se han detectado bacterias patógenas entéricas como *Salmonella* sp y *Shigella* sp (Orozco-Borbón y Sañudo-Wilhelmy, 1988; Jiménez-González, 1989). Por el contrario, la parte sur de la bahía presenta bajas concentraciones de bacterias coliformes, con excepción de la boca del estero de Punta Banda en épocas de precipitación pluvial, por lo que se puede definir como una zona bacteriológicamente limpia.

Anterior a la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Naranjo, por parte de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE) en septiembre de 1999, las aguas residuales generadas en la ciudad de Ensenada no eran tratadas de manera eficiente. A pesar de que dicha planta se instaló con la finalidad inmediata de detener la contaminación en BTS, a la fecha aun no se ha evaluado de manera sistemática si se cumplió con este objetivo.

La ciudad de Ensenada cuenta con tres plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por la CESPE: El Sauzal, El Gallo y El Naranjo (Figura 1).



Fuente: www.cespe.org

Figura 2. Localización de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ensenada, B.C

La planta de tratamiento de El Sauzal se ubica al noroeste de la Ciudad de Ensenada, es de tipo lodos activados, modalidad aireación extendida y cuenta con una capacidad instalada de 60 l seg^{-1} y trata en promedio 32 l seg^{-1} . Dentro de la zona urbana de Ensenada se encuentra la planta de tratamiento de El Gallo, la cual es una planta de tipo lodos activados convencionales, cuenta con tanques de sedimentación primaria, tratamiento secundario y desinfección, con una capacidad instalada de 250 l seg^{-1} y se trata un volumen promedio de aguas residuales de 98 l seg^{-1} . La planta capta las aguas residuales producidas en las industrias pesqueras, ubicadas en la avenida Pedro Loyola y las domésticas producidas por las colonias aledañas a esta zona industrial. Por otra parte, El Naranja es una planta de tratamiento de lodos activados, modalidad aireación extendida, tipo carrusel con zanjas de oxidación la cual, a diferencia de la de El Gallo, no cuenta con tanque de sedimentación primario, pero provee de tratamiento secundario y desinfección a la mayor parte del agua residual generada por la ciudad de Ensenada. Cuenta con una capacidad instalada de 500 l seg^{-1} , y en promedio se trata un volumen de agua de 310 l seg^{-1} (Mendoza-Espinosa, 2001).

El único estudio reciente es de Seañez-Reyes (2001) quien muestra una disminución en los niveles de contaminantes microbiológicos en la BTS, pero con un aporte todavía significativo por parte de las plantas de tratamiento de

CESPE de El Naranjo y El Gallo, las cuales desembocan en el lecho del arroyo El Gallo de la ciudad de Ensenada. Cabe señalar que cuando se realizó ese estudio, la planta de tratamiento de El Naranjo se encontraba iniciando operación, por lo que su nivel de tratamiento no era el óptimo.

La determinación de contaminación microbiológica en BTS se ha basado principalmente en la detección de bacterias coliformes totales y fecales. En estudios realizados sobre la calidad microbiológica en aguas naturales se menciona que dichos indicadores de contaminación microbiológica no son los más convenientes, ya que no proporcionan una adecuada información acerca de la presencia de virus en el medio (Turner y Lewis, 1995, Gantzer *et al.*, 1998), debido principalmente a que el periodo de sobrevivencia de las coliformes es mucho menor al de los virus, ya que estos llegan a sobrevivir hasta 130 días (Jiang *et al.*, 2000) en contraste con *E. coli* la cual puede sobrevivir hasta 68 días (Davies *et al.*, 1995). Por lo tanto, la predicción de calidad virológica en el agua empleando bacterias coliformes es cuestionable, y se sugiere identificar otros organismos que puedan ser utilizados como indicadores de contaminación viral (Gantzer *et al.*, 1998).

De acuerdo a Schwatzbrod (1995), con el fin de proponer un indicador o conjunto de indicadores de contaminación viral en ambientes acuáticos se recomienda:

- 1) Determinar si los fagos *Bacteroides fragilis* y los bacteriófagos F-RNA específicos son buenos indicadores de la presencia de virus entéricos en ambientes acuáticos, sin importar el clima (se ha visto en aguas tropicales que bacteriófagos F-RNA específicos no sólo pueden estar presentes en la ausencia de contaminación fecal sino también pueden multiplicarse).
- 2) Llevar a cabo programas experimentales "in situ" que consideren la evaluación de niveles de contaminación y de sobrevivencia para virus patógenos (enterovirus, rotavirus), bacteriófagos (*Bacteroides fragilis* y F-RNA específicos) y bacterias (coliformes fecales, estreptococos y salmonela).

Asimismo, Seañez-Reyes (2001) señala que para la aprobación de la utilización de los bacteriófagos como indicadores de contaminación microbiológica es necesario realizar un mayor número de estudios epidemiológicos y microbiológicos, además de que sean incorporados a los estándares establecidos para agua de mar por las legislaciones ambientales. Uno de los objetivos del presente estudio fue contribuir a la consolidación del empleo de bacteriófagos como indicadores de contaminación fecal en aguas naturales (1995).

1.3 OBJETIVOS

- Evaluar los niveles de bacteriófagos, coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, temperatura y pH en los efluentes de las plantas de tratamiento El Naranjo y El Gallo.
- Determinar la dispersión de los contaminantes microbiológicos en la zona costera adyacente a la descarga El Naranjo/El Gallo.
- Determinar la viabilidad del empleo de bacteriófagos como indicadores de contaminación fecal alternos a coliformes fecales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía Todos Santos se sitúa aproximadamente a 106 km al sur de la frontera México-E.U.A., en la costa noroccidental de la península de Baja California entre los 31.66° y 31.91° latitud norte y los 116.60° y 116.83° de longitud oeste (Fig. 2). Con un área aproximada de 167.6 km², limita al norte con Punta San Miguel, al este con la ciudad de Ensenada, al sur con Punta Banda y al oeste con las Islas de Todos Santos. Cuenta con dos conexiones a mar abierto separadas por las Islas de Todos Santos; la boca norte es de 12 km de ancho, con una profundidad máxima de 40 m. La boca sur es de 6 km de ancho, y alcanza profundidades de hasta de 300 m en el centro del cañón de Punta Banda (Gutiérrez-Gutiérrez, 1999). Los vientos predominantes en la bahía tienen dirección noroeste, con una velocidad promedio de 4 ms⁻¹. En otoño e invierno se presenta una mayor variación en la dirección del viento (Álvarez-Sánchez, 1970).

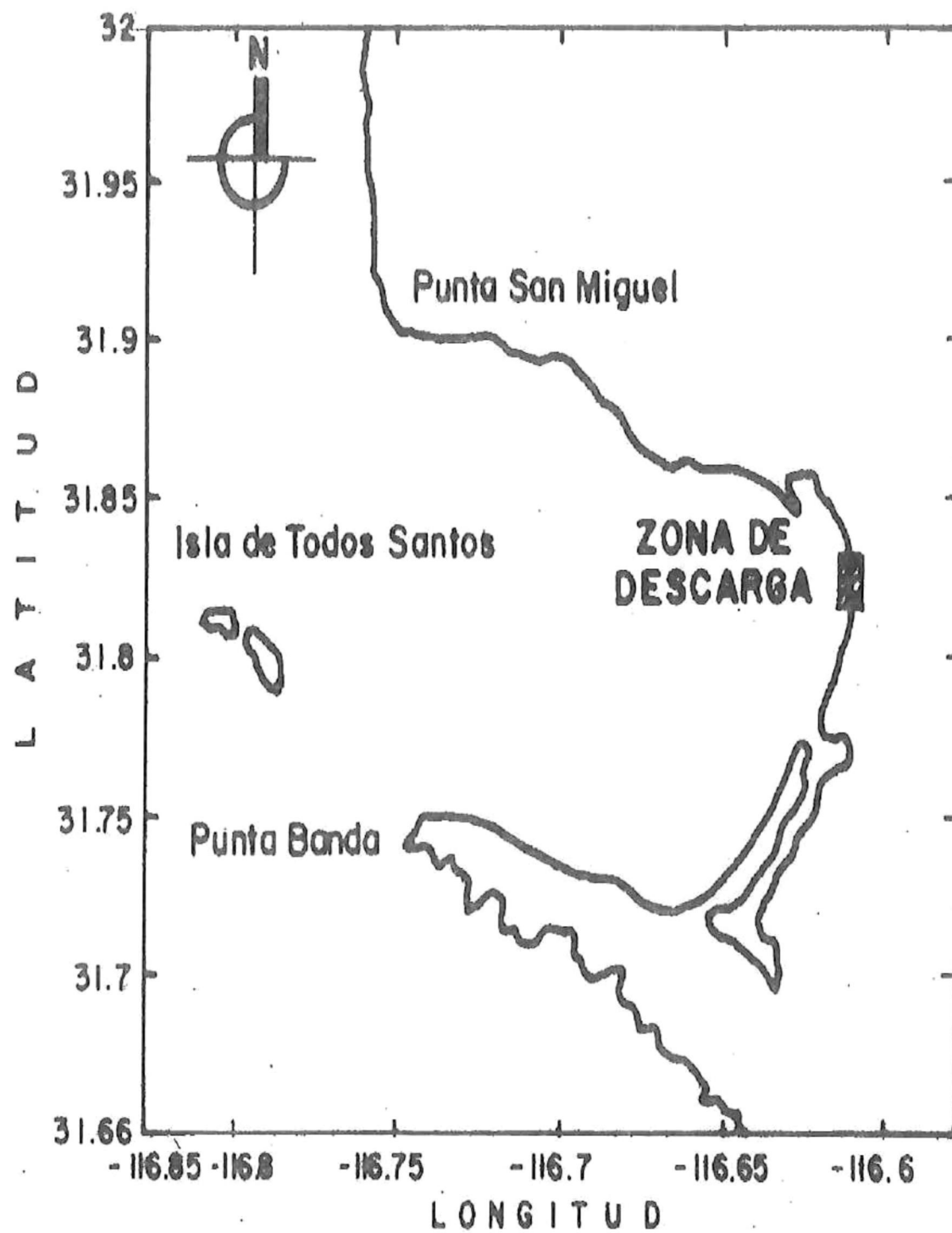


Figura 2. Localización de la Bahía de Todos Santos B.C.

El clima de la ciudad de Ensenada es mediterráneo, con lluvias en invierno y seco durante el verano. La precipitación pluvial anual promedio es de 300 mm presentándose principalmente entre diciembre y mayo. El verano es fresco, con temperaturas máximas entre 25 y 30°C y mínimas entre 0 y 15°C. En invierno las temperaturas máximas oscilan entre 20 y 25°C y las mínimas entre 0 y 5°C. Ocasionalmente se presenta condición Santa Ana (vientos del Este (E) cálidos y secos), principalmente durante el otoño (Pavía, 2000).

Los arroyos Ensenada y San Carlos son importantes únicamente cuando ocurre precipitación pluvial, mientras que en el lecho del arroyo El Gallo se descargan las aguas residuales tratadas de las plantas de tratamiento de El Gallo y El Naranjo, por parte de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), de donde finalmente desembocan al mar.

2.2 METODOLOGÍA DE CAMPO

Se realizaron veintitrés muestreos entre el periodo del 6 de febrero al 15 de julio de 2002, con una periodicidad entre cada muestreo de 5 a 7 días en las descargas de las plantas de tratamiento de El Gallo y El Naranjo, y seis muestreos en la zona aledaña a la descarga El Naranjo/El Gallo, realizados una vez al mes, durante el periodo ya mencionado. Se midió pH, temperatura y salinidad; se cuantificaron coliformes fecales, coliformes totales, bacteriófagos y

estreptococos fecales (Tabla II). Con la finalidad de evaluar la dispersión de contaminantes en la zona costera, una vez al mes, durante mareas muertas, se tomaron muestras del agua de mar adyacente a la descarga de aguas residuales y se midieron y cuantificaron los parámetros anteriormente mencionados (Tabla II). Las muestras se tomaron en las descargas de las plantas de tratamiento El Naranjo y El Gallo, en la zona en donde se unen las descargas (Punto intermedio), en el área donde se mezclan dichas descargas con el agua de mar (Punto de mezcla), a 10 y 20m al norte y a 10 y 20m al sur de la descarga (Figura 3).

Tabla II. Muestreos semanales y mensuales realizados en las descargas de El Naranjo y El Gallo.

MUESTREO	FECHA
1	6 de Febrero 2002*
2	11 de Febrero 2002
3	20 de Febrero 2002
4	28 de Febrero 2002
5	6 de Marzo 2002
6	11 de Marzo 2002*
7	18 de Marzo 2002
8	3 de Abril 2002
9	8 de Abril 2002
10	15 de Abril 2002
11	24 de Abril 2002
12	1 de Mayo 2002*
13	8 de Mayo 2002
14	15 de Mayo 2002
15	20 de Mayo 2002
16	29 de Mayo 2002*
17	5 de Junio de 2002
18	12 de Junio de 2002
19	19 de Junio de 2002*
20	26 de Junio de 2002
21	3 Julio de 2002
22	10 Julio de 2002
23	15 Julio de 2002*

* muestreo mensual.

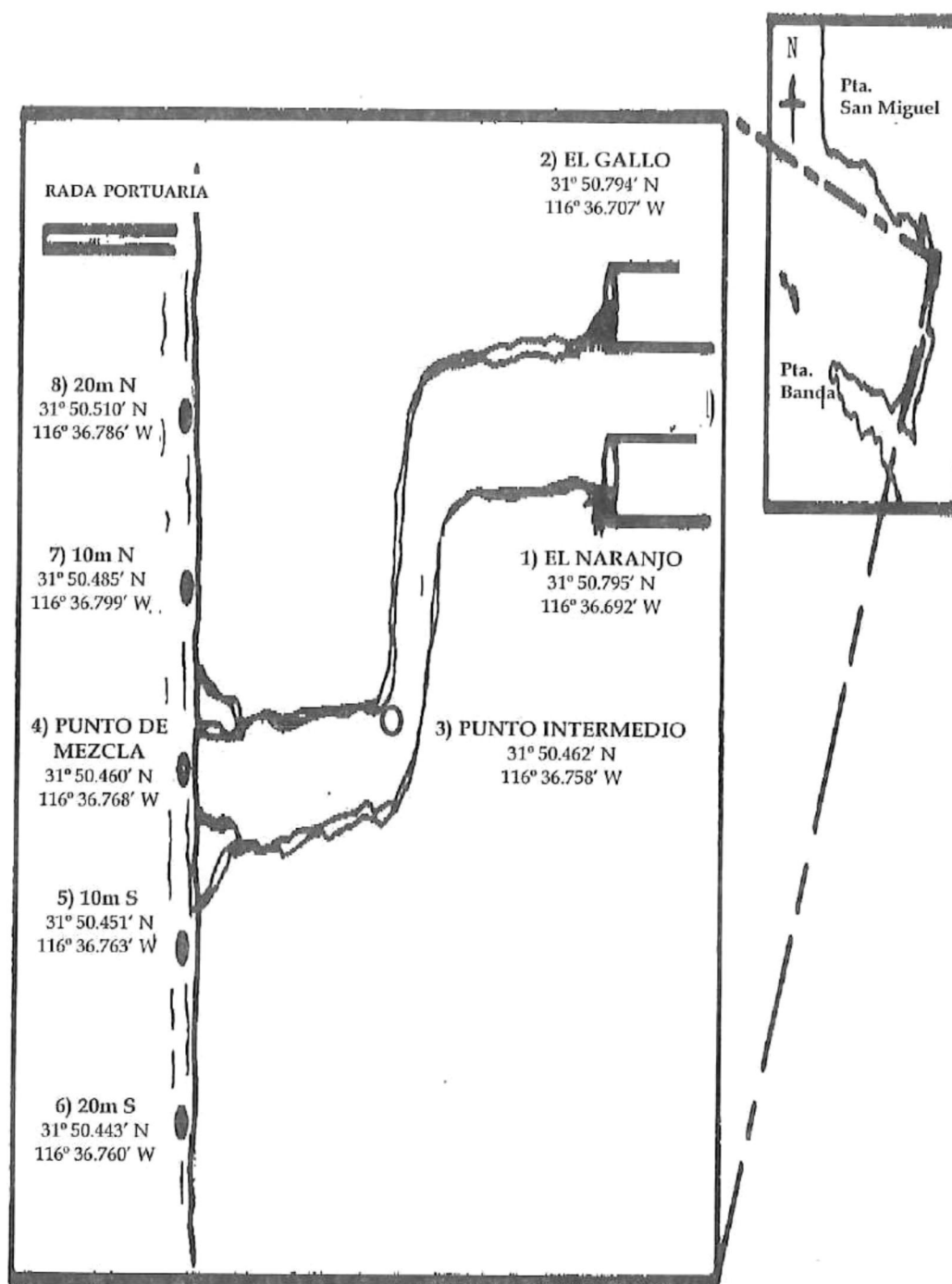


Figura 3. Localización de las estaciones de muestreo en Bahía de Todos Santos, B.C.

La obtención de las muestras se hizo en botellas de plástico estériles, inmediatamente después de su obtención las muestras se etiquetaron y colocaron en una hielera a 4-8 °C para su transportación al laboratorio y su análisis inmediato.

2.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO

Los bacteriófagos fueron determinados mediante el método modificado de doble capa de agar, utilizando al colífago MS2, según Yahya *et al.* (1991) (Fig. 4). Este método se fundamenta en la comprobación de la actividad del bacteriófago con respecto a un cultivo joven de *E. coli* (ATCC 15597) en placas con medio Agar Soya Tripticasa. Las unidades se reportan como unidades formadoras de fagos en 100 ml de muestra (UFF 100 ml⁻¹).

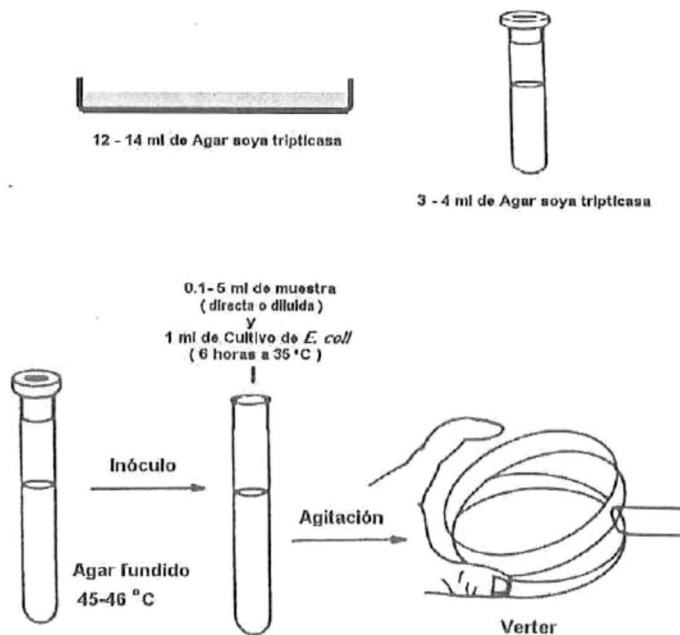


Figura 4. Determinación de bacteriófagos con el método modificado de doble capa de agar (Yahya *et al.*, 1991).

La determinación de las bacterias coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, se hizo con el método del número más probable (NMP) con serie de cinco tubos (APHA, 1995).

Los resultados microbiológicos se complementaron con las determinaciones de las variables ambientales que se registraron en cada una de las estaciones de muestreo. El pH se analizó con un potenciómetro (Basic, Fisher Scientific), la temperatura ambiental y la de las muestras se determinaron con un termómetro digital (VWRbrand, Traceable) y la salinidad con un salinómetro conductímetro (Beckman, RS-10).

2.4 NORMATIVIDAD

En la actualidad, México no cuenta con una legislación sobre el límite máximo permitido de contaminantes microbiológicos en la zona costera. Lo regulado es la concentración de bacterias coliformes fecales en las descargas de aguas residuales vertidas en aguas y bienes nacionales mediante la NOM-001-ECOL-1996 (SEMARNAP, 1997). Por lo que, como referencia se emplearon los límites máximos permitidos para coliformes totales y fecales en aguas de uso recreativo con contacto primario establecidos por la California Assembly Bill 411 (Noble *et al.*, 2000). En lo que respecta a la concentración de bacteriófagos en

agua de mar, se utilizó como referencia el límite propuesto por Dionisio *et al.* (2000) (Anexo I).

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Las concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales y bacteriófagos obtenidos durante el periodo de muestreo se promediaron y se obtuvieron los valores máximos y mínimos.

Los valores obtenidos para los organismos indicadores fueron transformados logarítmicamente ($\log_{10}$) para su análisis paramétrico de varianzas.

Con el fin de establecer diferencias significativas entre los meses muestreados para cada uno de los indicadores cuantificados en las estaciones de descarga, se realizó un análisis de varianzas al 95% de confianza, dicho análisis se complementó presentando la distribución temporal de los organismos indicadores que tuvieron diferencias significativas entre meses. Se realizó además, un análisis de comparación de medias (LSD) para los indicadores que presentaron diferencias significativas entre meses muestreados.

Para comparar la densidad de organismos indicadores entre estaciones, tanto de agua dulce como de agua de mar, se realizó un análisis de varianzas al 95% de confianza, comparando la concentración de los organismos entre

estaciones, se realizó además un análisis de comparación de medias para observar entre cuáles de las estaciones se dieron diferencias significativas. De manera gráfica se muestran las concentraciones promedio de los indicadores en cada una de las estaciones muestreadas.

Los valores de las variables ambientales, fueron promediados y se obtuvieron los máximos y mínimos que se presentaron durante el periodo de muestreo en cada una de las estaciones.

Para establecer asociaciones entre variables microbiológicas y parámetros ambientales, se aplicó la correlación paramétrica de producto de momentos de Pearson al 95% de significancia en cada una de las estaciones muestreadas.

Por último, con el fin de conocer la calidad bacteriológica del agua, tanto en las descargas como en la zona de playa, se compararon las concentraciones obtenidas de los indicadores con los valores máximos permisibles vigentes y propuestos señalados con anterioridad.

3. RESULTADOS

3.1 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.

Las concentraciones promedio de bacterias coliformes obtenidas durante el período de muestreo se muestran en la Tabla III. Las mayores concentraciones de bacterias coliformes totales y fecales se presentaron en la descarga de la planta el Naranjo con valores de 12,452 NMP 100 ml⁻¹ y 12,000 NMP 100 ml⁻¹, respectivamente, mientras que las concentraciones menores de ambas ocurrieron en las estaciones 20 m S (406 NMP 100 ml⁻¹) y El Gallo (9 NMP 100 ml⁻¹).

Tabla III. Concentración promedio de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) NMP 100⁻¹ ml en las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos, B. C., de febrero a julio de 2002.

# DE ESTACION	ESTACION	CT	VALOR MIN/MAX	CF	VALOR MIN/MAX	N
1	El Naranjo	12,452	2/240,000	12,000	2/240,000	23
2	El Gallo	1,364	2/9,200	9	2/70	23
3	Pto. Intermedio	1,233	49/3,500	275	2/1,600	6
4	Pto. de mezcla	705	110/1,600	281	2/1,600	6
5	10m S	1,087	93/4,600	90	2/350	6
6	20m S	406	45/790	152	2/540	6
7	10m N	2,765	110/14,000	406	2/1,600	6
8	20 m N	528	40/2,200	151	2/350	6

Las concentraciones promedio de estreptococos fecales y bacteriófagos se detallan en la tabla IV.

Tabla IV. Concentración promedio de estreptococos fecales (EF) NMP 100⁻¹ ml y bacteriófagos (B) UFF 100 ml⁻¹ en Bahía Todos Santos, B. C., de febrero a julio de 2002.

# DE ESTACION	ESTACION	EF	VALOR MIN/MAX	B	VALOR MIN/MAX	n
1	El Naranjo (1)	365	2/5,400	2,165	20/27,100	23
2	El Gallo (2)	21	2/330	6,187	20/49,090	23
3	Pto. Intermedio (3)	99	2/540	1,657	133/6,341	6
4	Pto. de mezcla (4)	274	2/1,600	1,866	192/5,875	6
5	10m S (5)	75	2/240	705	67/2,500	6
6	20m S (6)	149	2/540	548	50/1,707	6
7	10m N (7)	374	2/1,600	1,392	340/5,200	6
8	20 m N (8)	102	2/350	648	10/2,818	6

Las mayores concentraciones de estreptococos fecales se dieron en las estaciones 10 m N (374 NMP 100 ml⁻¹) y El Naranjo (365 NMP 100 ml⁻¹), mientras que la mínima se obtuvo en El Gallo (21 NMP 100 ml⁻¹). En cuanto a los bacteriófagos, la concentración promedio máxima (6,187 UFF 100 ml⁻¹) ocurrió también en la estación El Gallo, mientras que las mínimas se registraron en las estaciones 10 m S (705 UFF 100 ml⁻¹), 20 m N (648 UFF 100 ml⁻¹) y 20 m S (548 UFF 100 ml⁻¹).

El análisis de varianzas en El Gallo entre los indicadores y los meses muestreados no mostró diferencias significativas (Anexo II, Tabla A-4). Con respecto al Naranjo, el análisis estadístico mostró diferencias significativas únicamente para las coliformes totales (Anexo II, Tabla A-5).

El comportamiento temporal de las coliformes totales en la descarga el Naranjo se observa en la figura 5. La tendencia de las coliformes totales fue a

disminuir de febrero a julio, formando claramente dos grupos: 1) febrero, marzo y abril, y 2) mayo, junio y julio. En los meses de febrero, abril y julio se presentó una mayor variabilidad entre los valores obtenidos para cada uno de ellos. En los meses de marzo, mayo y junio los valores fueron más uniformes, teniendo para estos meses una menor desviación estándar.

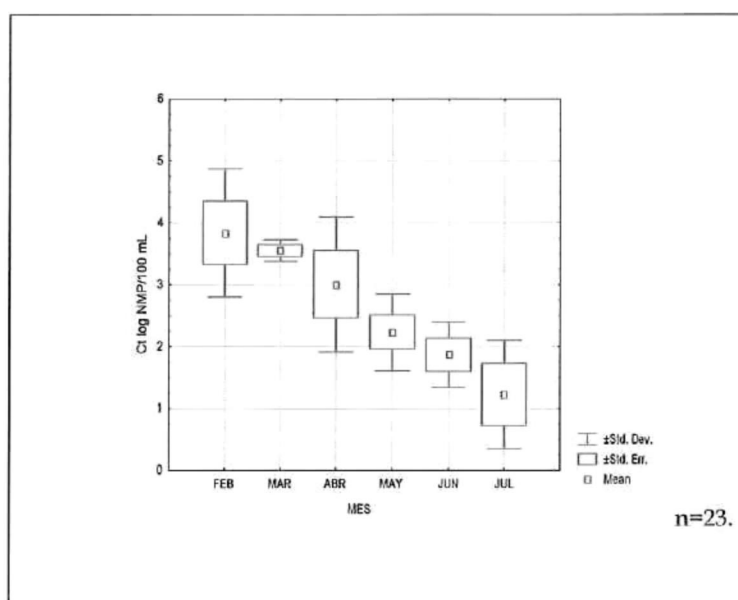


Figura 5. Variación temporal de la concentración de coliformes totales en la descarga de El Naranjo.

Al efectuar el análisis de comparación de medias (LSD) entre meses se detectó para coliformes totales que los meses de mayo, junio y julio fueron significativamente diferentes de los meses de febrero y marzo (Tabla V). En el caso de bacteriófagos, se tiene que junio difirió significativamente de febrero, marzo y abril (Tabla VI).

Tabla V. Prueba de nivel de significancia (LSD) entre meses muestreados para promedios de coliformes totales en la descarga El Naranjo.

	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
	M=3.8362	M=3.5522	M=3.0081	M=2.2303	M=1.8681	M=1.2283
FEB		0.645559	0.15851	0.007803	0.002713	0.000485
MAR	0.645559		0.382101	0.035812	0.012915	0.002284
ABR	0.15851	0.382101		0.162482	0.058269	0.009254
MAY	0.007803	0.035812	0.162482		0.505658	0.102103
JUN	0.002713	0.012915	0.058269	0.505658		0.306165
JUL	0.000485	0.002284	0.009254	0.102103	0.306165	

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$
n=23.

Tabla VI. Prueba de nivel de significancia (LSD) entre meses muestreados para promedios de bacteriófagos en la descarga El Naranjo.

	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
	M=2.8824	M=3.2882	M=2.8102	M=2.0581	M=1.3450	M=1.7879
FEB		0.564869	0.911614	0.192348	0.02801	0.131783
MAR	0.564869		0.498658	0.080131	0.012025	0.058286
ABR	0.911614	0.498658		0.232248	0.035123	0.157439
MAY	0.192348	0.080131	0.232248		0.25642	0.687774
JUN	0.02801	0.012025	0.035123	0.25642		0.530332
JUL	0.131783	0.058286	0.157439	0.687774	0.530332	

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$
n=23.

El análisis de varianza de una vía al 95 % de confianza entre estaciones, tanto de agua dulce (El Narango, El Gallo y Punto intermedio) como de agua de mar (10m N, 20m N, 10m S y 20m S) para cada uno de los indicadores microbiológicos mostró diferencias significativas únicamente para bacteriófagos (Tabla VII). En base a lo anterior, se realizó un análisis de comparación de medias y se encontraron diferencias significativas entre estaciones para coliformes fecales (Tabla VIII) en donde, la estación de El Gallo fue diferente de

la estación 10m S, 20m S y 20m N, en el caso de El Naranjo esta solo difirió de la estación de El Gallo. En cuanto a bacteriófagos (Tabla IX), hubo diferencias significativas únicamente entre El Gallo y las estaciones Naranjo, 10m S, 20m S y 20m N.

Tabla VII. Análisis de varianzas entre grupos de estaciones muestreadas.

	MS Error	F	P
CT	0.41826	0.48559	0.81452
CF	0.70196	1.84433	0.11878
EF	0.73359	1.09867	0.38267
BT	0.40935	2.41586	0.04719

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$

n=6, para 7 estaciones.

Tabla VIII. Prueba de nivel de significancia (LSD) entre promedios de coliformes fecales en las diferentes estaciones muestreadas.

		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		M=.82633	M=.59527	M=1.1682	M=1.8417	M=1.6160	M=1.4646	M=1.6699
Nar	{1}		0.635849	0.484389	0.04309	0.111531	0.195571	0.08996
Gallo	{2}	0.635849		0.244217	0.014348	0.042058	0.080942	0.032877
Pi	{3}	0.484389	0.244217		0.172606	0.360903	0.544019	0.3068
10m S	{4}	0.04309	0.014348	0.172606		0.643709	0.440864	0.724553
20m S	{5}	0.111531	0.042058	0.360903	0.643709		0.756102	0.91199
10m N	{6}	0.195571	0.080942	0.544019	0.440864	0.756102		0.673887
20m N	{7}	0.08996	0.032877	0.3068	0.724553	0.91199	0.673887	

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$

n=6, para 7 estaciones.

Tabla IX. Prueba de nivel de significancia (LSD) entre promedios de bacteriófagos en las diferentes estaciones muestreadas.

		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
		M=2.4557	M=3.3813	M=2.8649	M=2.1697	M=2.9150	M=2.3818	M=2.5286
Nar	{1}		0.017171	0.275724	0.444177	0.222207	0.849897	0.844772
Gallo	{2}	0.017171		0.171186	0.002402	0.215437	0.01438	0.027185
Pi	{3}	0.275724	0.171186		0.068422	0.892895	0.22094	0.368966
10m S	{4}	0.444177	0.002402	0.068422		0.051578	0.587645	0.338175
20m S	{5}	0.222207	0.215437	0.892895	0.051578		0.177731	0.302868
10m N	{6}	0.849897	0.01438	0.22094	0.587645	0.177731		0.707185
20m N	{7}	0.844772	0.027185	0.368966	0.338175	0.302868	0.707185	

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$

$n=6$, para 7 estaciones.

De manera gráfica, se observa en la figura 6, que los estreptococos fecales y coliformes fecales en las estaciones de agua dulce fueron menores a las concentraciones en agua de mar. Cabe mencionar que la estación punto de mezcla se eliminó para este análisis, ya que no se puede anexar a alguno de estos grupos dado que es una estación de interfase entre agua dulce y agua de mar.

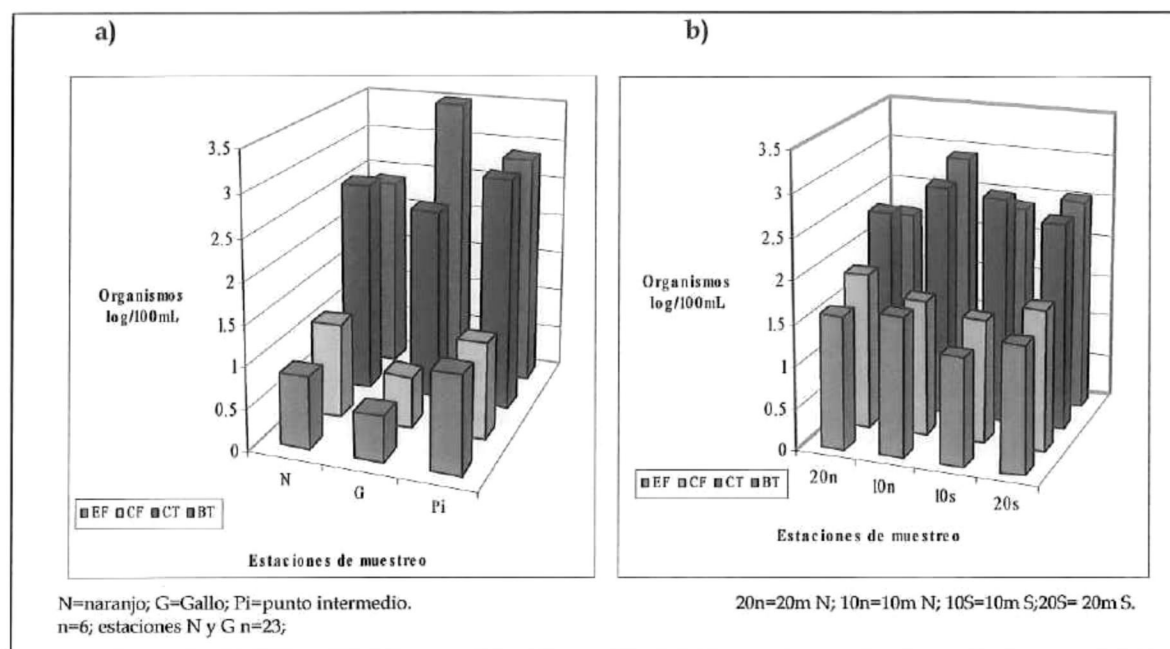


Figura 6. Concentración promedio de microorganismos en estaciones de agua dulce (a) y en estaciones de agua de mar (b) de febrero a julio de 2002.

3.2 VARIABLES FISICOQUÍMICAS.

La temperatura ambiental en las diferentes estaciones de muestreo fluctuó entre los 19 °C y 21 °C, siendo menor que la del agua de mar, la cuál varió entre los 20 °C a 24 °C (Tabla X). Es de destacar que la temperatura en las estaciones de playa fue menor que en las de agua dulce, diferencia que fue de 2 °C a 4 °C.

Tabla X. Valores promedio de temperatura ambiente y temperatura del agua en las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos, B. C., de febrero a julio de 2002.

# DE ESTACION	ESTACION	TEMP. amb °C	VALOR MAX/MIN °C	TEMP. Agua °C	VALOR MAX/MIN °C	n
1	El Naranja	21	22/19	23	27/20	23
2	El Gallo	21	22/19	22	26/20	23
3	Punto intermedio	19	20/17	24	26/21	6
4	Punto de mezcla	19	20/17	24	26/21	6
5	10m S	20	24/17	20	21/17	6
6	20m S	20	24/17	20	21/17	6
7	10m N	20	24/17	20	21/17	6
8	20m N	20	24/17	20	21/17	6

Los valores de pH en las estaciones de agua dulce fluctuaron entre 7.6 y 7.8, con un mínimo de 7.4 en la estación El Naranja, y un máximo de 7.9 en las estaciones Punto intermedio y Punto de mezcla (Tabla XI).

Tabla XI. Valores promedio de potencial de hidrógeno y salinidad en las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos, B. C., de febrero a julio de 2002.

# DE ESTACION	ESTACION	pH	VALOR MAX/MIN	SALINIDAD o/oo	VALOR MAX/MIN o/oo	n
1	El Naranja	7.6	7.7/7.4	1.60	1.60/1.51	23
2	El Gallo	7.6	7.7/7.5	2.10	2.25/1.97	23
3	Punto intermedio	7.8	7.9/7.6	1.70	1.79/1.62	6
4	Punto de mezcla	7.8	7.9/7.7	15.10	20.50/7.21	6
5	10m S	-	-	23.00	33.21/10.04	6
6	20m S	-	-	24.40	33.21/14.48	6
7	10m N	-	-	18.00	26.04/12.30	6
8	20m N	-	-	25.40	31.82/18.56	6

Con respecto a la salinidad (o/oo), los valores promedio mínimos se obtuvieron en las descargas de las plantas de tratamiento con valores que

fluctuaron entre 1.51 o/oo y 2.25 o/oo. Los máximos se dieron en agua de mar con valores de 10.04 o/oo a 33.21 o/oo (Tabla XI).

3.3 CORRELACIONES.

Los resultados obtenidos de las correlaciones de Pearson por estaciones se presentan en las Tablas XII a XIX.

Tabla XII. Correlación entre variables para la estación de El Naranjo, de febrero a Julio de 2002.

	Ct	Cf	Ef	B	pH	Tamb
Ct	1.00	.29	.07	.91	.75	-.81
Cf	.29	1.00	.64	.17	.79	.03
Ef	.07	.64	1.00	-.28	.24	.09
B	.91	.17	-.28	1.00	.72	-.82
pH	.75	.79	.24	.72	1.00	-.38
Tamb	-.81	.03	.09	-.82	-.38	1.00

Ct: Coliformes totales; Cf: Coliformes fecales; Ef: Estreptococos fecales; B: Bacteriófagos; Tamb: Temperatura ambiente.
n=23.

Tabla XIII. Correlación entre variables para la estación de El Gallo, de febrero a Julio de 2002.

	Ct	Cf	Ef	B	Ph	Tamb
Ct	1.00	.31	.40	.09	.69	-.47
Cf	.31	1.00	.77	-.28	.31	.02
Ef	.40	.77	1.00	.34	.65	-.32
B	.09	-.28	.34	1.00	.65	-.72
pH	.69	.31	.65	.65	1.00	-.89
Tamb	-.47	.02	-.32	-.72	-.89	1.00

Ct: Coliformes totales; Cf: Coliformes fecales; Ef: Estreptococos fecales; B: Bacteriófagos; Tamb: Temperatura ambiente.
n=23.

Tabla XIV. Correlación entre variables para la estación Punto intermedio, de febrero a Julio de 2002.

	Ct	Cf	Ef	B	Sal	Tamb	Tagua
Ct	1.00	.54	.56	.58	-.84	-.25	-.22
Cf	.54	1.00	.93	.12	-.18	.29	.10
Ef	.56	.93	1.00	.36	-.14	.49	.15
B	.58	.12	.36	1.00	-.63	-.04	-.56
Sal	-.84	-.18	-.14	-.63	1.00	.66	.60
Tamb	-.25	.29	.49	-.04	.66	1.00	.47
Tagua	-.22	.10	.15	-.56	.60	.47	1.00

Ct: Coliformes totales; Cf: Coliformes fecales; Ef: Estreptococos fecales; B: Bacteriófagos; Sal: salinidad; Tamb: Temperatura ambiente; Tagua: Temperatura agua. n=6.

Tabla XV. Correlación entre variables para la estación Punto de mezcla, de febrero a Julio de 2002.

	Ct	Cf	Ef	B	Sal	Tamb	Tagua
Ct	1.00	.68	.84	.63	-.21	.71	.20
Cf	.68	1.00	.86	.77	-.30	.27	.07
Ef	.84	.86	1.00	.52	.09	.67	.41
B	.63	.77	.52	1.00	-.76	.05	-.16
Sal	-.21	-.30	.09	-.76	1.00	.45	.49
Tamb	.71	.27	.67	.05	.45	1.00	.31
Tagua	.20	.07	.41	-.16	.49	.31	1.00

Ct: Coliformes totales; Cf: Coliformes fecales; Ef: *Escherichia coli* fecales; B: Bacteriófagos; Sal: salinidad; Tamb: Temperatura ambiente; Tagua: Temperatura agua.
n=6.

Tabla XVI. Correlación entre variables para la estación 10m N, de febrero a Julio de 2002.

	Ct	Cf	Ef	B	Sal	Tamb	Tagua
Ct	1.00	.83	.32	.77	-.39	-.50	-.31
Cf	.83	1.00	.39	.32	.14	-.10	-.14
Ef	.32	.39	1.00	.03	.26	-.10	.69
B	.77	.32	.03	1.00	-.83	-.63	-.37
Sal	-.39	.14	.26	-.83	1.00	.80	.30
Tamb	-.50	-.10	-.10	-.63	.80	1.00	.01
Tagua	-.31	-.14	.69	-.37	.30	.01	1.00

Ct: Coliformes totales; Cf: Coliformes fecales; Ef: *Escherichia coli* fecales; B: Bacteriófagos; Sal: salinidad; Tamb: Temperatura ambiente; Tagua: Temperatura agua. n=6.

Tabla XVII. Correlación entre variables para la estación de 20m N, de febrero a Julio de 2002.

	Ct	Cf	Ef	B	Sal	Tamb	Tagua
Ct	1.00	.74	.48	.33	.16	-.48	-.60
Cf	.74	1.00	.75	.09	-.01	-.62	.04
Ef	.48	.75	1.00	.61	.08	-.72	.33
B	.33	.09	.61	1.00	.03	-.52	-.08
Sal	.16	-.01	.08	.03	1.00	.52	-.05
Tamb	-.48	-.62	-.72	-.52	.52	1.00	.01
Tagua	-.60	.04	.33	-.08	-.05	.01	1.00

Ct: Coliformes totales; Cf: Coliformes fecales; Ef: *Escherichia coli* fecales; B: Bacteriófagos; Sal: salinidad; Tamb: Temperatura ambiente; Tagua: Temperatura agua. n=6.

Tabla XVIII. Correlación entre variables para la estación de 10m S, de febrero a Julio de 2002.

	Ct	Cf	Ef	B	Sal	Tamb	Tagua
Ct	1.00	.41	.69	.85	.19	-.70	-.35
Cf	.41	1.00	.89	.26	.44	.05	.00
Ef	.69	.89	1.00	.42	.16	-.37	.07
B	.85	.26	.42	1.00	.36	-.40	-.35
Sal	.19	.44	.16	.36	1.00	.31	-.65
Tamb	-.70	.05	-.37	-.40	.31	1.00	.01
Tagua	-.35	.00	.07	-.35	-.65	.01	1.00

Ct: Coliformes totales; Cf: Coliformes fecales; Ef: Estreptococos fecales; B: Bacteriófagos; Sal: salinidad; Tamb: Temperatura ambiente; Tagua: Temperatura agua. n=6.

Tabla XIX. Correlación entre variables para la estación de 20m S, de febrero a Julio de 2002.

	Ct	Cf	Ef	B	Sal	Tamb	Tagua
Ct	1.00	.47	.74	.31	-.14	-.82	.35
Cf	.47	1.00	.92	.73	-.54	.02	.19
Ef	.74	.92	1.00	.68	-.60	-.32	.30
B	.31	.73	.68	1.00	-.35	-.09	-.39
Sal	-.14	-.54	-.60	-.35	1.00	-.09	-.25
Tamb	-.82	.02	-.32	-.09	-.09	1.00	.01
Tagua	.35	.19	.30	-.39	-.25	.01	1.00

Ct: Coliformes totales; Cf: Coliformes fecales; Ef: Estreptococos fecales; Bt: Bacteriófagos; Sal: salinidad; Tamb: Temperatura ambiente; Tagua: Temperatura agua. n=6.

De todos los indicadores analizados, los coliformes fecales se correlacionaron principalmente con los estreptococos fecales, a excepción de la estación 10 m N.

Con respecto a bacteriófagos, éstos se correlacionaron principalmente con coliformes totales, a excepción de las estaciones El Gallo, 20 m N y 20 m S.

Los bacteriófagos, además, se correlacionaron con las coliformes fecales (0.77) en el Punto de mezcla y 20 m S (0.73) y con los estreptococos fecales en la estación 20m N (0.61).

Las coliformes totales se correlacionaron con las coliformes fecales en las estaciones: Punto intermedio (0.54), Punto de mezcla (0.68), 10 m N (0.83) y 20m N (0.74), mientras que en las descargas y en las estaciones 10 m S (0.41) y 20 m S (0.47) se presentaron bajas correlaciones.

La salinidad se correlacionó en forma negativa principalmente con los bacteriófagos en el Punto intermedio (-0.63), Punto de mezcla (-0.76) y 10 m N (-0.83), aunque lo hizo también con los estreptococos fecales (-0.60) en la estación 20 m S y con las coliformes totales en el Punto intermedio (-0.84).

El pH, que sólo se midió en las estaciones de descarga, se correlacionó positivamente con los bacteriófagos y las coliformes totales tanto en El Naranjo (0.72 y 0.75) como en El Gallo (0.65 y 0.69). En El Naranjo se obtuvo una correlación positiva (0.79) también con las coliformes fecales. En El Gallo presentó una correlación positiva (0.65) también con los estreptococos fecales.

La temperatura del agua (°C) no mostró un patrón de correlación definida con respecto a las bacterias indicadoras. Por ejemplo, las únicas estaciones en las que presentó una ligera correlación fue con 10 m N (0.69) para estreptococos fecales y en 20 m N (-0.60) para coliformes totales.

3.4 CALIDAD MICROBIOLÓGICA

En las Tablas XX, XXI y XXII se muestran los porcentajes de cada una de las estaciones que excedieron el límite mensual de coliformes fecales en descargas de aguas residuales, los límites diarios de coliformes totales y fecales en playas de uso recreativo y el límite diario para bacteriófagos en playas de uso recreativo, respectivamente.

Tabla XX. Porcentaje de muestras que excedieron los valores límite permisibles de coliformes fecales en las descargas de aguas residuales.

# DE ESTACIÓN	ESTACIÓN	CF PROM MENSUAL NMP/100 mL >1000
1	Naranjo	33
2	Gallo	0
3	Pi	17

n=6.

Tabla XXI. Porcentaje de muestras que excedieron los valores límite permisibles para coliformes totales y coliformes fecales en aguas de uso recreativo.

# DE ESTACIÓN	ESTACIÓN	CT LD NMP/100 mL >10,000	CF LD NMP/100 mL >400
4	Pm	0	17
5	10m N	17	33
6	20m N	0	17
7	10m S	0	0
8	20m S	0	0

n=6.

Tabla XXII. Porcentaje de muestras que exceden los valores límite permisibles de bacteriófagos en aguas de uso recreativo.

# DE ESTACIÓN	ESTACIÓN	B	B
		80% de las muestras <300 UFF/100 MI	90% de las muestras <2,000 UFF/100 mL
3	Punto intermedio	67	17
4	Punto de mezcla	67	33
5	10m N	100	17
6	20m N	33	17
7	10m S	20	20
8	20m S	50	0.0

n=6.

El Naranja y el Punto intermedio excedieron en un 33% y 17% el límite permisible de coliformes fecales en descargas de aguas residuales, respectivamente. Por otra parte, El Gallo no excedió el límite durante el periodo de muestreo.

El 17% de las muestras de la estación de 10 m N excedieron el límite de coliformes totales. El resto de las estaciones lo cumplieron.

Además, las estaciones Punto de mezcla, 10 m N y 20 m N excedieron el límite de coliformes fecales en un 17%, 33% y 17% respectivamente, mientras que las estaciones 20 m N y 20 m S lo cumplieron.

En cuanto a los bacteriófagos, éstos excedieron el límite propuesto por Dionisio *et al.* (2000), para todas las estaciones a excepción de 20m S que sólo no excedió el límite más amplio (2,000 UFF/100 mL).

4. DISCUSIONES

4.1 INDICADORES.

Las altas concentraciones de bacterias indicadoras en El Naranjo se debieron a fallas en la operación de la planta y no en el sistema de tratamiento en sí. Esto puede inferirse a partir del hecho de que en dos ocasiones las concentraciones de bacterias indicadoras fueron altas, sobrepasando el límite permisible para coliformes fecales. Si esto hubiese sido recurrente hubiese sido evidente el deficiente diseño del sistema de desinfección. Estudios microbiológicos realizados en esta planta desde septiembre de 2000 por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), UABC, evidencian en general un buen sistema de tratamiento, aunque en ocasiones se han detectado valores que exceden el límite permisible para coliformes fecales (Mendoza-Espinosa y Orozco Borbón, 2003). De acuerdo a datos de los autores, en el periodo de septiembre de 2000 a marzo de 2003 la mayoría de las muestras cumplieron con la normatividad mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. El 79% de las muestras de la descarga de El Naranjo cumplieron para sólidos suspendidos, 75% para grasas y aceites y 91% para coliformes fecales.

Es importante mencionar que en los días 20 de febrero y 8 de abril se presentaron altas concentraciones de coliformes totales (240,000 NMP/100mL y 2,400 NMP/100mL, respectivamente), coliformes fecales (240,000 NMP/100mL y 2,400 NMP/100mL, respectivamente) y estreptococos fecales (5,400 NMP/100mL y 2,400 NMP/100mL, respectivamente). Estos valores máximos se deben a la falta de adición de cloro durante la desinfección del agua residual (I. B. Q. Roberto Serrano, com. pers.), por lo que no se presentó una reducción bacteriana. Estos valores ocasionaron que, en promedio, la planta de El Naranjo presentara valores mayores a los de la planta de El Gallo, pero si se eliminan esos valores de los datos, el promedio sería el mismo para ambas plantas, teniendo así que las dos plantas de tratamiento presentan en general un buen funcionamiento. Problemas como el anterior sólo pueden ser detectados mediante un programa de monitoreo constante y frecuente, por lo que es de suma importancia continuar con el monitoreo de las descargas, para corroborar que se lleva a cabo un buen tratamiento de las aguas residuales en las plantas municipales.

Las mayores concentraciones de bacteriófagos en la planta de El Gallo pudieron deberse a que su eficiencia de remoción fue menor a la de la planta de El Naranjo: 95% para DBO, 90% para DQO y 92% para sólidos suspendidos totales. Por su parte, El Naranjo presentó remociones de 96%, 96% y 97% para

DBO, DQO y sólidos suspendidos totales, respectivamente (CESPE, 2003). El efluente de El Gallo por lo general presenta concentraciones de sólidos suspendidos totales mayores a 18 mg/l, mientras que en El Naranjo por lo general no sobrepasan los 12 mg/l (Mendoza-Espinosa y Orozco Borbón, 2003). Esto es importante, debido a que se ha demostrado que en aguas residuales con mayor presencia de sólidos en suspensión, es necesario agregar una mayor cantidad de cloro con el fin de lograr la desactivación de microorganismos debido a que éstos se escudan en los sólidos para resistir al agente oxidante (Metcalf y Eddy, 2003). Por ello, la dosificación de cloro en El Gallo es mayor que en El Naranjo (Anexo III). Esta alta concentración de cloro total es añadida con el fin de asegurar la desinfección del agua residual. Los resultados de este trabajo muestran que existe una correlación negativa entre la concentración de cloro añadida con la reducción de bacterias, lo cual se asocia con la disminución de los niveles de coliformes fecales, totales y estreptococos. Sin embargo, debido a que los bacteriófagos son más resistentes al cloro que las bacterias indicadoras tradicionales (Gantzer *et al.*, 1998; Yanko *et al.*, 1999), los niveles de aquellos en El Gallo fueron independientes de la concentración de cloro en el agua residual tratada.

Con el fin de determinar la correlación entre las dosificaciones de cloro y las concentraciones de coliformes fecales, se usaron los datos de cloro total que

se emplean para determinar la dilución apropiada previa a la determinación de coliformes fecales en el laboratorio. Aplicando un análisis de correlación (Pearson), se encontró una asociación negativa entre cloro total y bacteriófagos (-0.84) y entre cloro total y coliformes totales (-0.89) en El Naranjo, (Anexo III, Tabla A-6). Esto demuestra que la falta de adición de cloro provocó un aumento de estos indicadores. Es evidente entonces que la planta de tratamiento El Naranjo presentó una tendencia clara a mejorar la calidad del agua de febrero a julio, al mejorarse paulatinamente la desinfección. Por su parte, en El Gallo no se encontró una asociación entre concentración de cloro y concentración de bacteriófagos (Anexo III, Tabla A-7), lo que significa que la concentración de estos últimos que independientes de los primeros debido, como ya se mencionó, a la resistencia de los bacteriófagos a la desinfección con cloro y a la mayor presencia de sólidos suspendidos en el efluente de El Gallo.

Las mayores concentraciones de coliformes fecales y estreptococos fecales en agua de mar con respecto a las de agua dulce se deben a que por décadas la zona de estudio ha recibido las aguas residuales provenientes de las descarga de la planta de El Gallo, descargas clandestinas de la industria pesquera asentada en la zona, así como acarreo pluvial en temporada de lluvia, lo que puede provocar la acumulación de bacterias en el sedimento. Diversos estudios han demostrado que los sedimentos representan un medio favorable

para el crecimiento de *Escherichia coli* y enterococos debido al incremento en la concentración de nutrientes disponibles y/o a la disminución de la predación (Davies *et al.*, 1995; Desmarais *et al.*, 2002). La resuspensión de sedimento por la presencia de grandes caudales durante tormentas o por la acción del oleaje y corrientes pudo provocar el incremento de bacterias en el agua de mar de la zona de rompiente.

Aunque los estreptococos son más resistentes al estrés ambiental y presentan una mayor sobrevivencia en el medio ambiente marino que las coliformes fecales (Sinton *et al.*, 1999; Dionisio *et al.*, 2001; Noble *et al.*, 2000) en el presente estudio, ambos indicadores se encontraron en similares concentraciones, posiblemente esto sea indicativo de una contaminación reciente proveniente de la resuspensión periódica del sedimento. Por otra parte, a pesar de que los estreptococos y las coliformes son miembros de grupos bacterianos diferentes, siendo los estreptococos fecales bacterias gram positivas y las coliformes fecales gram negativas, la correlación positiva encontrada entre ambas indica una contaminación fecal.

Con respecto a las estaciones de agua de mar, las mayores correlaciones encontradas entre bacteriófagos y coliformes totales en las estaciones Punto de mezcla, 10m N y 10m S se debe a la menor dilución de la pluma del agua

residual, teniendo por tanto mayores características de agua residual que las estaciones 20m N y 20m S, las cuales tuvieron una mayor dilución.

Las correlaciones entre bacteriófagos y coliformes totales en este trabajo fueron mayores en las estaciones de agua residual, en donde debe existir un mayor número de organismos patógenos. En estudios realizados por Dionisio *et al.*, (2001) se encontraron correlaciones positivas entre colífagos, organismos patógenos como *Salmonella*, *P. aeruginosa* y *C. albicans* y contaminación fecal. Por su parte, Seañez-Reyes (2001) encontró correlación significativa entre bacteriófagos y estreptococos fecales sugiriendo que los bacteriófagos podrían ser indicadores de contaminación microbiológica en aguas costeras de manera rutinaria. Sin embargo, en el presente estudio, con los resultados obtenidos, es evidente que los bacteriófagos y las coliformes fecales y totales dieron una respuesta diferente en la mayoría de las muestras. El hecho de no encontrar una asociación entre los indicadores actuales y los bacteriófagos es señal de que éstos no presentan un comportamiento similar entre ellos. Skrabber *et al.* (2002) mencionan que antes de emplear nuevos indicadores es necesario que se presenten respuestas diferentes a la de los indicadores bacterianos existentes, ya que si dan una respuesta similar no vale la pena continuar. Los resultados de este trabajo indican que los indicadores de contaminación viral (bacteriófagos) y los indicadores de contaminación fecal (bacterias coliformes fecales) dieron

respuestas diferentes tanto en agua residual tratada como en agua de mar impactada por agua residual tratada. Por ello, se corrobora lo señalado por Gantzer *et al.* (1998) que indican que la ausencia de coliformes fecales no implica la ausencia de contaminación viral potencial. Con el fin de determinar la viabilidad del empleo de bacteriófagos como indicadores de contaminación fecal, se propone realizar trabajos de investigación determinando bacteriófagos junto con organismos indicadores microbiológicos y microorganismos patógenos, incluyendo virus entéricos.

4.2 VARIABLES FISICOQUÍMICAS.

El hecho de haber encontrado valores iguales de pH en las plantas de tratamiento El Naranjo y El Gallo indica la similitud en la naturaleza del agua residual tratada en ambos sistemas de tratamiento. Estos valores encontrados, en general, son aptos para el crecimiento bacteriano, ya que las bacterias indicadoras utilizadas proliferan en un pH entre 6.9 a 7.2. Además, los valores encontrados estuvieron dentro de los límites que marca la legislación mexicana (NOM-001-ECOL-1996), el cual es de 5 a 10 unidades de potencial de hidrógeno.

Las variaciones de salinidad en las descargas de las plantas de tratamiento se deben a los sólidos disueltos presentes en el agua (Crites y

Tchobanoglous, 2000). Con respecto a las estaciones de playa, las variaciones de salinidad se deben a la mezcla del agua residual con el agua de mar.

La sobrevivencia de bacteriófagos, estreptococos fecales y coliformes en algunas estaciones de agua de mar se vio afectada por la salinidad, que es hostil para las bacterias entéricas que son descargadas en el medio marino, muriendo rápidamente al contacto con este (Dionisio *et al.*, 2000). La salinidad en el ambiente acuático es un factor que determina la distribución de los organismos, pero no es el principal factor responsable de la disminución en el medio marino; el efecto bactericida del agua de mar es el resultado de un sinergismo de factores bióticos y abióticos (Dionisio *et al.*, 2000).

Las bacterias indicadoras no presentaron un patrón de asociación con la temperatura del agua ya que condiciones de temperatura de entre 10° y 30 °C no presentan un efecto significativo en la sobrevivencia de bacterias entéricas en ambientes acuáticos cuando la luz está presente (Dionisio *et al.*, 2000). En el UNEP, (1991) se mencionan efectos negativos en la sobrevivencia de microorganismos con una mayor temperatura del agua, radiación solar y salinidad.

4.3 CALIDAD DEL AGUA.

Las plantas de tratamiento El Gallo y El Naranjo tienen un buen sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que, en general, cumplieron con los límites establecidos por la legislación mexicana (NOM-001-ECOL-1996) para coliformes fecales, a pesar de que El Naranjo en dos ocasiones excedió el límite permisible debido a un mal manejo del sistema de desinfección. Los resultados reflejan el avance que se ha dado en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Ensenada, siendo parte fundamental para el saneamiento de la Bahía de Todos Santos, B.C. Sin embargo, la calidad microbiológica en los sistemas de tratamiento de las plantas de tratamiento de la CESPE podría incrementarse teniendo mayor cuidado en sus procesos.

Estudios anteriores a este, en la zona de playa adyacente a la descarga de El Gallo, encontraron valores de hasta 5,000,000 NMP 100 ml⁻¹ (Orozco-Borbón y Gutiérrez-Galindo, 1983; Morales-Chávez, 1984) de bacterias coliformes fecales, mientras que Seañez-Reyes, (2000), encontró un máximo de 160,000 NMP 100 ml⁻¹. Por otra parte, los valores promedio encontrados en el presente estudio demuestran una considerable disminución de bacterias en la zona, ya que se encontraron valores de 4,096 NMP 100 ml⁻¹ en las descargas y 200 NMP 100 ml⁻¹ de coliformes fecales en la zona adyacente a la descarga El Naranjo/El Gallo, lo cual demuestra que las plantas de tratamiento de la ciudad de Ensenada han mejorado considerablemente la calidad del agua en esta zona.

La calidad del agua de mar de las estaciones 10m N, 20m N y Punto de mezcla es el resultado de la suma de factores tales como: descargas clandestinas de aguas negras, acarreo pluvial y resuspensión del sedimento por oleaje. Algunas de las estaciones de agua de mar presentaron altas concentraciones de coliformes fecales debido a que la descarga de agua residual, al ingresar al sistema marino, está sujeta a procesos de dispersión, dilución y transporte ocasionados por el viento, corrientes costeras y mareas, alejándola del lugar de la descarga (Arce-Duarte, 1984), concentrándose por tanto en ciertas áreas y diluyéndose conforme se aleja. Cabe destacar que la calidad microbiológica de estas estaciones no tuvo relación con las altas concentraciones presentadas en la descarga de El Naranjo.

Debido a las altas concentraciones de bacteriófagos encontradas en las descargas de las plantas de tratamiento, en particular en la planta de El Gallo, la mayoría de las estaciones de agua de mar excedieron el límite propuesto para aguas de uso recreativo (Dionisio *et al.*, 2000), ya que éstos presentan una mayor resistencia a la desinfección, además su transporte de la descarga a la zona de rompiente no es suficiente para su dilución y reducción.

5. CONCLUSIONES

- Las mayores concentraciones de bacterias indicadoras se dieron en la descarga de El Naranjo. En cuanto a bacteriófagos, las mayores concentraciones se presentaron en El Gallo.
- Los niveles de coliformes totales y coliformes fecales en la zona adyacente a la descarga se encuentran por debajo de los límites establecidos por la norma de la California Assembly Bill 411.
- En comparación con estudios previos realizados en el arroyo El Gallo, se observó una notable disminución en la concentración de coliformes fecales, atribuido a la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Naranjo, disminuyendo la contaminación microbiológica en la zona adyacente a la descarga El Naranjo/El Gallo en BTS, B.C.
- No se encontró correlación entre los indicadores de contaminación fecal y el bacteriófago medido (colífago SM2). Debido a esto se sugiere además de seguir realizando pruebas de correlación entre organismos

indicadores, realizar estudios donde se correlacionen bacteriófagos y organismos indicadores con la presencia de organismos patógenos directamente, para probar si existe una mayor asociación entre la presencia de bacteriófagos con la de organismos patógenos, que la asociación que existe estos y bacterias fecales.

6. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Sánchez, L. G. (1970). Vientos en Ensenada, B.C., Reporte técnico publicado por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC. 9pp.
- American Public Health Association (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th. Ed. American Public Health Association, New York, 9-49.
- Arce-Duarte, F. A. 1984. Efectos de contaminación orgánica en la zona costera de la Bahía Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. UABC-FCM. 75pp.
- CESPE, 2003. Reporte Interno.
- Crites R. y Tchobanoglous G. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales En Pequeñas Poblaciones. Mc Graw Hill, Colombia, 776 pp.
- Davies Ch. M., Long J. A. H., Donald M. and Ashbolt N. J. (1995). Survival of Fecal Microorganisms in Marine and Freshwater Sediments. *Applied and Environmental Microbiology*. 61(5):1888-1896.
- De Jawetz E., Melnick J. L. y Adelberg E. A. (1992). Microbiología Médica. El manual moderno. México, 505-518.

- Desmarais T. R., Solo-Gabriele H. M. and Palmer C. J., 2001. Influence of Soil on Fecal Indicator Organisms in a Tidally Influenced Subtropical Environment. *Applied and Environmental Microbiology*. 68(3):1165-1172.
- Dionisio L., G. Rheinheimer y J. Borrego (2000). Microbiological pollution of Ria Formosa (South of Portugal). *Marine Pollution Bulletin*, 40(2): 186-193.
- Dionisio L., García E., López L., Castro D. y Borrego J. (2001). Microbiological and sanitary quality of recreational seawaters of southern Portugal. *Water, Air and Soil Pollution*, 138:319:334.
- Gantzer A., A. Maul, J. M. Audic y L. Schwartzbrod (1998). Detection of infectious Enteroviruses, Enterovirus Genomes, Somatic Coliphages, and *Bacteroides fragilis* Phages in treated wastewater. *Applied and Environmental Microbiology*. 64(11): 4307-4312.
- Grabow, W.O.K., T.E. Neubrech, C.S. Holtzhausen y J. Jofre 1995. *Bacteroides fragilis* and *Escherichia coli* bacteriophages: excretion by human and animals. *Water Science Technology*. 31(5-6), 223-230.
- Gutiérrez-Gutiérrez O. Q. (1999). Análisis numérico y descripción barotrópica en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. FCM. UABC. 64 pp.

- IAWPRC Study Group on Health Related Water Microbiology (1991). Bacteriophages as model viruses in water quality control. *Water Research*, 25: 525-545.
- Jiang S., Noble R. y Chu W. (2000). Human Adenoviruses and Coliphages in urban runoff-impacted coastal waters of Southern California. *Applied and Environmental Microbiology*. 67(11): 4307-4312.
- Jiménez-González, R. (1989). Contaminación fecal en las principales playas de uso recreativo de la Bahía Todos Santos, B.C. durante la estación de verano de 1987. Tesis de licenciatura. FCM. UABC. 48 pp.
- Leclerc H., S. Edberg, V. Pierzo y J.M. Delattre (2000). Bacteriophages as indicators of enteric viruses and public health risk in groundwater. *Journal of Applied Microbiology*. 88:5-21.
- Mendoza-Espinosa, L. G. (2001). Reúso del agua en Ensenada, ¿sueño o realidad? *Divulgare*, año 9(35), julio-septiembre: 35:44.
- Mendoza-Espinosa, L. G. y Orozco-Borbón M. V. (2003). The reuse of wastewater in Ensenada, Baja California, Mexico, Proc. 4th International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. Noviembre 12-14, Cd. de México.

- Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering. Eds. Tchobanoglous G., Burton F., Stensel H. Treatment and Reuse. 4th Ed. Mc Graw Hill. New York, 110 pp.
- Morales-Chavez, R. (1984). Colorimetría de descargas de aguas industriales y domésticas en la zona de rompiente de la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis de licenciatura. UABC-FCM. 42pp.
- Noble, R. T., Dorsey J. H., Leecaster M. K., Mazur M., McGee C. D., Moore D., Orozco-Borbón V., Reid D., Schiff K., Vainik P. M. and Weisberg S. B. (2000). Southern California Bight 1998 Regional Monitoring Program: I. Summer Shoreline Microbiology. Southern California Coastal Water Research Project. Westminster, C.A., 78 pp.
- Orozco-Borbón, M. V. y Gutiérrez-Galindo, E. A. (1983). Contaminación fecal costera en la zona del Puerto de Ensenada, Baja California. Ciencias Marinas, 9(1): 27-34.
- 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 Delgadillo Hinojosa, F. (1989). Contaminación fecal en sedimentos superficiales de la Bahía de Todos Santos, Baja California. Ciencias Marinas, 15(1): 47-62.

- Pavía, E., (2000). Reporte general del laboratorio de Meteorología, depto. de Oceanografía Física, CICESE.
- Peña-Manjarrez, J. L. 1987. Contribución al estudio de fuentes de contaminación por materia orgánica y sus aportes a la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. UABC-FCM. 69pp.
- Rincón-Espinosa, R. (1996). Variación de detergentes en la planta de tratamiento del arroyo El Gallo y su aporte a la zona costera. Tesis de licenciatura. UABC-FCM. 58pp.
- Rodier, J. (1989) Análisis de las Aguas: Aguas Naturales, Aguas Residuales, Aguas de Mar. Editorial Omega., S.A., Barcelona, España, 1056 pp.
- Rolim-Mendoca, J. (2000). Sistemas de Lagunas de Estabilización. Editorial Mc Graw Hill, Bogota, Colombia, 365pp.
- Sañudo-Wilhelmy, S. A. y Suárez-Vidal C. E. (1984). Variación temporal de la descarga orgánica en las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, Baja California, México. Ciencias Marinas, 10(2): 107-118.
- Schwartebrod, L. (1995). Effect of human viruses on public health associated with the use of wastewater and sludge in agriculture and aquaculture. World Health Organization, Report WHO/EOS/95.19, Geneva, 182 pp.

- Seañez-Reyes. R. (2001). Aislamiento de bacteriófagos y su aplicación en la contaminación en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de maestría. UABC-FCM. 62pp.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1985). Manual de Microbiología del Agua. 3ª. Ed. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Desarrollo Técnico. Subdivisión de Investigación y Entrenamiento. México, D.F., 56 pp.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, 6 de enero de 1997.
- Segovia-Zavala J.A. y Orozco-Borbón M.V. (1986). Calidad bacteriológica del agua de mar en la zona costa noroccidental de Baja California, México. Ciencias Marinas. 12(1):93-102.
- Sinton Lester W., Finlay R.K. y Lynch P. A. (1999). Sunlight inactivation of Fecal Bacteriophages and bacteria in sewage-polluted seawater. Applied and Environmental Microbiology. 65(8): 3605-3613.
- Skraber S., Gantzer C., Maul A. y Schwartzbrod L. (2002). Fates of bacteriophages and bacterial indicators in the Moselle river (France). Water Research. 36:3629-3637.

- Turner S. J. and Lewis G.D. (1995). Comparison of F-specific bacteriophage, enterococci and faecal coliform densities through wastewater treatment process employing oxidation ponds. *Water Science & Technology*, 31:85-89.
- United Nations Environment Programme (1991). Epidemiological studies for environmental quality criteria for bathing waters, shellfish growing waters and edible marine organisms (activity D). MAP Technical Reports Series No. 53.
- Yahya, M. T., Straub T. M., Gerba C. P. and Magnolin A. B. (1991). Inactivation of bacteriophage MS-2 and poliovirus in copper, galvanized and plastic domestic pipes. *International Journal of Environmental Science*, 1: 76-86.
- Yanko, W. A., Jackson, J. L., Williams, F. D., Walker, A. S. and Castillo, M. S. (1999). An unexpected temporal pattern of coliphage isolation in groundwaters sampled from wells at varied distances from reclaimed water recharge sites. *Water Research*, 33(1), 53-64.

7. ANEXOS

ANEXO I

Tabla A-1.- Normas de calidad bacteriológica para aguas de uso recreativo (Noble *et al.*, 2000).

Indicador	Límite diario/100 MI	Límite mensual/100 mL
Coliformes totales	10,000	20% de las muestras >1,000
Coliformes fecales	400	200 (G.M.)*
Enterococos	104	35 (G.M.)*

*Promedio geométrico

Tabla A-2.- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores y bienes nacionales (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; 1997).

Indicador	Límite diario/100 MI	Límite mensual/100 mL
Coliformes fecales	2,000	1,000

Tabla A-3.- Criterio propuesto para calidad del agua usando colifagos (Dionisio *et al.*, 2000).

Indicador	80% de las muestras UFF/100MI	90% de las muestras UFF/100 mL
Colifagos	300	2,000

ANEXO II

Tabla A-4. Análisis de varianza entre meses para la estación de El Gallo.

	MS error	F	P
CT	0.565919	2.628341	0.061608
CF	0.207707	0.812289	0.557015
EF	0.317151	1.276822	0.318993
BT	0.653798	1.091849	0.40032

Análisis de varianza

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$
 $n = 23$.

Tabla A-5. Análisis de varianza entre meses para la estación de El Naranjo.

	MS error	F	P
CT	0.630479	5.696271	0.002897
CF	1.68598	1.155212	0.370534
EF	1.347092	1.491167	0.244418
BT	0.819209	2.448483	0.076025

Análisis de varianza

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$
 $n = 23$.

ANEXO III

Tabla A-6. Correlación de Pearso para cloro total entre bacteriofagos y coliformes totales en la estación de El Naranjo.

	Fagos	Ct	cloro libre	cloro total
Fagos	1.00	0.80	-0.37	-0.84
Ct	0.80	1.00	-0.57	-0.89
Cloro libre	-0.37	-0.57	1.00	0.58
cloro total	-0.84	-0.89	0.58	1.00

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$
n=20.

Tabla A-7. Correlación de Pearson para cloro total entre bacteriofagos y coliformes totales en la estación de El Gallo.

	Fagos	Ct	cloro libre	cloro total
Fagos	1.00	0.18	-0.18	0.00
Ct	0.18	1.00	-0.03	-0.35
Cloro libre	-0.18	-0.03	1.00	0.67
cloro total	0.00	-0.35	0.67	1.00

Las diferencias marcadas son significativas a $p < 0.05$
n=20.