

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE CIENCIAS MARINAS



**CONTAMINACION BACTERIOLOGICA EN EL LITORAL DE LA ZONA
FRONTERIZA MEXICO-E.U.A.**



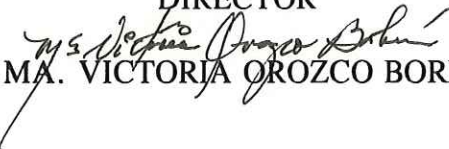
**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA
CLAUDIA MARISSA CALDERON TORRES.**

Ensenada, B.C., Octubre de 1993.

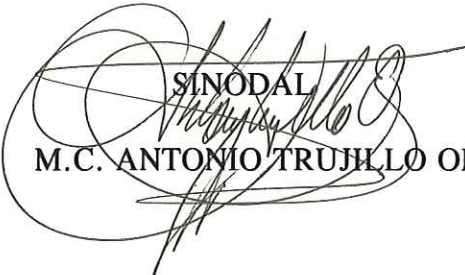
CONTAMINACION BACTERIOLOGICA EN EL LITORAL DE LA ZONA
FRONTERIZA MEXICO-E.U.A.

TEMA DE TESIS PRESENTADO POR:
CLAUDIA MARISSA CALDERON TORRES.

APROBADA POR:

DIRECTOR

Oc. MA. VICTORIA OROZCO BORBON.


SINODAL
M.C. ROXANA MORA RICO.


SINODAL
M.C. ANTONIO TRUJILLO ORTIZ.

DEDICATORIA

A mis padres con todo el amor y admiración que siento por ellos:

Blanca y Raúl.

A mis hermanos:

Gloria, Beatriz, Cecilia y a la sorpresa del pequeño Erick.

Por todo lo que conmigo compartieron durante mi carrera.

Al animoso Tío: Pichi.

A mi Querida Abuelita Q.P.D.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por la realización de los muestreos durante 1987, dentro del programa Estudios Costeros de Baja California (ECOBAC) en vinculación con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). Y para 1992 con la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana-Tecate (CESPT).

Y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a la realización del trabajo, especialmente a:

Oc. Ma. Victoria Orozco Borbón, por los consejos y paciencia en la elaboración de la tesis y por su amistad.

A mis Sinodales M.C. Roxana Rico Mora y M.C. Antonio Trujillo Ortíz, por su participación en la corrección y revisión del presente trabajo y por su tiempo prestado..

P. Oc. Ana Luisa Tovar Soto y P. Oc. Edgar Ortíz. Que me ayudaron con la parte de computación, y su apoyo.

M.C. Hector Pérez y Oc. Eva Hernández por su cariño, consejos y criticas siempre tan acertadas.

A mi amiga P. Oc. Silvia Cruz Bailón.

Oc. Fernando Soto por los tips.

A la Familia Valenzuela Mix, por todo el apoyo que me brindaron durante mi estancia en esta ciudad.

INDICE

Agradecimientos.	II
Lista de tablas.	IV
Lista de figuras.	VII
RESUMEN.	1
1. INTRODUCCION.	2
2. ANTECEDENTES.	10
3. MATERIALES Y METODOS.	13
3.1 Descripción del Area de Estudio.	13
3.2 Obtención y Tratamiento de las Muestras.	13
3.3 Análisis Estadístico.	17
3.4 Establecimiento de la Zona de Influencia.	19
4. RESULTADOS.	20
4.1 Descripción Anual (1987).	20
4.2 Descripción Anual (1992).	35
4.3 Descripción Global.	48
5. DISCUSION.	53
6. CONCLUSION.	62
7. LITERATURA CITADA.	63

LISTA DE TABLAS

	Pag.
I. Guías y estándares de calidad microbiológica del agua.	6
II. ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de tres vías para coliformes totales por línea de costa para 1987.	28
III. ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de tres vías para coliformes fecales por línea de costa para 1987.	29
IV. ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de tres vías para coliformes totales por zona geográfica para 1987.	30
V. ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de tres vías para coliformes fecales por zona geográfica para 1987.	31
VI. ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes totales en verano de 1987.	33
VII. ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes fecales en verano de 1987.	33
VIII. ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de	

	dos vías para coliformes totales en invierno de 1987.	34
IX.	ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes fecales en invierno de 1987.	34
X.	ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes totales por zona geográfica para 1992.	46
XI.	ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes fecales por zona geográfica para 1992.	46
XII.	ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes totales por línea de costa para 1992.	47
XIII.	ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes fecales por línea de costa 1992.	47
XIV.	Valores de mediana, mínimos y máximos de bacterias coliformes totales y fecales (NMP 100^{-1} ml) 1987, 1992.	49
XV.	Determinación de bacterias coliformes totales y fecales (NMP 100^{-1} ml) en la planta de tratamiento de Punta Bandera 30 de octubre de 1992.	56

XVI.	Determinación de cloro libre residual en el efluente de la descarga de la planta de tratamiento de Punta Bandera en 1993.	56
XVII.	Datos de precipitación pluvial para 1992 registrados en la presa Abelardo Rodríguez de Tijuana, proporcionados por la Comisión Nacional Del Agua.	58

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Fig. 1. Distribución de estaciones de muestreo para 1987.	14
Fig. 2. Distribución de estaciones de muestreo para 1992.	16
Fig. 3. Distribución de coliformes totales (NMP 100^{-1} ml) para verano de 1987.	21
Fig. 4. Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para verano de 1987.	22
Fig. 5. Distribución de coliformes totales (NMP 100^{-1} ml) para invierno de 1987.	23
Fig. 6. Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para invierno de 1987.	24
Fig. 7. Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, verano 1987.	25
Fig. 8. Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, invierno 1987.	27
Fig. 9. Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 18 Marzo de 1992.	36
Fig. 10. Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 25 Marzo de 1992.	37
Fig. 11. Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 31 Marzo de 1992.	38

Fig. 12. Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 7 Abril de 1992.	39
Fig. 13. Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 14 Abril de 1992.	40
Fig. 14. Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 18 Marzo 1992.	41
Fig. 15. Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 25 Marzo 1992.	42
Fig. 16. Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 31 Marzo 1992.	43
Fig. 17. Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 7 Abril 1992.	44
Fig. 18. Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 14 Abril 1992.	45
Fig. 19. Concentración de coliformes totales 1987.	50
Fig. 20. Concentración de coliformes fecales 1987.	50
Fig. 21. Concentración de coliformes totales 1987.	51
Fig. 22. Concentración de coliformes fecales 1987.	51
Fig. 23. Concentración de coliformes totales 1992.	52
Fig. 24. Concentración de coliformes fecales 1992.	52
Fig. 25. Concentración de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) 13 de Marzo de 1992. proporcionados por Environ- mental Health Services.	60

Resumen

Se realizaron estudios en el litoral de la zona fronteriza México-E.U.A., durante muestreos llevados a cabo en invierno y verano de 1987 e invierno de 1992, en una área aproximada de 74 km², con 36 estaciones de muestreo en 1987 y 25 estaciones en 1992, distribuidas en transectos perpendiculares a la costa para determinar y evaluar si la contaminación bacteriológica en la zona era ocasionada por la descarga de aguas residuales de la planta de tratamiento de Punta Bandera ($130 \times 10^6 \text{ l d}^{-1}$) provenientes de la Ciudad de Tijuana, B.C. Se utilizaron como organismos indicadores de contaminación a las bacterias coliformes totales y fecales con la técnica del Número Más Probable. Los valores máximos se presentaron en la descarga de Punta Bandera cuya influencia no llegó a impactar las playas de E.U.A., considerandose que son contaminadas por la descarga del Estuario Río Tijuana. La comparación entre años evidenció una disminución de la zona de influencia en cuanto a distancia a la línea de costa que pasó de 4 km en 1987 a 1 km en 1992 como resultado de la cloración en el sistema de tratamiento. Se concluye que la descarga de Punta Bandera no es la causa de contaminación de las playas de San Diego, California.

1. INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales más valiosos, ya que es el componente principal y de mayor abundancia en los seres vivos, además por su participación en reacciones importantes como fotosíntesis, ciclos biogeoquímicos, etcétera.

Cuando se presenta contaminación del agua por el vertimiento de aguas residuales sin tratar en cuerpos receptores como el océano, frecuentemente se manifiestan enfermedades como hepatitis, cólera y fiebre tifoidea (Fuenzalida-Puelma, 1991) en bañistas (Cabelli, 1979; Moriñigo et al., 1989; 1990) y consumidores de moluscos bivalvos (Hood et al., 1983; Araya y Cortés, 1988; Jehl-Pietri et al., 1991; Corre et al., 1991).

A principios de este siglo, diversas instituciones de salud vieron la necesidad de llevar a cabo estudios que permitieran determinar la presencia de organismos causales de enfermedad en aguas contaminadas por descargas de aguas residuales. En 1920, la Asociación de Salud Pública de Estados Unidos estudió la incidencia de enfermedades infecciosas transmitidas en piscinas y agua de mar. Pero fue hasta 1924, después de la dispersión de una epidemia de fiebre tifoidea en New York, cuando hubo un mayor interés de las autoridades

sanitarias de Estados Unidos para determinar el origen de la enfermedad; estudios revelaron que la causa fueron los moluscos bivalvos contaminados con aguas residuales, cuyo aporte de microorganismos (bacterias, protozoarios, etc.) es considerable.

Winslow y Monxon en 1928 (citado por Salas, 1989), en un estudio de contaminación llevado a cabo en el Puerto de New Haven E.U.A., mencionan que aguas contaminadas utilizadas para la actividad de la natación eran fuente de la fiebre tifoidea; en la investigación se sugirió por primera vez la aplicación efectiva de guías bacteriológicas (valor máximo aceptable de coliformes 100^{-1} ml) para aguas marinas recreativas; sin embargo, no dieron ninguna base científica para dichas guías. Por lo que a fin de determinar los riesgos que para la salud implica la práctica de la natación en aguas contaminadas se consideró necesario realizar estudios epidemiológicos (Salas, 1989).

Epidemias asociadas a los moluscos bivalvos contaminados en diversas partes del mundo, principalmente en países europeos, fueron alarma suficiente para que diversos sectores de la población pidieran a las autoridades gubernamentales el desarrollo de normas que regularan la calidad del agua y establecieran un control de las especies de moluscos bivalvos

de uso comercial para evitar riesgos de contraer enfermedades. Como resultado de esa petición, en 1925 se llevó a cabo la primera conferencia de control sanitario del cultivo de moluscos bivalvos en Washington D.C. (F.D.A., 1986). A la par se establecieron técnicas de muestreo y cuantificación para

el análisis bacteriológico del agua que fueron publicadas por primera vez en 1936 como "Métodos Estándares de Análisis de Agua" (Stevens y Gentzkow, 1944).

Posteriores Investigaciones demostraron que la determinación de bacterias coliformes es la más práctica y sencilla en comparación con la de organismos patógenos como *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi*, *Shigella* spp. etc. La presencia constante de bacterias coliformes en aguas residuales se asoció a la materia fecal de humanos y de animales de sangre caliente, fuente de organismos patógenos altamente nocivos para la salud, que ocasionan infecciones gastrointestinales así como infecciones de ojos, nariz y garganta, por lo que se consideró a las bacterias coliformes como indicadores de contaminación bacteriológica en aguas de uso recreativo y de cultivo de moluscos bivalvos (Mc Junkin, 1986).

Así, los diversos estándares internacionales que nos permiten conocer la calidad del agua de ambientes marinos

(Tabla I), utilizan al grupo de las coliformes como organismos indicadores de contaminación bacteriológica.

Estudios recientes critican la utilidad de estos microorganismos, ya que no se ha establecido una curva de dosis-respuesta entre la tasa de incremento de la enfermedad infecciosa y los niveles del organismo indicador (Gareth-Rees, 1993).

Se ha propuesto que los estreptococos fecales son mejores indicadores por ser más resistentes al estrés ambiental y tener una sobrevivencia mayor en el medio marino que *Escherichia coli* (Barcina, et al., 1990); Sin embargo, otros autores consideran que no son la mejor alternativa (Poucher, et al., 1991). Esta controversia generó dos líneas de trabajo, una a favor de las guías y estándares bacteriológicos ya establecidos y otra a favor de los Etreptococos fecales, por lo que, mientras no haya una definición al respecto, se puede seguir usando a *Escherichia coli* como un indicador de contaminación en aguas recreativas y en áreas productoras de moluscos bivalvos hasta que no existan criterios adicionales apropiados para proponer cambios en la clasificación de los estándares (Orozco-Borbón y Ornelas-Pérez, 1993).

TABLA I Guías y estándares de calidad microbiológica del agua.
(Tomado de Salas, 1989). Col= coliformes

Cosecha de mariscos			Aguas de uso recreativo de contacto primario		
País o entidad	Col. totales	Col. fecales	Col. totales	Col. fecales	Otros micro- organismos
Estados Unidos	14 (b)				35 (b,c)
*E.P.A.,	70 (d)		80%<1000 (e,f)	200 (b,f)	
California	90%<230		100%<10000 (g)	90%<400 (h)	
Comunidad Económica Europea			500 (j) 10000 (k)	100 (j) 200 (k)	100 (j,l) 0/L(k,m) 0 PFU/L(k,o)
Brasil			80%<5000 (p)	80%<1000 (p)	
Cuba			1000 (b)	200 (b) 90%<400	
México	70 (d) 90%<230		80%<1000 (f) 100%<10000 (g)		
Perú	80%<1000	80%<200	80%<5000 (q)	80%<1000 (q)	
Puerto Rico	70 (r) 80%<230			200 (r) 80%<400	
Venezuela	70 (b) 90%<230	14 (b) 90%<43	90%<1000 100%<5000	90%<200 100%<400	
Francia			<2000	<500	<100 (s)
Israel			80%<1000 (s)		
Japón	70		1000		
Polonia					<1000 (t)
Unión Soviética					<100 (t)
Yugoslavia			2000		

* E.P.A. Agencia para la protección del Medio Ambiente, California; a) NMP/100 ml; b) Media logarítmica para un período de 30 días de por lo menos cinco mts; c) Enterococos; d) Media mensual; e) Período de 30 días; f) Dentro de una zona situada entre el litoral y una distancia de 1000 pies o la curva de nivel de 30 pies aunque este más lejos del litoral; h) Ninguna mta. aislada tomada durante un período verificativo de 48 hrs. debe exceder de 10000 col. totales/100 ml; h) Período de 60 días; i) Frecuencia mín. de mteo. quincenal; j) Guía; K) Obligatorio; i) Estreptococos fecales; m) Salmonelas; n) PFU= Unidad formadora de colonias; o) Enterovirus; p) Aguas "satisfactorias", mts. obtenidas en cada una de las cinco semanas ant; q) Por lo menos cinco mts. por mes; r) Por lo menos cinco mts. tomadas secuencialmente en un momento dado; s) Mín. de 10 mts. por mes; t) *Escherichia coli*.

El agua es un recurso natural que ha sido sobreutilizado, lo que ha ocasionado problemas de contaminación ambiental y agotamiento del recurso en algunas zonas; por eso, a partir de la década de los setentas, los países industrializados establecieron restricciones para su uso y desarrollaron metodologías de identificación y detección de contaminantes (Jouliá-Lagares, 1988).

En los países en vías de desarrollo el manejo y control de este recurso ha sido mínimo; la no realización de investigaciones adecuadas sobre las causas y efectos de la contaminación (Morello y Hortt, 1987) los han obligado a adoptar las estrategias de control de países avanzados para su mejor aprovechamiento y conservación.

En México, en el estado de Baja California, cuya economía se ha desarrollado bajo un sistema dependiente de la economía estadounidense, los problemas ambientales así como los económicos y sociales son consecuencia de las políticas de desarrollo que han llevado a la captación de capitales en forma de maquiladoras, bienes de consumo, con un intercambio desigual entre sus fronteras.

En la ciudad de Tijuana, Baja California, el incremento poblacional del 200% en 10 años y la población flotante,

resultado de la migración de habitantes de algunos estados del interior de la República, han generado serios problemas de vivienda, desabasto de agua potable, servicios de alcantarillado y drenaje. De este último, sólo el 65.1% de la población cuenta con el servicio (Hernández-Gómez, 1990; Consejo Nacional de Población, Gob. del Estado de Baja Calif., 1992).

La disposición de sus aguas residuales depende de un sistema de bombeo que concentra los desechos en un colector principal en la parte más baja de la ciudad que se envían a la planta de tratamiento en Punta Bandera. En caso de emergencia una parte es enviada a los Estados Unidos para su tratamiento en la planta de Point Loma, resultado de un convenio firmado entre México y Estados Unidos (Sánchez-Rodríguez, 1990). Las autoridades norteamericanas han protestado en algunas ocasiones ya que aseguran que la capacidad de la planta en Point Loma, California, está saturada y no puede tratar las aguas provenientes de la Ciudad de Tijuana.

Se cree que la descarga de la planta de tratamiento en Punta Bandera y por otra parte la del Río Tijuana al Estuario Río Tijuana sean las causas principales de la contaminación bacteriológica y del cierre permanente de las playas de Imperial Beach y Silver Strand del Condado de San Diego,

California, E.U.A. (Patrón- Mass, 1992).

La anterior situación ha generado un conflicto entre México y Estados Unidos que hace necesaria la realización de estudios orientados a evaluar la calidad bacteriológica del litoral entre ambos países. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad sanitaria del agua en la franja costera entre la frontera México-E.U.A. y Rosarito, B.C. para determinar la zona de influencia de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana y su posible efecto en las playas contiguas a la frontera con México, analizando al grupo de bacterias coliformes.

2. ANTECEDENTES

Las aguas residuales de la ciudad de San Diego en Point Loma, California, E.U.A. y las de la ciudad de Tijuana en Punta Bandera, Baja California, México, son las fuentes de contaminación más importantes en la región fronteriza que comprende el área de estudio.

En cuanto a la planta de tratamiento de aguas residuales de Point Loma, California, E.U.A., ésta es de tipo primario avanzado ya que utiliza sustancias químicas como cloruro férrico y un polímero aniónico para la floculación y sedimentación rápida del material en suspensión. Su eficiencia es del 80 y 90% para DBO y sólidos sedimentables respectivamente (Quero-Santiago, 1992). Sin embargo, la agencia de protección ambiental estadounidense (EPA) encontró que la descarga de Point Loma no cumple con los requisitos federales para la calidad de agua en grasas y aceites, sólidos sedimentables, turbulencia, oxígeno disuelto y bacterias coliformes, por lo que playas contiguas a la planta de tratamiento de Point Loma frecuentemente rebasan los límites de calidad de agua para coliformes fecales (Sánchez-Rodríguez, 1990).

La capacidad de la planta de tratamiento de Point Loma es

de 680.4×10^6 día⁻¹ (180 MGD), sus desechos se descargan por medio de un emisor localizado a 3.5 km de la costa y a una profundidad de 60 m. Básicamente utiliza la termoclina como barrera física, que es muy marcada en invierno, por lo que los desechos son transportados tanto al norte como al sur y a lo largo de las isobatas, principalmente la de los 60 m, por las corrientes subsuperficiales (Hendricks, 1975; 1976; 1977).

Con respecto a México, la principal fuente de contaminación de la zona costera son las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., cuya descarga es de 132×10^6 día⁻¹ (35 MGD) además de una descarga de 6×10^3 ton de sólidos (SCCWRP, 1989) y que se realiza a cielo abierto sobre la línea de costa a 9 km al sur de la línea fronteriza México-E.U.A.

Investigaciones sobre el comportamiento y variabilidad de la calidad y carga orgánica de las aguas negras de Tijuana B.C., (Sañudo-Wilhelmy y Suárez-Vidal, 1982; Nishikawa, et al., 1984), mencionan un alto contenido de materia orgánica (462.33 mg l⁻¹). La dispersión de esta descarga en el mar es preferentemente paralela a la costa y en dirección sur debido al patrón de circulación en la zona de corrientes y subcorrientes en esa dirección, que ocasionalmente se invierte hacia el norte en verano y otoño (Shepar, 1950). Estudios de coeficientes de difusión en Playas de Tijuana, llevados a cabo

por Godínez-Sandoval (1986) y Bravo-Chávez (1989), mencionan tres formas de circulación; sur, norte y este, siendo la del sur la que ocurre con mayor frecuencia; el coeficiente de difusión paralelo a la costa es dos órdenes de magnitud mayor al coeficiente perpendicular a la costa, por lo que la difusión es mayor en la dirección del flujo, es decir al sur.

Con lo anterior, Morales-Chávez y Romero-Manzano (1986), observaron que la distribución de bacterias coliformes frente a la descarga de aguas negras en Punta Bandera, se extendió de 5-8 km a lo largo y de 2-3 km a lo ancho de la costa, por lo que proponen que la dispersión de bacterias coliformes provenientes de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana es hacia el sur.

En un estudio más reciente, Patrón-Mass (1992) reportó altas concentraciones de coliformes frente al emisor de Punta Loma, California, E.U.A. y alrededor de las Islas Coronado, México, en la isobata de los 60 m, debido al transporte norte a sur de bacterias en las aguas del litoral fronterizo de norte a sur. Así mismo, Quero-Santiago (1992) encontró, para el año de 1990, valores máximos de bacterias coliformes en las Islas Coronado provenientes de los sedimentos transportados en la isobata de los 60 m de la descarga del emisor en Punta Loma, California, E.U.A.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del Area de Estudio

La zona de estudio se encuentra localizada en la costa noroccidental de Baja California, entre los $32^{\circ}22'45''$ y $32^{\circ}31'15''$ de latitud Norte y $117^{\circ}05'15''$ y $117^{\circ}10'20''$ de longitud Oeste (Fig.1) y está delimitada al norte por la línea fronteriza México-E.U.A. y al sur por Playas de Rosarito, abarcando una área aproximada de 74 km^2 . La zona se caracteriza por ser expuesta y de alta energía, de profundidades menores a 40 m, con una línea de costa casi recta constituida, en su mayoría, por playas rocosas y acantilados (Bravo-Chávez, 1988; Patrón-Mass, 1992).

3.2 Obtención y Tratamiento de las Muestras

Con el objetivo de detectar gradientes horizontales y estimar la dispersión de la pluma contaminante de las aguas residuales de Tijuana, B.C., personal del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C. realizó, durante los años 1987 y 1992, una serie de muestreos en transectos perpendiculares a la costa siguiendo las corrientes superficiales y las aguas de desecho.

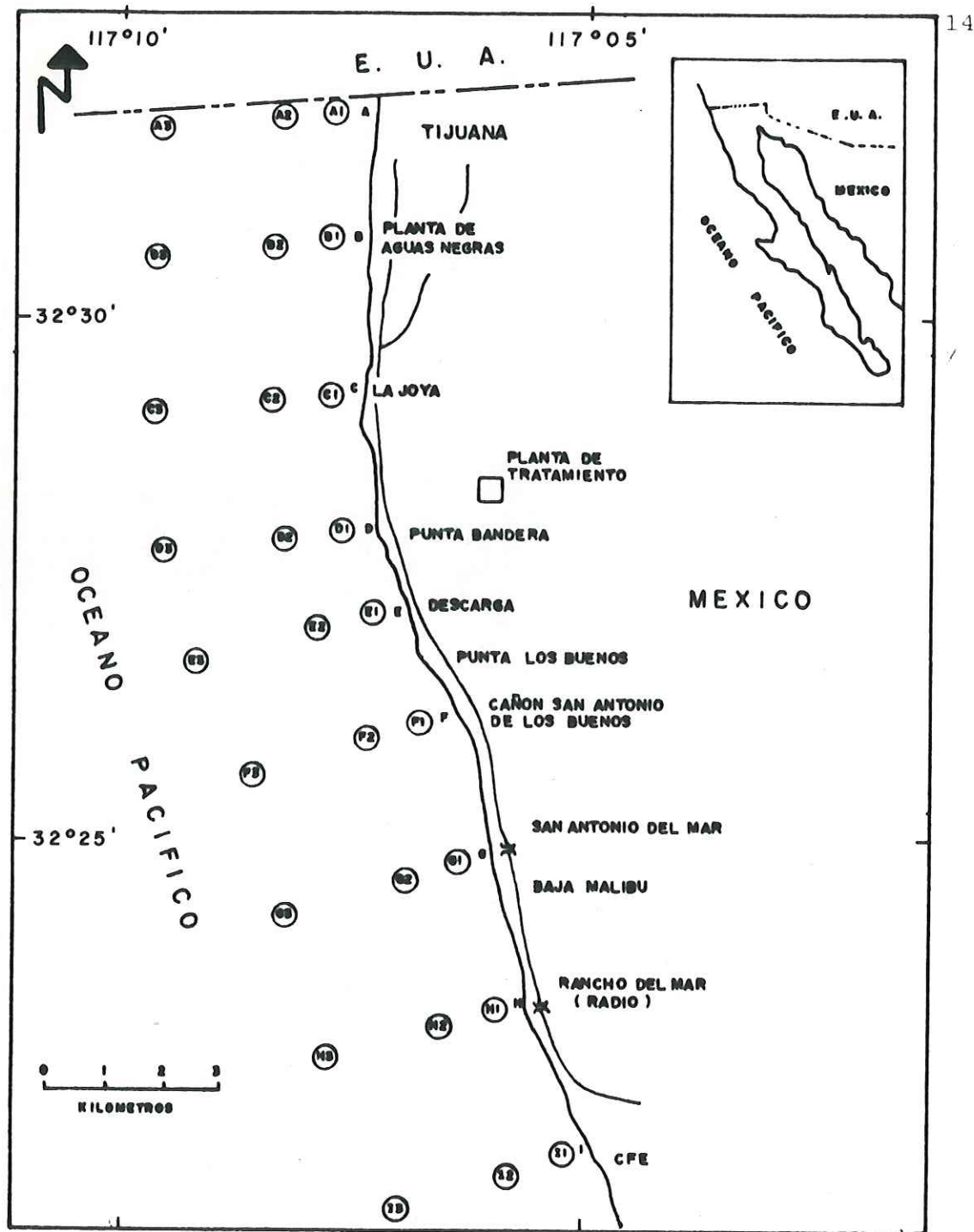


Fig. 1.- Distribución de estaciones de muestreo para 1987.

Los muestreos superficiales de 1987 se efectuaron en la franja costera comprendida entre la línea fronteriza México-E.U.A. y 20 km al sur de la misma del 5 al 7 de Febrero y del 30 de Junio al 2 de Julio. Se establecieron 36 estaciones distribuídas en nueve transectos perpendiculares a la costa (A-I) y a una distancia de 0.0, 0.5, 1.5, y 3.5 km de la costa. Todas las estaciones se muestrearon diariamente (Fig. 1). Para 1992 se trabajó en la franja costera comprendida entre la línea fronteriza México-E.U.A. y 9 km al sur de la misma durante el período 18 de Marzo-14 de Abril, realizandose cinco muestreos superficiales con duración de un día. Se muestreó un total de 25 estaciones por día, a una distancia de 0.0, 0.5, 1.0, 3.0 y 5.0 km de la costa, las cuales se distribuyeron en cinco transectos perpendiculares a la costa A-E (Fig. 2).

Las muestras fueron colectadas en botella de vidrio esterilizadas en autoclave por 30 min. a 121°C y 15 lb de presión. Se colocaron en hielo y fueron trasladadas al Laboratorio de Bacteriología del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, para su análisis inmediato.

La determinación de bacterias coliformes totales y fecales

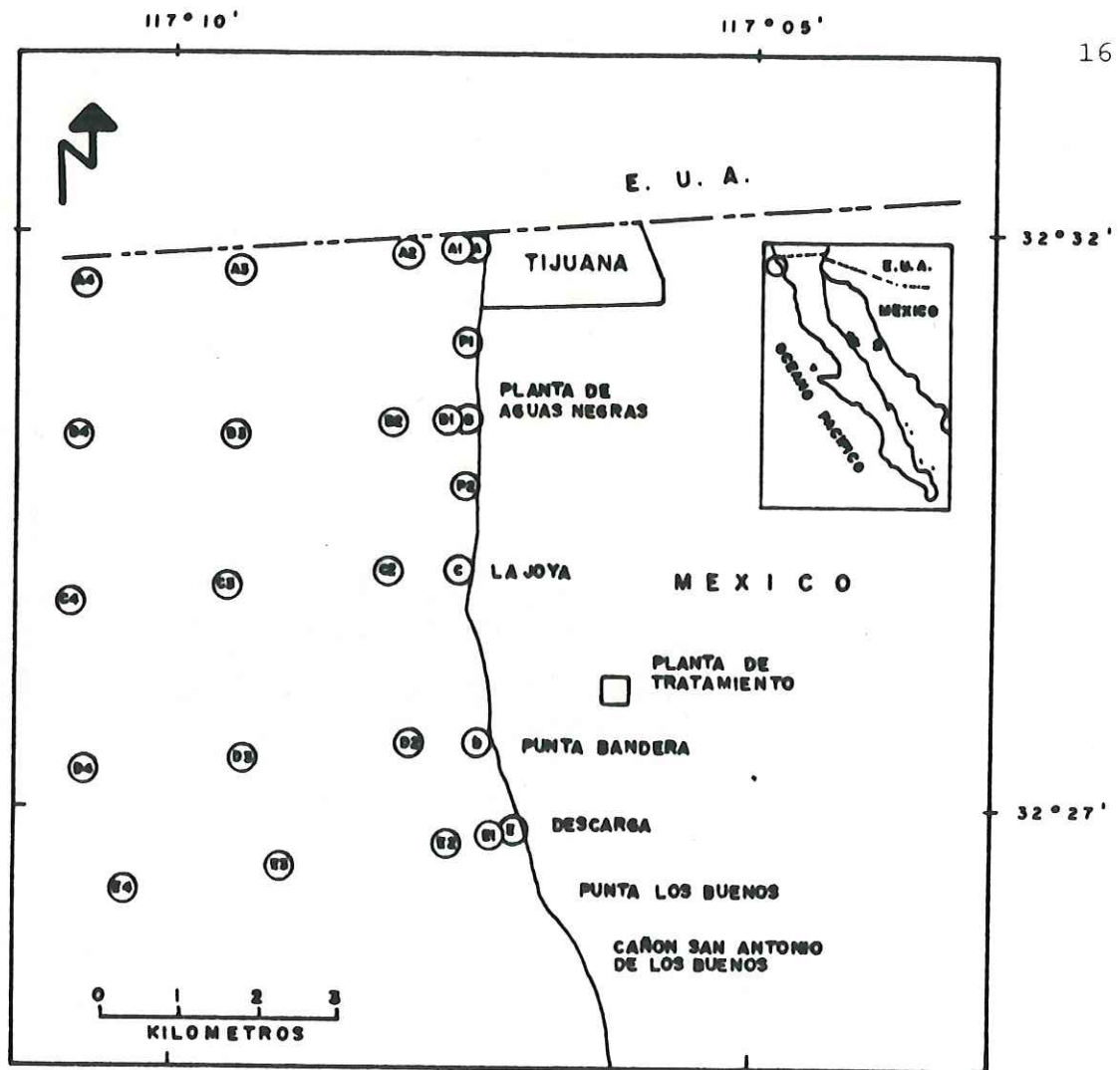


Fig. 2.- Distribución de estaciones de muestreo para 1992.

se hizo de la manera siguiente: a) Inoculación de la muestra en caldo lactosado e incubación a 35°C por un período de 48 horas; la formación de gas en los tubos indicó la presencia de bacterias coliformes (prueba presuntiva); b) Verificación mediante la inoculación de una muestra del cultivo anterior en medio Verde Bilis Brillante al 2% (VBB) incubación a las condiciones anteriores la formación de gas en la muestra confirma la presencia de coliformes; c) La inoculación en medio *Escherichia coli* (EC) se llevó a cabo para determinar además la presencia de bacterias coliformes fecales, la incubación fue en baño de agua por 24 horas a 44.5°C. La cuantificación de bacterias en estos medios se hizo a través del método de Número Más Probable (NMP), con series de 5 tubos (APHA, 1985).

3.3 Análisis Estadístico

Debido a las variaciones en las fechas de muestreo y la no correspondencia entre las distancias de costa de las estaciones establecidas en 1987 con respecto a 1992, el análisis de datos se hizo de manera separada para cada año de muestreo.

Para decidir qué tipo de análisis estadístico utilizar, paramétrico o no paramétrico, se realizaron pruebas de

normalidad y homogeneidad de varianza a los datos según los métodos de Kolmogorov-Smirnov y de Bartlett, respectivamente (Sokal y Rolhf, 1979).

Con el fin de detectar diferencias en los valores de bacterias coliformes totales y fecales entre los meses del año, así como entre la línea de costa y la distancia de la costa, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de tres y dos vías. Como los datos no fueron normales, se utilizó una extensión del método de Kruskal-Wallis de una vía, opción no paramétrica (*Trujillo-Ortíz, com. pers.).

Debido a que los valores de la descarga (0 km) de la planta de tratamiento en Punta Bandera (Transecto E) fueron muy altos en comparación con las demás estaciones, se eliminó este transecto de los análisis de ANOVA para evitar estimaciones sesgadas. El transecto E se analizó por separado y se hizo una comparación entre los dos años de muestreo considerando únicamente los datos del efluente (0 km), utilizando el análisis de dos muestras no paramétrico de Wilcoxon (Sokal y Rolhf, 1979).

*M.C. Antonio Trujillo-Ortíz, Facultad de Ciencias Marinas.

3.4 Establecimiento de las Zonas de Riesgo

Las zonas de riesgo se determinaron en base a los valores de concentración de bacterias coliformes fecales. Considerando el límite de detección (<2 CF/100 ml) del NMP y el valor establecido por la legislación mexicana para aguas de uso recreativo con contacto primario (200 CF/100 ml) se definieron las siguientes zonas: "muy contaminada", aquella donde se encontraron valores mayores a 20,000 CF/100 ml; "contaminada", en un intervalo de valores iguales o mayores a 200 pero menores a 20,000 CF/100 ml; "de influencia", en un intervalo de valores entre 2 y 200 CF/100 ml; y "limpia" aquella que presentó valores menores

4. RESULTADOS

4.1 Descripción Anual (1987)

La distribución promedio superficial de coliformes totales y fecales en el verano e invierno de 1987 se observa en las figuras 3 a 6. Los valores máximos ($100,000 \text{ bact } 100^{-1}\text{ml}$) se presentaron cerca de la descarga de la planta de tratamiento de la Ciudad de Tijuana, B.C., en Punta Bandera, y disminuyen conforme se alejan en sentido paralelo y perpendicular a la costa.

En verano la dispersión de bacterias coliformes fue paralela a la línea de costa, mientras que la dispersión perpendicular a la costa fue mayor que en invierno (Figs. 3 y 4). Las zonas de riesgo se presentan en la figura 7, donde la zona "muy contaminada", de 2.166 km^2 , fue ligeramente más pequeña que en invierno, la zona "contaminada" se incrementó a 46.86 km^2 y se extendió desde Rosarito, B.C., al límite internacional con Estados Unidos, donde se presentaron concentraciones tres veces mayores a las permitidas por la legislación mexicana, mientras que la zona "de influencia" fue de 12.5 km^2 .

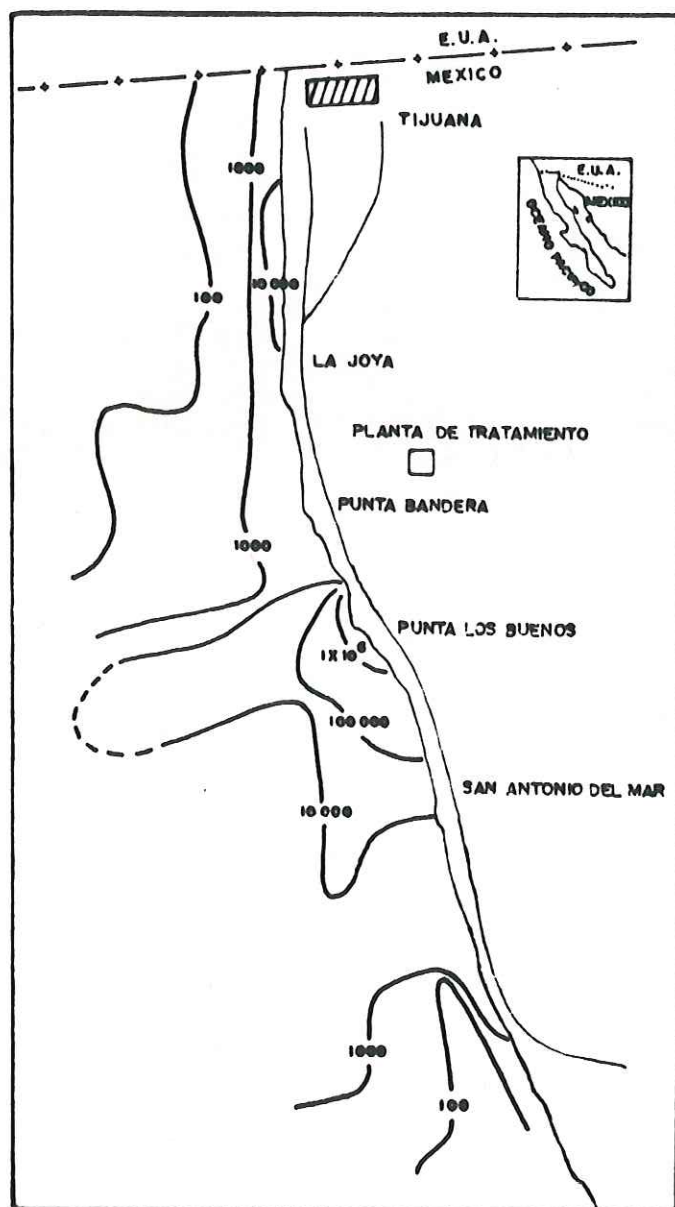


Fig. 3.- Distribución de coliformes totales (NMP 100⁻¹ ml) para verano de 1987.

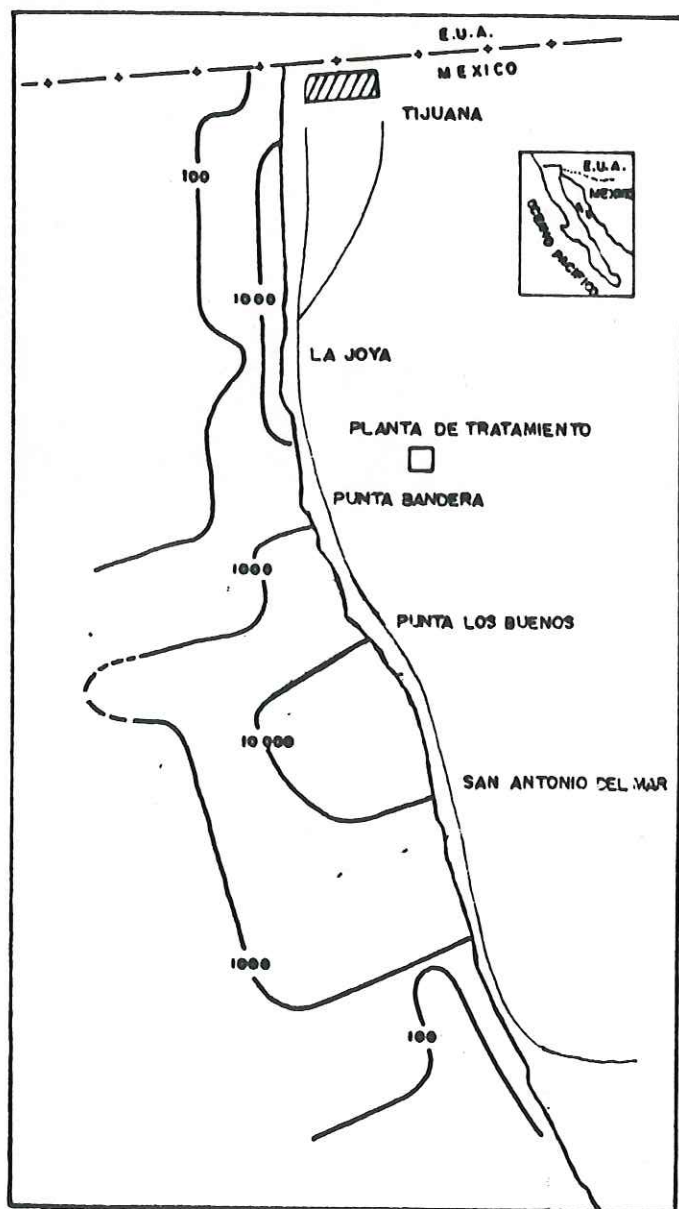


Fig. 4.- Distribución de coliformes fecales (NMP 100⁻¹ ml) para verano de 1987.

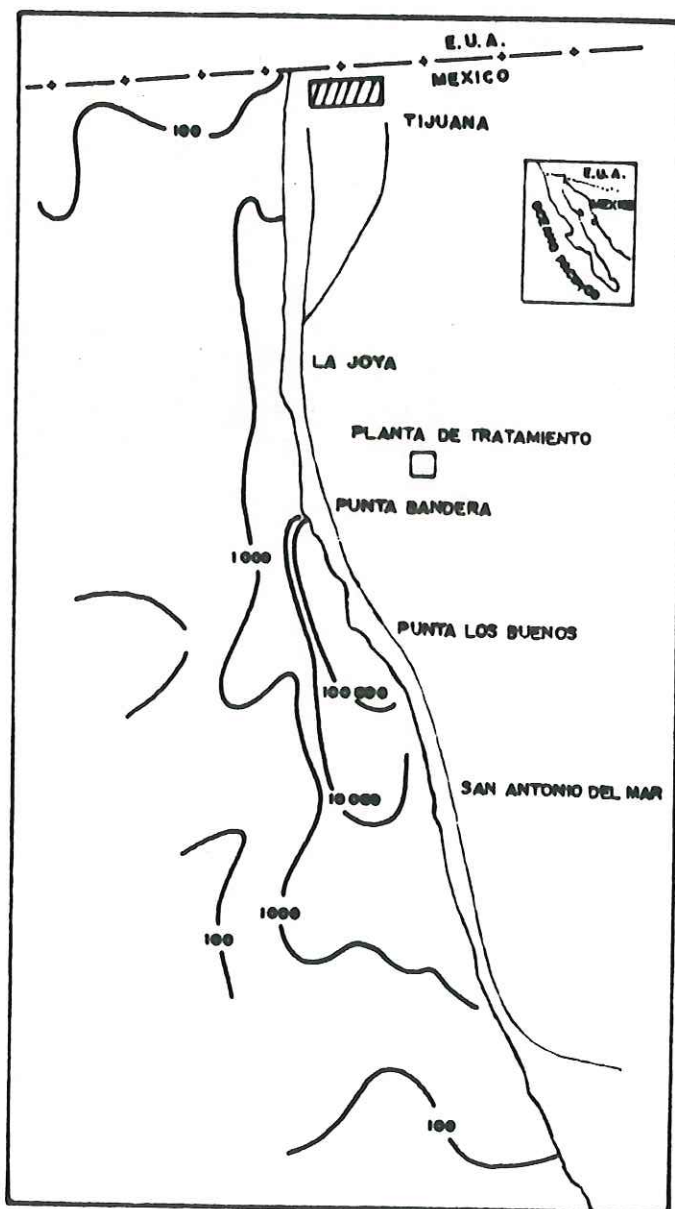


Fig. 5.- Distribución de coliformes totales (NMP 100⁻¹ ml) para invierno de 1987.

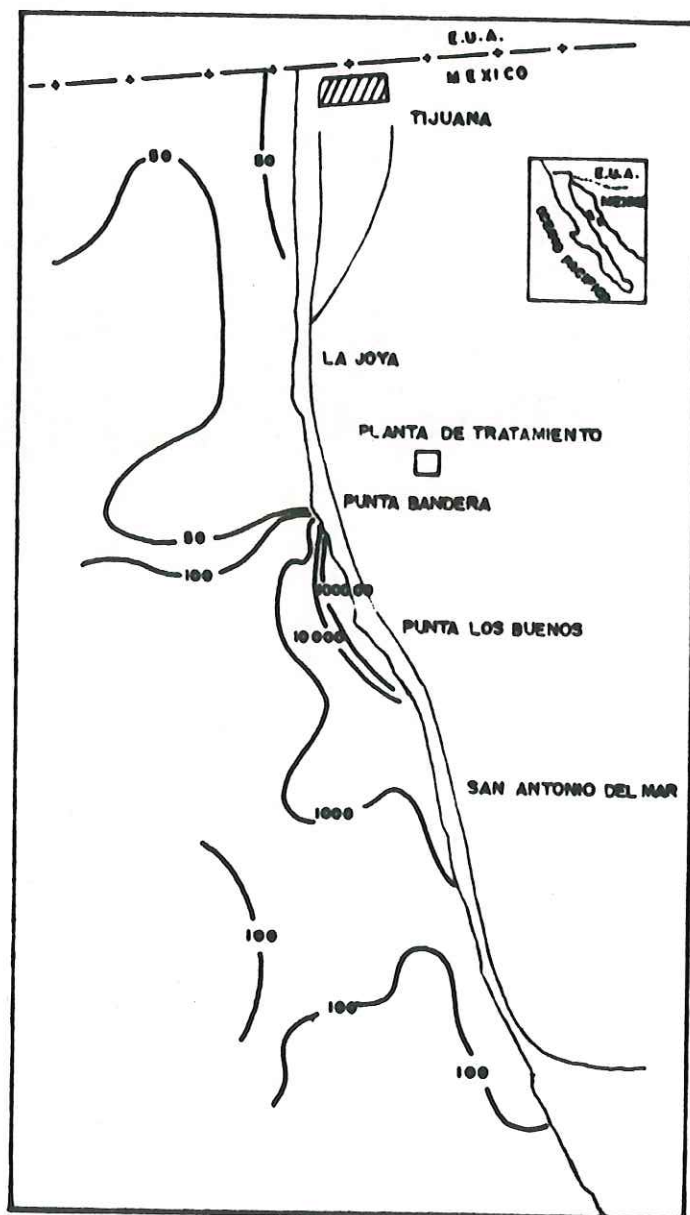


Fig. 6.- Distribución de coliformes fecales (NMP 100⁻¹ ml) para invierno de 1987.

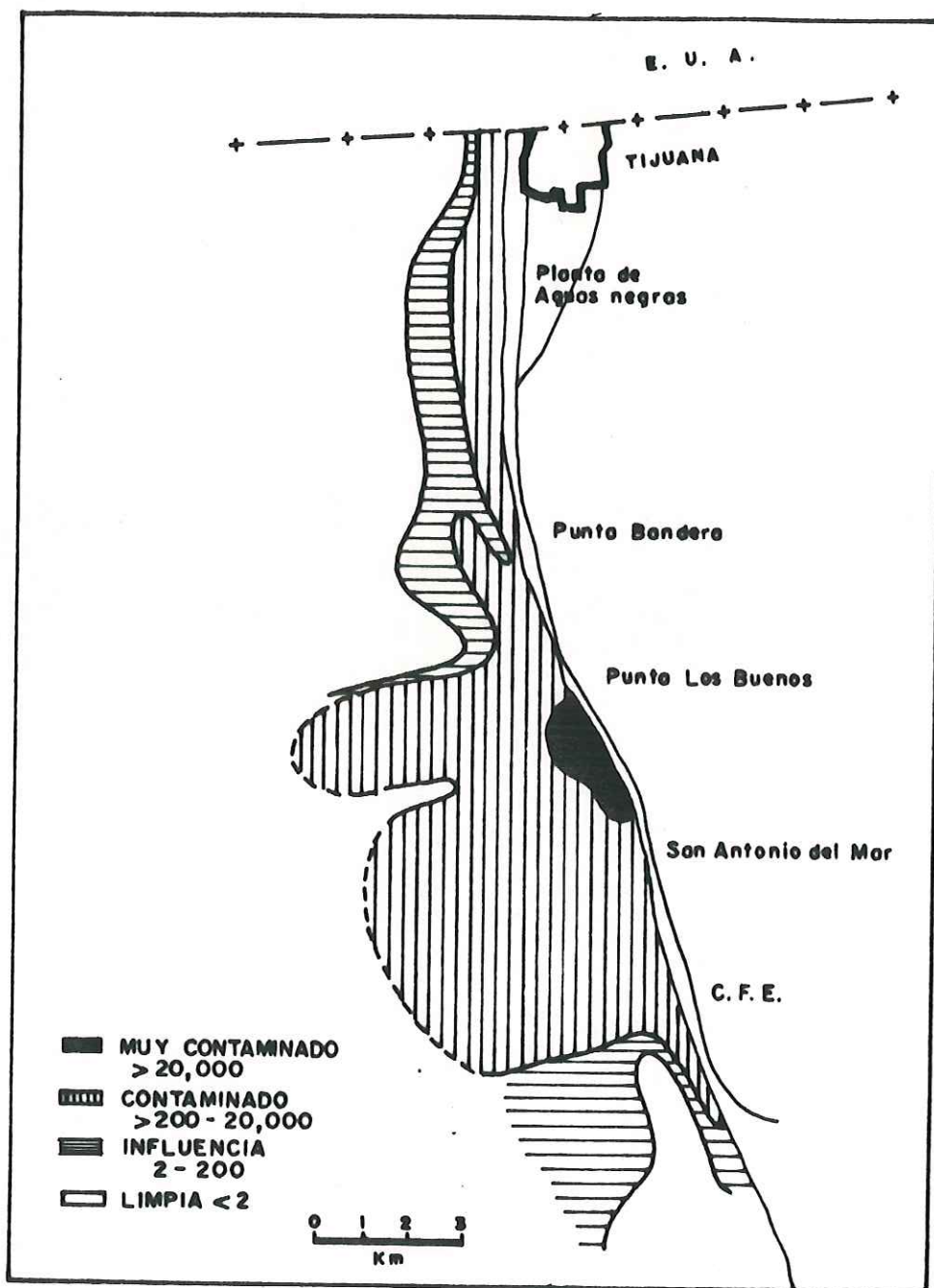


Fig. 7.- Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, verano 1987.

En invierno hubo una mayor dispersión de bacterias en la línea paralela a la costa (Figs. 5 y 6). La zona de influencia, establecida en base a las coliformes fecales (Fig. 8), muestra una dispersión similar y orientada hacia el sur.

La zona "muy contaminada" se presentó en la región cercana a la descarga de la planta de tratamiento de Punta Bandera con una área de 2.841 km². La zona "contaminada", de 10.88 km², se extendió desde Punta Bandera a la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) en Rosarito B.C., mientras que la zona "de influencia", que abarcó 67.462 km² se manifestó en dos sitios con diferentes fuentes de aguas residuales: 1) de Playas de Tijuana hasta La C.F.E. (efecto de la descarga en Punta Bandera) y 2) línea fronteriza México-E.U.A. a Playas de Tijuana, debido probablemente a descargas no puntuales en ese transecto o a fuentes externas (descarga del Estuario Río Tijuana).

De los resultados obtenidos es evidente la diferencia en la dispersión de bacterias coliformes entre el verano y el invierno. En los ANOVAS no paramétricos de Kruskal-Wallis de tres vías realizados con los valores de coliformes totales y fecales a un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$) (Tablas II a V) se detectaron diferencias globales entre líneas de costa y zonas geográficas ($p < 0.05$), pero no se evidenciaron

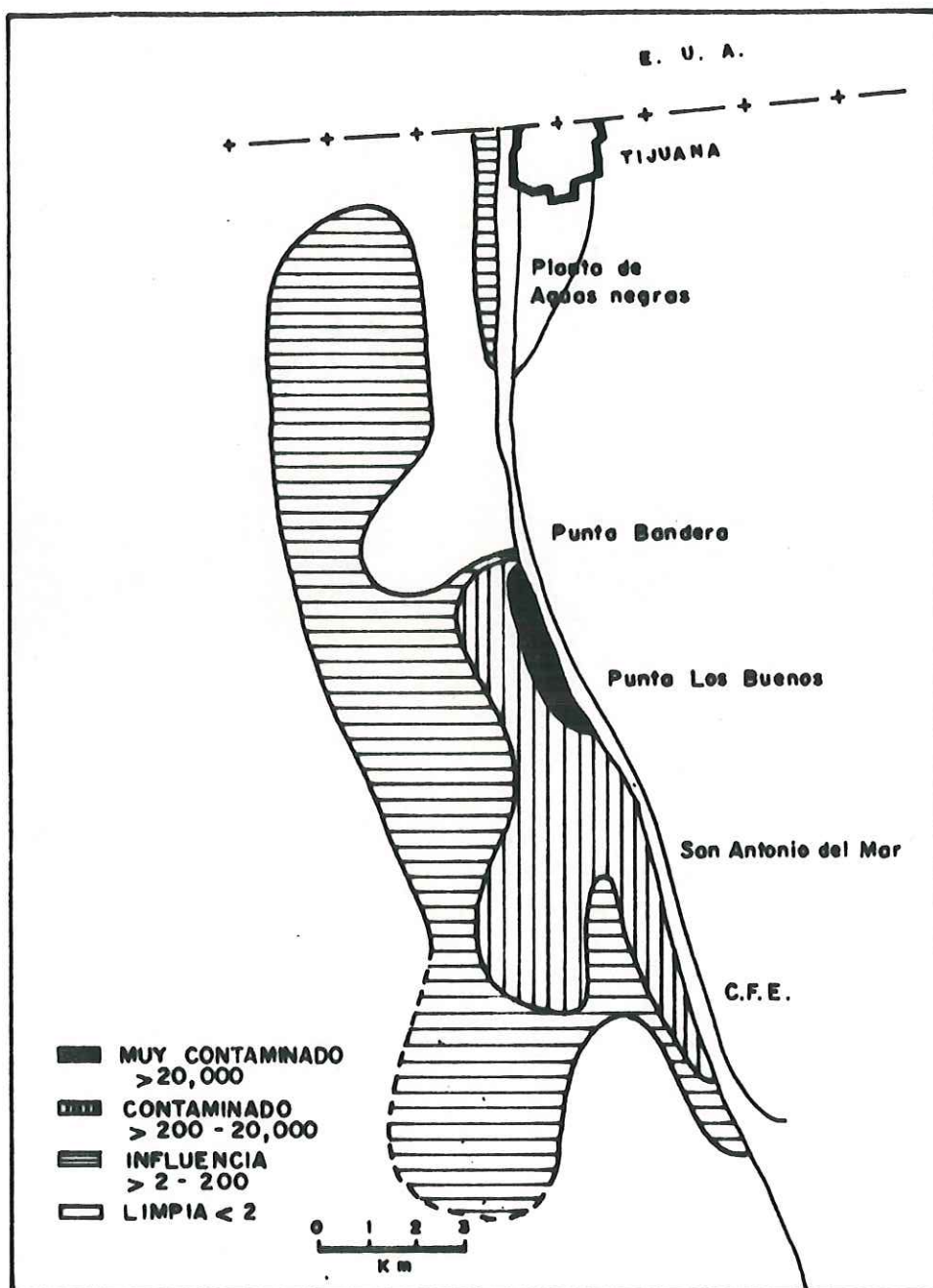


Fig. 8.- Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, invierno 1987.

TABLA II ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de tres vías para coliformes totales por línea de costa para 1987.
 g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada;
 CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo;
 *, **, ***= Significativo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
LINEA DE COSTA (LC)	127362.877	3	41.244	< 0.001 ***
ESTACION DEL AÑO (EA)	3.509	1	0.001	> 0.200 NS
DIAS DE MUESTREO (DM)	12009.954	2	3.889	0.151 NS
LC vs. EA	14181.854	3	4.595	> 0.200 NS
LC vs. DM	8010.827	6	2.594	> 0.200 NS
EA vs. DM	837.075	2	0.271	> 0.200 NS
LC vs. EA vs. DM	3023.275	6	0.979	> 0.200 NS
CM_{To}	3088			

TABLA III ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de tres vías para coliformes fecales por línea de costa para 1987.
 g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada;
 CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo;
 *, **, ***= Significativo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
LINEA DE COSTA (LC)	72742.037	3	23.556	< 0.001 ***
ESTACION DEL AÑO (EA)	2176.501	1	0.750	> 0.200 NS
DIAS DE MUESTREO (DM)	8277.167	2	2.680	> 0.200 NS
LC vs. EA	38211.970	3	12.374	0.017 *
LC vs. DM	9970.117	6	3.228	> 0.200 NS
EA vs. DM	10714.061	2	3.469	0.182 NS
LC vs. EA vs. DM	9071.789	6	2.937	> 0.200 NS
CM_{To}	3088			

TABLA IV ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de tres vías para coliformes totales por zona geográfica para 1987.
 g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada;
 CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo;
 *, **, ***= Significativo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
ZONA GEOGRAFICA (ZG)	121023.625	7	39.191	< 0.001 ***
ESTACION DEL AÑO (EA)	0.421	1	0.001	> 0.200 NS
DIAS DE MUESTREO (DM)	12006.632	2	3.888	> 0.200 NS
ZG vs. EA	8580.411	7	2.778	> 0.200 NS
ZG vs. DM	45787.742	14	14.287	> 0.200 NS
EA vs. DM	840.148	2	0.272	> 0.200 NS
ZG vs. EA vs. DM	43667.018	14	14.140	> 0.200 NS
CM_{To}	3088			

TABLA V ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de tres vías para coliformes fecales por zona geográfica para 1987.
g.l.= grados de libertad; χ^2 = valor de Chi-cuadrada;
 CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo;
,**,= Significativo**

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	χ^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
ZONA GEOGRAFICA (ZG)	167054.625	7	54.098	< 0.001 ***
ESTACION DEL AÑO (EA)	2173.520	1	0.704	> 0.200 NS
DIAS DE MUESTREO (DM)	8274.093	2	2.680	> 0.200 NS
ZG vs. EA	3411.804	7	1.105	> 0.200 NS
ZG vs. DM	16615.406	14	5.381	> 0.200 NS
EA vs. DM	10717.041	2	3.470	0.182 NS
ZG vs. EA vs. DM	28195.633	14	9.131	> 0.200 NS
CM_{To}	3088			

diferencias entre verano e invierno ($p > 0.05$). Así mismo, en los ANOVAS no paramétricos de Kruskal-Wallis, de dos vías realizados separadamente por estación del año (Tablas VI a IX) se detectaron diferencias significativas entre líneas de costa y entre zonas geográficas ($p < 0.05$); tal como se muestra en las figuras 3 a 6, excepto para las coliformes fecales de invierno donde no hubo diferencia significativa entre líneas de costa ($p > 0.05$).

TABLA VI ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes totales en verano de 1987. g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada; CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo; *, **, ***= Significativo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
LINEA DE COSTA (LC)	22453.641	3	28.935	< 0.001 ***
ZONA GEOGRAFICA (ZG)	13482.088	7	17.373	0.020 *
LC vs. ZG	11148.820	21	14.367	> 0.200 NS
CM_{To}	776			

TABLA VII ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes fecales en verano de 1987. g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada; CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo; *, **, ***= Significativo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
LINEA DE COSTA (LC)	16975.698	3	21.875	< 0.001 ***
ZONA GEOGRAFICA (ZG)	19873.309	7	25.609	< 0.001 ***
LC vs. ZG	9117.574	21	11.749	> 0.200 NS
CM_{To}	776			

TABLA VIII ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes totales en invierno de 1987. g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada; CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo; *,**,***= Significativo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
LINEA DE COSTA (LC)	7778.514	3	10.023	0.024 *
ZONA GEOGRAFICA (ZG)	21663.367	7	27.916	< 0.001 ***
LC vs. ZG	8252.318	21	10.634	> 0.200 NS
CM_{To}	776			

TABLA IX ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes fecales en invierno de 1987. g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada; CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo; *,**,***= Signficativo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
LINEA DE COSTA (LC)	2819.218	3	3.633	> 0.200 NS
ZONA GEOGRAFICA (ZG)	2397.452	7	30.012	< 0.001 ***
LC vs. ZG	6397.452	21	8.244	> 0.200 NS
CM_{To}	776			

4.2 Descripción Anual (1992)

En las figuras 9 a 13 se presentan las distribuciones de coliformes fecales en los diferentes días de muestreo de 1992. No se observa una dispersión marcada respecto a las líneas paralela y perpendicular de la costa como en 1987. La contaminación bacteriológica se presentó en zonas restringidas cercanas a tres fuentes de contaminación con características distintas: 1) la descarga de aguas residuales de la Ciudad de Tijuana, B.C.; 2) límite internacional México-E.U.A. y 3) descargas no puntuales (P_1 y P_2) en el litoral. Los Análisis de Varianza de Kruskal-Wallis de dos vías (Tablas X a XIII) señalan diferencias significativas respecto a la distancia de costa y zonas geográficas ($p < 0.05$), no así entre los días de muestreo ($p > 0.05$). Las zonas de influencia resultantes (Figs. 14 a 18) muestran, al igual que en los mapas de distribución, una marcada regionalización de la contaminación.

El transecto "E" perteneciente a la descarga de la planta de tratamiento de la Ciudad de Tijuana, B.C., se clasificó como zona "muy contaminada", con una área de 0.355-1.017 km², aunque para el día 25 de marzo se consideró como "contaminada" y con una área aproximada de 1.047 km². El transecto "A", ubicado en la frontera México-E.U.A., se consideró como zona "contaminada" con un alcance promedio de 1 km de la costa.

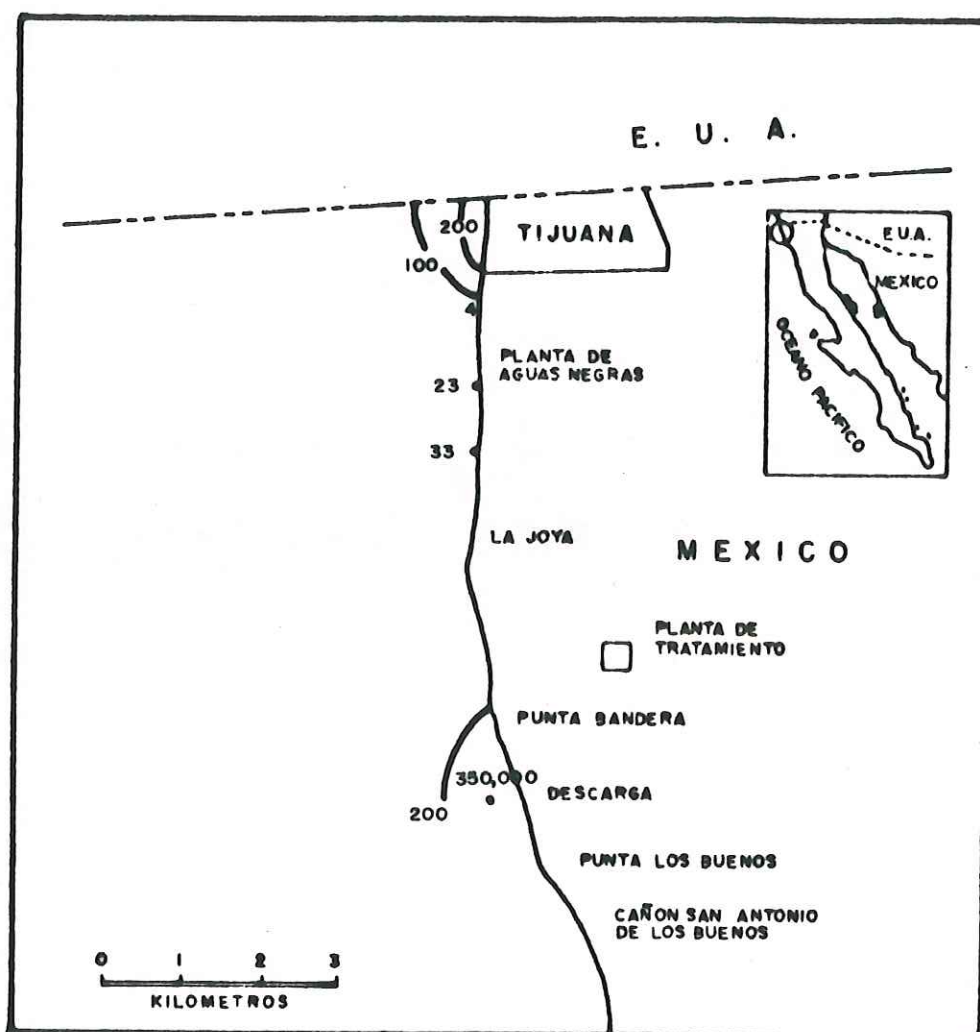


Fig. 9.- Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 18 Marzo de 1992.

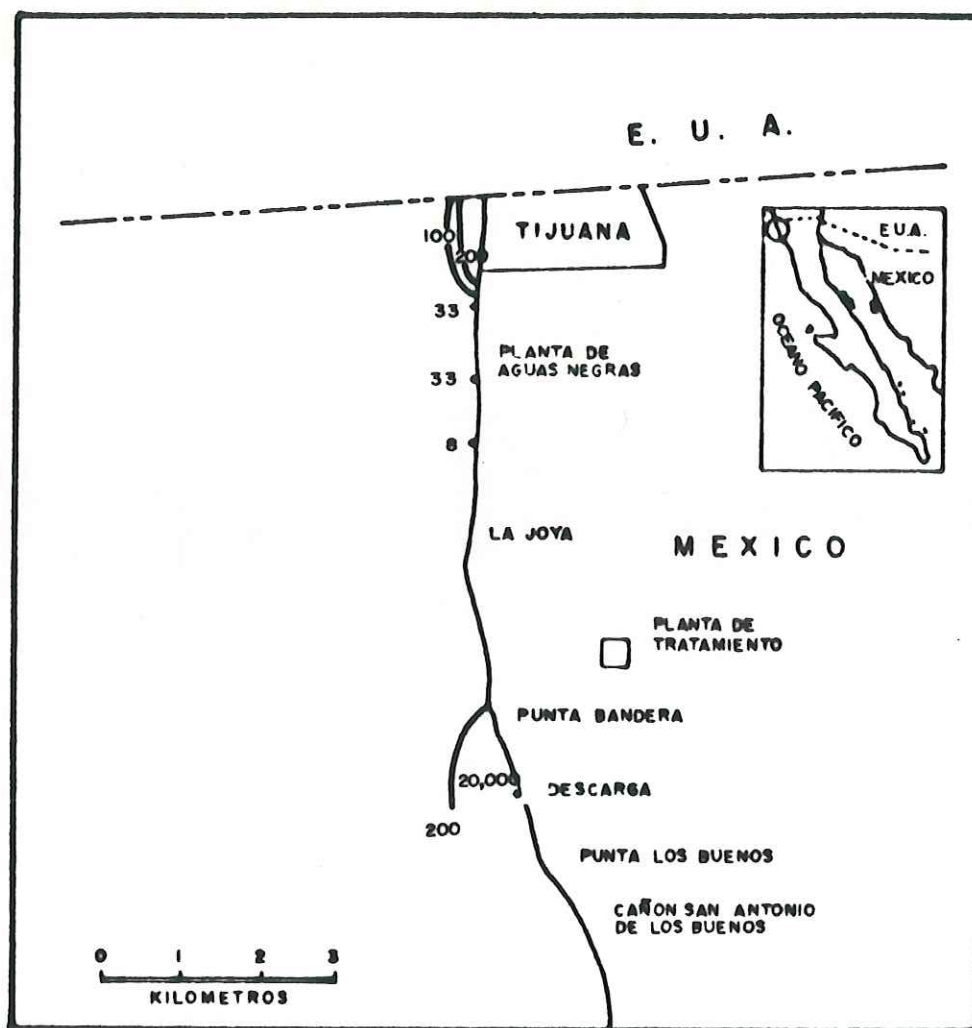


Fig. 10.- Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 25 Marzo de 1992.

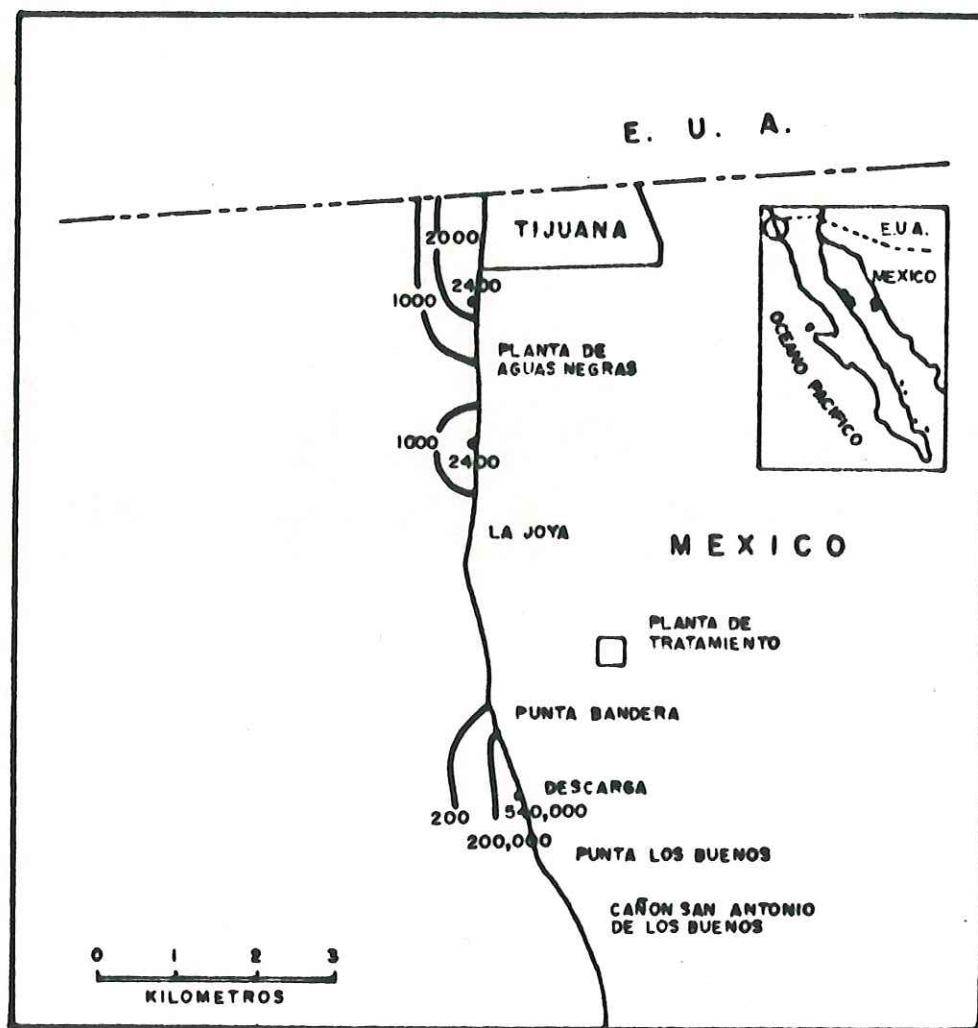


Fig. 11.- Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 31 Marzo de 1992.

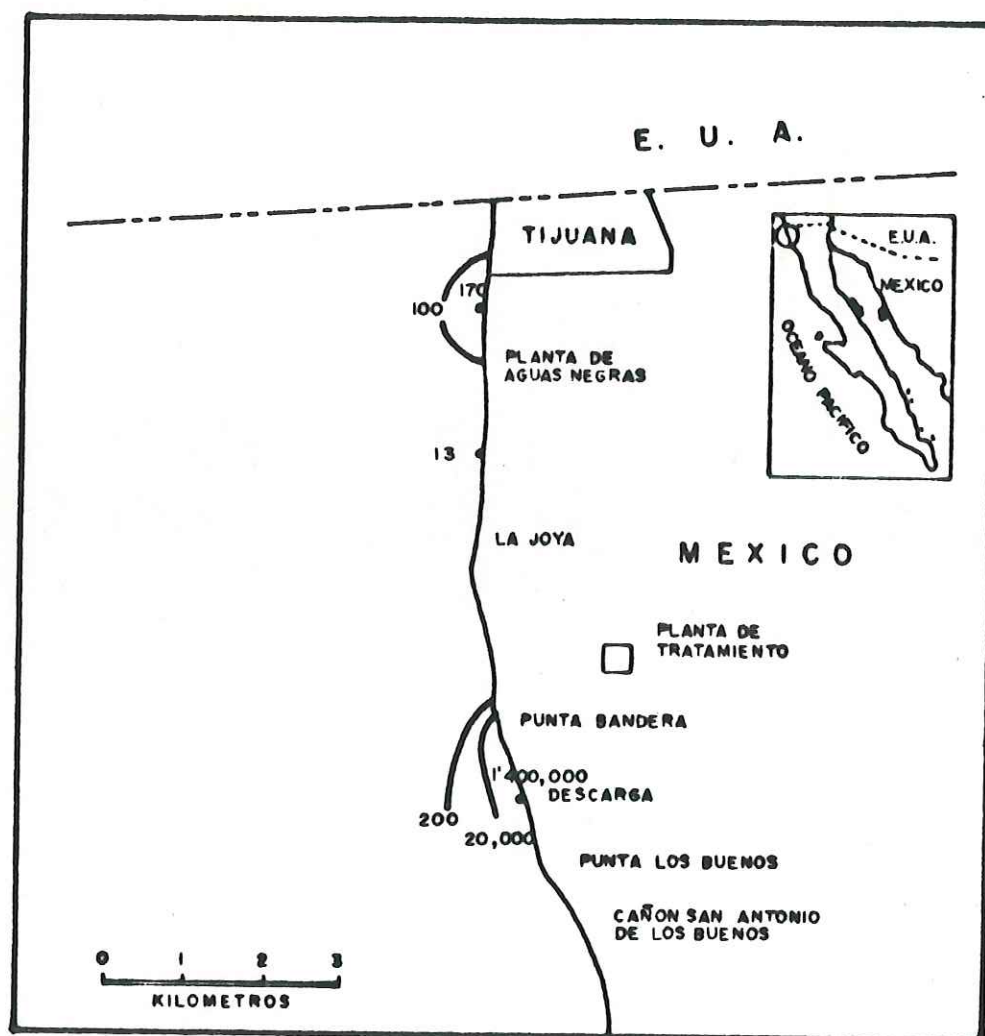


Fig. 12.- Distribución de coliformes fecales (NMP 100⁻¹ ml) para 7 Abril de 1992.

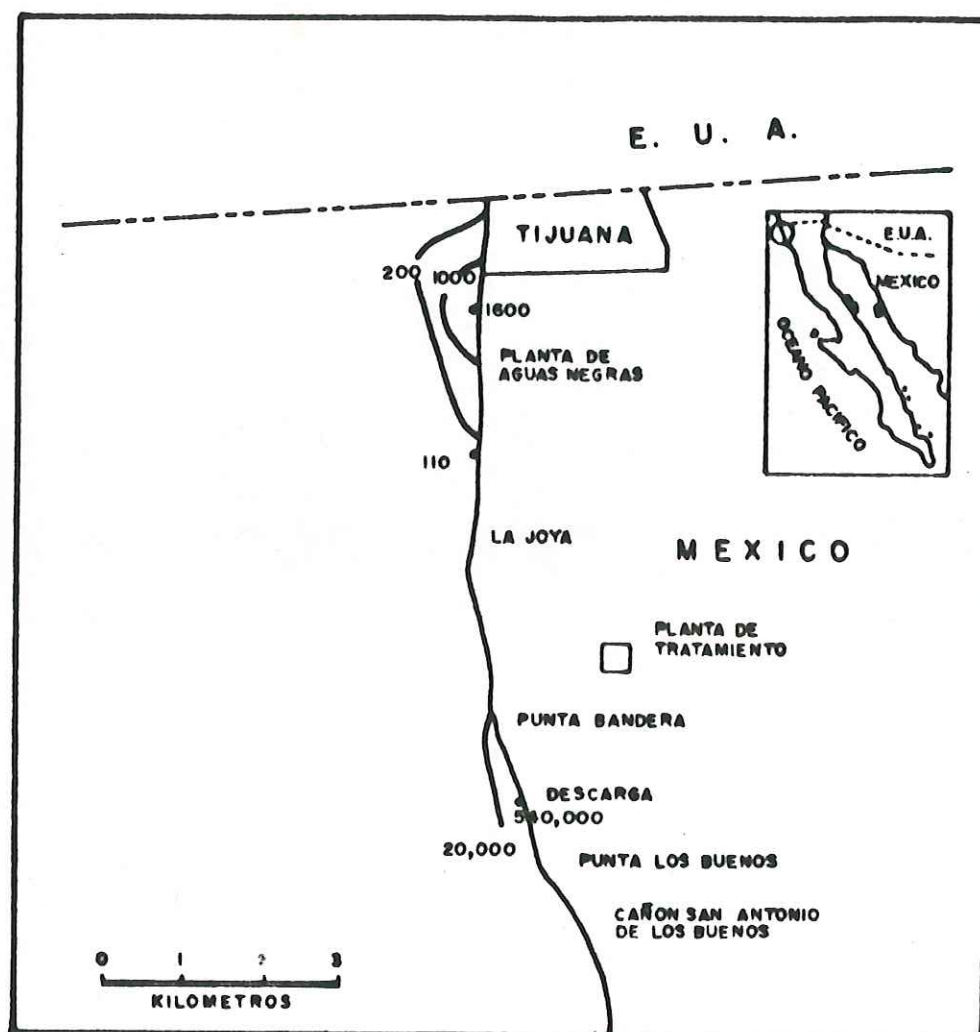


Fig. 13.- Distribución de coliformes fecales (NMP 100^{-1} ml) para 14 Abril de 1992.

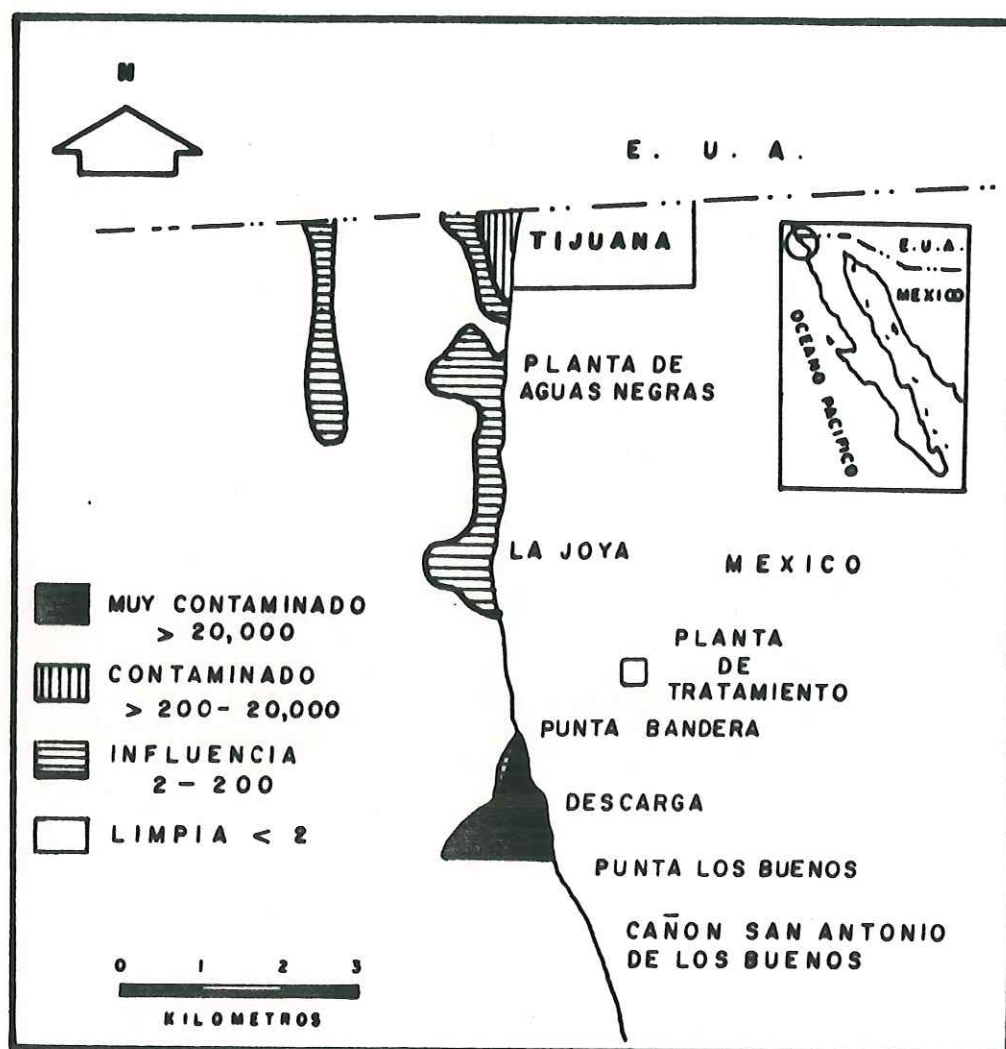


Fig. 14.- Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 18 Marzo 1992.

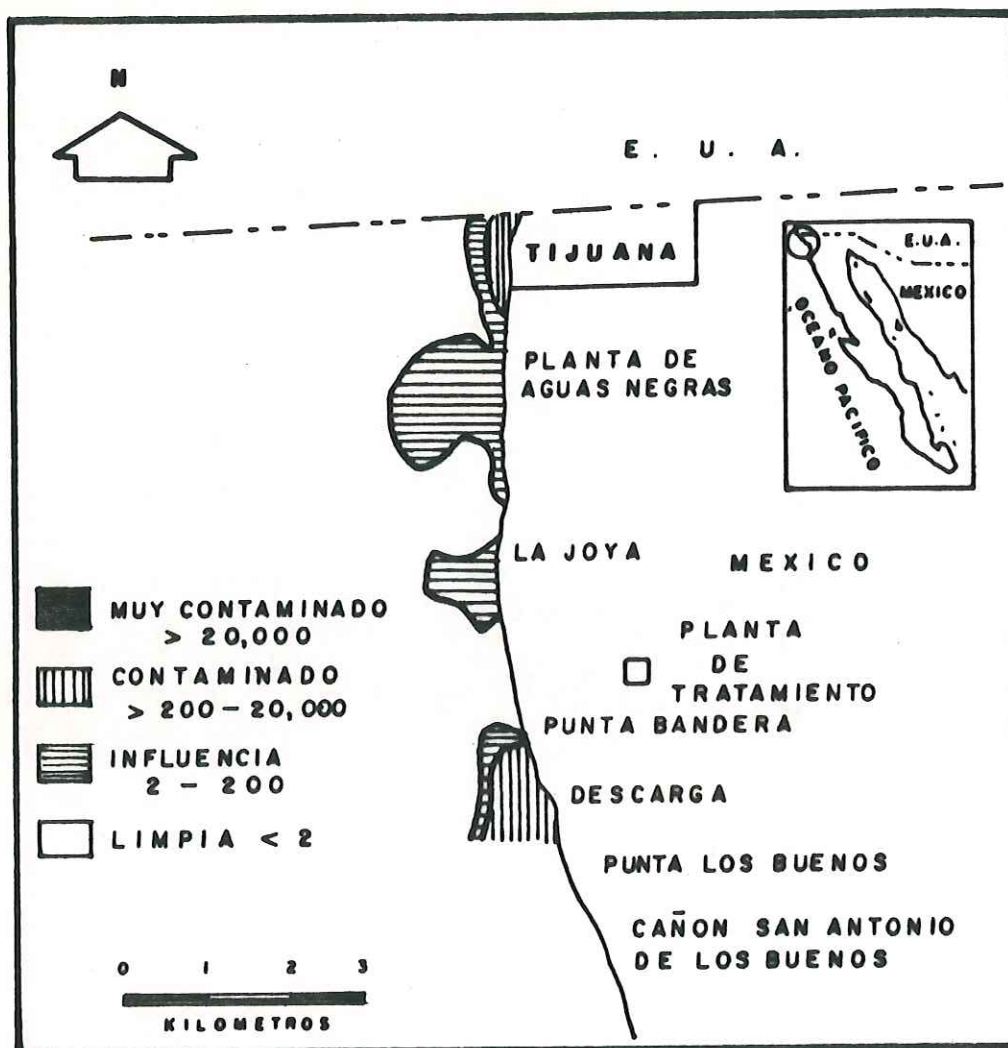


Fig. 15.- Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 31 Marzo 1992.

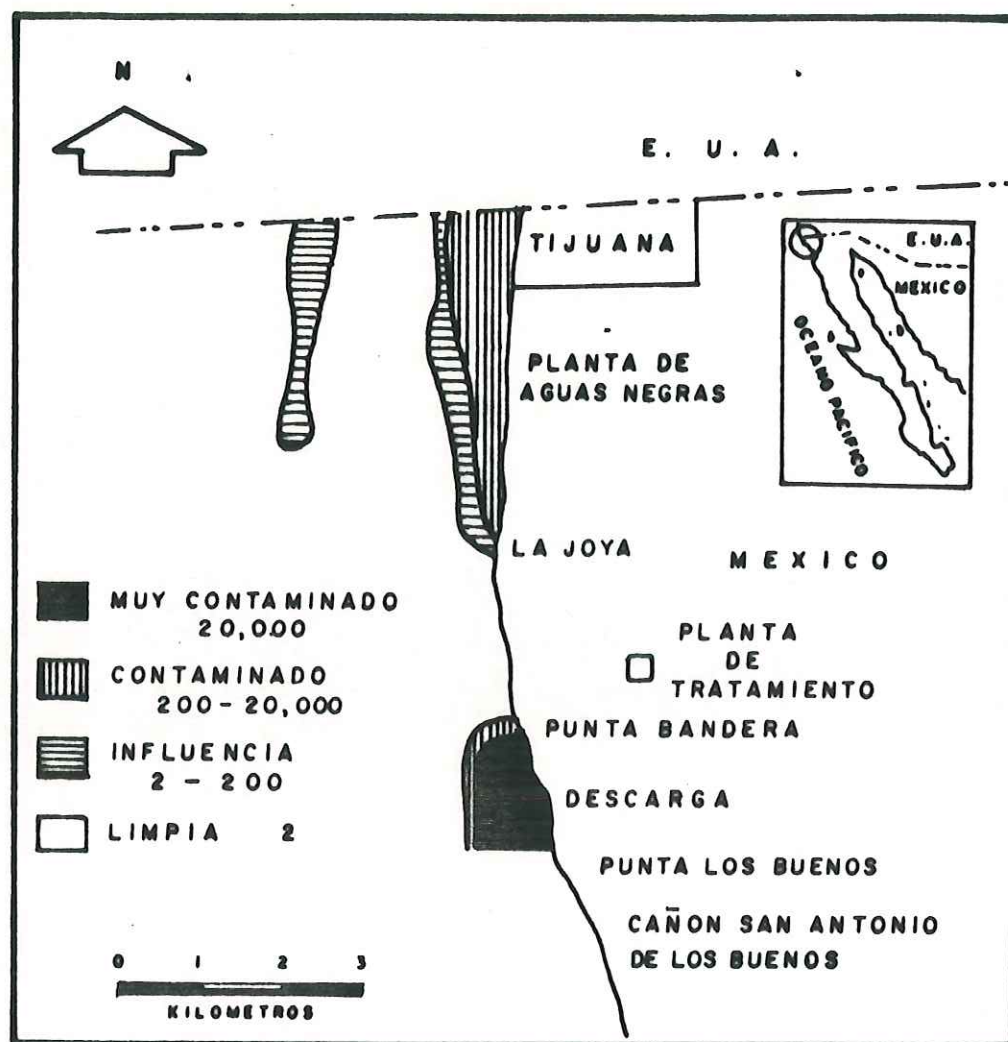


Fig. 16.- Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 31 Marzo 1992.

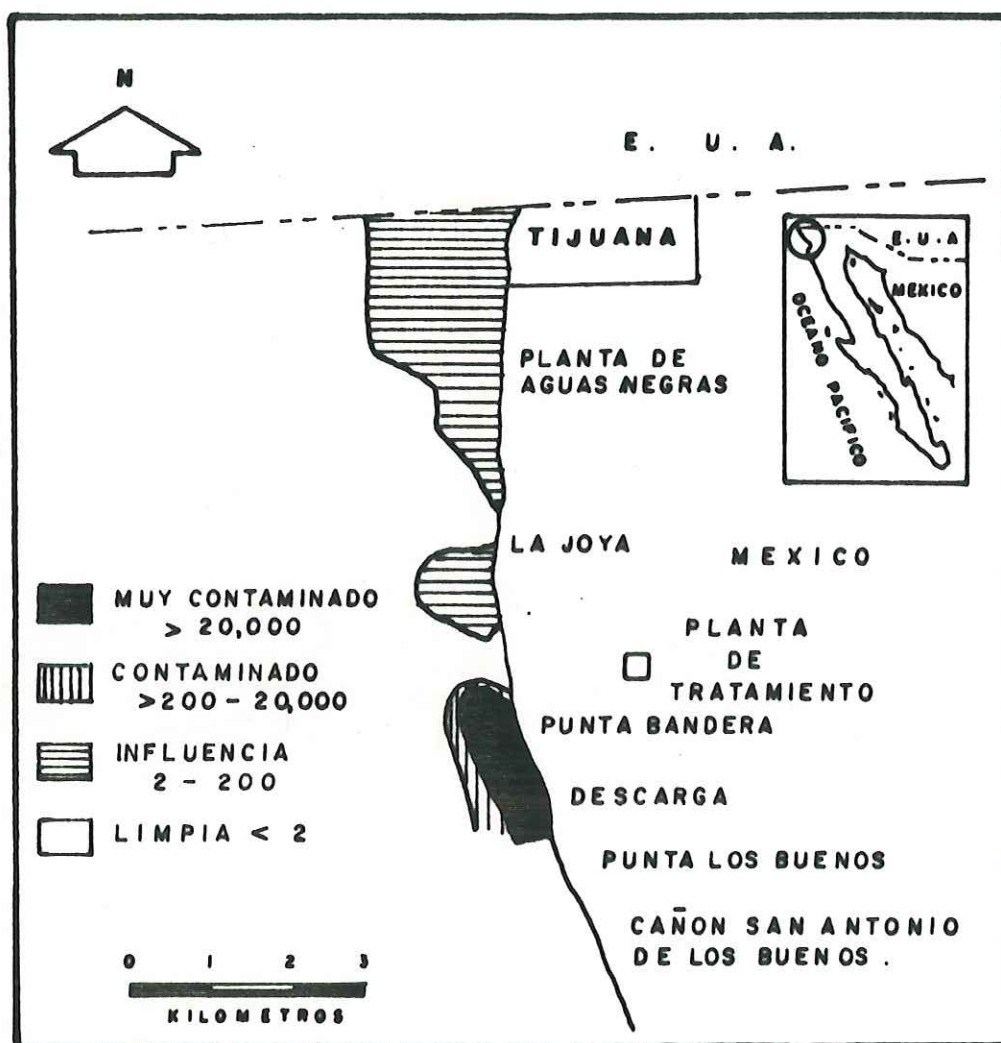


Fig. 17.- Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 7 Abril 1992.

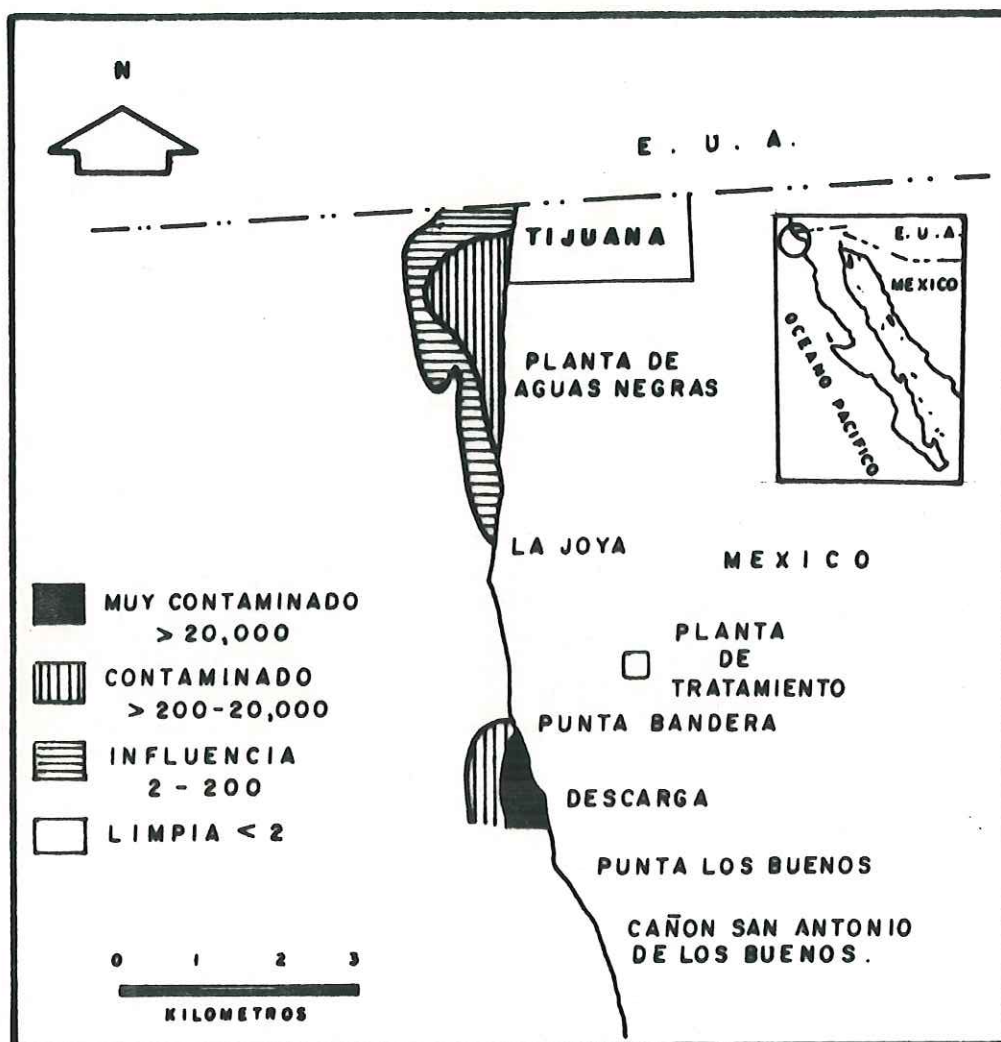


Fig. 18.- Distribución de las Zonas de riesgo por coliformes fecales, 14 Abril 1992.

Respecto a la variación estacional de bacterias coliformes totales, el máximo (1.4×10^6) ocurrió el 7 de abril en la zona de la descarga de Punta Bandera (Fig. 12). El análisis de varianza de Kruskal-Wallis de dos vías (Tablas X a XIII) detectó diferencias significativas entre los días de muestreo ($p < 0.05$), mientras que la interacción con la línea de costa y la zona geográfica no fue significativa ($p > 0.05$).

TABLA X ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes totales por zona geográfica para 1992.
g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada;
CM_{To}= Cuadrado medio total; NS= No significativo;
***, **, ***= Significativo**

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
ZONA GEOGRAFICA (ZG)	23695.783	3	19.583	< 0.001 ***
DIAS DE MUESTREO (DM)	15031.525	5	12.423	0.036 *
ZG vs. DM	4220.491	15	3.488	> 0.200 NS
CM _{To}	1210			

TABLA XI ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes fecales por zona geográfica para 1992.
g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada;
CM_{To}= Cuadrado medio total; NS= No significativo;
***, **, ***= Significativo**

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
ZONA GEOGRAFICA (ZG)	22738.416	3	18.792	< 0.001 ***
DIAS DE MUESTREO (DM)	9262.225	5	7.655	0.181 NS
ZG vs. DM	4182.658	15	3.457	> 0.200 NS
CM _{To}	1210			

TABLA XII ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes totales por línea de costa para 1992.
g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada;
 CM_{To} = Cuadrado medio total; NS= No significativo;
***, **, ***= Significativo**

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
LINEA DE COSTA (LC)	40062.895	4	33.109	< 0.001 ***
DIAS DE MUESTREO (DM)	14089.600	5	11.644	0.044 *
LC vs. DM	9447.754	20	7.808	> 0.200 NS
CM_{To}	1210			

TABLA XIII ANOVA no paramétrico por Kruskal-Wallis de dos vías para coliformes fecales por línea de costa para 1992.
g.l.= grados de libertad; X^2 = valor de Chi-cuadrada; CM_{To} =Cuadrado medio total; NS= No significativo; *, **, *= Significativo**

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	g.l.	X^2	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
LINEA DE COSTA (LC)	39455.812	4	32.608	< 0.001 ***
DIAS DE MUESTREO (DM)	9262.225	5	7.655	0.183 NS
LC vs. DM	5263.087	20	4.349	> 0.200 NS
CM_{To}	1210			

4.3 Descripción Global

Los valores de la mediana, mínimos y máximos de coliformes totales y fecales (Tabla XIV) durante 1987 y 1992, muestran una clara disminución de hasta dos órdenes de magnitud en 1992. Los máximos de concentración siempre se encontraron en el transecto "E" (Fig. 19 a 24).

Al comparar las zonas de influencia de 1987 (Figs. 7 y 8) y 1992 (Figs. 14 a 18), y en particular la de la descarga de la planta de tratamiento de Punta Bandera, es evidente la diferencia en la ubicación de las áreas contaminadas. En 1987 el área contaminada tuvo un mayor alcance en los sentidos paralelo (en verano hasta el límite internacional México-E.U.A) y perpendicular a la costa (4 km), que en 1992. La diferencia entre los dos años se confirma con el análisis no paramétrico de Wilcoxon para dos muestras, aplicado únicamente al transecto "E", no observandose diferencias significativas ($p > 0.05$) en los transectos paralelos a línea de costa (0 km), pero si en el primer kilómetro ($p < 0.05$).

TABLA XIV Valores de mediana mínimos y máximos de bacterias coliformes totales y fecales (NMP/100 ml) superficiales para 1987 y 1992. Mtas= No. de muestras; Col= coliformes; Mín=mínimo; Máx=máximo.

	DIA	MTAS	COL.TOTALES MEDIANA MIN-MAX.		COL. FECALES MEDIANA MIN-MAX.	
1	5 Feb	36	200	20-2.4x10 ⁶	130	20-2.4x10 ⁶
9	6 Feb	36	65	20-1.6x10 ⁶	20	20-7.2x10 ⁴
8	7 Feb	36	215	20-2.4x10 ⁶	20	20-5x10 ³
7	30 Jun	36	180	20-2.4x10 ⁶	78	8-2.4x10 ⁶
	01 Jul	36	99	<20-92x10 ⁶	20	<18-92x10 ⁶
	02 Jul	36	280	20-2.3x10 ⁶	94	<18-2.3x10 ⁶
1	18 Mar	24	2	<2-2.4x10 ⁶	2	<2-3.5x10 ⁵
9	25 Mar	25	49	<2-2x10 ⁴	8	<2-2x10 ⁴
9	31 Mar	25	2	<2-5.4x10 ⁶	2	<2-5.4x10 ⁵
2	07 Abr	25	2	<2-5.4x10 ⁶	2	<2-1.4x10 ⁶
	14 Abr	25	2	<2-9.2x10 ⁵	2	<2-5.4x10 ⁵

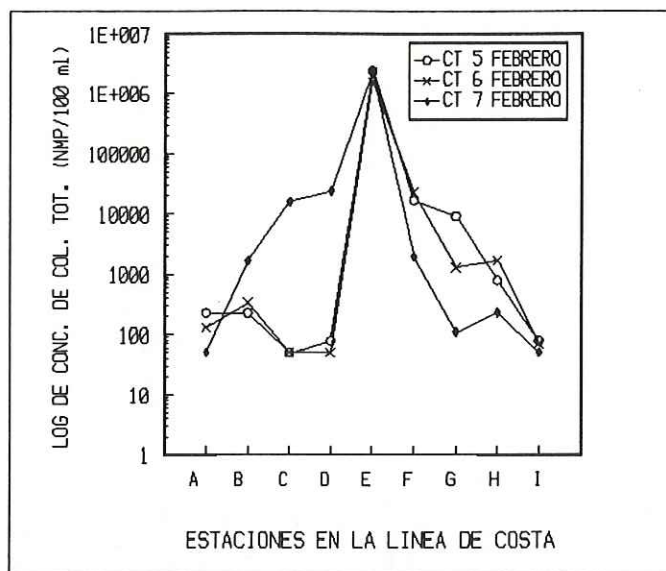


Fig. 19.- Concentración de coliformes totales para 1987.

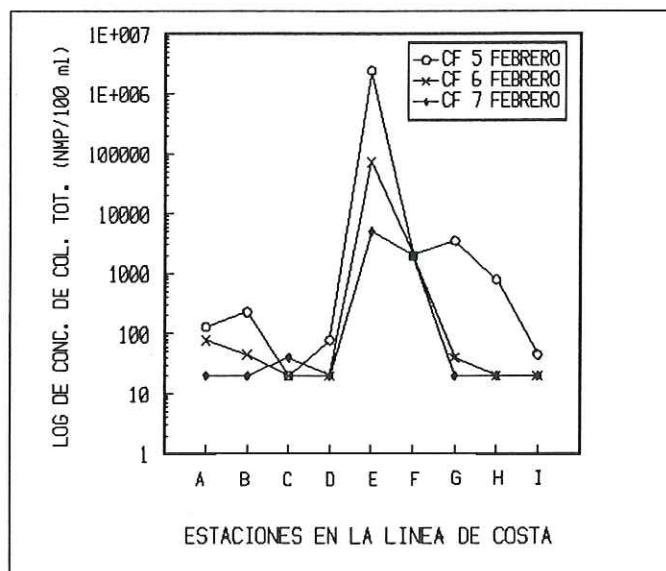


Fig. 20.- Concentración de coliformes fecales para 1987.

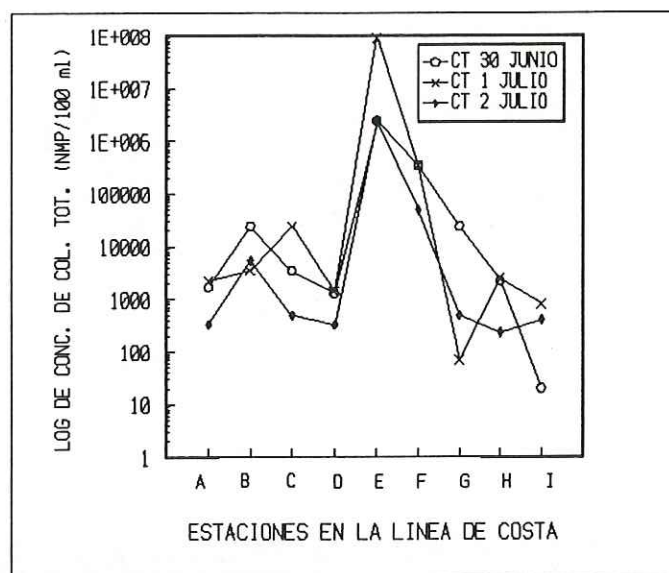


Fig. 21.- Concentración de coliformes totales para 1987.

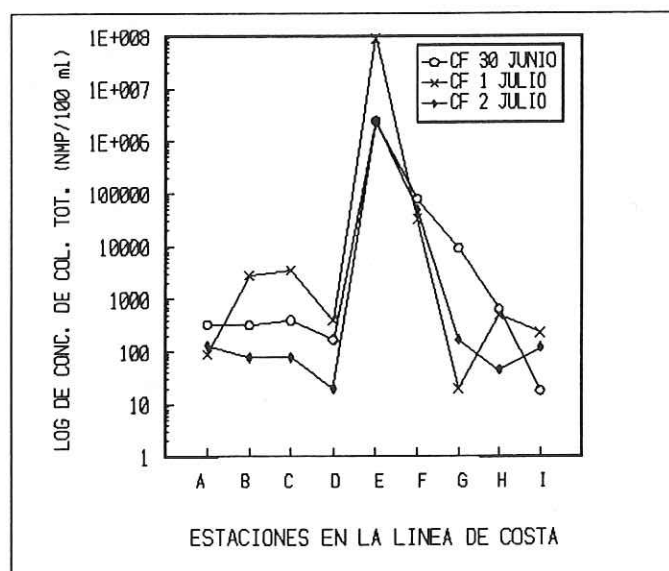


Fig. 22.- Concentración de coliformes fecales para 1987.

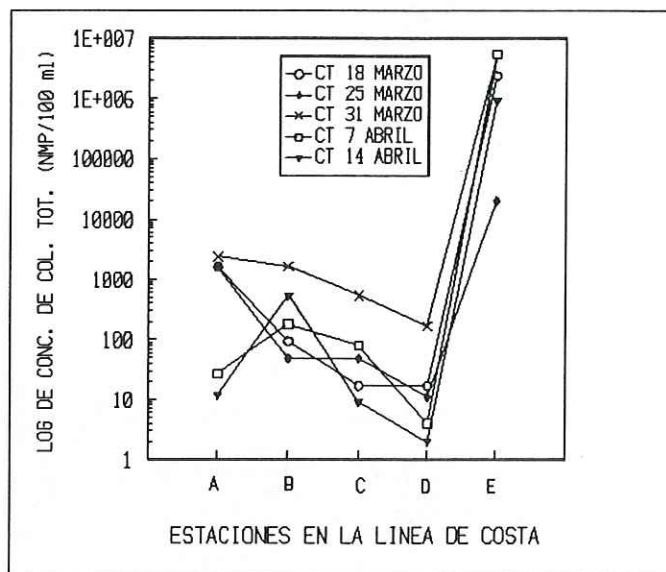


Fig. 23.- Concentración de coliformes totales, 1992.

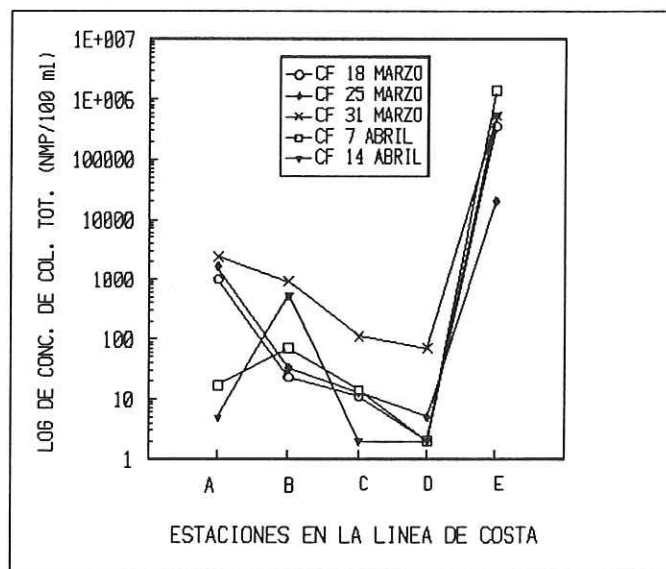


Fig. 24.- Concentración de coliformes fecales, 1992.

5. DISCUSION

La mayor dispersión de las bacterias coliformes totales en sentido paralelo y hacia el sur en 1987 se debió probablemente a que el coeficiente de difusión longitudinal fue mayor que el transversal y en ese sentido con una difusión promedio de 10^{-4} $\text{cm}^2 \text{ seg}^{-1}$ y preferentemente hacia el sur (Bravo-Chávez, 1989).

Se puede decir que la diferencia en la dispersión de bacterias coliformes durante las dos épocas del año se debe principalmente a procesos físicos. En invierno, el coeficiente de difusión perpendicular fue de 10^{-4} cm seg^{-1} y el lateral de 10^{-5} cm seg^{-1} (Alvarez-Sánchez *et al.*, 1987), mientras que durante el verano, por efectos de la difusión, advección y corrientes de retorno se presentó un mayor alcance de los contaminantes en dirección perpendicular a la costa. En verano, la energía del oleaje es menor y por difusión existe una mayor dispersión de bacterias fuera de la zona de rompientes. Galvin *et al.* (1969) y Marmolejo-Lara (1985) determinaron que durante invierno el oleaje a lo largo de la costa es mayor.

De manera general, se encontró que la dispersión de las bacterias coliformes es predominantemente hacia el sur de acuerdo a los estudios físicos de corrientes y difusión antes mencionados y lo reportado por Morales-Chávez *et al.* (1987).

Las áreas más contaminadas fueron las adyacentes a la descarga en Punta Bandera, así como la correspondiente a la línea fronteriza, pero en menor proporción. En esta última, la contaminación es originada por descargas no puntuales: casas, restaurantes y plantas de bombeo (Morales-Chávez et al., 1987)

En 1992 hubo una disminución de las bacterias coliformes totales y fecales que se aprecia en la zonas de influencia ya que su extensión en cuanto a la distancia a la línea de costa pasó de 4 km en 1987 a 1 km en 1992. Esa tendencia fue el resultado de las medidas de prevención adoptadas por el Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional del Agua (C.N.A.), dentro del programa denominado " Agua Limpia", a fin de evitar y controlar los brotes de cólera que se presentaron en años recientes, que comprendió la desinfección del agua para consumo humano y tratamiento de aguas residuales. En este último apartado se estableció, como requisito, el que las plantas de tratamiento mantuvieran un valor 0.5 ppm de cloro libre residual en la descarga del efluente (C.N.A., 1991), con el fin de cortar el ciclo de la infección de *Vibrio cholerae* y evitar así la contaminación de los cuerpos receptores donde descarguen las plantas de tratamiento.

La disminución de bacterias coliformes totales y fecales en la descarga de Punta Bandera se confirmó con los resultados

obtenidos de un muestreo realizado la planta de tratamiento en Punta Bandera durante octubre de 1992 (Tabla XV). Los valores de coliformes totales dentro de las lagunas de aereación y sedimentación

son mayores que los del efluente y la descarga al mar. La disminución en el efluente y la descarga al mar son efecto de la cloración que se da al flujo de salida de la laguna de sedimentación (*Medina-Parra Benigno, com. pers.).

Durante el mes de abril de 1993 se tomaron muestras del efluente de la descarga de Punta Bandera y se determinaron las concentraciones de cloro libre residual (Tabla XVI). Los valores obtenidos se encuentran dentro del límite señalado por la C.N.A. y la Norma Técnica Ecológica NTE-CCAT-030/91 (SEDUE, 1991). El muestreo de octubre de 1992 y las determinaciones de cloro residual, hacen evidente la disminución de los indicadores bacteriológicos de contaminación que se encontraron en el presente estudio.

Aunque en esta investigación se encontró que la zona de influencia durante 1987 se extendió desde Playas de Tijuana a la Comisión Federal de Electricidad y que en 1992 fue menor, siendo en ambos años la fuente principal de contaminación el

*Quim. Benigno Medina-Parra, Subpresidente del Laboratorio de Control de Calidad de la Planta de tratamiento en Punta Bandera.

TABLA XV Determinación de bacterias coliformes totales y fecales (NMP 100^{-1} ml) en la planta de tratamiento de Punta Bandera, 30 de Octubre de 1992.

SITIO DE MUESTREO	COLIF. TOTALES	COLIF. FECALES
Entrada	35×10^6	35×10^6
Laguna No.1 (Aereación)	54×10^6	13×10^6
Laguna No.2 (Aereación)	14×10^6	3.3×10^6
Laguna No.3 (Aereación)	7.9×10^6	1.7×10^6
Descarga con cloro	2×10^2	2×10^2
Descarga en mar	2×10^2	2×10^2

TABLA XVI Determinación de Cloro libre residual en el efluente de la descarga de la planta de tratamiento de Punta Bandera en 1993.

DIA	CLORO LIBRE RESIDUAL (ppm)
27 de Marzo	0.5325
02 de Abril	0.407
08 de Abril	0.3318

vertimiento de la planta de tratamiento en Punta Bandera, se considera que en ninguno de los dos años de estudio fue el factor principal de contaminación de las Playas del Condado de San Diego, California, E.U.A., como lo sugieren algunas autoridades norteamericanas. Las causas de esa contaminación respecto al litoral mexicano son probablemente las descargas no puntuales ubicadas cerca de la línea fronteriza México-E.U.A. que vierten sus desechos cuando no funcionan sus sistemas de rebombeo a la planta de tratamiento de Punta Bandera (Morales-Chávez *et al.*, 1987; Orozco y Sañudo, 1988); mientras que la posible fuente de contaminación externa es la descarga del Estuario Río Tijuana, con un aporte de aguas residuales (13 millones de galones por día) provenientes del lado este de la Ciudad de Tijuana, resultado de la saturación o ruptura de los colectores en esa zona (Sánchez-Rodríguez, 1990). Este problema se vió acentuado en el invierno de 1992 debido a las elevadas precipitaciones pluviales (Tabla XVII), que influyeron de manera determinante en la mayor concentración de bacterias coliformes, ya que los escurrimientos por la lluvia al sistema de alcantarillado y la insuficiencia del drenaje provocan el aumento del flujo de aguas residuales vertidas al Río Tijuana (en ocasiones hasta 600 millones de galones por día). En general lluvias de más de 0.32 mm^3 provocan un mal funcionamiento del sistema de bombeo generando así una mezcla de la precipitación pluvial y aguas residuales que llegan al

TABLA XVII Datos de precipitación pluvial para 1992 registrados en la presa Abelardo Rodríguez de Tijuana, B.C., proporcionados por la Comisión Nacional Del Agua.

FECHA	PRECIPITACION (mm ³)
FEBRERO	
06	4.8
07	33.7
10	7.0
13	34.9
14	5.0
16	16.4
17	9.6
MARZO	
02	3.5
03	15.0
07	5.7
08	9.8
09	4.7
21	13.0
23	8.4
24	2.2
27	14.5
29	2.4
31	0.3
ABRIL	
01	12.0
02	5.8
03	1.3

Estuario Río Tijuana (Environmental Health Services E.H.S., 1992), cuyo efecto es la contaminación de playas de litoral mexicano y estadounidense.

Lo anterior se reflejó en los valores obtenidos para el transecto "A" correspondiente a la línea fronteriza México-E.U.A. que fueron muy similares a los reportados por E.H.S. (1992) durante sus muestreos realizados en invierno de 1992 (Fig. 25). Los valores elevados que llegaron a registrarse en la zona se deben principalmente a la variabilidad morfológica de los pequeños estuarios de la costa sur de California, entre ellos el Estuario Río Tijuana, y a la dinámica mareal, fluvial y del oleaje. Las venidas fluviales en invierno ocasionan que el canal de la desembocadura migre progresivamente hacia el noroeste (Webb et al., 1991). A su vez, las tormentas registradas en las costas de San Diego, California, afectaron la calidad del agua de las playas Imperial Beach y Silver Strand cerradas al público debido a las descargas de aguas residuales vertidas al mar por la insuficiencia del sistema de alcantarillado en San Diego, California (E.H.S., 1992).

En los párrafos anteriores se indicaron cuales son las posibles fuentes de contaminación en el litoral de la zona fronteriza México-E.U.A., que directa e indirectamente son responsabilidad del Municipio de Tijuana; sin embargo, no se

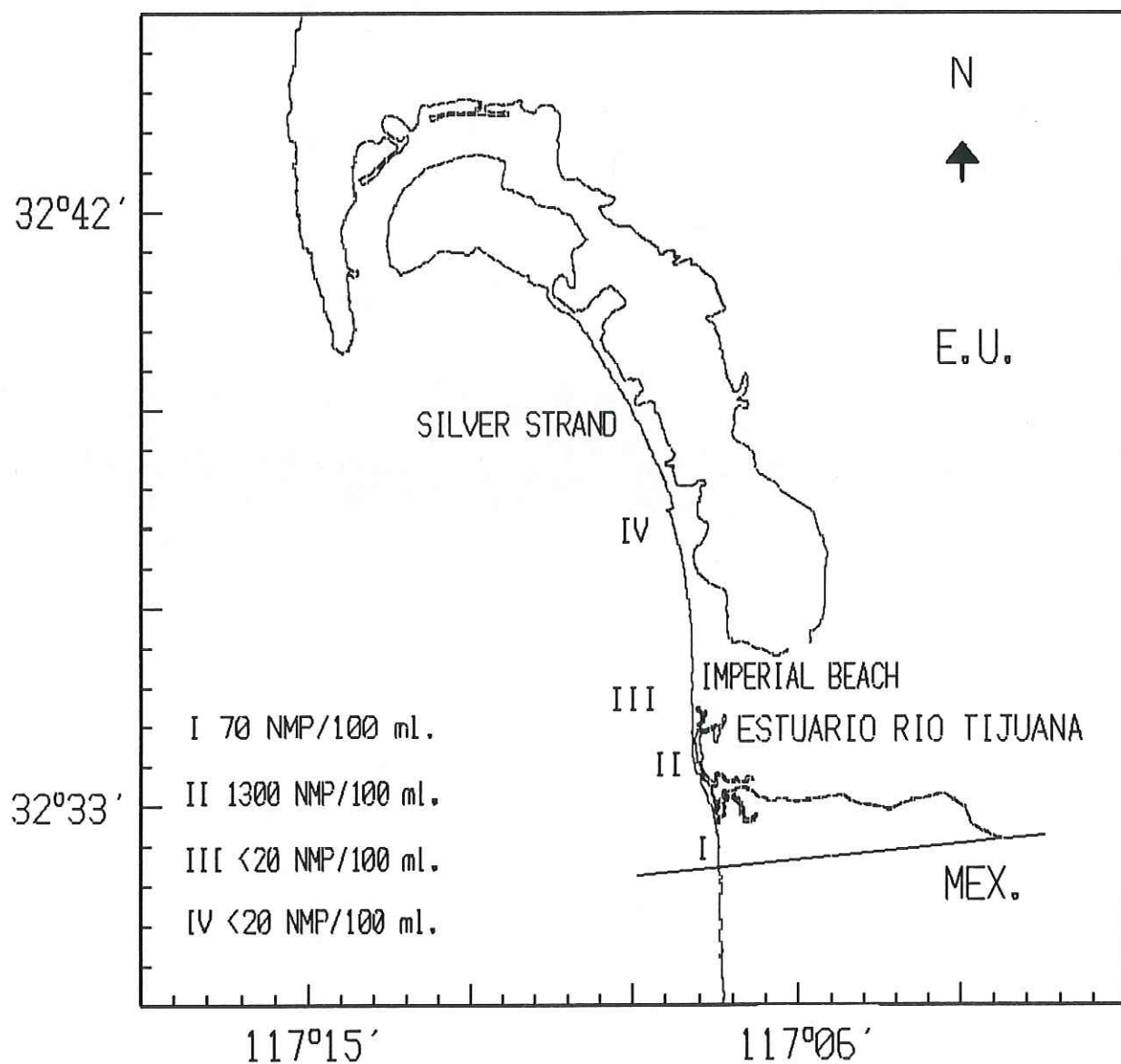


Fig. 25.- Concentraciones de bacterias coliformes fecales (NMP/100 ml) 13 de marzo de 1992. Proporcionadas por Environmental Health Services. San Diego.

puede eludir la responsabilidad de las autoridades norteamericanas respecto a la contaminación bacteriológica en aguas mexicanas ocasionada por la descarga de la planta de tratamiento en Point Loma, California. Esto se ha demostrado en trabajos similares al presente, pero realizados cerca de las Islas Coronado, México, por Patrón-Mass (1992) y Quero-Santiago (1992), donde se menciona que dicha planta descarga su efluente a través de un emisor submarino en la isobata de los 60 m siendo transportado por la corriente subsuperficial hasta aguas mexicanas.

6. CONCLUSIONES

1.- La dispersión de bacterias coliformes durante 1987 y 1992 fue predominantemente en dirección sur y la mayor concentración se presentó cerca de la descarga de la planta de tratamiento en Punta Bandera.

2.- En 1987, la zona "contaminada" tuvo una extensión de 4 km de distancia con respecto a la línea de costa y en 1992 se redujo a 1 km, probablemente como resultado de la cloración del efluente de la planta de tratamiento de Punta Bandera.

3.- Se considera que la descarga de la planta de tratamiento de Punta Bandera no contamina las playas de Imperial Beach y Silver Strand en San Diego, California, sino que su contaminación se debe, principalmente, a la descarga del Estuario Río Tijuana.

7. LITERATURA CITADA

- Alvarez-Sánchez, L.G., N. Godínez y M.F. Lavín. 1987.
Dispersión frente a la costa de Tijuana, Baja California.
En: Resúmenes del VII Congreso Nacional de Oceanografía.
27-31 de Julio. Ensenada, B.C. Instituto Nacional de la
Pesca.
- Araya, G.V. y V.G. Cortés. 1988. Estudio bacteriológico del
bivalvo *Anadara tuberculosa* del Estero de Puntarenas,
Costa Rica. Rev. Lat-amer. Microbiología. 30:235-238.
- American Public Health Association. 1985. Standard methods for
the examination of water and wastewater 16 th ed. APHA,
AWWA, WPCF (Publisher). Washington, D.C. 1268 pp.
- Barcina I., J.M. González, J. Iriberrí y L. Egea. 1990.
Survival strategy of *Escherichia coli* and *Enterococcus*
faecalis in illuminated fresh and marine systems. Journal
of Applied Bacteriology. 68:189-198.
- Bravo-Chávez, A.B. 1989. Coeficientes de difusión frente a la
costa del municipio de Tijuana, B.C. Tesis de Licenciatura
en Oceanología. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C. 71
pp.
- Cabelli, V.J. 1979. Evaluation of recreational water quality.
The Environmental Protection Agency (EPA) approach. In:
Biological Indicators of Water Quality. Chichester, Ed.
J.A. & E. L. Wyley, cap. 14.

- Comisión Nacional Del Agua. 1991. Programa Agua Limpia. C.N.A.
(Informe):1-16.
- Consejo Nacional de Población. Gob. del Estado de Baja Calif.
1992. Información Sociodemográfica. Secretaría General de
Gobierno. 16 pp.
- Corre, S., Jacq, E., Plusquellec, A., Beucher, M. y Prieur, D.
1991. Fecal coliform accumulation and depuration in the
oyster *Crassostrea gigas* in Proceeding of the 4th European
Marine Microbiology Symposium Kiel, Ostseebad Damp,
Germany. October 8th-12th 1990.
- Environmental Health Services. 1992. Response To the Point Loma
Outfall break on Frebruary 3, 1992. County of San Diego.
Department of Health Services.
- Food and Drugs. 1986. Manual of Operations of Sanitation of
Shellfish Growing Areas. Department of Health and Human
Services. Public Health Service.
- Fuenzalida-Puelma, H.L. 1991. El agua como recurso y la salud.
Boletín de la Organización Panamericana de la Salud.
Estados Unidos. 111(4):371-375.
- Galvin, C.J., D.G. Dumm, B.R. Sims and L.W. Tenner. 1969.
Nearshore visual wave observation for United States
Coastlines. U.S. Army Coastal Enginnering Research Center.
14 pp.
- Gareth-Ress. 1993. Health Implications of Sewage in Coastal
Waters-the British Case. Marine Pollution Bulletin.

26(1):14-19.

Godínez-Sandoval, V.M. 1986. Dispersión frente a la Costa De Rosarito, B.C. Tesis de Licenciatura en Oceanología. Facultad De Ciencias Marinas. U.A.B.C. 68 pp.

Hendricks, T. 1975. Properties of nearshore currents. In Annual report, Coastal Water Research Proje^t, El Segundo, Calif. 167-172 pp.

Hendricks, T. 1976. Measurement of subtermocline currents. In Annual report, Coastal Water Research Proj^et, El Segundo, Calif. 63-70 pp.

Hendricks, T. 1977. Coastal Currentes. In Annual report. Coastal Water Research Project, El Segundo, Calif. 53-62 pp.

Hernández-Gómez, E. 1990. Desigualdad socioeconómica en asentamientos humanos irregulares de la Ciudad de Tijuana. Cuadernos de Economía. Serie V No. 6 Facultad de Economía. U.A.B.C. 46-53 pp.

Hood, M.A., G.E. Ness, y N.J. Blake. 1983. Relationship Among Fecal Coliform, *Escherichia coli*, and *Salmonella spp.* in Shellfish. Applied and Environmental Microbiology. 45:122-126.

Jehl-Pietri, Ch., Dupont, J. y Munro, J. 1991. Viral and bacterial contamination of Shellfish Proceedings of the 4th European Marine Microbiology Symposium Kiel, Ostseebad Damp, Germany. October 8th-12th 1990.

- Juoliá-Lagares, A. 1988. Diagnóstico espacial de la mancha urbana en la Ciudad de Tijuana. Cuadernos de Economía Serie 3 No.6 Facultad de Economía. U.A.B.C. 46-53 pp.
- Marmolejo-Lara, M. 1985. Control del azolvamiento en una obra de toma de agua marina. Tesis de Licenciatura en Oceanología. Escuela Superior de Ciencias Marinas., U.A.B.C. 60pp.
- Mc Junkin, F. E. 1986. Agua y Salud Humana. Ed. Limusa. México. 116-117 pp.
- Morales-Chávez, R. y C. Romero-Manzano. 1986. Evaluación de la contaminación en playas de Tijuana, B.C. En: Ecología y frontera. U.A.B.C. Escuela de Economía (ed.):224-235.
- Morales, R., C. Romero, R. Encalada, H. Parés, G. Martínez, J. Vargas y R. Navarro. 1987. Apoyo al proyecto de evaluación de la contaminación en Playas de Tijuana, B.C. Reporte Técnico. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval, estación de Investigación Oceanografica de Ensenada, B.C.
- Morello, J. y G. Hortt. 1987. Renewable Natural Resources and development Strategies in South America. Natural Resources and Development. 26:30-54.
- Moriñigo, M.A., R. Cornax, Ma. A. Muñoz, P. Romero y J.J. Borrego. 1989. Viability of Salmonella Species in Natural Waters. Current Microbiology. 18:267-273.
- Moriñigo, M.A., Ma. A. Muñoz, R. Cornax, D. Castro y J.J.

- Borrego. 1990. Evaluation of different enrichment media for the isolation of *Salmonella* from polluted seawater samples. *Journal of Microbiological Methods*. 11:43-49.
- Nishikawa, K., S.A. Sañudo-Wilhelmy e I. Rivera-Duarte. 1984. Estado de la contaminación marina en la zona fronteriza México-E.U.A. Perspectivas para su control y reducción. Reunión Regional de Ecología Mar de Cortez. SEDUE. 4-6 Abril 1984. La Paz. B.C. 87-91 pp.
- Orozco-Borbón, M.V. y Ornelas-Pérez. 1993. Calidad bacteriológica en áreas de producción de moluscos bivalvos. Sin Publicar.
- Orozco, M.V. y S.A. Sañudo-Wilhelmy. 1988. Estudio de Coliformes, estreptococos y bacterias patógenas a lo largo de la costa de Baja California. *Ciencias Marinas*. 14(3):1-8
- Patrón-Mass, M.D. 1992. Contaminación Bacteriana en Sedimentos Superficiales Marinos de la zona fronteriza México-E.U.A. En época de verano. Tesis de Licenciatura en Oceanología. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C. 60 pp.
- Pourcher, A. M., L.A. Devrise, J.F. Hernandez y J. M. Delattre. 1991. Enumeration by a miniaturized method of *Escherichia coli*, *Streptococcus bovis* and enterococci as indicators of the origin of faecal pollution of waters. *Journal of Applied Bacteriology*. 70:525-530.
- Quero-Santiago, R. 1992. Contaminación Bacteriológica en La Costa Noroccidental De la frontera México-Estados Unidos.

- Tesis de Licenciatura en Oceanología. Facultad de Ciencias Marinas U.A.B.C. 73 pp.
- Salas, H.J. 1989. Calidad del Agua en el medio marino. Historia y aplicación de normas microbiológicas. Bol. of Sanit. Panam. 107(3):226-239.
- Sánchez-Rodríguez, R. 1990. El Medio Ambiente como Fuente de Conflicto en la Relación Binacional México-Estados Unidos. El Colegio de la Frontera Norte. 1a. ed. B.C., México 1990. 60-91 pp.
- Sañudo-Wilhelmy, S.A. y C.E. Suárez-Vidal. 1982. Carga Orgánica de las aguas negras municipales de la Ciudad de Tijuana Baja Calif. Ciencias Marinas. 8(2):155-166.
- SCCWRP, 1989. Marine outfalls: 1987 Inputs from wastewater treatment plants, power and industries facilities. South Calif. Coastal Water Research Project. Annual report. Long Beach Calif. 30-37 pp.
- SEDUE. 1991. Gaceta Ecológica. Secretaría De Desarrollo Urbano y Ecología. México. 3(17):12-25.
- Sheapar, F.P. 1950. Longshore current observation in Sourthern Calif. Scripps Institution of Oceanography Beach erosion board. Thecnical memorandum. No. 13 54 pp.
- Sokal, R.R. y F.J. Rohlf. 1979. Biometría Principios y Métodos Estadísticos en la Investigación Biológica. 1a. ed. H. Blume Ediciones. España.
- Stevens, J.S. y C.J. Gentzkow eds. 1944. Laboratory Methods of

United States Army. fifth edition. Lea & Febíger. U.S. p.
539.

Webb, C.K., D.A. Stow y H.H. Chang. 1991. Morphodynamics of
Southern California Inlets. Journal of Coastal Research.
7(1):167-187.