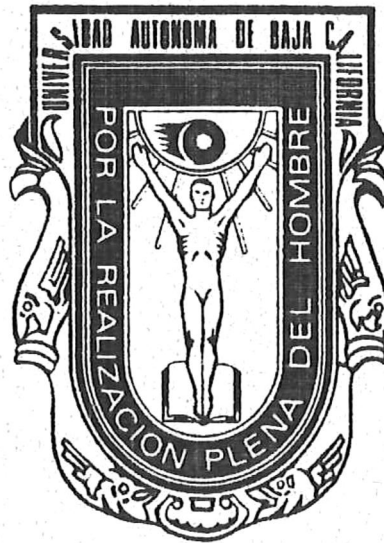


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LAS AGUAS DE DESECHO DE LA CIUDAD DE ENSENADA Y LA BAHÍA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA.



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
O C E A N Ó L O G O
PRESENTA :
J. JESÚS MORALES DE LOS SANTOS

Ensenada, Baja California, junio de 1997

“DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LAS AGUAS DE DESECHO DE
LA CIUDAD DE ENSENADA Y LA BAHÍA DE TODOS SANTOS,
BAJA CALIFORNIA.”

TESIS


QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

O C E A N Ó L O G O


PRESENTA

J. JESÚS MORALES DE LOS SANTOS


Aprobada por:



M.C. Sergio Raúl Canino Herrera
Presidente del Jurado



Oc. Bernardo Primitivo Florez Báez
Sinodal Propietario



Oc. Guillermo Mariano Martínez García
Sinodal Propietario

RESUMEN

En el verano de 1996, se realizaron muestreos instantáneos en las plantas de tratamiento del Sauzal y El Gallo, así como en sus arroyos receptores . A cada muestra se le analizó cloro residual, oxígeno disuelto y pH . Además de las anteriores variables se determinaron salinidad y temperatura en 19 estaciones distribuídas en la Bahía de Todos Santos.

Se encontró en ambas plantas de tratamiento a las NCl_3 como especie principal en el tratamiento de desinfección, la cual es indicadora de una deficiencia en el proceso de clorinación . Esto repercutió directamente en la concentración de HClO , que aunque predominó sobre el ClO , su concentración fué baja . Por tal razón su eficiencia bactericida se considera no satisfactoria.

Los efluentes Cuatromilpas y El Gallo, por ser los medios de desagüe de las plantas de tratamiento, aportan cantidades considerables de cloro combinado, donde las más predominantes son las NCl_3 y NHCl_2 . Debido a ésto, las NCl_3 predominaron en la Bahía de Todos Santos . Las especies de cloro presentaron gradientes de concentración con máximos (0.0.292 mg NHCl_2 /l y 0.255 mg NCl_3 /l) en el centro de la bahía y al encontrarse en concentraciones altas indica su persistencia en el medio marino, por lo cual pueden ser utilizadas como trazadoras de contaminación por efluentes de aguas residuales.

DEDICATORIA

A mi madre Cresencia De Los Santos García porque gracias a tí, he comprendido cuán importante es la vida y la bella razón de existir.

A mi padre Eulogio Morales A., con un gusto inmenso te dedico mi primer trabajo de investigación, del cual estarías muy orgulloso, siempre estarás presente en mi corazón . Gracias padre por enseñarme a afrontar los caprichos de la vida y no decaer ante cualquier situación y, por encauzarme en la superación escolar.

Con mucho cariño a mis hermanos Wvaldo y Fermín, gracias por su confianza y apoyo, que han sido tan importantes durante toda mi vida.

A mi hermano José Manuel, siempre estarás con nosotros. Gracias hermano por los bellos momentos que compartimos en nuestra infancia y por confiarme tus sueños (metas) que siempre fueron bien fundamentados y con visión.

A Griselda Serrano García, porque contigo los momentos son maravillosos y porque mi vida ha conocido ese sentimiento tan especial que ha logrado dar felicidad a mi existencia.

A mi abuela, tíos, primos y sobrinos, gracias por todas sus atenciones y cariño .

A Sylvia Flores M., Ignacio Hernández y su hijo Ariel, por su apoyo, confianza y amistad, gracias familia .

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Marinas-U.A.B.C., porque fue el lugar ideal para terminar mi nivel de licenciatura y por contar con la excelente carrera de Oceanólogo de la cual me siento tan orgulloso al ser parte de tan privilegiada profesión.

A mis profesores que me han proporcionado las bases para que sea un profesionista.

Al profesor M.C. Sergio Raúl Canino Herrera, por aceptarme como su tesisista y abordar un trabajo de tesis tan interesante.

A Milagros, Nacho, Arturo y Epi, por disponerme de material durante el trabajo del laboratorio .

Al profesor Manuel Moreno, por ayudarme en una etapa crítica de mi carrera, por sus consejos y por darme ánimo para seguir adelante en la universidad.

A Cuauhtémoc Turrént Thompson, Daniel Ortiz Viveros y Diego Edgar García Gómez, gracias por estar presentes cuando más necesitaba de apoyo. Gracias por su confianza y apreciable amistad, por siempre agradecido.

A Juan Carlos Leal, mi amigo por siempre. Gerardo y René gracias por su ayuda.

A Katia Galindo A., eternamente agradecido.

A Héctor por aguantar mis demandas para trabajar en su máquina, gracias por tu amistad.

Por convivir en una carrera tan preciosa a Luis Guzmán, Benet, Flor, Plata, Gil, Jocelyn, Gerardo Sandoval y Cecilia, Chema, Chalo, Bruno, Raquel, Diego Bernal y Oscar.

A Liza por su amistad y porque convivimos y conocimos los obstáculos para terminar una tesis

A Vanessa, Francisca y Laura, por los momentos agradables.

A los "Snorkels" por compartir los conocimientos proporcionados durante la carrera de Oceanología.

A Alex por ayudarme con los mapas.

A todo aquellos que de una u otra forma ayudaron para que terminara mi tesis

A la familia Avila-Soltero, y demás familias que he conocido aquí en Ensenada.

A mis compañeros y amigos de siempre: César, Hilda, Mónica, Esmeralda, Araceli, Angel, Damián y Antonia, así como a sus familias respectivas.

ÍNDICE

	página
I.- INTRODUCCIÓN	1
I.1.- Objetivos	5
II.- METODOLOGÍA	6
II.1.- Descripción del área de estudio	6
II.2.- Colecta de muestras	8
III.- RESULTADOS	10
III.1 Mediciones de cloro	10
III.2 Mediciones de cloro residual en las fuentes	17
III.3.- Mediciones de cloro residual en agua de mar	27
IV.- DISCUSIONES	38
V.- CONCLUSIONES	44
VI.- RECOMENDACIONES	45
VII.- LITERATURA CITADA	46

LISTA DE TABLAS

página

Tabla I	Concentración promedio de cloro residual en mg/l en la descarga de la planta El Sauzal, los días 11 al 14 de agosto de 1996. El ClO = cloro libre residual, NH_2Cl = monoclорaminas, NHCl_2 = dicloraminas y NCl_3 = tricloraminas, HClO =ácido hipocloroso, Cl_2 comb=cloro combinado, Cl_2 resid = cloro residual y O.D. = oxígeno disuelto en mg de oxígeno por litro (mgO_2/l).	18
Tabla II	Concentración promedio de cloro residual en mg/l en el arroyo Cuatromilpas los días 11 al 14 de agosto de 1996. ClO = cloro libre residual, NH_2Cl = monoclорaminas, NHCl_2 = dicloraminas y NCl_3 = tricloraminas, HClO = ácido hipocloroso, ClO^- =ión hipoclorito, Cl_2 comb = cloro combinado, Cl_2 resid=cloro residual y O.D=oxígeno disuelto en mg/l.	22

Tabla III	<p>Concentración promedio de tricloraminas (NCl₃) en el efluente de El Gallo, los días 21 al 24 de agosto de 1996. tiempo en horas = hora del día a la cual se tomó la muestra, concent = concentración de NCl₃ en mg/l . Las concentraciones, son el resultado de dos determinaciones por muestra.</p>	25
Tabla IV	<p>Concentración promedio de cloro residual (mg/l) en el arroyo El Gallo, los días 21 al 24 de agosto de 1996. tiempo en horas = hora del día a la cual se tomó la muestra, NCl₃ = tricloraminas, NH₂Cl = monocloraminas y ClO = cloro libre residual. O.D. = oxígeno disuelto en mgO₂/l, HClO = ácido hipocloroso, ClO⁻ = ión hipoclorito, Cl₂ comb=cloro combinado y Cl₂ resid=cloro residual.</p>	26
Tabla V	<p>Concentración promedio de cloraminas y cloro libre, en el crucero realizado el 25 y 26 de septiembre de 1996 en la Bahía de Todos Santos . Las concentraciones promedio están en miligramos por litro . También se muestran los mínimos y máximos registrados . La temperatura en grados centígrados y la salinidad en ups.</p>	28

LISTA DE FIGURAS

		página
Figura 1	Localización de las plantas de tratamiento de aguas residuales y distribución de las estaciones de muestreo en la Bahía de Todos Santos, B. C. .	7
Figura 2	Estabilidad del cromóforo con el tiempo de reacción empleando dos estándares de cloro. Los puntos representan el promedio de las determinaciones para cada estándar.	11
Figura 3	Relación de la concentración de cloro en mg Cl ₂ /l y la absorbancia en agua destilada . Línea a1, muestra la regresión lineal utilizada para el cálculo de los datos. a2 indica los datos que no presentaron un comportamiento lineal.	14
Figura 4	(a) Relación de la concentración de cloro en mg Cl ₂ /l y la absorbancia por medio del cromóforo formado en agua de mar .Se utilizaron para esta relación 120 datos. (b) Regresión lineal en el intervalo de 0.0 mg Cl ₂ /l a 0.97 mg Cl ₂ /l.	16

- Figura 5 Concentración de cloro residual en mg/l en el efluente de la planta El Sauzal para el día 11 (a) y día 14 de muestreo (b). Cada especie de cloro son el resultado de dos determinaciones representadas por su promedio. Las barras verticales fueron construídas con lo valores máximo y mínimo para cada hora muestreada. 20
- Figura 6 Concentración de cloro residual en mg/l en el arroyo Cuatromilpas para el día 11 (a) y día 14 de muestreo (b). Cada especie son el resultado de dos determinaciones representadas por el promedio. Las barras verticales fueron construídas con los valores mínimo y máximo para cada hora muestreada. 23
- Figura 7 Concentración de cloro libre residual (a) y monocloramias (b) en mg/l en la Bahía de Todos Santos, utilizando los datos de las estaciones del transecto "A". Durante el 25 y 26 de septiembre de 1996. 30
- Figura 8 Distribución de dicloraminas (NHCl_2) en mg/l en la superficie de la Bahía de Todos Santos, B.C. . Durante el 25 y 26 31

de septiembre de 1996.

Figura 9	Distribución de dicloraminas (NHCl_2) en mg/l a 20 metros de profundidad en la Bahía de Todos Santos, B.C. durante el 25 y 26 de septiembre de 1996.	32
Figura 10	Distribución de tricloraminas (NCl_3) en mg/l en la superficie de la Bahía de Todos Santos, B. C., el 25 y 26 de septiembre de 1996.	33
Figura 11	Distribución de tricloraminas (NCl_3) en mg/l a 20 metros de profundidad en la Bahía de Todos Santos, B. C., el 25 y 26 de septiembre de 1996.	34
Figura 12	Corrientes de verano-invierno en la Bahía de Todos Santos, B. C., México, tomado de García-Gastelum, 1997.	35
Figura 13	Estabilidad de compuestos de cloro en agua de mar, el tiempo representa el periodo de exposición del agua de mar a las concentraciones de cloro,	36

I.- INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras han experimentado un acelerado crecimiento urbano en los últimos años, ocasionando la generación considerable de fuentes de contaminación que presentan una variada diversidad de compuestos como las aguas residuales, que en un principio eran arrojadas al mar sin tratamiento previo alguno (Villegas-Jiménez, 1994) . La Bahía de Todos Santos (BTS) ha sufrido serias modificaciones (físicas, químicas y biológicas) debido al rápido crecimiento de la población, ocasionando que los servicios públicos donde se incluye el tratamiento de aguas residuales no hayan crecido de la misma forma (Martínez-García, 1988) . En la ciudad de Ensenada los problemas de olores fétidos y daño a la biota, fueron suficientes para que se tomaran las medidas necesarias en la infraestructura para el tratamiento y reuso de estas aguas residuales . Sin embargo el 46 % de las aguas negras son evacuadas a la BTS (Comité de Planeación para el Desarrollo del Municipio de Ensenada, 1990) .

Las plantas de tratamiento con las que cuenta la ciudad de Ensenada son operadas por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE): una de ellas se encuentra en la Población del Sauzal de Rodríguez, caracterizada por recibir aguas de tipo doméstico y descargar sus aguas en el arroyo Cuatromilpas, el cual a lo largo de su curso hacia la bahía, recibe evacuaciones de aguas domésticas sin tratamiento alguno, y la otra planta es la del arroyo El Gallo que descarga sus aguas en el lecho del arroyo del mismo nombre, en el cual además se arrojan aguas residuales procedentes del sector industrial: Empacadora Sun, Productos Marinos Industrializados, COPASA, Empacadora Mar y PROESA (Morales-Chávez, 1984) .

Las aguas al llegar a estas plantas son tratadas mediante un proceso del tipo “primario avanzado“, el cual consiste en la remoción de sólidos en suspensión y degradación de materia orgánica soluble y sedimentación de lodos secundarios . Con una etapa final de desinfección con cloro en forma de gas, practicado por la planta El Sauzal y la del arroyo El Gallo (Muñoz-Arriola, 1994) .

El cloro es extensamente utilizado en el mejoramiento del agua tratada, con el objetivo de eliminar organismos patógenos, olores y sabores desagradables (Encalada-Fleites y Millán-Nuñez, 1990).

La adición de cloro (clorinación) puede ser en forma de gas (Cl_2) ó líquido (ClO^-), el primero al ser agregado a las aguas ocasiona la disminución de pH por la predominancia del ácido hipocloroso (HClO) (Snoeyink y Jenkins, 1990) . Esta forma química es efectiva como bactericida, penetrando en la bacteria y destruyéndola. El mecanismo en el interior de la bacteria consiste en la oxidación del contenido celular orgánico, causando la precipitación de albúminas. Con ello la acción enzimática es inhibida y subsecuentemente la célula muere (Hopkins y Bean, 1966) . Por otra parte el ión hipoclorito (ClO^-) ataca primero a la pared celular y después entra a la célula, por lo cual es menos eficiente como desinfectante (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1989).

El cloro al ser adicionado al agua forma el HClO y ClO^- (ión hipoclorito), tienden a oxidar todo tipo de material debido a su potencial redox. Por tal motivo, es importante durante la clorinación, que el agua tratada presente la menor cantidad de material orgánico (carbohidratos, aminoácidos, proteínas, etc) e inorgánico (Mn, Fe, nitritos etc.), ya que tales sustancias consumen cloro, debido a que son oxidables . Dicho consumo se denomina Demanda de cloro . El cloro residual está definido como el remanente después de clorar que puede encontrarse libre ó combinado. El cloro libre es el cloro remanente en forma de ClO^- y/o HClO , mientras que el cloro combinado incluye a las monocloraminas, dicloraminas, tricloraminas y compuestos organoclorados (Hopkins y Bean, 1996; Rodier, 1989; Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1989) .

Las cloraminas resultan de la reacción del cloro libre con el amonio (NH_4^+) y compuestos nitrogenados. Sus productos varían con las condiciones de pH . Se ha establecido que mezclas de monocloraminas (NH_2Cl) y dicloraminas (NHCl_2) prevalecen a pH promedio de 7.0; a pH menor de 7.0 hay cantidades importantes de dicloraminas y se pierden en proporción directa al incrementar el valor de pH; a pH de 9.5 únicamente

encontramos monocloraminas. De esto se desprende que los productos formados del cloro varían de acuerdo a las condiciones de pH, cantidad de amonio, tiempo de contacto y temperatura (Snoeyink y Jenkins, 1990).

Existen pocos métodos para la evaluación del cloro combinado en aguas naturales, entre ellos se pueden citar al método de la Dietil-p-fenilenodiamina (DPD) (espectrofotométrico y volumétrico), el amperométrico, el de leucocristales y el de la siringaldazida. Tales métodos presentan inconveniente en la valoración de muestras de agua de mar ya que el ión bromuro interfiere en la determinación al combinarse con los agentes oxidantes residuales de las reacciones involucradas (Snoeyink y Jenkins, 1990). La técnica a emplear en la determinación de cloraminas en agua dulce y agua de mar es el método espectrofotométrico de la Dietil-p-fenilenodiamina (DPD). Este se caracteriza por ser sensible, específico, diferenciar entre cloro libre y combinado, además de poder evaluar las interferencias que se presentan, mediante métodos de bloqueo de reacciones. Su principio se basa en que en presencia de cloro la DPD produce una coloración indicado por la presencia de un cromóforo cuya absorbancia se mide a 515 nm (APHA, 1985).

Los estudios sobre determinaciones de cloraminas y cloro residual en el agua de mar han sido pocos, entre ellos, podemos citar a Rosales-Casián (1986), el cual realizó ensayos sobre el efecto del cloro en la supervivencia y crecimiento de larvas de la anchoveta norteña (*Engraulis mordax* Girard) y el grujón (*Leuresthes tenuis* Ayres). Sus resultados mostraron que los huevos y larvas de *E. mordax* y larvas de *L. tenuis* presentaron gran sensibilidad a concentraciones mayores de 0.5 ppm de cloro, propiciando altas mortalidades. El cloro fue medido por el método DPD espectrofotométrico, para ambos organismos su tolerancia aumentó conforme a la edad, observándose que las sobrevivientes a la concentración mayor de 0.5 ppm de cloro pueden presentar una perturbación en su crecimiento motivo de un efecto subletal.

Camargo (1991), examinó el efecto tóxico de aguas municipales cloradas en larvas de *Hydropsyche pellucidula* (Curtis), una especie de insecto común en ríos y

corrientes de la Península Ibérica y otros países europeos . Mediante mediciones de cloro libre con electrodos de ión selectivos . Concluyendo que los efectos subletales de cloro sobre la larva pueden ser usados como indicador biológico para detectar contaminación por cloro en ecosistemas de agua dulce.

Elmare, Beitinger y Huey (1980), estudiaron la toxicidad de monocloraminas en Goldfish (*Carassius auratus*) . Utilizando la titulación amperométrica (APHA, 1971), encontraron que la concentración letal media (LC₅₀) fue de 1.25 mg/l a 22°C y de 0.93 mg/l de monocloraminas a 32°C .

Simmons y Sivaborvorn (1979), investigaron efectos de los compuestos organoclorados en el tratamiento de aguas residuales domésticas sobre el crecimiento de las algas *Chlorella pyrenoidosa* y *Anabaena affinis*. Usando la titulación yodométrica para la determinación del cloro (APHA, 1975), encontraron que el efecto de las diluciones de cloro, inhiben el crecimiento de acuerdo a la concentración usada .

Por las características de la BTS (corrientes y aportes de contaminación), es factible que las aguas residuales se distribuyan de una manera muy eficiente, afectando ampliamente a la zona costera. Y debido a que las aguas residuales en las principales plantas de tratamiento de Ensenada reciben clorinación, surge la necesidad de evaluar la posible concentración de cloro libre y combinado en las descargas de las plantas y determinar si persisten los compuestos de cloro en la Bahía de Todos Santos.

I.1.- Objetivos

General

Evaluar las concentraciones de cloro residual libre y combinado en la zona costera de la Bahía de Todos Santos por el método espectrofotométrico de la Dietil-p-fenilendiamina. Así como, determinar estos compuestos en las principales descargas de aguas residuales tratadas .

Particulares

- a) Evaluar las interferencias del ión manganoso oxidado en la aplicación de la técnica del DPD espectrofotométrico en el agua de mar .
- b) Determinar el límite de detección y condiciones de aplicación de la técnica del DPD para medición de cloro en todas sus formas en el agua de mar .
- c) Medir las concentraciones de cloro residual y sus diferentes especies químicas en las principales descargas de aguas residuales y en la zona costera de la Bahía de Todos Santos, B. C. .
- d) Correlacionar las concentraciones de las diferentes especies químicas de cloro residual con parámetros físicos y químicos en la zona costera de la Bahía de Todos Santos, B. C. .

II.-METODOLOGÍA

II.1.- Descripción del área de estudio

La Bahía de Todos Santos (BTS) se localiza entre los 31° 43' y 31° 55' latitud Norte, 116° 36' y 116° 50' longitud Oeste, en la región noroeste del estado mexicano de Baja California (fig. 1) . Su forma es trapezoidal con una superficie de 24000 ha, 22.5 km de largo y 14.4 km de ancho . Delimitada al Sur por la Península de Punta Banda que es rocosa-montañosa; al Norte por Punta San Miguel; al Oeste por las Islas Todos Santos; y al Sureste por el Estero de Punta Banda . Cerca del 90 % de su profundidad se encuentra entre los 10 y 50 metros, el porcentaje restante lo comprende un cañón submarino ubicado entre las Islas Todos Santos y la Península de Punta Banda (Secretaría de Marina, 1974) .

Sus corrientes litorales son en dirección Sur, con una divergencia en la parte central de la bahía (Aranda-Manteca, 1983) . La ubicación de la termoclina es estacional, encontrándola de 6 a 8 metros durante primavera y de 9 a 10 metros en otoño-invierno . Sus aguas son frías, en verano registra un promedio de 16°C, su salinidad en promedio anual es de 33.52 ppm (Martínez-García, 1988) . Los vientos dominantes son del noroeste con velocidades promedio de 4m/s con variaciones en otoño e invierno (Alvarez-Sánchez, 1971) .

La planta del arroyo El Gallo se encuentra cerca de la desembocadura del arroyo del mismo nombre, a los 31° 51' N y 116° 38' W (Rincón-Espinosa, 1996; fig 1) . Su efluente se descarga con un flujo de 350 l/s de aguas residuales al lecho del arroyo El Gallo (Com. personal, Martínez-García, 1996). En su trayecto se arrojan aguas residuales industriales que se mezclan con aguas provenientes de la planta de tratamiento antes de entrar a la zona costera . La planta del Sauzal está localizada a la altura del kilómetro 104 de la carretera Tijuana-Ensenada (fig. 1) . Descarga un volumen de 55 l/s al arroyo Cuatromilpas y durante su curso hacia la bahía, recibe aportes de aguas domésticas sin tratamiento alguno del Motel California y casas particulares .

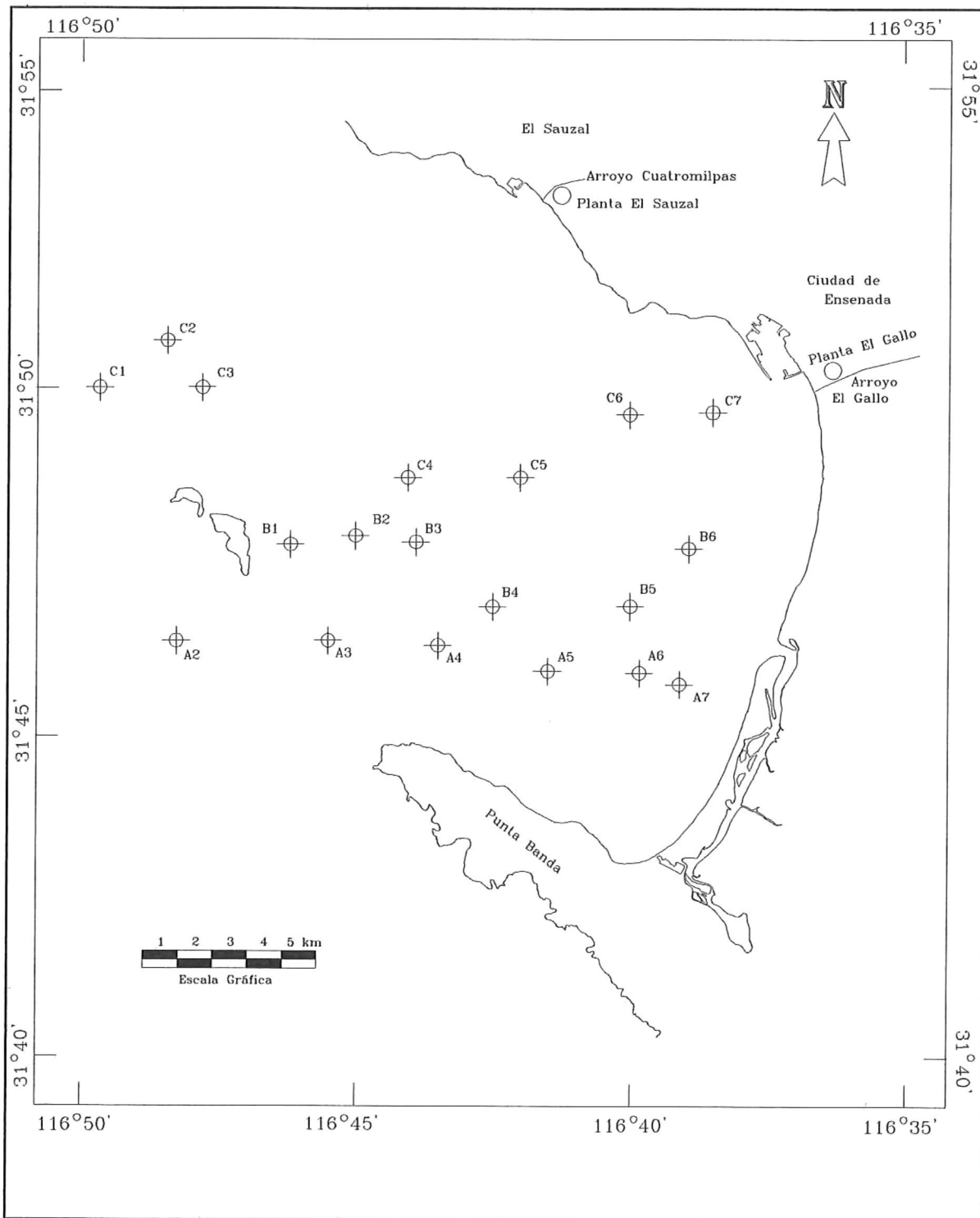


Figura 1.- Localización de las plantas de tratamiento de aguas residuales (○) y distribución de las estaciones de muestreo (⊕) en la Bahía de Todos Santos B. C.

II.2.- Colecta de muestras

Se llevó a cabo un monitoreo de cuatro días (11 al 14 de agosto de 1996) en la descarga de aguas residuales de la planta del Sauzal y para la planta del arroyo El Gallo (21 al 24 de agosto de 1996), así como para sus arroyos respectivos, Cuatromilpas y El Gallo . La toma de muestras se realizó cada dos horas, iniciando desde las 8:00 horas hasta las 18:00 horas del día . A cada muestra se le determinó oxígeno disuelto (O.D.), pH, y cloro residual . El O.D. se colectó en botellas DBO y se fijó con solución A y B, el cloro residual en botellas de plástico de 250 ml, ambas se almacenaron en una hielera para protegerlas de la acción de la luz y se mantuvieron a 5°C hasta su análisis en laboratorio. El pH, se midió de la botella para cloro residual; los métodos de medición para éstos son explicados posteriormente, y para el caso del O.D., se determinó por el método Winkler descrito por Strickland y Parsons (1972).

La colecta de muestras de agua de mar en la Bahía de Todos Santos se tomaron en el crucero de Oceanografía Química F.C.M. 96-2 en el barco Sebastián José Holzinger C-01 de la Secretaría de Marina / Armada de México, los días 25 y 26 de septiembre de 1996 . Las estaciones de muestreo se ubicaron en tres transectos que se distribuyeron en la mayor área posible de la bahía (fig 1) . Las muestras de agua se colectaron con botellas Van Dorn, con capacidad de 3 litros, a tres profundidades, 0, 10 y 20 metros . Para posicionar cada estación se usó el sistema de ubicación geográfica del barco (GPS) . Las muestras para cloro se colectaron en botellas de plástico de 125 ml, para salinidad en botellas de citrato, mientras la temperatura y pH se midieron in situ, con un potenciómetro ORION, modelo SA 230, con precisión de ± 0.1 mV . Se obtuvo la pendiente del electrodo usando buffer de pH 4.0 y 7.0 para agua dulce y buffer tris marinos de pH 7.475 y 8.875 para agua de mar, de acuerdo a Smith y Hood (1964) . Para la temperatura, se usó un termómetro de mercurio de -10 a 50 °C, con precisión de ± 0.5 °C .

En el laboratorio se determinó la salinidad por el método de inducción (Manual de Instrucciones para la Obtención de datos Oceanográficos, 1972) con un salinómetro “Beckman Industrial” modelo RS-10.

El cloro se evaluó por el método espectrofotométrico de la Dietil-p-fenilenodiamina (APHA, 1985), mediante un espectrofotómetro digital “Spectronic 301”, marca “Mylton Roy”. Y una vez obtenidas las lecturas en absorbancias, por las ecuaciones siguientes se calculan los compuestos (cloro libre y combinado)

*Caso 1.- si la lectura $N \geq$ lectura A

*Caso 2.- si la lectura $N \neq 0$ y $<$ lectura A

lectura A = ClO

lectura A = ClO

lectura B - lectura A = NH_2Cl

lectura B - lectura A = NH_2Cl

$2(\text{lectura N} - \text{lectura A}) = \text{NCl}_3$

lectura C - lectura B = NHCl_2

$[(\text{lectura C} - \text{lectura B}) - \frac{1}{2}(\text{NCl}_3)] = \text{NHCl}_2$

$\text{NCl}_3 = 0$

Posteriormente se convierten a concentraciones de mg/l por la fórmula:

$$\text{mg/l} = xbo + b1 \quad \text{donde}$$

x = absorbancia del compuesto (ClO, NH_2Cl , NHCl_2 ó NCl_3)

bo y b1 = son la pendiente y constante respectivamente, obtenidos de las curvas de calibración ya sea en agua destilada ó agua de mar.

mg/l = unidades de los compuestos (ClO, NH_2Cl , NHCl_2 y NCl_3).

La interferencia por el ión manganoso oxidado se analizó utilizando arsenito de sodio de acuerdo a APHA (1985).

III.- RESULTADOS

III.1.- Mediciones de cloro

Las mediciones de cloraminas y cloro residual libre se determinaron por el método de la Dietil-p-fenilenodiamina descrito en APHA (1985) . La metodología se probó en los siguientes aspectos:

a) Tiempo de medición

Debido a que la concentración del complejo formado entre el cloro y DPD cambia con el tiempo, se llevó a cabo un monitoreo del cromóforo formado con cloro libre residual de dos diferentes estándares, 0.2 mg Cl₂/l y 2.602 mg Cl₂/l a diferentes tiempos, durante 1 hora con 30 minutos, para tener un total de 17 puntos. Esto se hizo con el objeto de determinar el tiempo adecuado de medición .

En la figura 2, se muestran los resultados obtenidos con los dos estándares . En el estándar de 2.602 mg Cl₂/l, la absorbancia del cromóforo obtenida inmediatamente después de la mezcla entre reactivos y muestra proporciona la máxima concentración, manteniéndose por un lapso de tiempo de aproximadamente 30 segundos . Conforme pasa el tiempo, disminuye su absorbancia, probablemente debido a la inestabilidad del cromóforo . Para el estándar de 0.2 mg Cl₂/l, la absorbancia presenta un comportamiento más estable con el tiempo, debido a que el cromóforo es estable por un tiempo de aproximadamente un minuto . Por ello las mediciones de estándares y muestras se realizaron en un tiempo no mayor de 30 segundos después de ser añadidos los reactivos.

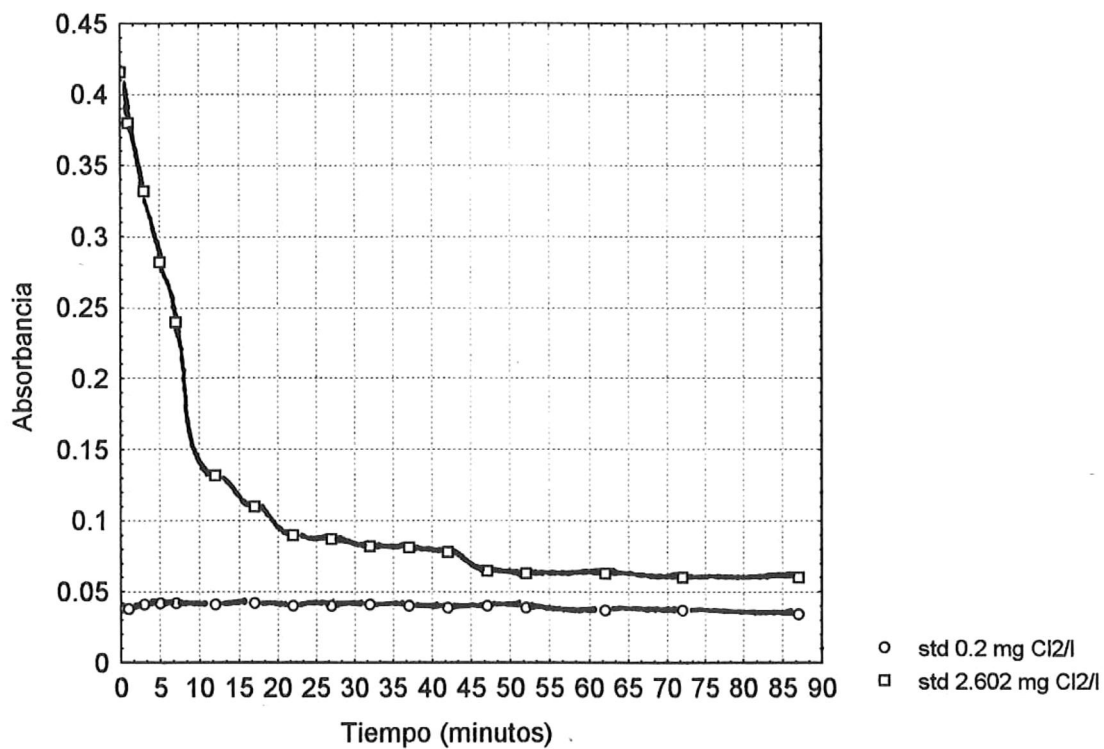


Figura 2.- Estabilidad del cromóforo formado con el tiempo de reacción, empleando dos estándares de cloro. Los puntos representan el promedio de dos determinaciones para cada estándar.

b) Cuantificación de interferencias

Se filtró agua de mar, y desde el primer día de filtración se hicieron mediciones de cloro residual, para determinar si la materia orgánica que pudiera estar presente demandaba cloro. Durante una semana se realizaron las mediciones y al no encontrar diferencia entre las lecturas obtenidas durante este periodo, se procedió a utilizar el agua recién filtrada para hacer las curvas de calibración en agua de mar.

c) Curvas de calibración

Se hicieron curvas de calibración con agua destilada y agua de mar para aplicarse a las muestras de aguas residuales y muestras de agua de mar, respectivamente

c1) calibración del método

Se prepararon 14 estándares en el intervalo de 0 a 4 mg Cl_2/l con agua destilada, a partir de un estándar primario de 100 mg Cl_2/l . La concentración real del estándar primario se determinó por el método yodométrico (APHA, 1985). Posteriormente se leyeron las absorbancias en celdas de 1.0 cm a una longitud de onda de 515 nm. Se hicieron lecturas de blancos y blancos de reactivo por duplicado, para estimar posibles interferencias. Las lecturas se hicieron inmediatamente de realizar la mezcla entre reactivos y muestra, se generaron 6 curvas, cada estándar se midió por duplicado para tener un total de 156 datos. El tiempo máximo de lectura fue de 30 s y aproximadamente de 3.5 a 4.0 minutos para obtener las lecturas de A hasta N. Diariamente se valoró la solución patrón de cloro (100 mg Cl_2/l) y se obtuvo un tiempo de una semana de uso efectivo, mientras que para la solución DPD fue de 1 mes.

En la figura 3, se muestra el comportamiento general de las absorbancias obtenidas en todas las curvas. Aquí se observa que la relación de absorbancia versus concentración es lineal hasta una concentración de 2.602 mg Cl₂/l .

Se tomó en cuenta a todas las curvas hasta la concentración de 2.602 mg Cl₂/l y por medio del análisis de regresión se obtuvo la siguiente ecuación con una R² de 0.9869:

$$\text{Concentración (mg/l)} = (6.004 * \text{absorbancia}) + 0.006$$

A los datos de absorbancias de cada estándar en cada curva, se les determinó su promedio y desviación estándar (SD) para calcular el límite de detección (L.D.) mínimo de acuerdo a la fórmula:

$$\text{L.D.}_{\text{mínimo}} = [\langle \text{absorbancia del blanco} \rangle + 3\text{SD del blanco}(\text{bo}) + b_1]$$

Si el valor era diferente de 0 y positivo, este se consideraba como el L.D. mínimo . Para el valor máximo se consideró al estándar de mayor concentración, que se comportó de manera lineal . De esta forma, el intervalo para estimar las concentraciones de cloro residual en las aguas residuales fué de 0.02 mg Cl₂/l a 2.602 mg Cl₂/l.

La precisión o coeficiente de variación (C.V.) del método, se estimó para cada estándar y por curva, por la fórmula: $\text{C.V.} = (\text{SD de la absorbancia} / \langle \text{absorbancia} \rangle) * 100$, se encontró que para la concentración de 0.0 mg Cl₂/l a 0.124 mg Cl₂/l el C.V. promedio fué de $2.69 \pm 4.55 \%$, y para la concentración de 0.2 mg Cl₂/l a 2.602 mg Cl₂/l, tuvieron el C.V. promedio de $0.61 \pm 0.8 \%$. Se calculó la absorptividad molar (ξ) para este cromóforo de acuerdo a la ley de Lamber-Beer, recalculando las concentraciones a molaridad de las curvas de calibración . A partir de la fórmula :

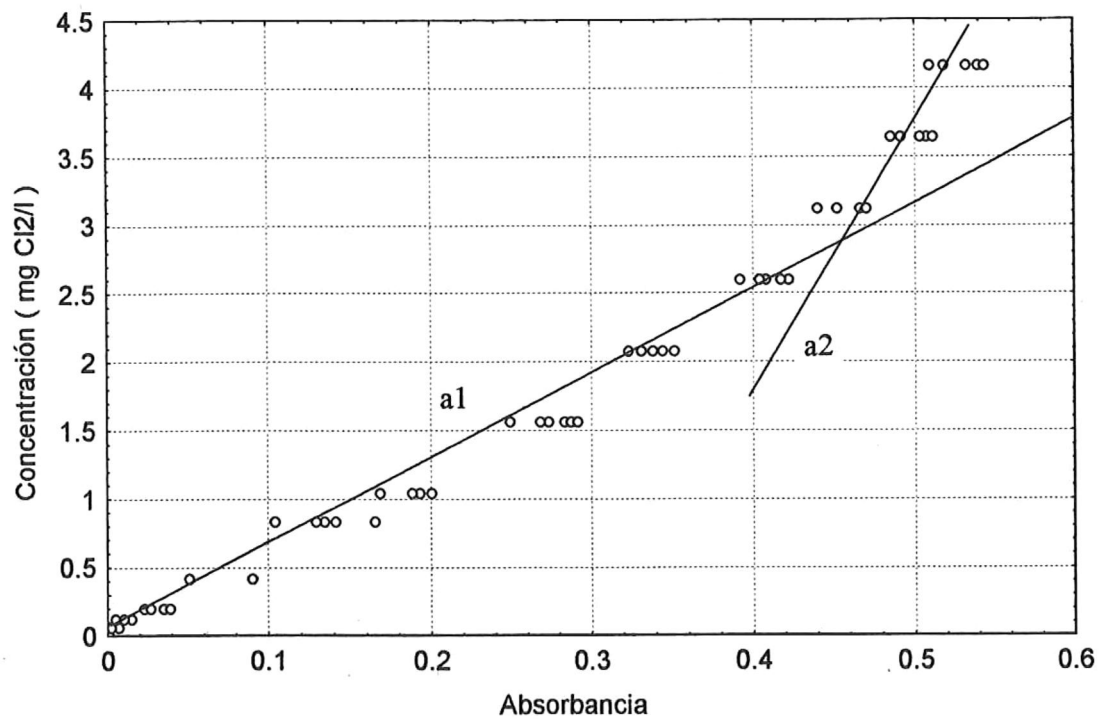


Figura 3.- Relación de la concentración del cloro en mg Cl₂/l y la absorbancia en agua destilada . La línea a1, muestra la regresión lineal utilizada para el cálculo de los datos; a2 indica los datos que no presentaron un comportamiento lineal.

$$\text{Absorbancia (A)} = \text{Concentración (C)} * \xi * \text{Longitud de la celda (L)}$$

tenemos que $L = 1 \text{ cm}$ y $\xi = A/C$ entonces $\xi = 1/m$, de esta forma la absortividad molar resultó de $11420.21 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Para el caso de las curvas de calibración en agua de mar, el agua se obtuvo de la toma de acuicultura (pasada por un filtro de arena) que se encuentra en la Facultad de Ciencias Marinas (FCM). Posteriormente se filtró a través de filtros de nitrato de celulosa de $0.3 \mu\text{m}$ para suprimir todo tipo de material particulado y se almacenó en galones de plástico. Esta agua se usó para preparar 15 estándares en el intervalo de 0 a $4.0 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$, a partir de una solución patrón de cloro ($100 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$) a la cual se le determinaba su concentración real por el método yodométrico. A cada estándar se le hicieron mediciones por duplicado, generando 4 curvas con un total de 120 datos.

La figura 4a, muestra un comportamiento general de las absorbancias de las curvas en agua de mar diferente al patrón determinado en las curvas con agua destilada. Se observa una distribución lineal hasta la concentración de $0.97 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ y otra por arriba de este valor.

La figura 4b, exhibe las absorbancias de las curvas consideradas en acorde al patrón de la ecuación de la recta. Y por medio del análisis de regresión lineal, se obtuvo una pendiente (b_0) de 19.31, un constante de 0.037, con una R^2 de 0.9346. El intervalo de medición encontrado para agua de mar fue de $0.08 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ a $0.97 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$.

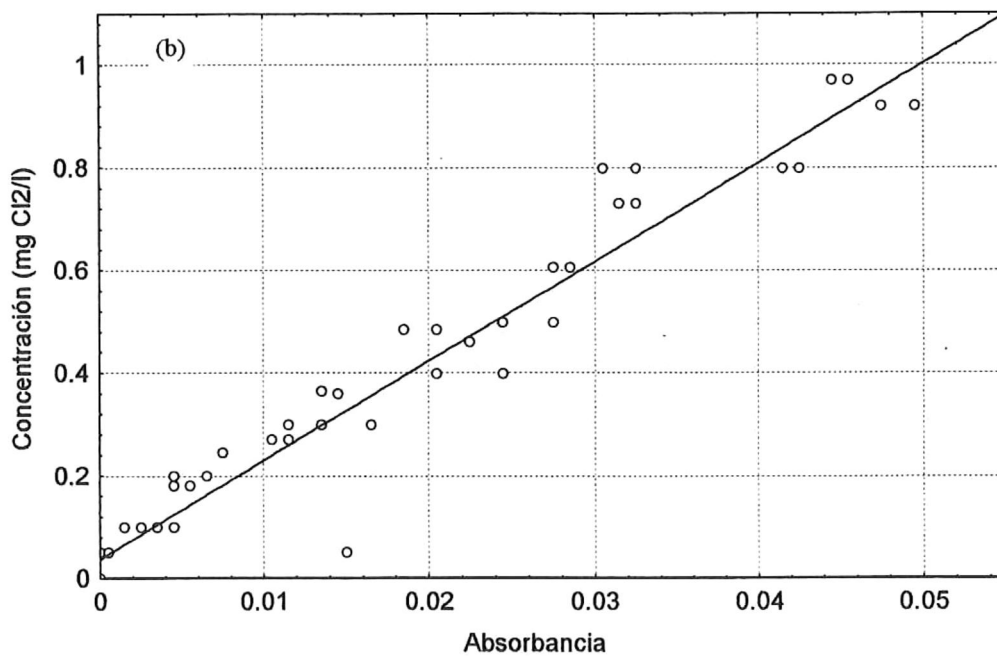
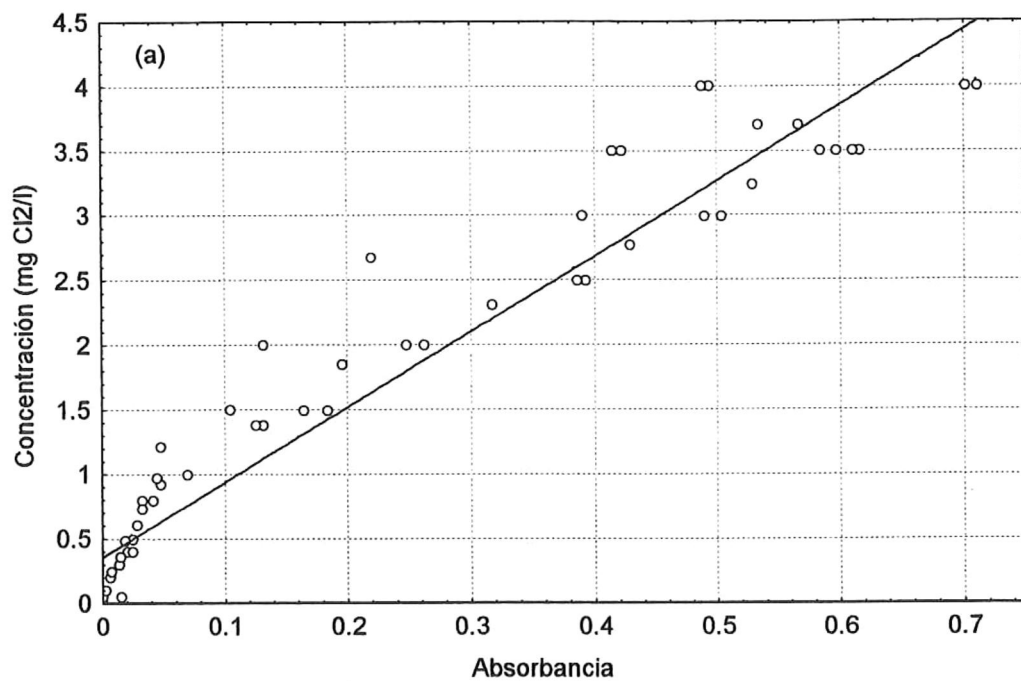


Figura 4. Relación de la concentración del cloro en mg Cl₂/l y la absorbancia por medio del cromóforo formado en agua de mar (a) . Regresión lineal en el intervalo de 0.0 mg Cl₂/l a 0.97 mg Cl₂/l (b) .

El C.V. promedio del método en agua de mar para la concentración de 0.0 mg Cl₂/l a 0.2 mg Cl₂/l fué de $5.16 \pm 4.64 \%$, en tanto que para las concentraciones de 0.299 mg Cl₂/l a 0.97 mg Cl₂/l presentaron un C.V. promedio de $2.26 \pm 2.63 \%$ y en cuanto a la absortividad molar (ξ) esta fué de $3685.339 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

d) Se midió la turbidez para el caso de las muestras que presentaron material en suspensión. Para ello se midió la absorbancia de la muestra a la misma longitud de onda (515 nm).

III.2.- Mediciones de cloro residual en las fuentes

En la tabla I, se muestran los promedios de las concentraciones de los compuestos del cloro residual y otras variables medidas en el efluente de la planta El Sauzal. Se indica el cloro libre residual en sus dos especies químicas (HClO y ClO⁻), calculadas por la ecuación que derivó de un balance de masas y constantes de equilibrio (K_{eq});

$$\text{HClO} = \text{CT}_{\text{ClO}} / (\text{K}_{\text{eq}}/10^{-\text{pH}} + 1.0) \text{ donde:}$$

CT_{ClO} = concentración total de cloro libre residual (ClO⁻ + HClO)

pH = pH medido en la muestra

$\text{K}_{\text{eq}_{\text{HClO}}} = 10^{-7.4}$ (Snoeyink y Jenkins, 1990).

Se optó por la K_{eq} de $10^{-7.4}$, debido a que no existe una considerable variabilidad a 15 °C ($10^{-7.4}$) con respecto a 25 °C ($10^{-7.39}$) (Snoeyink y Jenkins, 1990; Leicester, Simpson y Ellis, 1981, respectivamente).

En los resultados de la descarga de la planta del Sauzal, se encontró que la especie de cloro libre residual que predominó fué el HClO durante todos los muestreos y lo más

Tabla I.-Concentración promedio de cloro residual en mg/l, en la descarga de la planta El Sauzal, los días 11 al 14 de agosto de 1996 . El ClO=cloro libre residual, NH₂Cl=monocloraminas, NHCl₂=dicloraminas y NCl₃=tricloraminas, HClO=ácido hipocloroso, ClO⁻=hipoclorito, Cl₂ comb=cloro combinado, Cl₂ resid=cloro residual y O.D=oxígeno en mg de oxígeno por litro (mgO₂/l).

Fecha de muestreo	com-puesto	[] (mg/l)	O.D. (mgO ₂ /l)	pH	HClO (mg/l)	ClO ⁻ (mg/l)	Cl ₂ comb (mg/l)	Cl ₂ resid (mg/l)
11	ClO	0.29						
11	NH ₂ Cl	0.09	6.89	6.34	0.26	0.24	0.71	1.00
11	NCl ₃	0.62						
12	ClO	0.14						
12	NCl ₃	0.09	7.11	6.47	0.13	0.02	0.12	0.27
12	NHCl ₂	0.03						
13	ClO	0.10						
13	NH ₂ Cl	0.03	6.75	6.49	0.09	0.01	0.27	0.38
13	NCl ₃	0.21						
13	NHCl ₂	0.03						
14	ClO	0.53						
14	NH ₂ Cl	0.12	6.64	6.59	0.05	0.07	1.08	1.61
14	NCl ₃	0.92						
14	NHCl ₂	0.04						

interesante es que las tricloraminas (NCl_3) son las que están presentes en mayor concentración, de 0.091 mg/l a 0.921 mg/l . Con base en estos valores, las cantidades de NCl_3 aportadas por la planta El Sauzal, son importantes, considerando el gasto de descarga de 55 l/s (Silva-Nava, 1997, com. personal).

Por otra parte, el oxígeno disuelto (O.D.) presentó concentraciones de 6.64 mg O_2 /l a 7.11 mg O_2 /l y valores de pH de 6.34 a 6.59 . El Sauzal aporta concentraciones muy variables de cloro residual a lo largo del día, por lo cual su precisión (C.V.) estimada fué de $72.61 \pm 50.73 \%$.

En la figura 5a y figura 5b, se muestran los resultados de dos días de muestreo en el efluente de la planta El Sauzal, que representan las máximas variaciones encontradas en los 4 días de muestreo . Sin dejar de mencionar que ambas gráficas son de escala diferente y que los compuestos son el resultado de mediciones por duplicado para cada muestra, representadas por su promedio . Las barras verticales se construyeron con el mínimo y máximo para cada hora de muestreo.

En las figuras se observa, que la concentración de cloro residual es baja durante las primeras horas del día . Tal vez por una deficiente clorinación ó una alta demanda de cloro . La especie química de cloro residual que predomina es la NCl_3 , indicando una deficiente clorinación . Además de la alta variabilidad de especies la concentración de cloro libre residual es baja, lo que se traduce en una baja eficiencia de desinfección, ya que a pesar de que predomine el HClO por condiciones de pH, no es suficiente su concentración para eliminar bacterias.

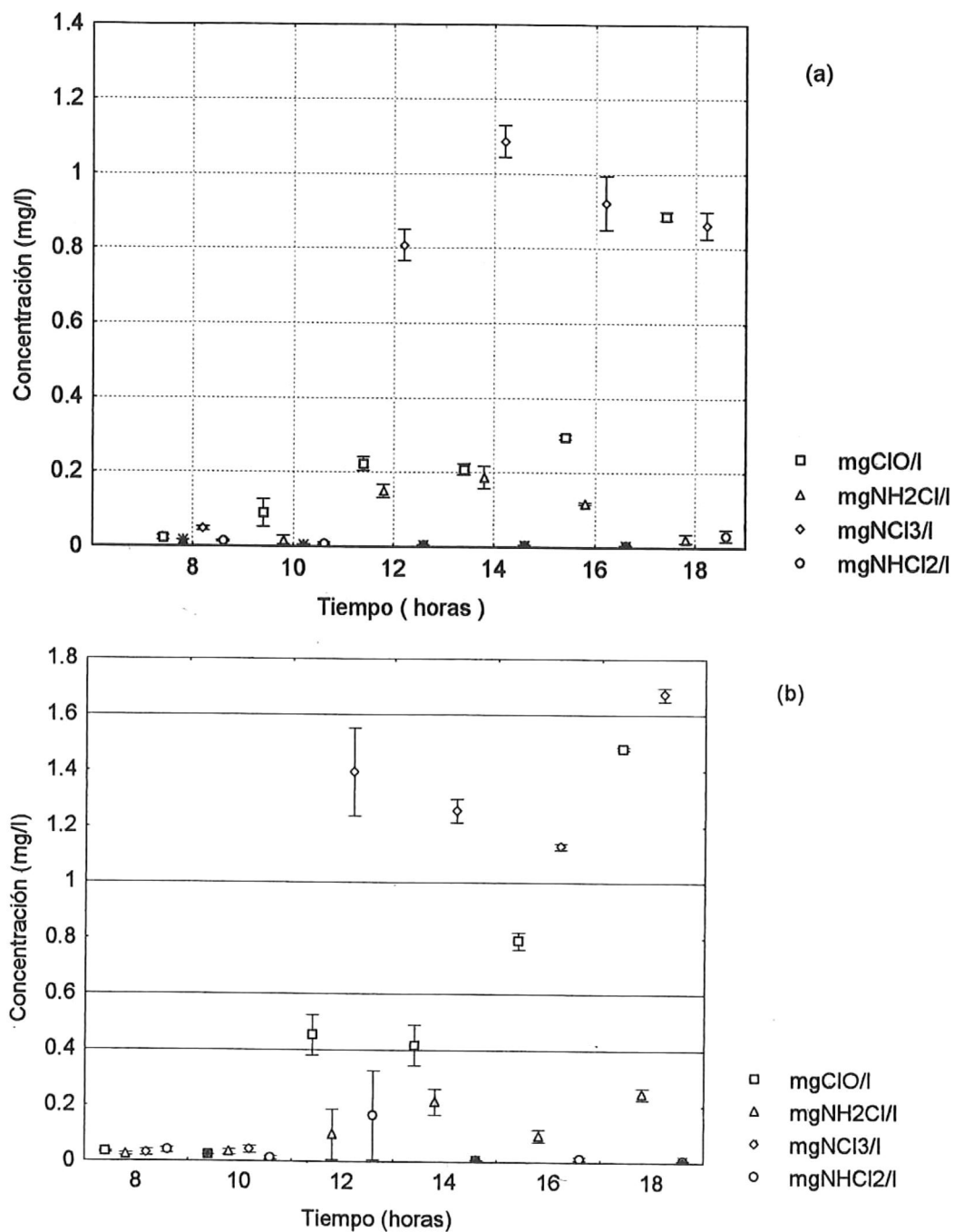


Figura 5.- Concentración de cloro residual en mg/l en el efluente de la planta El Sauzal para el día 11(a) y día 14 de muestreo (b) . Cada especie de cloro son el resultado de dos determinaciones representadas por su promedio. Las barras verticales fueron construidas con los valores máximo y mínimo para cada hora muestreada.

La tabla II, presenta la concentración de cloro residual determinados en el arroyo Cuatromilpas, se observa claramente que la concentración de los compuestos disminuye con respecto a las concentraciones encontradas en la descarga de la planta El Sauzal . La NCl_3 aunque en concentraciones bajas (0.043 mg/l a 0.131 mg/l), es la especie química del cloro combinado que predomina, además de las dicloraminas (NHCl_2) y caso de mayor interés es que el cloro libre residual aunque es menor al registrado en la planta de tratamiento se mantiene en concentraciones mayores (0.043 mg/l a 0.316 mg/l) a las NCl_3 . Por otra parte la concentración de O.D., fué de 1.57 mg O_2 /l a 2.21 mg O_2 /l, muy por abajo de las concentraciones registradas en la planta El Sauzal. En lo referente al pH, este tuvo valores de 6.44 a 6.68, muy similares a los encontrados en la descarga de la planta . Aquí también la concentración de cloro residual fué muy variable a lo largo del día, por lo cual su precisión (C.V.) estimada resultó de $82.04 \pm 45.65 \%$.

En la figura 6a y figura 6b, se muestran los resultados de dos días de muestreo en el arroyo Cuatromilpas, por presentar las máximas variaciones encontradas en los 4 días de muestreo. Se observa que para la figura 6a, la concentración de cloro libre residual es mayor con respecto al cloro combinado donde el HClO es la principal forma encontrada y de las especies de cloro combinado, la forma química predominante es la NCl_3 . El Caso inverso es observado en la figura 6b. Así mismo se exhibe una variabilidad de especies y concentración del cloro residual, aunque en concentraciones muy por abajo de las registradas en la descarga de la planta El Sauzal .

Tabla II.- Concentración promedio de cloro residual en mg/l, en el arroyo Cuatromilpas los días 11 al 14 de agosto de 1996 . ClO = cloro libre residual, NH₂Cl = monoclora-
raminas, NHCl₂ = dicloraminas, NCl₃= tricloraminas, HClO = ácido hipocloroso, ClO⁻=
ión hipoclorito, Cl₂ comb=cloro combinado, Cl₂ resid= cloro residual y O.D.=oxígeno
disuelto en mg/l.

Fecha de muestreo	com- puesto	[] (mg/l)	O.D. (mgO ₂ /l)	pH	HClO (mg/l)	ClO ⁻ (mg/l)	Cl ₂ comb (mg/l)	Cl ₂ resid (mg/l)
11	ClO	0.32	2.21	6.44	0.28	0.03	0.13	0.45
11	NCl ₃	0.13						
12	ClO	0.07						
12	NCl ₃	0.05	1.22	6.59	0.06	0.01	0.08	0.15
12	NHCl ₂	0.03						
13	ClO	0.05						
13	NH ₂ Cl	0.02	1.37	6.67	0.04	0.01	0.09	0.14
13	NCl ₃	0.04						
13	NHCl ₂	0.03						
14	ClO	0.04						
14	NH ₂ Cl	0.03	1.57	6.68	0.04	0.01	0.14	0.18
14	NCl ₃	0.08						
14	NHCl ₂	0.04						

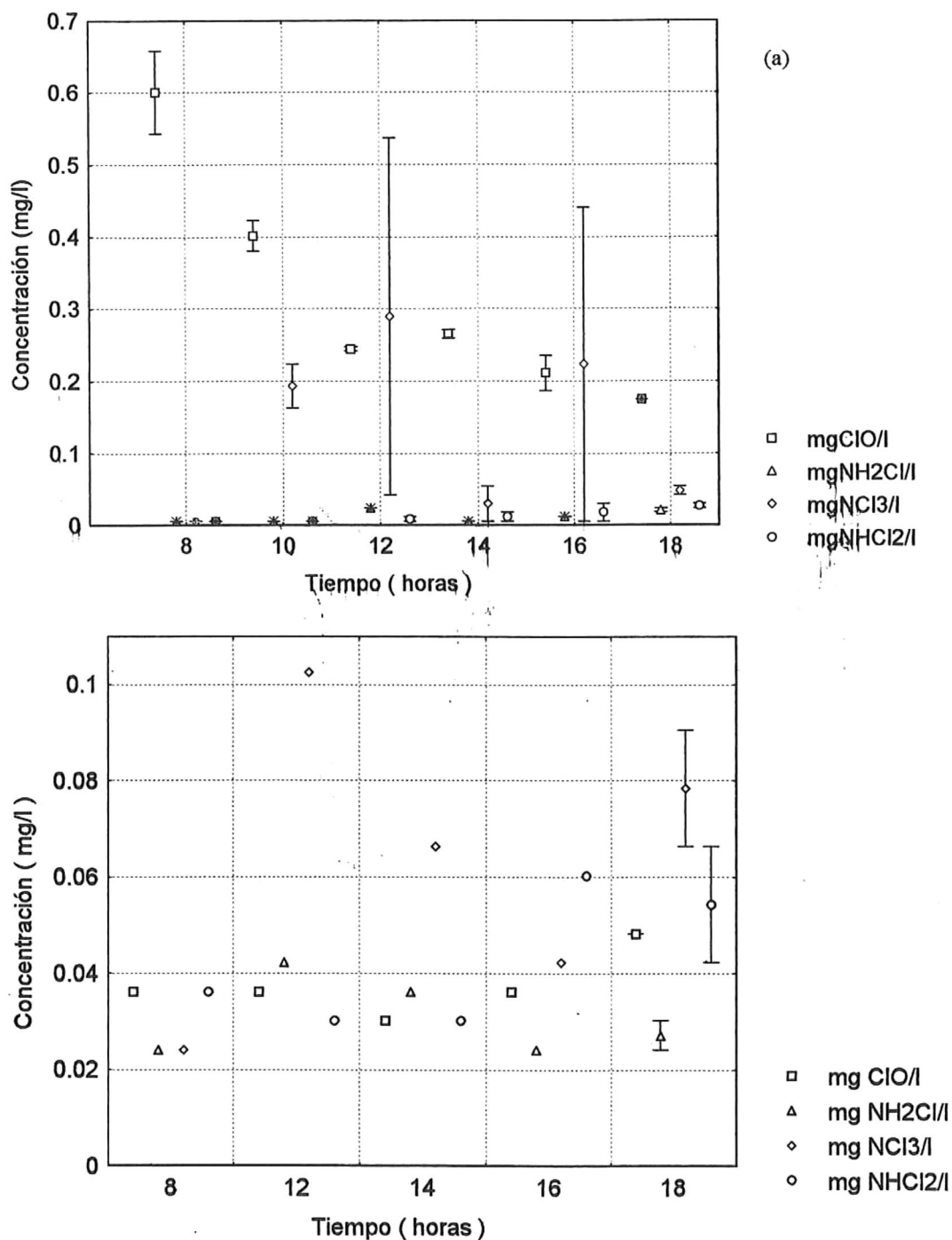


Figura 6b.- Concentración de cloro residual en mg/l en el arroyo Cuatromilpas para el día 11(a) y día 14 de muestreo (b) . Cada especie de cloro son el resultado de dos determinaciones representadas por el promedio. Las barras verticales fueron construidas con los valores mínimo y máximo para cada hora muestreada.

En la tabla III, se muestra que en el efluente de la planta El Gallo, exclusivamente se presentaron NCl_3 durante los 4 días de muestreo, la especie de NCl_3 sugiere una deficiente clorinación. Esta especie de cloro combinado no se presentó de forma constante durante los días de muestreo, sus concentraciones son bajas de 0.022 mg/l a 0.099 mg/l, con un caso aislado de 0.667 mg/l . Sin embargo, si consideramos que la planta descarga 350 l/s (Martínez-García, 1996, com. personal) al arroyo El Gallo, entonces podemos considerar un flujo importante de NCl_3 a la bahía.

El pH fué de 6.72 a 7.04, mayor a los promedios obtenidos en la planta de El Sauzal . Aquí también la concentración de NCl_3 fué muy variable durante los días muestreados ($97.66 \pm 16.6 \%$)

En la tabla IV, se presentan las concentraciones promedio de cloro residual durante los 4 días de muestreo en el arroyo El Gallo, la especie de cloro combinado que predominó fué la NCl_3 con concentraciones de 0.021 mg/l a 0.253 mg/l. Resulta interesante que hubo presencia de cloro residual, esto posiblemente debido a descargas de aguas provenientes de las industrias que se mezclan con las aguas residuales de la planta El Gallo.

La concentración de O.D. que se encontró para cada hora de muestreo en el arroyo El Gallo, fué de 0.0 mg O_2 /l a 1.589 mg O_2 /l, con valores de pH de 6.9 a 7.96, tales valores de pH son mayores a los registrados en la descarga de la planta El Gallo. Aquí también se encontró una concentración de cloro residual muy variable por lo cual su precisión resultó de $95.69 \pm 22.62 \%$.

Tabla III.- Concentración promedio de tricloraminas (NCI3) en el efluente de la planta de El Gallo, los días 21 al 24 de agosto de 1996. tiempo en horas = hora del día a la cual se tomó la muestra, concent=concentración de NCI3 en mg/l . Las concentraciones, son el resultado de dos determinaciones por muestra .

Fecha de muestreo	tiempo (horas)	com-puesto	concent (mg/l)	pH
21	10.00	NCI3	0.10	6.72
21	12.00	NCI3	0.67	
22	12.00	NCI3	0.05	7.03
23	10.00	NCI3	0.02	6.85
24	14.00	NCI3	0.03	7.04
24	16.00	NCI3	0.05	7.04

Tabla IV.- Concentración promedio de cloro residual (mg/l) en el arroyo El Gallo, los días 21 al 24 de agosto de 1996. tiempo en horas= hora del día a la cual se tomó la muestra, NCl₃= tricloramias, NH₂Cl= monocloramias y ClO=cloro libre residual. O.D.=oxígeno disuelto en mgO₂/l, HClO=ácido hipocloroso, ClO⁻=ión hipoclorito, Cl₂ comb=cloro combinado y Cl₂ resid= cloro residual.

Fecha de muestreo	tiempo (horas)	com- puesto	concent (mg/l)	O.D. (mgO ₂ /l)	pH	HClO (mg/l)	ClO ⁻ (mg/l)	Cl ₂ comb (mg/l)	Cl ₂ resid (mg/l)
21	12.00	NCl ₃	0.08	0.56	6.90				
21	16.00	NCl ₃	0.14	0.79	6.93	0.15	0.05	0.09	0.29
21	18.00	NH ₂ Cl	0.05	0.95	6.90				
21	18.00	ClO	0.20	0.95	6.90				
22	8.00	ClO	0.03	0.64	6.95	0.02	0.01	0.02	0.05
22	10.00	NCl ₃	0.02	0.64	7.11				
23	10.00	ClO	0.07	0.00	7.13				
23	12.00	NCl ₃	0.06	0.00	7.17	0.04	0.03	0.05	0.12
23	14.00	NCl ₃	0.05	0.00	7.05				
24	14.00	NCl ₃	0.03	0.00	7.96				
24	16.00	NCl ₃	0.03	0.00	7.01				
24	18.00	NCl ₃	0.25	1.59	7.06	0.03	0.02	0.12	0.17
24	18.00	ClO	0.05	1.59	7.06				
24	18.00	NH₂Cl	0.05	1.59	7.06				

III.3.- Mediciones de cloro residual en agua de mar

El 25 y 26 de septiembre de 1996 se realizó un crucero en la BTS, donde se muestrearon 19 estaciones incluidas en los transectos A, B y C (fig. 1), tomando muestras en superficie, 10 y 20 metros de profundidad, a cada una de ellas se les analizó cloraminas, cloro libre residual, pH, salinidad y temperatura.

Las concentraciones de cloro residual en agua de mar, tuvieron un C.V. entre réplicas de 14.6 % a 18.2 % . Y la prueba por interferencia del ión manganoso oxidado, fué nula en todas las muestras analizadas.

En la tabla V, se muestran las concentraciones promedio de las especies de cloro residual así como las variables de pH, temperatura y salinidad . Aquí se observa una predominancia de tricloraminas (NCl_3) y dicloraminas (NHCl_2) . El valor de pH promedio (7.98) en las muestras de superficie fué menor al pH de 10 y 20 metros (8.01) de profundidad . Caso inverso se observa para la salinidad, en tanto que para la temperatura, presentó valores mayores en superficie (20.2°C) y menores en 10 y 20 metros (18.68 y 16.86°C , respectivamente).

Las concentraciones de cloro libre residual (ClO) y monocloraminas (NH_2Cl), fueron menores que las concentraciones de NHCl_2 y NCl_3 . En el caso de las dos primeras no presentaron un gradiente de distribución que indicara su comportamiento en la bahía .

Tabla V.- Concentración promedio de cloraminas y cloro libre, en el crucero realizado el 25 y 26 de septiembre de 1996 en la Bahía de Todos Santos. Las concentraciones promedio están en miligramos por litro . También se muestran los mínimos y máximos registrados a su profundidad respectiva . La temperatura en grados centígrados y la salinidad en ups.

Profund (metros)	Com- puesto	Promedio	Mínimo	Máximo
0	ClO	0.09	0.09	0.09
0	NH ₂ Cl	0.10	0.09	0.11
0	NHCl ₂	0.16	0.15	0.17
0	NCI ₃	0.25	0.19	0.31
0	pH	7.98	7.67	8.26
0	temperatura	20.20	18.00	21.50
0	Salinidad	33.65	33.28	33.94
0	cloro combinado	0.52		
0	cloro residual	0.61		
10	ClO	0.12	0.09	0.23
10	NH ₂ Cl	0.10	0.09	0.11
10	NHCl ₂	0.23	0.09	0.37
10	NCI ₃	0.25	0.11	0.46
10	pH	8.01	7.69	8.83
10	temperatura	18.68	16.50	20.50
10	Salinidad	33.64	33.54	33.91
10	cloro combinado	0.58		
10	cloro residual	0.71		
20	ClO	0.10	0.09	0.13
20	NH ₂ Cl	0.10	0.09	0.11
20	NHCl ₂	0.19	0.09	0.31
20	NCI ₃	0.25	0.11	0.42
20	pH	8.01	7.58	8.44
20	temperatura	16.86	14.00	19.00
20	Salinidad	33.58	33.35	33.80
20	cloro combinado	0.54		
20	cloro residual	0.64		

Debido a esto, las concentraciones de cloro libre y NH_2Cl son mostradas en gráficas “X-Y” para explicar su inconsistencia en la bahía.

La figura 7a y 7b, exhiben la concentración de cloro libre y NH_2Cl para las estaciones del transecto “A”. Aquí se observa que estas formas de cloro no presentaron un patrón definido. Esto mismo se presentó en el transecto “B” y transecto “C”.

Las NHCl_2 mostraron un máximo de concentración (0.292 mg/l) hacia el centro de la bahía (fig. 8). Este gradiente de concentración presentó un patrón similar a la profundidad de 10 m. No así para 20 metros de profundidad, donde los máximos son registrados en las estaciones más próximas al arroyo El Gallo (0.258 mg/l) y Cuatromilpas (0.233 mg/l) y los mínimos hacia las estaciones más alejadas de las fuentes (fig 9).

La figura 10, muestra un gradiente positivo de concentración de NCl_3 (0.255 mg/l) en la superficie hacia el centro de la bahía, similar al encontrado en las NHCl_2 . Lo mismo ocurre a la profundidad de 10 m, pero a 20 m de profundidad el comportamiento de las NCl_3 (fig 11) fué diferente al de superficie. Se presentaron máximos en estaciones próximas a las fuentes (0.232 mg/l) así como en estaciones muy alejadas (0.305 mg/l) y mínimos (0.195 mg/l) hacia el centro de la bahía. Tales comportamientos de las NHCl_2 y NCl_3 son influenciados por las corrientes predominantes en la bahía de Todos Santos cuyo patrón de corrientes se muestra en la figura 12 (tomada de García-Gastelum, 1997).

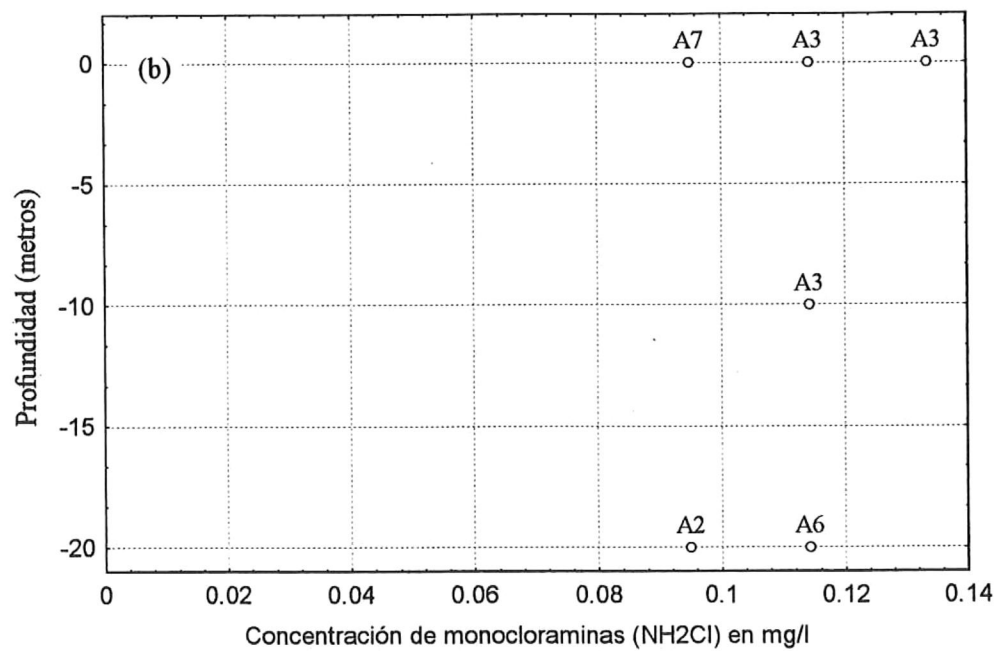
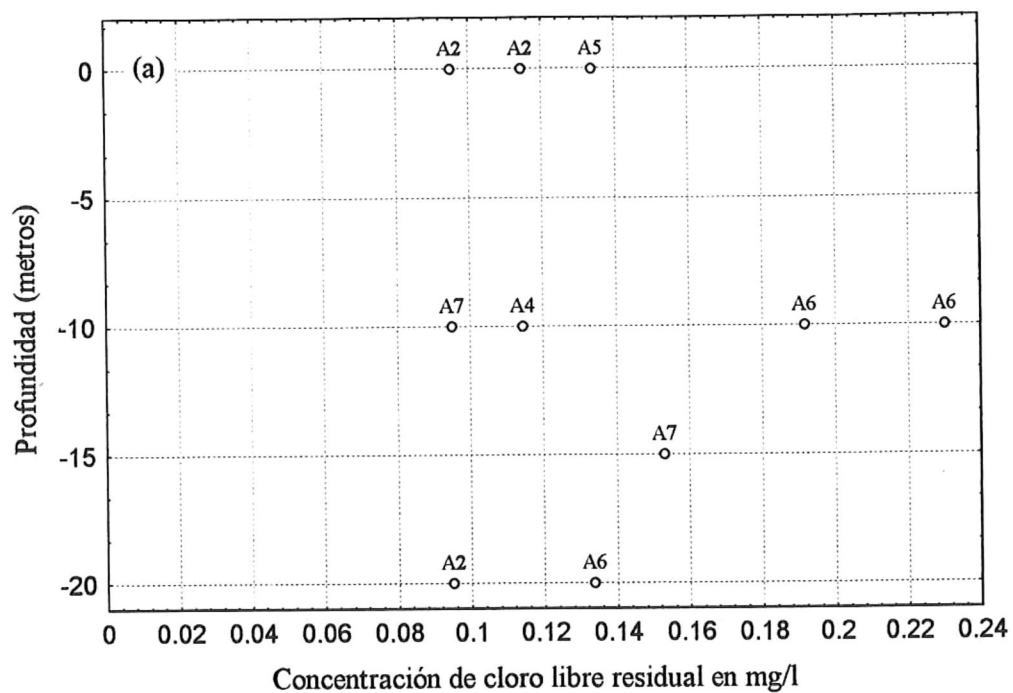


Figura 7.- Concentración de cloro libre residual (a) y monoclóraminas (b) en mg/l en la Bahía de Todos Santos, utilizando los datos de las estaciones del transecto "A". Durante el 25 y 26 de septiembre de 1996.

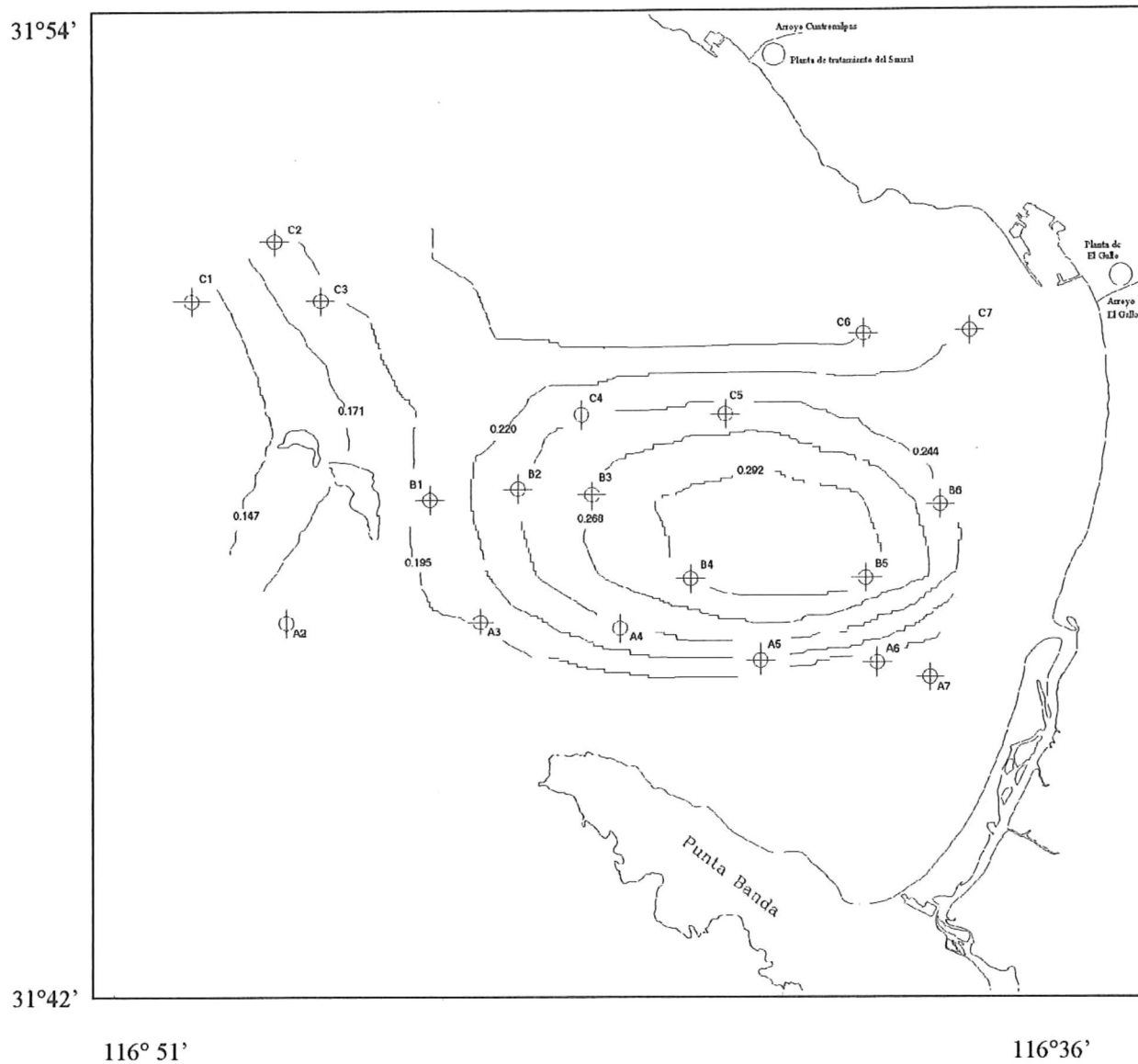


Figura 8.- Distribución de dicloraminas (NHCl₂) en mg/l en la superficie de la Bahía de Todos Santos, B. C., durante el 25 y 26 de septiembre de 1996.

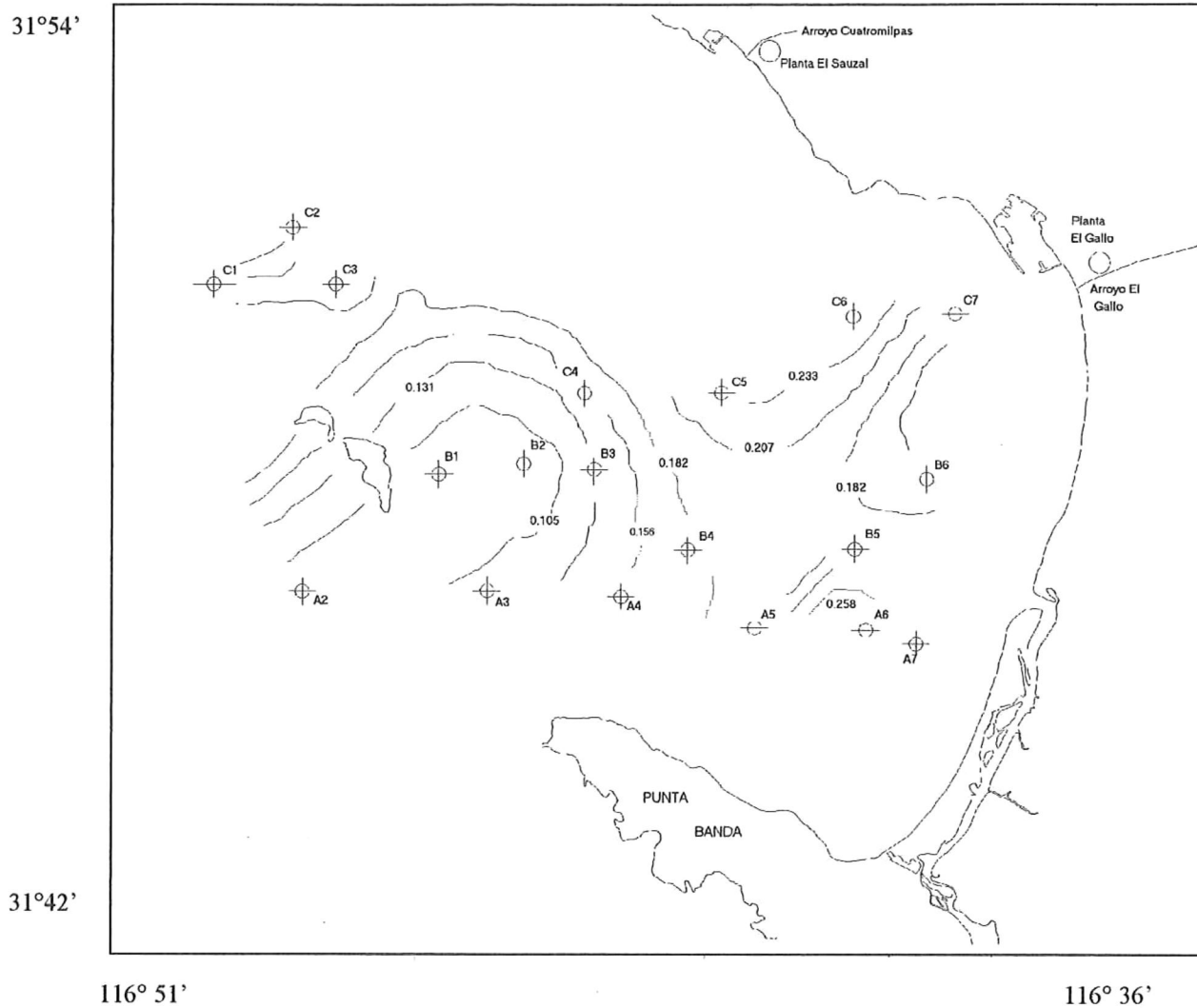
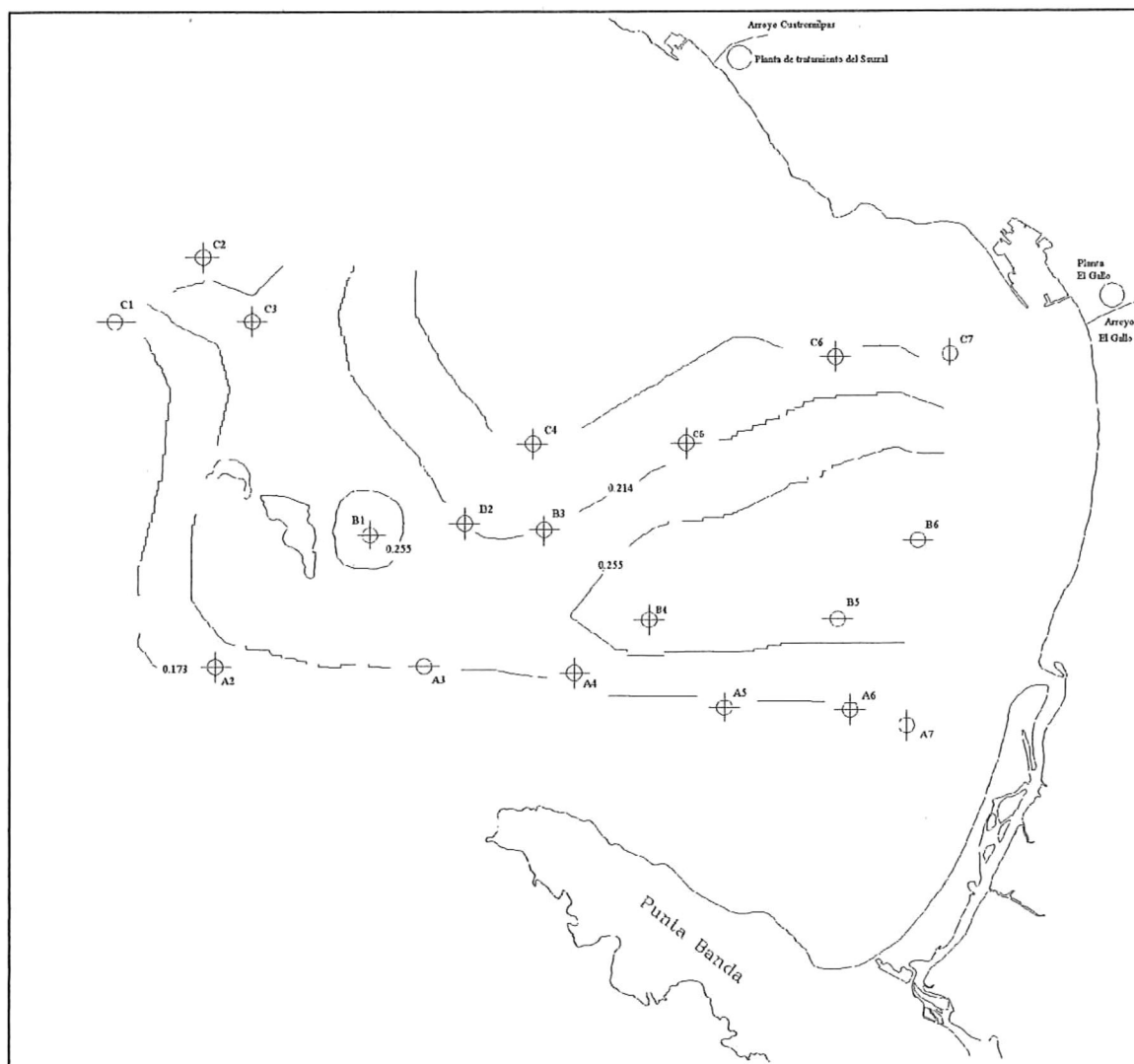


Figura 9.- Distribución de dicloraminas (NHCl_2) en mg/l a 20 metros de profundidad en la Bahía de Todos Santos, B. C., durante el 25 y 26 de septiembre de 1996.

31°54'



31°42'

116°51'

116°36'

Figura 10.- Distribución de tricloraminas (NCl_3) en mg/l en la superficie de la Bahía de Todos Santos, B. C., el 25 y 26 de septiembre de 1996.

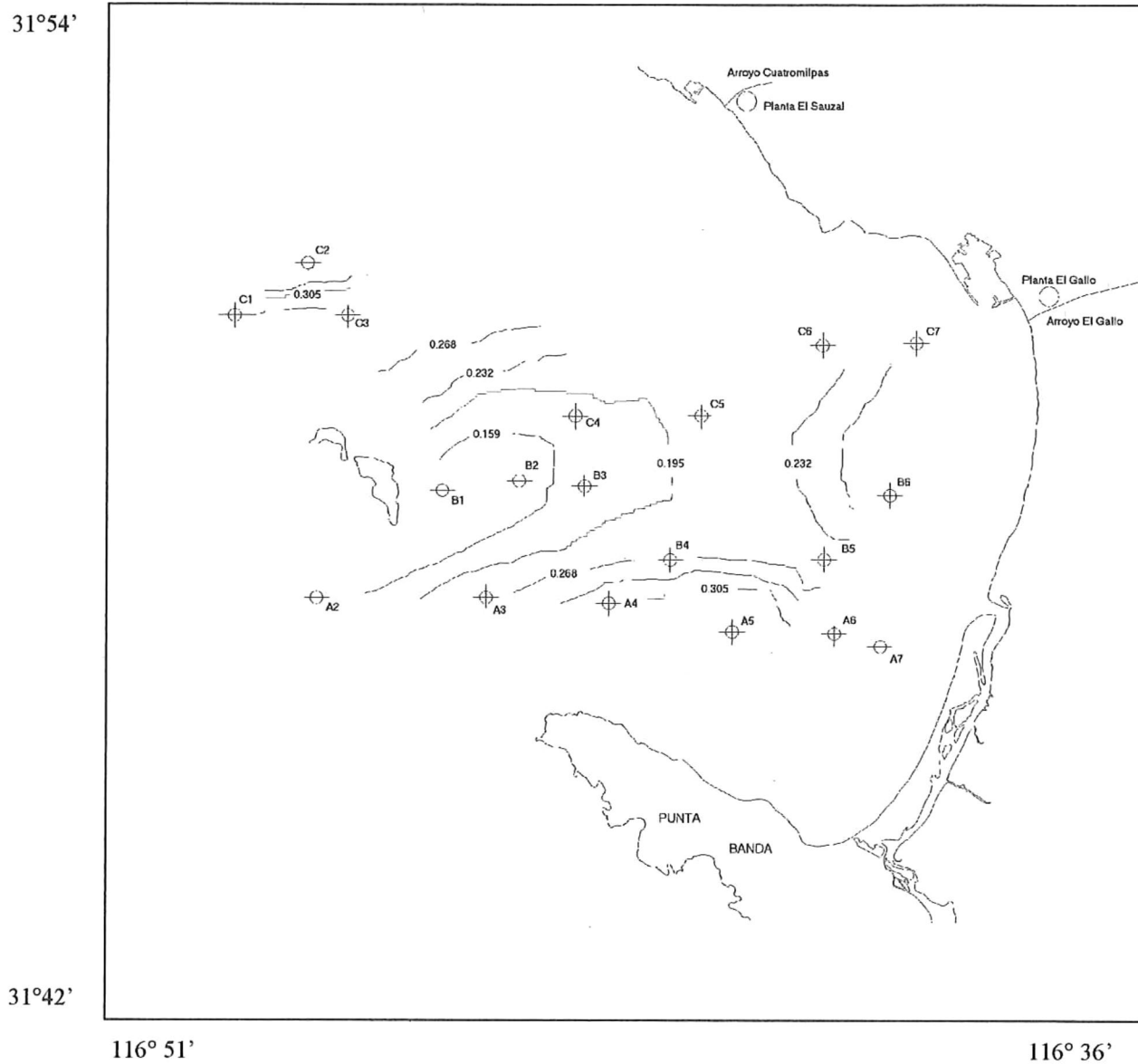


Figura 11.- Distribución de tricloraminas (NCl_3) en mg/l a 20 metros de profundidad en la Bahía de Todos Santos, B. C., el 25 y 26 de septiembre de 1996.

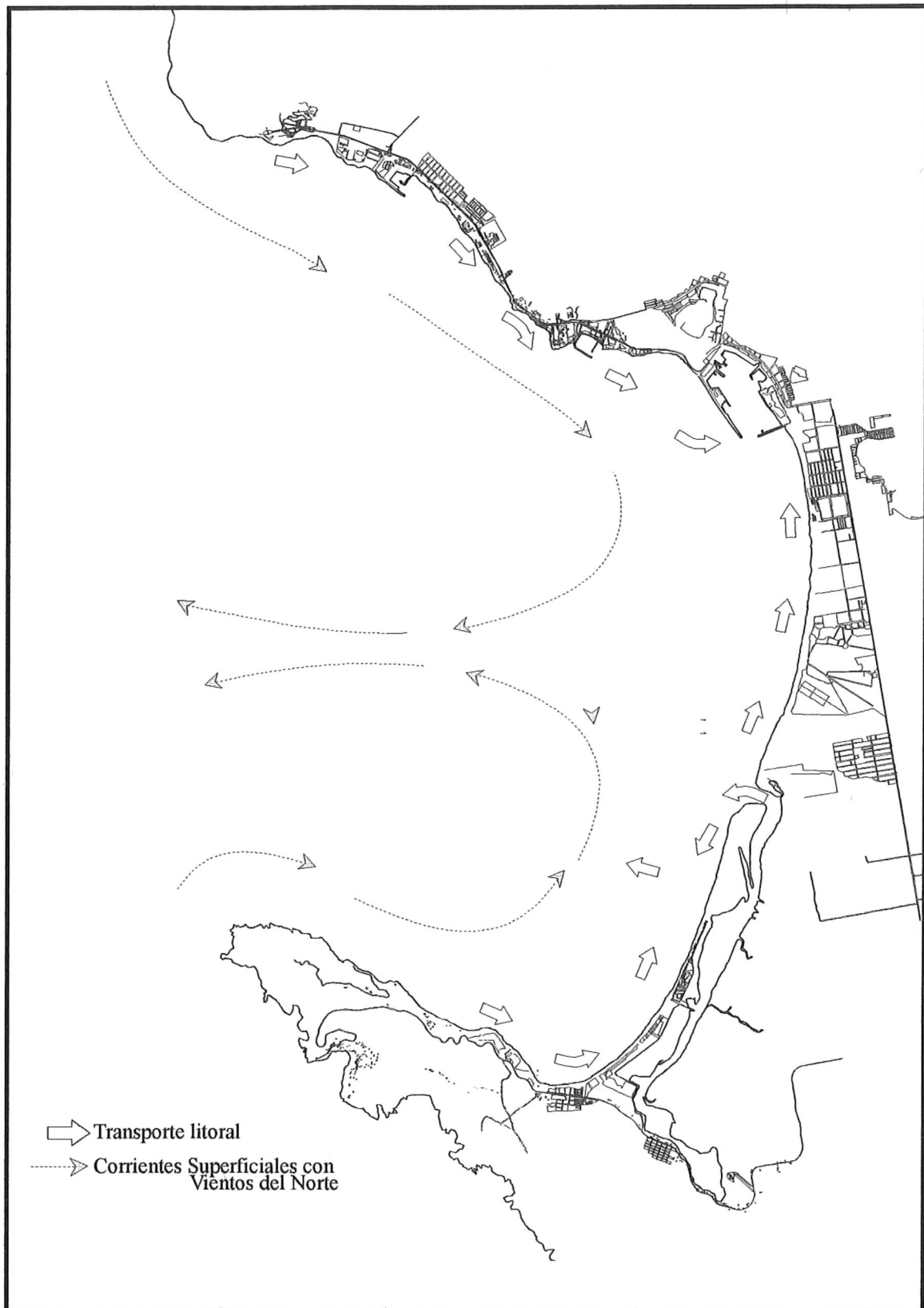


Figura 12. Corrientes de Verano-Invierno en la Bahía de Todos Santos, B. C., México, tomado de García-Gastelum, 1997.

Para mostrar la estabilidad de los compuestos de cloro que se encontraron en zonas muy alejadas de la costa, se realizó un experimento. Este consistió en lo siguiente, se tomaron 2 cubetas con 18 litros de agua de mar natural cada una, a una cubeta no se le agregó cloro y a otra se le adicionó cloro para tener una concentración de 4 mg Cl_2/l . Se expuso el agua de mar a estas concentraciones de cloro por un tiempo de 144 días (del 19 de noviembre de 1996 al 12 de abril de 1997).

El comportamiento de las concentración de cloro residual del experimento son mostrados en la figura 13, se observa que al momento de ser adicionado el cloro al agua de mar, este experimenta una disminución en su concentración. Esto posiblemente a que reacciona con la materia orgánica que está presente, dando origen a otras formas del cloro como lo son las NH_2Cl y NCl_3 .

Conforme pasó el tiempo, el cloro libre disminuyó su concentración de 1.14 mg/l a concentraciones menores a 1.0 mg/l, que fue donde permaneció bajo un patrón constante por el resto del tiempo. Por su parte las NCl_3 , en un inicio fueron de concentración muy baja (<1.0 mg/l) y conforme el cloro disminuyó, las NCl_3 aumentaron de concentración (>0.2mg/l), esto posiblemente por el tiempo en el cual el ClO pasaba a su forma más estable, las NCl_3 . Estas últimas estuvieron presentes todo el tiempo hasta su declive que se monitoreó el 12 de abril de 1997, lo cual indica su persistencia al estar presente por más de cuatro meses. El agua sin cloro presento NCl_3 entre 0.1 y 0.2 mg/l y disminución hasta 0.02 mg/l, en tanto que el Cloro libre fué menor a 0.1 mg/l

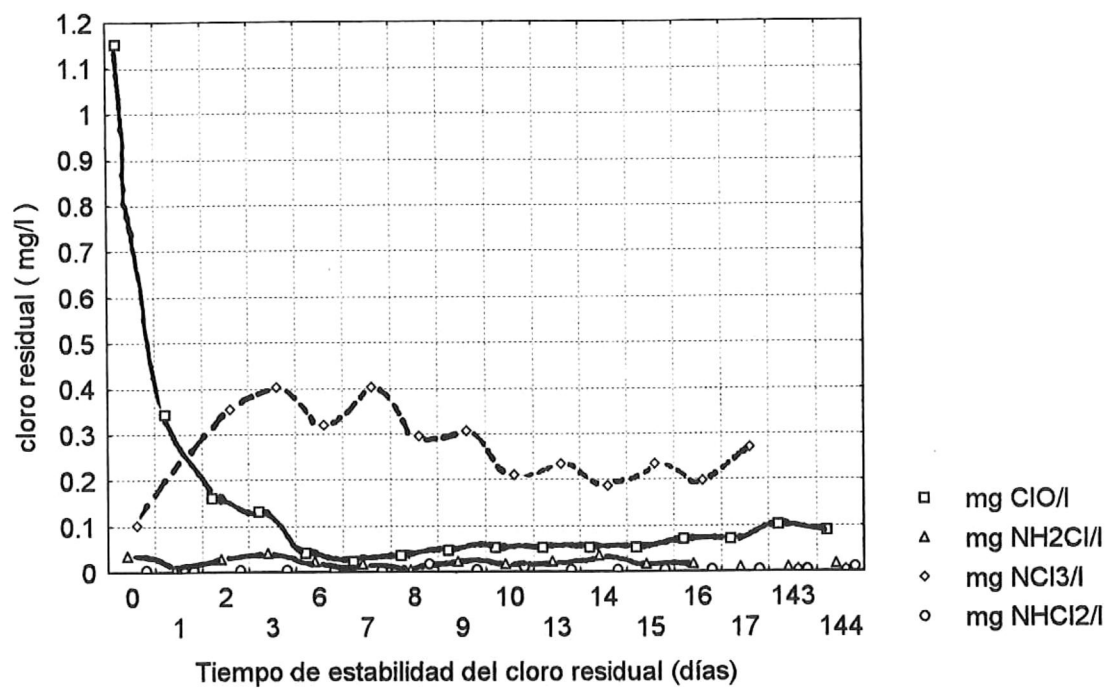


Figura 13.- Estabilidad de compuestos de cloro en agua de mar, el tiempo representa el periodo de exposición del agua de mar a las concentraciones de cloro.

IV.- DISCUSIONES

El tiempo óptimo para hacer la medición de cloro residual, es inmediatamente después de la mezcla entre reactivos y muestra. Debido a que es cuando la absorbancia del cromóforo, presenta un patrón constante, que confirma la recomendación propuesta por APHA (1985) . Las lecturas se hicieron en un tiempo de 30s y aproximadamente de 3.5 a 4.0 minutos, para obtener las lecturas de "A" hasta "N".

La calibración o estandarización de un método, es importante para realizar estimaciones representativas de un medio acuático determinado. La absorptividad molar (ξ) del cromóforo formado en las curvas con agua destilada fué diferente a la ξ de las curvas con agua de mar, debido a la presencia de sales que contiene el medio marino . Esto se explica por la ley de Lamber-Beer (Gary, 1981), donde menciona que la ξ depende de la naturaleza del material absorbente y la longitud de onda a la cual se obtiene la lectura del cromóforo . Además, las diferencias entre ambos medios, también es observada a partir de la pendiente, ya que la pendiente (bo) del agua de mar (19.31) es más de dos veces mayor a la del agua destilada (6.004), por lo cual se le atribuyen más interferencias negativas que positivas.

La situación anterior repercutió directamente en el límite mínimo de detección y por lo tanto en el intervalo de la concentración obtenido para estimar las concentraciones de cloro residual en agua dulce y agua de mar, siendo éstos de 20 $\mu\text{g Cl}_2/\text{l}$ a 2.602 mg

Cl_2/l y $80 \mu\text{g Cl}_2/\text{l}$ a $0.97 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ respectivamente . Ambas concentraciones mínimas detectables resultaron ser mayores al reportado por APHA (1985) de $10 \mu\text{g Cl}_2/\text{l}$.

La precisión del método, fué más bajo en las curvas de calibración con agua destilada que en las curvas con agua de mar.

En las fuentes de aguas residuales, la NCl_3 resultó ser la especie que predominó, con concentraciones mayores en la planta El Sauzal (0.091 mg/l a 0.291 mg/l) y arroyo Cuatromilpas (0.043 mg/l a 0.131 mg/l). También es importante mencionar que las NCl_3 experimentan una dilución (caso inverso en el arroyo El Gallo) y/o pasan a una forma más estable como lo son las NHCl_2 en el arroyo Cuatromilpas . Esto porque las condiciones de pH (6-7) imperantes durante los muestreos, según Snoeyink y Jenkins, (1990) propician que las NHCl_2 tiendan a predominar.

Al existir la NCl_3 como especie principal de cloro residual en las plantas de tratamiento, indica que se practica una clorinación deficiente . Y que por la carga de materia orgánica y amonio (Olivos-Ortiz, 1994; Segovia-Zavala y Galindo-Bect, 1984) se puede dar origen a compuestos organoclorados de mayor toxicidad y persistencia como el cloroformo y otros compuestos de tipo cancerígeno (Snoeyink y Jenkins, 1990).

Al presentarse una deficiencia en la cloración en la planta El Sauzal la presencia de cloro libre residual es baja y aunque su especie el HClO esté predominando, su concentración es limitante para llevar a cabo una desinfección satisfactoria.

Por otro lado la presencia de cloro libre, NH_2Cl y aumento de la concentración de NCl_3 en el arroyo El Gallo, posiblemente sea debido a la actividad industrial que al descargar sus aguas de desecho al arroyo se mezclan con las aguas proveniente de la planta de tratamiento, dando origen a aguas con características químicas y biológicas muy diversas.

La dosificación de cloro durante la clorinación es muy variable, 30 lb Cl_2 /día a 50 lb Cl_2 /día para la planta El Sauzal y 200 lb Cl_2 /día en El Gallo (Silva-Nava, 1997; Vázquez-Hernández y Julián-Villegas, 1997, com. personal) . Con 30 lb Cl_2 /día a un gasto de 55 l/s se inyectan 2.92 mg Cl_2 /l y con 50 lb, el cloro adicionado es de 4.87 mg/l . Con tales cantidades de dosificación se espera tener un cloro residual aproximado de 0.6 mg/l, sin embargo, las concentraciones encontradas durante los muestreos realizados por lo general son menores al estipulado . Parte se pierde por evaporación y otra parte considerable forma otros compuestos como los organoclorados.

La misma situación ocurre en la planta El Gallo, según Julián Villegas (com personal, 1997) operador de la planta El Sauzal, menciona que en el año 1995, la clorinación en la planta del Gallo fluctuaba de 100, 150 y 200 lb Cl_2 /día . Y como el gasto recibido es mayor a 250 l/s (capacidad de la planta, Delgadillo-Villanueva, 1997, com. personal), la inyección de cloro de 200 lb/día equivale a 4.3 mg Cl_2 /l . Esto resulta un valor muy bajo considerando la eficiencia de la planta, determinada en un 26.8 % para DBO_5 y sólidos totales (Segovia-Zavala y Galindo-Bect, 1984) . Por lo tanto al haber gran cantidad de materia orgánica, el cloro reacciona primero con ésta formando diversos

compuestos con acción desinfectante nula (Departamento del Estado de Nueva York; 1989; Hopkins y Bean 1996; Snoeyink y Jenkins, 1990), y por consiguiente la eliminación de bacterias no ocurre como es esperado. Morales-Chávez (1984) encontró que la carga bacteriana en la salida de la planta es mayor en un 45 % que la de entrada. Debido a esto, se atribuye la presencia exclusiva de NCl_3 , además que la clorinación en el año 1996 en El Gallo fué irregular (com. personal, Delgadillo-Villanueva, 1997).

Los aportes por las fuentes tienen intervalos mayores de concentración de compuestos en la planta El Sauzal, de 0.432 kg NCl_3 /día a 4.37 kg NCl_3 /día; 0.128 kg NHCl_2 /día a 0.19 kg NHCl_2 /día y 0.494 kg cloro libre/día a 2.528 kg cloro libre/día para un gasto de 55 l/s. Por lo cual se le puede considerar como la principal fuente de aporte de cloro residual a la bahía, sin descartar el impacto que ocasiona la aportación exclusiva de NCl_3 (0.475 kg/día a 2.13 kg/día) por la planta El Gallo.

Para la Bahía de Todos Santos, la interferencia evaluada que fué el ión manganoso oxidado, en todas las muestras resultó nula, por tal motivo no se menciona como un factor que pueda influir en la concentración del cloro residual estimado.

Las concentraciones de cloro libre y NH_2Cl aportados vía arroyo Cuatromilpas y El Gallo, aunque fueron considerables no presentan concentraciones altas en la bahía, probablemente a que estas especies son muy inestables (Snoeyink y Jenkins, 1990) reflejándose en su inconsistencia en la zona de estudio. Además por las condiciones de pH (7 a 8.5) pudieron dar origen a las NHCl_2 , por lo tanto era esperado que las concentraciones experimentaran cambios al llegar al medio marino.

Las NCl_3 y las NHCl_2 fueron las principales especies de cloro residual en la bahía, esto es lógico porque también fueron predominantes en las fuentes con aportes considerables tanto en Cuatromilpas como en El Gallo . Por su parte las NHCl_2 sólo fueron aportados vía arroyo Cuatromilpas.

Ambas especies químicas mostraron en superficie un gradiente similar, con máximos (0.255 mg NCl_3 /l y 0.292 mg NHCl_2 /l) hacia el centro de la bahía . Comportamientos semejantes se han determinado en otros estudios precedentes como es el caso de Galindo-Bect et. al, (1984), encontraron que el contenido de materia orgánica en sedimentos superficiales presentan máximos de materia orgánica hacia el centro de la bahía, semejante a la distribución granulométrica mostrada en estudios anteriores . Por otra parte, Mendoza-Vega, (1996) identificó un gradiente de concentración de hidrocarburos poliaromáticos que aumenta en la zona costera hacia el centro de la bahía.

Las concentraciones estimadas de NCl_3 y NHCl_2 en la bahía, son correspondientes a los aportes y al ocurrir tal situación la concentración alta de los compuestos indica una posible acumulación en la bahía . Esto puede ser apoyado por los comportamientos a 20 metros de profundidad, donde los patrones de distribución son diferentes que en superficie . Se presentan zonas, formadas a partir de máximos en las estaciones más próximas a las fuentes con concentraciones similares a las obtenidas para superficie (fi 9 y fig 11b).

Es interesante que las variables físicas y químicas (salinidad, temperatura y pH) no hayan presentado un comportamiento en acorde a la distribución de los compuestos . Sin

embargo, las corrientes litorales y superficiales dominantes en la bahía influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes (Sañudo-Wilhelmy et al, 1984) . De esta forma, los estudios de; Ahumada-Sempoal, (1993). Aranda-Manteca (1983), Baca-Chacón, (1981) y Chee-Barragan, (1992) y Argote-Espinosa, et al., (1975), reportan que la corriente litoral dominante en verano-invierno en la bahía es en dirección Sur . A partir del Estero de Punta Banda es en dirección norte con convergencia en la rada portuaria, y cuando el viento tiene una componente norte existe una corriente superficial hacia el centro de la bahía (fig. 12, tomada de García-Gastelum, 1997). Por tal motivo, la dispersión de dicloraminas y tricloraminas es altamente influenciada por estos patrones de corrientes . Sumado a esto, la persistencia determinada de los compuestos de cloro residual, que fué mayor a 4 meses.

Las concentraciones de cloraminas encontradas en la bahía, fueron menores a las concentraciones tóxicas reportadas de 0.5 ppm (Rosales-Casián, 1986), por lo cual pueden considererarse no riesgosas . Sin embargo, es importante hacer notar que tales compuestos (NHCl_2 y NCl_3) al mostrar un patrón de distribución y persistencia en el medio marino, pueden ser utilizados como trazadores de contaminación por efluentes de aguas residuales.

V.- CONCLUSIONES

La concentración de cloro libre residual en la Bahía de Todos Santos fué de 0.094 mg/l a 0.23 mg/l e inconsistente en su presencia . Mientras que las principales formas de cloro combinado fueron las NHCl_2 y NCl_3 , que presentaron un gradiente de distribución con máximos (0.123 mg/l a 0.292 mg/l y 0.132 mg/l a 0.255 mg/l respectivamente) hacia el centro de la bahía

El intervalo de detección del método espectrofotométrico del DPD en agua destilada fué de 20 $\mu\text{g Cl}_2/\text{l}$ a 2.602 mg Cl_2/l y en agua de mar de 80 $\mu\text{g Cl}_2/\text{l}$ a 0.97 mg Cl_2/l , con una buena precisión durante su análisis (0.61 ± 0.8 a 2.69 ± 4.55 % y 2.26 ± 2.63 a 5.16 ± 4.64 % respectivamente).

La interferencia del ión manganoso oxidado en la aplicación de la técnica del DPD para agua de mar fué nula, por lo que puede usarse esta técnica en el análisis de cloro residual en agua de mar.

Las NCl_3 son la especie de cloro residual predominante en la cloración practicada tanto en la planta de aguas residuales de El Sauzal como en la Planta El Gallo . Con un flujo de 55 l/s se aportan 0.432 kg/día a 4.37 kg/día y con 250 l/s de 0.475 kg/día a 2.13 kg/día respectivamente.

En concentraciones bajas (0.046 mg/l a 0.264 mg/l) se encontró al HClO en la planta de tratamiento El Sauzal, considerada la especie más efectiva como bactericida .

No se determinó un patrón de comportamiento entre las variables físicas y químicas con el cloro residual, sin embargo por la distribución encontrada de otros

contaminantes, las NHCl_2 y las NCl_3 pueden ser utilizadas como trazadores de contaminación por efluentes de aguas residuales.

VI.- RECOMENDACIONES

Evaluar la variabilidad temporal de cloro residual con las fuentes y la Bahía de Todos Santos . Así como medir la concentración de compuestos organoclorados.

Realizar bioensayos con fitoplancton, vertebrados e invertebrados de la zona para determinar la concentración letal media (LC_{50}) de las diferentes formas de cloro residual.

Mejorar los sistemas de tratamiento de aguas residuales de El Sauzal y El Gallo, para eliminar en mayor grado la cantidad de materia orgánica y de esta forma minimizar la formación de compuestos en la etapa final de desinfección por cloro . Si esto, no es posible aplicar otras formas de desinfección como la ozonificación; o bien, hacer una cloración de acuerdo a la demanda de cloro.

8.- LITERATURA CITADA

- Ahumada-Sempoal, M. A., (1993). **Corrientes litorales inducidas por el oleaje en la Bahía de Todos Santos, Baja California**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 38 pp .
- Argote-Espinosa, M. L., Amador Buenrostro, M. y Morales Zúñiga, C., (1975). **Distribución de los parámetros de salinidad y temperatura y tendencia de la circulación en la Bahía de Todos Santos, Baja California**. CICESE. Primera Reunión de los Centros de Investigación en Baja California y la Institución de Scripps de Oceanografía. CIBCASIO. Ensenada, B.C., pags 3-30 .
- APHA, 1985. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. ed 16a, Ed APHA, U.S.A., 1268 pp .
- Aranda-Manteca, F. J., 1983. **Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, B. C. .** Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C., 78 pp .
- Alvarez-Sánchez, L. J., 1971. **Medición de corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos, Baja California**. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C.. 99 pp .
- Baca-Chacón, 1981. **Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, Baja California**. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada B.C., México
- Camargo, J. A., 1991. **Toxic effects of residual chlorine on larvae of *Hydropsyche pellucidula* (Trichoptera, Hydropsychidae): a proposal of biology indicator**. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol 47, No 2, August 1991, Ed. SPRINGER VERLAG, New York, U.S.A., pags. 262-265 .

- Canino-Herrera, S. R., 1996. **Maestro en Ciencias**, Comunicación personal, Ensenada , B. C., México .
- Comité de Planeación para el Desarrollo del Municipio de Ensenada, 1990-1992. **Plan Municipal de Desarrollo de Ensenada**, XIII Ayuntamiento de Ensenada, 99 pp .
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1989. **Manual de tratamiento de aguas negras**. reimp 9na, Ed. LIMUSA, México, 303 pp .
- Delgadillo-Villanueva, I., 1997. **Jefe del laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de El Gallo**, Comunicación personal, Ensenada, B.C., México.
- Encalada-Fleites, R. R. y Millá-Nuñez, E., 1990. **Impacto de las aguas residuales industriales y domésticas sobre las comunidades bentónicas de la Bahía de Todos Santos, Baja California**. Ciencias Marinas, 16(4):121-139 .
- Elmore, M. B., Beitinger, T. L. y Huey, D. W., 1980. **Toxity of “ pulsed “ monochloramines to Goldfish (*Carassius auratus*)**. Bulletin of environmental Contamination and Toxicology, Vol 24, No 5, mayo 1980, Ed. SPRINGER VERLAG, New York, U.S.A., pags 692-695 .
- Galindo-Bect, M. S.; Segovia-Zavala, J. A. y Rivera-Duarte, I., 1984. **Contenido de materia orgánica en sedimentos superficiales de la Bahía de Todos Santos, Baja California**. Ciencias Marinas, 10(3):93 - 102.
- Gary D., C., 1981. **Química analítica**, Ed. LIMUSA, México, 682 pp.
- García-Gastelum, A., 1997. **Clasificación integral de litoral costero de la Bahía de Todos Santos, B. C., México**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, 80 pp.
- Hopkins, E. S., y Bean, E. L., 1996. **Water purification control**. ed 4ta, Ed. WILLIAMS and WILKINS, E.U.A., 332 pp .
- Leicester F. Hamilton, S.B., Stephen G. Simpson y David W. Ellis, 1981. **Cálculos de química analítica**. México, Ed. Mc Graw-Hill, 494 pp.
- Martínez-García, G. M., 1988. **Aspectos hidrológicos para el diseño de un emisor submarino en la Bahía de Todos Santos B. C. .** Tesis de Licenciatura. Escuela

- Superior de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., 88 pp .
- Mendoza-Vega, E., 1996. **Origen y transporte de algunos hidrocarburos poliaromáticos en sedimentos recientes de la Bahía de Todos Santos, B.C. México.**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C., 78 pp.
- Morales-Chávez, R., 1984. **Colimetría en descargas de aguas residuales, domésticas y en la zona de rompiente de la Bahía de Todos Santos, B. C.**, Tesis de Licenciatura:Escuela Superior de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada B.C., 42 pp .
- Muñoz-Arriola, F., 1994. **Variabilidad de Cd, Cu y Pb en los aportes de aguas residuales del arroyo El Gallo en la Bahía de Todos Santos durante el periodo de tiempo mayo-diciembre de 1991.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., 69 pp .
- Olivos-Ortiz, A., 1994. **Flujos y Distribución superficial de nitrógeno inorgánico y ortofosfatos descargados por el arroyo El Gallo a la Bahía de Todos Santos durante el periodo de mayo-diciembre de 1991.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada B.C., 62 pp .
- República Argentina, Armada Argentina y Servicio de Hidrografía Naval, 1972. **Manual de instrucciones para la obtención de datos oceanográficos.** Ed. Talleres Gráficos del Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, Argentina .
- 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. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., 41 pp .

- Rosales-Casián, J. A., 1986. **Efecto de cloración del agua de mar en la sobrevivencia y crecimiento de larvas de anchoveta nortea (*Engraulos mordax*) y el gruión (*Leuresthes tenuis* Ayres) cultivadas en laboratorio; con referencia a sistemas de enfriamiento de centrales eléctricas.** Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, B.C., 115 pp .
- Rodier, J., 1989. **Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales y agua de mar.** reimp 1a, Ed. OMEGA, Barcelona, España, 1056 pp .
- Sañudo-Wilhelmy, S. A., Morales-Yañez, A. A. y Vargas-Flores, J.A., 1984. **Contaminación fecal en la Bahía de Todos Santos.** Ensenada Baja California. Ciencias Marinas 10(1):7-14.
- Secretaría de Marina, 1984. **Estudio geográfico de la región de Ensenada Baja California.** México, 463 pp .
- Segovia-Zavala, J. A., y Galindo-Bect, M. S. 1984. **Fuentes de contaminación por materia orgánica en la Bahía de Todos Santos, Baja California.** Ciencias Marinas. 10(1):19-26.
- Simmons, M. S. y Sivaborvorn, K., 1979. **Effect of chlorinated organics from wastewater treatment on algal growth.** Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol 23, No 6, december 1979, Ed. SPRINGER VERLAG, New York, U.S.A., pags 766-773 .
- Silva-Nava, P., 1997. **Encargada del programa Control de calidad y cultura del agua en la CESPE.** Comunicación personal, Ensenada B.C., México.
- Snoeyink, V. L. y Jenkins, D., 1990. **Química del agua.** reimp 1a, Ed. LIMUSA, México, 508 pp .
- Vázquez-Hernández, P. 1997. **Operador de la planta de tratamiento de El Sauzal,** Comunicación personal, Ensenada B.C., México.

Villegas-Jiménez, A., 1994. **Determinación de algunos hidrocarburos alifáticos y poliaromáticos en sedimentos recientes en la Bahía de Todos Santos.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., 81 pp .

Villegas-Julián, 1997. **Operador de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Sauzal,** Comunicación personal, Ensenada B.C., México.

Water Pollution Control Federation, 1976. **Chlorination of wastewater: manual of practice No 4.** Ed. MOORE and MOORE, Washington, D.C., U.S.A., 111 pp .