



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**



**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**OCEANOLOGÍA**

**“EVALUACIÓN RÁPIDA DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN  
AMBIENTAL POR DESCARGAS AL MAR, EN LA FRANJA COSTERA DE  
TIJUANA-ENSENADA, BAJA CALIFORNIA”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**OCEANÓLOGO**

PRESENTA

**YULIZET SÁNCHEZ GARCÍA**

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. MAYO, 2012

“EVALUACIÓN RÁPIDA DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN  
AMBIENTAL POR DESCARGAS AL MAR, EN LA FRANJA COSTERA DE  
TIJUANA-ENSENADA, BAJA CALIFORNIA”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**OCEANÓLOGO**

PRESENTA

**YULIZET SÁNCHEZ GARCÍA**

APROBADA POR

DRA. GRACIELA GUERRA RIVAS

DIRECTOR DE TESIS

DRA. IRMA ESTELA SORIA MERCADO

SINODAL

DRA. NAHARA E. AYALA SÁNCHEZ

SINODAL

M. C. SERGIO RAÚL CANINO HERRERA

SINODAL

***Gracias Señor por las bendiciones que me das día con día,  
por no abandonarme cuando mas te necesité y sobre  
todo gracias por la familia que me has dado.***

***Dedicado al mayor regalo que me dio la vida, mi hijo  
Nicolás, quien ha sido mi motor e inspiración para  
salir adelante***

***Te amoooo mi niño hermoso!!!***

## **AGRADECIMIENTOS**

- A la primera persona a quien tengo que darle las gracias es a mi Madre Aida Sánchez García, quien es la mujer más fuerte y luchadora, de quien estoy muy orgullosa. Gracias Madre por sacarme adelante, por apoyarme siempre y sobre todo por todos los momentos felices que me has dado. Mamy que mas puedo decirte.. Te quiero!!!!
- A mi hermana Guadalupe por siempre estar a mi lado, por darme consejos cuando mas lo necesitaba, por todas las alegrías que me has dado. Te quiero hermanita!!!!
- A Jorge, el amor de mi vida!! Gracias por ser mi amigo y mi compañero en esta nueva etapa. Por apoyarme siempre y en cada momento. Gracias por haber dado el mejor regalo. Te amooo hermoso!!!!
- A la Dra. Graciela Guerra Rivas, de quien he aprendido tantas cosas. A quien le estoy agradecida por haber confiado en mí, por apoyarme durante mí embarazo, por no dejarme caer, por sus concejos y palabras de aliento en los momentos que más lo necesite. Muchas Gracias por su tiempo y sobre todo por todas las atenciones que ha tenido conmigo... Muchas pero Muchas Gracias!!!
- A mi Co-directora (Dra. Irma Soria Mercado) y Sinodales (M. C. Raúl Canino Herrera y Dra. Nahara Ayala Sánchez): Muchas Gracias por dedicar su tiempo en mi trabajo, por darme su apoyo y sobre todo por su confianza.
- Gracias a todos los profesores que en algún momento me dieron concejos y palabras de aliento durante mi formación. En especial a la Dra. Roxana Rico Mora.
- Gracias a mis a mis comadres de pluma (Marla y Dulcinea), por siempre estar ahí.. por no dejarme en los momentos que mas las necesite.. Gracias!!!!
- A Cuca, Paulina y a mi niña hermosa Yara, por haber recibido en su casa y darme su confianza siendo una desconocida.. Por apoyarme durante mi carrera y después de ella... Muchas Gracias!!!
- A la Facultad de Ciencias Marinas, por haber formado y sobre todo por darme las herramientas para salir a volar en esta vida como una Oceanologa.

- Al Cuerpo Académico de Biotecnología Integral, por darme la oportunidad de hacer este trabajo, por brindarme su apoyo y confianza.
- A las Comisiones Estatales de Servicios Públicos de Tijuana y Ensenada (CESPT y CESPE), por haberme apoyado con la información necesaria para realizar este estudio.
- Gracias a la Casa Hogar de los Niños, por haber apoyado durante toda mi educación, por los grandes momentos que pase con ustedes. Muchas Gracias!!!
- Por ultimo gracias a todas las personas que me han apoyado, que me han dado consejos, regaños y de mas, que me han hecho reír y sobre todo que me han hecho feliz, que no por ser menos importantes no los nombro, si no por que, es tan larga la lista que nunca terminaría... Muchas Gracias!!!!

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1  |
| <b>2. ANTECEDENTES</b> .....   | 8  |
| <b>3. HIPÓTESIS</b> .....  | 14 |
| <b>4. OBJETIVO</b> .....   | 15 |
| 4.1 <i>Objetivo General</i> .....  | 15 |
| 4.2 <i>Objetivos Particulares</i> .....  | 15 |
| <b>5. METODOLOGÍA</b> .....  | 16 |
| 5.1 <i>Área de estudio</i> .....   | 16 |
| 5.2 <i>Recolección y tratamiento de datos</i> .....  | 18 |
| 5.3 <i>Análisis estadístico</i> .....  | 18 |
| 5.4 <i>Cálculo de factores ERFCA</i> .....   | 19 |
| 5.5 <i>Aplicación de los factores ERFCA para el calculo de cargas de contaminantes</i> ....  | 20 |
| 5.6 <i>Selección de los factores ERFCA</i> .....   | 21 |
| 5.7 <i>Comparación de cargas de contaminantes</i> .....  | 22 |
| <b>6. RESULTADOS</b> .....   | 23 |
| 6.1 <i>Recolección y tratamiento de datos</i> .....  | 23 |
| 6.2 <i>Cálculo de factores ERFCA</i> .....   | 26 |
| 6.3 <i>Selección de factores ERFCA</i> .....   | 30 |
| 6.4 <i>Aplicación de los factores ERFCA para el cálculo de cargas</i> .....  | 32 |
| 6.5 <i>Comparación de cargas de contaminantes en las plantas de tratamiento utilizando el <math>F_{anual}</math> y resultados de análisis químicos</i> ..... | 33 |
| <b>7. DISCUSIÓN</b> .....  | 35 |
| <b>8. CONCLUSIONES</b> .....   | 40 |
| <b>9. RECOMENDACIONES</b> .....  | 41 |
| <b>10. BIBLIOGRAFÍA</b> .....  | 42 |
| <b>11. ANEXO I</b> .....   | 47 |
| <b>12. ANEXO II</b> .....  | 58 |
| <b>13. ANEXO III</b> .....   | 64 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Página |
|---|--------|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación de las plantas de tratamiento en el corredor turístico Tijuana-Ensenada. Al norte se encuentran las plantas que están a cargo de la CESPT y al sur las que administra la CESPE. Se muestra la capacidad que tiene cada planta para brindar el servicio de saneamiento en litros sobre segundos (L/s). Se observa que las plantas de tratamiento con mayor capacidad son Punta Bandera (1,100 L/s) y El Naranjo (500 L/s) y las de menor capacidad son San Antonio del Mar (2.5 L/s), Vista Marina (6 L/s) y Puerto Nuevo (5 L/s). Fuente: CESPT. | 17     |
| <b>Figura 2.</b> Valores de demanda química de oxígeno (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.  | 23     |
| <b>Figura 3.</b> Valores de demanda bioquímica de oxígeno <sub>5</sub> (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.  | 24     |
| <b>Figura 4.</b> Valores de grasas y aceites (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.  | 24     |
| <b>Figura 5.</b> Valores de sólidos suspendidos totales (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.   | 25     |
| <b>Figura 6.</b> Valores de nitrógeno total (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.   | 25     |
| <b>Figura 7.</b> Valores de fósforo total (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.   | 26     |
| <b>Figura 8.</b> Sólidos suspendidos totales (mg/L), se utilizó el $F_{mensual}$ y el $F_{anual}$ para obtener las $CC_m$ y las $CC_a$ en las plantas de tratamiento; a) Punta Bandera, b) San Antonio del Mar, c) Rosarito Norte, d) Rosarito I, e) Vista Marina y f) Puerto Nuevo.  | 31     |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  | Página |
|--|--------|
| <b>Tabla I.</b> Análisis para la selección de factores del indicador de contaminación SST (sólidos suspendidos totales). Se muestra la carga de contaminante obtenida con los dos factores. De acuerdo a la prueba Bartlett (Zar, 2010) se muestra la conclusión si hay o no diferencias en el uso de los factores. $CCm$ = Carga de contaminantes mensual; $CCa$ = Carga de contaminante anual; $CCTa$ = Carga de contaminante total anual obtenida con los dos factores (mensual y anual). | 20     |
| <b>Tabla II.</b> $F_{mensuales}$ y $F_{anuales}$ (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Punta Bandera.   | 27     |
| <b>Tabla III.</b> $F_{mensuales}$ y $F_{anuales}$ (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento San Antonio del Mar.  | 27     |
| <b>Tabla IV.</b> $F_{mensuales}$ y $F_{anuales}$ (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Rosarito Norte.  | 28     |
| <b>Tabla V.</b> $F_{mensuales}$ y $F_{anuales}$ (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Rosarito I.   | 28     |
| <b>Tabla VI.</b> $F_{mensuales}$ y $F_{anuales}$ (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Vista Marina.  | 29     |
| <b>Tabla VII.</b> $F_{mensuales}$ y $F_{anuales}$ (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Puerto Nuevo.   | 29     |
| <b>Tabla VIII.</b> $F_{anuales}$ (Kg/año) calculados para cuatro metales Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc de cada una de las plantas de tratamiento.  | 30     |
| <b>Tabla IX.</b> Carga de contaminante por año ( $CCa$ ) promedio de diez indicadores de contaminación para las seis plantas de tratamiento, calculadas con el $F_{anual}$ (Ton/año) y el $F_{anual}$ (Kg/Año) para los metales.   | 32     |
| <b>Tabla X.</b> Cargas de contaminantes totales en un año ( $CCTa$ ) de diez indicadores de contaminación y Cargas de contaminantes totales por planta de tratamiento ( $CCTpt$ ) del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Obtenidas con el $F_{mensual}$ (Ton/Año) y el $F_{anual}$ (Kg/Año).   | 33     |
| <b>Tabla XI.</b> Comparación de las $CCa$ calculadas usando el $F_{anual}$ con resultados obtenidos por análisis químicos (CONAGUA, 2009), para el año 2008. También se muestra las $CCa$ para el año 2009.  | 34     |

## RESUMEN

En la actualidad la zona costera tiene un alto valor turístico así como habitacional. Sin embargo, esta zona ha sido invadida debido al desmesurado crecimiento urbano. Una consecuencia del incremento poblacional y actualmente un punto crítico para la zona costera son las aguas negras o residuales que son vertidas al mar, ya que al no ser tratadas adecuadamente, introducen al ecosistema marino una mezcla de contaminantes que ocasionan daños en los organismos marinos que viven en las zonas adyacentes a las descargas. Las costas del corredor turístico Tijuana-Ensenada funcionan como receptoras de aguas residuales de diferentes plantas de tratamiento, las cuales han provocado problemas de contaminación. En la actualidad se ha tratado de solucionar estos problemas; sin embargo, no se ha podido controlar la calidad del agua que se descarga al mar debido a los altos costos de operación de las plantas de tratamiento. Por esta razón se deben considerar técnicas más económicas que ayuden en la evaluación de las plantas de tratamiento. La técnica de Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental (ERFCA), es una técnica económica que consiste en recopilar información de diferentes fuentes de contaminación para diagnosticar de manera rápida la realidad del problema aplicando factores que describen el comportamiento de los indicadores de contaminación.

El objetivo general de este trabajo es evaluar las fuentes de contaminación que descargan en la franja costera de Baja California, mediante el cálculo de cargas de contaminantes de cada una de las fuentes de contaminación, basados en la técnica ERFCA. Para llevar a cabo el objetivo se trabajaron los reportes de indicadores de contaminación de las plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. De acuerdo a la información recopilada se obtuvieron dos tipos de factores: mensuales ( $F_{mensual}$ ) y anuales ( $F_{anual}$ ) para cada uno de los indicadores de contaminación seleccionados. Los valores obtenidos fueron analizados estadísticamente y utilizados para obtener las cargas de contaminantes de cada indicador para cada planta de tratamiento y en base a las cargas se hicieron comparaciones con los resultados obtenidos por otros autores mediante análisis químico.

Las ventajas de utilizar este tipo de técnicas para evaluar la calidad del agua es que son económicas y muestran resultados rápidos. Las aplicaciones que se le dieron a los factores arrojaron resultados importantes, los cuales funcionan como herramienta para hacer una evaluación rápida de la calidad del agua que se descarga en las costas del corredor turístico Tijuana-Ensenada. La eficiencia de los factores calculados para las plantas de tratamiento va a depender también del aumento de la población en la zona, los factores ambientales y sobre todo, del funcionamiento de las plantas de tratamiento. Es importante tomar en cuenta que este estudio es una base para la elaboración de factores de contaminación, por lo que se recomienda seguir haciendo estudios que complementen este trabajo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Tierra es un planeta que en su mayoría se encuentra cubierto por agua, de la cual el 97% se encuentra distribuido en mares y océanos. Los ecosistemas marinos poseen una gran biodiversidad y sus recursos pesqueros lo hacen una fuente primaria de aprovechamiento para el consumo humano. Asimismo, poseen un valor paisajístico en la zona costera, aunque con el tiempo ha sido invadida debido al desmesurado crecimiento urbano (Martínez-Guerrero, 2006).

Una consecuencia del incremento poblacional y actualmente un punto crítico para la sociedad, es la contaminación que se ha ido generando con el paso del tiempo, principalmente en la franja costera. La costa, por tener un alto valor turístico así como habitacional, es una zona en la que se mantiene de manera constante un aumento de población, principalmente en las temporadas vacacionales. A su vez, el aumento de población ocasiona un incremento de aguas negras, las cuales son vertidas al mar.

Las aguas negras pueden ser de composición variada, ya que dependen de su origen. Así, encontramos aguas residuales provenientes de descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso, aunque también podemos encontrar mezclas de ellas (NOM-001-SEMARNAT-1996; Segovia-Zavala, 1982; Del Valle-Villorín, 1985; Tanahara-Romero, 1996). Por lo anterior, existe preocupación por la zona costera, al ser considerada como un vertedero de desechos, ya que la mayoría de las aguas negras no tienen un tratamiento previo o el tratamiento no es el adecuado; o simplemente, son aguas negras

clandestinas, que introducen al ecosistema marino materia orgánica, metales pesados y otras materias tóxicas disueltas o en suspensión, así como un número incalculable de organismos vivos como bacterias y virus que ocasionan daños en el ecosistema (Segovia-Zavala, 1982, Sañudo-Wilhelmy, 1983). Las primeras afectadas son las diferentes especies marinas que viven en la franja costera, ya que continuamente se encuentran expuestas a estos contaminantes, provocando cambios poblacionales tanto en abundancia como en diversidad en las zonas adyacentes a las descargas (Sañudo-Wilhelmy y Suarez-Vidal, 1984).

Los organismos funcionan como indicadores de contaminación, razón importante para considerar estudios que complementen y demuestren la calidad del agua que se descarga al mar con el fin de detectar a tiempo los problemas de contaminación en las costas.

Los indicadores de contaminación son herramientas que indican la calidad del agua, ya que permiten visualizar las características generales de ésta (Cabrera-Cruz, 2003). Algunos de los indicadores más utilizados para la evaluación de la calidad del agua en las costas por descargas de aguas residuales, son los siguientes:

1. **Bacterias:** Son los indicadores más utilizado en la zona costera, ya que las bacterias se consideran una fuente de enfermedades infecciosas, por estar asociadas a excretas de animales (Tanahara-Romero, 1996).
2. **DQO y DBO<sub>5</sub>:** Son indicadores que están relacionados con la concentración de materia orgánica en aguas residuales. La demanda química de oxígeno (DQO), se define como la cantidad de oxígeno

necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas presentes y la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), es la cantidad de oxígeno que se requiere para degradar la materia orgánica biológicamente (Glynn *et al.*, 1999; Campos-Gómez, 2003).

3. **Nutrientes:** De manera natural, los nutrientes se encuentran en el medio marino debido a la degradación de la materia orgánica. Los nutrientes más importantes para la descripción de calidad del agua son el nitrógeno y el fósforo, los cuales funcionan como indicadores del grado de productividad en la zona. Estos elementos también pueden encontrarse en sus diferentes formas; nitrógeno total (NT), nitratos ( $NO_3$ ), nitritos ( $NO_2$ ) y amonio ( $NH_4^+$ ), el fósforo como fosfatos ( $PO_4^-$ ) y fósforo total (PT) (Del Valle-Villorín, 1985; Campos-Gómez, 2003).
4. **Sólidos en sus diferentes formas:** La clasificación de los sólidos está dada por su tamaño de partícula. Los sólidos suspendidos son partículas orgánicas e inorgánicas así como líquidos inmiscibles que se encuentran en el agua; y los sólidos disueltos, que son considerados como el material que permanece en el agua después de una filtración por un poro de  $0.45\mu m$  (Campos-Gómez, 2003).
5. **Grasas y Aceites:** Son componentes insolubles en agua, característica que ayuda a determinar el grado de contaminación en el agua por usos industriales y humanos. La determinación de grasas y aceites está dada por características fisicoquímicas (solubilidad, tensión superficial y densidad). El contenido de grasas y aceites incluye ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites entre otros (NMX-AA-005-SCFI-2000).

6. **Metales:** Un indicador importante es la presencia de metales en agua y en sedimento marino. Éstos, según su efecto en el ser humano se clasifican en tóxicos y no tóxicos. Se consideran no tóxicos los metales como el sodio, el hierro y el manganeso, los que pueden causar daño en cantidades excesivas. Los metales tóxicos más conocidos son el plomo, mercurio, cadmio, cobre y zinc; que causan problemas de salud aún en cantidades pequeñas (Campos-Gómez, 2003).

Como ya se mencionó, los indicadores de contaminación son la herramienta adecuada para hacer un estudio de calidad del agua, por lo que las plantas de tratamiento los utilizan como base para hacer su monitoreo de contaminación.

Las plantas de tratamiento son instalaciones que retiran los contaminantes de las aguas negras que son desechadas por la ciudad con el fin de darle un reuso sin ocasionar riesgos en la salud y/o al medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, río o lago) (CESPT, 2010).

En las costas de Baja California, principalmente en el corredor turístico Tijuana-Ensenada, se encuentra varias plantas de tratamiento que manejan sistemas biológicos para la remoción de los contaminantes utilizando dos tipos de tratamiento: lagunas de oxidación y lodos activados. El sistema de tratamiento va de acuerdo a las dimensiones de las plantas y el número de habitantes (CESPT, 2010).

Como se mencionó, las costas de Baja California tienen localidades que funcionan como receptores de las descargas de plantas de tratamiento así como de descargas clandestinas. Éstas se encuentran en el corredor turístico

Tijuana-Ensenada, que abarca Tijuana, Rosarito y Ensenada; zonas que han sido estudiadas para conocer el impacto de la contaminación ocasionado por las descargas residuales.

A partir de algunos estudios que se han hecho en el corredor turístico se ha encontrado que la ciudad de Tijuana ha tenido una serie de factores socioeconómicos que han ocasionado el aumento en la contaminación, entre los que se cita: el crecimiento demográfico generado por movimientos migratorios y el crecimiento industrial (Sañudo-Wilhelmy, 1983). En el caso de Ensenada, el crecimiento de la población ocasiona el aumento en las actividades turísticas, agrícolas, de transporte e industriales, provocando contaminación en la bahía, debido a la descarga de desechos orgánicos, tanto domésticos como industriales no tratados adecuadamente (Martínez-García, 1989).

Baja California tiene una población de 3 155 070 habitantes, divididos en sus cinco municipios de los cuales, tres tienen contacto directo con la costa: Tijuana, Rosarito y Ensenada. Tijuana cuenta con 1 559 683 habitantes, Rosarito con 90 668 habitantes y Ensenada con 466 814 habitantes (INEGI, 2010). La mayor parte de la población del estado se encuentra concentrada en el corredor turístico Tijuana-Ensenada debido a que éste es empleado para transportación, recreación, pesca comercial y sobre todo para el desarrollo urbano e industrial, lo que genera grandes cantidades de contaminantes que crean problemas graves de salud (Martínez-Guerrero, 2006).

De acuerdo a lo anterior, el uso excesivo de la zona costera ocasiona un traslape de actividades que lleva a un mal uso de la costa provocando un alto

volumen de desechos, que con el tiempo ha ido afectando al corredor turístico Tijuana-Ensenada hasta el punto de reportar playas cerradas por presencia de bacterias, así como prohibir el consumo de pescados y mariscos debido a las descargas de contaminantes en la zona (Nishikawa-Kinomura *et al.*, 1988, Martínez-Guerrero, 2006).

En la actualidad se ha tratado de solucionar los problemas de contaminación mediante planificación de los sistemas de saneamiento aplicando normativas que eviten la contaminación en las zonas receptoras, sistemas que han disminuido los problemas ambientales y de salud pública. Sin embargo, no se ha podido controlar la calidad del agua que se descarga al mar, por los altos costos de operación de las plantas de tratamiento. Por esta razón se deben considerar técnicas más económicas que ayuden en la evaluación de las plantas de tratamiento. Así mismo, deben implementarse nuevas herramientas de trabajo que sean útiles para evaluar de manera rápida la calidad del agua que se descarga al mar.

Hoy en día, el uso de técnicas analíticas es una buena opción para obtener datos puntuales; sin embargo, son costosas y deben realizarse constantemente para tener un reporte completo de la zona a estudiar. Lo anterior es un problema para países en desarrollo, ya que no siempre cuentan con los recursos necesarios para realizar estudios frecuentes, dando como resultado reportes incompletos.

La técnica de Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental (ERFCA), es una técnica económica que ha sido aplicada en suelo, aire y agua. El método consiste en recopilar información de diferentes fuentes

de contaminación para diagnosticar de manera rápida la realidad del problema aplicando factores que describen el comportamiento de los indicadores de contaminación a través del tiempo.

Considerando las ventajas de la técnica ERFCA anteriormente mencionadas, y con la finalidad de contribuir en la evaluación de la calidad del agua que se descarga en la franja costera de Baja California, en este trabajo se consideró esta metodología con el interés de aportar las bases para evaluar de manera rápida y a un bajo costo posibles problemas de contaminación.

## 2. ANTECEDENTES

La evaluación rápida ambiental en la actualidad es un tema controvertido. Sin embargo, la técnica ERFCA se puede considerar como la base de futuros estudios en los diferentes rubros de contaminación, ya que el manual ERFCA desde sus inicios ha tratado de modificar su técnica para beneficiar a países en desarrollo.

En el año 1977, se inicia el trabajo del libro de la Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental (ERFCA). Con este escrito se pretendía obtener fuentes y experiencia para la elaboración de una técnica de evaluación ambiental, con la cual poder evaluar de manera general y rápida la cantidad de contaminantes en el aire, agua y suelo. En 1979, se reunió un grupo de personas para preparar el primer borrador del documento de Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental y en el año 1980 se completó el texto (WHO, 1982).

Para el año 1982, la Organización Mundial de la Salud (OMS), pionera de las diferentes modificaciones de la técnica publicó el libro ERFCA (publicación No. 62, 1982), enfocándose en la elaboración de inventarios de fuentes de contaminación en aire, agua o suelo. Los métodos que presenta esta versión, fueron modificados y simplificados para los países que se encuentran en desarrollo, con el fin de facilitarles la interpretación de los resultados (Economopoulos, 1993).

Posteriormente, la OMS presentó la nueva publicación del manual de evaluación rápida de fuentes de contaminación (WHO/PEP/89.1). Para esta nueva publicación se actualizaron las técnicas de evaluación rápida, publicando

un manual de gestión y control del medio ambiente, el cual trabaja con inventarios, proporciona listas integrales de las fuentes de contaminación e introduce algunos modelos de calidad. Dos años después se publicó una nueva versión del manual ERFCA, en ella se actualizaron los factores de evaluación de contaminantes. Esta versión describe cómo iniciar un estudio, cómo organizar los equipos de trabajo, como definir las áreas de estudio y procesar los datos para producir un informe relevante que ayude a la toma de decisiones en cuestión de salud pública como salud ambiental (Economopoulos, 1993).

En la actualidad, conociendo el contenido del manual ERFCA, algunos países en desarrollo han optado por trabajar esta técnica, la cual ha funcionado como una herramienta de trabajo útil en la elaboración de inventarios de las diferentes fuentes de contaminación. Dichos países también mencionan que la técnica es una fuente confiable que genera resultados que pueden ser utilizados como referencia en la toma de decisiones en gestión ambiental, logrando actuar a tiempo evitando así problemas de contaminación.

China es uno de los tres países que ha trabajado con la técnica ERFCA: una muestra de este tipo de trabajos es el de Wheeler y Strzepek (2000), quienes hicieron un estudio para evaluar la calidad del agua del Rio Amarillo en China. Estos autores hicieron una combinación de la técnica ERFCA con información de los análisis digitales del terreno y las condiciones hidrológicas de la zona, logrando un modelo útil como marco de referencia en el sistema de información geográfica (SIG). Con la información obtenida, estos autores lograron estimar e identificar fuentes puntuales de descargas de contaminación distribuidas no sólo en el Rio Amarillo, sino también en otros ríos de China.

Por otra parte, África cuenta con un estudio realizado por Scheren *et al.* (2000) quienes aplicaron la técnica ERFCA como método de inventario de contaminación, con el cual lograron estimar las cargas que tenían las fuentes de contaminación del agua del Lago Victoria, en el Este de África, basándose tanto en los diferentes indicadores de contaminantes como en las concentraciones de éstos.

En México se han hecho estudios de evaluación de fuentes de contaminantes en varios estados, el primero del cual se tiene reporte es Hidalgo, donde se ha aplicado la técnica ERFCA por Cabrera-Cruz *et al.* (2003) quienes hicieron un inventario de fuentes de contaminación en 14 municipios del estado de Hidalgo, México. Mediante la técnica se logró determinar el número de fuentes de contaminación en la zona, lo que les permitió conocer su naturaleza y la cantidad de emisiones que se hacen a suelo, agua y aire. Otro estudio también realizado por Cabrera-Cruz *et al.* (2004) consiste en un inventario de residuos peligrosos emitidos por fuentes industriales en 17 municipios en el estado de Hidalgo, México. Gracias al inventario lograron determinar el número de fuentes emisoras, clases, tipos y la cantidad de residuos peligrosos que se desechan.

Por otra parte, el estado de Guerrero, México cuenta con un estudio realizado por González *et al.* (2006) quienes trabajaron en la ciudad de Acapulco, haciendo una evaluación de fuentes contaminantes, con el fin de obtener datos de las emisiones de contaminación en agua, aire y el suelo y de esta forma llegar a propuestas para la realización de planes ambientales y programas de control.

Recientemente, se publicaron dos estudios donde se utiliza la técnica ERFCA el primero en el estado de Hidalgo por Gordillo-Martínez *et al.* (2010), quienes realizaron un inventario de la contaminación emitida por fuentes de origen industrial y doméstico en aire, agua y suelo en 10 municipios de la región de la Huasteca. Por medio del inventario lograron identificar las fuentes de contaminación y jerarquizar los problemas ambientales y de esta forma conocer la situación actual de la zona.

El último, se realizó en el estado de Puebla por Sánchez-Torres *et al.* (2011) quienes trabajaron en la modelación de una chimenea virtual que represente el total de fuentes puntuales de cada parque industrial del estado. En este estudio se aplica la técnica ERFCA para estimar los índices de emisión para cada contaminante, utilizando los diferentes tipos de contaminantes emitidos al aire por fuentes de combustión fijas de procesos industriales en la ciudad de Puebla, México.

En Baja California no se tiene antecedentes en la utilización de la técnica ERFCA, por lo que este estudio tiene como propósito explorar la técnica con el fin de aplicar una evaluación rápida a las fuentes de contaminación que descargan en el corredor turístico Tijuana-Ensenada.

El corredor turístico Tijuana-Ensenada cuenta con muy pocos estudios enfocados a las cargas de contaminantes que son descargadas al mar; uno de los primeros fue realizado por Sañudo-Wilhelmy y Suarez-Vidal (1982) quienes trabajaron en la evaluación de la carga orgánica de la ciudad de Tijuana. Estos autores hicieron un muestreo de las aguas residuales de la CESPT durante un año, encontrando que la carga orgánica promedio diaria fue de 7 Ton para

DBO<sub>5</sub>, 15 Ton para DQO y 42 Ton para sólidos totales. También hicieron una proyección para el año 2000 donde mencionan que la DBO<sub>5</sub> tiene una posible carga de 34 Ton, la DQO de 71 Ton y los sólidos totales de 199 Ton.

Después de este trabajo se comenzaron hacer estudios de este tipo, ya que antes no se conocían trabajos similares en la zona que ayudaran a conocer el comportamiento de las plantas de tratamiento. Sañudo-Wilhelmy y Suarez-Vidal (1984) realizaron un nuevo estudio para conocer la variación temporal de la carga orgánica de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, encontrando que la DBO<sub>5</sub> presenta el mayor aporte entre los meses de julio y septiembre relacionándolo con el aumento del turismo en la zona, en comparación con otros indicadores que no muestran alteraciones en sus cargas la mayor parte del año. Por otra parte, Segovia-Zavala y Galindo-Bect (1984) trabajaron con las fuentes de contaminación por materia orgánica en Ensenada. Ellos encontraron variación mensual en la carga orgánica en DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos totales volátiles (STV) mostrando el mismo comportamiento que el estudio realizado por Sañudo-Wilhelmy y Suarez-Vidal (1984), encontrando el mayor aporte en el mes de agosto y en el de septiembre, relacionados con el aumento de actividades en la zona por la afluencia turística.

En la actualidad se manejan estudios de calidad del agua para el corredor turístico Tijuana-Ensenada, los cuales son realizados por personas capacitadas en el tema, evaluando periódicamente el comportamiento de las plantas de tratamiento. CONAGUA (2009) presenta un trabajo de calidad del agua en el que evalúa los aportes de contaminantes de descargas residuales y clandestinas en las costas del corredor costero Tijuana-Rosarito, encontrando el mayor aporte de contaminantes por la planta de tratamiento de Punta

Bandera así como descargas clandestinas ubicadas a lo largo de la costa que descargan altos volúmenes de materia orgánica al mar.

De acuerdo a los antecedentes de la técnica y sus diferentes aplicaciones, ésta se le puede considerar potencialmente una buena herramienta para la evaluación de las descargas de aguas residuales en las costas de Baja California.

### **3. HIPÓTESIS**

La técnica ERFCA puede ser utilizada para el manejo de factores de contaminación, aplicándola como una herramienta en el análisis de efluentes y cálculo de cargas de contaminantes totales, con el fin de evaluar la calidad del agua que se descarga por las plantas de tratamiento en el corredor turístico Tijuana-Ensenada.

## **4. OBJETIVO**

### ***4.1 Objetivo general***

Evaluar las fuentes de contaminación que descargan en la franja costera de Baja California, mediante el cálculo de cargas de contaminantes de cada una de las fuentes, basados en la técnica ERFCA.

### ***4.2 Objetivos particulares***

1. Calcular factores mensuales y anuales para cada uno de los indicadores de contaminación de las plantas de tratamiento.
2. Seleccionar el factor más apropiado para la obtención de cargas de contaminantes para las plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada.
3. Hacer una comparación de los resultados obtenidos por la técnica ERFCA con los resultados obtenidos por otros métodos.

## **5. METODOLOGÍA**

Se obtuvieron datos de indicadores de contaminación de varias plantas de tratamiento de agua administrada por la Comisión de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT). Con algunos indicadores seleccionados, se construyó una nueva base de datos y se aplicó la técnica ERFCA (OMS, 1982). Se obtuvieron dos tipos de factores: mensuales y anuales para cada uno de los indicadores de contaminación seleccionados, tomados de las diferentes plantas de tratamiento que descargan en el corredor turístico Tijuana-Ensenada. Los valores obtenidos fueron analizados estadísticamente y utilizados para hacer comparaciones con los resultados obtenidos mediante análisis químico de muestras de agua.

### **5.1 Área de estudio**

El corredor turístico Tijuana-Ensenada se encuentra al noroeste de México, en las costas de Baja California. Los municipios de Tijuana, Rosarito y Ensenada, presentan costas que tienen contacto directo a descargas de aguas residuales por plantas de tratamiento (Figura 1).

Tijuana y Rosarito cuentan con una población de 1 559 683 habitantes y 90 668 habitantes respectivamente, la mayoría de la población tiene servicios de alcantarillado, produciendo un alto volumen de desechos que se distribuyen a diferentes plantas de tratamiento. Entre ellas, las más importantes para este análisis son: Punta Bandera, San Antonio del Mar, Rosarito Norte, Rosarito I, Vista Marina y Puerto Nuevo por ser las que descargan directo al mar. Por otra parte, Ensenada cuenta con tres plantas de tratamiento: El Sauzal, El Gallo y El

Naranja, las cuales se da saneamiento a la mayoría de los desechos producidos por los 466 814 habitantes que tiene el municipio.

La mayoría de las plantas de tratamiento que se encuentran en el corredor turístico Tijuana-Ensenada cuentan con un sistema de saneamiento secundario avanzado con lodos activados, donde utilizan dos tipos de desinfección: 1) adición de cloro y 2) rayos ultravioleta.

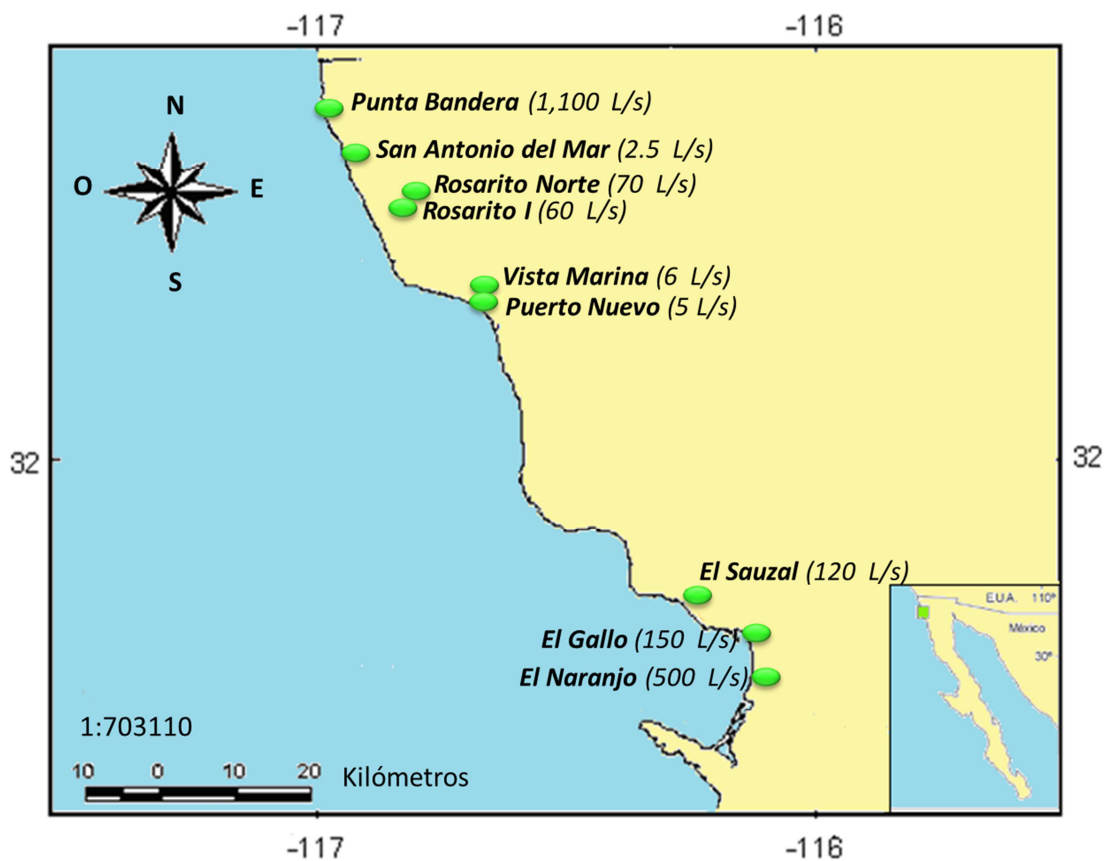


Figura 1. Ubicación de las plantas de tratamiento en el corredor turístico Tijuana-Ensenada. Al norte se encuentran las plantas que están a cargo de la CESPT y al sur las que administra la CESPE. Se muestra la capacidad que tiene cada planta para brindar el servicio de saneamiento en litros sobre segundos (L/s). Fuente: CESPT

## **5.2 Recolección y tratamiento de datos**

Se trabajaron los reportes de indicadores de contaminación de las plantas de tratamiento, proporcionados por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) y la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE).

Se hizo una nueva base de datos de las plantas de tratamiento que contaban con mayor número de mediciones a lo largo del año: Punta Bandera, San Antonio del Mar, Rosarito Norte, Rosarito I, Vista Marina y Puerto Nuevo. Los indicadores seleccionados a partir de dichos reportes para este trabajo fueron: DQO (demanda química de oxígeno), DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxígeno), grasas y aceites, SST (sólidos suspendidos totales), nitrógeno total, fósforo total, Cd (cadmio), Cu (cobre), Pb (plomo) y Zn (zinc), los cuales se seleccionaron por ser los más utilizados para evaluar la calidad del agua.

## **5.3 Análisis estadístico**

Se aplicó la prueba Q de Dixon (Delgado de la Torre, 2004), para identificar valores atípicos descartables en la base de datos. Los datos de la base resultante se trataron con estadística de Shapiro y Wilk (Zar, 2010) para evaluar su normalidad. Los datos que mostraron una distribución normal se les aplicó la prueba Bartlett (Zar, 2010) para conocer si las varianzas en los datos son iguales. A las muestras que presentaron homogeneidad de varianza, se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA) mediante una prueba F de Fisher (Zar, 2010).

Los datos que no mostraron distribución normal se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA) no paramétrico de Kruskal-Wallis (Zar, 2010) con el fin

de encontrar diferencias significativas entre las plantas de tratamiento para cada indicador de contaminación. Se realizó una prueba de comparación múltiple de Dunn (Zar, 2010) para conocer cuáles son las plantas de tratamiento que presentaron diferencias significativas con respecto a cada indicador de contaminación.

#### **5.4 Cálculo de factores ERFCA**

Se calcularon factores ERFCA para los indicadores de contaminación seleccionados, de acuerdo al procedimiento de Guerra-Rivas *et al.* (2012), se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\boxed{F_{mensual} = Cmp * Fc} \quad (1)$$

Donde:

$F_{mensual}$  = Factor ERFCA mensual (Ton/año/L).

$Cmp$  = Concentración mensual promedio de cada indicador de contaminación (mg/L).

$Fc$  = Factor de conversión de masa-tiempo (0.03 Ton/año).

$$\boxed{F_{anual} = Cap * Fc} \quad (2)$$

Donde:

$F_{anual}$  = Factor ERFCA anual (Ton/año/L).

$Cap$  = Concentración anual promedio de cada indicador de contaminación (mg/L).

$Fc$  = Factor de conversión de masa-tiempo (0.03 Ton/año).

Los valores de los factores de contaminación se igualaron con las mismas unidades (Ton/año) con excepción de los metales con unidades (Kg/año), utilizando factores de conversión de masa y tiempo.

### 5.5 Aplicación de los factores ERFCA para el cálculo de cargas de contaminantes

Los factores obtenidos para cada indicador de contaminación se aplicaron en las fórmulas de Guerra-Rivas *et al.* (2012) para calcular las cargas de contaminantes:

$$CCm = F_{mensual} * E \quad (3)$$

Donde:

$CCm$  = Carga de contaminante de cada indicador de contaminación mensual (Ton/año).

$F_{mensual}$  = Factor ERFCA del indicador de contaminación mensual.

$E$  = Flujo del efluente de la planta de tratamiento (L/s).

$$CCa = F_{anual} * E \quad (4)$$

Donde:

$CCa$  = Carga de contaminante de cada indicador de contaminación en un año (Ton/año).

$F_{anual}$  = Factor ERFCA del indicador de contaminación anual.

$E$  = Flujo del efluente de la planta de tratamiento (L/s).

Para obtener la carga de contaminante total en un año ( $CCTa$ ) de cada indicador de contaminación se utilizaron las siguientes fórmulas:

a) Fórmula para cargas calculadas con el factor mensual.

$$CCTa = \sum CCm \quad (5)$$

Donde:

$CCTa$  = Carga de contaminante total en un año.

$\sum CCm$  = Sumatoria de las cargas de contaminantes mensuales de Enero a Diciembre para cada indicador de contaminación.

b) Fórmula para cargas calculadas con el factor anual.

$$CCTa = 12CCa \quad (6)$$

Donde:

$CCTa$  = Carga de contaminante total en un año.

$CCa$  = Carga de contaminante anual, carga obtenida para cada indicador de contaminación.

Para obtener la carga total de contaminantes que son descargados a la costa por cada una de las plantas de tratamiento, se usó la siguiente fórmula:

$$CCTpt = \sum CCTa \quad (7)$$

Donde:

$CCTpt$  = Carga de contaminante total que se descarga por planta de tratamiento, se incluyen todas las cargas anuales de los indicadores de contaminación, ya sea mensuales o anuales.

$\sum CCTa$  = Sumatoria de las cargas de contaminantes totales en un año de todos los indicadores de contaminación seleccionados.

### **5.6 Selección de factores ERFCA**

Para la selección de los factores se realizó una comparación entre las cargas de contaminantes calculadas con el factor mensual y las cargas de contaminantes obtenidas usando el factor anual. Para ambas, se utilizó el valor de flujo promedio mensual reportado por CESPT de cada planta de tratamiento (Ver tablas correspondientes para cada planta en el Anexo I).

Se seleccionó como el mejor factor aquél que mostró mayor variabilidad para cada indicador durante el año, analizando los datos mediante la prueba de homogeneidad de varianza de Bartlett (Zar, 2010). La Tabla I muestra el análisis de un indicador de contaminación con fines de clarificación.

Tabla I. Análisis para la selección de factores del indicador de contaminación SST (sólidos suspendidos totales). Se muestra la carga de contaminante obtenida con los dos factores. De acuerdo a la prueba Bartlett (Zar, 2010) se muestra la conclusión si hay o no diferencias en el uso de los factores.  $CCm$  = Carga de contaminantes mensual;  $CCa$  = Carga de contaminante anual;  $CCTa$  = Carga de contaminante total anual obtenida con los dos factores (mensual y anual).

| Sólidos suspendidos totales |                              |                |              |                 |                 | Resultado Prueba Bartlett (Zar, 2010)      |  |                                       |  |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|--|--|---------------------------------------|--|
| Año 2009                    | Flujo promedio mensual (L/s) | Factor mensual | Factor anual | $CCm$ (Ton/año) | $CCa$ (Ton/año) | $CCTa$ utilizando factor mensual (Ton/año) | $CCTa$ utilizando factor anual (Ton/año) | Valor tablas $\alpha$ , 0.05,1: 3.481 | Conclusión   |
| Ene                         | 1,000.00                     | 0.00           | 4.32         | 0.00            | 4,322.67        | 49,642.21                                  | 54,028.41                                | 48.882                                | La carga de sólidos suspendidos totales es diferente al calcularla con los dos tipos de factores |
| Feb                         | 1,028.00                     | 3.99           | 4.32         | 4,109.55        | 4,443.71        |  |  |                                       |  |
| Mar                         | 1,030.55                     | 4.34           | 4.32         | 4,477.98        | 4,454.73        |  |  |                                       |  |
| Abr                         | 1,047.72                     | 2.60           | 4.32         | 2,731.55        | 4,528.95        |  |  |                                       |  |
| May                         | 1,038.59                     | 4.86           | 4.32         | 5,049.41        | 4,489.48        |  |  |                                       |  |
| Jun                         | 1,048.14                     | 4.69           | 4.32         | 4,918.77        | 4,530.76        |  |  |                                       |  |
| Jul                         | 1,035.84                     | 8.06           | 4.32         | 8,353.80        | 4,477.59        |  |  |                                       |  |
| Ago                         | 1,044.23                     | 3.33           | 4.32         | 3,484.74        | 4,513.86        |  |  |                                       |  |
| Sep                         | 1,046.61                     | 4.17           | 4.32         | 4,365.85        | 4,524.15        |  |  |                                       |  |
| Oct                         | 1,057.40                     | 3.82           | 4.32         | 4,043.29        | 4,570.79        |  |  |                                       |  |
| Nov                         | 1,032.23                     | 3.92           | 4.32         | 4,054.69        | 4,461.99        |  |  |                                       |  |
| Dic                         | 1,089.53                     | 3.72           | 4.32         | 4,052.53        | 4,709.68        |  |  |                                       |  |

### 5.7 Comparación de cargas de contaminantes

Se seleccionaron tres plantas de tratamiento (Punta Bandera, Rosarito Norte y Rosarito I) para comparar las  $CCa$  de seis indicadores de contaminación (DQO,  $DBO_5$ , grasas y aceites, SST, nitrógeno total y fósforo total) con respecto a los resultados obtenidos por análisis químicas realizados a las descargas (CONAGUA, 2009).

También se hicieron comparaciones de las  $CCa$  del 2008 con respecto a las  $CCa$  del 2009, ambas calculadas con el  $F_{anual}$ , para observar la variación de las cargas en cada indicador de contaminación en un año.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Recolección y tratamiento de datos

Una vez tratados los datos proporcionados por la CESPT, se hicieron nuevas bases de datos de las concentraciones promedio mensuales para cada indicador de contaminación de seis plantas de tratamiento. A continuación se muestran las concentraciones de los indicadores de contaminación en un año (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

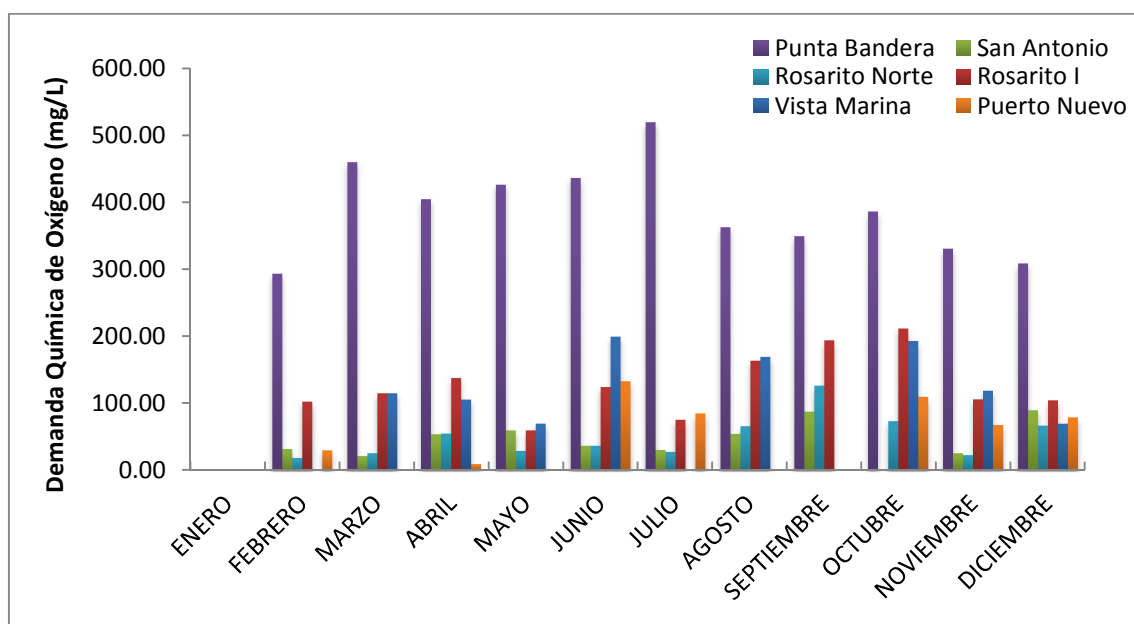


Figura 2. Valores de demanda química de oxígeno (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.

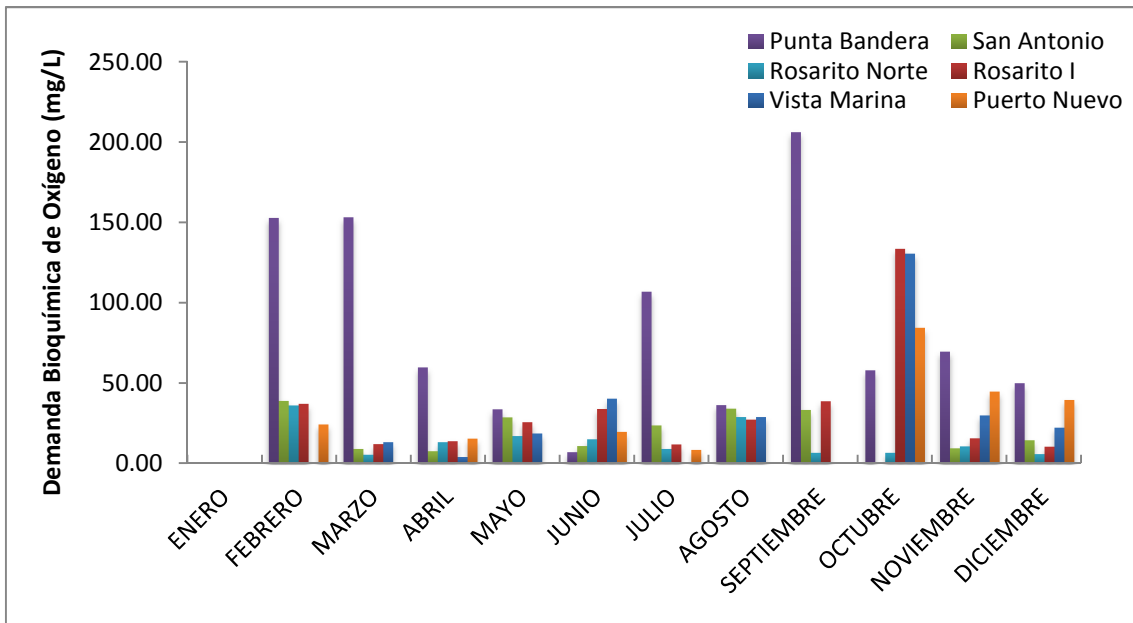


Figura 3. Valores de demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub> (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.

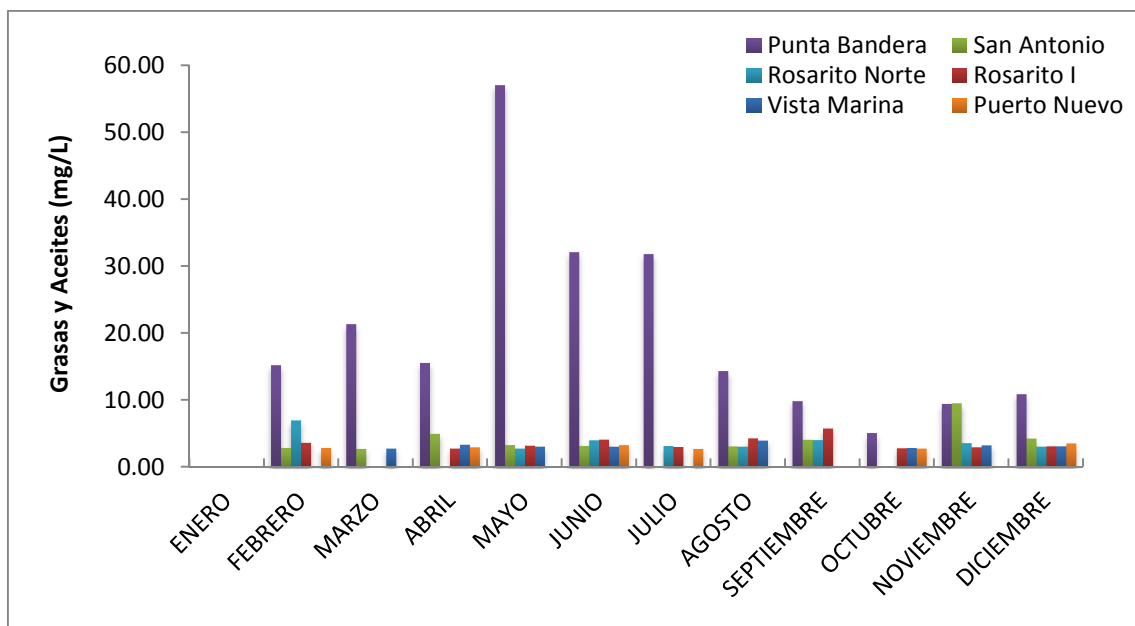


Figura 4. Valores de grasas y aceites (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.

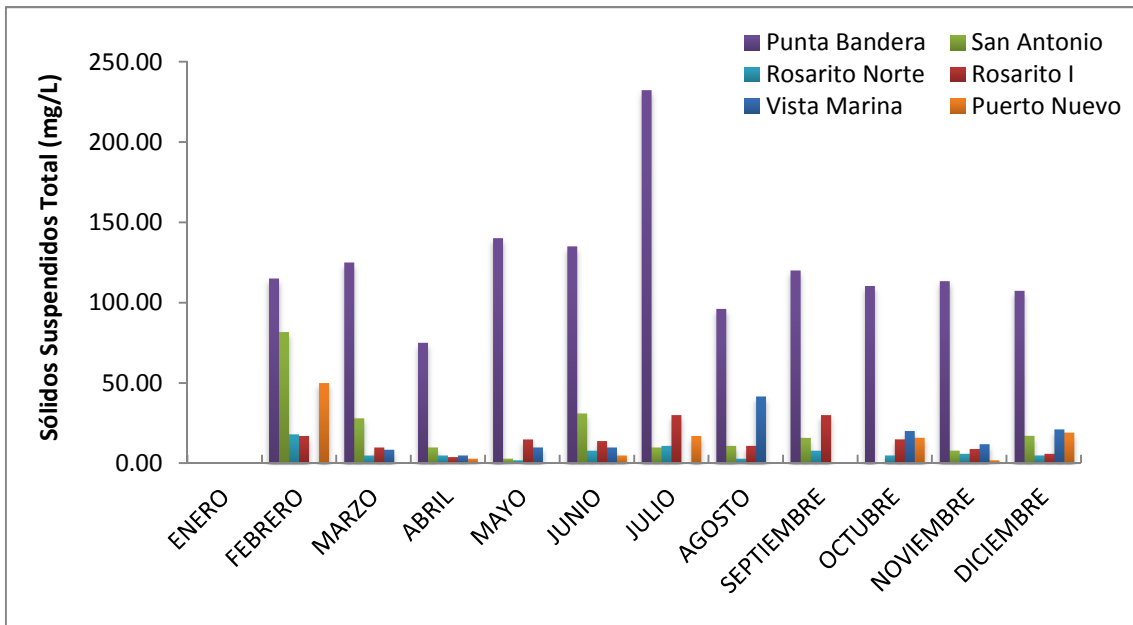


Figura 5. Valores de sólidos suspendidos totales (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.

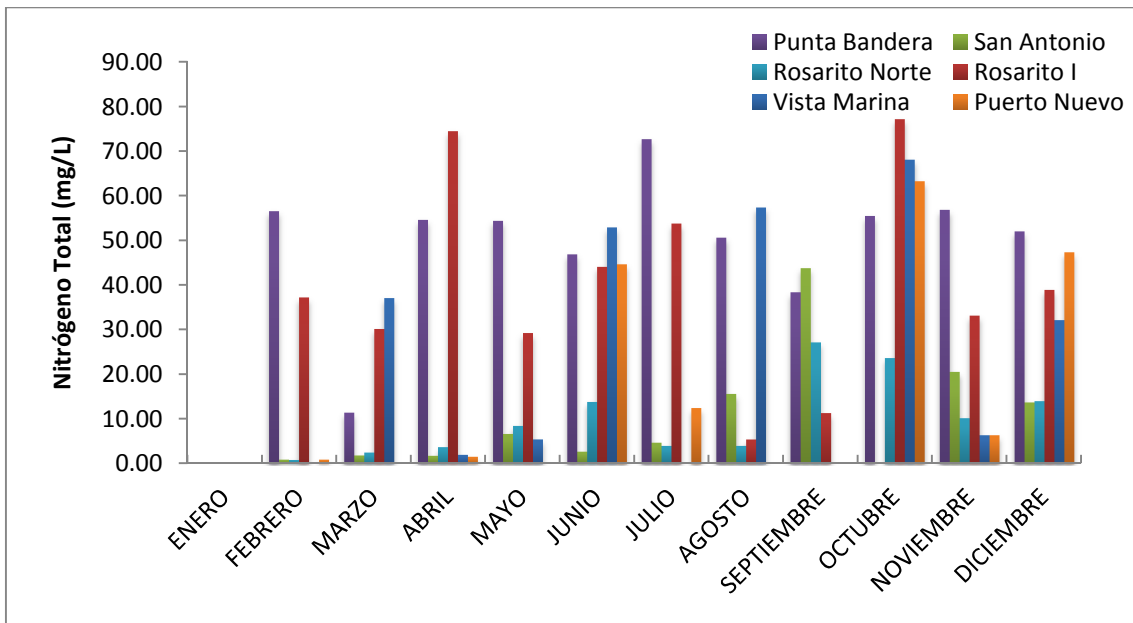


Figura 6. Valores de nitrógeno total (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.

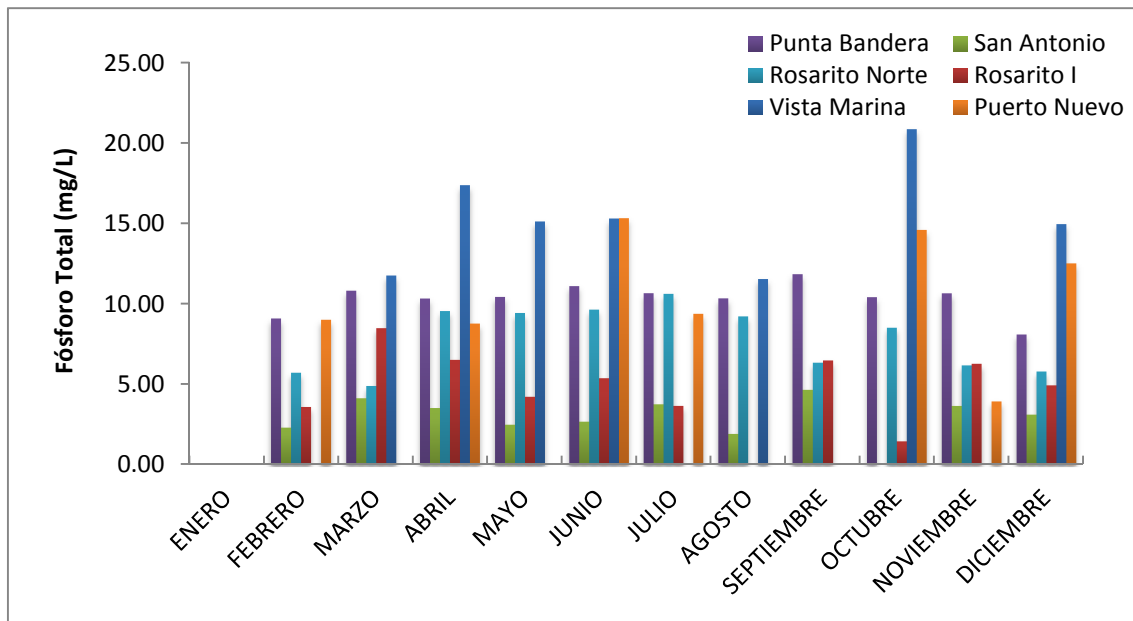


Figura 7. Valores de fósforo total (mg/L), en seis plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Mediciones tomadas en el año 2009. Fuente: CESPT.

## 6.2 Cálculo de factores ERFCA

Se obtuvieron dos tipos de factores: mensuales ( $F_{mensuales}$ ) y anuales ( $F_{anuales}$ ) para cada indicador de contaminación de las seis plantas de tratamiento. Las Tablas II, III, IV, V, VI y VII muestran sólo los  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  de seis indicadores de contaminación (DQO,  $DBO_5$ , SST, grasas y aceites, fósforo total y nitrógeno total) para todas las plantas de tratamiento.

Antes de hacer el cálculo de los factores de los metales se observó que la mayoría de los metales no presentan variabilidad en sus concentraciones la mayor parte del año y que además, sus valores de concentración son muy bajos en comparación con los otros indicadores. Tomando en cuenta lo anterior, sólo se calcularon  $F_{anuales}$  para los metales Cd, Cu, Pb y Zn y se cambiaron las unidades para hacer los cálculos a Kg/año (Tabla VIII).

Tabla II.  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Punta Bandera.

| Punta Bandera       |              |             |             |                  |                 |               |
|---------------------|--------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------|
| Factores            | DQO          | DBO5        | SST         | Grasas y aceites | Nitrógeno total | Fósforo total |
| Ene                 | 0.00         | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Feb                 | 10.21        | 5.32        | 4.00        | 0.53             | 1.96            | 0.31          |
| Mar                 | 15.99        | 5.34        | 4.35        | 0.74             | 0.40            | 0.37          |
| Abr                 | 14.08        | 2.07        | 2.61        | 0.54             | 1.90            | 0.36          |
| May                 | 14.83        | 1.16        | 4.86        | 1.98             | 1.89            | 0.36          |
| Jun                 | 15.17        | 0.24        | 4.69        | 1.12             | 1.63            | 0.39          |
| Jul                 | 18.05        | 3.72        | 8.06        | 1.11             | 2.53            | 0.37          |
| Ago                 | 12.63        | 1.25        | 3.34        | 0.50             | 1.76            | 0.36          |
| Sep                 | 12.11        | 7.16        | 4.17        | 0.34             | 1.33            | 0.41          |
| Oct                 | 13.43        | 2.00        | 3.82        | 0.17             | 1.93            | 0.36          |
| Nov                 | 11.50        | 2.42        | 3.93        | 0.32             | 1.97            | 0.37          |
| Dic                 | 10.73        | 1.72        | 3.72        | 0.37             | 1.81            | 0.28          |
| <b>Factor Anual</b> | <b>13.52</b> | <b>2.95</b> | <b>4.32</b> | <b>0.70</b>      | <b>1.74</b>     | <b>0.36</b>   |

Tabla III.  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento San Antonio del Mar.

| San Antonio del Mar |             |             |             |                  |                 |               |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------|
| Factores            | DQO         | DBO5        | SST         | Grasas y aceites | Nitrógeno total | Fósforo total |
| Ene                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Feb                 | 1.10        | 1.34        | 2.84        | 0.10             | 0.03            | 0.08          |
| Mar                 | 0.74        | 0.31        | 0.97        | 0.10             | 0.07            | 0.14          |
| Abr                 | 1.88        | 0.26        | 0.35        | 0.17             | 0.07            | 0.12          |
| May                 | 2.07        | 0.99        | 0.10        | 0.12             | 0.23            | 0.09          |
| Jun                 | 1.27        | 0.37        | 1.08        | 0.11             | 0.10            | 0.09          |
| Jul                 | 1.06        | 0.82        | 0.35        | 0.09             | 0.17            | 0.13          |
| Ago                 | 1.89        | 1.18        | 0.38        | 0.11             | 0.55            | 0.07          |
| Sep                 | 3.03        | 1.15        | 0.56        | 0.14             | 1.52            | 0.16          |
| Oct                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Nov                 | 0.90        | 0.33        | 0.28        | 0.33             | 0.72            | 0.13          |
| Dic                 | 3.12        | 0.50        | 0.59        | 0.15             | 0.48            | 0.11          |
| <b>Factor Anual</b> | <b>1.70</b> | <b>0.72</b> | <b>0.75</b> | <b>0.13</b>      | <b>0.39</b>     | <b>0.11</b>   |

Tabla IV.  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Rosarito Norte.

| Rosarito Norte      |             |             |             |                  |                 |               |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------|
| Factores            | DQO         | DBO5        | SST         | Grasas y aceites | Nitrógeno total | Fósforo total |
| Ene                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Feb                 | 0.63        | 1.25        | 0.63        | 0.24             | 0.03            | 0.20          |
| Mar                 | 0.90        | 0.18        | 0.17        | 0.09             | 0.09            | 0.17          |
| Abr                 | 1.91        | 0.45        | 0.17        | 0.09             | 0.13            | 0.33          |
| May                 | 1.01        | 0.59        | 0.07        | 0.10             | 0.30            | 0.33          |
| Jun                 | 1.27        | 0.52        | 0.28        | 0.14             | 0.48            | 0.33          |
| Jul                 | 0.96        | 0.31        | 0.38        | 0.11             | 0.14            | 0.37          |
| Ago                 | 2.29        | 1.00        | 0.10        | 0.11             | 0.14            | 0.32          |
| Sep                 | 4.37        | 0.23        | 0.28        | 0.14             | 0.95            | 0.22          |
| Oct                 | 2.55        | 0.23        | 0.17        | 0.09             | 0.82            | 0.30          |
| Nov                 | 0.78        | 0.36        | 0.21        | 0.12             | 0.36            | 0.21          |
| Dic                 | 2.32        | 0.20        | 0.17        | 0.10             | 0.49            | 0.20          |
| <b>Factor Anual</b> | <b>1.73</b> | <b>0.48</b> | <b>0.24</b> | <b>0.10</b>      | <b>0.36</b>     | <b>0.27</b>   |

Tabla V.  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Rosarito I.

| Rosarito I          |             |             |             |                  |                 |               |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------|
| Factores            | DQO         | DBO5        | SST         | Grasas y aceites | Nitrógeno total | Fósforo total |
| Ene                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Feb                 | 3.56        | 1.28        | 0.59        | 0.13             | 1.29            | 0.12          |
| Mar                 | 3.99        | 0.42        | 0.35        | 0.09             | 1.05            | 0.29          |
| Abr                 | 4.78        | 0.48        | 0.14        | 0.10             | 2.58            | 0.23          |
| May                 | 2.08        | 0.89        | 0.52        | 0.11             | 1.02            | 0.15          |
| Jun                 | 4.31        | 1.17        | 0.49        | 0.14             | 1.53            | 0.19          |
| Jul                 | 2.63        | 0.41        | 1.04        | 0.10             | 1.87            | 0.13          |
| Ago                 | 5.68        | 0.94        | 0.38        | 0.15             | 0.19            | 0.00          |
| Sep                 | 6.73        | 1.34        | 1.04        | 0.20             | 0.40            | 0.22          |
| Oct                 | 7.36        | 4.63        | 0.52        | 0.10             | 2.68            | 0.05          |
| Nov                 | 3.68        | 0.54        | 0.31        | 0.10             | 1.15            | 0.22          |
| Dic                 | 3.64        | 0.36        | 0.21        | 0.11             | 1.35            | 0.17          |
| <b>Factor Anual</b> | <b>4.40</b> | <b>1.13</b> | <b>0.51</b> | <b>0.11</b>      | <b>1.37</b>     | <b>0.16</b>   |

Tabla VI.  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Vista Marina.

| Vista Marina        |             |             |             |                  |                 |               |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------|
| Factores            | DQO         | DBO5        | SST         | Grasas y aceites | Nitrógeno total | Fósforo total |
| Ene                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Feb                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Mar                 | 3.99        | 0.45        | 0.30        | 0.10             | 1.29            | 0.41          |
| Abr                 | 3.66        | 0.14        | 0.17        | 0.12             | 0.07            | 0.60          |
| May                 | 2.42        | 0.64        | 0.35        | 0.11             | 0.19            | 0.53          |
| Jun                 | 6.92        | 1.39        | 0.35        | 0.11             | 1.84            | 0.53          |
| Jul                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Ago                 | 5.88        | 1.00        | 1.45        | 0.14             | 2.00            | 0.40          |
| Sep                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Oct                 | 6.72        | 4.53        | 0.70        | 0.10             | 2.36            | 0.72          |
| Nov                 | 4.13        | 1.03        | 0.42        | 0.11             | 0.23            | 0.01          |
| Dic                 | 2.41        | 0.77        | 0.73        | 0.11             | 1.12            | 0.52          |
| <b>Factor Anual</b> | <b>5.20</b> | <b>1.43</b> | <b>0.64</b> | <b>0.13</b>      | <b>1.31</b>     | <b>0.53</b>   |

Tabla VII.  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  (Ton/año) de seis indicadores de contaminación de la planta de tratamiento Puerto Nuevo.

| Puerto Nuevo        |             |             |             |                  |                 |               |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------|
| Factores            | DQO         | DBO5        | SST         | Grasas y aceites | Nitrógeno total | Fósforo total |
| Ene                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Feb                 | 1.03        | 0.83        | 1.74        | 0.10             | 0.04            | 0.31          |
| Mar                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Abr                 | 0.32        | 0.53        | 0.10        | 0.10             | 0.06            | 0.31          |
| May                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Jun                 | 4.61        | 0.68        | 0.17        | 0.11             | 1.55            | 0.53          |
| Jul                 | 2.95        | 0.29        | 0.59        | 0.10             | 0.44            | 0.33          |
| Ago                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Sep                 | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00             | 0.00            | 0.00          |
| Oct                 | 3.82        | 2.94        | 0.56        | 0.10             | 2.20            | 0.51          |
| Nov                 | 2.36        | 1.55        | 0.07        | 0.09             | 0.23            | 0.14          |
| Dic                 | 2.76        | 1.36        | 0.66        | 0.12             | 1.65            | 0.43          |
| <b>Factor Anual</b> | <b>2.55</b> | <b>1.17</b> | <b>0.56</b> | <b>0.09</b>      | <b>0.88</b>     | <b>0.36</b>   |

Tabla VIII.  $F_{anuales}$  (Kg/año) calculados para cuatro metales Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc de cada una de las plantas de tratamiento.

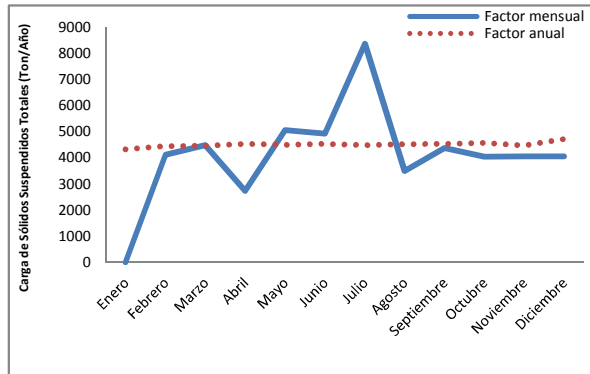
| Factor | Punta Bandera | San Antonio del Mar | Rosarito Norte | Rosarito I | Vista Marina | Puerto Nuevo |
|--------|---------------|---------------------|----------------|------------|--------------|--------------|
| Cadmio | 0.28          | 0.29                | 0.30           | 0.30       | 0.30         | 0.27         |
| Cobre  | 3.22          | 3.19                | 3.24           | 3.24       | 3.22         | 3.25         |
| Plomo  | 1.36          | 1.34                | 1.36           | 1.37       | 1.36         | 1.37         |
| Zinc   | 13.22         | 16.50               | 21.63          | 13.51      | 13.44        | 24.38        |

### 6.3 Selección de Factores ERFCA

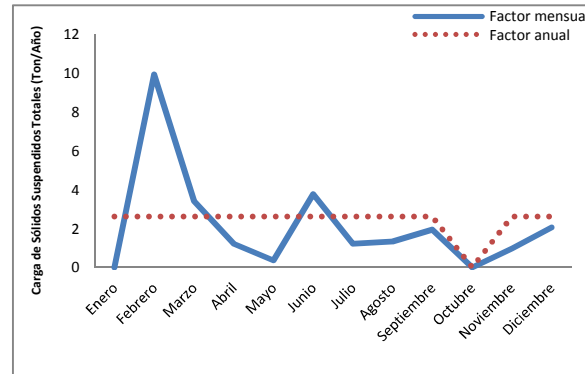
Las comparaciones de las Cargas de contaminante mensual de cada indicador ( $CCm$ ) con las Cargas de contaminante por año de cada indicador ( $CCa$ ) mostraron que en la mayoría de los indicadores de contaminación hay mayor variabilidad al usar el  $F_{mensual}$  que el  $F_{anual}$ .

La Figura 8 muestra un ejemplo de las comparaciones de las  $CCm$  y las  $CCa$  de SST (sólidos suspendidos totales) en todo el año en las seis plantas de tratamiento. Cuando se usa el  $F_{mensual}$  se obtienen los valores de  $CCm$  de todo el año mostrando la variabilidad de los SST y cuando se usa el  $F_{anual}$  sólo se obtiene las  $CCa$  promedio de los SST en todo el año.

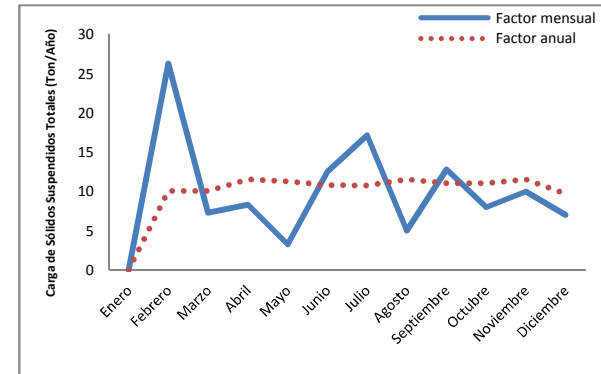
Los resultados de las comparaciones de las  $CCm$  y  $CCa$  de los demás indicadores de contaminación (DQO,  $DBO_5$ , grasas y aceites, nitrógeno total y fósforo total), se muestran en el Anexo II. Los metales no se compararon porque no presentan variabilidad la mayor parte del año.



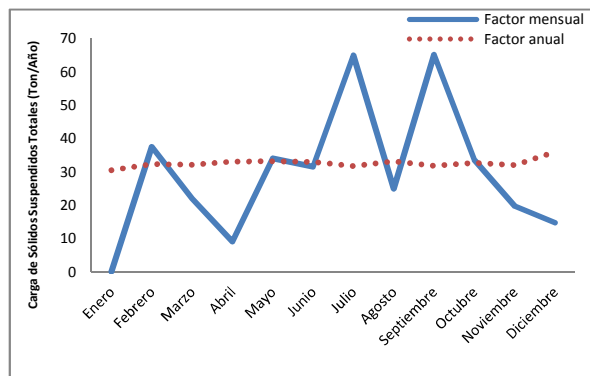
a)



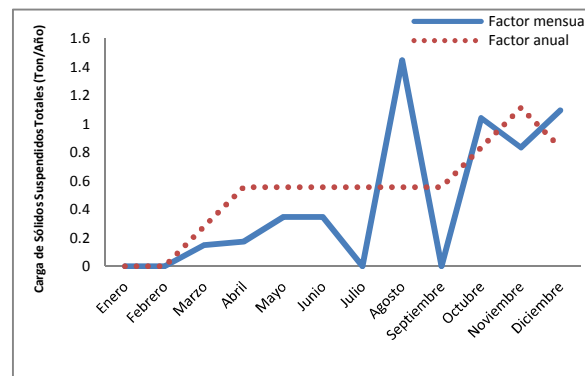
b)



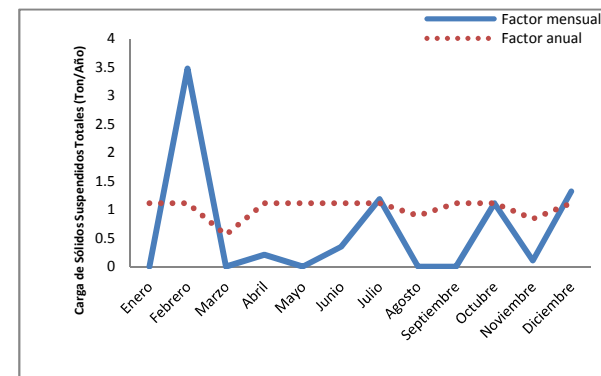
c)



d)



e)



f)

Figura 8. Sólidos suspendidos totales (mg/L), se utilizó el  $F_{mensual}$  y el  $F_{anual}$  para obtener las  $CC_m$  y las  $CC_a$  en las plantas de tratamiento; a) Punta Bandera, b) San Antonio del Mar, c) Rosarito Norte, d) Rosarito I, e) Vista Marina y f) Puerto Nuevo.

#### 6.4 Aplicación de los factores ERFCA para el cálculo de cargas

Se calcularon las Cargas de contaminantes por año (CCa) de los diez indicadores de contaminación por cada planta de tratamiento (Tablas IX), las cargas de contaminantes de los metales se presentan en unidades Kg/Año, ya que los valores son muy bajos en comparación de los primeros seis indicadores (Ton/Año).

Tabla IX. Carga de contaminante por año (CCa) promedio de diez indicadores de contaminación para las seis plantas de tratamiento, calculadas con el  $F_{anual}$  (Ton/año) y el  $F_{anual}$  (Kg/Año) para los metales.

| Indicadores de contaminación | Punta Bandera | San Antonio del Mar | Rosarito Norte | Rosarito I | Vista Marina | Puerto Nuevo |
|------------------------------|---------------|---------------------|----------------|------------|--------------|--------------|
| <b>Grasas y aceites</b>      | 731.86        | 0.45                | 9.44           | 7.78       | 0.13         | 0.19         |
| <b>SST</b>                   | 4502.37       | 2.41                | 18.49          | 32.63      | 0.64         | 1.02         |
| <b>DBO5</b>                  | 3067.91       | 2.32                | 37.19          | 72.57      | 1.43         | 2.15         |
| <b>DQO</b>                   | 14082.47      | 5.47                | 132.88         | 282.41     | 5.20         | 4.69         |
| <b>Fósforo Total</b>         | 374.09        | 0.36                | 20.91          | 10.35      | 0.53         | 0.67         |
| <b>Nitrógeno Total</b>       | 1809.35       | 1.26                | 27.54          | 88.15      | 1.31         | 1.62         |
| <b>Cadmio</b>                | 296.82        | 0.93                | 23.20          | 19.32      | 0.34         | 0.50         |
| <b>Cobre</b>                 | 3354.57       | 10.22               | 249.64         | 207.94     | 3.71         | 5.98         |
| <b>Plomo</b>                 | 1412.42       | 4.30                | 105.40         | 87.79      | 1.56         | 2.53         |
| <b>Zinc</b>                  | 13765.86      | 52.96               | 1665.84        | 866.88     | 15.46        | 44.86        |

También se calculó las Cargas de contaminantes totales por año (CCTa) de todos los indicadores de contaminación y las Cargas de contaminantes totales por planta de tratamiento (CCT<sub>pt</sub>) utilizando los  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  de cada planta de tratamiento (Tablas X).

Tabla X. Cargas de contaminantes totales en un año ( $CCTa$ ) de diez indicadores de contaminación y Cargas de contaminantes totales por planta de tratamiento ( $CCTpt$ ) del corredor turístico Tijuana-Ensenada. Obtenidas con el  $F_{mensual}$  (Ton/Año) y el  $F_{anual}$  (Kg/Año).

| Indicadores de contaminación        | Punta Bandera | San Antonio del Mar | Rosarito Norte | Rosarito I | Vista Marina | Puerto Nuevo |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|----------------|------------|--------------|--------------|
| <b>Grasas y aceites</b>             | 8054.26       | 4.95                | 60.58          | 85.99      | 1.05         | 1.40         |
| <b>SST</b>                          | 49642.21      | 26.24               | 117.70         | 357.15     | 5.44         | 7.75         |
| <b>DBO5</b>                         | 33736.69      | 25.34               | 240.98         | 799.82     | 13.41        | 15.59        |
| <b>DQO</b>                          | 155345.73     | 59.64               | 862.89         | 3120.69    | 42.83        | 34.54        |
| <b>Fósforo Total</b>                | 4126.97       | 3.94                | 136.14         | 114.28     | 4.15         | 5.04         |
| <b>Nitrógeno Total</b>              | 19984.26      | 13.75               | 178.71         | 976.38     | 10.42        | 12.19        |
| <b><math>CCTpt</math> (Ton/Año)</b> | 270890.12     | 133.86              | 1597.00        | 5454.32    | 77.30        | 76.51        |
| <b>Cadmio</b>                       | 3561.80       | 11.10               | 278.38         | 231.88     | 4.10         | 5.99         |
| <b>Cobre</b>                        | 40254.83      | 122.69              | 2995.66        | 2495.28    | 44.50        | 71.82        |
| <b>Plomo</b>                        | 16949.03      | 51.63               | 1264.74        | 1053.49    | 18.77        | 30.34        |
| <b>Zinc</b>                         | 165190.31     | 635.58              | 19990.12       | 10402.51   | 185.50       | 538.29       |
| <b><math>CCTpt</math> (Kg/Año)</b>  | 225955.97     | 821.00              | 24528.90       | 14183.15   | 252.87       | 646.44       |

### 6.5 Comparación de cargas de contaminantes en las plantas de tratamiento utilizando el $F_{anual}$ y resultados de análisis químicos

Para hacer las comparaciones se utilizaron las  $CCa$  calculadas con el  $F_{anual}$  (Tabla IX) de tres plantas de tratamiento: Punta Bandera, Rosarito Norte y Rosarito I y los resultados de calidad del agua de CONAGUA (2009).

La Tabla XI muestra las comparaciones de las cargas de contaminantes obtenidas con los  $F_{anuales}$  y los resultados de calidad del agua (CONAGUA, 2009) de seis indicadores de contaminación DQO,  $DBO_5$ , SST, grasas y aceites, nitrógeno total y fósforo total. Se observa que las  $CCa$  de las tres plantas de tratamiento, son ligeramente diferentes a las obtenidas por análisis químicos.

También se hicieron comparaciones de las CCa obtenidas para el 2008 con las CCa obtenidas para el 2009 en las tres plantas de tratamiento (Tabla XI). Se observó que hay un aumento en las CCa de las plantas de tratamiento Punta Bandera y Rosarito I con respecto a las cargas obtenidas en el año 2008. Por otra parte, la planta Rosarito Norte muestra una disminución en sus CCa para el año 2009.

Tabla XI. Comparación de las CCa calculadas usando el  $F_{anual}$  con resultados obtenidos por análisis químicos (CONAGUA, 2009), para el año 2008. También se muestra las CCa para el año 2009.

| Flujos  | Indicadores de contaminación | CCa: Datos 2008 (CONAGUA, 2009) | Cargas Datos 2008 (CONAGUA, 2009) | CCa: Datos 2009 (CESPT, 2009) |
|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Punta Bandera<br>2008: 1,132.88 L/s<br>2009: 1,041.57 L/s | Grasas y Aceites             | 796.017                         | 574.760                           | 731.858                       |
|   | Sólidos suspendidos totales  | 4897.071                        | 2903.510                          | 4502.368                      |
|   | DBO <sub>5</sub>             | 3336.865                        | 2060.030                          | 3067.914                      |
|   | DQO                          | 15317.015                       | 3878.810                          | 14082.466                     |
|   | Nitrógeno total              | 1967.970                        | 1974.260                          | 1809.352                      |
|   | Fósforo total                | 406.889                         | 161.650                           | 374.094                       |
| Rosarito Norte<br>2008: 76.99 L/s<br>2009: 36.79 L/s      | Grasas y Aceites             | 3.562                           | 12.570                            | 9.442                         |
|   | Sólidos suspendidos totales  | 8.836                           | 19.420                            | 18.491                        |
|   | DBO <sub>5</sub>             | 17.773                          | 8.470                             | 37.194                        |
|   | DQO                          | 63.498                          | 33.330                            | 132.882                       |
|   | Nitrógeno total              | 13.162                          | 50.550                            | 27.543                        |
|   | Fósforo total                | 9.991                           | 5.620                             | 20.909                        |
| Rosarito I<br>2008: 64.13 L/s<br>2009: 71.36 L/s          | Grasas y Aceites             | 8.047                           | 21.000                            | 7.782                         |
|   | Sólidos suspendidos totales  | 36.307                          | 50.000                            | 32.629                        |
|   | DBO <sub>5</sub>             | 80.746                          | 32.000                            | 72.565                        |
|   | DQO                          | 314.244                         | 65.000                            | 282.405                       |
|   | Nitrógeno total              | 98.093                          | 110.000                           | 88.155                        |
|   | Fósforo total                | 11.520                          | 6.000                             | 10.353                        |

## 7. DISCUSIÓN

Como anteriormente se menciona, la técnica ERFCA se caracteriza por ser un procedimiento rápido, que sirve para evaluar la cantidad de contaminantes que son emitidos al medio, dando como resultado la primera visión de la magnitud del problema. De acuerdo a lo anterior se aplicó la técnica en las costas del corredor turístico Tijuana-Ensenada con el fin de detectar las posibles fuentes de contaminación que descargan aguas residuales en las costas.

La importancia de este estudio, es la aplicación que le dio a la técnica ERFCA, calculando nuevos factores de contaminación para evaluar la cantidad de contaminantes que son descargados al mar por los efluentes de las plantas de tratamiento. Esta aplicación se hizo con el fin de ayudar a los estados y municipios que no cuentan con recursos para obtener una evaluación de la cantidad de contaminantes que se descargan a las costas.

Para este estudio se seleccionaron los indicadores de contaminación utilizados para determinar la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en aguas residuales. Una vez tratados los datos se obtuvieron  $F_{mensuales}$  y  $F_{anuales}$  para los diferentes indicadores de contaminación. Cabe mencionar que durante el cálculo de los factores, los metales presentaron valores muy bajos por lo que se consideró cambiar la unidad de Ton/Año a Kg/Año, también se observó que sus concentraciones no mostraban variabilidad la mayor parte del año, tomando en cuenta lo anterior, se decidió sólo calcular los  $F_{anuales}$  para los metales Cd, Cu, Pb y Zn.

Para la seleccionar el factor adecuado para calcular las  $CCT_{pt}$ , se hicieron comparaciones con las  $CC_m$  y  $CC_a$  de cada indicador por planta de tratamiento. De acuerdo a las comparaciones realizadas (Figura 8) y a la estadística de Bartlett (Zar, 2010), se logró deducir que los dos tipos de factores son importantes, ya que ambos funcionan para calcular las cargas totales de cada planta de tratamiento ( $CCT_{pt}$ ), lo que los difiere es la forma de obtener los resultados.

Los  $F_{mensuales}$  tienen como ventaja mostrar resultados reales, es decir, datos que presentan la variabilidad de cada indicador de contaminación al calcular las  $CC_m$ , otra ventaja es que con las  $CC_m$  obtenidas se obtiene la  $CCT_a$ , la cual muestra el total de las cargas obtenidas mensualmente durante un año y por último, con el mismo factor se puede calcular la  $CCT_{pt}$  que es el resultado de la suma total de todos los indicadores de contaminación por planta de tratamiento. La desventaja que tiene el usar los  $F_{mensuales}$  es que para obtener los resultados se necesita hacer varios cálculos, lo que significa tiempo para entregar una evaluación rápida.

Por otra parte, están los  $F_{anuales}$ , los cuales tienen como ventaja mostrar resultados rápidos de las  $CC_a$  de cada indicador de contaminación, y si se multiplica las  $CC_a$  por los doce meses del año, el resultado es la  $CCT_a$  de cada indicador calculado de forma rápida. De acuerdo a lo anterior la ventaja principal de usar los  $F_{anuales}$  es que dan una evaluación rápida del comportamiento de la planta de tratamiento en un año, sin tener que hacer tantos cálculos. La desventaja que tienen estos factores es que las  $CC_a$  son promedios anuales y como tales se tienen que corroborar con otros estudios a detalle.

De acuerdo a lo anterior, el factor recomendado para obtener las  $CCTa$  y las  $CCTpt$  de las plantas de tratamiento es el  $F_{mensual}$ . Sin embargo, la utilidad de los factores va a depender de los resultados que se quieran obtener.

Como se mencionó anteriormente, se calcularon  $CCm$  y  $CCa$  para todos los indicadores de contaminación, todos los valores se normalizaron en unidades de Ton/Año, en el caso de metales en Kg/Año. La importancia de manejar las mismas unidades para todos los indicadores es que la carga obtenida se considera independiente del tamaño y del nivel de actividad de la fuente de contaminación (Economopoulos, 1993). Lo cual ayuda a manejar los resultados sin complicaciones, ya que los resultados de las  $CCm$  o  $CCa$  sólo definen si hay o no contaminación, no evalúan la contaminación en el medio.

En este estudio se aplicaron los factores de dos formas para demostrar su funcionamiento, según se requiera. Con la ayuda del  $F_{mensual}$  se obtuvieron las  $CCTa$  y  $CCTpt$  para las seis plantas de tratamiento (Tabla X) y con los  $F_{anuales}$  se calcularon las  $CCa$  promedio de cada indicador de contaminación (Tabla IX). Los resultados obtenidos se pueden considerar como herramientas para hacer una evaluación rápida de la calidad del agua residual que se descarga en las costas del corredor turístico Tijuana-Ensenada.

Con ayuda del trabajo de CONAGUA (2009) se hicieron comparaciones de las cargas de contaminantes obtenidas con el  $F_{anual}$  y con resultados de análisis químicos, mostrando una mínima diferencia en las cargas obtenidas para el año 2008. Las diferencias que se muestra pueden estar relacionadas con el procedimiento para obtener las cargas de contaminantes. Un punto importante es la toma de las muestras para el análisis químico, ya que la

temporada del año refleja la cantidad de desechos que llegan a la planta de tratamiento, un ejemplo es la afluencia de turismo en verano y en invierno las posibles lluvias.

También se realizaron comparaciones con las CCa del 2008 y 2009 de las tres plantas de tratamiento (Punta Bandera, Rosarito Norte y Rosarito I), con el fin de observar la precisión de los factores de contaminación. Encontrando variaciones en los cargas de contaminantes por ejemplo, las plantas de tratamiento Punta Bandera y Rosarito I mostraron aumentos en las cargas y la planta Rosarito Norte una disminución para el año 2009.

La técnica ERFCA (WHO, 1982) menciona que la precisión de un factor no es uniforme, ya que dependen de las características de las fuentes de contaminación, principalmente de las que generan los residuos y la forma como se realicen los estudios, por lo que no se sabe si van a funcionar de forma precisa en las plantas de tratamiento. Tomando en cuenta lo anterior, la eficiencia de los factores calculados para las plantas de tratamiento va a depender también del aumento de la población en la zona, los factores ambientales y sobre todo del funcionamiento de las plantas de tratamiento.

Otra aplicación que se le podría dar a los factores ERFCA calculados, es poder hacer predicciones de las cargas de contaminantes para las plantas de tratamiento, sólo como una herramienta. De esta forma se podría conocer el comportamiento de los indicadores de las plantas de tratamiento a través del tiempo. Los factores recomendados para hacer una proyección rápida del comportamiento de las plantas son los  $F_{anuales}$  (Ver ejemplo en el Anexo III).

Conociendo el uso que se le puede dar a los factores, la técnica ERFCA puede ayudar a facilitar la selección de muestreos y la frecuencia de las mediciones con las cuales se puede evaluar la cantidad de contaminantes que son descargados al mar mediante un reporte preliminar de las descargas.

Es importante tomar en cuenta que este estudio es una base para la elaboración de factores de contaminación por lo que se recomienda seguir haciendo estudios que complementen la metodología para obtener resultados cada vez más confiables y aplicables a cualquier fuente de contaminación por descargas de aguas residuales.

## 8. CONCLUSIONES

- Con ayuda de la técnica ERFCA se logró realizar una identificación rápida de las fuentes de contaminación del corredor turístico Tijuana-Ensenada al realizar el inventario de contaminación para los efluentes de plantas de tratamiento.
- La nueva aplicación de técnica ERFCA, dio como resultado las bases para originar factores de contaminación aplicados para los efluentes de las plantas de tratamiento del corredor turístico Tijuana-Ensenada.
- La elaboración de los factores de contaminación para aguas residuales, fueron elaborados principalmente para estados y municipios que no cuentan con recursos para obtener este tipo de información.
- Los factores mensuales son de utilidad para la elaboración de un estudio completo de calidad del agua residual.
- Los factores anuales son de utilidad para la elaboración de un estudio rápido de calidad del agua residual donde sólo se requiera conocer la carga promedio anual.
- De acuerdo a la aplicación de la técnica ERFCA se localizo como las fuentes con mayor aporte de contaminantes las plantas de Punta Bandera, Rosarito Norte y Rosarito I.

## 9. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de calidad del agua periódicos que complemente la integración de los factores de contaminación, mediante la elaboración de inventarios para las plantas de tratamiento que descargan al mar, en Baja California.
- Fomentar el uso de factores como una herramienta de trabajo, en momentos convenientes a falta de presupuesto o tiempo. Considerando siempre corroborar los resultados obtenidos con pruebas analíticas.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera-Cruz, R. B. E., Gordillo-Martínez, A. J., Cerón-Beltrán, A. 2003. Inventario de contaminación emitida a suelo, agua y aire en 14 municipios del estado de Hidalgo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 19 (4), 171-181.
- Cabrera-Cruz, R. B. E., Gordillo-Martínez, A. J., Cerón-Beltrán, A. 2004. Inventario de residuos peligrosos industriales en 17 municipios del estado de Hidalgo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 20 (1), 13-22.
- Campos-Gómez, I. 2003. Saneamiento ambiental. 1a reimpresión de la 1a edición. San José, C. R. EUNED, 2000. Pp. 248.
- CESPT 2010. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. [www.cespt.gob.mx](http://www.cespt.gob.mx)
- CONAGUA 2009. Dinámica costera y calidad de agua en el corredor costero Tijuana-Rosarito (COCOTOIRO), Baja California. Proyecto 48905 apoyado por CONACYT-CNA convocatoria 2007-2.
- CONAPO 2010. Comisión Nacional de la Población. [www.conapo.gob.mx/](http://www.conapo.gob.mx/)
- Delgado de la Torre, R. 2004. Iniciación a la probabilidad y la estadística. 1a edición. Universidad Autónoma de Barcelona. Servei de Publicacions. Catalunya, Barcelona. Pp. 311.
- Del Valle-Villorín, F. J. 1985. Efectos de la contaminación orgánica en la concentración de nutrientes en la zona costera de la Bahía de Todos

Santos, Baja California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Pp. 53.

Economopoulos, A. P. 1993. Assessment of sources of air, water and land pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulating environmental control strategies. World Health Organization (WOH) Geneva.

González, J., Sampedro, L., Gordillo, A. Rosas, J. L. 2006. Jerarquización de las fuentes de contaminación ambiental de acuerdo a una evaluación rápida de fuentes generadoras en el municipio de Acapulco, Gro. Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional, Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Gro. México.

Gordillo-Martínez, A. J., Cabrera-Cruz, R. B. E., Hernández-Mariano, M., Galindo, E., Otazo, E., Prieto, F. 2010. Evaluación regional del impacto antropogénico sobre aire, agua y suelo. Caso: Huasteca Hidalguense, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 26 (3), 229-251.

Guerra-Rivas, G., Soria-Mercado, I. E., Ayala, N. 2012. Manual de operaciones del método ERFCA. Cuerpo Académico de Biotecnología Integral. Universidad Autónoma de Baja California.

Glynn, H. J., Gary, H. W. y Heinke, G. W. 1999. Ingeniería Ambiental. Prentice Hall. México. Pp. 800.

INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.  
<http://www.inegi.org.mx/>

Martínez-García, G. M. 1989. Aspectos hidrológicos para el diseño de un emisor submarino en la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Pp. 105.

Martínez-Guerrero, S. A. 2006. Identificación de áreas viables para usuarios del mar en función de la calidad de agua costera adyacente en el corredor Tijuana-Ensenada. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Pp. 108.

Nishikawa-Kinomura, K. A., Gutiérrez-Galindo, E. A., Sañudo-Wilhelmy, S. A., Flores-Muñoz, G., Martín, M. and Stepheson, M.D. 1988. Marine pollution in the central Southern California bight adjacent to the American-Mexican border zone. *Revue Internationale de Oceanographie Medicale* LXXXI-LXXXII, 125-150.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 23 de Abril de 2003.

Norma Oficial Mexicana NOM-AA-005-SCFI-2000. Análisis de agua- Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (Cancela a la NMX-AA-005-1980). Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 18 de Diciembre de 2000.

Sánchez-Torres, R. C., Silva-Gómez, S. E., Toxtle-Tlamani, J. S., Perez-Aviléz, R. y Hernández-Zepeda, J. S. 2011. Dispersión en el suelo de cinco

contaminantes en dos complejos industriales en Puebla, México, utilizando el modelo de dispersión de Gauss. *BIOCYT*, FES Iztacala, UNAM. 4(15):247-264.

Sañudo-Wilhelmy, S. A. y Suárez-Vidal, C. E. 1982. Carga orgánica de las aguas negras municipales de la ciudad de Tijuana, Baja California. *Ciencias Marinas*. 8 (2): 155-166.

Sañudo-Wilhelmy, S. A. 1983. Estimación de la carga orgánica de la ciudad de Tijuana, B. C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Pp. 81.

Sañudo-Wilhelmy, S. A. y Suárez-Vidal, C. E. 1984. Variación temporal de la carga orgánica en las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, Baja California, México. *Ciencias Marinas*. 10 (2): 107-118.

Scheren, P. A. G. M., Zanting, H. A., Lemmens, A. M. C. 2000. Estimation of water pollution sources in Lake Victoria, East Africa: Application and elaboration of the rapid assessment methodology. *Journal of Environmental Management*. 58, 235-248.

Segovia-Zavala, J. A. 1982. Estudio de contaminación por materia orgánica en la zona industrial de El Sauzal, Baja California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Pp. 96.

Segovia-Zavala, J. A. y Galindo-Bect, M. S. 1984. Fuentes de contaminación por materia orgánica en la Bahía de Todos Santos, Baja California. I. Caracterización y eficiencia de la planta de tratamiento de aguas negras

de la ciudad de Ensenada, Baja California. *Ciencias Marinas*. 10 (1): 19-32.

Tanahara-Romero, Y. A. 1996. Variabilidad espacio temporal de bacterias coliformes en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Pp. 71.

Weitzenfeld H. Ed. 1989. Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental (Aire, Agua y Suelo). ECO-SEDUE. Traducción de WHO Offset Publication No. 62/1982.

WHO (World Health Organization). Rapid assessment of sources of air, water and land pollution. Genova. WHO Offset Publication No. 62/1982. England.

Wheeler, K. G., Strzepek, K. M. 2000. A method for rapid water quality assessment in developing countries: a case study of China's Yellow River. *4<sup>th</sup> International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4 No. 89)*. Canadá.

## **11. ANEXO I**

### **Información de los efluentes para las diferentes Plantas de Tratamiento**

Tabla I. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento Punta Bandera para el año 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

| UNIDAD     | PARAMETRO                   | ENERO    | FEBRERO  | MARZO    | ABRIL    | MAYO     | JUNIO    | JULIO    | AGOSTO   | SEPTIEMBRE | OCTUBRE  | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PROMEDIO |
|------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|-----------|-----------|----------|
| mg/l       | GRASAS Y ACEITES            |          | 15.21    | 21.33    | 15.56    | 56.99    | 32.12    | 31.82    | 14.37    | 9.8        | 5.015    | 9.33      | 10.78     | 20.21    |
| NMP/100 ml | COLIFORMES FECALES          |          | 1 100    | <3       | <3       | 460.00   | 9.66     | 2568.7   | 3.16     | <3         | 4.33     | <3        | <3        | 276.89   |
| ml/l       | SOLIDOS SEDIMENTABLES       |          | 0.10     | <0.10    | 0.20     | <0.10    | <0.10    | 0.2      | <0.1     | <0.10      | <0.10    | <0.10     | <0.10     | 0.05     |
| mg/l       | SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES |          | 115.00   | 125.00   | 75.00    | 139.86   | 135.00   | 232.0    | 96.00    | 120.00     | 110.00   | 113.00    | 107.00    | 124.35   |
| mg/l       | DBO5                        |          | 153.00   | 153.54   | 59.44    | 33.36    | 6.98     | 106.9    | 36.00    | 206.04     | 57.66    | 69.66     | 49.50     | 84.73    |
| mg/l       | DQO                         |          | 293.58   | 460.00   | 405.00   | 426.56   | 436.48   | 519.2    | 363.20   | 348.5      | 386.40   | 330.72    | 308.76    | 388.94   |
| mg/l       | CIANURO TOTAL               |          | <0.022   | <0.022   | <0.022   | <0.020   | <0.020   | <0.020   | <0.020   | <0.020     | <0.020   | <0.020    | 0.0       | 0.00     |
| mg/l       | FOSFORO TOTAL               |          | 9.046    | 10.780   | 10.350   | 10.450   | 11.082   | 10.66    | 10.335   | 11.8       | 10.420   | 10.650    | 8.1       | 10.33    |
| mg/l       | NITROGENO TOTAL             |          | 56.395   | 11.522   | 54.533   | 54.326   | 46.95    | 72.712   | 50.659   | 38.4       | 55.442   | 56.803    | 52.0      | 49.97    |
| mg/l       | ARSENICO TOTAL              |          | <0.081   | <0.081   | <0.016   | <0.016   | <0.016   | <0.016   | <0.016   | <0.016     | <0.016   | <0.016    | <0.016    | 0.00     |
| mg/l       | CADMIO TOTAL                |          | >0.0137  | <0.0137  | <0.008   | <0.008   | <0.008   | <0.008   | <0.008   | <0.008     | <0.008   | <0.008    | <0.008    | 0.00     |
| mg/l       | COBRE TOTAL                 |          | <0.121   | <0.121   | <0.096   | <0.096   | <0.096   | 0.1      | <0.096   | <0.096     | <0.096   | <0.096    | <0.096    | 0.01     |
| mg/l       | CROMO TOTAL                 |          | <0.086   | <0.086   | <0.064   | <0.064   | <0.064   | <0.064   | <0.064   | <0.064     | <0.064   | <0.064    | <0.064    | 0.00     |
| mg/l       | MERCURIO TOTAL              |          | <0.0014  | <0.0014  | <0.0008  | <0.0008  | <0.0008  | <0.0008  | <0.0008  | <0.0008    | <0.0008  | <0.0008   | <0.0008   | 0.00     |
| mg/l       | NIQUEL TOTAL                |          | <0.643   | <0.643   | <0.400   | <0.400   | <0.400   | <0.400   | <0.400   | <0.400     | <0.400   | <0.400    | <0.400    | 0.00     |
| mg/l       | PLOMO TOTAL                 |          | <0.0525  | <0.0525  | <0.040   | 0.0480   | <0.040   | <0.040   | <0.040   | <0.040     | <0.040   | <0.040    | <0.040    | 0.00     |
| mg/l       | ZINC TOTAL                  |          | <0.505   | <0.505   | <0.400   | <0.400   | <0.400   | <0.400   | <0.400   | <0.400     | <0.400   | <0.400    | <0.400    | 0.00     |
|            |                             |          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |           |           |          |
| Lts/Seg.   | PUNTA BANDERA               | 1,000.00 | 1,028.00 | 1,030.55 | 1,047.72 | 1,038.59 | 1,048.14 | 1,035.84 | 1,044.23 | 1,046.61   | 1,057.40 | 1,032.23  | 1,089.53  | 1,041.57 |

Tabla II. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento San Antonio del Mar para el año 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

| UNIDAD     | PARAMETRO                   | ENERO | FEBRERO | MARZO   | ABRIL   | MAYO    | JUNIO   | JULIO   | AGOSTO  | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PROMEDIO |
|------------|-----------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
| mg/l       | GRASAS Y ACEITES            |       | 2.87    | 2.74    | 4.99    | 3.32    | 3.17    | <2.72   | 3.13    | 4.1        |         | 9.46      | 4.22      | 3.80     |
| NMP/100 ml | COLIFORMES FECALES          |       | <3      | <3      | <3      | 860.00  | 31.16   | <3      | 1267.66 | 7.5        |         | 7.83      | <3        | 217.42   |
| ml/l       | SOLIDOS SEDIMENTABLES       |       | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.01   | <0.1    | <0.10      |         | <0.10     | <0.10     | 0.00     |
| mg/l       | SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES |       | 81.67   | 28.00   | 10.00   | 3.00    | 31.00   | 10.00   | 11.00   | 16.00      |         | 8.00      | 17.00     | 21.57    |
| mg/l       | DBO5                        |       | 38.64   | 8.98    | 7.46    | 28.39   | 10.69   | 23.45   | 33.89   | 33.00      |         | 9.38      | 14.40     | 20.83    |
| mg/l       | DQO                         |       | 31.68   | 21.16   | 54.00   | 59.52   | 36.48   | 30.4    | 54.48   | 87.1       |         | 25.76     | 89.64     | 49.02    |
| mg/l       | CIANURO TOTAL               |       | <0.022  | <0.022  | <0.022  | <0.020  | <0.020  | <0.020  | <0.020  | <0.020     |         | <0.020    | <0.020    | 0.00     |
| mg/l       | FOSFORO TOTAL               |       | 2.310   | 4.135   | 3.544   | 2.510   | 2.704   | 3.8     | 1.948   | 4.6        |         | 3.678     | 3.142     | 3.24     |
| mg/l       | NITROGENO TOTAL             |       | 0.98    | 1.947   | 1.888   | 6.760   | 2.78    | 4.8     | 15.697  | 43.8       |         | 20.640    | 13.763    | 11.30    |
| mg/l       | ARSENICO TOTAL              |       | <0.081  | <0.081  | <0.016  | <0.016  | <0.016  | <0.016  | <0.016  | <0.016     |         | <0.016    | <0.016    | 0.00     |
| mg/l       | CADMIO TOTAL                |       | <0.0137 | <0.0137 | <0.008  | <0.008  | <0.008  | <0.008  | <0.008  | <0.008     |         | <0.008    | <0.008    | 0.00     |
| mg/l       | COBRE TOTAL                 |       | <0.121  | <0.121  | <0.096  | <0.096  | <0.096  | <0.096  | <0.096  | <0.096     |         | <0.096    | <0.096    | 0.00     |
| mg/l       | CROMO TOTAL                 |       | <0.086  | <0.086  | <0.064  | <0.064  | <0.064  | <0.064  | <0.064  | <0.064     |         | <0.064    | <0.064    | 0.00     |
| mg/l       | MERCURIO TOTAL              |       | <0.0014 | <0.0014 | <0.0008 | <0.0008 | <0.0008 | <0.0008 | <0.0008 | <0.0008    |         | <0.0008   | <0.0008   | 0.00     |
| mg/l       | NIQUEL TOTAL                |       | <0.643  | <0.643  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400     |         | <0.400    | <0.400    | 0.00     |
| mg/l       | PLOMO TOTAL                 |       | <0.0525 | <0.0525 | <0.040  | <0.040  | <0.040  | <0.040  | <0.040  | <0.040     |         | <0.040    | <0.040    | 0.00     |
| mg/l       | ZINC TOTAL                  |       | <0.505  | <0.505  | <0.400  | 1.8221  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400     |         | <0.400    | <0.400    | 0.18     |
| Lts/Seg.   | SAN ANTONIO DEL MAR         | 3.50  | 3.50    | 3.50    | 3.50    | 3.50    | 3.50    | 3.50    | 3.50    | 3.50       |         | 3.50      | 3.50      | 3.21     |

Tabla III. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento Rosarito Norte para el año 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

| UNIDAD     | PARAMETRO                   | ENERO  | FEBRERO | MARZO   | ABRIL   | MAYO    | JUNIO   | JULIO   | AGOSTO  | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PROMEDIO |
|------------|-----------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
| mg/l       | GRASAS Y ACEITES            |        | 7.01    | <2.72   | <2.72   | 2.79    | 4.03    | 3.2     | 3.06    | 4.0        | <2.72   | 3.53      | 3.02      | 2.79     |
| NMP/100 ml | COLIFORMES FECALES          |        | <3      | 240.00  | 240.00  | <3      | 370.66  | 1360.8  | 3073.33 | 7505.0     | 1016.66 | <3        | <3        | 1,255.13 |
| ml/l       | SOLIDOS SEDIMENTABLES       |        | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10      | <0.10   | <0.10     | <0.10     | 0.00     |
| mg/l       | SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES |        | 18.00   | 5.00    | 5.00    | 2.00    | 8.00    | 11.00   | 3.00    | 8.00       | 5.00    | 6.00      | 5.00      | 6.91     |
| mg/l       | DBO5                        |        | 35.90   | 5.28    | 13.08   | 16.97   | 15.00   | 8.90    | 28.68   | 6.48       | 6.48    | 10.46     | 5.64      | 13.90    |
| mg/l       | DQO                         |        | 18.24   | 25.76   | 54.96   | 29.04   | 36.48   | 27.6    | 65.80   | 125.8      | 73.28   | 22.52     | 66.64     | 49.65    |
| mg/l       | CIANURO TOTAL               |        | 0.022   | <0.022  | <0.022  | <0.020  | <0.020  | <0.020  | <0.020  | <0.020     | <0.020  | <0.020    | <0.020    | 0.00     |
| mg/l       | FOSFORO TOTAL               |        | 5.716   | 4.880   | 9.571   | 9.460   | 9.632   | 10.6    | 9.218   | 6.330      | 8.520   | 6.183     | 5.816     | 7.81     |
| mg/l       | NITROGENO TOTAL             |        | 0.943   | 2.568   | 3.795   | 8.5312  | 13.92   | 4.1     | 4.103   | 27.200     | 23.687  | 10.260    | 14.107    | 10.29    |
| mg/l       | ARSENICO TOTAL              |        | <0.081  | <0.081  | <0.0282 | <0.016  | <0.016  | <0.016  | <0.016  | <0.016     | <0.016  | <0.016    | <0.016    | 0.00     |
| mg/l       | CADMIO TOTAL                |        | <0.0137 | <0.0137 | <0.0137 | <0.008  | <0.008  | <0.008  | <0.008  | <0.008     | <0.008  | <0.008    | <0.008    | 0.00     |
| mg/l       | COBRE TOTAL                 |        | <0.121  | <0.121  | <0.121  | <0.096  | <0.096  | <0.096  | <0.096  | <0.096     | <0.096  | <0.096    | <0.096    | 0.00     |
| mg/l       | CROMO TOTAL                 |        | <0.086  | <0.086  | <0.086  | <0.064  | <0.064  | <0.064  | <0.064  | <0.064     | <0.064  | <0.064    | <0.064    | 0.00     |
| mg/l       | MERCURIO TOTAL              |        | <0.0014 | <0.0014 | <0.0014 | <0.0008 | <0.0008 | <0.0008 | <0.0008 | <0.0008    | <0.0008 | <0.0008   | <0.0008   | 0.00     |
| mg/l       | NIQUEL TOTAL                |        | <0.643  | <0.643  | <0.643  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400     | <0.400  | <0.400    | <0.400    | 0.00     |
| mg/l       | PLOMO TOTAL                 |        | <0.0525 | <0.0525 | <0.0525 | <0.040  | <0.040  | <0.040  | <0.040  | <0.040     | <0.040  | <0.040    | <0.040    | 0.00     |
| mg/l       | ZINC TOTAL                  |        | <.505   | <0.505  | <0.505  | 3.23    | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400     | <0.400  | <0.400    | <0.400    | 0.29     |
| Lts/Seg.   | ROSARITO NORTE              | 426.56 | 42.00   | 42.00   | 48.00   | 47.00   | 45.00   | 44.90   | 48.00   | 46.00      | 46.00   | 48.00     | 40.40     | 76.99    |

Tabla IV. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento Rosarito I para el año 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

| UNIDAD     | PARAMETRO                   | ENERO | FEBRERO | MARZO   | ABRIL   | MAYO    | JUNIO   | JULIO   | AGOSTO  | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PROMEDIO |
|------------|-----------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
| mg/l       | GRASAS Y ACEITES            |       | 3.64    | <2.72   | 2.79    | 3.24    | 4.12    | 3.0     | 4.33    | 5.7        | 2.79    | 2.93      | 3.09      | 3.24     |
| NMP/100 ml | COLIFORMES FECALES          |       | 23.00   | <3      | 43.00   | 20.00   | 24.16   | 36.3    | 1666.66 | 651.7      | 130.66  | <3        | 9.66      | 236.83   |
| ml/l       | SOLIDOS SEDIMENTABLES       |       | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.1    | <0.1    | <0.10      | <0.10   | <0.10     | <0.10     | 0.00     |
| mg/l       | SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES |       | 17.00   | 10.00   | 4.00    | 15.00   | 14.00   | 30.00   | 11.00   | 30.00      | 15.00   | 9.00      | 6.00      | 14.64    |
| mg/l       | DBO5                        |       | 36.74   | 12.00   | 13.73   | 25.49   | 33.60   | 11.76   | 27.14   | 38.52      | 133.26  | 15.50     | 10.32     | 32.55    |
| mg/l       | DQO                         |       | 102.52  | 114.92  | 137.40  | 59.76   | 124.00  | 75.5    | 163.44  | 193.6      | 211.60  | 106.00    | 104.72    | 126.68   |
| mg/l       | CIANURO TOTAL               |       | 0.030   | 0.055   | 0.047   | <0.020  | <0.020  | <0.020  | <0.020  | <0.020     | 0.11    | 0.046     | 0.077     | 0.03     |
| mg/l       | FOSFORO TOTAL               |       | 3.595   | 8.460   | 6.540   | 4.250   | 5.388   | 3.7     | 1300    | 6.5        | 1.47    | 6.290     | 4.950     | 122.83   |
| mg/l       | NITROGENO TOTAL             |       | 37.156  | 30.141  | 74.340  | 29.316  | 44.122  | 53.9    | 5.508   | 11.44      | 77.00   | 33.200    | 38.910    | 39.54    |
| mg/l       | ARSENICO TOTAL              |       | <0.081  | <0.081  | <0.0282 | <0.016  | <0.016  | <0.016  | <0.016  | <0.016     | <0.016  | <0.016    | <0.016    | 0.00     |
| mg/l       | CADMIO TOTAL                |       | <0.0137 | <0.0137 | <0.0137 | <0.008  | <0.008  | <0.008  | <0.008  | <0.008     | <0.008  | <0.008    | <0.008    | 0.00     |
| mg/l       | COBRE TOTAL                 |       | <0.121  | <0.121  | <0.121  | <0.096  | <0.096  | <0.096  | <0.096  | <0.096     | <0.096  | <0.096    | <0.096    | 0.00     |
| mg/l       | CROMO TOTAL                 |       | <0.086  | <0.086  | <0.086  | <0.064  | <0.064  | <0.064  | <0.064  | <0.064     | <0.064  | <0.064    | <0.064    | 0.00     |
| mg/l       | MERCURIO TOTAL              |       | <0.0014 | <0.0014 | <0.0014 | <0.0008 | <0.0013 | <0.0008 | <0.0008 | <0.0008    | <0.0008 | <0.0008   | <0.0008   | 0.00     |
| mg/l       | NIQUEL TOTAL                |       | <0.643  | <0.643  | <0.643  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400     | <0.400  | <0.400    | <0.400    | 0.00     |
| mg/l       | PLOMO TOTAL                 |       | <0.0525 | <0.0525 | <0.0525 | <0.040  | <0.040  | <0.040  | <0.040  | <0.040     | <0.040  | <0.040    | <0.040    | 0.00     |
| mg/l       | ZINC TOTAL                  |       | <0.505  | <0.505  | <0.505  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400  | <0.400     | <0.400  | <0.400    | <0.400    | 0.00     |
|            |                             |       |         |         |         |         |         |         |         |            |         |           |           |          |
| Lts/Seg.   | ROSARITO I                  | 59.93 | 63.41   | 63.16   | 64.99   | 65.26   | 64.79   | 62.35   | 65.17   | 62.52      | 64.33   | 63.00     | 70.63     | 64.13    |

Tabla V. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento Vista Marina para el año 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

| UNIDAD     | PARAMETRO                   | ENERO | FEBRERO | MARZO   | ABRIL   | MAYO    | JUNIO   | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PROMEDIO |
|------------|-----------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
| mg/l       | GRASAS Y ACEITES            |       |         | 2.79    | 3.36    | 3.08    | 3.05    |       | 3.98   |            | 2.82    | 3.22      | 3.08      | 3.17     |
| NMP/100 ml | COLIFORMES FECALES          |       |         | <3      | 240.00  | <3      | <3      |       | <3     |            | 3.16    | <3        | <3        | 30.40    |
| mg/l       | SOLIDOS SEDIMENTABLES       |       |         | <0.10   | <0.10   | <0.10   | <0.10   |       | <0.10  |            | <0.10   | <0.10     | <0.10     | 0.00     |
| mg/l       | SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES |       |         | 8.57    | 5.00    | 10.00   | 10.00   |       | 41.67  |            | 20.00   | 12.00     | 21.00     | 16.03    |
| mg/l       | DBO5                        |       |         | 13.08   | 4.01    | 18.53   | 40.08   |       | 28.70  |            | 130.32  | 29.64     | 22.05     | 35.80    |
| mg/l       | DQO                         |       |         | 114.92  | 105.37  | 69.72   | 199.08  |       | 169.20 |            | 193.20  | 118.72    | 69.44     | 129.96   |
| mg/l       | CIANURO TOTAL               |       |         | <0.022  | <0.022  | <0.020  | <0.020  |       | <0.020 |            | <0.020  | <0.020    | <0.020    | 0.00     |
| mg/l       | FOSFORO TOTAL               |       |         | 11.713  | 17.380  | 15.140  | 15.267  |       | 11.530 |            | 20.813  | <0.313    | 14.937    | 13.35    |
| mg/l       | NITROGENO TOTAL             |       |         | 37.030  | 2.078   | 5.566   | 53.007  |       | 57.411 |            | 67.983  | 6.488     | 32.130    | 32.71    |
| mg/l       | ARSENICO TOTAL              |       |         | <0.081  | <0.0282 | <0.016  | <0.016  |       | <0.016 |            | <0.016  | <0.016    | <0.016    | 0.00     |
| mg/l       | CADMIO TOTAL                |       |         | <0.0137 | <0.0137 | <0.008  | <0.008  |       | <0.008 |            | <0.008  | <0.008    | <0.008    | 0.00     |
| mg/l       | COBRE TOTAL                 |       |         | <0.121  | <0.121  | <0.096  | <0.096  |       | <0.096 |            | <0.096  | <0.096    | <0.096    | 0.00     |
| mg/l       | CROMO TOTAL                 |       |         | <0.086  | <0.086  | <0.064  | <0.064  |       | <0.064 |            | <0.064  | <0.064    | <0.064    | 0.00     |
| mg/l       | MERCURIO TOTAL              |       |         | <0.0014 | <0.0014 | <0.0008 | <0.0008 |       | 0.0008 |            | 0.0008  | <0.0008   | <0.0008   | 0.00     |
| mg/l       | NIQUEL TOTAL                |       |         | <0.643  | <0.643  | <0.400  | <0.400  |       | <0.400 |            | <0.400  | <0.400    | <0.400    | 0.00     |
| mg/l       | PLOMO TOTAL                 |       |         | <0.0525 | <0.0525 | <0.040  | <0.040  |       | <0.040 |            | <0.040  | <0.040    | <0.040    | 0.00     |
| mg/l       | ZINC TOTAL                  |       |         | <0.505  | <0.505  | <0.400  | <0.400  |       | <0.400 |            | <0.400  | <0.400    | <0.400    | 0.00     |
| Lts/Seg.   | VISTA MARINA                | 0.00  | 0.00    | 0.50    | 1.00    | 1.00    | 1.00    | 1.00  | 1.00   | 1.00       | 1.50    | 2.00      | 1.50      | 1.15     |

Tabla VI. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento Puerto Nuevo para el año 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

| UNIDAD     | PARAMETRO                   | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL   | MAYO | JUNIO   | JULIO   | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PROMEDIO |
|------------|-----------------------------|-------|---------|-------|---------|------|---------|---------|--------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
| mg/l       | GRASAS Y ACEITES            |       | 2.90    |       | 2.97    |      | 3.30    | 2.7     |        |            | 2.745   | <2.72     | 3.51      | 3        |
| NMP/100 ml | COLIFORMES FECALES          |       | <3      |       | <3      |      | <3      | 5.4     |        |            | 23.0    | 4.00      | 3.66      | 5        |
| ml/l       | SOLIDOS SEDIMENTABLES       |       | <0.10   |       | <0.10   |      | <0.10   | <0.10   |        |            | <0.10   | <0.10     | <0.10     | 0        |
| mg/l       | SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES |       | 50.00   |       | 3.00    |      | 5.00    | 17.00   |        |            | 16.00   | 2.00      | 19.00     | 16       |
| mg/l       | DBO5                        |       | 24.01   |       | 15.26   |      | 19.56   | 8.32    |        |            | 84.52   | 44.47     | 39.15     | 34       |
| mg/l       | DQO                         |       | 29.76   |       | 9.20    |      | 132.72  | 85.0    |        |            | 109.92  | 67.84     | 79.36     | 73       |
| mg/l       | CIANURO TOTAL               |       | <0.022  |       | <0.022  |      | <0.020  | <0.020  |        |            | <0.020  | <0.020    | <0.020    | 0        |
| mg/l       | FOSFORO TOTAL               |       | 8.980   |       | 8.800   |      | 15.291  | 9.4     |        |            | 14.580  | 3.948     | 12.500    | 10       |
| mg/l       | NITROGENO TOTAL             |       | 1.012   |       | 1.647   |      | 44.7    | 12.6    |        |            | 63.156  | 6.504     | 47.340    | 25       |
| mg/l       | ARSENICO TOTAL              |       | <0.081  |       | <0.0282 |      | <0.016  | <0.016  |        |            | <0.016  | <0.016    | <0.016    | 0        |
| mg/l       | CADMIO TOTAL                |       | <0.0137 |       | <0.0137 |      | <0.008  | <0.008  |        |            | <0.008  | <0.0008   | <0.008    | 0        |
| mg/l       | COBRE TOTAL                 |       | <0.121  |       | <0.121  |      | <0.096  | <0.096  |        |            | <0.096  | <0.096    | <0.096    | 0        |
| mg/l       | CROMO TOTAL                 |       | <0.086  |       | <0.086  |      | <0.064  | <0.064  |        |            | <0.064  | <0.064    | <0.064    | 0        |
| mg/l       | MERCURIO TOTAL              |       | <0.0014 |       | <0.0014 |      | <0.0008 | <0.0008 |        |            | <0.0008 | <0.0008   | <0.0008   | 0        |
| mg/l       | NIQUEL TOTAL                |       | <0.643  |       | <0.643  |      | <0.400  | <0.400  |        |            | <0.400  | <0.400    | <0.400    | 0        |
| mg/l       | PLOMO TOTAL                 |       | <0.0525 |       | <0.0525 |      | <0.040  | <0.040  |        |            | <0.040  | <0.040    | <0.040    | 0        |
| mg/l       | ZINC TOTAL                  |       | <0.505  |       | <0.505  |      | 2.8014  | <0.400  |        |            | <0.400  | <0.400    | <0.400    | 0        |
|            |                             |       |         |       |         |      |         |         |        |            |         |           |           |          |
| Lts/Seg.   | PUERTO NUEVO                | 2.00  | 2.00    | 1.00  | 2.00    | 2.00 | 2.00    | 2.00    | 1.60   | 2.00       | 2.00    | 1.50      | 2.00      | 1.84     |

Tabla VII. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento Vista El Naranjo para el año 2008. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

| Indicadores                        | 23-Ene-08 | 26-Feb-08 | 12-Mar-08 | 29-Abr-08 | 29-May-08 | 25-Jun-08 | 24-Jul-08 | 27-Ago-08 | 26-Sep-08 | 29-Oct-08 | 28-Nov-08 | 11-Dic-08 |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Vol. Tratado m <sup>3</sup>        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Cond. Elect. uS/cm                 | 3490      | 3606      | 3910      | 3160      | 3426      | 3650      | 3876      | 3510      | 3760      | 3720      | 2720      | 3460      |
| Mat. Flotante                      | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   |
| Temperatura °C                     | 19        | 20        | 19        | 24        | 24        | 27        | 27        | 27        | 27        | 26        | 22        | 20        |
| pH (U pH)                          | 7.5       | 7.3       | 7         | 7.19      | 7.01      | 7.06      | 7.23      | 7.06      | 7.19      | 6.91      | 7.11      | 7.27      |
| Coliformes NPM/100 mL              | ND        | ND        | ND        | ND        | ND        | ND        | ND        | >24000    | ND        | ND        | ND        | ND        |
| DBO Total mg/L                     | ND        | ND        | ND        | 13.8      | ND        | ND        | ND        | 19.2      | ND        | 12.4      | 12.8      | ND        |
| Grasas y Aceites mg/L              | 6.9       | ND        | 22.3      | ND        | 3.9       | ND        | ND        | 4.1       | ND        | 3.5       | ND        | ND        |
| Huevos de Helmintos                | 0.6       | 0         |           |           | 0         | 0         |           |           |           | 0.2       |           |           |
| Sólidos Susp. Totales mg/L         | 6         | 10        | ND        | ND        | 8         | 17        | 9         | 6         | ND        | ND        | ND        | 6.9       |
| Nitrógeno Total mg/L               |           |           |           |           |           |           | 10.79     |           |           |           |           |           |
| Nitritos mg/L                      |           |           |           |           |           |           | 0.7443    |           |           |           |           |           |
| Nitratos mg/L                      |           |           |           |           |           |           | 1.2681    |           |           |           |           |           |
| N. Total Kjeldhal (NTK) mg/L       |           |           |           |           |           |           | 8.78      |           |           |           |           |           |
| Digestión de NTK                   |           |           |           |           |           |           | Realizada |           |           |           |           |           |
| Fosforo Total mg/L                 |           |           |           |           |           |           | 9.591     |           |           |           |           |           |
| Digestión Fosforo/Fosfatos Totales |           |           |           |           |           |           | Realizada |           |           |           |           |           |

Tabla VIII. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento Vista El Naranjo para el año 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

| Indicadores                        | 26-Ene-09 | 25-Feb-09 | 26-Mar-09 | 25-Abr-09 | 21-May-09 | 30-Jun-09 | 29-Jul-09 | 28-Ago-09 | 22-Sep-09 | 19-Oct-09 | 02-Nov-09 | 11-Dic-09 |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Vol. Tratado m <sup>3</sup>        | 905299    | 866074    | 883882    | 917568    | 873159    | 868320    | 956189    | 934762    | 896832    | 881193    | 824256    | 789018    |
| Conductividad Eléctrica uS/cm      | 3150      | 3346      | 3293      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Material Flotante                  | Ausente   | Ausente   | Ausente   | Ausente   |           | Ausente   | Ausente   | Ausente   | NA        | Ausente   | Ausente   | Ausente   |
| Temperatura °C                     | 23        | 21        |           | 24        |           |           |           |           | 26.9      | 27.4      | 26.9      | 18.66     |
| pH (U pH)                          | 7.33      | 7.17      | 7.38      | 6.95      |           |           |           |           | 7.2       | 7.34      | 7.22      | 7.24      |
| Coliformes NPM/100 mL              | ND        | ND        | ND        | ND        | ND        | ND        | ND        | ND        | 4         | 4.30E+01  | 2.30E+01  | ND        |
| DBO Total mg/L                     | ND        | 24.9      | 16.7      | 4.9       | 22.3      | 27.6      | 4.3       | 4.7       | 8.8       | 32.48     | 50.75     | 17        |
| DQO Total mg/L                     |           | 55        |           |           |           |           |           |           | 105       | 260       | 232.18    | 178       |
| Grasas y Aceites mg/L              | ND        | ND        | 3.4       | 6.4       | ND        | 9.2       | 7.8       | ND        | <3.1      | 13.56     | 8.68      | ND        |
| Huevos de Helminthos               | 0         | 0         | 0         |           |           |           |           |           | <1        | NA        | NA        | 0         |
| Sólidos Suspendedos Totales mg/L   | ND        | ND        | 12.3      | 8.3       | ND        | 32.7      | 7.7       | 9.5       | 16        | 165       | 102       | 49        |
| Sólidos Sedimentables ml/L         |           |           |           |           |           |           |           |           | <0.1      | 3         | <0.1      | ND        |
| Nitrógeno Total mg/L               |           |           |           |           |           |           |           |           | 5.98      | 50.8      | 51.8      | 48.37     |
| Nitritos mg/L                      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 0.0466    |
| Nitratos mg/L                      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 0.0511    |
| N. Total Kjeldhal (NTK) mg/L       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 48.2753   |
| Digestión de NTK                   |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | Realizada |
| Fosforo Total mg/L                 |           |           |           |           |           |           |           |           | 4.4       | NA        | NA        | 4.202     |
| Digestión Fosforo/Fosfatos Totales |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | Realizada |
| Cianuros Totales mg/L              |           | 0.0243    |           |           |           |           |           | 0.019     | 0.054     | NA        | 0.022     | 0.0025    |
| Arsénico mg/L                      |           | ND        |           |           |           |           |           | ND        | <0.001    | NA        | <0.001    | ND        |
| Cadmio mg/L                        |           | ND        |           |           |           |           |           | ND        | 0.022     | NA        | <0.02     | ND        |
| Cobre mg/L                         |           | 0.004     |           |           |           |           |           | 0.0062    | 0.108     | NA        | <0.04     | 0.025     |
| Cromo mg/L                         |           | 0.0112    |           |           |           |           |           | ND        | NA        | NA        | <0.11     | 0.0135    |
| Mercurio mg/L                      |           | 0.0011    |           |           |           |           |           | ND        | <0.002    | NA        | <0.002    | 0.0009    |
| Níquel mg/L                        |           | 0.0072    |           |           |           |           |           | ND        | 0.161     | NA        | <0.14     | 0.0132    |
| Plomo mg/L                         |           | ND        |           |           |           |           |           | ND        | <0.080    | NA        | 0.101     | ND        |
| Zinc mg/L                          |           | 0.0378    |           |           |           |           |           | 0.0302    | 0.022     | NA        | 0.071     | 0.056     |
| Digestión Acida Microondas (AG)    |           | Realizada |           |           |           |           |           | Realizada |           |           |           | Realizada |

Tabla IX. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento El Gallo para el año 2008 y 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

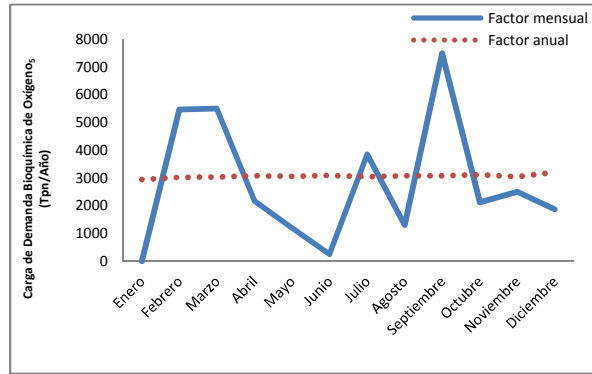
| Indicadores                               | 29-Jul-08 |     |      |    |     |     | 11-Dic-09 |     |        |    |     |     |
|---|-----------|-----|------|----|-----|-----|-----------|-----|--------|----|-----|-----|
|   | 1         | 2   | 3    | 4  | 5   | 6   | 1         | 2   | 3      | 4  | 5   | 6   |
| <b>Vol. Tratado m<sup>3</sup></b>         |           |     |      |    |     |     |           |     | 434678 |    |     |     |
| <b>Numero de Muestras</b>                 | 1         | 2   | 3    | 4  | 5   | 6   | 1         | 2   | 3      | 4  | 5   | 6   |
| <b>Material Flotante</b>                  | Ausente   |     |      |    |     |     | Ausente   |     |        |    |     |     |
| <b>Temperatura °C</b>                     | 28        | 27  | 27   | 26 | 26  | 25  | 18        | 20  | 19     | 17 | 18  | 18  |
| <b>pH (U pH)</b>                          | 7.61      | 7.6 | 7.34 | 7  | 7.2 | 7.5 | 7.16      | 7.2 | 7.28   | 7  | 7.1 | 7.1 |
| <b>Coliformes NPM/100 mL</b>              | ND        | 70  | 90   | ND | 40  | ND  | ND        | ND  | ND     | ND | ND  | ND  |
| <b>DBO Total mg/L</b>                     | ND        |     |      |    |     |     | ND        |     |        |    |     |     |
| <b>DQO Total mg/L</b>                     |           |     |      |    |     |     | 107       |     |        |    |     |     |
| <b>Grasas y Aceites mg/L</b>              | 4.9       | 3   | 5.1  | 5  | ND  | 4.2 | ND        | ND  | ND     | ND | ND  | ND  |
| <b>Huevos de Helmintos</b>                | 0         |     |      |    |     |     | 0         |     |        |    |     |     |
| <b>Sólidos Suspendidos Totales mg/L</b>   | 9         |     |      |    |     |     | 6.9       |     |        |    |     |     |
| <b>Sólidos Sedimentables ml/L</b>         | ND        |     |      |    |     |     | ND        |     |        |    |     |     |
| <b>Nitrógeno Total mg/L</b>               | 61.5      |     |      |    |     |     | 43.74     |     |        |    |     |     |
| <b>Nitritos mg/L</b>                      | 0.4497    |     |      |    |     |     | 0.035     |     |        |    |     |     |
| <b>Nitratos mg/L</b>                      | 0.5407    |     |      |    |     |     | 0.0351    |     |        |    |     |     |
| <b>N. Total Kjeldhal (NTK) mg/L</b>       | 60.51     |     |      |    |     |     | 43.6686   |     |        |    |     |     |
| <b>Digestión de NTK</b>                   | Realizada |     |      |    |     |     | Realizada |     |        |    |     |     |
| <b>Fósforo Total mg/L</b>                 | 0.428     |     |      |    |     |     | 0.147     |     |        |    |     |     |
| <b>Digestión Fosforo/Fosfatos Totales</b> | Realizada |     |      |    |     |     | Realizada |     |        |    |     |     |
| <b>Cianuros Totales mg/L</b>              | 0.0308    |     |      |    |     |     | ND        |     |        |    |     |     |
| <b>Arsénico mg/L</b>                      | ND        |     |      |    |     |     | ND        |     |        |    |     |     |
| <b>Cadmio mg/L</b>                        | 0.0033    |     |      |    |     |     | ND        |     |        |    |     |     |
| <b>Cobre mg/L</b>                         | ND        |     |      |    |     |     | 0.0144    |     |        |    |     |     |
| <b>Cromo mg/L</b>                         | 0.0119    |     |      |    |     |     | 0.0117    |     |        |    |     |     |
| <b>Mercurio mg/L</b>                      | ND        |     |      |    |     |     | ND        |     |        |    |     |     |
| <b>Níquel mg/L</b>                        | ND        |     |      |    |     |     | 0.0081    |     |        |    |     |     |
| <b>Plomo mg/L</b>                         | ND        |     |      |    |     |     | ND        |     |        |    |     |     |
| <b>Zinc mg/L</b>                          | 0.0638    |     |      |    |     |     | 0.0373    |     |        |    |     |     |
| <b>Digestión Ácida Microondas (AG)</b>    | Realizada |     |      |    |     |     | Realizada |     |        |    |     |     |

Tabla X. Mediciones realizadas al efluente de la planta de tratamiento El Sauzal para el año 2008 y 2009. Se presenta las concentraciones (mg/L) y el flujo (L/s) de cada mes, promedios de concentración de cada variable y el promedio del flujo anual. Fuente: CESPT.

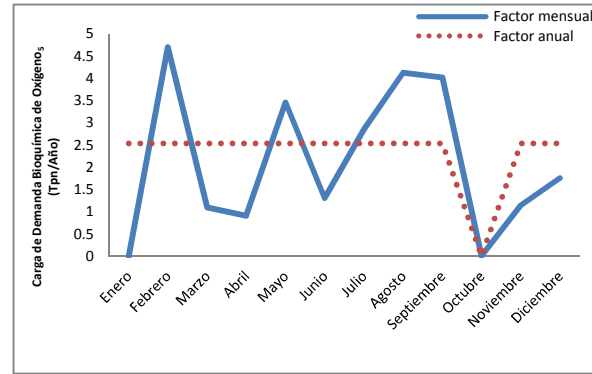
| Indicadores                               | 29-Jul-08 |      |     |      |      |      | 15-Dic-09 |      |      |       |      |     |
|---|-----------|------|-----|------|------|------|-----------|------|------|-------|------|-----|
|   | 1         | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | 1         | 2    | 3    | 4     | 5    | 6   |
| <b>Vol. Tratado m<sup>3</sup></b>         |           |      |     |      |      |      |           |      |      | 84820 |      |     |
| <b>Numero de Muestras</b>                 | 1         | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | 1         | 2    | 3    | 4     | 5    | 6   |
| <b>Mat. Flotante</b>                      | Ausente   |      |     |      |      |      | Ausente   |      |      |       |      |     |
| <b>Temperatura °C</b>                     | 27        | 27   | 27  | 25   | 24   | 24   | 20        | 20   | 19   | 17    | 17   | 16  |
| <b>pH (U pH)</b>                          | 6.85      | 6.81 | 6.6 | 6.98 | 7.32 | 7.21 | 7.01      | 7.12 | 7.08 | 7     | 7.03 | 6.9 |
| <b>Coliformes NPM/100 mL</b>              | >24000    | ND   | ND  | 40   | ND   | ND   | ND        | ND   | ND   | ND    | ND   | ND  |
| <b>DBO Total mg/L</b>                     | ND        |      |     |      |      |      | 4         |      |      |       |      |     |
| <b>DQO Total mg/L</b>                     |           |      |     |      |      |      | 79        |      |      |       |      |     |
| <b>Grasas y Aceites mg/L</b>              | 3.9       | 3.7  | 5.4 | 2.7  | 3.4  | 3.5  | ND        | ND   | ND   | ND    | ND   | ND  |
| <b>Huevos de Helmintos</b>                | 0         |      |     |      |      |      | 0         |      |      |       |      |     |
| <b>Solidos Susp. Totales mg/L</b>         | ND        |      |     |      |      |      | 5         |      |      |       |      |     |
| <b>Solidos Sedimentables ml/L</b>         | ND        |      |     |      |      |      | ND        |      |      |       |      |     |
| <b>Nitrógeno Total mg/L</b>               | 13.74     |      |     |      |      |      | 6.54      |      |      |       |      |     |
| <b>Nitritos mg/L</b>                      | 0.5305    |      |     |      |      |      | 0.0112    |      |      |       |      |     |
| <b>Nitratos mg/L</b>                      | 11.6339   |      |     |      |      |      | 4.9479    |      |      |       |      |     |
| <b>N. Total Kjeldhal (NTK) mg/L</b>       | 1.57      |      |     |      |      |      | 1.5854    |      |      |       |      |     |
| <b>Digestión de NTK</b>                   | Realizada |      |     |      |      |      | Realizada |      |      |       |      |     |
| <b>Fosforo Total mg/L</b>                 | 7.567     |      |     |      |      |      | 5.394     |      |      |       |      |     |
| <b>Digestión Fosforo/Fosfatos Totales</b> | Realizada |      |     |      |      |      | Realizada |      |      |       |      |     |
| <b>Cianuros Totales mg/L</b>              | 0.019     |      |     |      |      |      | 0.0026    |      |      |       |      |     |
| <b>Arsénico mg/L</b>                      | ND        |      |     |      |      |      | ND        |      |      |       |      |     |
| <b>Cadmio mg/L</b>                        | ND        |      |     |      |      |      | ND        |      |      |       |      |     |
| <b>Cobre mg/L</b>                         | ND        |      |     |      |      |      | 0.0066    |      |      |       |      |     |
| <b>Cromo mg/L</b>                         | 0.0118    |      |     |      |      |      | 0.0133    |      |      |       |      |     |
| <b>Mercurio mg/L</b>                      | ND        |      |     |      |      |      | ND        |      |      |       |      |     |
| <b>Niquel mg/L</b>                        | ND        |      |     |      |      |      | 0.0083    |      |      |       |      |     |
| <b>Plomo mg/L</b>                         | ND        |      |     |      |      |      | ND        |      |      |       |      |     |
| <b>Zinc mg/L</b>                          | 0.1232    |      |     |      |      |      | 0.0913    |      |      |       |      |     |
| <b>Digestión Acida Microondas (AG)</b>    | Realizada |      |     |      |      |      | Realizada |      |      |       |      |     |

## 12. ANEXO II

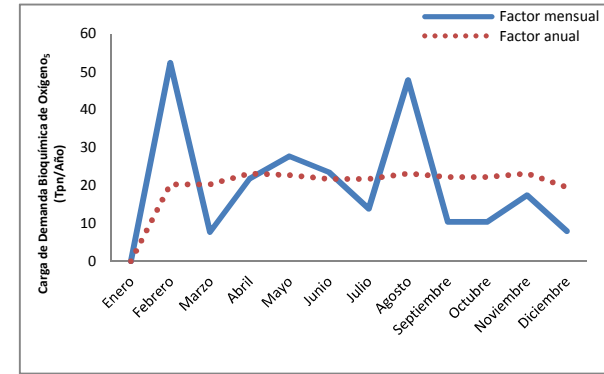
Comparación de  $CC_m$  y  $CC_a$  usando el  $F_{mensual}$  y el  $F_{anual}$  para cada indicador de contaminación



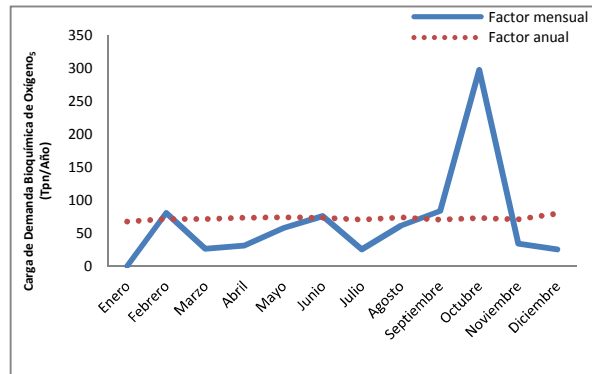
a)



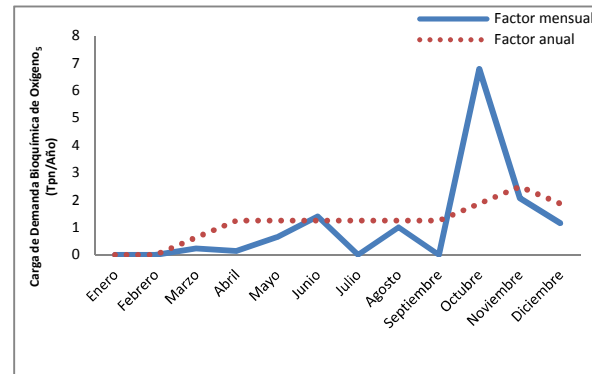
b)



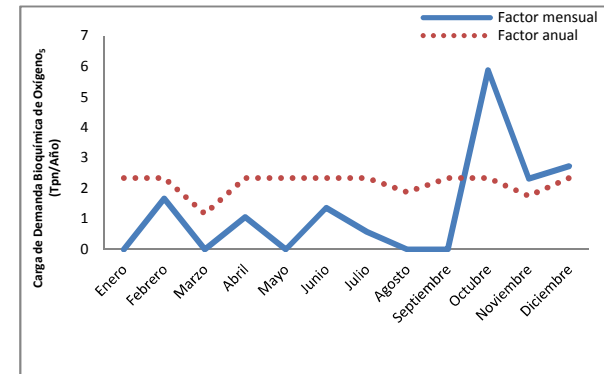
c)



d)

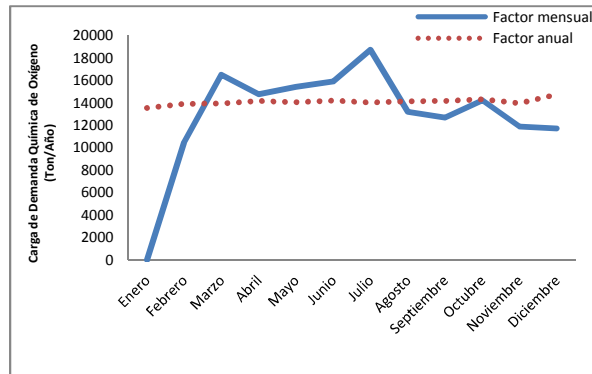


e)

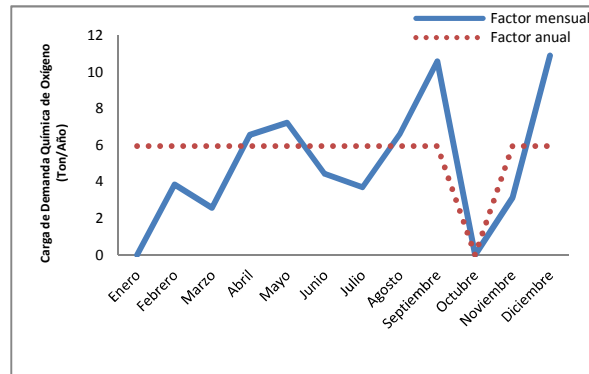


f)

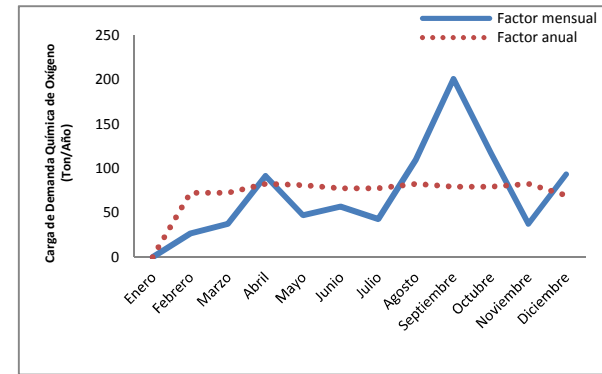
Figura 1. Demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub> (mg/L), se utilizó el  $F_{mensual}$  y el  $F_{anual}$  para obtener las  $CC_m$  y las  $CC_a$  en las plantas de tratamiento; a) Punta Bandera, b) San Antonio del Mar, c) Rosarito Norte, d) Rosarito I, e) Vista Marina y f) Puerto Nuevo.



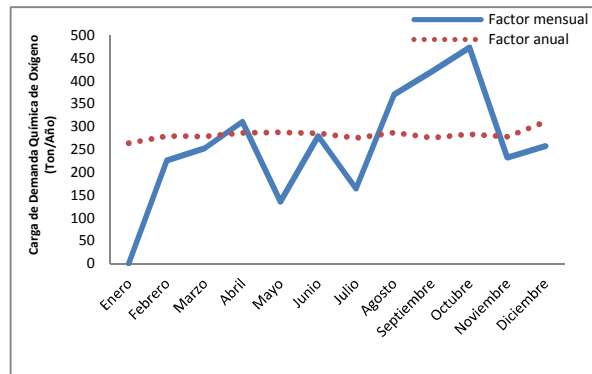
a)



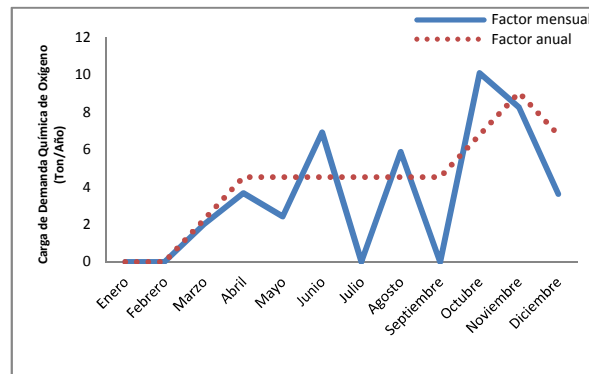
b)



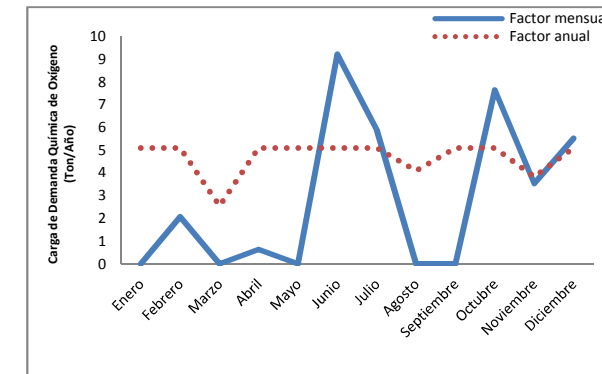
c)



d)

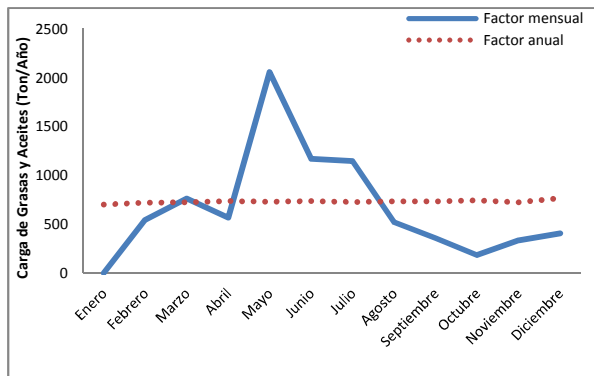


e)

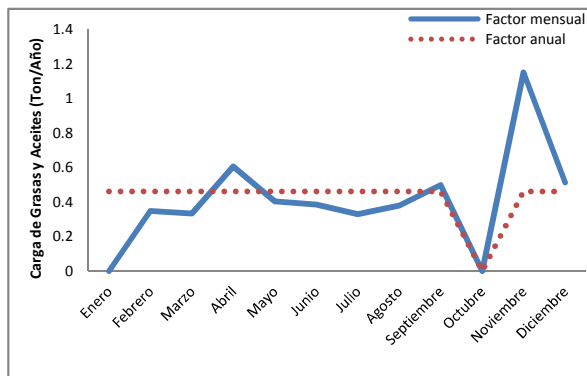


f)

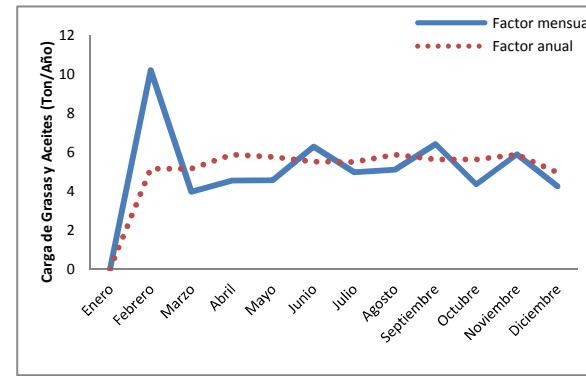
Figura 2. Demanda química de oxígeno (mg/L), se utilizó el  $F_{mensual}$  y el  $F_{anual}$  para obtener las  $CC_m$  y las  $CC_a$  en las plantas de tratamiento; a) Punta Bandera, b) San Antonio del Mar, c) Rosarito Norte, d) Rosarito I, e) Vista Marina y f) Puerto Nuevo.



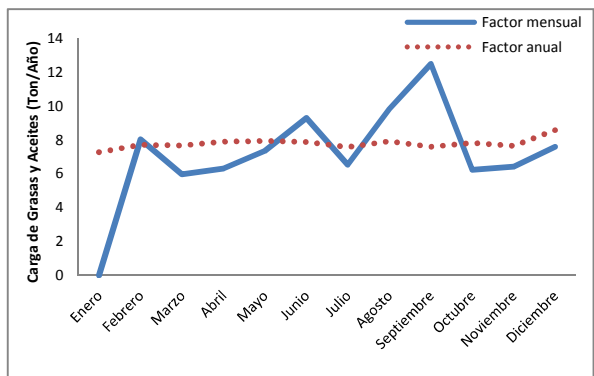
a)



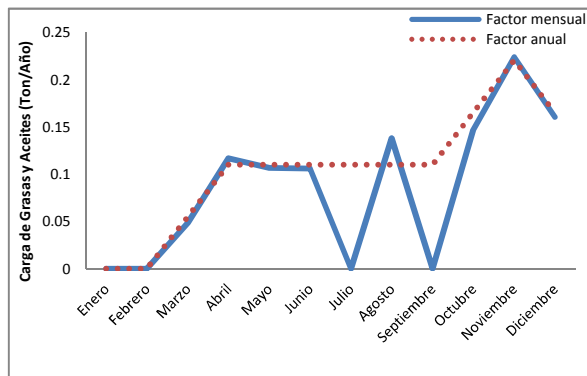
b)



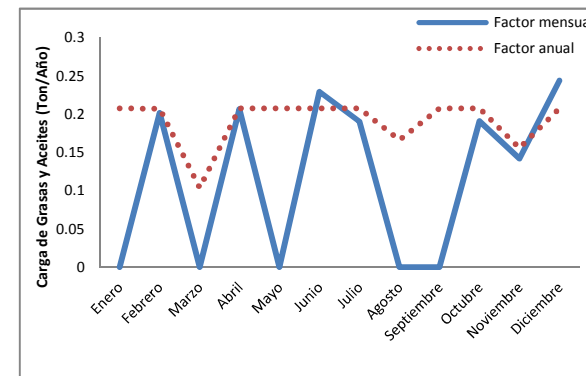
c)



d)

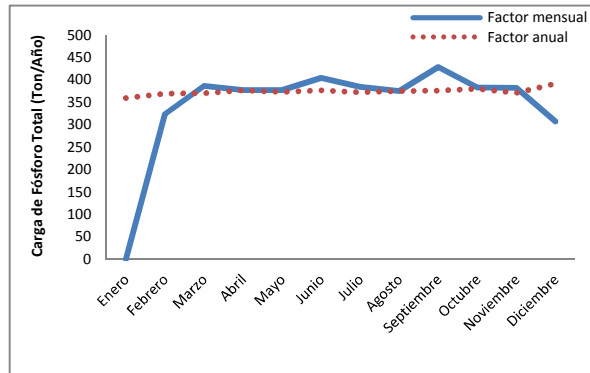


e)

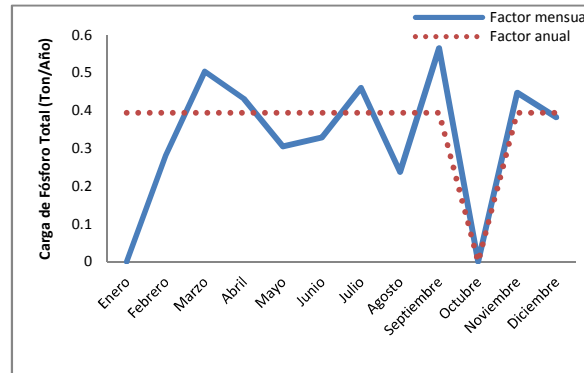


f)

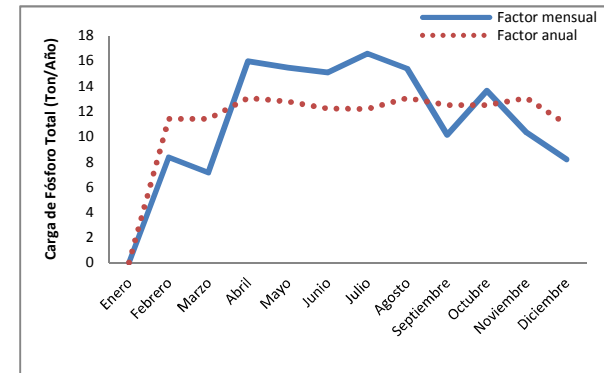
Figura 3. Grasas y aceites (mg/L), se utilizó el  $F_{mensual}$  y el  $F_{anual}$  para obtener las  $CC_m$  y las  $CC_a$  en las plantas de tratamiento; a) Punta Bandera, b) San Antonio del Mar, c) Rosarito Norte, d) Rosarito I, e) Vista Marina y f) Puerto Nuevo.



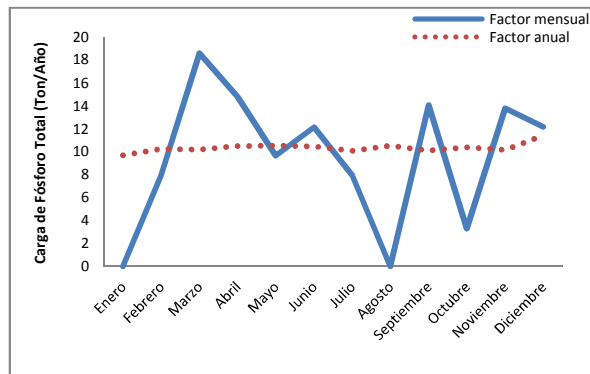
a)



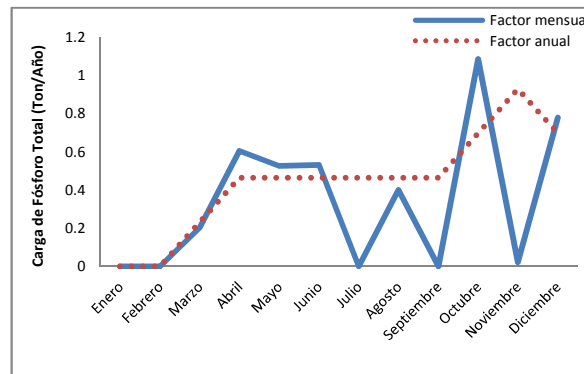
b)



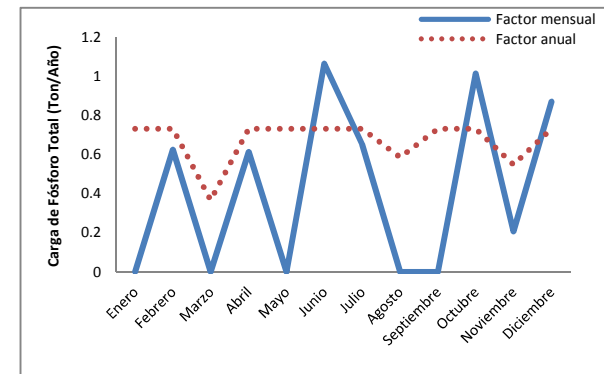
c)



d)

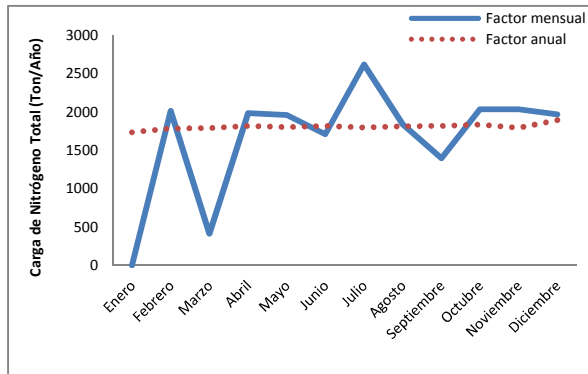


e)

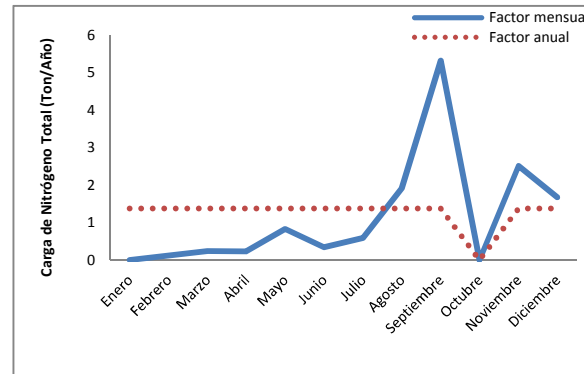


f)

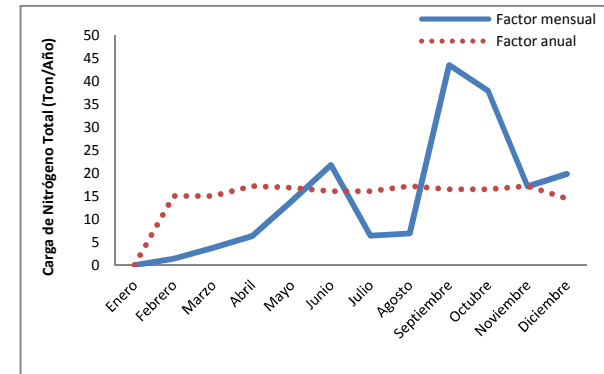
Figura 4. Fósforo total (mg/L), se utilizó el  $F_{mensual}$  y el  $F_{anual}$  para obtener las  $CC_m$  y las  $CC_a$  en las plantas de tratamiento; a) Punta Bandera, b) San Antonio del Mar, c) Rosarito Norte, d) Rosarito I, e) Vista Marina y f) Puerto Nuevo.



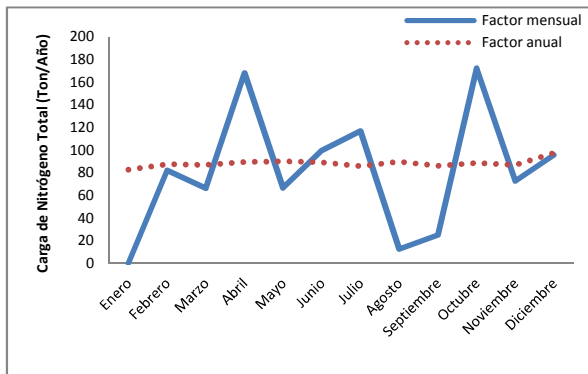
a)



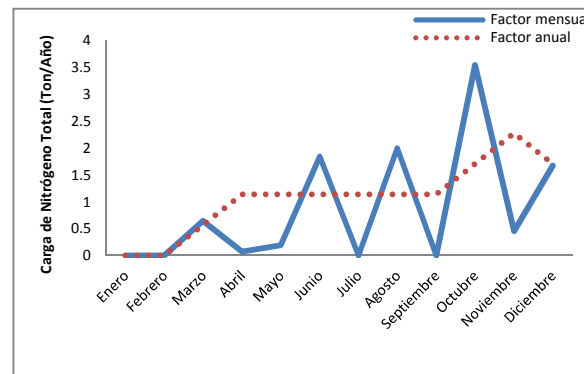
b)



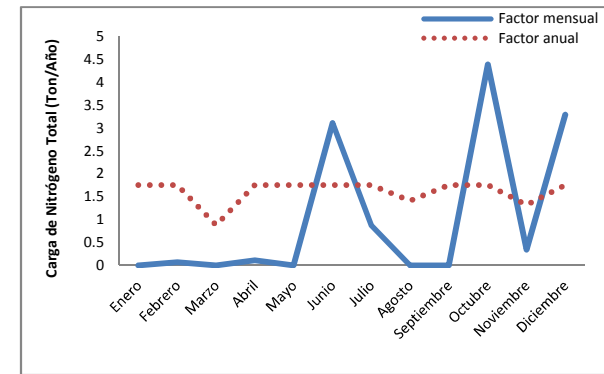
c)



d)



e)



f)

Figura 5. Nitrógeno total (mg/L), se utilizó el  $F_{mensual}$  y el  $F_{anual}$  para obtener las  $CC_m$  y las  $CC_a$  en las plantas de tratamiento; a) Punta Bandera, b) San Antonio del Mar, c) Rosarito Norte, d) Rosarito I, e) Vista Marina y f) Puerto Nuevo.

## **13. ANEXO III**

**Aplicación del  $F_{anual}$  para obtener proyecciones de las CCa para los diferentes indicadores de contaminación**

## Aplicación del $F_{anual}$ para obtener proyección de indicadores de contaminación

Para hacer la proyección, se calcularon las CCa de los indicadores usando el flujo promedio anual del efluente de cada planta de tratamiento de acuerdo a la proyección de generación de aguas residuales por las plantas de tratamiento realizada por la CESPT (2010). La Tabla II muestra el análisis de una planta de tratamiento con fines de clarificación.

Tabla I. Análisis para la planta Rosarito Norte. Se aplicó la fórmula de Guerra-Rivas *et al.* (2012) para obtener las cargas de contaminantes (Ton/año) usando los flujos del efluente de la planta Rosarito Norte (CESPT, 2010).

| Planta Rosarito Norte |                    | Factores promedio anuales (Ton/año) |        |                             |                  |                 |               |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|--------|-----------------------------|------------------|-----------------|---------------|
| Año                   | Flujo Efluente L/s | DQO                                 | DBO5   | Sólidos suspendidos totales | Grasas y aceites | Nitrógeno total | Fósforo total |
|                       |                    | 1.72                                | 0.48   | 0.24                        | 0.097            | 0.35            | 0.27          |
| 2009                  | 41.44              | 71.52                               | 20.015 | 9.94                        | 4.01             | 14.83           | 11.23         |
| 2010                  | 37.2               | 64.20                               | 17.96  | 8.92                        | 3.60             | 13.31           | 10.08         |
| 2015                  | 126.4              | 218.16                              | 61.05  | 30.33                       | 12.26            | 45.25           | 34.25         |
| 2020                  | 238.9              | 412.34                              | 115.38 | 57.33                       | 23.17            | 85.52           | 64.74         |

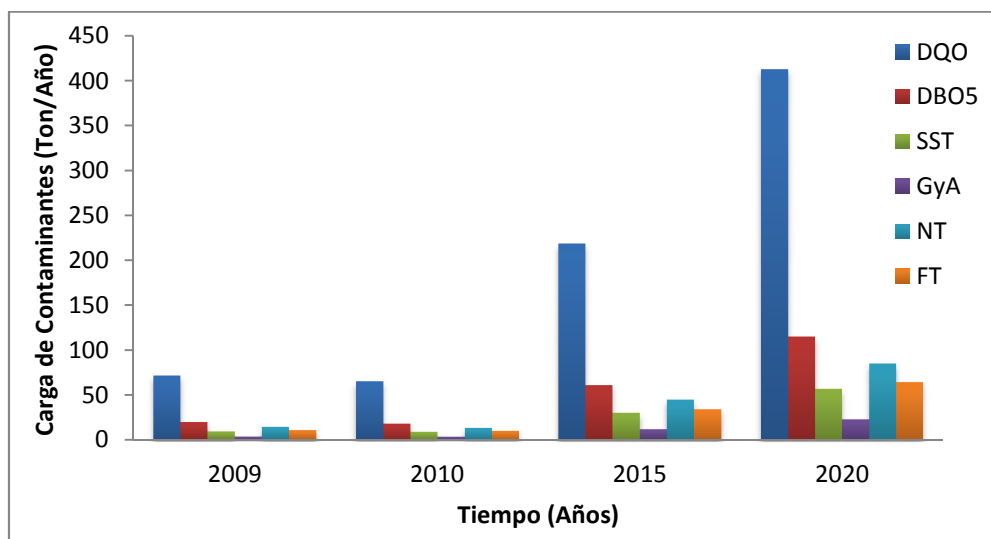


Figura 1. Planta de tratamiento Rosarito Norte, se muestran el comportamiento de los diferentes indicadores de contaminación para el 2020, basada en la proyección realizada por la CESPT (2010) para la generación de aguas residuales media por planta de tratamiento. DQO: Demanda química de oxígeno, DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno, SST: Sólidos suspendidos totales, GyA: Grasas y aceites, NT: Nitrógeno total, FT: Fósforo total. Fuente: CESPT.