



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## DIVISIÓN DE INGENIERÍA

---

---

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS  
CIUDADES DE PUERTO PEÑASCO Y GUAYMAS  
SONORA, MÉXICO DURANTE EL PERÍODO ANUAL 2010,  
CON RESPECTO A METALES (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) Y  
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST).**

Tesis

Que para obtener el título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Presenta

**Magdiel Iraís Quintana Anguamea**

Hermosillo, Sonora, México.

Octubre 2013

# Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN	vi
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
<b>2. OBJETIVOS</b>	
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Específicos	3
<b>3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</b>	
3.1 Hipótesis Nula	4
3.2 Hipótesis Alternativa	4
<b>4. ANTECEDENTES</b>	
4.1 Calidad del Aire	5
4.2 Fuentes de Contaminación del Aire	6
4.3 Tipos de Contaminantes del Aire	7
4.3.1 Material Particulado	8
4.3.2 Metales	9
4.4 Efectos a la Salud por la Contaminación del Aire	11
4.4.1 Partículas	11
4.4.2 Metales	12
4.4.2.1 <i>Plomo</i>	13
4.4.2.2 <i>Cadmio</i>	13
4.4.2.3 <i>Níquel</i>	14
4.4.2.4 <i>Cobre</i>	14
4.4.2.5 <i>Cromo</i>	14
4.5 Valores Máximos Permisibles de Calidad del Aire	15
4.5.1 Valores Máximos Permisibles para Partículas Suspendidas Totales (PST)	15
4.5.2 Valores Máximos Permisibles para Metales	16
4.5.2.1 <i>Plomo</i>	16
4.5.2.2 <i>Cadmio</i>	16
4.5.2.3 <i>Níquel</i>	16
4.5.2.4 <i>Cobre</i>	17
4.5.2.5 <i>Cromo</i>	17
4.6 Estudios Realizados de Calidad del Aire en el Estado de Sonora y Algunos Estados de Nuestro País	18

## CONTENIDO (Continuación)

## Página

4.6.1 Evaluación de la Calidad del Aire respecto de Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales Pesados (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante el Periodo Junio de 2001 a Mayo de 2002.	18
4.6.2 Calidad del Aire en la Ciudad de México, Informe 2011.	18
4.6.3 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015	19
4.6.4 Respira Coahuila Aire de Mala Calidad.	19
4.6.5 Metales en el Aire de Tabasco	20
<b>5. ÁREA DE ESTUDIO</b>	
5.1 Localización del Área de Estudio	21
5.2 Guaymas, Sonora	21
5.2.1 Climatología	23
5.2.2 Flora y Fauna	23
5.2.3 Características y Uso de Suelo	23
5.2.4 Población	23
5.2.5 Fuentes de Contaminación	24
5.3 Puerto Peñasco, Sonora.	24
5.3.1 Climatología	25
5.3.2 Flora y Fauna	25
5.3.3 Características y Uso de Suelo	26
5.3.4 Población	26
5.3.5 Fuentes de Contaminación	26
<b>6. MATERIALES Y METODOS</b>	
6.1 Procedimiento de Muestreo	28
6.2 Tratamiento del Material Utilizado	31
6.3 Partículas Suspendidas Totales (PST)	31
6.4 Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr)	31
6.5 Control de Calidad en el Análisis de las Muestras de Filtros	32
6.6. Indicadores de Calidad de los Datos	33
6.6.1 Precisión	33
6.6.2 Exactitud	34
6.6.3 Límite de Detección del Instrumento (L.D.)	34
6.7 Normas de Calidad y/o Criterios de Calidad del Aire, Utilizados en la Presente Investigación	35

## CONTENIDO (Continuación)

Página

### 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Partículas Suspendidas Totales (PST)	37
7.1.1 Promedio o Mediana Mes a Mes	40
7.1.2 Percentil 98	42
7.1.3 Número de Días Arriba del Límite	44
7.1.4 Índice de Calidad del Aire	44
7.1.5 Distribución de Días con Calidad del Aire Buena, Regular y Mala	45
7.2 Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr)	47
7.2.1 Comparación con los Valores Máximos Permisibles o Criterios Seleccionados	49
7.2.1.1 Plomo	49
7.2.1.2 Cadmio	53
7.2.1.3 Níquel	53
7.2.1.4 Cobre	53
7.2.1.5 Cromo	54
7.3 Comparación de la Calidad del Aire de las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, con respecto a otras Ciudades de México.	54

### 8. CONCLUSIONES

8.1 Partículas Suspendidas Totales (PST)	56
8.2 Metales	57

### 9. RECOMENDACIONES

### 10. BIBLIOGRAFÍA

### 11. APÉNDICES

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Localización del Área de Estudio	22
2. Localización de las Estaciones de Muestreo en: a) Puerto Peñasco; b) Guaymas.	29
3. Muestreador de alto volumen (HI-VOL).	30
4. Comportamiento de la Concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) en la Ciudad de Guaymas, Sonora, durante el Período de Estudio 2010.	38
5. Comportamiento de la Concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) en la Ciudad de Puerto Peñasco, Sonora, durante el Período de Estudio 2010.	39
6. Comparación de la Concentración de Partículas Suspendidas Totales en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora.	40
7. Comportamiento de la Concentración Promedio Mensual de Partículas Suspendidas Totales (PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México durante el año 2010.	42
8. Comparación gráfica de Días con Buena, Regular y Mala Calidad del Aire en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México, durante el Año 2010.	46
9. Concentraciones Detectadas de (Pb, Ni, Cu, Cr) en el Aire Ambiente de la Ciudad de Guaymas, Sonora, México, para el Período Anual 2010.	51
10. Concentraciones Detectadas de (Pb, Ni, Cu, Cr) en el Aire Ambiente de la Ciudad de Puerto Peñasco, Sonora, México, para el Período Anual 2010.	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Interpretación del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).	6
2. Valores de Límite de Detección (LD) de Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr).	35
3. Concentración Mínima, Promedio y Máxima de Partículas Suspendidas Totales (PST), detectadas en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, durante el Período de Estudio (2010).	37
4. Valores Promedio Mensual de Partículas Suspendidas Totales (PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México, durante el Año 2010.	41
5. Evaluación del Criterio de Cobertura para Muestreos de Partículas Suspendidas Totales (PST) Realizados en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, durante el año 2010 según la NOM-025-SSA1-1993.	43
6. Índice de Calidad del Aire basado en el IMECA para PST en las Ciudades Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México, durante el Año 2010 Considerando el Promedio de los Días en que se rebasó el Valor Límite Normado por Ciudad y Propuesta de Puntos de Quiebre.	45
7. Valores de Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) detectados en el Aire Ambiente en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora.	48
8. Concentración Promedio Trimestral de Plomo en el Aire Ambiente para Guaymas y Puerto Peñasco durante el Año 2010.	50
9. Comparación de las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, con otras Ciudades de México respecto a PST y Metales.	55

## RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la calidad del aire para las ciudades de Puerto Peñasco y Guaymas, del estado de Sonora, México, respecto de Partículas Suspensas Totales (PST) y metales pesados (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) para el periodo anual 2010. La localización de las estaciones de muestreo corresponden a los sitios considerados en la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Estado de Sonora. Se utilizó la información y filtros de los muestreos realizados durante un periodo anual (2010), por el H. Ayuntamiento de Hermosillo. Para el análisis de PST se utilizó el método de alto volumen (Hi-Vol) establecido en la Norma NOM-035-ECOL-1993. Los metales se analizaron a través del el procedimiento de la determinación de plomo en partículas suspendidas, utilizando la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica. Para evaluar la calidad del aire respecto de PST, se utilizó la Norma Mexicana NOM-025-SSA1-1993; así mismo se determinó el porcentaje de días por arriba del máximo permisible y se calculó el índice IMECA. Para evaluar la calidad del aire respecto a metales se utilizó la NOM-026-SSA1-1993 para plomo ( $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Para los demás metales no existen normas de calidad por lo que se utilizaron los siguientes criterios: Cd (WHO,  $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual), Níquel (Comisión de Comunidades Europeas,  $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio anual), Cobre y Cromo (Ontario Ministry of the Environment,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 hrs). Los resultados del presente estudio indican que las concentraciones de PST en las ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco rebasaron los  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (normativa para máximo permisible diario), por lo que la calidad del aire fue no satisfactoria durante el periodo estudiado. Respecto a las concentraciones detectadas de los metales Pb, Ni, Cu y Cr, se encuentran por debajo de los criterios y/o máximos permisibles utilizados como referencia de calidad del aire en ambas ciudades. Se concluye que la calidad del aire fue no satisfactoria por exceder los niveles de PST en base a la NOM-025-ECOL-1993. En el estudio se recomienda la elaboración de una estructura operativa que permita detectar los eventos de riesgo a la salud y la implementación de un Programa de Calidad del Aire que contemple por un lado garantizar la calidad de los datos y por el otro la ejecución oportuna y eficaz de acciones de control por las distintas instancias involucradas.



## 1. INTRODUCCIÓN

El aire es la fuente de vida del ser humano y su falta por más de cinco minutos puede provocarle la muerte o daños irreversibles en su cerebro, que lo incapaciten permanentemente. Pero debido a que es un elemento vital para el hombre, aún no se ha tomado conciencia de su importancia y se cree que su provisión es infinita, que se purifica por sí solo y que lo que esté incorporado en él no daña al ser humano.

Los seres humanos requieren de un suplemento regular de alimento, agua y esencialmente de un suplemento continuo de aire, los requerimientos de aire y agua son relativamente constantes ( $10\text{-}20\text{ m}^3$  y  $1\text{-}2\text{ L/día}$ , respectivamente). Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo.

Es ampliamente conocido que la mala calidad del aire, es decir, la presencia de contaminantes en el aire, tienen impactos negativos sobre la salud humana y del ambiente, pues ocasiona enfermedades en las personas e incluso muerte prematura, y que también afecta negativamente a los ecosistemas en muy diversas maneras. La contaminación del aire se refiere a la presencia de contaminantes (sólidos, líquidos o gases) que no deberían estar presentes en la atmósfera o que están presentes de manera natural pero en cantidades muy pequeñas. Estos contaminantes llegan a la atmósfera como resultado de las actividades humanas, pero también de fuentes naturales. Algunos contaminantes son el resultado de la combustión en los autos, en la industria y en los hogares. También resultan de las actividades comerciales y de servicios y de los procesos naturales. Otros contaminantes se forman en la atmósfera, como resultado de reacciones entre otros contaminantes, la radiación solar y la temperatura ([www.semarnat.gob.mx/temas/aire/\\_layouts/mobile/disppform.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/aire/_layouts/mobile/disppform.aspx)).

Para evaluar la calidad del aire existen en México una red de monitoreo atmosférico en 52 ciudades y zonas metropolitanas que miden los niveles de contaminación presentes en el país. La concentración de los contaminantes en el aire se obtiene mediante la colecta de muestras de aire que se analizan y procesan a través de analizadores que dan información en tiempo real de las concentraciones de algunos contaminantes.

Actualmente en México, existen normas de calidad del aire para Partículas Suspendidas Totales (PST), Partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ), Partículas menores a 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de azufre ( $SO_2$ ), Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), Ozono ( $O_3$ ) y Plomo (Pb). En el presente trabajo, se monitoreó la calidad del aire respecto a partículas suspendidas totales y metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en las ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México, mediante la colecta de muestras durante un periodo anual, a fin de generar información actualizada de la calidad del aire en estas dos ciudades.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

- Evaluar la calidad del aire ambiente respecto de Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en las ciudades de Puerto Peñasco y Guaymas del Estado de Sonora, México, en el periodo anual 2010.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en las ciudades de Puerto Peñasco y Guaymas del Estado de Sonora, México, en el periodo anual 2010.
- Evaluar la calidad del aire respecto de Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en las ciudades de Puerto Peñasco y Guaymas del Estado de Sonora, México, mediante la comparación de las concentraciones detectadas con los valores máximos permisibles de calidad establecidos en la Normatividad Mexicana o Internacional en el periodo anual 2010.

### **3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Hipótesis Nula**

La concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb) en el aire en las ciudades de Puerto Peñasco y Guaymas, Sonora, México, incumplieron las normas y criterios seleccionados y como resultado da una mala calidad del aire para el periodo anual 2010.

#### **3.2 Hipótesis Alternativa**

La calidad del aire en las ciudades de Puerto Peñasco y Guaymas, Sonora, México, fue satisfactoria respecto a Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb) en el periodo anual 2010.

## 4. ANTECEDENTES

### 4.1 Calidad del Aire

La calidad del aire está determinada por el grado de contaminación que presenta, y el término de contaminación del aire se define como la presencia en la atmósfera de sustancias no deseables en concentraciones y circunstancias tales que puedan afectar significativamente el confort, salud y bienestar de las personas o al uso y disfrute de sus propiedades.

La contaminación del aire puede ser fácilmente perceptible en comparación con la del suelo, especialmente en las grandes ciudades. En muchas ocasiones basta observar la atmósfera para señalar que el aire se ve sucio. Entonces resulta inevitable medir de forma cuantitativa la calidad del aire, para conocer el estado de los contaminantes en el aire, y, en su momento, tomar medidas para evitar efectos adversos en la salud. Estas mediciones nos indican la calidad del aire y, por consecuencia, podemos saber si es satisfactoria o no en comparación con las normas nacionales e internacionales. En México, la Secretaría de Salud es la dependencia gubernamental que establece las normas y estándares de la contaminación atmosférica para los compuestos como el NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Pb y partículas suspendidas. La finalidad de las normas es establecer la concentración máxima de un contaminante que puede tener el aire sin que existan riesgos para la salud de la población, y sobre todo para los grupos vulnerables como son los niños, ancianos y personas con enfermedades crónicas respiratorias y cardíacas, entre otras (Martínez, 2010).

Existen diversas formas de expresar la presencia de contaminantes atmosféricos, como son: partes por millón (ppm), partes por billón (ppb) o microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Informar a la población bajo estos términos no resulta práctico, ya que no existe familiaridad con ellos, sin embargo, en México y otros países del mundo se han desarrollado índices de

la calidad del aire que en nuestro caso se denomina Índice Metropolitano de la Calidad del Aire o IMECA. De acuerdo con este índice, el máximo permisible para cada contaminante es de 100 puntos IMECA, y el rebasar la Norma significa que la calidad del aire no es satisfactoria, como se especifica en la Tabla 1.

Tabla 1. Interpretación del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).

<b>Interpretación del IMECA</b>		
<b>IMECA</b>	<b>Condición</b>	<b>Efectos en la Salud</b>
0-100	Dentro de la Norma	Ninguno
101-200	No satisfactoria	Molestias en ojos, nariz y garganta en personas sensibles.
201-300	Mala	Posibles problemas respiratorios.
301-500	Muy mala	Se agudizan los síntomas anteriores en personas sensibles y quienes fuman o padecen enfermedades crónicas.

Fuente: Martínez (2010).

#### 4.2 Fuentes de Contaminación del Aire

Existen formas para clasificar los contaminantes según su origen. Se distinguen los naturales y antropogénicos. Los primeros se deben a fenómenos en los cuales no interviene el hombre, por ejemplo: erupciones volcánicas, incendios accidentales, producción de gases de pantanos, diseminación del polen, el viento, etc. (Jiménez, 2002). En cambio, los antropogénicos se derivan de las actividades del hombre como procesos industriales que generan subproductos gaseosos, los automóviles generan gases de desecho, los procesos de manufactura, la combustión de la basura y las plantas productoras de energía generan gases y humos (Canter, 1997).

Las fuentes de emisiones contaminantes también pueden clasificarse de acuerdo a su movilidad en fijas o estacionarias, de área y móviles. Las fuentes fijas de emisiones incluyen las plantas generadoras de energía termoeléctrica y los procesos industriales y agroindustriales, la quema e incineración de desechos. Las fuentes de área son en su mayoría fuentes fijas, pero que son muy pequeñas en términos de la cantidad de emisiones que producen, y muy numerosas. Su naturaleza es variada, pero las más importantes son básicamente la quema de combustibles para cocinas, calentadores de agua, calefactores, maquinaria de construcción y maquinaria agrícola. Las fuentes móviles son básicamente los vehículos automotores que circulan por las carreteras públicas (Molina, 2005).

#### 4.3 Tipos de Contaminantes del Aire

Los contaminantes del aire se pueden clasificar en dos grupos: Los contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios en la atmósfera son aquellos que se emiten directamente. Un ejemplo de contaminante primario es el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), que daña directamente la vegetación y es un irritante pulmonar. De importancia mayor en gran parte de los casos son los contaminantes secundarios, que por medio de procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o incluso sobre especies no contaminantes en la atmósfera (Manahan, 2007).

Generalmente, los contaminantes secundarios son producidos por la tendencia natural de la atmósfera a oxidar los gases traza en ella, el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), que es un contaminante secundario, se genera por oxidación de contaminante primario ( $\text{SO}_2$ ), mientras que el contaminante secundario  $\text{NO}_2$ , se produce cuando se oxida el contaminante primario  $\text{NO}$ . Uno de los contaminantes secundarios más importantes en la troposfera es el ozono ( $\text{O}_3$ ), cuya materia prima es el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) (Manahan, 2007).

En la troposfera se producen niveles contaminantes de ozono por medio de procesos fotoquímicos en presencia de hidrocarburos u otros compuestos carbonosos y NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>). Otro importante contaminante secundario consiste en la materia particulada generada por reacciones químicas atmosféricas que operan sobre contaminantes gaseosos (Manahan, 2007).

#### 4.3.1 Material Particulado

Se denomina material particulado a cualquier material, excepto agua no combinada, que existe en fase sólida o líquida en la atmósfera o en una corriente de gas en condiciones normales y cuyo diámetro varía generalmente entre 0.002 a 500 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). Las partículas, además de contener hidrocarburos, sulfatos y cenizas, poseen trazas de metales provenientes de la combustión de combustibles fósiles en vehículos automotores y de procesos industriales (Jiménez, 2002).

El material particulado en el aire ambiente representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas. Las partículas más pequeñas o finas contienen los aerosoles formados secundariamente, partículas de combustión, vapores orgánicos y metálicos recondensados. Las partículas más grandes o gruesas usualmente contienen materiales terrígenos y polvos fugitivos de caminos e industrias.

La contaminación del aire por partículas es una mezcla de sólidos, líquidos o sólidos y partículas líquidas suspendidas en el aire, las cuales pueden variar en tamaño, composición y origen. Es por ello conveniente clasificar las partículas por sus propiedades aerodinámicas debido a lo siguiente: a) Estas propiedades gobiernan el transporte y la remoción de partículas del aire; b) Gobiernan su deposición en el sistema respiratorio y c) son asociadas con la composición química y las fuentes de las partículas (Jiménez, 2002).



Las Partículas Suspendidas Totales (PST) pueden estar constituidas por gran número de sustancias, las de origen natural, que representan aproximadamente 65% en peso, se componen de suelos y, de manera ocasional de elementos biológicos. Por su parte las partículas provenientes de la combustión y de diversos procesos industriales son menores en masa pero, en general, tienen efectos tóxicos más significativos. Es importante destacar que las partículas menores de 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ) y las partículas menores de 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ) por ser las de mayor penetración al sistema respiratorio e impactan en la visibilidad atmosférica son consideradas las más dañinas (Jiménez, 2002).

El estudio y la regulación ambiental de las partículas empezó centrándose en las partículas suspendidas totales (PST). Posteriormente, la atención se centró en las partículas con diámetros menores de 10  $\mu m$  y actualmente, en las partículas finas y ultrafinas, es decir, las menores de 2.5  $\mu m$ .

En los Estados Unidos la regulación de las PST empezó en 1971, agregando normas para ( $PM_{10}$ ) en 1987 y para ( $PM_{2.5}$ ) en 1997. En México, la Norma que regula los niveles de ( $PM_{10}$ ) entró en vigor en 1994 y fue modificada en 2005 (DOF, 2005), cuando se incluyeron las ( $PM_{2.5}$ ) ([www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/517/cap4.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/517/cap4.pdf)).

#### 4.3.2 Metales

Un metal es un elemento que es buen conductor de electricidad, es flexible y posee brillo. Algunos metales son necesarios para los seres vivos, pero pueden llegar a ser tóxicos si rebasan ciertas concentraciones (Jiménez, 2002).

Una forma opcional de nombrar a este grupo es como “elementos tóxicos”, los cuales, de acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), incluyen a

los siguientes elementos: Arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo. Los metales pesados se encuentran en forma natural en la corteza terrestre. Estos se pueden convertir en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades humanas. En general esto puede ocurrir durante la extracción minera, el refinamiento de productos mineros o por la liberación al ambiente de efluentes industriales y emisiones vehiculares ([www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales#arriba](http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales#arriba)).

Las fuentes de emisión más importantes para algunos metales como níquel, son las industrias de aceros y aleaciones de níquel, combustión de carbón y fuel-oil, procesos de catálisis y suelos. En el caso del cobre, las fuentes más comunes son industrias metalúrgicas, procesos de refinado, centrales térmicas con combustión de carbones, suelos, incineradores municipales y otros procesos en lo que se emplean combustibles fósiles. Las principales fuentes a la atmósfera de cadmio se dan por la industria del cinc, ya que constituye un subproducto, el cadmiado de metales, la fabricación de colorantes, en la construcción de células fotovoltaicas, abonos fosfatados, etc. Estas son las fuentes posibles de estos contaminantes, tanto por sus chimeneas, como por emisiones fugitivas (Jiménez, 2002).

Considerando criterios medioambientales de salud, la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2000a) publicó, en sus guías de calidad del aire, los valores guía para 35 contaminantes del aire, de los cuales, 16 son contaminantes orgánicos, 3 son contaminantes de aire en interiores, 4 son los contaminantes clásicos (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Partículas y SO<sub>2</sub>) y 12 son contaminantes inorgánicos, entre ellos los siguientes metales: cadmio, cromo, plomo, manganeso, mercurio, níquel, platino y vanadio.

## 4.4 Efectos a la Salud por la Contaminación del Aire

### 4.4.1 Partículas

Las partículas tienen numerosos efectos, muchos de los cuales constituyen una seria contaminación atmosférica. El más obvio de éstos es la reducción y distorsión de la visibilidad. Estas partículas, proporcionan superficies activas donde pueden ocurrir reacciones químicas atmosféricas heterogéneas y constituyen sitios de nucleación para condensación de vapor de agua atmosférico, ejerciendo por ello una influencia significativa en el tiempo y los fenómenos de contaminación del aire. Las propiedades de dispersar e interceptar la luz de las partículas mayores de  $1\ \mu\text{m}$ , son aproximadamente proporcionales al área de sección transversal de las partículas. Las partículas de  $0.1\text{-}1\ \mu\text{m}$ , dan lugar al fenómeno de la interferencia, debido a que tienen un tamaño aproximadamente igual a la dimensión de las longitudes de onda de la luz visible, por lo que sus propiedades dispersantes son especialmente significativas (Manahan, 2007).

Las partículas atmosféricas inhaladas a través del tracto respiratorio pueden dañar la salud. Las partículas relativamente grandes, probablemente son retenidas en la cavidad nasal y en la faringe, mientras que las partículas más pequeñas alcanzan los pulmones, donde quedan retenidas o, si son todavía más pequeñas pasan a fluidos corporales. El sistema respiratorio posee mecanismos para expulsar las partículas inhaladas. En la región ciliada del sistema respiratorio, las partículas son llevadas hasta la entrada del tracto gastrointestinal por un flujo de mucosidad. El sistema respiratorio puede ser dañado directamente por la materia particulada que entra en el sistema sanguíneo linfático a través de los pulmones. Adicionalmente, el material particulado o los componentes solubles en él pueden transportarse a los órganos alejados de los pulmones y pueden tener un efecto perjudicial sobre otros órganos. Las partículas desalojadas del tracto respiratorio son llevadas en gran medida hacia el tracto gastrointestinal (Manahan, 2007)

Se ha encontrado una fuerte correlación entre los aumentos de la tasa de mortalidad diaria y los episodios agudos de contaminación atmosférica. Un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las partículas atmosféricas menores de  $10 \mu\text{m}$  de tamaño se correlaciona con un aumento del 0.5% en la mortalidad diaria. En tales casos, los altos niveles de materia particulada están acompañados por elevadas concentraciones de  $\text{SO}_2$  y otros contaminantes, por lo que cualquier conclusión debe evaluarse con cautela (Manahan, 2007).

Es importante señalar que las autoridades de Estados Unidos y Europa establecieron, en un principio, regulaciones basadas en la medición de Partículas Suspendidas Totales (PST), las cuales, son partículas con un diámetro aerodinámico menor a aproximadamente 50 micrómetros medidas con un muestreador de alto volumen, pero conforme fueron conociéndose nuevos estudios en la materia, la normatividad sobre la calidad del aire se volvió más específica y requirió la medición de partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ ), y posteriormente de aquellas con diámetro menor a 2.5 micras ( $\text{PM}_{2.5}$ ).

En México, la SEMARNAT (2000), a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) establece que el sector transporte es el principal emisor de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, mientras que el suelo y la vegetación contribuyen en la concentración de partículas.

#### 4.4.2 Metales

En los países en desarrollo, se han detectado problemas mucho mayores por las emisiones tóxicas que en los países desarrollados. Un ejemplo es el uso de las gasolinas con plomo usadas en los países en desarrollo, las cuales contribuyen a la contaminación con plomo en áreas metropolitanas, la cual puede causar daño severo y permanente al cerebro e inclusive la muerte.

Otro ejemplo es el de la producción de químicos en los procesos industrializados, a la cual está asociada la generación de residuos tóxicos, sobre todo en la rama de químicos orgánicos sintéticos identificados como tóxicos, cancerígenos y mutagénicos (Shen, 1999).

Cuando las concentraciones de los contaminantes presentes en el aire rebasan los umbrales permisibles para el hombre, o cuando por una prolongada exposición a los mismos se presenta una intoxicación, los efectos identificados pueden ser los siguientes: alteración en los signos vitales (temperatura, presión, respiración), coloración y olor anormal de la piel, efectos en el ojo (excesiva contracción o dilatación, conjuntivitis), efectos gastrointestinales (dolor, vómito) y efectos en el sistema nervioso central como convulsión, parálisis o alucinación (Alloway y Ayres, 1993).

4.4.2.1 *Plomo*. Los primeros síntomas que provoca son irascibilidad, desgano y fatiga, que comúnmente son menospreciados hasta que, con el tiempo existe dolor de cabeza, pérdida de apetito, dolor de estómago y vómito. Finalmente, los síntomas empeoran y el cerebro, riñones e hígado sufren daños irreparables. En la fase terminal del cuadro clínico existen convulsiones, coma y posteriormente la muerte.

4.4.2.2 *Cadmio*. Este elemento se acumula principalmente en los riñones y tiene una vida media biológica prolongada de 10 a 35 años en los seres humanos. Los primeros síntomas que provoca son parecidos a los del reumatismo y los pacientes se ven limitados a permanecer en cama (Jiménez, 2002). En 1993, la International Agency for Research on Cancer (IARC) clasificó al cadmio y compuestos de cadmio en el grupo 1 de cancerígenos humanos (WHO, 2000b). Los compuestos del cadmio pueden ser formados en las chimeneas y emitidos al ambiente.

4.4.2.3 *Níquel*. Informes aislados indican que los compuestos de níquel pueden provocar reacciones alérgicas mediante exposiciones dérmicas y orales. El níquel puede ser causa de náusea, vómito y diarrea, por lo que ciertos compuestos han sido listados como carcinógenos por la EPA (Jiménez, 2002).

Las principales rutas de exposición a los humanos es por inhalación, ingestión y absorción a través de la piel. Se han reportado efectos renales reversibles, dermatitis alérgica, irritación de la mucosa y asma después de la exposición a compuestos inorgánicos de níquel; los efectos renales y la dermatitis presumiblemente se relacionan tanto con la inhalación y la ingestión de níquel y la dermatitis se relaciona al contacto cutáneo (WHO, 2000b).

4.4.2.4 *Cobre*. El cobre es un irritante en el sistema respiratorio produciendo además irritación en la mucosa de la boca, ojos y nariz. Una alta inhalación de polvo de cobre puede causar perforación del septum nasal. La fiebre de humo de metales (fiebre, resfriados, mialgias, dolor de cabeza, malestar, garganta seca) puede resultar por la inhalación de humos de operaciones de fundición de cobre. Sin embargo, este tipo de enfermedades no es muy común debido a las altas temperaturas necesarias para producir humos de cobre. La IARC (International Agency of Research on Cancer), así como el Programa Toxicológico de Estados Unidos han listado al cobre o sus compuestos como cancerígeno (Barceloux, 1999).

4.4.2.5 *Cromo*. Entre los efectos a los humanos, se han registrado úlceras, reacciones corrosivas en el septum nasal, dermatitis aguda y alergias entre sujetos expuestos a compuestos de cromo (VI). Necrosis del riñón ha sido reportada, iniciando con necrosis tubular así como necrosis difusa del hígado y subsecuente pérdida de estructura. Se ha reportado que en la ingestión de compuestos de cromo VI resultan en un sangrado gastrointestinal proveniente de úlceras en la mucosa intestinal.

En humanos han sido reportados efectos sistémicos en las vías respiratorias así como en el sistema cardiovascular hígado y riñón. En el riñón altas dosis de cromatos inducen necrosis. Existe suficiente información sobre el riesgo de cáncer en órganos respiratorios por la exposición a cromatos (WHO, 2000b). Aún cuando se sabe que el cromo inhalado provoca cáncer, el efecto por su consumo es aún desconocido (Jiménez, 2002).

#### 4.5 Valores Máximos Permisibles de Calidad del Aire

Los máximos permisibles son valores de concentración para compuestos o elementos contaminantes, que han sido establecidos para garantizar que mientras las condiciones ambientales se encuentren por debajo de éstos, no existe riesgo a la salud de la población. Idealmente los límites que establecen las normas deberían estar basados en estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición tanto en animales como en los seres humanos, que identifiquen los niveles del contaminante que son capaces de causar un efecto negativo en la salud de algún grupo de la población con un cierto margen de seguridad.

Sin embargo, en nuestro país debido principalmente a la falta de recursos e infraestructura suficiente para realizar todos los estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición necesarios para fundamentar el establecimiento de estándares de calidad del aire y a la gravedad del problema que se tenía a principios de los años noventa, las normas de calidad del aire mexicanas tuvieron como base fundamental la revisión de normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud y por los Estados Unidos de América (SEMARNAT, 2003).

##### 4.5.1 Valores Máximos Permisibles para Partículas Suspendidas Totales (PST)

En México, los máximos permisibles de calidad del aire para Partículas Suspendidas Totales (PST), partículas menores de 10 micras ( $PM_{10}$ ) y partículas menores a 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ) han sido publicados en la Norma Oficial

Mexicana NOM-025-SSA1-1993 (DOF, 2005), siendo dicho valor para PST de  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas en un período de un año; mientras que para  $\text{PM}_{10}$  los valores son de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas en un período de un año y  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en una media aritmética anual, y para  $\text{PM}_{2.5}$  los valores son de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas en un período de un año y  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio anual.

#### 4.5.2 Valores Máximos Permisibles para Metales

4.5.2.1 *Plomo*. La Organización Mundial de Salud (WHO, 2000a) establece en su segunda edición de las Guías de Calidad del Aire para Europa, que para el plomo el máximo permisible sea de  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un promedio anual. En México, respecto a metales en aire, actualmente solo existe un máximo permisible para plomo y fue establecido en la NOM-026-SSA1-1993, correspondiendo a un valor de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un período de tres meses promedio aritmético (DOF, 1994).

4.5.2.2 *Cadmio*. La WHO (2000a), en su segunda edición de las Guías de Calidad del Aire para Europa, define que para el cadmio el máximo permisible sea de  $5 \text{ ng}/\text{m}^3$  en un promedio anual. Según información de la base de datos STAR de la Agencia Ambiental Europea (<http://star.eea.eu.int/default.asp>), existe la guía estándar de calidad del aire para cadmio de  $0.00005 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio en 24 horas establecido en el estándar técnico de la Asociación de Ingenieros Alemanes VDI 2310 guía para estándares de calidad del aire; en esta misma base de datos aparece otra regulación para cadmio según el Ministerio de Naturaleza Uso y Protección Ambiental que establece un valor límite de  $0.0003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En México no existe actualmente normatividad sobre calidad del aire para este metal, sin embargo en este estudio se utilizó el criterio de la WHO (2000 a), que establece un valor de  $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual.

4.5.2.3 *Níquel*. En la base de datos STAR de la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2004), aparece registrado por parte del Ministerio de Naturaleza Uso y Protección Ambiental, un valor límite de  $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para níquel como



regulación de control de calidad del aire para áreas pobladas; también aparece la regulación del Ministerio de Salud de Rusia que establece un valor límite de  $0.003 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de níquel para un período de 24 horas, un valor límite de  $0.0015 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio mensual y un valor límite de  $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual (<http://star.eea.eu.int/default.asp>). En México no existen normas respecto de valores máximos permisibles de níquel en aire.

Sin embargo, para fines de establecer la calidad del aire basado en las concentraciones detectadas de este metal, en el presente estudio se señalan los criterios establecidos por la Comisión de Comunidades Europeas (2003), que fijan un valor para níquel de  $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio anual.

4.5.2.4 *Cobre*. Agencia Ambiental Europea tiene en su base de datos (STAR) registrado el estándar de calidad de aire ambiente para cobre con un valor límite de  $0.002 \mu\text{g}/\text{m}^3$  según la regulación establecida en el documento GOST 17.2.3.01-86 de protección a la naturaleza, medio ambiente-regulaciones de control de calidad del aire para áreas pobladas de 1986 (<http://star.eea.eu.int/default.asp>).

Para fines de establecer la calidad del aire basado en las concentraciones detectadas de este metal, en el presente trabajo se señalan los criterios establecidos por la Ontario Ministry of the Environment (OME, 2012) que fijan un valor para cobre de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio en 24 hrs. En nuestro país no existen normas referentes a valores máximos permisibles de cobre en el aire.

4.5.2.5 *Cromo*. La Agencia Ambiental Europea, tiene en su base de datos STAR registrado el estándar de calidad de aire ambiente para niveles de cromo en áreas residenciales, con un valor límite de  $0.0015 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio diario según la guía establecida por el Gobierno de Lituania para la concentración máxima permisible en el aire en áreas residenciales (<http://star.eea.eu.int/default.asp>).

En el presente estudio se señalan los criterios establecidos en la Ontario Ministry of the Environment (OME, 2012) la cual provee una lista de criterios de calidad del aire ambiente (AAQCs) con valores máximos permisibles de Cromo en aire que fijan un valor de  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas. En México no existe ninguna norma ambiental que establezca máximos permisibles de este metal en el aire ambiente,

#### 4.6 Estudios Realizados de Calidad del Aire en el Estado de Sonora y Algunos Estados de Nuestro País

4.6.1 Evaluación de la Calidad del Aire respecto de Partículas Suspendidas Totales (PST) y Metales Pesados (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante el Periodo Junio de 2001 a Mayo de 2002.

Los resultados del estudio indican que las concentraciones de PST rebasaron frecuentemente los  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (normativa para máximo permisible diario) en dos de las tres estaciones de monitoreo, y que en las tres estaciones se rebasó al máximo permisible promedio anual de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  concluyéndose que la calidad del aire se encontraba entre no satisfactoria y mala durante el período analizado. Respecto de la concentración detectada de los metales Pb, Cd, Ni, Cu y Cr, se estableció que las mismas se encuentran por debajo de los criterios y/o máximos permisibles usados como referencia de calidad del aire, por lo que se concluyó que dicha calidad fue satisfactoria para el período analizado (Cruz-Campas, 2005).

4.6.2 Calidad del Aire en la Ciudad de México, Informe 2011.

Con respecto al cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental, en el periodo comprendido entre enero y diciembre del 2011 se registró un total 449 horas con concentraciones de ozono mayores a 110 ppb, mientras que el valor del quinto máximo para el promedio de 8 horas fue de 120 ppb. En el caso de partículas suspendidas la concentración para el

percentil 98 del promedio de 24 horas para partículas suspendidas totales (PST) fue de  $325 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para las partículas menores a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el valor para el promedio anual fue de  $93.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que para el percentil 98 del promedio de 24 horas fue de  $174 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ([www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/informes/informe2011/](http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/informes/informe2011/)).

#### 4.6.3 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015

Resultados del Monitoreo de 2007 en Torreón, Partículas Suspendidas Totales (PST).

El contaminante monitoreado fue Partículas Suspendidas Totales (PST), cuya norma de  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  fue rebasada más frecuentemente durante los meses de abril, mayo y noviembre en todos los sitios de muestreo. Cabe mencionar que los picos máximos de este contaminante superaron los  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En el caso del plomo los niveles más altos se presentaron en el mes de agosto del 2007, con una concentración de hasta  $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la cual no rebasó la norma (NOM-026-SSA1-1993), correspondiendo a un valor de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un período de tres meses promedio aritmético (DOF, 1994) (<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire>).

#### 4.6.4 Respira Coahuila Aire de Mala Calidad.

La ciudad de Coahuila, Veracruz, registra altas concentraciones de partículas suspendidas totales en el aire, rebasando la norma en un 43%. Un estudio realizado por la Dirección de Control de la Contaminación y Evaluación Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), entre mayo y junio de 2011, reveló que en la ciudad se superó de manera significativa la norma de medición para la calidad del aire. La Norma Oficial Mexicana para Partículas Suspendidas Totales (PST) establece

un máximo de 210  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo, en Coatzacoalcos los niveles alcanzaron los 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , superando en un 43% el máximo permitido. El estudio establece que la actividad económica-industrial y de servicios en Coatzacoalcos es el principal factor que repercute en la calidad del aire que respiran los porteños ([www.eltotonacapan.com/nota/20679/respira-coatza-aire-de-mala-calidad.html](http://www.eltotonacapan.com/nota/20679/respira-coatza-aire-de-mala-calidad.html)).

#### 4.6.5 Metales en el Aire de Tabasco

Altas concentraciones de peligrosos metales como: plomo, calcio, magnesio, vanadio, zinc, hierro y cobre, invaden la atmósfera del estado de Tabasco, de hecho, en algunas etapas del año se mantienen más elevadas del rango normal determinado por autoridades ambientales, demostró el estudio de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Las investigaciones de la UJAT son avaladas y certificadas por investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y en el 2011 la concentración de plomo fue de 8.66  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cuando la norma dice que debe ser de 1.15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (<http://ddt.mx/metales-pesado-en-el-aire-de-tabasco/>).

## 5. ÁREA DE ESTUDIO

### 5.1 Localización del Área de Estudio

El presente trabajo se realizó en el Estado de Sonora, México, considerando las siguientes ciudades: Puerto Peñasco y Guaymas, en las cuales se opera un equipo para Partículas Suspensas Totales (PST) de la Red Estatal de Información e Infraestructura sobre Calidad del Aire (Figura 1). A continuación se describen la localización de estas ciudades y las características más importantes.

### 5.2 Guaymas, Sonora

El municipio de Guaymas se localiza al suroeste del Estado de Sonora, en el paralelo 57°56' de latitud norte y el meridiano 111°52' de longitud oeste de Greenwich, a una altura 15m sobre el nivel del mar (Figura 1). Colinda al norte con el municipio de La Colorada, al este con el municipio de Suaqui Grande, Cajeme y Bécum, al noreste con el municipio de Hermosillo y al suroeste con el Golfo de California, este último en una longitud de litoral de 175 km. Abarca una superficie de 12,206.18 km<sup>2</sup>, que representa un 6.58 por ciento de la superficie total del Estado. La ciudad de Guaymas es uno de los Puertos de México denominado "de Altura" en la costa del Pacífico mexicano. Es una de las principales ciudades productoras de camarón en el norte de México y anteriormente también fue destacada por su captura de ostras (H. Ayuntamiento de Guaymas) ([www.venamimundo.com/Mexico/Guaymas.html](http://www.venamimundo.com/Mexico/Guaymas.html)).

Desde sus inicios, la ciudad de Guaymas se destacó por tener una economía fundamentada principalmente en la pesca y otras actividades relacionadas con el mar. Sin embargo, con la paulatina escasez de recursos pesqueros que se ha venido dando en la región en las últimas décadas y con el incremento de la contaminación marina, el sustento de su economía ha tenido que buscar otras vertientes, hasta el punto de que actualmente gran parte de la actividad laboral se basa en la industria maquiladora y en el turismo.

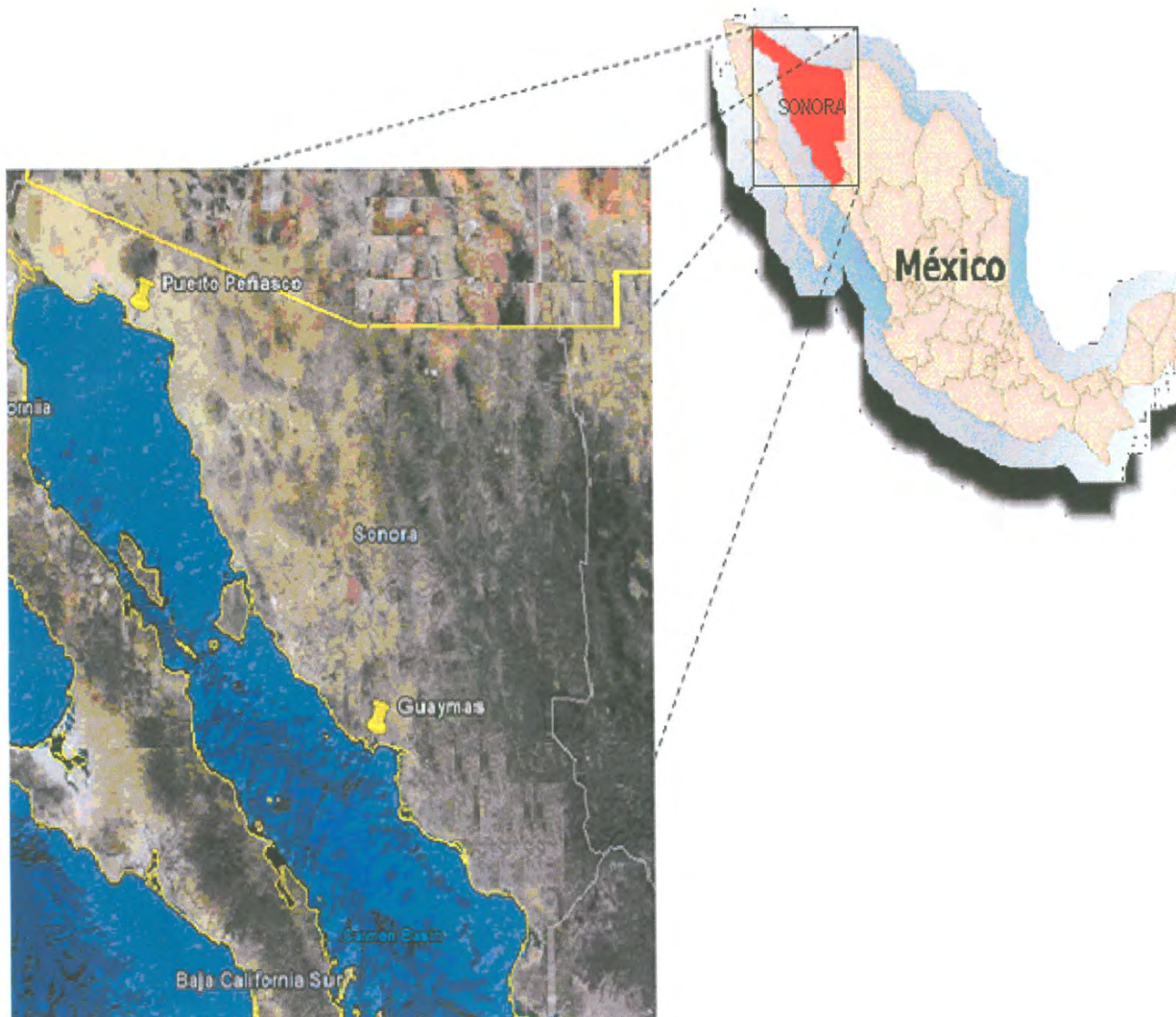


Figura 1. Localización del Área de Estudio

### 5.2.1 Climatología

El municipio cuenta con un clima seco muy cálido, con una temperatura máxima mensual de 31°C en los meses de julio y agosto y una temperatura media mínima mensual de 18°C en los meses de enero y febrero, la temperatura media anual es de 19°C.

### 5.2.2 Flora y Fauna

En todo el territorio municipal se encuentra vegetación tipo mezquital, al centro del municipio se pueden localizar vegetación del tipo matorral subinerme. En los límites con el municipio de Empalme, Sonora se localiza un área para agricultura de riego. En lo relativo a la fauna predomina: sapo y sapo toro, tortuga del desierto, cachorra, camaleón, coralillo, chicotera, víbora sorda, víbora de cascabel, cahuama, víbora de mar, burra, venado cola blanca, borrego cimarrón, puma, lince, coyote, jabalí, mapache, ardilla, tlacuache, juancito, ratón de campo, rata cerdosa algodonera, iguana, tórtola, paloma morada, lechuza, tecolote cornudo, carpintero de Arizona, cuervo cuello blanco, toro negro, garcita verde, pato prieto entre muchas otras especies ([www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/GUAYMAS.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/GUAYMAS.htm)).

### 5.2.3 Características y Uso de Suelo

En el municipio de Guaymas se localizan los siguientes tipos de suelos: Litosol, Regosol y Yermosol. Los suelos son aptos para los pastizales, y la agricultura está restringida a las zonas de riego y se obtienen muy altos rendimientos en los cultivos de algodón, granos y de vid ([www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/GUAYMAS.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/GUAYMAS.htm)).

### 5.2.4 Población

El municipio de Guaymas presentó una población total de 149,299 habitantes en el año 2010, de los cuales 74,740 pertenecen a la población total de hombres y los 74,559 restantes pertenecen a la población total de mujeres.

### 5.2.5 Fuentes de Contaminación

La termoeléctrica I localizada en la ciudad de Guaymas es una de las fuentes más importantes de contaminación al aire en esta ciudad, ya que emite: bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), compuestos orgánicos volátiles (COV); además de gases de efecto invernadero, existe también contaminación por mercurio y arsénico, entre otros. Estas sustancias pueden causar problemas respiratorios, irritación en piel, ojos, nariz, garganta, El 90% de las plantas que generan electricidad en México son termoeléctricas que utilizan combustóleo, y la mayoría son obsoletas por su antigüedad y emisiones contaminantes.

La consecuencia más importante al ambiente es que contribuye al cambio climático, las plantas generadoras de electricidad son la causa principal de la contaminación tóxica del aire, 46 de los 50 principales contaminadores de América del Norte fueron centrales eléctricas. Es una de las causas del calentamiento global, lluvia ácida, smog y tóxicos atmosféricos ([www.mexicotoxico.org.mx/comision-federal-de-electricidad-cfe-central-termoelectrica-guaymas-i](http://www.mexicotoxico.org.mx/comision-federal-de-electricidad-cfe-central-termoelectrica-guaymas-i)).

### 5.3 Puerto Peñasco, Sonora.

El municipio de Puerto Peñasco está ubicado en el noroeste del Estado de Sonora, México, su cabecera es la población de Puerto Peñasco y se localiza en el paralelo  $31^{\circ} 19'$  de latitud norte y el meridiano  $113^{\circ} 32'$ , a una altura de 7 metros sobre el nivel del mar (Figura 1). Colinda con los siguientes municipios: al noroeste con San Luis Río Colorado, al norte con Estados Unidos de Norteamérica y Plutarco Elías Calles, al sureste con Caborca y su límite natural al sur es el Golfo de California.

Cuenta con una superficie de  $5,663 \text{ Km}^2$ . Sus 110 kilómetros de litoral le hacen poseedor de un recurso muy valioso para la explotación de la actividad pesquera y la promoción del desarrollo turístico.



Es uno de los centros de población más jóvenes del Estado de Sonora, su territorio es generalmente plano, pero se destaca la serranía de Sonoyta al Norte y Este del municipio, también se compone de buena parte del desierto de Altar y de la zona volcánica, Sierra El Pinacate ([www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm)).

### 5.3.1 Climatología

El clima de Puerto Peñasco es semi-cálido con una temperatura media máxima mensual de 28.7°C en los meses de julio y agosto, y una media mínima mensual de 12.1°C, en diciembre y enero la temperatura media anual es de 20.1° C. La época de lluvia se presenta en el verano en los meses de julio y agosto con una precipitación media anual de 90.6 milímetros ([www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm))

### 5.3.2 Flora y Fauna

Una gran parte del territorio del municipio de Puerto Peñasco está constituida por vegetación de desiertos arenosos, aunque también existe matorral resesófilo costero en la Bahía de Adair, en la región de la Sierra El Pinacate; mientras que en la parte noreste existe matorral desértico micrófilo de la categoría de matorral subinermes.

Existen también lugares adyacentes a la región de Pinacate con categoría de matorral inermes, tales como gobernadora, nagua blanca, o trompillo, hierba de burro, etcétera; ambas regiones están protegidas como reserva ecológica nacional. Diseminados principalmente en la parte noreste del municipio se encuentran pequeñas porciones de matorral sacocaula, copal, torote blanco, torote colorado, choya, lomboy y cardón en la región fronteriza con Estados Unidos de Norteamérica.

En el municipio se encuentran especies como sapo, sapo toro, tortuga del desierto, cachora, víbora de cascabel, caguama, tortuga lacia, carey, víbora de

mar, camaleón, monstruo de Gila, venado cola blanca, bura, berrendo, puma, tlacuache, coyote, jaguar, mapache, conejo, zorra gris, tecolote cornudo, paloma morada, churea, aura, gabilán gris, güilota, aguililla cola roja ([www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm))

### 5.3.3 Características y Uso de Suelo

En el municipio se localizan los siguientes tipos de suelo: a) Solonchak se localiza al sur del municipio bordeando el litoral del Golfo de California, se presentan en zonas en donde se acumula el salitre, por lo que su uso agrícola se haya limitado a cultivos muy resistentes a la sal. Tiene escasa susceptibilidad a la erosión; b) yermosol su vegetación natural es de pastizales y matorrales; su utilización agrícola está restringida a las zonas de riego con muy altos rendimientos en cultivos como algodón, granos o vid. Su susceptibilidad a la erosión es baja ([www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm))

### 5.3.4 Población

La ciudad de Puerto Peñasco presentó una población de 57,342 habitantes en el año 2010, de los cuales 29,460 pertenecen a la población total de hombres y el 27,882 restantes pertenecen a la población total de mujeres ([www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/PUERTOPENACO.htm))

### 5.3.5 Fuentes de Contaminación

La Ciudad de Puerto Peñasco presenta un severo problema de contaminación atmosférica por polvo suspendido debido al tráfico vehicular sobre calles sin recubrimiento exacerbado por la acción de los vientos predominantes. El polvo fugitivo designado como material particulado y en específico el denominado PM<sub>10</sub> se puede definir como partículas sólidas o líquidas, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen dispersos en la atmósfera, cuyo diámetro es igual o inferior a 10 µm.

Algunas sustancias que pueden estar asociadas a estas partículas son el plomo, arsénico, berilio, cadmio, mercurio, sulfatos, nitratos e hidrocarburos policíclicos aromáticos, todas ellas por deposición sobre el suelo de contaminantes antropogénicos.

Atendiendo a este problema, el Ayuntamiento de Puerto Peñasco mediante la implementación de un proyecto integral de Calidad del Aire y Pavimentación (PICAP), se ha propuesto ampliar la cobertura de pavimentación. Hay tres aspectos en los cuales este proyecto tendrá impacto:

1. Disminución de contaminación por polvo.
2. Reducción de enfermedades respiratorias.
3. Mejoramiento y control del tráfico vehicular.

Actualmente, la red municipal de calles en Puerto Peñasco consiste de 5.95 millones de m<sup>2</sup> en total, de los cuales 1.05 millones de m<sup>2</sup> están pavimentadas y 4.90 millones de m<sup>2</sup> están sin pavimentar, provocando en gran medida la contaminación del aire causada por polvo y emisiones vehiculares que causan graves problemas respiratorios para los habitantes de esa zona fronteriza; además existe la contaminación natural como son las tormentas de arena ([www.intrabecc.cocef.org/programs/intranetnotasperiodico/.../licitan.pdf](http://www.intrabecc.cocef.org/programs/intranetnotasperiodico/.../licitan.pdf) ;[www.tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/21962/Capitulo2.pdf](http://www.tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/21962/Capitulo2.pdf) ;[www.cocef.org/aproyectos/462\\_PC D\\_Penasco\\_Esp.pdf](http://www.cocef.org/aproyectos/462_PC_D_Penasco_Esp.pdf)).

## 6. MATERIALES Y METODOS

### 6.1 Procedimiento de Muestreo

La localización de las estaciones de muestreo corresponden a los sitios considerados en la red de monitoreo de calidad del aire del Estado de Sonora. La Red Estatal de Infraestructura e Información sobre Calidad del Aire (REIICA) estableció una frecuencia de muestreo cada 6 días con muestreos no simultáneos en las estaciones de la Red, con el objetivo de analizar y evaluar la calidad del aire respecto a Partículas Suspendidas Totales (PST). Las actividades de muestreo fueron realizadas por los miembros de la REIICA, en este caso personal del Instituto Tecnológico de Puerto Peñasco y personal del Ayuntamiento de Guaymas, y los filtros fueron enviados al laboratorio para ser analizados. En la Figura 2, se puede apreciar la ubicación de las estaciones de monitoreo en las ciudades de Puerto Peñasco y Guaymas, Sonora.

El método de muestreo utilizado es el de alto volumen (Hi-Vol) establecido en la Norma NOM-035-ECOL-1993 (DOF, 1993). Este método permite medir la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente por medio de un muestreador que hace pasar a través de un filtro una cantidad determinada de aire ambiente durante un período de muestreo de 24 hrs. (Figura 3). La velocidad de flujo del aire ambiente y la geometría del muestreador son tales que favorecen la recolección de partículas hasta de 50 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro aerodinámico, dependiendo de la velocidad del viento y su dirección. Los filtros usados tienen una eficiencia de recolección mínima del 99 % para partículas de  $0.3 \mu\text{m}$ .

**a) Puerto Peñasco, Sonora**



**b) Guaymas, Sonora.**

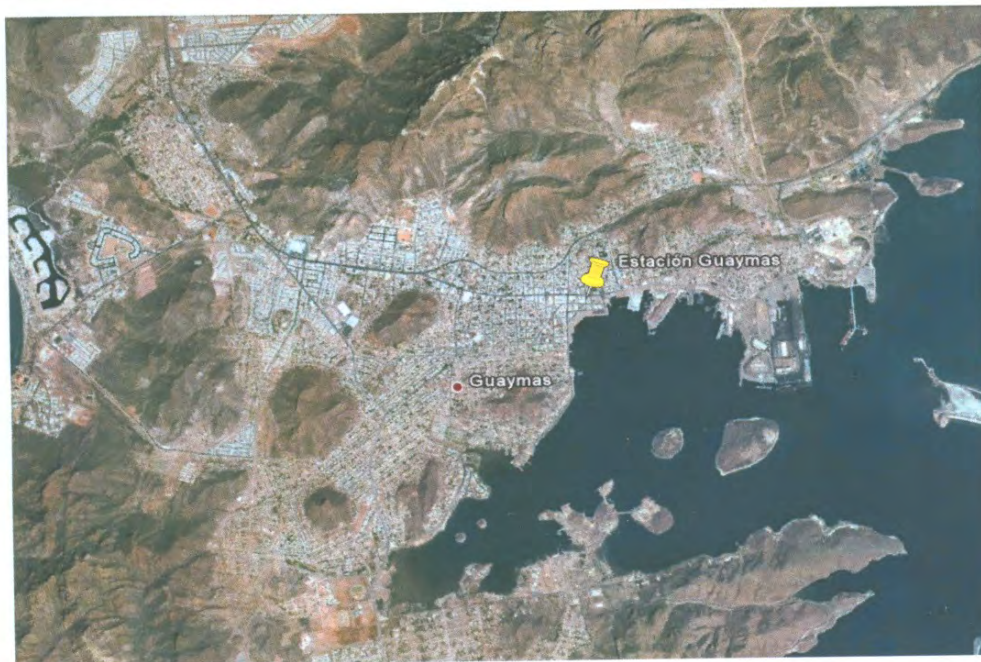


Figura 2. Localización de las Estaciones de Muestreo en: a) Puerto Peñasco;  
b) Guaymas.

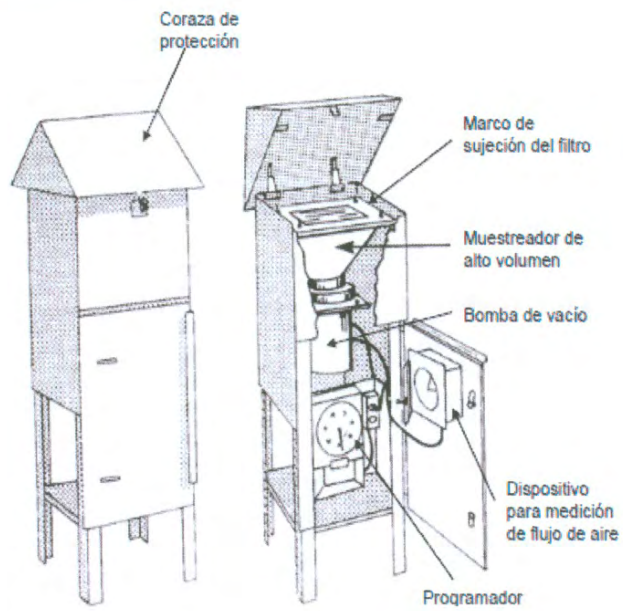


Figura 3 . Muestreador de alto volumen (HI-VOL).

## 6.2 Tratamiento del Material Utilizado

El material utilizado en el laboratorio se sometió a un estricto control para evitar una posible contaminación, principalmente de metales. El procedimiento de limpieza consistió en someter el material de cristalería a un lavado con detergente, enjuague con agua corriente y sumergirlo en una disolución de ácido nítrico al 20% (v/v) durante 3 días. Posteriormente, se enjuaga con agua deionizada, se seca y se guarda en bolsas de plástico para su posterior utilización.

## 6.3 Partículas Suspendidas Totales (PST)

El método de PST permite medir la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente mediante filtros que deben tener una eficiencia de recolección mínima del 99% para partículas de 0.3 micrómetros. El filtro se pesa antes y después de su uso en el muestreo, bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, para determinar su ganancia neta de peso (masa). El volumen total de aire muestreado, corregido a las condiciones de referencia, se determina a partir del flujo de aire ambiente medido y del tiempo de muestreo. La concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico patrón ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{ptn}$ ), corregidos a las condiciones de referencia.

## 6.4 Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr)

La metodología para la determinación de metales es la establecida bajo el procedimiento para la determinación de plomo en partículas suspendidas, recomendada en el CFR 40 (1992), cuyo principio se basa en coleccionar las partículas suspendidas en el aire en un filtro de fibra de vidrio, utilizando un muestreador de alto volumen.

Una vez secados los filtros y realizados los cálculos para la determinación de la concentración de PST, se realizó la determinación de metales en los filtros limpios (blancos de las muestras) y en los expuestos (muestras). Los metales del material particulado muestreado son solubilizados por extracción ácida con una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico, para posteriormente analizarse por espectrometría de absorción atómica por flama utilizando un equipo de absorción atómica PERKIN-ELMER, Modelo AAnalyst 400. La concentración de cada metal se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$\mu\text{g} / \text{m}^3 = ( \mu\text{g} / \text{mL} * 100 \text{ml} ) / \text{Volumen de aire filtrado en } \text{m}^3 .$$

Donde:  $\mu\text{g}/\text{mL}$  = lectura registrada por el Equipo de Absorción Atómica.

100 mL = Volumen de muestra analizada.

#### 6.5 Control de Calidad en el Análisis de las Muestras de Filtros

Con la finalidad de obtener datos confiables que sean precisos y exactos, se llevó a cabo un procedimiento de control de calidad en los métodos utilizados en el análisis químico de metales en las muestras de filtros.

Para esto, se siguió la metodología de control de calidad recomendada en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-115-SCFI-2001 y de la Environmental Protection Agency (EPA). El procedimiento de control de calidad consistió de un estricto control en los siguientes puntos:

1. Limpieza de los Equipos de Muestreo. La limpieza de los equipos de muestreo fue igual al presentado el apartado 6.2.
2. Procedimiento de Calibración y Frecuencia. El equipo analítico de laboratorio (balanza analítica, espectrofotómetro de absorción atómica) fué calibrado en base a los manuales del fabricante. Se utilizaron reactivos de alta pureza analítica y se elaboró una curva de calibración empleándose un mínimo de 3 estándares para la determinación de metales.



## 6.6. Indicadores de Calidad de los Datos

### 6.6.1 Precisión

La precisión es el grado de conformidad con que un grupo de mediciones realizadas bajo las mismas condiciones experimentales para una misma sustancia o propiedad, no diverge mucho de la media encontrada, es decir, presenta un coeficiente de variación pequeño (Clavijo, 2002). En el presente trabajo se evaluó la precisión mediante el análisis de réplicas de análisis repetidos de una muestra o estándar (CNA, 1993). La desviación estándar absoluta,  $S$ , describe la dispersión de las mediciones individuales alrededor de la media y viene dada por la fórmula (Harvey, 2002):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (6.6.1)$$

Donde:

$x_i$  = Es una de las mediciones individuales

$\bar{x}$  = Es la media

Para estimar la precisión de los métodos analíticos se utilizaron muestras fortificadas ( $n = 5$ ) con concentraciones del parámetro de interés a partir de reactivos de alta pureza analítica.

Los resultados se pueden apreciar en el Apéndice 1; Tabla 1a. En términos generales, se puede apreciar que la precisión obtenida para cada parámetro fue aceptable, ya que se obtuvieron valores bajos de desviación estándar ( $0.5 \text{ ppm} \leq 0.03$ ;  $1.0 \text{ ppm} \leq 0.3$ ;  $2.0 \text{ ppm} \leq 0.1$ ).

### 6.6.2 Exactitud

La exactitud de una medición es el grado de concordancia del resultado de la misma comparada con el valor verdadero del objeto que está siendo medido. En la presente investigación los resultados obtenidos se expresan como porcentaje de recuperación:

$$\text{Recuperación (\%)} = a/b \times 100 \quad (6.6.2)$$

Donde:

a = Concentración adicionada a la muestra

b = Concentración medida en la muestra

Se utilizó el criterio de aceptación de  $\pm 16\%$  como porcentaje de diferencia utilizado por EPA (1998). En la presente investigación se llevaron a cabo determinaciones de tres muestras de concentración conocida de estándares de alta pureza analítica (0.5, 1.0, 2.0 ppm), para cada uno de los metales estudiados, los cuales se analizaron al principio, en medio y al final de la corrida del análisis de las muestras. Con base en el criterio de aceptación y los valores de concentración de recuperación presentados en el Apéndice 1; Tabla 1a, se establece que en ninguna de las pruebas de recuperación se rebasó el criterio de calidad aceptable para exactitud.

### 6.6.3 Límite de Detección del Instrumento (L.D.)

En la presente investigación se utilizó el criterio del Límite de Detección, como la cantidad de concentración del analito que proporciona una señal igual a la señal del blanco (YB), más tres veces la desviación estándar del blanco (SB) (Miller y Miller, 1993):

$$\text{YLDI} = \text{YB} + 3\text{SB} \quad (6.6.3)$$

El criterio de aceptación para los límites de detección de los métodos utilizados son los siguientes: Para PST la norma NOM-035-SEMARNAT-1993 (DOF, 1993) establece un rango de aceptación de 2 a 750  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para Plomo el método utilizado establece un límite de detección de 0.07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (CFR 40, 1992). De acuerdo a los resultados obtenidos, el valor del L.D analítico para plomo fue de 0.01mg/L, con este dato y considerando un volumen de muestreo de 2,400  $\text{m}^3$ , se obtiene un L.D. en aire de 0.005  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De manera igual que para el plomo, se calculó el límite de detección en el aire de los demás metales (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de Límite de Detección (LD) de Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr).

<b>Metal</b>	<b>Límite de Detección Analítico (<math>\mu\text{g}/\text{mL}</math>)</b>	<b>Límite de Detección en Aire Ambiente (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
Pb	0.01	0.005
Cd	0.04	0.02
Ni	0.01	0.005
Cu	0.02	0.01
Cr	0.02	0.01

#### 6.7 Normas de Calidad y/o Criterios de Calidad del Aire, Utilizados en la Presente Investigación

Se analizaron los valores de concentración obtenidos para cada ciudad de acuerdo a lo establecido en la Norma NOM-025-SSA1-1993; así mismo se determinó el porcentaje de días por arriba del máximo permisible y se calculó el índice IMECA modificado por Cruz-Campas (2005).

Los criterios utilizados en la presente investigación con la finalidad de determinar la calidad del aire respecto a metales fueron los siguientes:

a) Plomo. NOM-026-SSA1-1993, correspondiendo a un valor de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un período de tres meses promedio aritmético (DOF, 1994).

b) Cadmio: El criterio de la WHO (2000 a), que establece un valor de  $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual.

c) Níquel: Se señalan los criterios establecidos por la Comisión de Comunidades Europeas (DIRECTIVA 2004/107/CE del 15 de diciembre de 2004), que fijan un valor para níquel de  $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio anual.

d) Cobre: Se señalan los criterios establecidos por la Ontario Ministry of the Environment (MOE) que fijan un valor para cobre de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 hrs.

e) Cromo: Se señalan los criterios establecidos en la Ontario Ministry of the Environment (MOE) provee una lista de criterios de calidad del aire ambiente (AAQCs) con valores máximos permisibles de Cromo en aire que fijan un valor de  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Partículas Suspendidas Totales (PST)

En la Tabla 3, se presenta un resumen de los valores mínimo, promedio y máximo de concentración de PST detectados en Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora.

Tabla 3. Concentración Mínima, Promedio y Máxima de Partículas Suspendidas Totales (PST), detectadas en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, durante el Período de Estudio (2010).

<b>Concentración (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Guaymas</b>	<b>Puerto Peñasco</b>
Mínimo	5.71	109.86
Promedio anual $\pm$ DE	98.455 $\pm$ 44.73	345.5 $\pm$ 210.27
Máximo	244.56	1239.13

DE = Desviación Estándar

En la Figura 4, se puede apreciar que en la estación ubicada en Guaymas, Sonora, se encontró que de los 32 días muestreados, solo el día 9 de diciembre del 2010 se rebasó el máximo permisible para 24 hrs., representando un 3.1% del total de las muestras analizadas.

Esto puede deberse al cambio de temperatura que se presentan en estas fechas lo cual pudo haber originado fuertes ráfagas de viento o tolvaneras lo que posiblemente causó el superar el máximo permisible por día. Las tolvaneras pueden asociarse a las famosas tormentas de arena que se dan en los desiertos. Otra causa pudo haber sido las emisiones al aire de la termoeléctrica localizada en la ciudad de Guaymas que son una de las fuentes más importantes de contaminación al aire de esta ciudad.

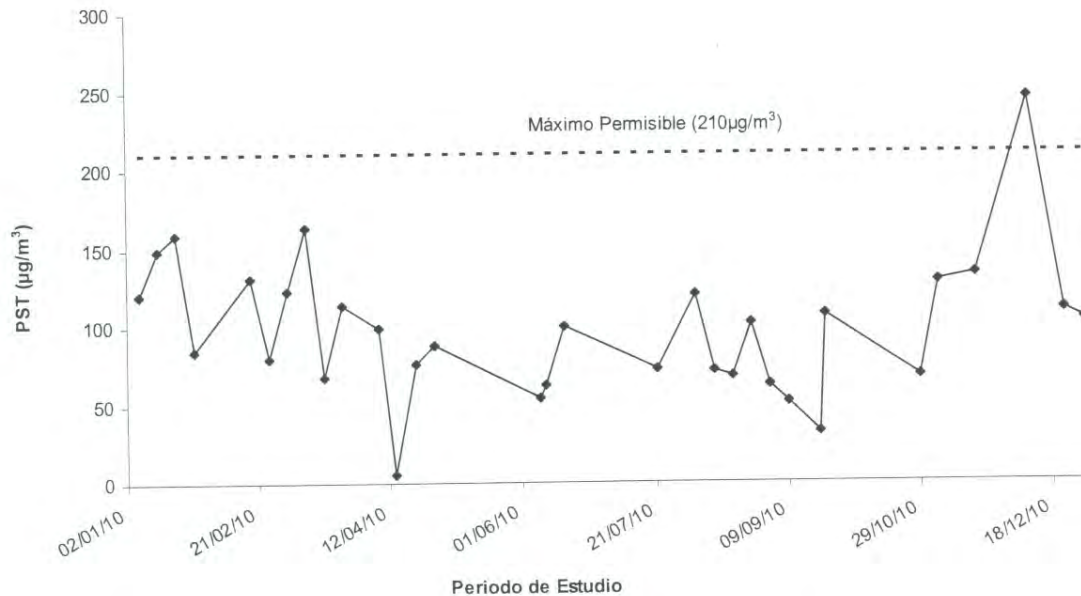


Figura 4. Comportamiento de la Concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) en la Ciudad de Guaymas, Sonora, durante el Período de Estudio 2010.

Con respecto a la estación en Puerto Peñasco, de los 40 días que se muestrearon, en 29 días se rebasó el máximo permisible de  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 hrs. representando así un 72% de los días muestreados. En la Figura 5, se puede apreciar que el pico más alto se registró el 21 de septiembre del 2010 con una concentración de  $1239.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y que a partir del mes de febrero del 2010 se comenzó a elevar la concentración de PST rebasando el máximo permisible.

Esto posiblemente se debe a que la ciudad de Puerto Peñasco presenta un severo problema de contaminación atmosférica por polvo suspendido debido al tráfico vehicular sobre calles sin recubrimiento exacerbado por la acción de los vientos predominantes. Por otra parte, es importante señalar que la ciudad está situada junto al desierto y que cualquier tolvanera podría elevar los niveles de concentración de partículas suspendidas en el aire que son muy comunes en este tipo de ecosistemas.

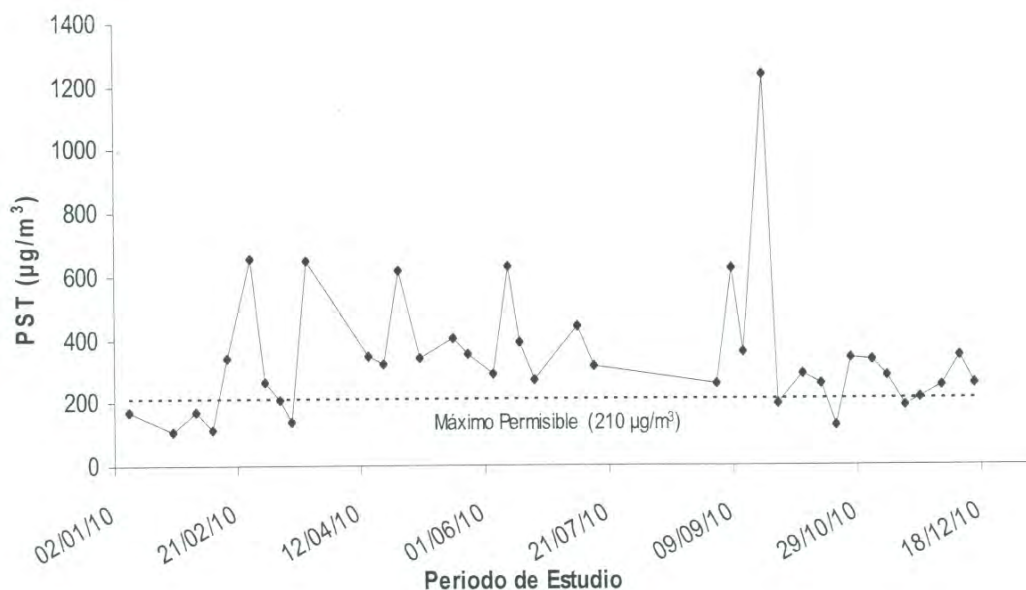


Figura 5. Comportamiento de la Concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) en la Ciudad de Puerto Peñasco, Sonora, durante el Periodo de Estudio 2010.

Realizando una comparación entre las dos ciudades ya mencionadas, se puede señalar que para Guaymas solo se rebasó el 3.1% de días, mientras que en Puerto Peñasco el 72% de días (Figura 6). Cabe mencionar que Puerto Peñasco es uno de los centros de población en el que su territorio es generalmente plano y también se compone de buena parte del desierto de Altar y de la zona volcánica Sierra El Pinacate.

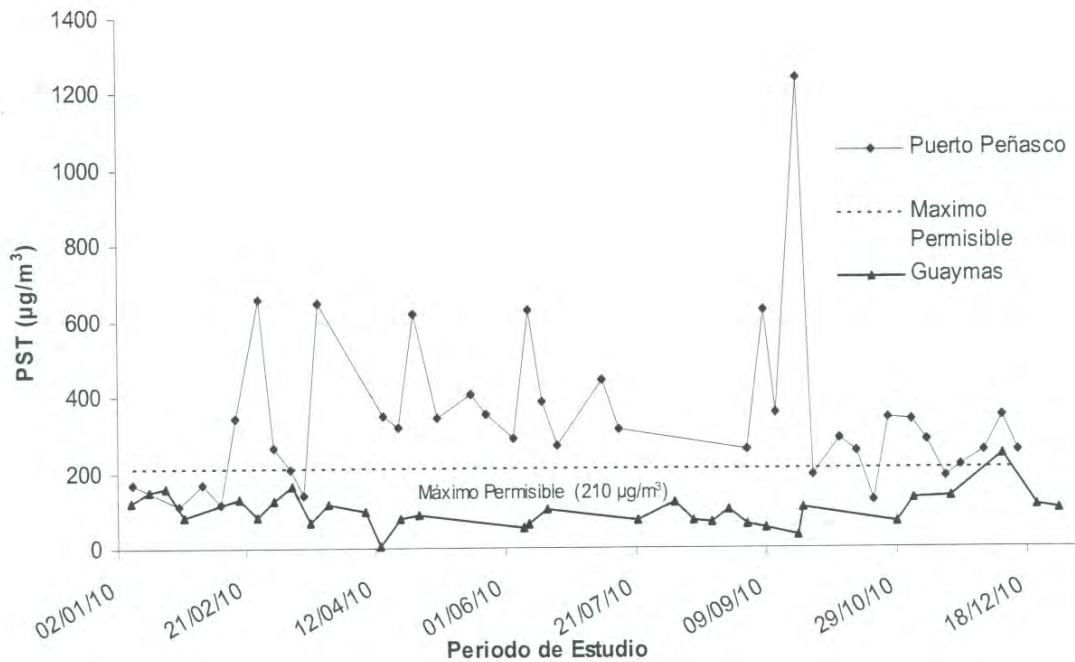


Figura 6. Comparación de la Concentración de Partículas Suspendidas Totales en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora.

### 7.1.1 Promedio o Mediana Mes a Mes

Este indicador muestra el cambio de las concentraciones de un contaminante a lo largo de un año mostrando los valores típicos de cada uno de los meses. Se obtiene como el promedio (la mediana) de los registros horarios o diarios de cada mes de un periodo de tiempo, y permite asociar la concentración de los contaminantes con la intensidad de las actividades antropogénicas o patrones meteorológicos.

En la Tabla 5 se presentan los valores promedio mensual de concentración de PST para las ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco. En la Figura 7, se muestran las gráficas de dichos valores durante el período anual analizado.



Es importante aclarar que las altas concentraciones de PST tienen numerosos efectos, muchos de los cuales constituyen la contaminación atmosférica, el más obvio de estos es la reducción y distorsión de la visibilidad. Además el sistema respiratorio puede ser dañado directamente por la materia particulada fina que entra a través de los pulmones (Manahan, 2007).

En la Tabla 4 se presentan los valores promedio mensual de concentración de PST ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para cada ciudad. Se destaca Puerto Peñasco con valores promedio mensual más elevados que Guaymas, siendo el valor promedio mensual más alto de  $536 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en septiembre para Puerto Peñasco y para Guaymas  $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el mes de diciembre.

Tabla 4. Valores Promedio Mensual de Partículas Suspendidas Totales (PST  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México, durante el Año 2010.

<b>Mes</b>	<b>Puerto Peñasco</b>	<b>Guaymas</b>
Enero	139	128
Febrero	321	106
Marzo	315	117
Abril	429	67
Mayo	366	--
Junio	395	72
Julio	377	72
Agosto	--	90
Septiembre	536	63
Octubre	255	68
Noviembre	256	131
Diciembre	286	153

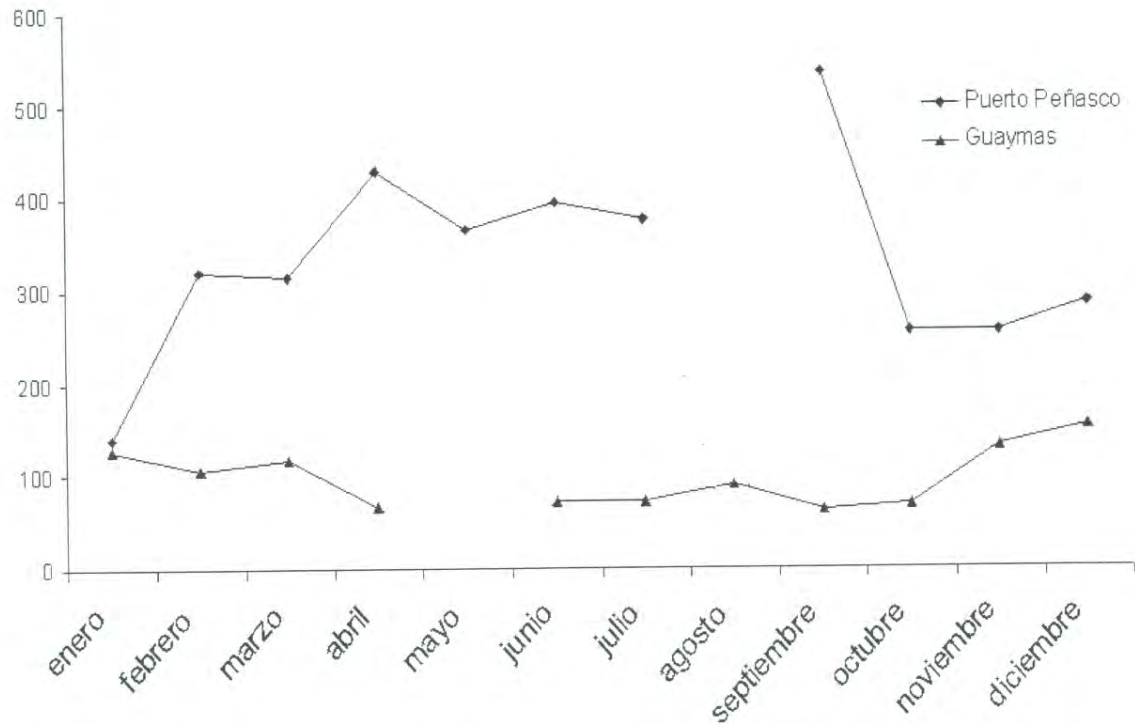


Figura 7. Comportamiento de la Concentración Promedio Mensual de Partículas Suspendidas Totales (PST  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México durante el año 2010.

#### 7.1.2 Percentil 98

La frecuencia máxima aceptable con que se permite rebasar el valor límite es del 2% de las concentraciones diarias en un año, es decir, si la concentración (medida) ubicada en el percentil 98 de las mediciones válidas en el año rebasa el límite permisible, entonces no se cumple con la norma. El Percentil 98 sirve para evaluar el valor límite permisible para la concentración de partículas PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ . De acuerdo a la norma NOM-025-SSA1-1993 (SSA, 2005) para poder verificar la observancia de esta Norma se requerirá de un mínimo de datos en un año. Este mínimo se evalúa a partir de la cantidad de muestras de 24 horas válidas obtenidas en cada uno de los cuatro trimestres del año, así para cada trimestre se requerirá un mínimo de 75% de muestras válidas.

En los sitios donde el monitoreo no se realice diariamente se tomará como base el número de muestreos calendarizados para dicho periodo, caso que corresponde al muestreo de PST en Sonora. Si la cantidad de muestras es menor al 75% se invalidará el trimestre correspondiente y para la validación del año es necesario contar con al menos tres trimestres válidos, en caso contrario no podrá evaluarse el cumplimiento de la norma para ese año.

De los resultados obtenidos (Tabla 5), se desprende que no es posible evaluar el cumplimiento de PST en las ciudades de Puerto Peñasco y Guaymas debido a que no se cumplió con los criterios de cobertura de datos de al menos el 75% de muestras válidas al menos en tres trimestres.

Tabla 5. Evaluación del Criterio de Cobertura para Muestreos de Partículas Suspendidas Totales (PST) Realizados en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, durante el año 2010 según la NOM-025-SSA1-1993.

Trimestre	Muestras esperadas	75% del esperado	Muestras validas por ciudad y cumplimiento de criterio de completión de datos (S: Sí, N: No)			
			Puerto Peñasco		Guaymas	
			Muestras	Cumple	Muestras	Cumple
Ene-Mar	15	11	10	N	10	N
Abr-Jun	16	12	10	N	7	N
Jul-Sep	15	11	7	N	9	N
Oct-dic	14	10	11	S	6	N

### 7.1.3 Número de Días Arriba del Límite

Este indicador se obtiene como el conteo de días por arriba del valor límite establecido en las normas de calidad del aire e indica el impacto que tiene la contaminación por un contaminante específico en una región dada, es un indicador complementario a los de la evaluación del cumplimiento de las normas de calidad del aire. La información que genera este indicador es equivalente a la que proporciona el indicador “porcentaje de días arriba del límite” y se obtiene como la división del número de días por arriba del valor límite establecido en las normas entre el total de días con concentraciones válidas del período a analizar.

Se estableció que la ciudad Puerto Peñasco reporta un 72.5% de días que rebasan el valor límite, y Guaymas un 3.1%. Se observó que la ciudad con mayor número de días con mala calidad del aire fue Puerto Peñasco con 29, y Guaymas con 1.

### 7.1.4 Índice de Calidad del Aire

Con la finalidad de determinar la calidad del aire respecto de PST para las dos ciudades de Sonora a partir de índices comúnmente usados, se utilizó el algoritmo del Índice Uniforme de Calidad del Aire (CFR 40, 1992) también usado por el Pollutants Standards Index (PSI) en EUA y por el IMECA en México, complementándolo con la variante utilizada por Cruz-Campas (2005) consistente en obtener el promedio de las concentraciones que rebasaron el valor máximo normado en cada ciudad durante el año en estudio, y con él calcular el índice antes señalado para cada ciudad para ese período (Tabla 6).

Tabla 6. Índice de Calidad del Aire basado en el IMECA para PST en las Ciudades Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México, durante el Año 2010 Considerando el Promedio de los Días en que se rebasó el Valor Límite Normado por Ciudad y Propuesta de Quntos de quiebre.

Ciudad	Concentración promedio de los días en que se rebasó el límite normado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Algoritmo de cálculo del Índice	Resultado del Índice de Calidad del Aire	Condición o Calificación de la Calidad del aire
Guaymas	245	$I = ((200 - 100) / (441 - 210)) \times (\text{promedio} - 210) + 100$	115	No Satisfactoria
Puerto Peñasco	404		184	

Es pertinente señalar que en México, el Gobierno del Distrito Federal (2006), estableció una nueva clasificación para el IMECA en la Norma NADF-009-AIRE-2006, quedando la calidad de aire como: Buena de 0 a 50, regular de 51 a 100, mala de 101 a 150, muy mala de 151 a 200 y extremadamente mala cuando el valor es mayor de 200 puntos IMECA.

#### 7.1.5 Distribución de Días con Calidad del Aire Buena, Regular y Mala

A partir de la búsqueda de un calificativo comprensible y que facilite a la población interpretar la calidad del aire, surge la clasificación de los días con buena, regular y mala calidad del aire (SEMARNAT, 2011) y que se definen de acuerdo con el valor diario obtenido y las siguientes consideraciones: Los días con calidad del aire buena ocurren cuando el dato diario se ubica en el intervalo definido entre cero y la mitad del límite respectivo especificado en la norma

referente a la salud; que los días con calidad del aire regular ocurren cuando el dato diario se ubica en el intervalo definido entre la mitad del límite y el límite mismo y que los días con mala calidad del aire ocurren cuando el dato diario rebasa el límite especificado.

En la Figura 8, se muestra un resumen y comparativo considerando los días y el porcentaje de cada tipo de calidad del aire según ciudad durante el período de muestreo.

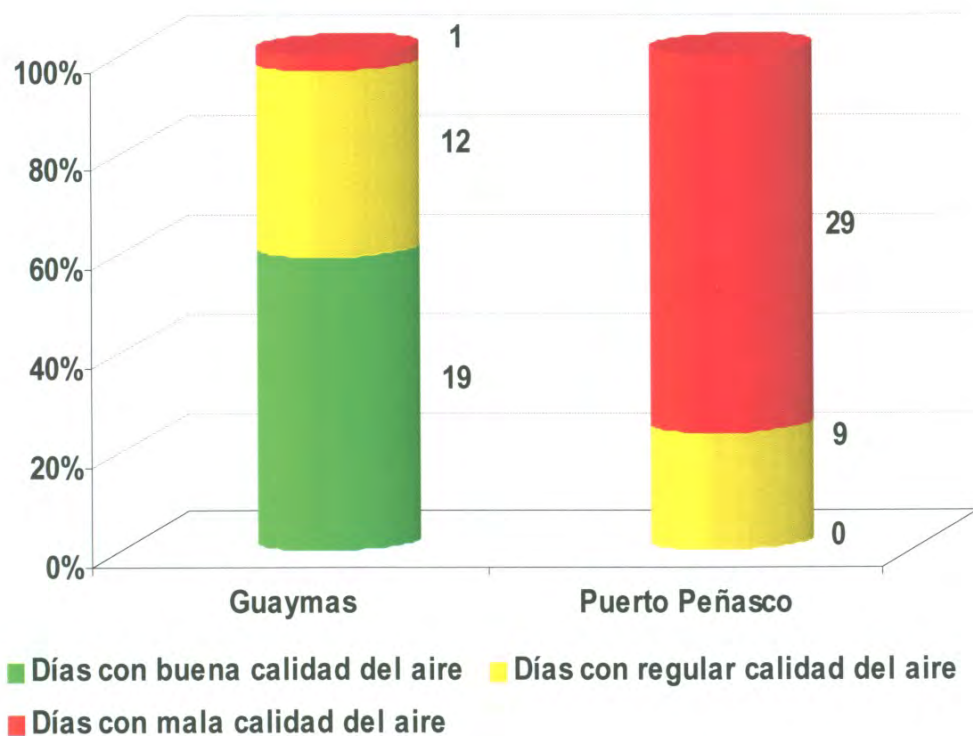


Figura 8. Comparación gráfica de Días con Buena, Regular y Mala Calidad del Aire en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México, durante el Año 2010.

## 7.2 Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr)

En la Tabla 7, se presenta el resumen de los valores de concentración de metales considerando el mínimo, promedio y máximo por ciudad en el periodo de estudio. Respecto de los resultados obtenidos y de acuerdo a la Tabla 3 en la que se presentan los valores de Límite de Detección (LD) obtenidos para cada metal, es importante señalar que aunque fue posible identificar bajas concentraciones de metales, un porcentaje importante de dichos valores de concentración se encuentran por debajo de esos LD, como se describen a continuación.

En las Tablas 3a y 3b del Apéndice 3, se presentan los valores de concentración de Pb, Cd, Ni, Cu, Cr detectados en aire ambiente para los días muestreados en cada ciudad. Respecto al Pb para la ciudad de Guaymas de los 32 filtros analizados se identificaron 9 valores por debajo del límite de detección ( $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) representando el 28% del total, mientras que para el 72% restante si fue posible determinar su concentración obteniéndose un máximo en el mes de agosto ( $0.237 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De las 40 muestras de Puerto Peñasco 35 estuvieron por abajo del límite de detección lo que significa un 87.5 % del total. Con respecto al 12.5 % restante si fue posible estimar su concentración, observándose que en los meses de febrero y diciembre fué cuando se registró la concentración más alta ( $0.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Tabla 7. Valores de Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de Metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) detectados en el Aire Ambiente en las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora.

<b>Metal</b>	<b>Valor</b>	<b>Guaymas</b>	<b>Puerto Peñasco</b>
Pb	Mínimo	ND	ND
	Promedio anual ( $\pm$ DE)	$0.045 \pm 0.049$	$0.003 \pm 0.010$
	Máximo	0.237	0.044
Cd	Mínimo	ND	ND
	Promedio anual ( $\pm$ DE)	ND	ND
	Máximo	ND	ND
Ni	Mínimo	ND	ND
	Promedio anual ( $\pm$ DE)	$0.011 \pm 0.010$	$0.016 \pm 0.008$
	Máximo	0.43	0.039
Cu	Mínimo	ND	ND
	Promedio anual ( $\pm$ DE)	$0.209 \pm 0.365$	$0.103 \pm 0.081$
	Máximo	2.083	0.313
Cr	Mínimo	ND	ND
	Promedio anual ( $\pm$ DE)	$0.0079 \pm 0.0102$	ND
	Máximo	0.0295	ND

DS = Desviación Estándar

ND = No Detectable, <L.D (Pb, Ni,  $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); (Cd,  $0.020 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); (Cu, Cr,  $0.010 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En relación al Cd, es importante señalar que no se detectaron concentraciones por arriba del límite de detección ( $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), tanto para la ciudad de Guaymas como para la Ciudad de Puerto Peñasco.

En relación al Ni para la ciudad de Guaymas se identificaron 9 valores por abajo del límite de detección ( $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de los 32 filtros analizados, representando el 28% del total. Cabe señalar que la concentración máxima se registró en el mes de febrero con un valor de  $0.043 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para la ciudad de Puerto Peñasco se identifican 2 concentraciones por abajo del límite de detección de las 40 determinaciones realizadas, lo que significa un 5 % del total de las muestras. La máxima concentración obtenida fue en el mes de septiembre con un valor de  $0.039 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Referente al Cu, para la ciudad de Guaymas, se observó que de las 32 muestras analizadas, solamente una presentó una concentración menor al límite de detección ( $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), representando el 3.1% del número total. En el mes de agosto se registró la concentración máxima ( $2.083 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Para la ciudad de Puerto Peñasco no se detectaron concentraciones menores al límite de detección, y durante el mes de julio fué cuando se presentó la máxima concentración ( $0.313 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Finalmente, en relación al Cr para la ciudad de Guaymas se identificaron 19 valores menores al límite de detección ( $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), de estos un 59.3% de las 32 muestras analizadas. Respecto a la ciudad de Puerto Peñasco, todos los resultados obtenidos estuvieron por abajo del límite del detección.

#### 7.2.1 Comparación con los Valores Máximos Permisibles o Criterios Seleccionados

En la Figura 9, se presenta la gráfica de la concentración de metales detectada en la ciudad de Guaymas. Respecto a la ciudad de Puerto Peñasco la concentración de metales y su comparación con el máximo permisible se muestra en la Figura 10.

7.2.1.1 Plomo. En México existe máximo permisible establecido en la NOM-026-SSA1-1993 correspondiendo a un valor de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un periodo de tres meses promedio aritmético. Como puede observarse en la Tabla 8, ninguna de las dos ciudades rebasó el máximo permisible señalado en la Norma Mexicana citada.

Tabla 8. Concentración Promedio Trimestral de Plomo en el Aire Ambiente para Guaymas y Puerto Peñasco durante el Año 2010.

Trimestre	Guaymas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Puerto Peñasco ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Enero-Marzo	0.031	0.006
Abril-Junio	0.040	0.001
Julio-Septiembre	0.068	0.000
Octubre-Diciembre	0.033	0.005

*RBC T. 130182*

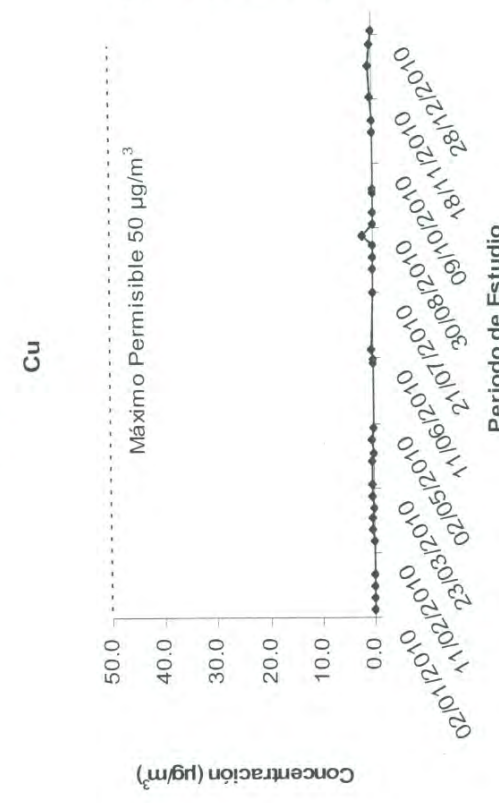
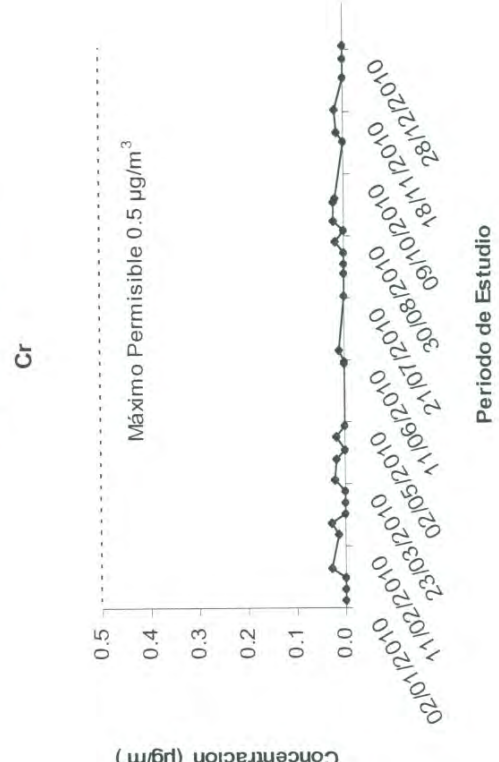
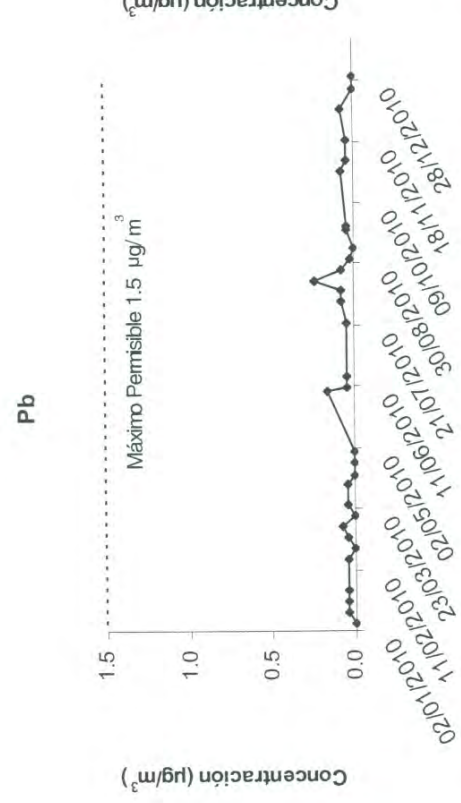
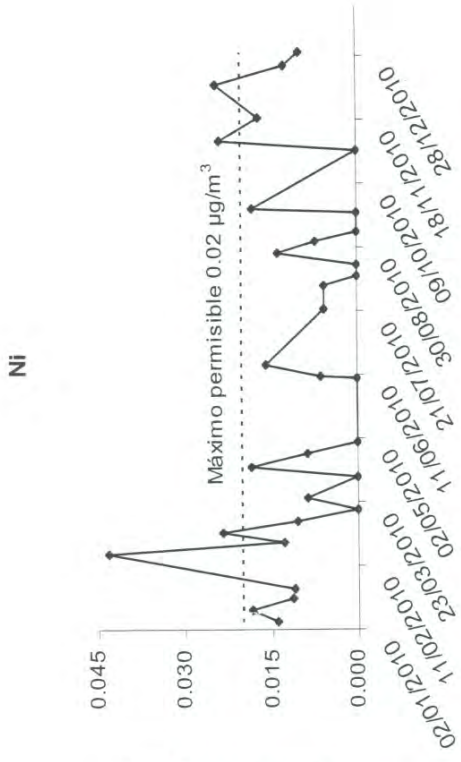


Figura 9. Concentraciones Detectadas de (Pb, Ni, Cu, Cr) en el Aire Ambiente de la Ciudad de Guaymas, Sonora, México, para el Período Anual 2010.

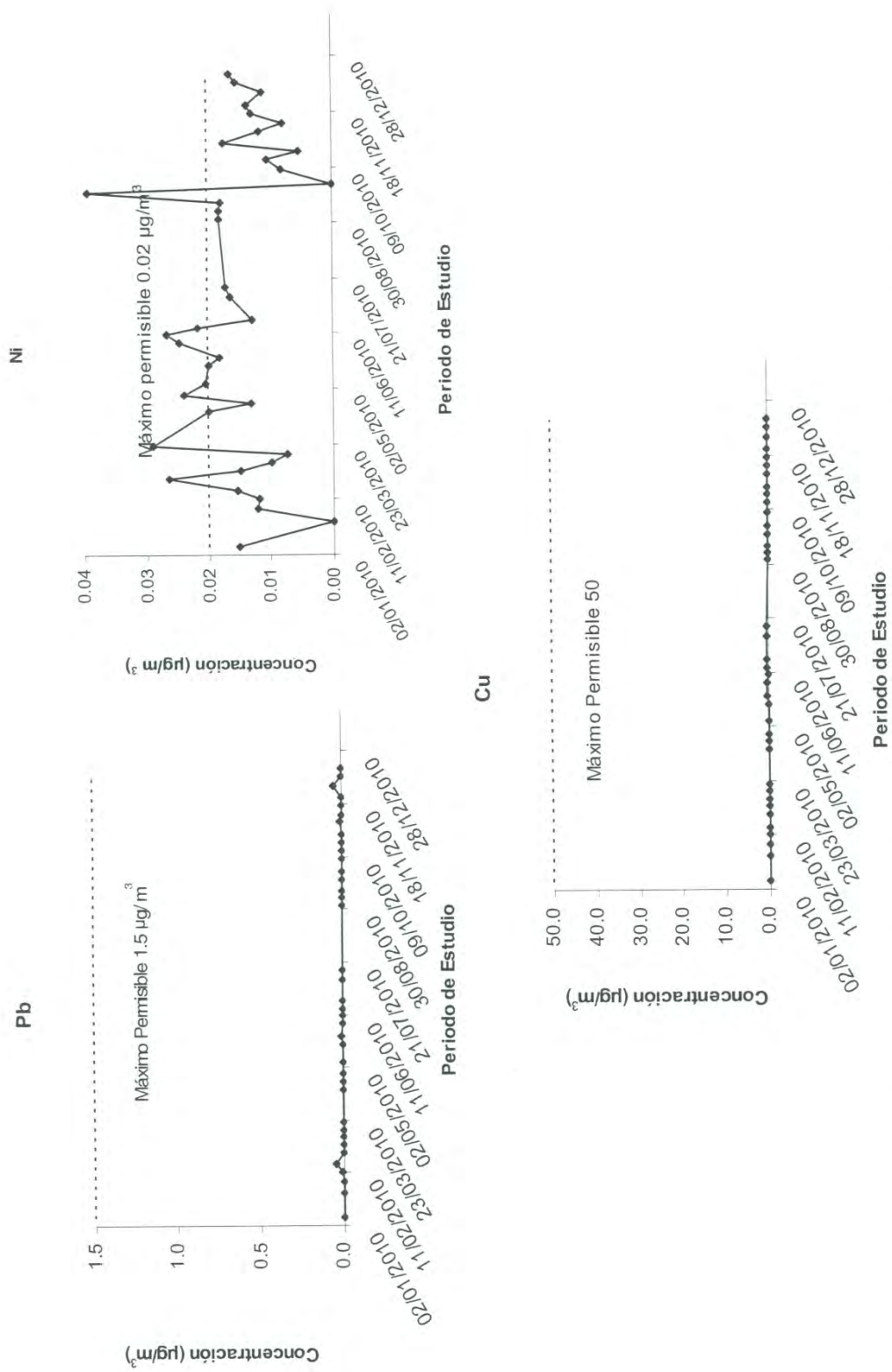


Figura 10. Concentraciones Detectadas de (Pb, Ni, Cu, Cr) en el Aire Ambiente de la Ciudad de Puerto Peñasco, Sonora, México, para el Periodo Anual 2010.

7.2.1.2 Cadmio. En México no existe normatividad sobre este metal, sin embargo a nivel internacional existen criterios como el de la WHO (2000 a), que establece un valor de  $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual, similar al establecido por la Comisión de Comunidades Europeas (2005). En este estudio, los valores de concentración en ambas ciudades estuvieron por abajo del límite de detección ( $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Tablas 3a y 3b (Apéndice 3).

7.2.1.3 Níquel. En México no existen normas respecto de valores máximos permisibles de níquel en aire. Sin embargo, para fines de establecer la calidad del aire basado en las concentraciones detectadas de este metal, en el presente estudio se señalan los criterios establecidos por la Comisión de Comunidades Europeas (2005), que fijan un valor para níquel de  $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio anual. De acuerdo a la Tabla 9, los promedios obtenidos de concentración de níquel en el periodo anual analizado fueron  $0.011 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Guaymas y de  $0.016 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Puerto Peñasco, ambos por debajo del criterio seleccionado.

7.2.1.4 Cobre. En México no existen normas referentes a valores máximos permisibles de Cobre en el aire. Por lo tanto, para fines de establecer la calidad del aire basado en las concentraciones detectadas de este metal, en el presente trabajo se señalan los criterios establecidos por la Ontario Ministry of the Environment (MOE). Que fija un valor para cobre de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 hrs. De acuerdo a la Tablas 3a y 3b (Apéndice 3), los valores obtenidos de concentración de cobre en el periodo anual analizado en las dos ciudades estuvieron por abajo del límite permisible, ya que para la ciudad de Guaymas se obtuvo un valor promedio de  $0.209 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de  $2.083 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; mientras que para la Ciudad de Puerto Peñasco se registró un promedio de  $0.103 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de  $0.313 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estos datos se pueden apreciar en la Tabla 9, identificándose que las dos ciudades se encuentran por abajo del criterio establecido por la Ontario Ministry of the Environment (2012), y no representan un peligro para la salud.

7.2.1.5 Cromo. En México no existe normatividad sobre este metal, sin embargo la Ontario Ministry of the Environment (MOE) provee una lista de criterios de calidad del aire (AAQCs) con valores máximos permisibles de Cromo en aire que fijan un valor de  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas. La ciudad de Guaymas no rebasó el criterio establecido por la Ontario Ministry of the Environment (Apéndice 3; Tabla 3a). Con respecto a Puerto Peñasco, los valores de concentración de cromo estuvieron muy por debajo del límite de detección ( $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 7.3 Comparación de la Calidad del Aire de las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, con respecto a otras Ciudades de México.

Comparando las ciudades de estudio con otras ciudades del país, se puede apreciar que la ciudad de Puerto Peñasco registró una muy alta concentración de PST, rebasando por mucho a ciudades como Torreón, Coahuila de Zaragoza y Cd. México (Tabla 9). La Ciudad de Guaymas se mantuvo por debajo de las concentraciones registradas por todas estas ciudades, sin embargo, aun así rebasó un día el máximo permisible que marca la NOM-025-SSA1-2005, el cual es de  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio de 24 hrs.

Tabla 9. Comparación de las Ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, con otras Ciudades de México respecto a PST y Metales.

Ciudad	Concentración máxima de PST ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentración máxima de metales ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					Referencias
		Pb	Cd	Ni	Cu	Cr	
Guaymas (2010)	244.56	0.42	0.01	0.39	2.08	0.03	Este Estudio
Puerto Peñasco (2010)	1239.13	0.11	0.01	0.04	0.39	0.005	Este Estudio
Hermosillo (2001)	610.82	0.08	0.009	0.03	0.21	0.028	(Cruz – Campas,2005)
Coatzacoalcos (2011)	300	NA	NA	NA	NA	NA	<a href="http://www.eltotonacapan.com/nota/20679/respira-coatza-aire-de-mala-calidad.html">http://www.eltotonacapan.com/nota/20679/respira-coatza-aire-de-mala-calidad.html</a>
Tabasco (2011)	NA	8.7	NA	NA	NA	NA	<a href="http://ddt.mx/metales-pesado-en-el-aire-de-tabasco/">http://ddt.mx/metales-pesado-en-el-aire-de-tabasco/</a>
Cd. México (2011)	325	NA	NA	NA	NA	NA	<a href="http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/informes/informe2011/">http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/informes/informe2011/</a>
Torreón (2007)	335	1.1	NA	NA	NA	NA	<a href="http://www.semarnat.gob.mx/tema/gestionambiental/calidaddel aire/Documents/">http://www.semarnat.gob.mx/tema/gestionambiental/calidaddel aire/Documents/</a>

NA = No Analizada

## 8. CONCLUSIONES

### 8.1 Partículas Suspendidas Totales (PST)

Se observó que en las dos ciudades se rebasa en alguna época del año el valor límite señalado por la NOM-025-SSA1-1993 (DOF, 2005). La ciudad de Puerto Peñasco en la que más frecuentemente ocurre, ello pudiera atribuirse al tipo de zona desértica caracterizada por tolváneras y tormentas de arena, condiciones que propician altas concentraciones de partículas en el aire ambiente.

En lo relativo a los indicadores relacionados con las normas, se identificó que en las dos ciudades (Guaymas y Puerto Peñasco) no se cumplió con los criterios de cobertura señalados por la norma, por lo que no fue posible determinar si los sitios de muestreo cumplieron con la norma. En cuanto al número de días por arriba del límite de PST ( $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se identificó que Guaymas presenta solo un día y Puerto Peñasco 29 días.

Utilizando el algoritmo del IMECA modificado por Cruz-Campas, 2005 se estableció que la calidad del aire fue No Satisfactoria para las dos ciudades durante el período de estudio.

En cuanto a la distribución de días con mala calidad del aire según la metodología de SEMARNAT (2011), coinciden con los días por arriba del límite descritos al principio de este párrafo.

De acuerdo a lo anterior, la calidad del aire para las ciudades Puerto Peñasco y Guaymas para el año 2010 fue No Satisfactoria



## 8.2 Metales

Se estableció que en ambas ciudades las concentraciones de plomo durante el período de estudio 2010 no rebasaron el criterio de calidad del aire para plomo, establecido en la Norma NOM-026-SSA1-1993 y es de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio aritmético trimestral).

En cuanto al cadmio es pertinente aclarar que no fue posible determinar la calidad del aire para ninguna de las dos ciudades debido a que la metodología utilizada no permitió obtener análisis por debajo de la concentración utilizada como criterio de calidad del aire.

La calidad del aire para el periodo de estudio 2010 respecto del níquel, en base al criterio propuesto por la comunidad Europea (EC, 2003) de  $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual, no fue rebasado en ninguna de las dos ciudades.

La concentración de cobre mas alta detectada en el aire ambiente de Guaymas fue de  $2.083 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y de Puerto Peñasco fue de  $0.313 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , las cuales son mucho menores al criterio utilizado en la presente investigación como indicador de la calidad del aire ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas).

En lo referente al cromo, el valor mas alto detectado en el aire de la ciudad de Guaymas fue de  $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El cual es menor al criterio de referencia seleccionado.

Si bien es cierto que para los metales analizados, no se rebasaron los máximos permisibles o criterios seleccionados, solo puede concluirse que durante el período de estudio no representaron un riesgo a la salud de la población, sin embargo debido a las concentraciones de partículas suspendidas totales, se concluye que la calidad del aire para ambas ciudades fue no satisfactoria.

## 9. RECOMENDACIONES

- Continuar con el monitoreo periódico de metales y otros contaminantes en el aire, para evaluar su evolución y poder tomar acciones para eliminar el daño a la salud por el fenómeno de la contaminación de aire.
- Asegurar la disponibilidad de recursos tanto humanos como económicos para programas de calidad del aire, ya que estos deben tener carácter de permanente, al catalogarse la calidad del aire como un indicador de la salud y bienestar de la población.
- Realizar estudios por parte de las instancias de salud, para establecer las causas y efectos de la contaminación del aire en los habitantes.
- Se recomienda la implementación de un Programa de Control de Calidad Analítico para garantizar la calidad de los datos obtenidos en estudios de calidad de aire.
- Establecer una estructura operativa que permita detectar los eventos de riesgo a la salud (contingencias), y la ejecución oportuna y eficaz de acciones de control por las distintas instancias involucradas
- Se recomienda utilizar una metodología de análisis que tenga límites de detección para cadmio y cromo menores a los valores establecidos en las normas y criterios de calidad del aire, con el objeto de que pueda realizarse una comparación. Esto es debido a que la metodología disponible al inicio y durante el desarrollo de la presente investigación, presentaban límites de detección superiores a los valores máximos permisibles.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Alloway, B.J. and Ayres, D.C., 1993. Chemical Principles of Environmental Pollution. Blackie Academic & Profesional. London.

Barceloux, D.G. 1999. Journay of Toxicology. Clinical Toxicology. Volume 37. Number 2. Arcel Dekker, Inc

Canter, L.W., 1997. Air Pollution Ch. 5, In: Environmental Engineers' Handbook. D.H.F. Liu and B.G. Liptak (Eds.), p. 232-331. Lewis Publishers, Boca Raton, New York.

CFR (Code of Federal Regulations), 1992. Title 40, Part 50 - 58. Environmental Protection Agency. US Government.

Clavijo, A. 2002. Fundamentos de la química analítica. Equilibrio iónico y análisis químico. Primera Edición. p.69. Preparación editorial e impresión Universidad Nacional de Colombia –UNILIBROS.

Cruz – Campas, M. E. 2005. Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales pesados (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante el periodo junio de 2001 a mayo de 2002. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora. Pág. 81.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. 18 de octubre de 1993.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la

concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. 18 de octubre de 1993.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. 23 de diciembre de 1994.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. 23 de diciembre de 1994.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2005. Norma MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros  $PM_{10}$  y partículas menores de 2.5 micrómetros  $PM_{2.5}$  en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población, para quedar como Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros  $PM_{10}$  y partículas menores de 2.5 micrómetros  $PM_{2.5}$  de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire. 26 de septiembre de 2005.

EPA (Environmental Protection Agency). 1990. National Ambient Air Quality Standards, NAAQS. U.S.A.

EPA (Environmental Protection Agency). 1998. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II: Part 1. EPA-454/R-98-004. August 1998.

Harvey, D. 2002. Química Analítica Moderna. Editorial GrawHill/Interamericana. México, D.F. 571p.

<http://ddt.mx/metales-pesado-en-el-aire-de-tabasco/>

Jiménez, B.E. 2002. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Grupo editorial LIMUSA, Colegio de ingenieros ambientales en México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA.

Manahan, S. E., 2007. Introducción a la química ambiental. Primera Edición 2007. p. 402-403 Editorial REVERTÉ.

Martínez, E.J., 2010. Química II. Con enfoque en competencias. p. 73-74. Editorial CENGAGE Learning.

Molina, L.T y Molina, M.J. 2005. La calidad del aire en la megaciudad de México: Un Enfoque Integral. Primera Edición en Español 2005. Editorial Fondo de Cultura Económica.

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental. Reporte 2000.

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2003. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales.

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2011. Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas

(2000-2009). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. pp. 362-363, 410 p.

Shen, T.T. 1999. Industrial Pollution Prevention. 2<sup>nd</sup> edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Ed.). Alemania.

Trejo-Vázquez, R. 2006. El IMECA: Indicador del grado de contaminación de la atmósfera. Conciencia Tecnológica, Ene-Jun, No 031. Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México. Pp. 50-53.

WHO (World Health Organization), 2000a. Air Quality Guidelines. Second Edition. Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark

WHO (World Health Organization), 2000b. Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution. Report EUR/01/5026342 E74256

WHO (World Health Organization), 2003. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report

[www.cocef.org/aproyectos/462\\_PCD\\_Penasco\\_Esp.pdf](http://www.cocef.org/aproyectos/462_PCD_Penasco_Esp.pdf)

[www.eltotonacapan.com/nota/20679/respira-coatza-aire-de-mala-calidad.html](http://www.eltotonacapan.com/nota/20679/respira-coatza-aire-de-mala-calidad.html)

[www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales#arriba](http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales#arriba)

[www.intrabec.cocef.org/programs/intranetnotasperiodico/.../licitan.pdf](http://www.intrabec.cocef.org/programs/intranetnotasperiodico/.../licitan.pdf)

[www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/GUAYMAS.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/GUAYMAS.htm)

[www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/GUAYMAS.htm](http://www.mexico-tenoch.com/gobernadores/sonora/GUAYMAS.htm)

[www.mexicotoxico.org.mx/comision-federal-de-electricidad-cfe-central-termoelectrica-guaymas-i](http://www.mexicotoxico.org.mx/comision-federal-de-electricidad-cfe-central-termoelectrica-guaymas-i)

[www.semarnat.gob.mx/temas/aire/\\_layouts/mobile/disppform.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/aire/_layouts/mobile/disppform.aspx)

[www.tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/21962/Capitulo2.pdf](http://www.tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/21962/Capitulo2.pdf)

[www.venamimundo.com/Mexico/Guaymas.html](http://www.venamimundo.com/Mexico/Guaymas.html)

## 11. APÉNDICES

### 1. Resultados del Control de Calidad durante el Análisis de Metales en Filtros.

Tabla 1a. Indicadores de calidad. Porcentaje de recuperación de metales y precisión en el análisis químico.

### 2. Resultados de concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) en aire ambiente en dos ciudades de sonora (Guaymas y Puerto Peñasco) para un periodo anual.

Tabla 2a. Resumen de resultados de concentraciones de PST para la ciudad de Guaymas, Sonora.

Tabla 2b. Resumen de resultados de concentraciones para la ciudad de Puerto Peñasco, Sonora

### 3. Resultados de concentración de metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en aire ambiente en dos ciudades de Sonora: Guaymas y Puerto Peñasco, durante un periodo anual.

Tabla 3a. Concentraciones de metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en el aire ambiente de Guaymas, Sonora.

Tabla 3b. Concentraciones de metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en el aire ambiente de Puerto Peñasco, Sonora.



## **APÉNDICE 1.**

Resultados del Control de Calidad durante el Análisis de Metales  
en Filtros.

**Tabla 1a.** Indicadores de calidad. Porcentaje de recuperación y precisión en el análisis químico de metales.

Estándar 0.5 ppm	Parámetros	$(\bar{x} \pm DE)$	Recuperación (%)
	Cu	$0.487 \pm 0.01581$	97.5
	Cd	$0.492 \pm 0.01581$	98.5
	Ni	$0.483 \pm 0.0141$	96.75
	Cr	$0.46 \pm 0.01549$	92
	Pb	$0.477 \pm 0.0271$	95.5

DE: Desviación estándar

Estándar 1 ppm	Parámetros	$(\bar{x} \pm DE)$	Recuperación (%)
	Cu	$0.99 \pm 0.01$	99.0
	Cd	$1.00 \pm 0.00$	99.8
	Ni	$0.96 \pm 0.03$	96.1
	Cr	$0.97 \pm 0.07$	96.7
	Pb	$0.98 \pm 0.3$	97.5

DE: Desviación estándar

Estándar 2 ppm	Parámetros	$(\bar{x} \pm DE)$	Recuperación (%)
	Cu	$1.99 \pm 0.011$	100
	Cd	$1.98 \pm 0.023$	99
	Ni	$1.96 \pm 0.036$	98
	Cr	$1.91 \pm 0.100$	96
	Pb	$1.97 \pm 0.059$	98.5

DE: Desviación estándar

## **APÉNDICE 2.**

Resultados de concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST)  
en aire en las ciudades Guaymas y Puerto Peñasco, del Estado de  
Sonora, México, para un periodo anual 2010.

**Tabla 2a.** Resumen de resultados de concentraciones de PST para la ciudad de Guaymas, Sonora.

Filtro	Fecha	Gi (g)	Gf (g)	Chequeo (g)	V (m <sup>3</sup> )	PST (µg/m <sup>3</sup> )
227	07/01/2010	2.716	2.932	2,9412	1803.16	119.79
228	14/01/2010	2.75	3.012	3,0192	1763.12	148.6
229	21/01/2010	2.729	2.999	2,985	1698.97	158.92
230	28/01/2010	2.73	2.881	2,887	1795.05	84.12
291	18/02/2010	2.781	3.011	3,0146	1748.38	131.55
292	25/02/2010	2.773	2.916	2,9162	1788.17	79.97
293	04/03/2010	2.786	3.005	3,0096	1778.46	123.14
294	11/03/2010	2.797	3.098	3,0964	1844.81	163.16
295	18/03/2010	2.781	2.901	2,9062	1776.20	67.56
296	25/03/2010	2.794	2.998	3,0035	1797.52	113.49
297	08/04/2010	2.797	2.975	2,9776	1802.53	98.75
298	14/04/2010	2.783	2.793	2,9563	1751.31	5.71
299	22/04/2010	2.78	2.917	2,9216	1788.51	76.6
300	29/04/2010	2.783	2.939		1774.54	87.91
63	08/06/2010	4.348	4.44	4,4409	1710.67	53.78
60	10/06/2010	4.344	4.453	4,4534	1744.28	62.49
61	17/06/2010	4.341	4.515	4,5175	1737.05	100.17
64	22/07/2010	4.35	4.475	4,4767	1727.47	72.36
343	05/08/2010	2.755	2.963	2,959	1734.92	119.89
344	12/08/2010	2.754	2.878	2,8706	1742.31	71.17
345	19/08/2010	2.755	2.874	2,8522	1746.66	68.13
346	26/08/2010	2.773	2.953	2,9704	1762.80	102.11
347	02/09/2010	2.751	2.971	2,941	3516.06	62.57
348	09/09/2010	2.753	2.846	2,8444	1813.93	51.27
349	21/09/2010	2.749	2.806	2,8021	1770.19	32.2
350	23/09/2010	2.765	2.956	2,955	1777.07	107.48
383	29/10/2010	2.777	2.902	2,891	1829.09	68.34
384	05/11/2010	2.756	2.984	2,985	1772.25	128.65
385	19/11/2010	2.759	3.003	3,004	1835.69	132.92
386	09/12/2010	2.783	3.227	3,2378	1815.51	244.56
387	22/12/2010	2.799	2.999	2,9974	1821.99	109.77
388	30/12/2010	2.792	2.982	2,9852	1836.99	103.43

**Tabla 2b.** Resumen de resultados de concentraciones para la ciudad de Puerto Peñasco, Sonora.

Filtro	Fecha	Gi (g)	Gf (g)	Chequeo (g)	V (m <sup>3</sup> )	PST (µg/m <sup>3</sup> )
274	08/01/2010	2.73	3.049	2,9412	1894.19	168.41
277	26/01/2010	2.718	2.937	3,2631	1993.45	109.86
278	04/02/2010	2.745	3.053	3,2782	1799.70	171.14
279	11/02/2010	2.721	2.927	3,4041	1810.67	113.77
280	17/02/2010	2.762	3.433	3,8172	1953.82	343.43
301	26/02/2010	2.798	3.988	3,0566	1810.66	657.22
302	04/03/2010	2.785	3.25	3,375	1763.84	263.63
303	10/03/2010	2.792	3.173	3,0557	1834.73	207.66
304	15/03/2010	2.797	3.049	3,256	1818.58	138.57
305	21/03/2010	2.776	3.369	3,2934	913.42	649.21
306	15/04/2010	2.787	3.442	3,393	1881.59	348.11
307	21/04/2010	2.777	3.369	3,4337	1844.70	320.92
308	27/04/2010	2.796	3.54	3,3636	1203.30	618.3
309	06/05/2010	2.773	3.353	3,5444	1702.08	340.76
310	19/05/2010	2.757	3.466	3,4721	1757.39	403.44
311	25/05/2010	2.77	3.429	3,435	1864.95	353.36
312	04/06/2010	2.789	3.3	3,3698	1750.72	291.88
313	10/06/2010	2.785	3.974	3,413	1889.55	629.25
314	15/06/2010	2.789	3.437	3,2789	1668.73	388.32
321	21/06/2010	2.774	3.282	3,3088	1865.52	272.31
322	08/07/2010	2.788	3.533	3,3084	1684.95	442.15
323	15/07/2010	2.78	3.325	3,0629	1745.79	312.18
324	02/09/2010	2.811	3.263	3,5339	1733.79	260.7
325	08/09/2010	2.806	3.963	3,9607	1846.47	626.6
326	13/09/2010	2.783	3.462	3,46	1893.37	358.62
1	21/09/2010	2.792	5.0638	3,4601	1833.38	1239.13
2	27/09/2010	2.783	3.1302	5,0535	1776.14	195.48
3	07/10/2010	2.792	3.3075	3,128	1774.47	290.51
4	14/10/2010	2.8016	3.2871	3,1705	1882.73	257.87
5	20/10/2010	2.7982	3.0507	3,8963	1996.99	126.44
6	26/10/2010	2.7846	3.4226	3,3125	1856.59	343.64
7	04/11/2010	2.8034	3.396	3,2808	1766.11	335.54
8	10/11/2010	2.7905	3.3129	3,0446	1822.94	286.57
9	17/11/2010	2.7949	3.1302	3,4187	1792.28	187.08
10	23/11/2010	2.787	3.1873	2,914	1851.10	216.25
11	02/12/2010	2.7897	3.2812	3,1297	1930.56	254.59
12	09/12/2010	2.7872	3.4608	3,1848	1944.35	346.44
415	15/12/2010	2.787	3.2769	3,285	1899.43	257.92

### **APÉNDICE 3.**

Resultados de concentración de metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en el aire ambiente en las ciudades Guaymas y Puerto Peñasco, Sonora, México, durante un periodo anual 2010.

**Tabla 3a.** Concentraciones de metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en el aire ambiente de Guaymas, Sonora.

Filtro	Fecha	Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cd ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ni ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cr ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
227	07/01/2010	ND	ND	0.014	0.133	ND
228	14/01/2010	0.039	ND	0.018	0.095	ND
229	21/01/2010	0.041	ND	0.011	0.148	ND
230	28/01/2010	0.038	ND	0.011	0.107	0.027
291	18/02/2010	0.039	ND	0.043	0.151	0.013
292	25/02/2010	ND	ND	0.013	0.195	0.030
293	04/03/2010	0.039	ND	0.024	0.189	ND
294	11/03/2010	0.075	ND	0.010	0.143	ND
295	18/03/2010	ND	ND	ND	0.257	ND
296	25/03/2010	0.038	ND	0.009	0.174	0.023
297	08/04/2010	0.038	ND	ND	0.226	0.019
298	14/04/2010	ND	ND	0.019	0.108	ND
299	22/04/2010	ND	ND	0.009	0.255	0.017
300	29/04/2010	ND	ND	ND	ND	ND
63	08/06/2010	0.161	ND	ND	0.042	ND
60	10/06/2010	0.040	ND	0.006	0.062	ND
61	17/06/2010	0.040	ND	0.016	0.187	0.012
64	22/07/2010	0.040	ND	0.006	0.076	ND
343	05/08/2010	0.080	ND	0.006	0.048	ND
344	12/08/2010	0.079	ND	ND	0.034	ND
345	19/08/2010	0.237	ND	ND	0.027	ND
346	26/08/2010	0.078	ND	0.014	2.083	0.018
347	02/09/2010	0.020	ND	0.007	0.051	ND
348	09/09/2010	ND	ND	ND	0.053	0.021
349	21/09/2010	0.039	ND	ND	0.061	0.023
350	23/09/2010	0.039	ND	0.018	0.074	0.020
383	29/10/2010	0.075	ND	ND	0.066	ND
384	05/11/2010	0.039	ND	0.024	0.122	0.013
385	19/11/2010	0.038	ND	0.017	0.320	0.016
386	09/12/2010	0.076	ND	0.024	0.582	ND
387	22/12/2010	ND	ND	0.013	0.487	ND
388	30/12/2010	ND	ND	0.010	0.118	ND
	ND < LD	L.D = 0.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	L.D = 0.020 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	L.D = 0.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	L.D = 0.010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	L.D = 0.010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tabla 3b.** Concentraciones de metales (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) en el aire ambiente de Puerto Peñasco, Sonora.

Filtro	Fecha	Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cd ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ni ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cr ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
274	08/01/2010	ND	ND	0.015	0.063	ND
277	26/01/2010	ND	ND	ND	0.096	ND
278	04/02/2010	ND	ND	0.012	0.033	ND
279	11/02/2010	0.014	ND	0.012	0.027	ND
280	17/02/2010	0.044	ND	0.015	0.123	ND
301	26/02/2010	ND	ND	0.027	0.080	ND
302	04/03/2010	ND	ND	0.015	0.102	ND
303	10/03/2010	ND	ND	0.010	0.046	ND
304	15/03/2010	ND	ND	0.007	0.119	ND
305	21/03/2010	ND	ND	0.029	0.171	ND
306	15/04/2010	ND	ND	0.020	0.089	ND
307	21/04/2010	ND	ND	0.013	0.117	ND
308	27/04/2010	ND	ND	0.024	0.170	ND
309	06/05/2010	ND	ND	0.020	0.099	ND
310	19/05/2010	ND	ND	0.020	0.130	ND
311	25/05/2010	0.013	ND	0.018	0.187	ND
312	04/06/2010	ND	ND	0.025	0.247	ND
313	10/06/2010	ND	ND	0.027	0.133	ND
314	15/06/2010	ND	ND	0.022	0.273	ND
321	21/06/2010	ND	ND	0.013	0.270	ND
322	08/07/2010	ND	ND	0.016	0.313	ND
323	15/07/2010	ND	ND	0.017	0.261	ND
324	02/09/2010	ND	ND	0.018	0.035	ND
325	08/09/2010	ND	ND	0.018	0.045	ND
326	13/09/2010	ND	ND	0.018	0.025	ND
1	21/09/2010	ND	ND	0.039	0.059	ND
2	27/09/2010	ND	ND	ND	0.027	ND
3	07/10/2010	ND	ND	0.008	0.041	ND
4	14/10/2010	ND	ND	0.010	0.025	ND
5	20/10/2010	ND	ND	0.005	0.018	ND
6	26/10/2010	ND	ND	0.017	0.026	ND
7	04/11/2010	0.014	ND	0.012	0.075	ND
8	10/11/2010	ND	ND	0.008	0.039	ND
9	17/11/2010	ND	ND	0.013	0.100	ND
10	23/11/2010	ND	ND	0.014	0.026	ND
11	02/12/2010	0.044	ND	0.011	0.056	ND
12	09/12/2010	ND	ND	0.015	0.099	ND
415	15/12/2010	ND	ND	0.016	0.057	ND
	ND < LD	L.D = 0.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	L.D = 0.020 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	L.D = 0.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	L.D = 0.010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	L.D = 0.010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$