

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

---

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**“CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS  
VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES EN LA ATMÓSFERA DE CIUDADES  
FRONTERIZAS DE LA FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA”**

**TESIS**

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS  
NECESARIOS PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
OCEANOGRAFÍA COSTERA**

PRESENTA

**FÉLIX AUGUSTO HERNÁNDEZ GUZMÁN**

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, FEBRERO DEL 2012.

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

---

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS  
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

**“CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS VOLÁTILES Y  
SEMI-VOLÁTILES EN LA ATMÓSFERA DE CIUDADES FRONTERIZAS DE LA  
FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA”**

**TESIS**

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA  
OBTENER EL GRADO DE

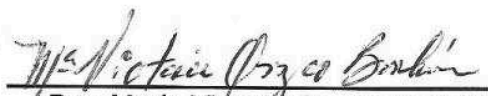
**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
OCEANOGRAFÍA COSTERA**

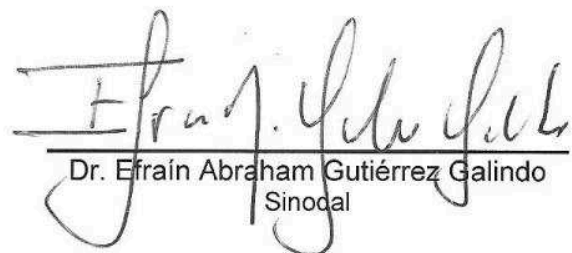
PRESENTA

**FÉLIX AUGUSTO HERNÁNDEZ GUZMÁN**

Aprobada Por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Vinicio Macías Zamora  
Director de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
Dra. María Victoria Orozco Borbón  
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Efraín Abraham Gutiérrez Galindo  
Sinodal

## RESUMEN

---

Se determinaron las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y semi-volátiles (COSVs) en las cuencas atmosféricas de las ciudades de Tijuana, Tecate y Ensenada, en el Estado de Baja California, México durante el verano e invierno del 2010-11.

Las muestras de aire fueron colectadas en azoteas de edificios distribuidos en distintos puntos de las ciudades estudiadas empleando estaciones móviles con tubos adsorbentes con Tenax TA y Carboxen 569. El análisis de las muestras se realizó en un equipo de desorción térmica acoplado a un cromatógrafo de gases con un detector selectivo de masas (TD-GC-MSD) en donde se monitorearon 28 COVs y 10 COSVs.

Las mayores concentraciones promedio de compuestos orgánicos se encontraron en invierno, presentándose en el orden siguiente: Tijuana > (Tecate  $\approx$  Ensenada). Durante el verano, el grado de contaminación por COVs sugiere la siguiente tendencia: Tijuana > Tecate > Ensenada.

Los compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles más abundantes en la región fueron tolueno, m,p-xileno, fenantreno, fluoranteno, criseno y benzo(a)antraceno.

En la mayoría de los compuestos analizados, se encontraron en bajas concentraciones que no impactan significativamente en la salud de la población. No obstante, en la región se identificaron áreas con problemas con fluoranteno y benzo(a)antraceno, los cuales se encontraron en concentraciones que representan un factor de riesgo toxicológico para la población expuesta.

## ABSTRACT

---

Air samples for volatile and semi-volatile organic compounds (VOCs and SVOCs) were collected in three cities of Baja California, México. These cities are located at the Pacific coastal border region neighboring with southern California, United States of America.

Air samples were collected for 9-12 hours on multisorbent tubes packed with Tenax TA and Carboxen 569 and were analyzed by thermal desorption followed by gas chromatography coupled to a mass detector (TD-GC-MSD). An analytical method to identify and quantify 28 VOCs and 10 SVOCs was implemented.

The target compounds most commonly found were toluene, m,p-xylene, phenanthrene, fluoranthene, chrysene and benzo[a]anthracene.

Low concentrations were found in most of the compounds studied. There is no apparent risk to the health of the population by exposure to these pollutants. However, in the region there are problems with fluoranthene and benzo(a)anthracene, which showed high concentrations in air eight times over the limits suggested by international agencies such as U.S. EPA. Therefore, these pollutants represent a significant toxicological factor for the population exposed.

## AGRADECIMIENTOS

---

A CONACYT- Gobierno del Estado de Baja California por el apoyo financiero brindado para la realización de este proyecto a través del FONDO MIXTO (PROYECTO FOMIX-2007-1-72333).

A CONACYT por el apoyo económico proporcionado a través del Programa de Becas para Estudios de Posgrado.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas y a la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

Al Dr. Vinicio Macías Zamora por la paciencia y la confianza conferida durante mi estancia en el posgrado, así como por la experiencia y conocimientos compartidos durante la dirección de este trabajo de investigación.

A mis sinodales, la Dra. María Victoria Orozco Borbón y el Dr. Efraín Abraham Gutiérrez Galindo, por su dedicación y atinados comentarios durante la revisión de este documento.

A la Dra. Nancy Ramírez Álvarez, por haber sido participe innumerables ocasiones en las distintas actividades realizadas dentro y fuera del laboratorio, así como por su amistad, asesoría, apoyo y consejos.

A José Luis Sánchez, quien me apoyo desinteresadamente durante esta investigación, quien estimo bastante. Gracias por tu amistad y confianza.

A Sara Olimpia Topete, por el apoyo y la amistad incondicional brindada en este corto tiempo de conocernos. Aprecio mucho el haberte conocido. Muchísimo éxito en todos tus proyectos y mis mejores deseos.

A Karina Lugo por la confianza y la amistad depositada durante este tiempo.

A mis compañeros de generación: Norma, Ana, Fernando, Homero, Tere, Armando, Daniel, Eréndira, Karla y Rodolfo, con quien tuve la oportunidad de conocer y convivir durante estos años en el posgrado.

A mis amigos: Maura Ramírez, Mara Glass, José Ma. Herrasti, Moisés Díaz, Guadalupe Gómez, Giovanni Palomino, Mario Aguilera, Angélica Navarrete, Jesús Leyva, Dulce Ruiz, Daniela Soto y Denisse Coria, Imelda Cabanillas, Rigo Dávalos y Karina Ruiz, a quienes agradezco enormemente su amistad y su apoyo total durante todos estos años que tenemos de conocernos. Mis mejores deseos a cada uno de ustedes.

A la M.C. Evangelina Herrán y al Dr. Juan Cruz, quienes con su amistad, apoyo y consejos me inculcaron el gusto por la investigación. Muchas gracias por todo.

A las diferentes instituciones, hospitales, escuelas, universidades y personas que colaboraron durante esta investigación y proporcionaron su apoyo.

Muchísimas gracias a todos.

A todos mis maestros, quienes impartieron sus conocimientos y experiencias en cada una de sus asignaturas. Muchas gracias por colaborar en que sea una mejor persona y profesionista.

Finalmente, a mis padres (Carmina y Félix) y mis hermanos (Christian y Cristopher), quienes me han apoyado incondicionalmente en las distintas etapas de mi vida y con quien estoy infinitamente agradecido. Con ustedes comparto el éxito de este trabajo. Dios los bendiga.

*“Desire is the key to motivation, but it's determination and commitment to an unrelenting pursuit of your goal -- a commitment to excellence -- that will enable you to attain the success you seek”.*

Mario Andretti

## ÍNDICE

---

<b>RESUMEN</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	V
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1    COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES .....	2
1.2    LEGISLACIONES AMBIENTALES .....	4
1.3    TOXICIDAD .....	6
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	9
2.1    ÁREA DE ESTUDIO .....	9
2.2    ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y POBLACIONALES .....	10
2.3    CLIMA DE LA REGIÓN .....	11
2.4    INDUSTRIA Y TRANSPORTE .....	12
2.5    PATRONES DE VIENTO EN LA REGIÓN .....	14
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	16
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	17
4.1    OBJETIVO GENERAL .....	17
4.2    OBJETIVOS PARTICULARES .....	17
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	19

5.1	MATERIALES Y REACTIVOS .....	19
5.2	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MUESTREO .....	20
5.3	PROTOCOLO DE MUESTREO.....	21
5.4	PROTECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS .....	22
5.5	DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO .....	23
5.6	MÉTODO ANALÍTICO .....	31
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
6.1	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE COVs y COSVs .....	34
6.1.1	ENSENADA B.C. ....	35
6.1.1.1	VERANO 2010.....	35
6.1.1.2	INVIERNO 2010-11 .....	36
6.1.2	TIJUANA B.C.....	38
6.1.2.1	VERANO 2010.....	38
6.1.2.2	INVIERNO 2010-11 .....	39
6.1.3	TECATE B.C.....	41
6.1.3.1	VERANO 2010.....	41
6.1.3.2	INVIERNO 2010-11 .....	42
6.2	COMPARACIÓN DE EMISIONES DE VOCS Y SVOCS .....	44
6.2.1	TOLUENO .....	44
6.2.2	M,P-XILENO .....	59
6.2.3	BENZ(A)ANTRACENO .....	68
6.2.4	FLUORANTENO.....	75

6.2.5	CRISENO .....	81
6.2.6	CONCENTRACIONES TOTALES DE COVs Y COSVs .....	86
6.3	DISCUSIÓN.....	92
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>97</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>105</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Mapa del Estado de Baja California.....	9
<b>Figura 2.</b> Estadística vehicular y poblacional para las ciudades de Tijuana, Tecate y Ensenada, Baja California, México.....	14
<b>Figura 3.</b> Estación de colecta de muestras de aire .....	22
<b>Figura 4.</b> Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Ensenada B.C. durante el verano del 2010. ....	25
<b>Figura 5.</b> Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Ensenada B.C. durante el invierno del 2010-11.....	26
<b>Figura 6.</b> Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Tecate B.C. durante el verano del 2010. ....	27
<b>Figura 7.</b> Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Tecate B.C. durante el invierno del 2010-11.....	28
<b>Figura 8.</b> Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Tijuana B.C. durante el verano del 2010. ....	29
<b>Figura 9.</b> Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Tijuana B.C. durante el invierno del 2010-11.....	30

<b>Figura 10.</b> Gráficos de caja de las concentraciones de tolueno para Ensenada, Tijuana y Tecate B.C. ....	45
<b>Figura 11.</b> Distribución de tolueno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano e invierno. ....	54
<b>Figura 12.</b> Distribución de tolueno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano e invierno.....	55
<b>Figura 13.</b> Distribución de tolueno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano e invierno.....	56
<b>Figura 14.</b> Tendencia a nivel mundial de concentraciones de tolueno vs tamaño de población durante verano.....	57
<b>Figura 15.</b> Tendencia a nivel mundial de concentraciones de tolueno vs tamaño de población en invierno .....	58
<b>Figura 16.</b> Gráficos de caja de las concentraciones de m,p-xileno para las ciudades de Ensenada, Tijuana y Tecate B.C. ....	62
<b>Figura 17.</b> Distribución de m,p-xileno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano e invierno.....	66
<b>Figura 18.</b> Distribución de m,p-xileno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano e invierno.....	67

<b>Figura 19.</b> Distribución de m,p-xileno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano e invierno.....	68
<b>Figura 20.</b> Gráficos de caja de las concentraciones de benzo(a)antraceno para Ensenada, Tijuana y Tecate B.C.....	69
<b>Figura 21.</b> Distribución de benzo(a)antraceno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano e invierno.....	73
<b>Figura 22.</b> Distribución de benzo(a)antraceno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano e invierno.....	74
<b>Figura 23.</b> Distribución de benzo(a)antraceno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano e invierno.....	75
<b>Figura 24.</b> Gráficos de caja de las concentraciones de fluoranteno para Ensenada, Tijuana y Tecate B.C.....	76
<b>Figura 25.</b> Distribución de fluoranteno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano e invierno.....	79
<b>Figura 26.</b> Distribución de fluoranteno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano e invierno.....	80
<b>Figura 27.</b> Distribución de fluoranteno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano e invierno.....	81

<b>Figura 28.</b> Gráficos de caja de las concentraciones de criseno para Ensenada, Tijuana y Tecate B.C.....	82
<b>Figura 29.</b> Distribución de criseno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano e invierno.....	84
<b>Figura 30.</b> Distribución de criseno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano e invierno.....	85
<b>Figura 31.</b> Distribución de criseno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano e invierno.....	86
<b>Figura 32.</b> Gráfico de caja de las concentraciones totales de COVs y COSVs durante el verano e invierno del 2010 .....	87
<b>Figura 33.</b> Distribución y contribución total (en porcentaje) de emisiones de COVs y COSVs en Ensenada, Tijuana y Tecate durante verano e invierno.....	88
<b>Figura 34.</b> Distribución de concentraciones totales de COVs y COSVs en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano e invierno. ....	90
<b>Figura 35.</b> Distribución de concentraciones totales de COVs y COSVs en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano e invierno.....	91
<b>Figura 36.</b> Distribución de concentraciones totales de COVs y COSVs en la ciudad de Tecate B.C. durante verano e invierno. ....	92

## LISTA DE TABLAS

---

<b>Tabla I.</b>	COVs comúnmente encontrados y sus fuentes .....	6
<b>Tabla II.</b>	Lista de compuestos de interés en aire .....	6
<b>Tabla III.</b>	Compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles monitoreados ...	32

## **1. INTRODUCCIÓN**

---

En la actualidad la contaminación es uno de los principales problemas que se encuentran en las ciudades, independientemente del nivel de desarrollo que presenten. Dicha problemática es más evidente en aquellas que presentan un acelerado crecimiento poblacional. Por ello, requieren la atención oportuna en materia ambiental por parte de las autoridades y de la sociedad en general, con el fin de minimizar o mitigar los efectos ocasionados por las distintas actividades, ya sea de índole comercial, industrial o social.

De acuerdo con la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de los Estados Unidos Mexicanos, la contaminación se define como la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que cause un desequilibrio ecológico (LGEEPA, 1988).

La Organización Mundial de Salud define la contaminación del aire como la contaminación del medio ambiente en interiores o exteriores por cualquier agente químico, físico o biológico que modifique las características naturales de la atmósfera (WHO, 2011).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA) lo define como la presencia de contaminantes o sustancias en el aire los cuales interfieren con la salud y bienestar humano, o que producen efectos ambientales dañinos (Vallero, 2008).

Es importante resaltar que existen una gran variedad de sustancias que pueden intervenir directa o indirectamente en el proceso de contaminación ambiental. Diariamente, el número de sustancias que pueden representar una amenaza potencial se incrementa significativamente con el constante avance científico y tecnológico.

### **1.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES**

Los compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles (conocidos como COVs o COSVs en español; VOCs y SVOCs en inglés) son una clase importante de contaminantes atmosféricos que incluyen una amplia variedad de compuestos químicos, algunos de los cuales pueden tener efectos a corto, mediano o largo plazo, por lo que representan un problema a nivel local, regional y global.

Estos compuestos se distribuyen comúnmente en la atmósfera, particularmente a nivel troposférico en los centros urbanos e industriales, repercutiendo a nivel ambiental y afectando a los ecosistemas y la calidad de vida. Se ha observado también que estos compuestos pueden interactuar y desplazarse libremente entre la atmósfera, suelo y agua (Zogorski et al., 2006).

Se definen a los COVs como cualquier compuesto de carbono, los cuales participan en reacciones fotoquímicas atmosféricas. Dichos compuestos poseen una alta presión de vapor, por lo que bajo condiciones normales ambientales (1 atm, 25 °C) suelen vaporizarse significativamente e incorporarse a la atmósfera. Además, establece que los parámetros de reactividad fotoquímica de los

compuestos incluidos en esta categoría deben ser menores a la reactividad que presenta el etano. En esta clasificación, se excluyen compuestos como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, carbonos metálicos o carbonatos y carbonato de amonio (U.S. EPA, 1998).

En cambio, los compuestos orgánicos semi-volátiles comprenden una serie de sustancias que no cumplen las características antes descritas y que se encuentran principalmente presentes en estado gaseoso en el aire y mayormente adheridos al material particulado suspendido en el aire. Los COSVs poseen pesos moleculares relativamente altos y puntos de ebullición elevados a comparación de los COVs (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009).

Además, se ha documentado ampliamente que los COVs y COSVs participan activamente en numerosas reacciones, tanto a nivel troposférico como en la estratósfera, actuando como precursores de otros contaminantes secundarios y contribuyendo a la formación del smog fotoquímico y ozono troposférico; con ello favoreciendo el efecto invernadero y deteriorando la calidad del aire (Ruiz et al., 1996; Mohamed et al., 2002; Al-Awadhi et al., 2005; Hung et al., 2005).

Existen otras vías de contaminación por COVs y COSVs, donde es posible incorporar estos compuestos en el medio acuático, siendo fuentes importantes de contaminación las fugas de agua y líneas de drenaje, agua de tormentas y la

deposición atmosférica, los cuales incorporan pequeñas concentraciones (microgramos por litro o menores) de estos compuestos (Zogorski et al., 2006).

## **1.2 LEGISLACIONES AMBIENTALES**

Dado la importancia que presentan los COVs y COSVs como contaminantes y el daño que ocasionan, varios países han optado por legislar y limitar las emisiones de contaminantes, especialmente las derivadas de actividades industriales donde destacan el uso de disolventes orgánicos.

Entre los esfuerzos que se han realizado para controlar las emisiones de contaminantes en aire se encuentran la Directiva 1999/13/CE aprobado por el Consejo de la Unión Europea en 1999 y el Real Decreto 117/2003 aprobado en España en el 2003.

En nuestro país, se cuenta con las Normas Oficiales Mexicanas las cuales regulan algunas de las actividades industriales. Entre estas normas destacan la NOM-123-ECOL-1998, que establece los procedimientos para la determinación de COVs en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico; NOM-075-ECOL-1995, que establece los límites máximos de emisión de COVs a la atmósfera provenientes del proceso de los separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo y la NOM-121-ECOL-1997, que establece los límites permisibles de emisión a la atmósfera de COVs provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en la industria automotriz y el método para calcular sus emisiones.

En los Estados Unidos de Norteamérica, el Congreso desarrolló y aprobó la ley conocida como Clean Air Act, documento que contiene los lineamientos que regulan las emisiones de contaminantes en aire de fuentes fijas y móviles. Este documento vigente ha sufrido una serie de modificaciones desde su creación y actualmente enlista más de 300 sustancias contaminantes en aire, las cuales se incorporan en la atmósfera deteriorando la calidad del aire y representan un riesgo toxicológico para la población y el ambiente (U.S. EPA, 2011a).

Por su parte, la U.S. EPA establece una serie de compuestos de interés en sus metodologías de monitoreo atmosférico, las cuales cubren principalmente a los denominados compuestos orgánicos volátiles. Estas sustancias son consideradas de importancia ya que poseen un alto impacto a la salud de la población o por sus propiedades químicas participan como contaminantes ambientales, actuando como precursores del smog y del ozono troposférico, los cuales deterioran la calidad del aire.

Algunos compuestos orgánicos volátiles emitidos al ambiente provienen de emisiones de procesos industriales, quema de combustibles fósiles o materia orgánica, y en productos de uso cotidiano en los hogares (Tabla I).

Algunos de los compuestos de importancia en materia ambiental y de salud se enlistan en el compendio TO-17 (Tabla II), el cual propone la metodología para la determinación de compuestos orgánicos volátiles en aire utilizando muestreo activo con tubos adsorbentes (U.S. EPA, 1999).

<b>TABLA I</b>		<b>COVs COMÚNMENTE ENCONTRADOS Y SUS FUENTES (TOMADO DE HEALTH CANADÁ, 2007)</b>
<b>SUSTANCIA</b>	<b>FUENTE DE EMISIÓN</b>	
Acetona	Pinturas, recubrimientos, removedores de pintura.	
Hidrocarburos alifáticos (octano, decano, undecano, hexano, isodecano, etc.)	Pinturas, adhesivos, gasolina, fuentes de combustión, fotocopiadoras de procesos líquidos, alfombra, linóleo.	
Hidrocarburos aromáticos (tolueno, xilenos, etilbenceno, benceno)	Fuentes de combustión, pintura, adhesivos, gasolina, linóleo, recubrimientos de paredes.	
Solventes clorados (diclorometano, tricloroetano)	Tapicería, limpieza y protectores de alfombras, pintura, removedor de pintura, barnices, solventes, correctores líquidos, lavado en seco de ropa.	
n-butil acetato	Revestimientos acústicos, linóleo.	
diclorobenceno	Alfombra, naftalina, desodorantes ambientales.	
4-fenilciclohexeno (4-PC)	Alfombras, pinturas.	
Terpenos (limoneno, a-pineno)	Desodorantes ambientales, agentes de limpieza, pulidores, fabricas, suavizantes, cigarros.	

<b>TABLA II</b>		<b>LISTA DE COMPUESTOS DE INTERÉS EN AIRE (TOMADO DE U.S. EPA, 1999)</b>
diclorodifluorometano	trans-1,3-dicloropropeno	
cloruro de metilo	1,1,2-tricloroetano	
1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoroetano	tolueno	
cloruro de vinilo	1,2-dibromoetano	
bromuro de metilo	tetracloroetano	
cloruro de etilo	clorobenceno	
triclorofluorometano	etilbenceno	
1,1-dicloroetano	m,p-xileno	
diclorometano	estireno	
3-cloropropeno	1,1,2,2-tetracloroetano	
1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano	o-xileno	
1,1-dicloroetano	4-etiltolueno	
cis-1,2-dicloroetano	1,3,5-trimetilbenceno	
triclorometano	m-diclorobenceno	
1,2-dicloroetano	cloruro de bencilo	
1,1,1-tricloroetano	p-diclorobenceno	
benceno	o-diclorobenceno	
tetracloruro de carbono	o-diclorobenceno	
1,2-dicloropropano	1,2,4-triclorobenceno	
tricloroetano	hexaclorobutadieno	
cis-1,3-dicloropropeno		

### 1.3 TOXICIDAD

En la actualidad, los COVs y los COSVs representan un riesgo potencial de toxicidad para los seres humanos. Una elevada concentración de estos

compuestos en el ambiente puede repercutir en la salud de la población, produciendo desde afecciones menores hasta problemas agudos y crónicos, dependiendo del compuesto y del tiempo de exposición del individuo.

Los síntomas habituales de intoxicación por exposición a estas sustancias pueden incluir dolor de cabeza, somnolencia, debilidad muscular y náusea. Se ha documentado que algunos contaminantes en aire poseen la capacidad de afectar órganos y tejidos, como el caso del hígado, riñón, bazo, estómago y corazón, además de afectar los sistemas nervioso, circulatorio, reproductivo y respiratorio (Gordon et al., 1985; Miekisch et al., 2004). Así mismo, existen compuestos que deterioran las habilidades cognitivas, el balance o la coordinación, además de ocasionar afecciones menores como la irritación de ojos, piel y garganta.

Algunos ejemplos de estas sustancias son el benceno, el cual es considerado un agente carcinógeno y está asociado ampliamente con la leucemia; el formaldehído, el cual es una sustancia irritante y que se sospecha que posee características carcinogénicas, y el tolueno el cual posee la capacidad de producir malformaciones a los fetos.

Un ejemplo típico de fuentes contaminantes son los solventes empleados en los procesos industriales como el tricloroetileno y el diclorometano; los aditivos de la gasolina, como el metil terbutil éter (MTBE); o por productos de las reacciones químicas, como las producidas en el proceso de cloración en el

tratamiento de aguas residuales, que da como resultado la formación de cloroformo (Bernstein et al., 2008). Aunque generalmente la mayoría de los COVs poseen tiempos de vida media de degradación relativamente cortos (horas a días) por su alta reactividad en procesos atmosféricos; otros compuestos como el dibromocloropropano (DBCP), 1,1,1-tricloroetano (TCE) y el MTBE, pueden persistir por un periodo de años a décadas, incorporándose al medio marino a través de las aguas subterráneas.

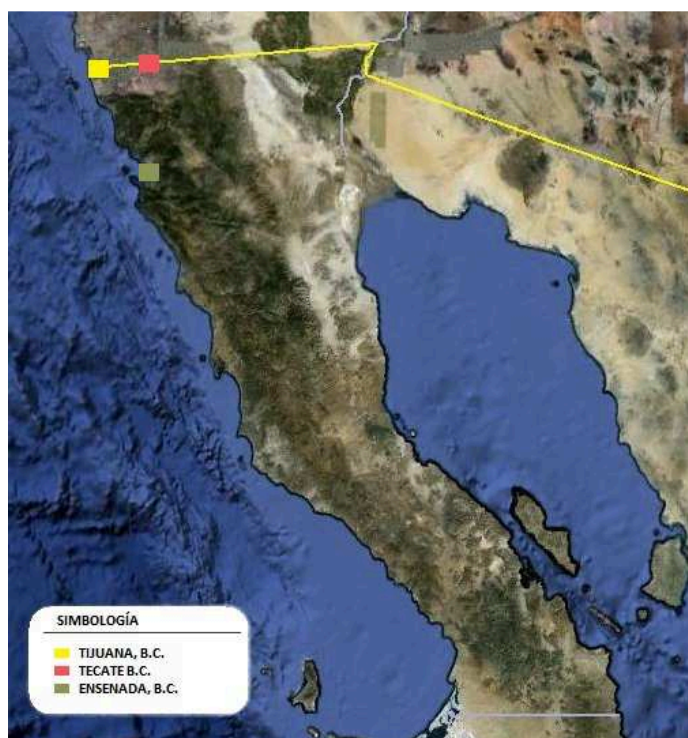
Dado la importancia de la caracterización de estos compuestos en el ambiente, es necesario evaluar el impacto de contaminación atmosférica en la zona costera. Este trabajo se realizó en tres ciudades de la región fronteriza del Estado de Baja California, México. Se identificaron algunos de los principales contaminantes orgánicos volátiles y semi-volátiles en aire, y se determinó la distribución geográfica en dos épocas (verano e invierno).

## 2. ANTECEDENTES

---

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo abarca las ciudades de Tijuana, Tecate y Ensenada, en el Estado de Baja California, México (Fig. 1). Estas ciudades fueron seleccionadas porque presentan diferentes características geográficas, actividades económicas y sociales y tasas de crecimiento poblacional diverso, aunado a la presencia de un número considerable de población flotante que pretende ingresar a los Estados Unidos de Norteamérica.



**Figura 1.** Mapa del Estado de Baja California. Los recuadros de color representan la ubicación de las ciudades estudiadas.

## 2.2 ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y POBLACIONALES

El municipio de Tijuana (Latitud 32° 50' - 27° 42' Norte, Longitud 112° 45' - 117° 7' Oeste) se ubica en el extremo noroeste del estado de Baja California y colinda al norte con la ciudad fronteriza de San Diego, en el Estado de California en la frontera internacional con Estados Unidos de Norteamérica, al sur con el municipio de Rosarito y al este con el municipio de Tecate. Este municipio posee una extensión territorial de 1,239.49 km<sup>2</sup> y una población total estimada de 1,559,683 habitantes de acuerdo a datos de INEGI durante el censo del 2010, donde presentó un crecimiento anual de 2.11% desde el año 2005. Aproximadamente el 90% de la población habita en la ciudad de Tijuana, cabecera del municipio (Latitud 32° 32' Norte, Longitud 117° 3' Oeste).

El municipio de Ensenada (Latitud 32° 50' - 27° 42' Norte, Longitud 112° 45' - 117° 7' Oeste) colinda al norte con los municipios de Tecate, Tijuana y Rosarito, y al noroeste con el municipio de Mexicali. Posee una extensión territorial total de 51,952.3 km<sup>2</sup> y representa el 74.1% de la superficie del Estado. La población estimada en este municipio según datos del INEGI en el censo del 2010 es de 466,814 habitantes, de los cuales aproximadamente el 65% se concentra en la ciudad de Ensenada, cabecera municipal (Latitud 31° 52' Norte, Longitud 116° 37' O). Su crecimiento poblacional anual desde el año 2005 se estima en 2.58%.

El municipio de Tecate (Latitud 32° 50' - 27° 42' Norte, Longitud 112° 45' - 117°

7' Oeste) se localiza al noroeste del Estado y limita al norte con la frontera internacional con Estados Unidos de Norteamérica; al este con el municipio de Mexicali; al oeste con el municipio de Tijuana y al sur con el municipio de Ensenada. Su extensión territorial es de 3,079 km<sup>2</sup> y representa el 4.39% del territorio del Estado. La población municipal de acuerdo al Censo de Población y Vivienda, realizado en el año 2010 fue de 101,079 habitantes, donde se observó un crecimiento poblacional anual de 2.21% con respecto al censo realizado en 2005. Alrededor del 65% de la población de este municipio habita en la ciudad de Tecate (Latitud 32° 34' Norte, Longitud 116° 38' Oeste).

### **2.3 CLIMA DE LA REGIÓN**

Los climas en la región son predominantemente secos y muy secos, presentando la variante cálida, semicálida o templada dependiendo de la zona geográfica. Las temperaturas mínimas y máximas registradas dependen de la región y la época del año.

El clima del municipio de Tijuana es de tipo mediterráneo. Los meses más fríos se presentan en los meses de enero y febrero, alcanzando una temperatura media de 14 °C. El mes de agosto es considerado el más caluroso, presentando temperaturas superiores a 29 °C. Las precipitaciones son escasas e irregulares, promediando alrededor de 350 mm al año y registrándose la mayor parte de ellas durante el invierno (INEGI, 2011).

El clima en Ensenada es considerado muy seco. La temperatura anual

promedio en este municipio es de 18 °C, según información recabada en registros de los periodos de 1984 al 2008 (INEGI, 2011). La precipitación anual promedio en el municipio es de 260 mm, presentándose mayormente durante el invierno.

La ciudad de Tecate posee un clima semicálido seco extremoso, con temperaturas media anuales que oscilan entre 10 °C y 22 °C, presentándose 300 mm de precipitación pluvial anual, mayormente durante la época invernal. Los vientos predominantes en esta región provienen del sur y del oeste durante la mayor parte del año (INEGI, 2011).

#### **2.4 INDUSTRIA Y TRANSPORTE**

En el Estado de Baja California, el número de vehículos en circulación es elevado, por lo que el potencial de impacto al ambiente puede ser considerable. De acuerdo a datos publicados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes hasta el año 2009, en el Estado se encontraban en circulación una cantidad superior a un millón cien mil vehículos, sin considerar todos aquellos vehículos que no se encuentran debidamente registrados (INEGI, 2011).

Tijuana presenta una problemática ambiental generada por el crecimiento acelerado de la ciudad y que involucran áreas como el manejo de residuos, usos del suelo, desarrollo urbano no planificado, topografía, fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera y descargas de aguas residuales en cuerpos de agua. Otra problemática constante en la ciudad es la afluencia vehicular en

el cruce fronterizo con los Estados Unidos y que involucran anualmente más de 53 millones de unidades. La creciente expansión de la industria maquiladora contribuye notablemente en la problemática, ya que se estima existen más de 50 parques industriales en la ciudad. (Gobierno del Estado de Baja California, 2011).

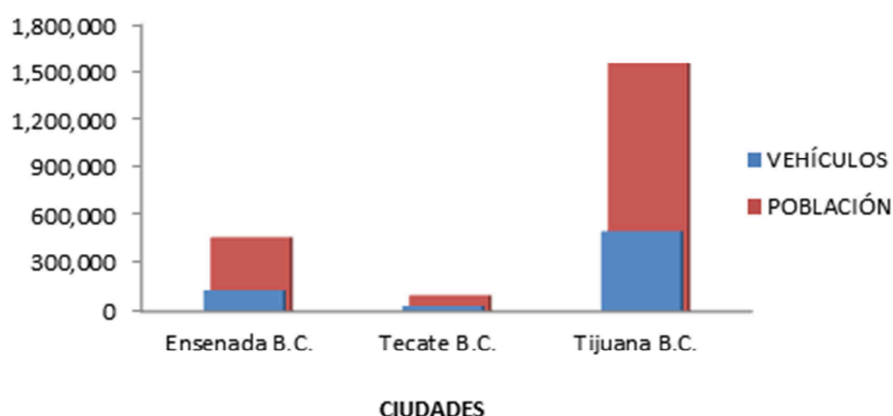
La problemática ambiental en el municipio de Tecate involucra residuos industriales y domésticos, descarga de aguas residuales municipales e industriales al Río Tecate, y emisiones a la atmósfera generadas por parque vehicular, ladrilleras e industria cervecera (Gobierno del Estado de Baja California, 2011).

La ciudad de Ensenada también afronta la misma problemática ambiental que los otros municipios del Estado, aunque en una menor proporción. El manejo inadecuado de los residuos sólidos es la principal problemática en el municipio, ya que existe una proliferación de tiraderos clandestinos (Gobierno del Estado de Baja California, 2011).

En el caso del parque vehicular en la región, la Dirección General de Autotransporte Federal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (INEGI, 2011) reporta en Ensenada más de 132,000 unidades; en Tecate 36,000 vehículos y Tijuana más de 500,000 unidades. Además, existen aproximadamente 20,000 vehículos de carga, de los cuales una cifra importante circula regularmente en la región. De acuerdo a la Secretaría de Planeación y

Finanzas del Estado de Baja California, se estima que más del 80% del parque vehicular en circulación posee una antigüedad mayor a 15 años (Gobierno del Estado de Baja California, 2010). El Instituto Nacional de Ecología estima que la edad promedio de vehículos nacionales en la ciudad de Tijuana y Mexicali es de 7 años en automóviles y 8 años para SUV, pick-up y van (INE et al., 2007).

De acuerdo a datos de INEGI (2011), en la región se estima que existe un vehículo por cada tres habitantes (Fig. 2).



**Figura 2.** Estadística vehicular y poblacional para las ciudades de Tijuana, Tecate y Ensenada, Baja California, México (Fuente: INEGI, 2011).

## 2.5 PATRONES DE VIENTO EN LA REGIÓN

De acuerdo a información publicada por Argote-Espinoza et al. (1991), los vientos en la costa noroeste de Baja California presentan variaciones estacionales asociadas a la intensidad de los centros de baja presión. Generalmente, el gradiente entre centros de presión se incrementa en

primavera y el verano, dando como resultado fuertes vientos provenientes del norte. En invierno, existe una disminución en los gradientes de los centros de presión, por lo que repercute al disminuir la intensidad de los vientos.

Entre los factores que pueden afectar la dinámica e intensidad de los vientos se encuentran inestabilidades térmicas locales asociadas principalmente a las brisas costeras, la fricción producida por el desplazamiento de las masas de aire contra el suelo y diferencias en la disipación de energía debido a la interacción entre tierra-mar

Los mapas de dinámica de viento en la región durante los muestreos realizados en este estudio se encuentran en el anexo III y fueron generados en MATLAB v.7.8 R2009a (MathWorks, Inc) a partir de la base de datos MetOp-A ASCAT Level 2 12.5km Ocean Surface Wind Vectors.

### **3. HIPÓTESIS**

---

Dado las diferencias de transporte urbano, demográficas y de desarrollo en las ciudades estudiadas, se espera que exista variabilidad de contaminantes orgánicos volátiles y semi-volátiles en aire asociada a las fuentes de contaminación predominantes.

Se espera que el mayor grado de contaminación por COVs y COSVs en aire presentará el siguiente orden: Tijuana > Ensenada > Tecate.

La variabilidad estacional afectará la distribución de los contaminantes en aire, por lo que es de esperar mayores concentraciones en la época de verano que en invierno.

## **4. OBJETIVOS**

---

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Este estudio caracteriza contaminantes orgánicos volátiles y semi-volátiles presentes en las cuencas atmosféricas de las ciudades de Tijuana, Tecate y Ensenada, en el Estado de Baja California, México, durante el verano del 2010 e invierno del 2010-11. Con ello, se espera proporcionar un panorama general del nivel de contaminación actual por este tipo de compuestos en la región, así como determinar su distribución espacial y temporal.

### **4.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

- Evaluar las concentraciones de contaminantes orgánicos volátiles y semi-volátiles e identificar posibles zonas de riesgo toxicológico por exposición para la población.
- Generar mapas que ubiquen los sitios de mayor concentración de COVs y COSVs en la región.
- Comparar los resultados obtenidos en este trabajo con datos reportados en la literatura para otras ciudades de similar desarrollo y tamaño de población.
- Proporcionar datos de referencia que permitan conocer la evolución de estos compuestos orgánicos atmosféricos en esta región y por ende,

faciliten la toma de decisiones por parte de autoridades y organismos gubernamentales.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

---

### **5.1 MATERIALES Y REACTIVOS**

En este estudio se empleó la técnica de desorción térmica para el monitoreo de contaminantes orgánicos en aire. Dicha técnica se ha empleado ampliamente para la determinación de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en interiores y exteriores (Serrano-TresPalacios et al., 2004; Tanaka-Kagawa et al., 2005; Nicoara et al., 2009).

En este estudio se utilizaron tubos de desorción térmica de acero inoxidable (longitud 178 mm; diámetro externo 6 mm; diámetro interno 4 mm), que contenían 100 mg de Tenax TA mesh 80/100 y 100 mg de Carboxen 569 mesh 20/45.

Para el muestreo de verano se emplearon tubos de desorción acondicionados por el fabricante (Scientific Instrument Services, Inc.) para su uso inmediato en las tres ciudades estudiadas. Para el muestreo de invierno, los tubos de desorción térmica empleados fueron preparados y acondicionados en el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California, siguiendo los lineamientos recomendados por el fabricante (Scientific Instrument Services, Inc.) y que se encuentran descritos en el Anexo I.

Para la preparación de los tubos de desorción empleados en periodo invernal,

se adquirieron las resinas Tenax TA mesh 80/100 (Supelco Analytical) y Carboxen 569 mesh 20/45 (Supelco Analytical), fibra de vidrio silanizada (Perkin Elmer) y Sylon CT (Supelco Analytical).

Una mezcla comercial de estándar de COVs en metanol (VOCs mixture, Ultra Scientific, Inc.) y una de compuestos orgánicos policíclicos (PAHs por sus siglas en inglés) (PAHS Mixture, Ultrascientific, Inc.) fueron adquiridos y empleados para preparar las curvas de calibración. Para monitorear el proceso de desorción de las muestras se empleó una mezcla de estándares internos y surrogados deuterados conteniendo tolueno-d8, clorobenceno-d5, 4-bromofluorobenceno, 1,4-diclorobenceno-d4 (Internal & Surrogate Standard Mixture, Ultra Scientific, Inc.). Se utilizó acetona, metanol y diclorometano de grado HPLC para la limpieza del material y la preparación de estándares (J.T. Baker).

## **5.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MUESTREO**

En cada ciudad se instalaron estaciones autónomas de muestreo activo de aire, las cuales estaban conformadas por una estructura móvil ligera de aluminio con base de cemento y extensible a 2.4 m de altura; un muestreador portátil de bajo flujo Gillian<sup>®</sup> modelo LFS-113DC (Sensidyne, LP); y un tubo de desorción térmica de acero inoxidable previamente acondicionado para coleccionar las muestras de aire, el cual se ubicaba en el extremo más alto de la estructura (Fig. 3).

Previo a cada muestreo, los muestreadores portátiles de aire fueron calibrados a 10 mL/min de flujo constante de entrada de aire utilizando un flujómetro universal de gases modelo ADM 2000 (Agilent Technologies).

### **5.3 PROTOCOLO DE MUESTREO**

El estudio se realizó en las ciudades de Tijuana, Tecate y Ensenada, en el estado de Baja California, México. El muestreo se efectuó en dos épocas representativas de la región, verano e invierno del 2010.

En cada ciudad, se instalaron estaciones móviles de muestreo de aire en las azoteas de edificios de uno o dos pisos. En el muestreo de verano se instalaron cinco estaciones diariamente y estas eran reubicadas hasta completar el número de sitios seleccionados por ciudad. En invierno, se instalaron diez estaciones simultáneamente y si era necesario cinco estaciones más al día siguiente, dependiendo del número de estaciones seleccionadas por ciudad.

La selección y ubicación de las estaciones de muestreo corresponden a sitios cercanos al área de interés y a un transecto definido previamente para cada ciudad, el cual abarcaba áreas de tipo comercial, industrial y residencial. Se solicitó el apoyo de escuelas, parques, hospitales, hogares e instituciones gubernamentales y no gubernamentales, quienes nos proporcionaron el acceso a sus instalaciones y el resguardo de los equipos instalados durante el periodo de muestreo.

En cada sitio, el equipo colectó muestras de aire durante 10 a 12 horas. El

muestreo se realizó en días hábiles entre las 7:00 y las 21:00 hrs.



**Figura 3.** Estación de colecta de muestras de aire. Cuenta con un tubo de desorción en la parte superior de la estructura (recuadro azul) y un muestreador de aire portátil (recuadro rojo).

#### 5.4 PROTECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Las muestras fueron retiradas de las estaciones y selladas en ambos extremos utilizando tapas Swagelok y sellos PTFE, con el fin de evitar cualquier

clase de contaminación. Posteriormente, las muestras fueron envueltas en papel aluminio y guardadas en bolsas de plástico ziploc. Se conservaron en refrigeración a una temperatura de 4 °C hasta el momento de su análisis, el cual se realizó en un plazo no mayor a treinta días a partir de la fecha de colecta de la muestra.

### **5.5 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO**

Las estaciones de colecta de muestras de aire para el análisis de COVs y COSVs se instalaron en distintos puntos de la ciudad de Ensenada, considerando doce estaciones en el muestreo de verano y trece en invierno. Por cuestiones de equipo, en el periodo de verano las mediciones en la ciudad se realizaron los días 25 al 27 de agosto del 2010, mediante la instalación y reubicación diaria de cuatro estaciones móviles. Para el monitoreo de la calidad de aire en condiciones invernales, se instalaron cuatro estaciones el día 7 de abril y nueve estaciones el día 12 de abril del 2011.

En el caso de la ciudad de Tecate, los muestreos realizados en verano e invierno se realizaron en nueve estaciones distribuidas en la ciudad. Durante el verano se instalaron y reubicaron diariamente tres estaciones entre los días 23 al 25 de junio del 2010. Para el periodo invernal, el muestreo se realizó el día 31 de mayo del 2011, instalándose simultáneamente nueve estaciones.

En la ciudad de Tijuana en cada muestreo se instalaron un total de catorce estaciones. Durante el muestreo de verano, por limitación de material y equipo,

se instalaron cinco estaciones diarias en forma simultánea durante los días 16 y 17 de junio, y cuatro estaciones el día 18 de junio del 2010. Para el muestreo de invierno, se instalaron diez estaciones el día 10 de marzo y cuatro estaciones el día 11 de marzo del 2011.

Cabe resaltar que las condiciones en el periodo considerado invernal en este estudio para las ciudades de Ensenada y Tecate realmente representan condiciones post-invernales o primaverales. Desafortunadamente, por inconvenientes mayores con materiales y equipos los muestreos se demoraron unas semanas.

Los mapas de distribución de las estaciones por ciudad y sus coordenadas geográficas para los muestreos de verano e invierno se observan en las figuras 4 a la 9.



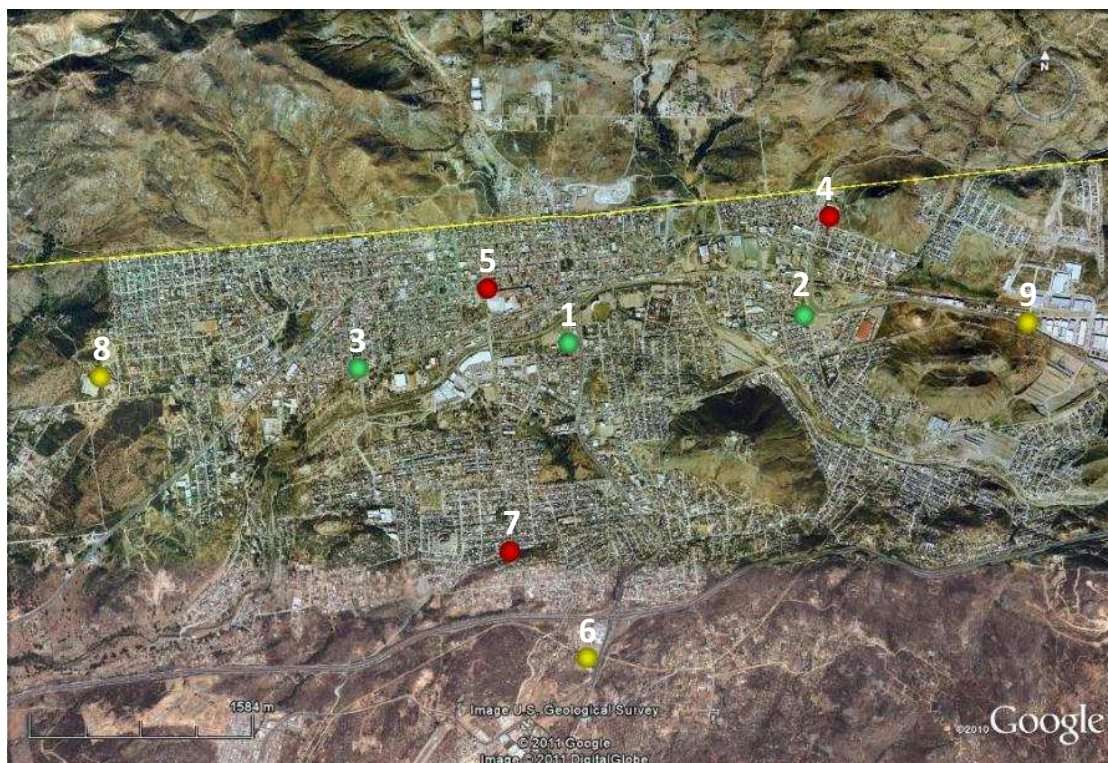
	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
1	Escuela Secundaria Técnica #19	31.78712 °N	116.59741 °W
2	CETIS #74	31.78409 °N	116.61631 °W
3	CBTIS #41	31.80674 °N	116.59432 °W
4	Escuela Secundaria Técnica #9	31.86062 °N	116.59417 °W
5	Cruz Roja Valle Dorado	31.84583 °N	116.60236 °W
6	CONALEP	31.82728 °N	116.60896 °W
7	Residencia Fracc. Valle Dorado	31.83246 °N	116.60017 °W
8	Escuela Secundaria Técnica #20	31.88362 °N	116.60973 °W
9	CECYTE	31.89633 °N	116.57375 °W
10	Cruz Roja Moderna	31.87309 °N	116.63574 °W
11	UABC-IIO	31.86343 °N	116.66637 °W
12	Residencia Col. Aeropuerto	31.79524 °N	116.59197 °W

**Figura 4.** Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Ensenada B.C. durante el verano del 2010. Los puntos de color verde, anaranjado y amarillo representan los sitios muestreados los días 25, 26, y 27 de agosto del 2010, respectivamente.



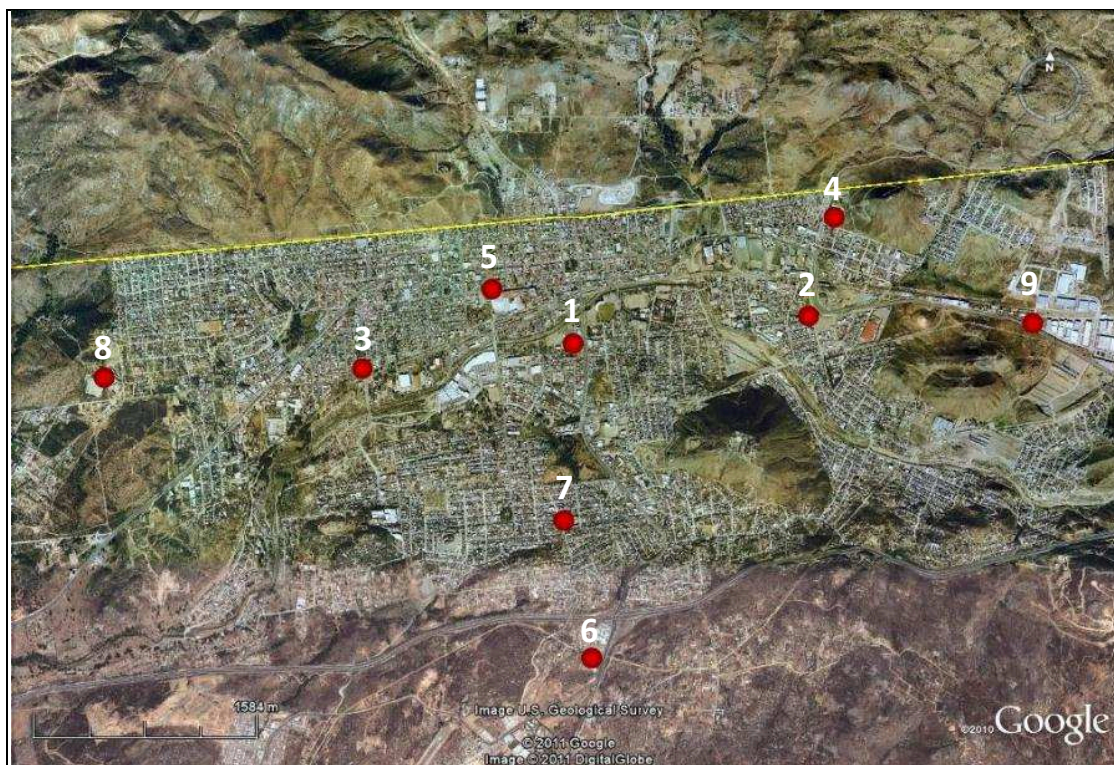
	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
1	CETIS #74	31.78409 °N	116.61631 °W
2	CBTIS #41	31.80674 °N	116.59432 °W
3	Escuela Secundaria Técnica #9	31.86062 °N	116.59417 °W
4	Cruz Roja Valle Dorado	31.84583 °N	116.60236 °W
5	CONALEP	31.82728 °N	116.60896 °W
6	Escuela Secundaria Técnica #20	31.88362 °N	116.60973 °W
7	CECYTE	31.89633 °N	116.57375 °W
8	Residencia Fracc. Costa Bella	31.84974 °N	116.58420 °W
9	Cruz Roja Moderna	31.87309 °N	116.63573 °W
10	Escuela Secundaria #4 "Mtro. Javier Mejía Zúñiga"	31.89451 °N	116.69726 °W
11	UABC-IIO	31.86343 °N	116.66637 °W
12	COBACH	31.85733 °N	116.61225 °W
13	Residencia Col. Aeropuerto	31.79741 °N	116.58990 °W

**Figura 5.** Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Ensenada B.C. durante el invierno del 2010-11. Los puntos de color verde y anaranjado representan los sitios muestreados los días 7 y 12 de abril del 2011, respectivamente.



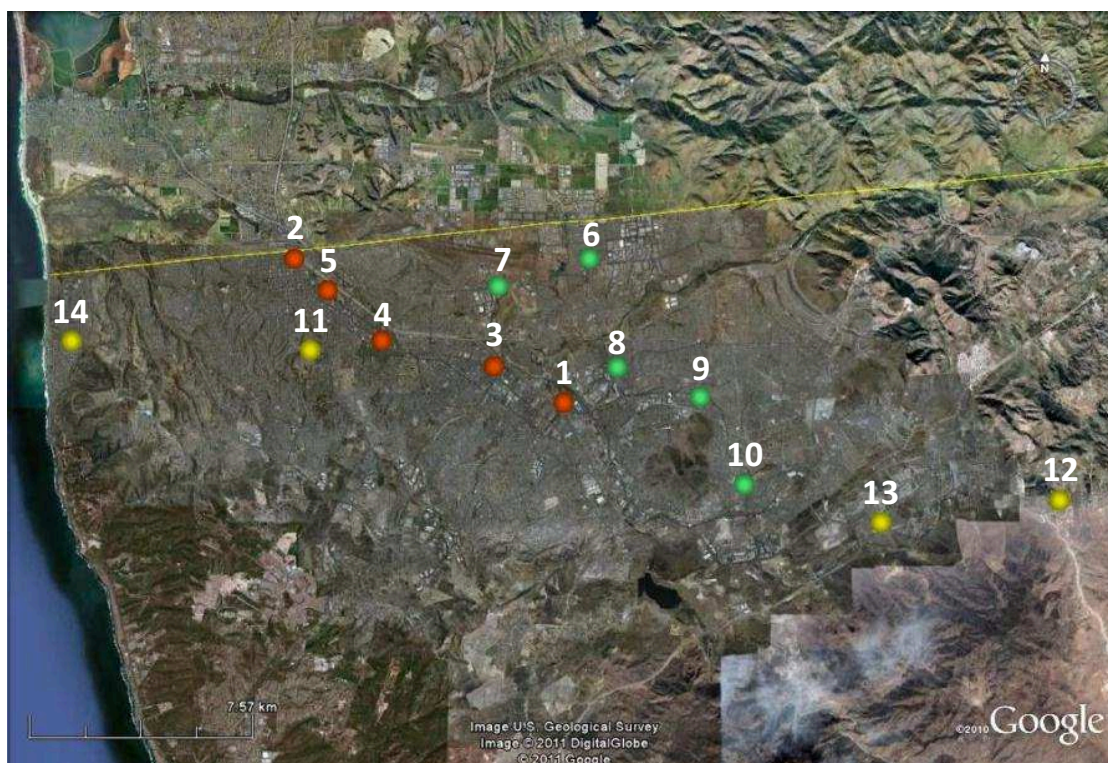
	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
1	UABC Campus Tecate	32.56835 °N	116.62637 °W
2	Escuela Primaria Leona Vicario	32.57006 °N	116.60848 °W
3	Escuela Secundaria Francisco I. Madero	32.56689 °N	116.64223 °W
4	CETIS #25	32.57654 °N	116.60649 °W
5	COBACH	32.57195 °N	116.63257 °W
6	CONALEP	32.54867 °N	116.62491 °W
7	Escuela Primaria Benito Juárez García	32.55520 °N	116.63074 °W
8	Parque El Profesor	32.56620 °N	116.66145 °W
9	CECATI #191	32.56964 °N	116.59187 °W

**Figura 6.** Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Tecate B.C. durante el verano del 2010. Los puntos de color verde, rojo y amarillo representan los sitios muestreados los días 23, 24 y 25 de junio del 2010, respectivamente.



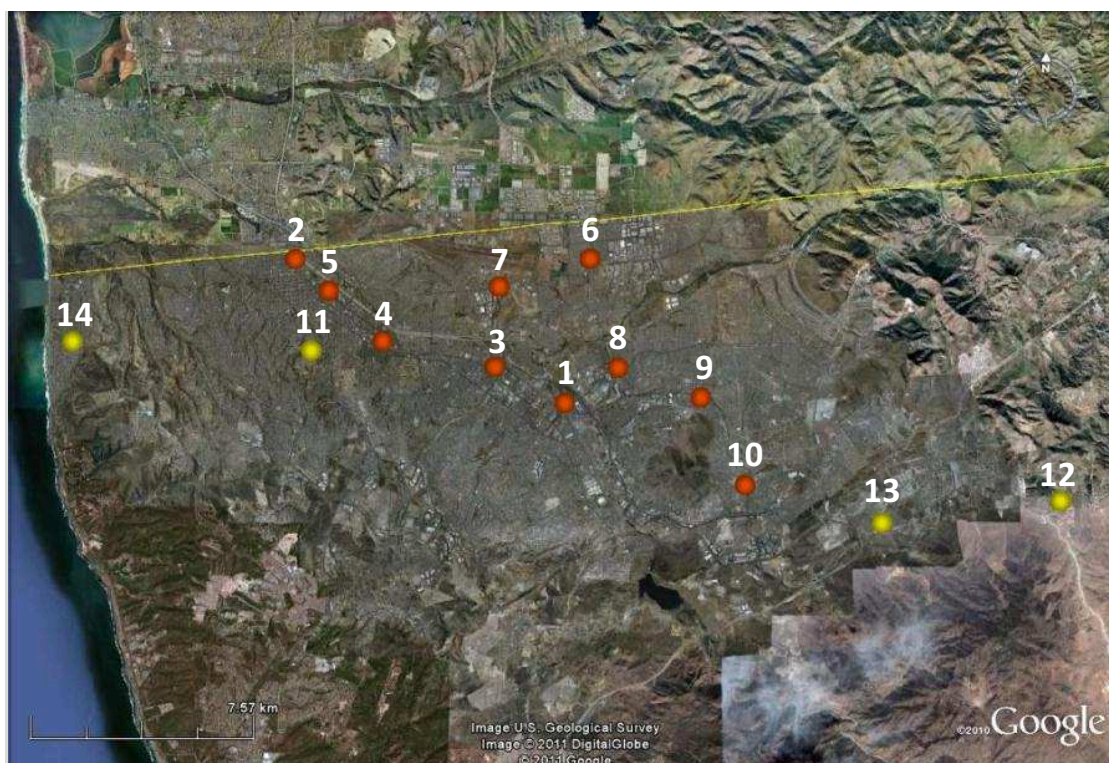
	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
1	UABC Campus Tecate	32.56835 °N	116.62637 °W
2	Escuela Primaria Leona Vicario	32.57006 °N	116.60848 °W
3	Escuela Secundaria Francisco I. Madero	32.56689 °N	116.64223 °W
4	CETIS #25	32.57654 °N	116.60649 °W
5	COBACH	32.57195 °N	116.63257 °W
6	CONALEP	32.54877 °N	116.62512 °W
7	Escuela Secundaria Estatal #19	32.55717 °N	116.62702 °W
8	Parque El Profesor	32.56685 °N	116.66248 °W
9	CECATI #191	32.56964 °N	116.59187 °W

**Figura 7.** Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Tecate B.C. durante el invierno del 2010-11. Los puntos de color rojo representan los sitios muestreados el día 31 de marzo del 2011.



	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
1	Museo del Trompo	32.49599 °N	116.93875 °W
2	Central de Bomberos Zona Centro	32.53947 °N	117.03555 °W
3	Preparatoria Federal Lázaro Cárdenas	32.51464 °N	117.00397 °W
4	Cruz Roja	32.50686 °N	116.96384 °W
5	CECUT	32.52987 °N	117.02334 °W
6	Conjunto Habitacional Otay Módulos	32.53934 °N	116.92934 °W
7	Biblioteca Central UABC Campus Tijuana	32.53094 °N	116.96233 °W
8	Preescolar "Rosaura Zapata"	32.50663 °N	116.91975 °W
9	Escuela Secundaria Técnica #33	32.49762 °N	116.89021 °W
10	Escuela Secundaria Técnica #31	32.47114 °N	116.87445 °W
11	Conjunto Habitacional Rinconada de la Cacho	32.51181 °N	117.02954 °W
12	UABC Campus Valle de las Palmas	32.43489 °N	116.67549 °W
13	UTT	32.45973 °N	116.82647 °W
14	CBTIS #146	32.51385 °N	117.11546 °W

**Figura 8.** Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Tijuana B.C. durante el verano del 2010. Los puntos de color anaranjado, verde y amarillo representan los sitios muestreados los días 16, 17 y 18 de junio del 2010, respectivamente.



	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
1	Museo del Trompo	32.49599 °N	116.93875 °W
2	Central de Bomberos Zona Centro	32.53947 °N	117.03555 °W
3	Preparatoria Federal Lázaro Cárdenas	32.51464 °N	117.00397 °W
4	Cruz Roja	32.50686 °N	116.96384 °W
5	CECUT	32.52987 °N	117.02334 °W
6	Conjunto Habitacional Otay Módulos	32.53934 °N	116.92934 °W
7	Biblioteca Central UABC Campus Tijuana	32.53094 °N	116.96233 °W
8	Preescolar “Rosaura Zapata”	32.50663 °N	116.91975 °W
9	Escuela Secundaria Técnica #33	32.49762 °N	116.89021 °W
10	Escuela Secundaria Técnica #31	32.47114 °N	116.87445 °W
11	Conjunto Habitacional Rinconada de la Cacho	32.51181 °N	117.02954 °W
12	UABC Campus Valle de las Palmas	32.43489 °N	116.67549 °W
13	UTT	32.45973 °N	116.82647 °W
14	CBTIS #146	32.51385 °N	117.11546 °W

**Figura 9.** Ubicación de los sitios de muestreo de aire instalados en Tijuana B.C. durante el invierno del 2010-11. Los puntos de color anaranjado y amarillo representan los sitios muestreados los días 10 y 11 de marzo del 2011, respectivamente.

## 5.6 MÉTODO ANALÍTICO

La identificación y cuantificación de los compuestos se realizó utilizando un equipo de desorción térmica SIS Short Path Modelo TD-5 (Scientific Instrument Services, Inc.) acoplado a un cromatógrafo de gases Agilent 7890A y a un espectrómetro de masas Agilent 5975. Para la separación de los compuestos se empleó una columna cromatográfica capilar DB-5MS (30m × 0.25mm × 0.25µm, Agilent J&W GC Columns).

Las muestras colectadas fueron desadsorbidas en sentido inverso al flujo de muestreo, empleando el equipo de desorción térmica TD-5. Las condiciones de trabajo del equipo TD-5 para el proceso de desorción de la muestra fueron: 1 minuto de purga (para remover humedad y reducir así la posibilidad de oxidación de los compuestos) y desorción térmica del tubo a 200 °C por 5 minutos. Para retener los compuestos desadsorbidos de las muestras previo al proceso cromatográfico, el equipo emplea una criotrampa de nitrógeno líquido, la cual se enfría a una temperatura de -70 °C. Una vez terminado el proceso de desorción de la muestra, la criotrampa permanece en fase de estabilización durante 30 segundos y posteriormente realiza el calentamiento súbito de -70 hasta 200 °C, manteniendo esa temperatura por un lapso de 2 minutos con el fin de liberar los compuestos e iniciar el proceso cromatográfico.

El programa de trabajo empleado en el horno del cromatógrafo consistía en una temperatura inicial de 30 °C por 3 minutos, posteriormente un incremento

de temperatura a razón de 5 °C/min hasta 130 °C y finalmente un incremento de temperatura a razón de 8 °C/min hasta una temperatura final de 220 °C, manteniéndolo durante 16 minutos. El tiempo total del proceso cromatográfico consistía en 50.25 min. Se empleó He grado alta pureza como gas acarreador a flujo constante de 1 mL/min y se utilizó un Split 5:1. El espectrómetro de masas fue operado con una fuente de Impacto Electrónico (EI) en modo Full SCAN y bajo condiciones estándar con una energía de ionización de 70 eV. Las temperaturas empleadas en la fuente y el cuadrupolo fueron de 250 °C y 150 °C, respectivamente. Se añadió una ventana de exclusión durante los primeros 4.5 minutos con el objetivo de evitar la señal proveniente del solvente empleado en la preparación del estándar surrogado e interno.

En este estudio se monitoreó la presencia de 28 compuestos orgánicos volátiles y 10 compuestos orgánicos semi-volátiles (Tabla III). Para la curva de calibración se prepararon mezclas de COVs y PAHs en concentraciones en el rango de 2.5 hasta 25 ng  $\mu\text{l}^{-1}$  empleando metanol como solvente.

TABLA III COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES MONITOREADOS		
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES		COMPUESTOS ORGÁNICOS SEMI-VOLÁTILES
trans-1,3-dicloropropeno	4-clorotolueno	naftaleno
tolueno	1,2,4-trimetilbenceno	hexacloro-1,3-butadieno
1,1,2-tricloroetano	tert-butilbenceno	acenaftileno
tetracloroetano	1,3,5-trimetilbenceno	acenafteno
dibromoclorometano	1,3-diclorobenceno	fluoreno
clorobenceno	sec-butilbenceno	fenantreno
1,1,1,2-tetracloroetano	1,4-diclorobenceno	antraceno
etilbenceno	cimeno	fluoranteno
m,p-xileno	1,2-diclorobenceno	pireno
o-xileno	n-butilbenceno	benzo(a)antraceno
cumeno	1,2-dibromo-3-cloro-propano	criseno
bromobenceno	1,2,4-triclorobenceno	
2-clorotolueno	1,2,3-triclorobenceno	
n-propilbenceno		

Los compuestos fueron identificados con ayuda de la librería electrónica NIST 08 (NIST Mass Spectral Search Program for the NIST, EPA/NIH Mass Spectral Library. v.2.0f, built Oct 08 2008). Para ello, se compararon el tiempo de retención y la proporción de los iones de cuantificación y confirmación para cada compuesto (Anexo II). El análisis cuantitativo se realizó a partir de las áreas obtenidas de los iones de cuantificación de los compuestos en los cromatogramas de las muestras y en las mezclas de estándares de COVs y COSVs.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

### **6.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE COVs y COSVs**

Las mediciones realizadas en las ciudades de Ensenada, Tijuana y Tecate durante el periodo de verano del 2010 e invierno del 2010-11 permitieron identificar los posibles patrones de dispersión de contaminantes y determinar los compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles más representativos en la región.

Se colectaron un número limitado de muestras en cada ciudad. Las concentraciones promedio a partir de los sitios en los que se identificaron los compuestos analizados, esto con el fin de tener valores de referencia para comparar las ciudades analizadas con datos publicados a nivel nacional e internacional.

A continuación se presentan de manera descriptiva la gama de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles identificados en cada ciudad y las concentraciones encontradas en cada periodo. Posteriormente, se discutirá extensamente los resultados obtenidos para los compuestos de mayor relevancia en este estudio.

En el Anexo III se pueden consultar las tablas de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles analizados en este trabajo en las ciudades de Tijuana, Tecate y Ensenada.

## **6.1.1 ENSENADA B.C.**

### **6.1.1.1 VERANO 2010**

Se analizaron doce muestras distribuidas en distintos puntos de la ciudad de Ensenada B.C., durante el estudio realizado los días 25 al 27 de agosto del 2010.

La gama de compuestos orgánicos volátiles identificados en el muestreo estuvo limitada a cinco compuestos: tolueno, etilbenceno, los tres isómeros del xileno (orto-, meta-, para-), etilbenceno y 1,3,5-trimetilbenceno.

El tolueno fue el único compuesto identificado en la mayoría de los sitios analizados en este periodo, encontrándose una concentración promedio de 3.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las mayores concentraciones de tolueno se encontraron en las estaciones situadas en Cruz Roja Unidad Valle Dorado (12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), CETIS #74 (9.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y CECYTE (4.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En el caso del xileno y sus isómeros, únicamente se identificaron en tres estaciones: Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), residencia en el Fracc. Valle Dorado y CBTIS #41. Las concentraciones promedio para los isómeros de xileno (en las formas orto; y meta-, para-) fueron en ambos casos de 0.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Los compuestos 1,3,5-trimetilbenceno y etilbenceno fueron identificados únicamente en la estación situada en el Fracc. Valle Dorado en concentraciones

de 1.1 y 0.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Los compuestos orgánicos semi-volátiles presentaron una gama más amplia de compuestos identificados, entre los que se encontraron el acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, pireno, benzo(a)antraceno y criseno. Estos compuestos se identificaron en cuatro estaciones, siendo la estación ubicada en el Fracc. Valle Dorado, la que presentó el mayor número de semi-volátiles. Sin embargo, las mayores concentraciones se encontraron en la Esc. Sec. Tec. #20, para los compuestos benzo(a)antraceno (50.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y criseno (48.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Considerando concentraciones totales de COVs y COSVs presentes en las estaciones monitoreadas, los mayores niveles de contaminación en la ciudad se encontraron en las estaciones ubicadas en la Esc. Sec. Tec. #20 (103.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en el Fracc. Valle Dorado (18.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y en el CONALEP (17.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

#### **6.1.1.2 INVIERNO 2010-11**

Se analizaron trece muestras distribuidas en distintos puntos de la ciudad de Ensenada B.C., las cuales fueron colectadas los días 7 y 12 de abril del 2011.

Los resultados revelan la presencia de cuatro compuestos orgánicos volátiles en las muestras colectadas en la ciudad: tolueno, m,p-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno y 1,3,5-trimetilbenceno.

El tolueno fue el compuesto mayormente identificado en la ciudad, al

encontrarse en once de las trece estaciones instaladas. La concentración promedio de tolueno en la ciudad fue de  $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las mayores concentraciones se ubicaron en las estaciones CONALEP ( $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), CECYTE ( $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Cruz Roja de la Col. Moderna ( $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

El compuesto m,p-xileno se encontró en cinco sitios, presentando concentraciones promedio de  $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Los isómeros 1,2,4-trimetilbenceno y 1,3,5-trimetilbenceno presentaron baja frecuencia, al presentarse en una y cuatro estaciones, respectivamente. Las concentraciones promedio para estos compuestos fueron de  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el 1,2,4-trimetilbenceno y de  $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el 1,3,5-trimetilbenceno.

Los compuestos orgánicos semi-volátiles identificados incluyen a compuestos como el fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, y criseno. Estos compuestos se encontraron en concentraciones promedio de 3.3, 4.6, 4.8, 4.3, 6.0 y  $7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

El benzo(a)antraceno y criseno fueron encontrados en cinco sitios, por lo que fueron los compuestos semi-volátiles encontrados con mayor frecuencia en las muestras analizadas. Entre los sitios que presentaron mayores niveles de contaminación por benzo(a)antraceno y criseno destacan la Cruz Roja de la Col. Moderna ( $12.0$  y  $15.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la Residencia en la Col. Aeropuerto ( $5.2$  y  $8.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y el COBACH ( $5.0$  y  $7.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Considerando la sumatoria de COVs y COSVs, se encontró que los tres sitios con mayores concentraciones totales se ubican en la Cruz Roja de la Col. Moderna ( $51.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la residencia en la Col. Aeropuerto ( $25.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y en el COBACH ( $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

## **6.1.2 TIJUANA B.C.**

### **6.1.2.1 VERANO 2010**

Se analizaron trece muestras distribuidas en distintos puntos de la ciudad de Tijuana B.C., durante el estudio realizado los días 16 al 18 de junio del 2010. Se observó una baja frecuencia de compuestos orgánicos volátiles en las muestras. Los COVs identificados en este periodo fueron: tolueno, 1,3,5-trimetilbenceno y 1,4-diclorobenceno.

El compuesto mayormente identificado fue tolueno, el cual estuvo presente en todas las estaciones. Los tres sitios que presentaron las mayores concentraciones de tolueno se localizaron en la Universidad Tecnológica de Tijuana [UTT] ( $17.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en la Estación Central de Bomberos de la Zona Centro ( $16.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y en la Esc. Secundaria Técnica #31 ( $12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración promedio de tolueno en la ciudad fue de  $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Los compuestos 1,3,5-trimetilbenceno y 1,4-diclorobenceno presentaron concentraciones promedio de  $0.4$  y  $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Estos compuestos presentaron una muy baja frecuencia, al identificarse únicamente

en dos de las estaciones instaladas.

Se identificaron cuatro compuestos orgánicos semi-volátiles: fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno y criseno. Cabe mencionar que los compuestos benzo(a)antraceno ( $18.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y criseno ( $27.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) presentaron las mayores concentraciones promedio de semi-volátiles.

Los sitios con mayores concentraciones de benzo(a)antraceno se localizaron en la Rinconada de la Cacho ( $24.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en la Cruz Roja Tijuana ( $20.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y en el Conjunto Habitacional Otay Módulos ( $19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Un patrón similar de distribución se encontró para criseno, y donde las mayores concentraciones se presentaron en Cruz Roja Tijuana ( $42.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Rinconada de la Cacho ( $31.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Otay Módulos ( $24.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Los compuestos fluoranteno y pireno se encontraron en concentraciones promedio de  $2.6$  y  $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Su distribución se restringió a tres sitios: Estación Central de Bomberos, Cruz Roja Tijuana y Rinconada de la Cacho.

Considerando las concentraciones totales de COVs y COSVs, los sitios que presentaron los mayores niveles de contaminación fueron: Cruz Roja Tijuana ( $76.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Rinconada de la Cacho ( $65.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Otay Módulos ( $46.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

#### **6.1.2.2 INVIERNO 2010-11**

Se analizaron 14 muestras en distintos puntos de la ciudad de Tijuana B.C.,

durante el estudio realizado los días 10 y 11 de marzo del 2011.

Para el caso de la ciudad de Tijuana, los compuestos orgánicos volátiles identificados en los muestreos realizados en el periodo invernal consistieron en tres compuestos: tolueno, los isómeros m,p-xileno y o-xileno.

El tolueno representó el compuesto orgánico volátil más identificado en este periodo, ya que se encontró presente en trece de los catorce sitios analizados. Las concentraciones promedio de tolueno en la ciudad fueron de  $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las estaciones que presentaron los mayores niveles de contaminación fueron: Preparatoria Federal Lázaro Cárdenas ( $20.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), UTT ( $9.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Preescolar "Rosaura Zapata" ( $7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En tanto, los isómeros m,p-xileno y el o-xileno presentaron concentraciones promedio de  $5.2$  y  $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Estos compuestos presentaron baja frecuencia en las estaciones monitoreadas en la ciudad, al ser identificados únicamente en una estación en el caso del o-xileno y en tres estaciones en el caso del m,p-xileno.

Se determinó que la distribución de compuestos orgánicos semi-volátiles estaba conformada por cinco compuestos: fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno y pireno. Estos compuestos se encontraron presentes en concentraciones detectables en tres estaciones, mostrando concentraciones promedio de: fluoreno  $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fenantreno  $3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , antraceno  $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fluoranteno  $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y pireno  $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Considerando las concentraciones totales para COVs y COSVs, los sitios que presentaron mayores niveles de contaminación en la ciudad fueron: Preparatoria Federal Lázaro Cárdenas ( $41.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Esc. Sec. Técnica #33 ( $22.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Estación Central de Bomberos ( $17.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### **6.1.3 TECATE B.C.**

#### **6.1.3.1 VERANO 2010**

Se analizaron catorce muestras obtenidas de diez sitios de muestreo, de las cuales cinco estaciones se les realizaron un duplicado. Las estaciones fueron instaladas en distintos puntos de la ciudad de Tecate B.C., durante el estudio realizado del 23 al 25 de junio del 2010.

En este periodo, se identificaron los siguientes compuestos: tolueno, los isómeros del xileno (orto-, meta-, para-), 1,3,5-trimetilbenceno, 1,4-diclorobenceno, acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, pireno, benzo(a)antraceno y criseno.

En el caso de los compuestos orgánicos volátiles, el tolueno es el compuesto más representativo, ya que se encontró en todas las muestras analizadas. La concentración promedio en la ciudad fue de  $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Los sitios con mayores niveles de contaminación por tolueno son: Esc. Prim. "Benito Juárez García" ( $11.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Esc. Primaria "Leona Vicario" ( $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y UABC Campus Tecate ( $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En tanto, el resto de los compuestos orgánicos volátiles presentan menor frecuencia en las muestras y únicamente se identificaron en la Esc. Primaria Leona Vicario y en CETIS #25. Las concentraciones promedio de los isómeros del xileno (orto- y la sumatoria del meta- y para- xileno) presentaron concentraciones promedio de 1.1 y 1.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Las concentraciones promedio de 1,4-diclorobenceno y 1,3,5-trimetilbenceno fueron de 1.9 y 1.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Los compuestos orgánicos semi-volátiles fueron encontrados con mayor frecuencia en comparación con los compuestos orgánicos volátiles. Las concentraciones promedio para los compuestos identificados fueron: acenaftileno 3.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , fluoreno 2.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , fenantreno 2.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , antraceno 2.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , fluoranteno 2.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , pireno 2.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , benzo(a)antraceno 6.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y criseno 9.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Considerando las sumatorias totales de las concentraciones de COVs y COSVs, los sitios que presentaron mayores problemas de contaminación se localizaron en UABC Campus Tecate (40.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Esc. Primaria "Benito Juárez García" (33.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Esc. Primaria Leona Vicario (30.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### **6.1.3.2 INVIERNO 2010-11**

Se analizaron nueve muestras obtenidas de distintos puntos de la ciudad de Tecate B.C., durante el estudio realizado el día 31 de marzo del 2011.

En el periodo invernal, se encontró una gama de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles conformada por los siguientes compuestos: tolueno, etilbenceno, m,p-xileno, o-xileno, cumeno, n-propilbenceno, los isómeros 1,2,4-trimetilbenceno y 1,3,5-trimetilbenceno, sec-butilbenceno, cimeno, n-butilbenceno, naftaleno, fluoranteno y pireno.

El 1,3,5-trimetilbenceno y el tolueno representaron los compuestos con mayor incidencia en las estaciones monitoreadas, presentando concentraciones promedio de 4.2 y 10.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

En tanto, el resto de los compuestos orgánicos volátiles presentó una amplia distribución en las estaciones, encontrándose concentraciones promedio de: m,p-xileno 3.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , o-xileno 5.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cumeno 0.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n-propilbenceno 0.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1,2,4-trimetilbenceno 1.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sec-butilbenceno 0.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y n-butilbenceno 0.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La gama de COSVs identificada estuvo compuesta por naftaleno, fluoranteno y pireno, presentando concentraciones promedio de 1.9, 4.4 y 4.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Estos compuestos presentaron baja frecuencia en las muestras.

De acuerdo a las concentraciones totales de COVs y COSVs, los mayores niveles de contaminación se encontraron en COBACH Unidad Tecate (94.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), CETIS #25 (34.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Esc. Primaria "Leona Vicario" (17.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

## **6.2 EMISIONES DE COVs Y COSVs**

Este trabajo considera principalmente a los compuestos tolueno, m,p-xileno, fluoranteno, criseno, benzo(a)antraceno y la sumatoria de las concentraciones totales de COVs y COSVs para el análisis de los niveles de contaminación y discusión de los resultados.

La comparación de las emisiones de COVs y COSVs se basó en la frecuencia de estos compuestos en las muestras analizadas y en los niveles de contaminación en las estaciones monitoreadas en cada ciudad.

Los mapas de distribución de concentraciones presentados en este trabajo fueron desarrollados mediante el software Surfer v.10.1.561 (Golden Software, Inc.), y el cual emplea el método de interpolación denominado Kriging para las estimaciones de distribución de los contornos observados.

### **6.2.1 TOLUENO**

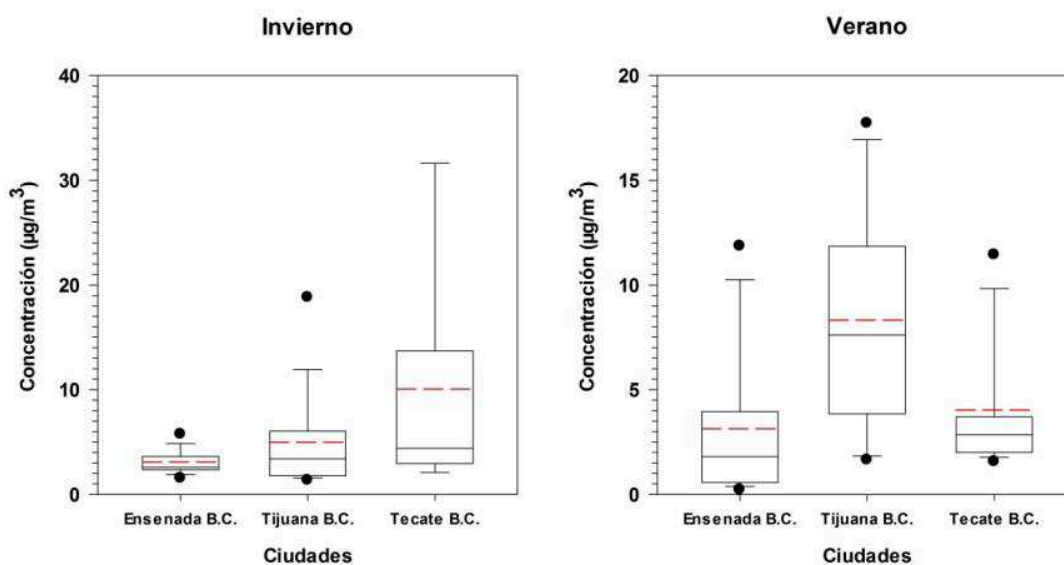
El tolueno es un compuesto producido por la conversión catalítica del petróleo y la aromatización de hidrocarburos alifáticos. Se emplea en la gasolina para incrementar el octanaje en combinación con benceno y xileno, en solventes, diluyentes, pinturas, plásticos, tintas de impresora, cosméticos, adhesivos y resinas industriales, entre otras aplicaciones (WHO, 2000).

Se ha demostrado que este compuesto repercute en la salud humana durante exposiciones prolongadas a altas concentraciones. Las afectaciones incluyen

efectos teratógenos y mutagénicos, al sistema nervioso central, daños renales, daños hepáticos, entre otras (WHO, 2000).

El tolueno fue el compuesto con mayor incidencia en las muestras analizadas en las ciudades involucradas en este estudio y durante dos periodos de muestreo.

Los resultados de las concentraciones promedio de tolueno indican que las mayores emisiones de tolueno se presentaron durante el verano en Ensenada y Tijuana, mientras que en Tecate se presentaron en invierno (Fig. 10).



**Figura 10.** Gráficos de caja de las concentraciones de tolueno para Ensenada, Tijuana y Tecate B.C. La línea negra continua representa la mediana y la línea punteada roja representa el valor promedio. Nótese la escala de concentración empleada en cada caso.

La tendencia observada durante el periodo de verano demostró que los mayores niveles de contaminación se encontraban de la siguiente manera:

Tijuana > Tecate > Ensenada. En el periodo invernal, la tendencia de distribución de tolueno en la región fue: Tecate > Tijuana > Ensenada.

La ciudad de Ensenada presentó una tendencia similar de dispersión de contaminación por tolueno en verano e invierno. En ambos casos, las concentraciones promedio fueron de  $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sin embargo, al emplear la mediana, se observó que existen mayores concentraciones en invierno ( $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que durante el verano ( $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

La figura 11 muestra la distribución de las concentraciones de tolueno en las distintas estaciones situadas en la ciudad de Ensenada durante los muestreos realizados en el periodo de verano e invierno del 2010.

En el periodo de verano existen dos regiones donde se localizan bajas concentraciones de tolueno en la ciudad: una en la zona noroeste que abarca Cruz Roja de la Col. Moderna y Esc. Secundaria Técnica #20; otra en la zona sureste que abarca CONALEP, CBTIS #41, Col. Aeropuerto y Esc. Secundaria #4.

Así mismo, es posible identificar dos sitios que presentaron las mayores concentraciones de tolueno durante verano. Estos sitios se localizaron en Cruz Roja Valle Dorado en la zona este y CETIS #74 ubicada en la zona sur de la ciudad.

La estación ubicada en la Cruz Roja Unidad Valle Dorado presentó la

concentración más alta de tolueno en la ciudad de Ensenada. Las posibles causas por las que este sitio presentó estos niveles de contaminación se atribuyen a la afluencia vehicular en la zona, ya que esta estación se ubica en el a una cuadra de la Av. Reforma, una de las principales vialidades de la ciudad.

CETIS #74 se ubica al suroeste de la ciudad en un área residencial con baja afluencia vehicular. En la zona no es posible identificar fuentes puntuales a los cuales se pueda atribuir los niveles de contaminación encontrados. Sin embargo, al momento del muestreo algunas áreas del plantel realizaban actividades de remodelación y pintura de aulas, por lo que esto explicaría en cierto grado los niveles de contaminación encontrados. No obstante, es posible que pudiera existir alguna otra fuente no reconocida en la zona.

En invierno, fue posible observar un patrón homogéneo de distribución de tolueno en la ciudad probablemente asociado a emisiones vehiculares. Los valores encontrados en las estaciones presentaron concentraciones promedio de  $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una de mediana de  $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sin embargo, en este periodo sobresalen dos áreas de baja concentración de tolueno: una en la Esc. Secundaria Técnica #19 al oeste y otra en la Esc. Secundaria Técnica. #20 en el norte de la ciudad.

En la ciudad de Tijuana (Fig. 12), las mayores concentraciones se encontraron durante el verano al presentar concentraciones promedio de  $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una mediana de  $7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Durante el invierno se encontraron

concentraciones promedio de  $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y de mediana de  $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , las cuales son menores a las encontradas en verano.

Durante el periodo de verano se encontraron dos áreas con las mayores concentraciones de tolueno: una ubicada en la zona norte que comprende las estaciones cercanas a la Av. Internacional, la Zona Centro, Zona Río y el cruce fronterizo hacia Estados Unidos (Estación Central de Bomberos y CECUT), vialidades con alta afluencia vehicular, y otra en el suroeste de la ciudad, la cual abarca una extensa área que conforma un corredor de estaciones con concentraciones que van desde  $7.6$  hasta  $17.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , donde la concentración más alta representa la Universidad Tecnológica de Tijuana.

Se puede observar durante el verano un corredor alrededor de la canalización del Río Tijuana, en el cual se ubican los mayores niveles de concentración de tolueno y que recorre de norte a sur. Esto se debe a que en los costados de la canalización se localiza la Vía Rápida, vialidad con alta afluencia vehicular. A su vez, en las inmediaciones existen numerosos parques industriales que contribuyen como fuentes de contaminación en la zona. Aunado a esto, las características orográficas y los patrones de viento predominantes durante el día (Anexo IV) podrían influir en la dinámica de dispersión de contaminantes al trasladar masas de aire desde el norte hacia el sur de la ciudad a través de la canalización del Río Tijuana.

La distribución de concentraciones de tolueno durante el periodo invernal

presentó una tendencia menor a las encontradas en verano. Sin embargo, dos sitios sobresalen en esta época: la Prep. Federal Lázaro Cárdenas en la zona norte y la UTT en la zona sureste.

En la Preparatoria Federal Lázaro Cárdenas ( $20.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se encontró la mayor concentración tolueno en la ciudad de Tijuana. Como se ha mencionado es posible que los altos niveles de tolueno se atribuyan al tráfico vehicular. La Av. Paseo de los Héroes, la Vía Rápida Poniente y el Blvd. Sánchez Taboada conforman las tres vialidades que se encuentran en las inmediaciones del plantel y que presentan con alta afluencia vehicular

En la zona sureste de la ciudad, la UTT presentó una concentración de tolueno de  $9.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo el segundo sitio con mayor contaminación por tolueno en la ciudad durante invierno y el primero durante el verano. Este sitio se caracteriza por ubicarse en una zona de uso de suelo de tipo residencial primordialmente. A sus alrededores se ubican el acceso a la Carretera Libre Tijuana-Tecate y al Blvd. 2000, así como una gasolinera con una alta afluencia de transporte de carga. Los factores antes mencionados y el probable desplazamiento de masas de aire desde el norte hasta esta zona debido a los vientos predominantes durante el día, podrían explicar los altos niveles de contaminación encontrados.

La ciudad de Tecate presentó las mayores concentraciones de tolueno en invierno, con un promedio de  $10.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una mediana de  $4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En

verano se observaron menores concentraciones de tolueno, con un promedio de  $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una mediana de  $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Estos resultados sugieren que en el periodo invernal existieron mayores emisiones de contaminantes, tendencia en sentido inverso al observado en las ciudades de Ensenada y Tijuana, donde las mayores concentraciones se encontraron en verano. Una explicación alterna sería que los vientos y las condiciones climáticas hubieran transportado contaminantes desde Tijuana hacia Tecate, produciendo un inusual nivel de contaminación para la época del año.

Se identificaron dos sitios con los mayores niveles de contaminación por tolueno en verano y tres sitios en invierno. Durante el invierno, dos estaciones presentaron las mayores concentraciones registradas en la ciudad (Fig. 13).

Los dos sitios que sobresalen en verano fueron: Esc. Primaria Benito Juárez García ( $11.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ubicada en la zona sur de la ciudad en la Col. Morelos y Esc. Primaria Leona Vicario ( $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) localizada en la Col. El Descanso en la zona este de la ciudad. El primer sitio se localiza en un área mayormente residencial, al pie de un cerro que interrumpe el flujo de las masas de aire y en donde no se observaron fuentes puntuales identificables de emisiones de contaminantes y donde la afluencia vehicular es baja, por lo que es probable que las altas concentraciones encontradas provengan desde otras zonas de la ciudad. La estación ubicada en la Esc. Primaria Leona Vicario se localiza en un

área residencial, con cierta influencia de actividades industriales y de servicios. Este sitio se localiza a un costado de la vialidad Paseo José María Morelos y Pavón, la cual conecta con la Carretera Federal Tecate-Mexicali y que presenta una importante afluencia de transporte pesado.

Las figuras 14 y 15 muestran la tendencia mundial de tolueno con respecto al tamaño de población existente en verano e invierno, respectivamente. Esta figura traza una línea de tendencia central generada a partir de valores promedios reportados en otros estudios, con el objetivo de normalizar criterios y ubicar los resultados de este estudio. Bajo este parámetro, se observó que las concentraciones promedio obtenidas en este trabajo se sitúan por debajo de la tendencia global durante verano e invierno.

Sin embargo, Tecate en invierno presentó concentraciones cercanas a la línea de tendencia pronosticada a nivel mundial, lo cual sugiere que los niveles de contaminación son equiparables en relación a su población. Estos niveles de contaminación podrían atribuirse al parque vehicular existente y al desarrollo industrial particularmente de la industria cervecera y de manufactura, así como a la probable contribución de masas de aire provenientes de la vecina ciudad de Tijuana.

De acuerdo a la Organización Mundial de Salud (OMS), las concentraciones mínimas en las que se han observado afectaciones en el sistema nervioso central por inhalación de tolueno son de  $332 \text{ mg/m}^3$  ( $3,320 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  o 88 ppm). De

acuerdo a estimaciones realizadas al considerar diferentes parámetros como incertidumbre, variación interindividual y niveles de efectos adversos observados y no observados, la OMS sugiere una concentración promedio de exposición semanal de  $0.26 \text{ mg/m}^3$  ( $260 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ ) o menor a  $1 \text{ mg/m}^3$  ( $1000 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ ) en exposiciones de 30 minutos, con el objetivo de evitar afectaciones importantes a la salud (WHO, 2000).

En tanto, el Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) en Japón, promueve a través de una serie de guías en aire ambiental en espacios interiores, un límite de exposición de  $260 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ , con el fin de evitar el denominado “síndrome de edificio enfermo” y el desarrollo de padecimientos relacionados a la exposición continua a este contaminante (Tanaka-Kagawa et al., 2005).

Empleando como referencia estos valores de OMS y MHLW, se encontró que las concentraciones en este trabajo están por debajo de niveles de contaminación que pudieran propiciar afectaciones en la salud de la población en ambientes exteriores. No obstante, es recomendable realizar estudios en ambientes interiores para descartar posibles afectaciones en la salud de la población, ya que se estima que más del 80% de las actividades diarias se realizan en espacios cerrados y cerca de dos terceras partes al interior de los hogares (Son et al., 2003).

Esto es de gran importancia, ya que en los ambientes interiores de los

edificios se generan una amplia variedad de compuestos orgánicos volátiles y a su vez, dependiendo de características como volumen de la habitación, actividades humanas, factores estacionales, ventilación, entre otros, pueden acumularse y alcanzar niveles que pudieran afectar la salud de los ocupantes a corto o largo plazo.

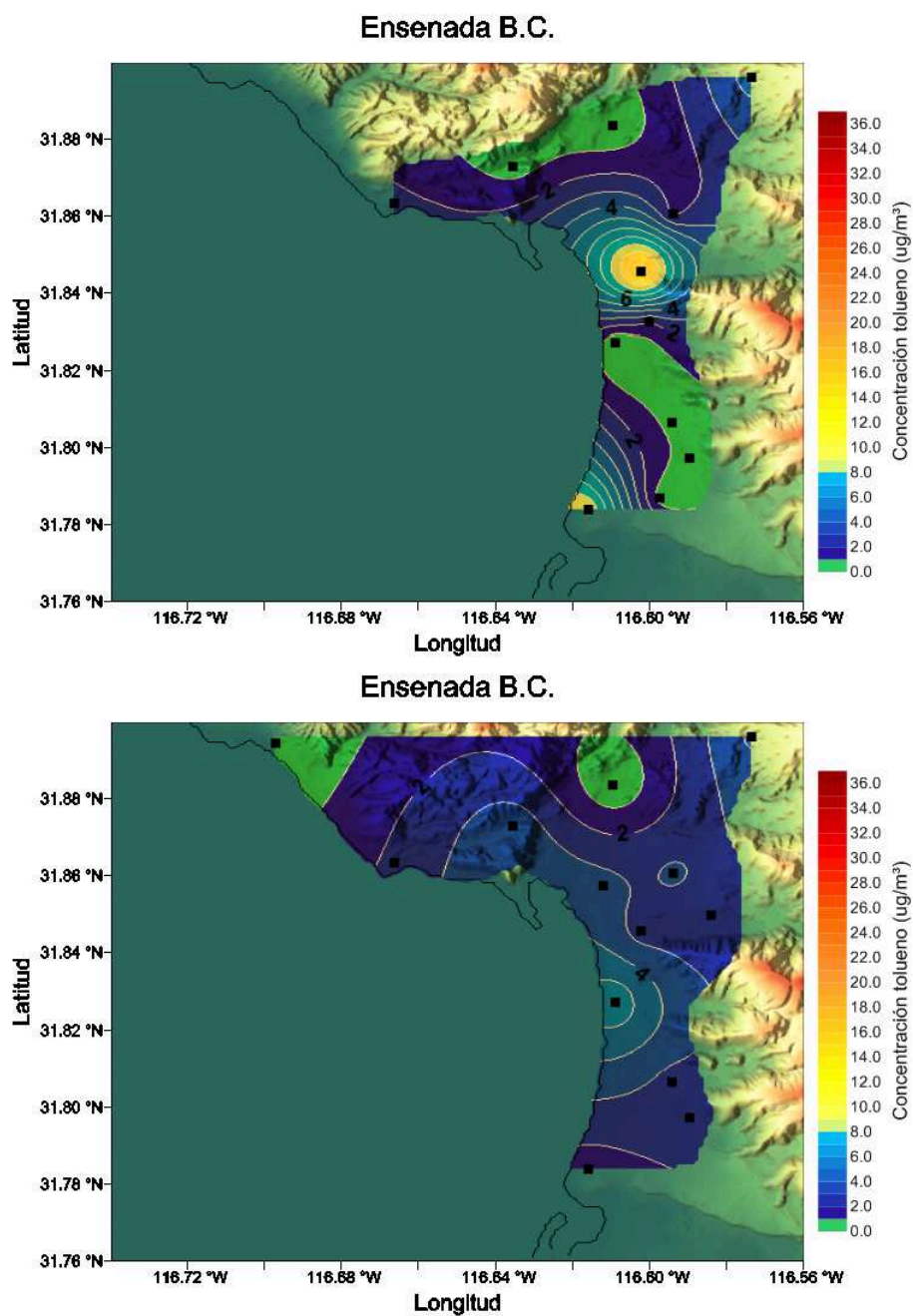
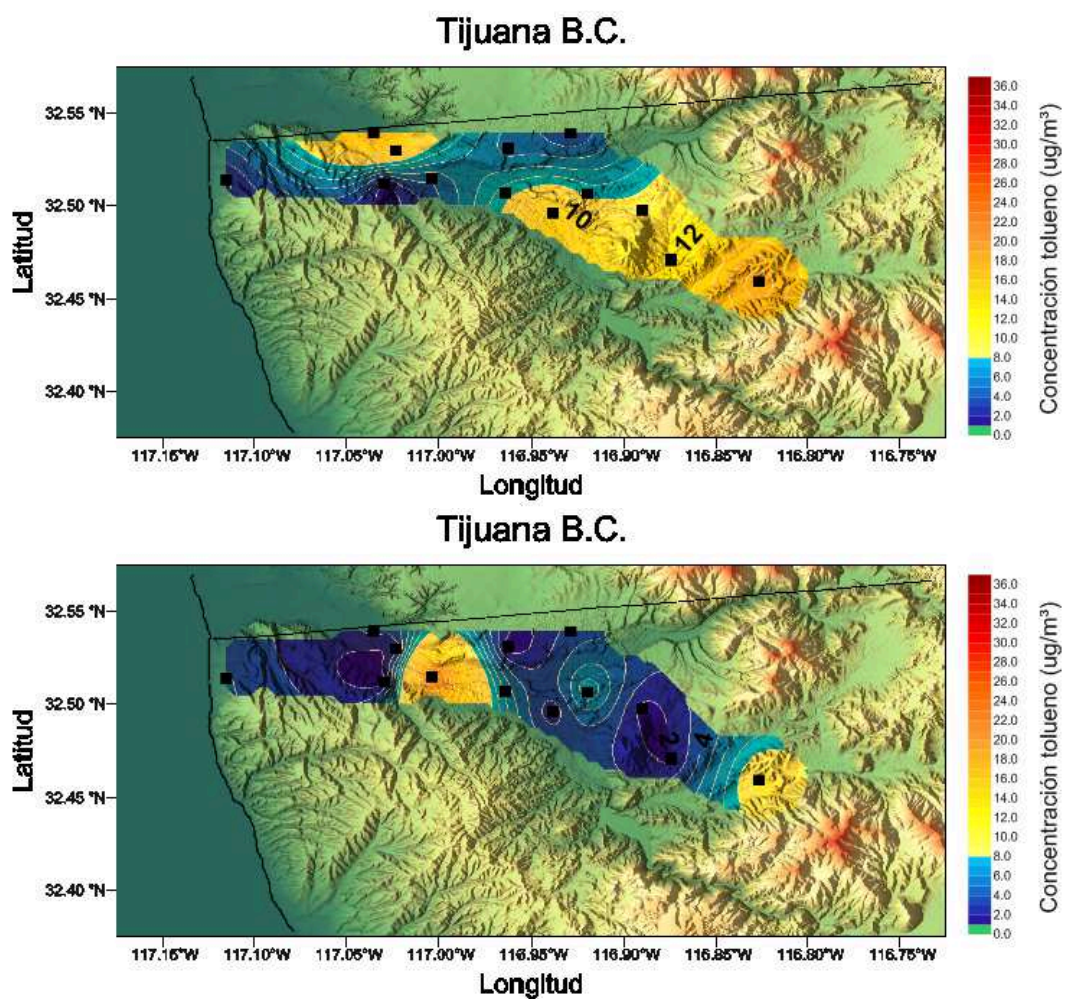


Figura 11. Distribución de tolueno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).



**Figura 12.** Distribución de tolueno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

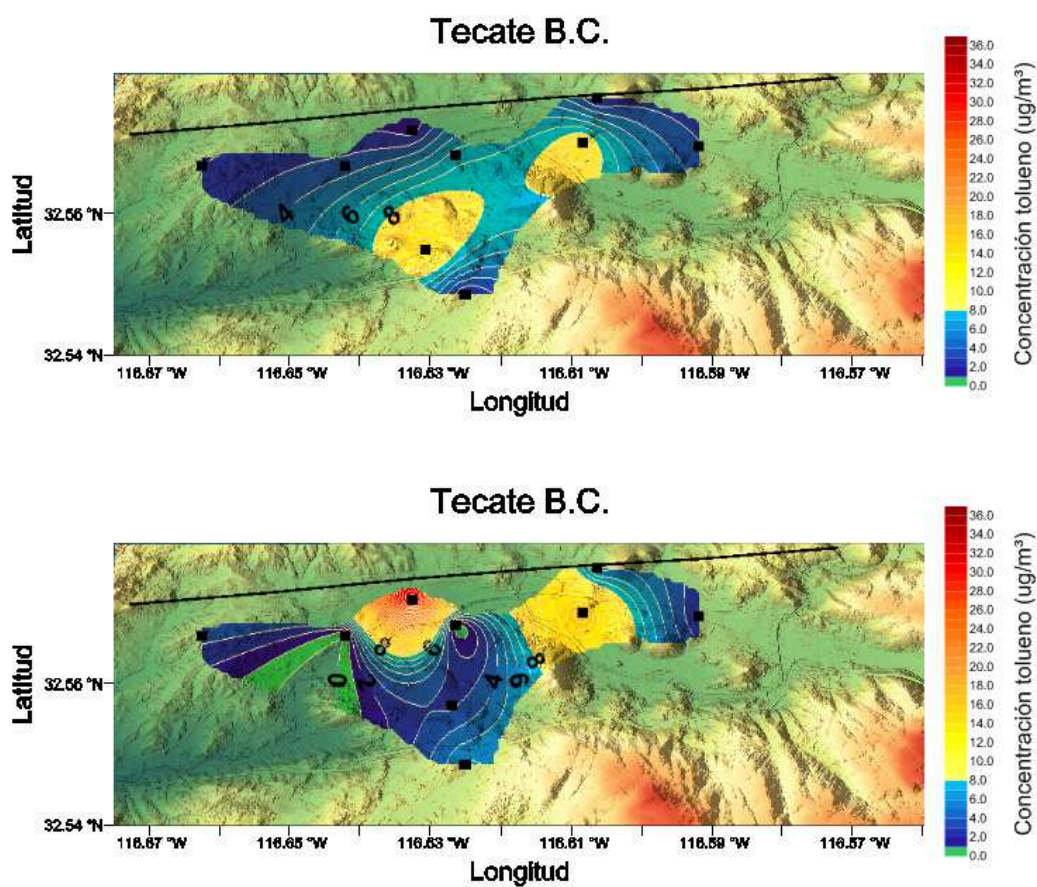
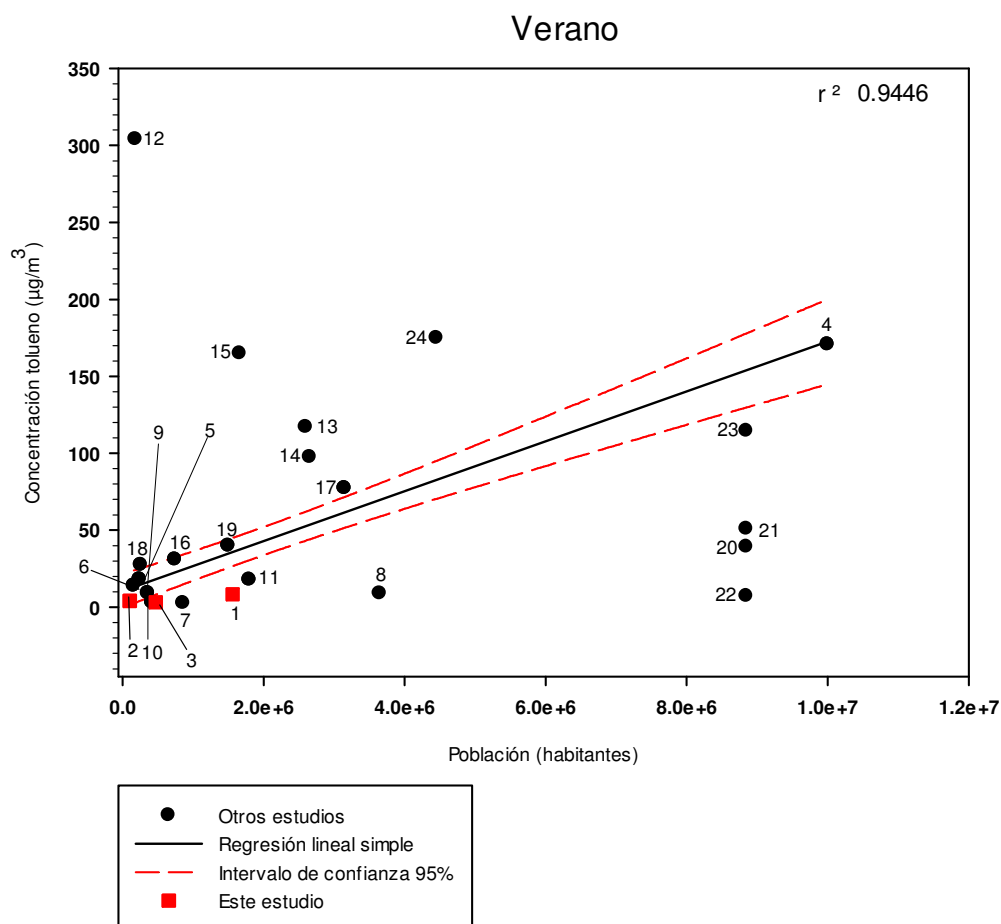
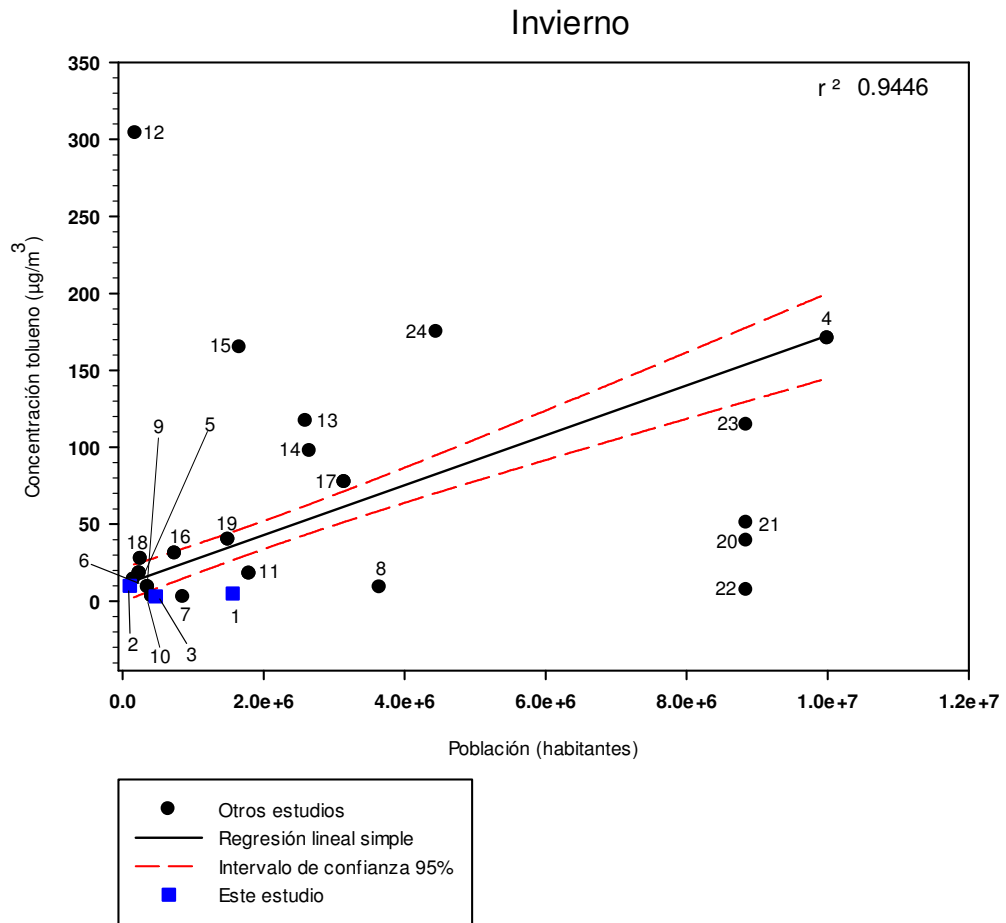


Figura 13. Distribución de tolueno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).



#	CIUDAD	REFERENCIA	#	CIUDAD	REFERENCIA
1	Tijuana B.C.	Este estudio.	13	Osaka, Japón	Al-Awadhi et al., 2005.
2	Tecate B.C.	Este estudio.	14	Roma, Italia	Al-Awadhi et al., 2005.
3	Ensenada B.C.	Este estudio.	15	Manila, Filipinas	Al-Awadhi et al., 2005.
4	Seoul, Corea	Son et al., 2003.	16	Atenas, Grecia	Al-Awadhi et al., 2005.
5	Asan, Corea	Son et al., 2003	17	Changchun, China	Al-Awadhi et al., 2005.
6	Tijuca, Brasil	Monteiro-Martins et al., 2010.	18	Salamanca, Guanajuato, México	Vega et al., 2011.
7	Ottawa, Canadá	Zhu et al., 2005.	19	Guadalajara, Jalisco, México - Miravalle	INE et al., 2009.
8	Sidney, Australia	Al-Awadhi et al., 2005.	20	Zona Metropolitana de la Cd. De México	Wöhmschimmel et al., 2010.
9	Xuchang, China	Barletta et al., 2005.	21	Cd. De México - Zona Urbana	Velasco et al., 2007.
10	Ji'an, China	Barletta et al., 2005.	22	Cd. De México - Zona Rural	Velasco et al., 2007.
11	Lanzhou, China	Barletta et al., 2005.	23	Cd. De México - Zona Industrial	Velasco et al., 2007.
12	Al-Alsema, Kuwait	Al-Awadhi et al., 2005.	24	Guadalajara, Jalisco, México - Centro	INE et al., 2009.

**Figura 14.** Tendencia a nivel mundial de concentraciones de tolueno vs tamaño de población durante verano. Algunos de los valores estaban expresados en ppbv y ppbC en las publicaciones originales y fueron transformados a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



#	CIUDAD	REFERENCIA	#	CIUDAD	REFERENCIA
1	Tijuana B.C.	Este estudio.	13	Osaka, Japón	Al-Awadhi et al., 2005.
2	Tecate B.C.	Este estudio.	14	Roma, Italia	Al-Awadhi et al., 2005.
3	Ensenada B.C.	Este estudio.	15	Manila, Filipinas	Al-Awadhi et al., 2005.
4	Seoul, Corea	Son et al., 2003.	16	Atenas, Grecia	Al-Awadhi et al., 2005.
5	Asan, Corea	Son et al., 2003	17	Changchun, China	Al-Awadhi et al., 2005.
6	Tijuca, Brasil	Monteiro-Martins et al., 2010.	18	Salamanca, Guanajuato, México	Vega et al., 2011.
7	Ottawa, Canadá	Zhu et al., 2005.	19	Guadalajara, Jalisco, México - Miravalle	INE et al., 2009.
8	Sidney, Australia	Al-Awadhi et al., 2005.	20	Zona Metropolitana de la Cd. De México	Wöhmschimmel et al., 2010.
9	Xuchang, China	Barletta et al., 2005.	21	Cd. De México - Zona Urbana	Velasco et al., 2007.
10	J'fan, China	Barletta et al., 2005.	22	Cd. De México - Zona Rural	Velasco et al., 2007.
11	Lanzhou, China	Barletta et al., 2005.	23	Cd. De México - Zona Industrial	Velasco et al., 2007.
12	Al-Alsema, Kuwait	Al-Awadhi et al., 2005.	24	Guadalajara, Jalisco, México - Centro	INE et al., 2009.

**Figura 15.** Tendencia a nivel mundial de concentraciones de tolueno vs tamaño de población en invierno. Algunos de los valores estaban expresados en ppbv y ppbC en las publicaciones originales y fueron transformados a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 6.2.2 M,P-XILENO

El xileno es un compuesto que se utiliza en las gasolinas para incrementar el octanaje. Este compuesto usualmente se encuentra en mezclas racémicas y presenta tres isómeros (orto-, meta- y para- xileno), de los cuales el isómero m-xileno es el más predominante. Es insoluble en agua y soluble en alcohol, éter, acetona y benceno.

Las rutas habituales de exposición a este compuesto son la inhalación, la ingestión y la absorción a través de la piel. Este compuesto es altamente tóxico y la exposición prolongada produce afectaciones agudas o crónicas dependiendo del grado y los niveles de exposición. Las afectaciones agudas consisten en dolores de cabeza, fatiga, irritabilidad, náusea, anorexia, flatulencia, irritación de ojos, nariz y boca, descoordinación y pérdida del equilibrio, entre otras. Se ha reportado afectaciones crónicas por exposición prolongada a xileno incluyen conjuntivitis, sequedad nasal, de garganta y piel; dermatitis, daño renal y hepático (OSHA, 2011).

La distribución de los isómeros del xileno (meta- y para-) presentó una baja incidencia en las muestras analizadas en las ciudades. Algunas estaciones presentaron concentraciones relativamente elevadas de estos compuestos, probablemente provenientes de vehículos, ya se observaron en sitios con vialidades con alta afluencia vehicular en la mayoría de los casos.

Los resultados obtenidos demostraron que estos compuestos se encuentran

con mayor frecuencia y en mayores concentraciones en invierno. La figura 16 resume la distribución de concentraciones de m,p-xileno. Nótese que las escalas de concentraciones son diferentes y ello se debe a las diferencias en la dispersión de concentraciones encontradas en cada periodo.

Las figuras 17 a 19 muestran la distribución espacial en verano e invierno del m,p-xileno en Tijuana, Tecate y Ensenada, lo cual permite identificar con mayor facilidad las áreas con predominancia de este compuesto.

La tendencia observada durante verano demuestra que los mayores niveles de contaminación por m,p-xileno se encuentran en: Tecate > Ensenada > Tijuana. Cabe destacar que en este periodo no fue posible identificar la presencia de m,p-xileno en las muestras analizadas en la ciudad de Tijuana. En el caso del periodo invernal, se observó la siguiente tendencia: Tijuana > Tecate > Ensenada.

Las mayores concentraciones en verano se presentaron en Tecate, con una concentración promedio y de mediana de  $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En este periodo, la distribución de m,p-xileno se limitó a dos estaciones: Esc. Primaria Leona Vicario y CETIS #25. Estos sitios se localizan en la zona este de la ciudad (Fig. 18). Se sospecha que los niveles encontrados provienen de emisiones vehiculares y a fuentes puntuales identificadas en los alrededores tales como una gasolinera y una empresa de transporte de carga. En esta zona también fueron encontrados altos niveles de tolueno, que junto al xileno es uno de los

componentes habituales en las emisiones vehiculares.

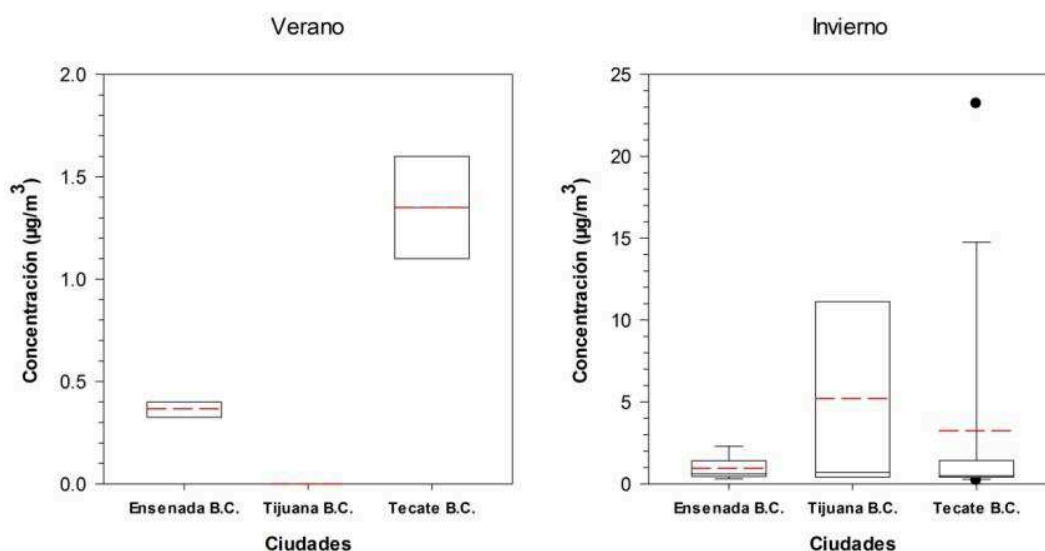
En tanto, la ciudad de Ensenada en verano presentó una baja incidencia de m,p-xileno, con concentraciones promedio de  $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Su presencia se limitó a tres sitios distribuidos en distintos puntos de la ciudad: una estación localizada en la zona oeste y dos en la zona sureste. Las estaciones ubicadas en la zona sureste de la ciudad se encuentran a un costado de la Av. Reforma, una de las vialidades más importantes y con considerable afluencia vehicular, que a su vez permite el tránsito hacia el sur de la ciudad y del municipio.

En la ciudad Tijuana no se encontraron concentraciones detectables de m,p-xileno durante el verano. Esto sugiere que las concentraciones en este periodo se encuentran por debajo del límite de detección. Se sospecha que la capacidad de retención de las resinas empleadas en este periodo fuera menor debido al uso y reacondicionamiento de los tubos de desorción, lo que pudo haber afectado a este y a otros compuestos volátiles. Dicha afectación condujo a la necesidad de reemplazar las resinas para el muestreo de invierno.

Durante el invierno se encontraron mayores concentraciones de m,p-xileno a comparación de verano. Se observó que la incidencia en las estaciones monitoreadas en las ciudades es mayor en invierno.

Las mayores concentraciones promedio se encontraron en la ciudad de Tijuana en invierno ( $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Su distribución estuvo estrictamente limitada a tres estaciones ubicadas en la zona norte de la ciudad (Fig. 18), en las

cercanías con la frontera de Estados Unidos y a lo largo de la canalización del Río Tijuana. En esta ciudad se encontró la estación con el segundo mayor nivel de contaminación por m,p-xileno, la Preparatoria Federal Lázaro Cárdenas al encontrarse una concentración de  $14.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 16.** Gráficos de caja de las concentraciones de m,p-xileno para las ciudades de Ensenada, Tijuana y Tecate B.C. La línea negra continua representa la mediana y la línea punteada roja representa el valor promedio. Nótese la escala de concentración empleada en cada caso.

La ciudad de Tecate (Fig. 19) se caracterizó por presentar menores niveles de contaminación por m,p-xileno que la ciudad de Tijuana, con una concentración promedio de  $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Durante el invierno se presentó una alta incidencia de este compuesto, al encontrarse presente en todas las muestras. En esta ciudad, se identificó la estación con mayores niveles de contaminación por m,p-xileno en el estudio realizado. La estación involucrada corresponde al COBACH en la zona Centro, que presentó una concentración de  $23.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cabe destacar

que este sitio se localiza entre dos vialidades con una afluencia vehicular considerable, y en sus inmediaciones se localiza una gasolinera y una industria cervecera.

Eßlinger (2009) menciona que las emisiones atmosféricas generadas por parte de la industria cervecera incluyen emisiones específicas de los procesos cerveceros y de la quema de combustibles fósiles. Entre los procesos cerveceros destacan las emisiones del proceso de fermentación (bióxido de carbono), tratamiento de las aguas residuales (cloración), agentes refrigerantes (amoníaco o hidrocarburos fluorinados) y polvos provenientes del proceso de molienda o maceración de la malta.

Las Normativas Europeas establecidas en el Reglamento (CE) 166/2006 y el Real Decreto 508/2007 obligan a los complejos industriales a suministrar la información concerniente a las sustancias contaminantes emitidas al aire, suelo y agua durante sus procesos de producción (Junta de Andalucía, 2010). Las emisiones atmosféricas que la industria cervecera genera se encuentran compuestos como el metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrofluorocarburos, óxido nitroso, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles distintos al metano, partículas PM<sub>10</sub>, partículas totales en suspensión, entre otros. Esta normativa considera algunos compuestos en aguas residuales industriales entre los que destacan los PAHs, cloruros, fluoruros, isómeros de triclorobenceno y del xileno.

Por lo anterior, es probable que los altos niveles encontrados en las inmediaciones del COBACH se atribuyan en gran medida a emisiones provenientes de los procesos de la industria cervecera.

La ciudad de Ensenada presentó en invierno una concentración promedio de  $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una incidencia en las muestras cercana al 50% de las estaciones monitoreadas. La distribución de concentraciones presentó baja dispersión entre los sitios en los que se identificó el m,p-xileno ( $\text{SD}=0.8$ ). Las mayores concentraciones se ubicaron en dos estaciones: Esc. Secundaria #4 ( $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en El Sauzal de Rodríguez y en la Col. Aeropuerto ( $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

De acuerdo al Occupational Safety and Health Administration (OSHA), los límites de exposición permisibles para xileno en ambientes interiores es de 100 ppm ( $4,350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en una exposición total promedio de 8 horas. En tanto, el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) recomienda 100 ppm en exposiciones de 10 horas de trabajo continuo en ambientes interiores y en 40 horas laborales a la semana o 200 ppm ( $8,680 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para exposiciones a corto plazo por 10 minutos.

Los límites estimados por la OSHA se basan en concentraciones en las cuales no es posible observar efectos adversos a la salud como lo son efectos narcóticos, irritantes o crónicos asociados a la exposición al xileno. NIOSH considera el potencial de afectación del sistema nervioso central y las afectaciones respiratorias que produce este compuesto (OSHA, 2011).

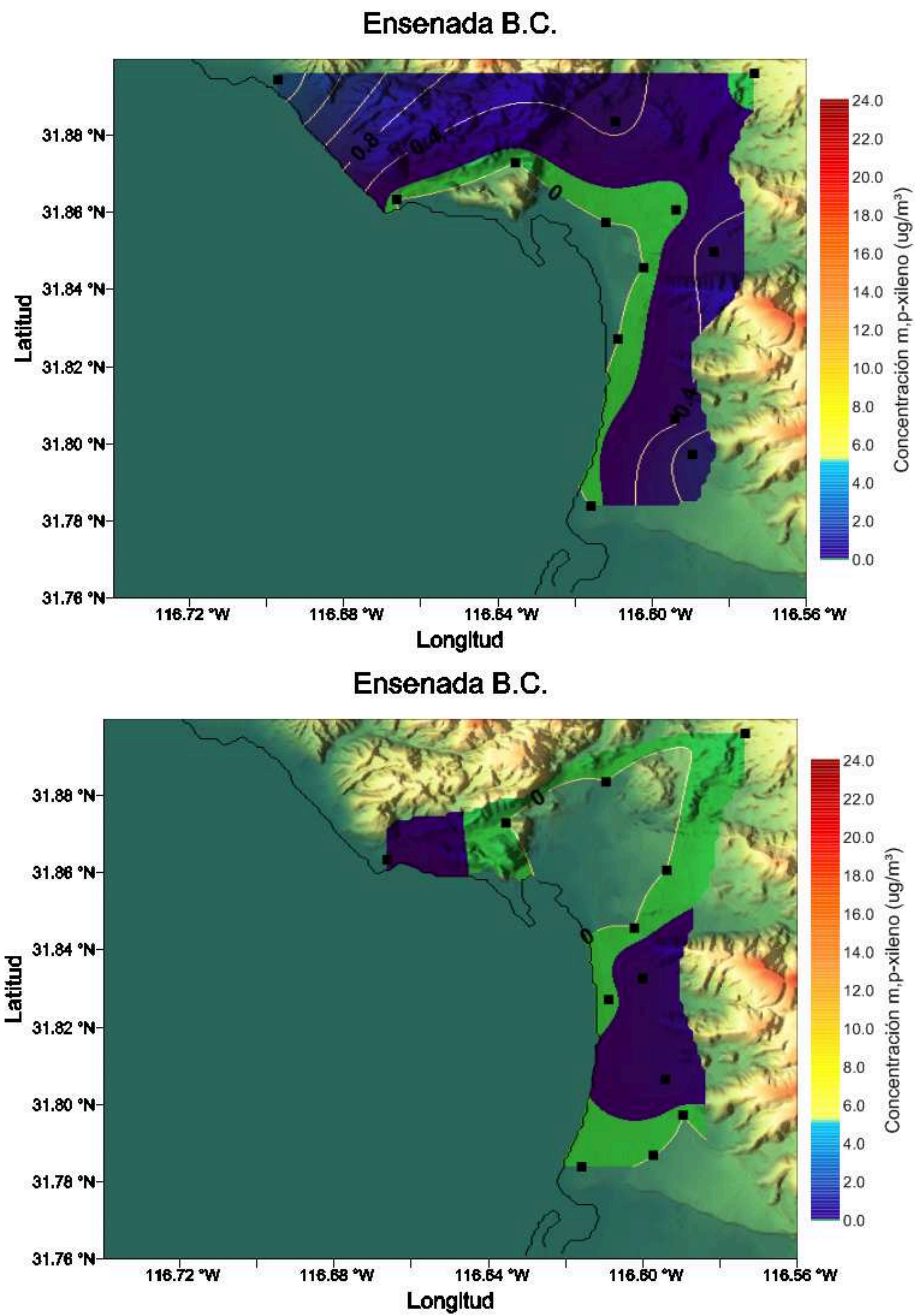
Las normas japonesas emitidas por el Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) han establecido guías para trece compuestos orgánicos en aire de interiores que incluyen a los xilenos. La MHLW recomienda que las concentraciones máximas permisibles no superen los  $870 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tanaka-Kagawa et al., 2005).

Las concentraciones encontradas en este estudio están por debajo de los límites establecidos por organizaciones como la OSHA, MHLW y NIOSH, por lo que es poco probable que existan repercusiones en la salud de la población particularmente en grupos vulnerables debido a la exposición a este compuesto.

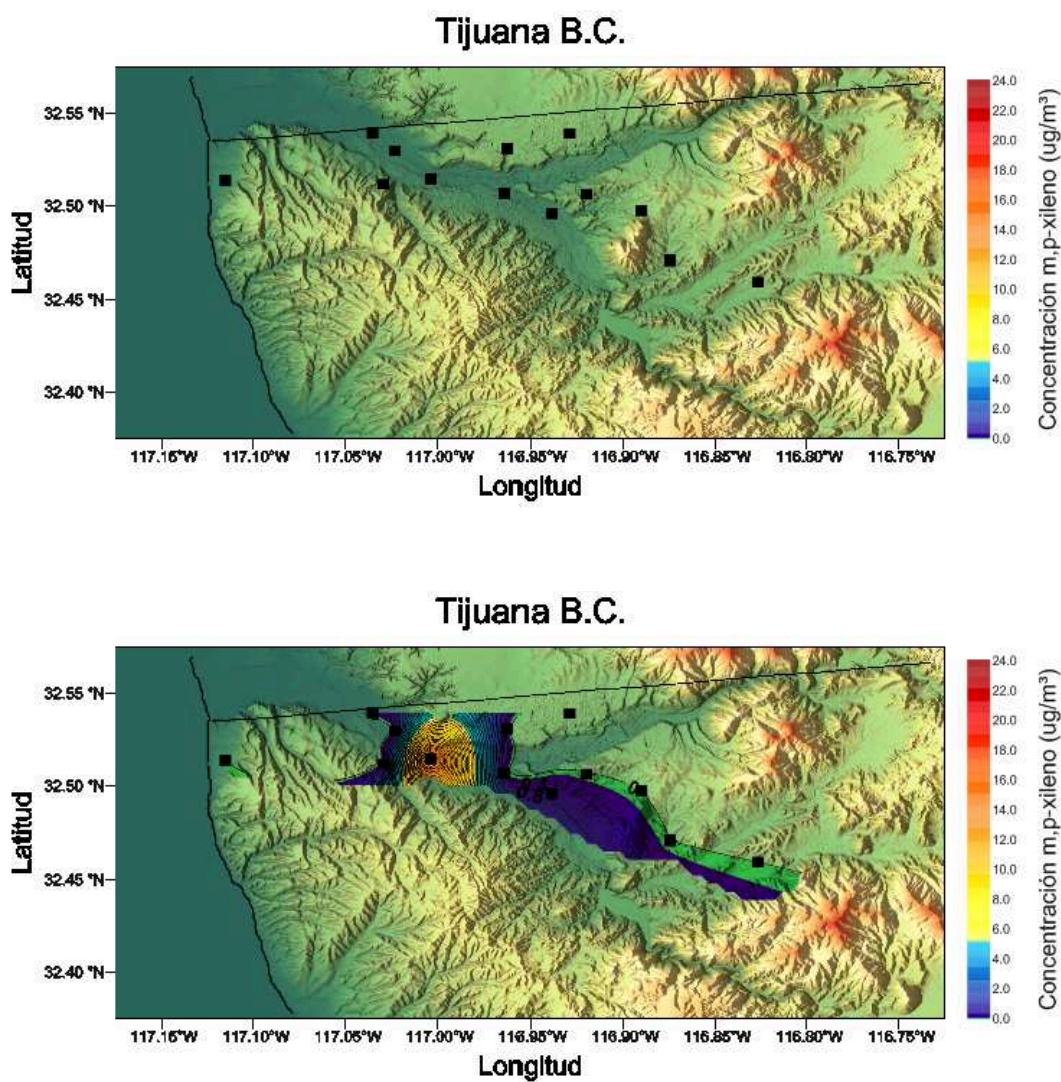
Diversos estudios a nivel mundial en los que se determina m,p-xilenos presentaron valores promedio y de mediana considerablemente superiores a los encontrados en este trabajo. Estudios realizados en áreas urbanas en Hong Kong (Lee et al., 2002), ciudad altamente poblada con 6.8 millones de habitantes reportó concentraciones de 22.45 (Mong Kok), 27.88 (Kwai Chung), 12.27 (Yuen Long), 13.47 (Causeway Bay) y  $2.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Hok Tsui).

Otro estudio realizado en la ciudad de Bangkok, Tailandia (Laowagul et al., 2008) encontró concentraciones promedio de  $11.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un mínimo de 1.5 y un máximo de  $56.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estas concentraciones son comparables con los datos reportados para Hong Kong  $3.0\text{-}15.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Taiwán  $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Chicago  $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Berlín  $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La ciudad de Tijuana en invierno presentó concentraciones promedio de  $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valores muy similares a los

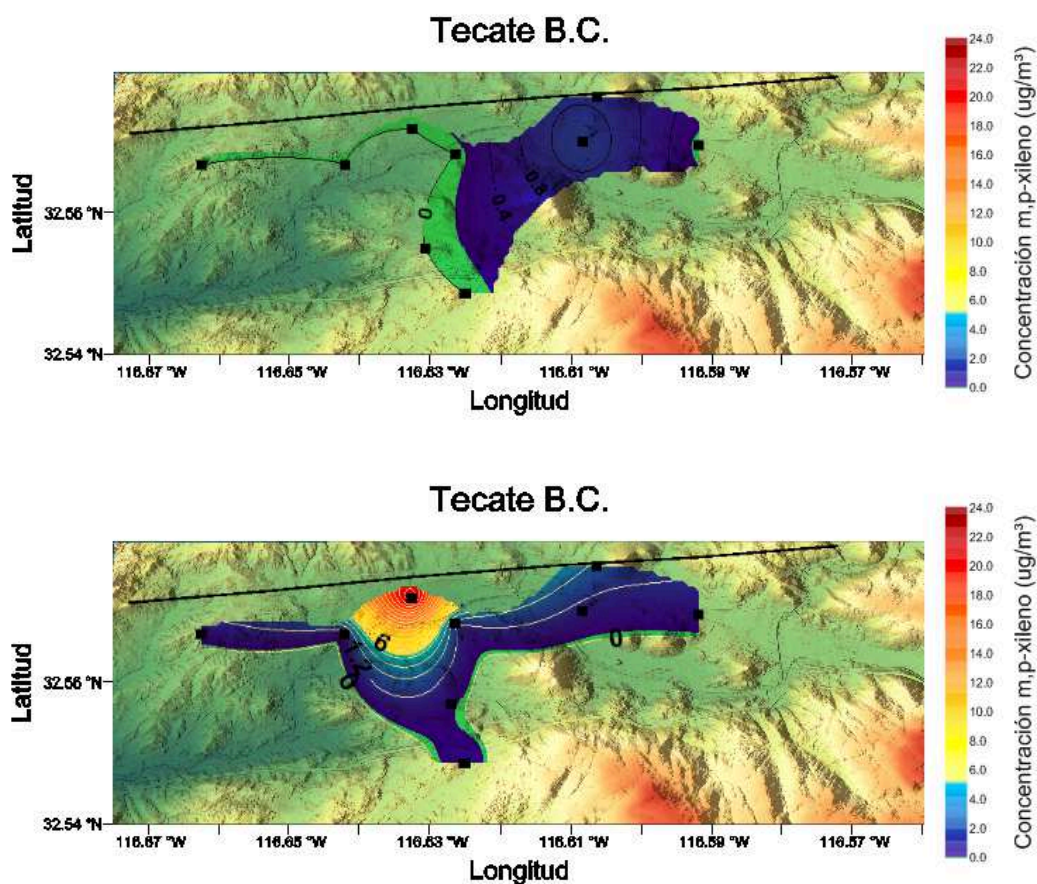
encontrados en Taiwán, Chicago y Berlín.



**Figura 17.** Distribución de m,p-xileno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior). El color verde representa ausencia de contaminación en la zona.



**Figura 18.** Distribución de m,p-xileno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior). El color verde representa ausencia de contaminación en la zona.



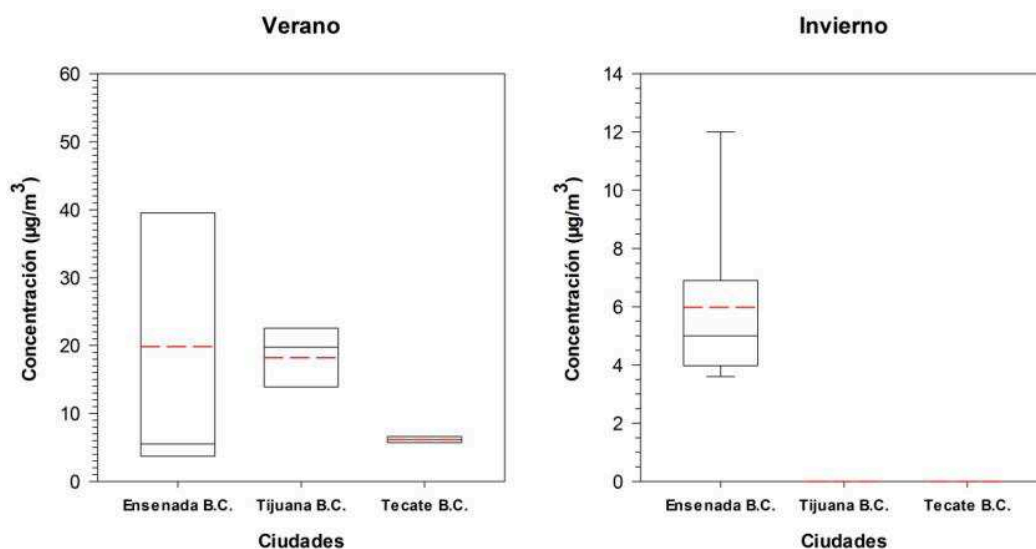
**Figura 19.** Distribución de m,p-xileno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior). El color verde representa ausencia de contaminación en la zona.

### 6.2.3 BENZO(A)ANTRACENO

El compuesto benzo(a)antraceno se identificó en menos de un tercio de las muestras colectadas en las ciudades. Se observó que estas presentaron una alta dispersión de concentraciones ( $DE > 1.0$ ).

El benzo(a)antraceno fue identificado predominantemente durante el verano, periodo en el cual se encontraron las mayores concentraciones (Fig. 20). Ensenada fue la única ciudad en la que se identificó este contaminante en los

dos muestreos realizados.



**Figura 20.** Gráficos de caja de las concentraciones de benzo(a)antraceno para Ensenada, Tijuana y Tecate B.C. La línea negra continua representa la mediana y la línea punteada roja representa el valor promedio. Nótese la escala de concentración empleada en cada caso.

Para comparar los niveles de contaminación se consideraron la mediana y el promedio. En todos los casos, las mayores concentraciones de benzo(a)antraceno se encontraron durante el verano. La ciudad de Tijuana presentó las mayores concentraciones promedio ( $18.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y de mediana ( $19.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ensenada presentó una concentración promedio de  $19.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una mediana de  $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por lo que ocupa el segundo puesto en este estudio. Finalmente, la ciudad de Tecate presentó una concentración promedio y de mediana de  $6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

El sitio con el mayor nivel de contaminación por benzo(a)antraceno se encontró en la zona norte de la ciudad de Ensenada, en lo que corresponde a la

estación ubicada de la Esc. Secundaria Técnica #20, en la Col. Carlos Pacheco. La zona se caracteriza por ser un área residencial y contar con una industria manufacturera, una gasolinera y algunos establecimientos dedicados a la venta de alimentos preparados como son taquerías, birrierías y pollerías. Estos establecimientos pudieran favorecer en cierto grado los niveles encontrados por las emisiones liberadas al aire y explicarían la presencia de algunos de los compuestos orgánicos semi-volátiles identificados.

Durante el muestreo invernal, no se encontró este compuesto en las muestras analizadas en las ciudades de Tijuana y Tecate. Sin embargo, en Ensenada se encontraron concentraciones promedio de  $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una mediana de  $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Las figuras 21 al 23 presentan las distribuciones espaciales de benzo(a)antraceno en las ciudades de Ensenada, Tijuana y Tecate, respectivamente. Nótese la baja incidencia de este compuesto durante el verano. En este periodo, la distribución abarca estaciones en la zona centro, noroeste y sur de la ciudad. Las concentraciones mínimas y máximas encontradas en este periodo fueron  $3.6$  y  $12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De acuerdo a la escala de carcinogenicidad, la U.S. EPA (2011b), considera al benzo(a)antraceno como un probable carcinógeno humano. Esto se basa en datos obtenidos en bioensayos realizados en animales, donde se ha observado la producción de tumores en ratones que fueron expuestos a este compuesto

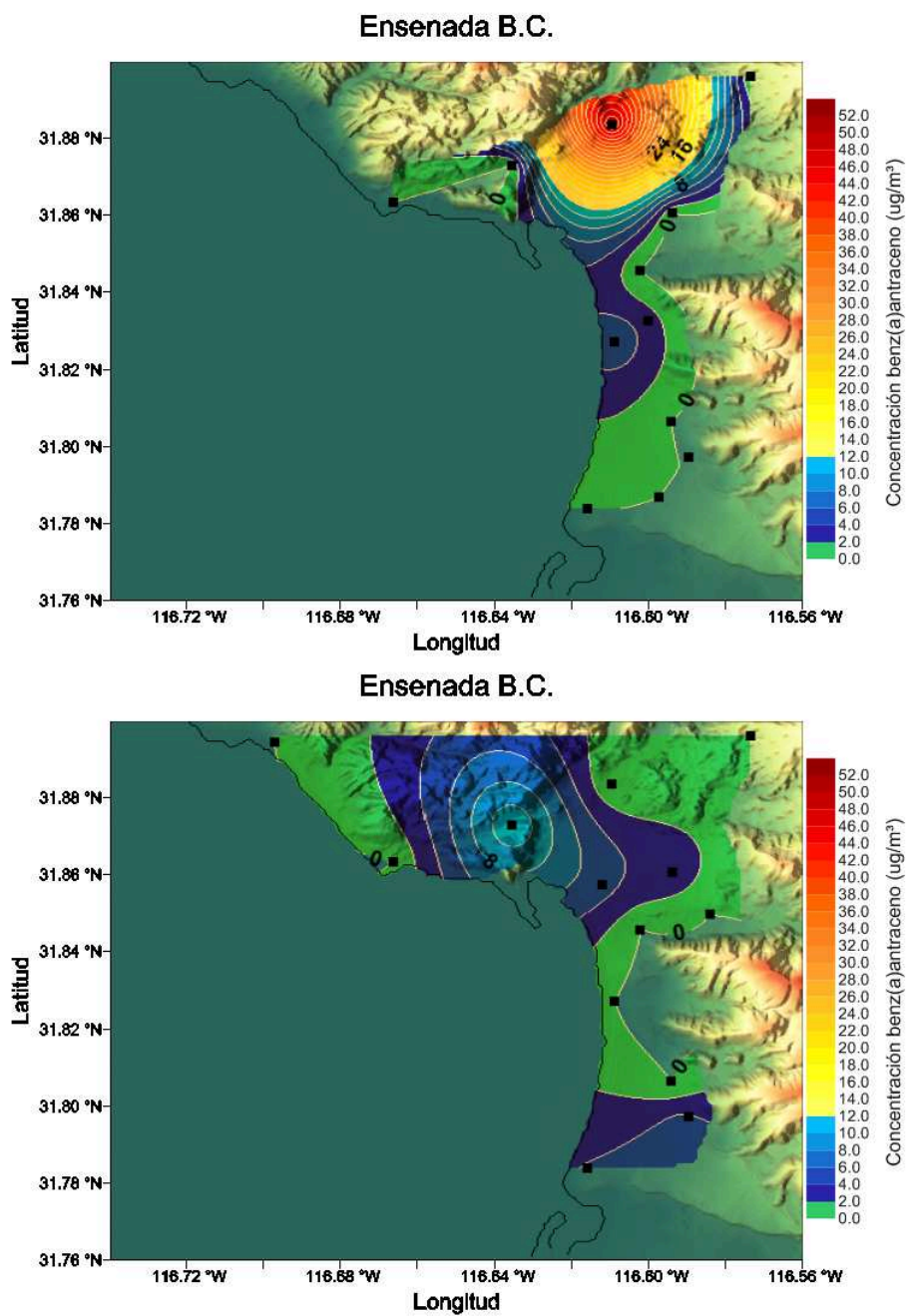
por vía peritoneal, subcutánea, intramuscular y tópica. Cabe destacar que aunque no existen evidencias en humanos que brinden certeza que la exposición a benzo(a)antraceno produzca cáncer, se han observado mutaciones en cultivos de células mamarias y de bacterias expuestas a este compuesto.

De acuerdo a la U.S. EPA (2011c), los niveles de exposición promedio anuales para compuestos aromáticos policíclicos comúnmente encontrados en petróleo crudo, como en el caso del benzo(a)antraceno deben ser menores a  $6,400 \text{ ng/m}^3$  o  $6.4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Las afectaciones a la salud dependerán de que tan altos sean los niveles registrados en las mediciones y a los tiempos de exposición. Se considera que concentraciones ligeramente superiores a estos niveles y exposiciones de corta duración generalmente no causan preocupación en la salud de la población expuesta, salvo en la exposición recurrentes durante el año.

Algunas estaciones monitoreadas en la región presentaron niveles considerables de contaminación por el benzo(a)antraceno a niveles superiores a los establecidos por la U.S. EPA, los cuales pueden afectar significativamente la salud de la población expuesta. En la ciudad de Ensenada se identificaron altos niveles de benzo(a)antraceno en la Esc. Sec. Técnica #20 en verano, al encontrarse concentraciones de  $50.9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . En el periodo invernal, la estación en Cruz Roja en la Col. Moderna presentó concentraciones de  $15.5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Durante el verano, Tijuana presentó cuatro sitios en los que se superó la

concentración sugerida por la U.S. EPA: Estación Central de Bomberos ( $8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Cruz Roja Tijuana ( $20.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Otay Módulos ( $19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Rinconada de la Cacho ( $24.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En la ciudad de Tecate se encontraron dos estaciones con niveles cercanos al límite sugerido por la U.S. EPA: la estación ubicada en la UABC y en CECATI #191 con un valor de  $5.7$  y  $6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

En general, los niveles encontrados en este trabajo sugieren que existen algunas zonas que presentaron un alto riesgo a la salud de la población por exposición por benzo(a)antraceno. Sin embargo, no es posible determinar con certeza si los niveles encontrados se deben a eventos aislados que pudieron favorecer los altos niveles encontrados o bien, estos niveles son recurrentes durante el año. Se sugiere realizar estudios a largo plazo que permitan contar con datos que brinden certeza de las condiciones espacio-temporales en estas áreas y de ser posible identificar las fuentes emisoras de contaminantes para realizar medidas que reduzcan el impacto ambiental y a la salud.



**Figura 21.** Distribución de benzo(a)antraceno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

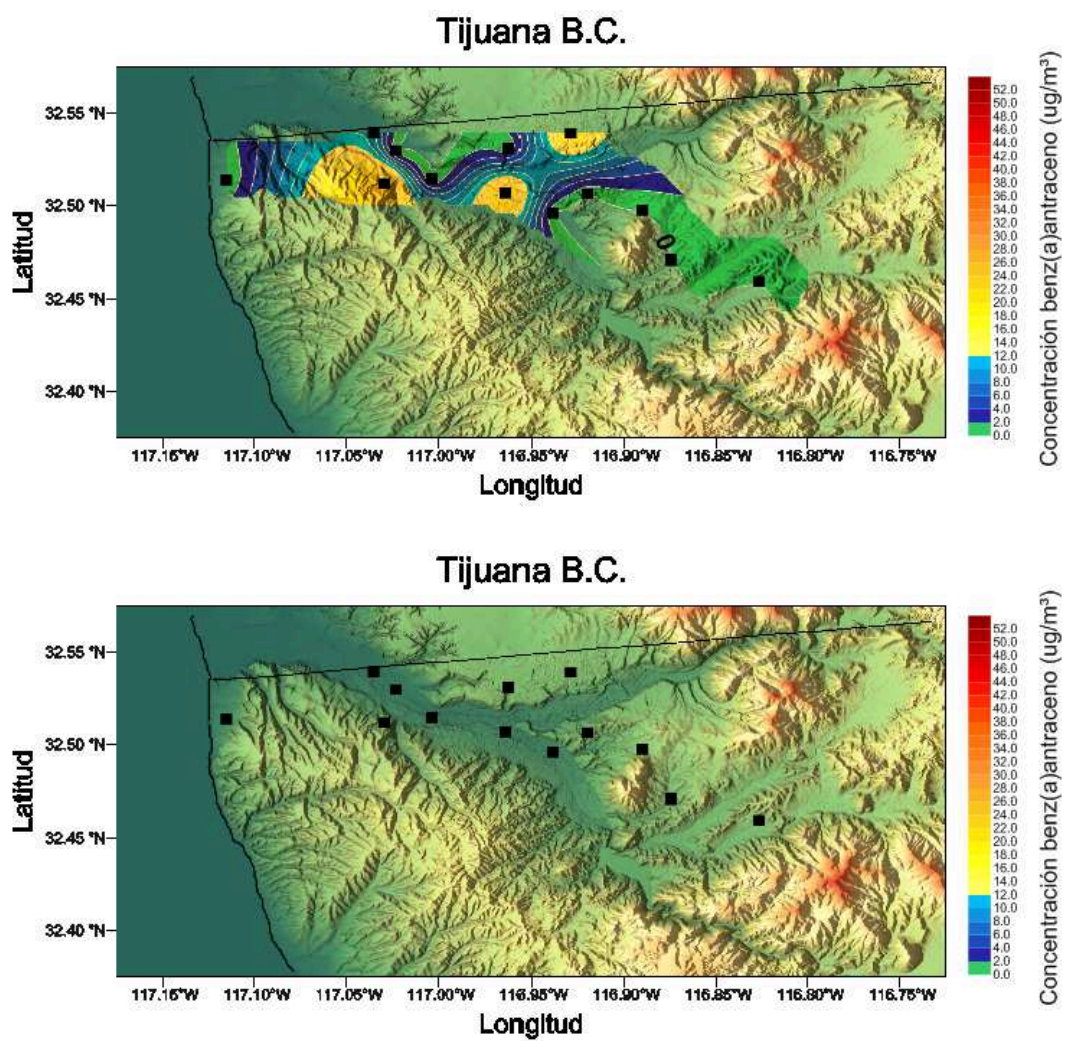


Figura 22. Distribución de benzo(a)antraceno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

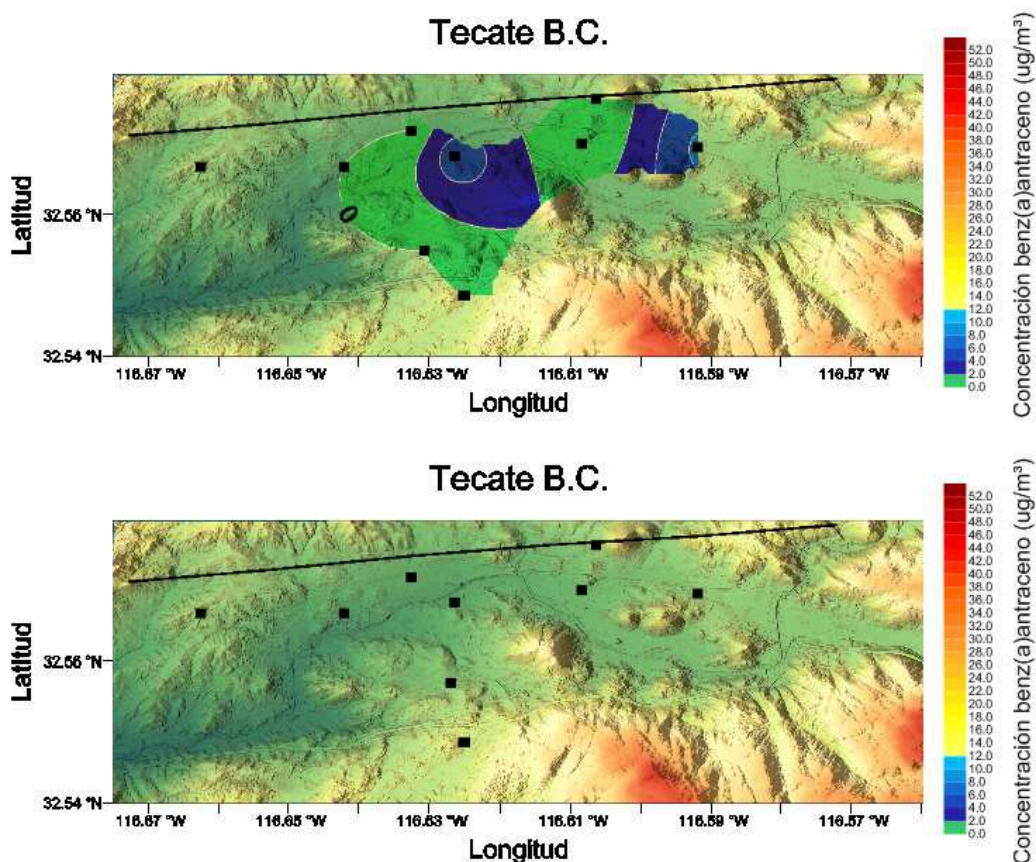


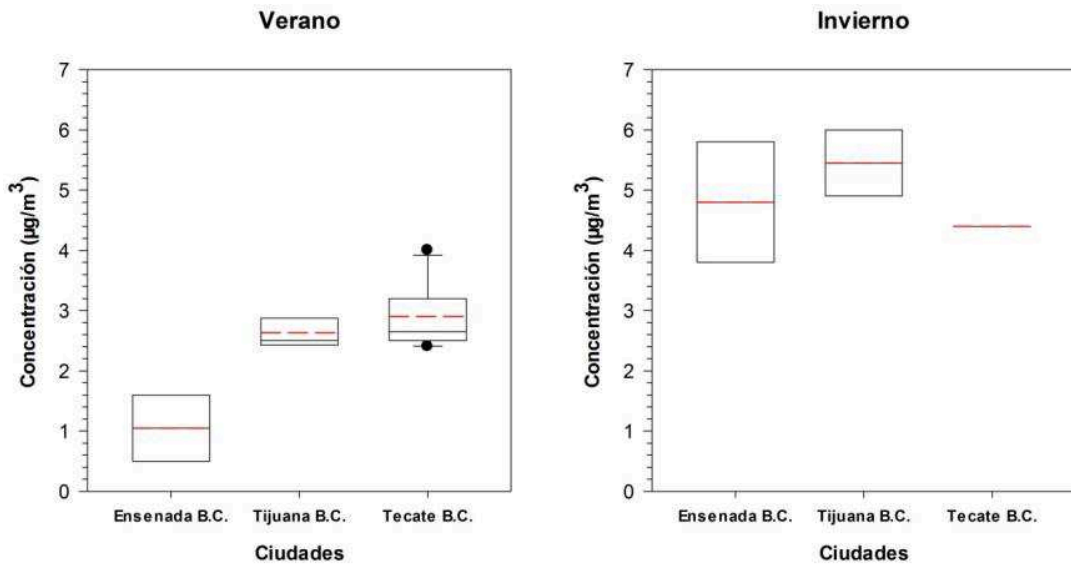
Figura 23. Distribución de benzo(a)antraceno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

#### 6.2.4 FLUORANTENO

La incidencia de fluoranteno en las ciudades fue baja, ya que se encontró en menos de la mitad de las estaciones monitoreadas en los dos periodos muestreados. En la ciudad de Tecate, este compuesto se identificó en el 40% de los sitios en verano y en un sitio en invierno (equivalente al 10% de la muestras). Ensenada presentó un panorama similar a Tecate, con una incidencia del 15% en verano y 25% en invierno. La ciudad de Tijuana presentó una baja incidencia, equivalente al 21% de las muestras en verano y 15% en

invierno. Dado la baja incidencia en las ciudades, para el cálculo de las concentraciones promedio se consideró únicamente las estaciones en las que se logró identificar el compuesto.

Las mayores concentraciones de fluoranteno se presentaron en el periodo invernal (Fig. 24). En Tijuana se encontraron las mayores concentraciones, promediando  $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En tanto, las ciudades de Ensenada y Tecate registraron concentraciones promedio de  $4.8$  y  $4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.



**Figura 24.** Gráficos de caja de las concentraciones de fluoranteno para Ensenada, Tijuana y Tecate B.C. La línea negra continua representa la mediana y la línea punteada roja representa el valor promedio.

En verano se observaron menores niveles de contaminación, al encontrarse en Ensenada, Tijuana y Tecate concentraciones promedio de  $1.0$ ,  $2.6$  y  $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Los mayores niveles de contaminación se encontraron durante el invierno en

la Esc. Secundaria Técnica #33 ( $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en la zona este de la ciudad de Tijuana. Este sitio se localiza un área residencial con múltiples espacios comerciales con establecimientos diversos como talleres, tiendas departamentales y de comida rápida, limpiadurías, entre otros. En las inmediaciones se encuentra el Blvd M.J. Clouthier, una transitada vialidad.

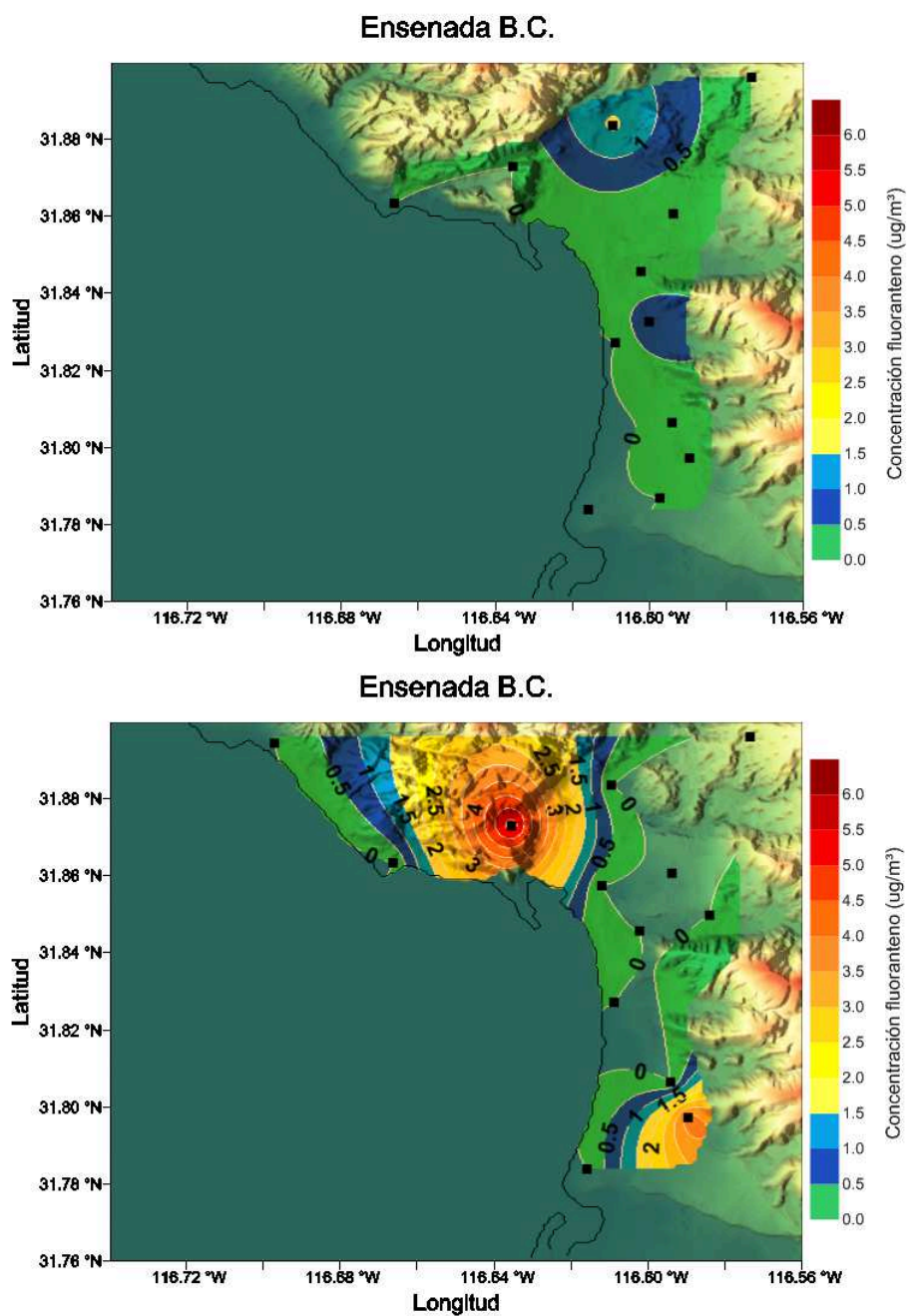
Las figuras 24 a la 26 muestran los patrones de distribución de fluoranteno en las ciudades de Ensenada, Tijuana y Tecate. Estos mapas permiten observar de mejor manera la dispersión de los contaminantes.

En la actualidad no existen datos que sugieran afectaciones en la salud considerables por inhalación de fluoranteno. Sin embargo, se han observado efectos mutagénicos, nefropatías, incremento de enzimas hepáticas, alteraciones hematológicas y otros efectos clínicos debido a la exposición oral a esta clase de compuestos. Se estima una dosis de referencia oral (RfD) de exposición de  $0.04 \text{ mg}/\text{kg}/\text{día}$ , basado principalmente en la suposición causal de ciertos efectos tóxicos como necrosis celular. No existe evidencia significativa de actividad carcinogénica humana debido a la exposición a fluoranteno (U.S. EPA, 2011d).

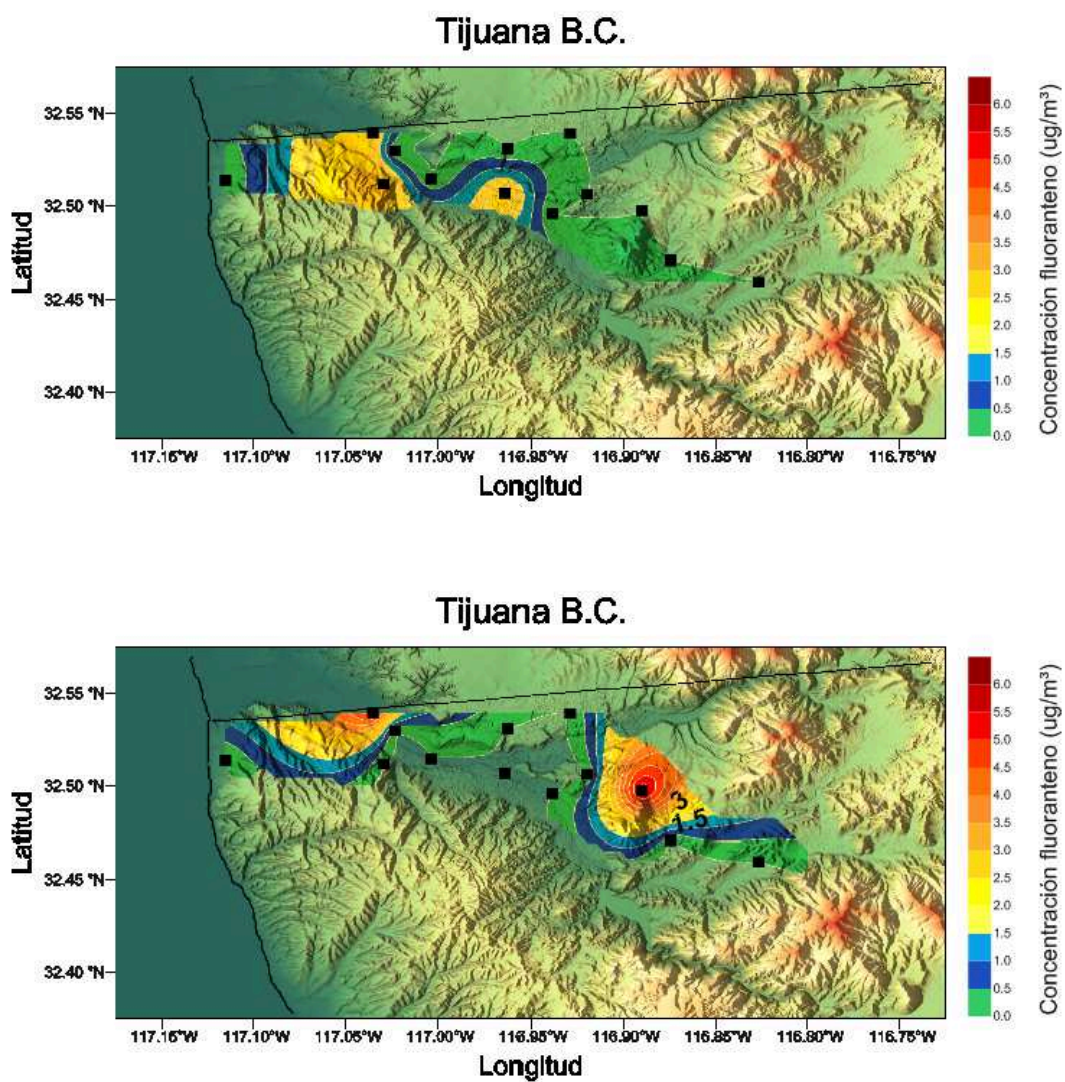
La U.S. EPA (2011c) sugiere que las concentraciones máximas de fluoranteno en aire no deben superar los  $6,400 \text{ ng}/\text{m}^3$  ( $6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En este trabajo, ninguna estación monitoreada en la región presentó concentraciones cercanas al límite sugerido, por lo que es poco probable que existan riesgos toxicológicos por

exposición a este compuesto.

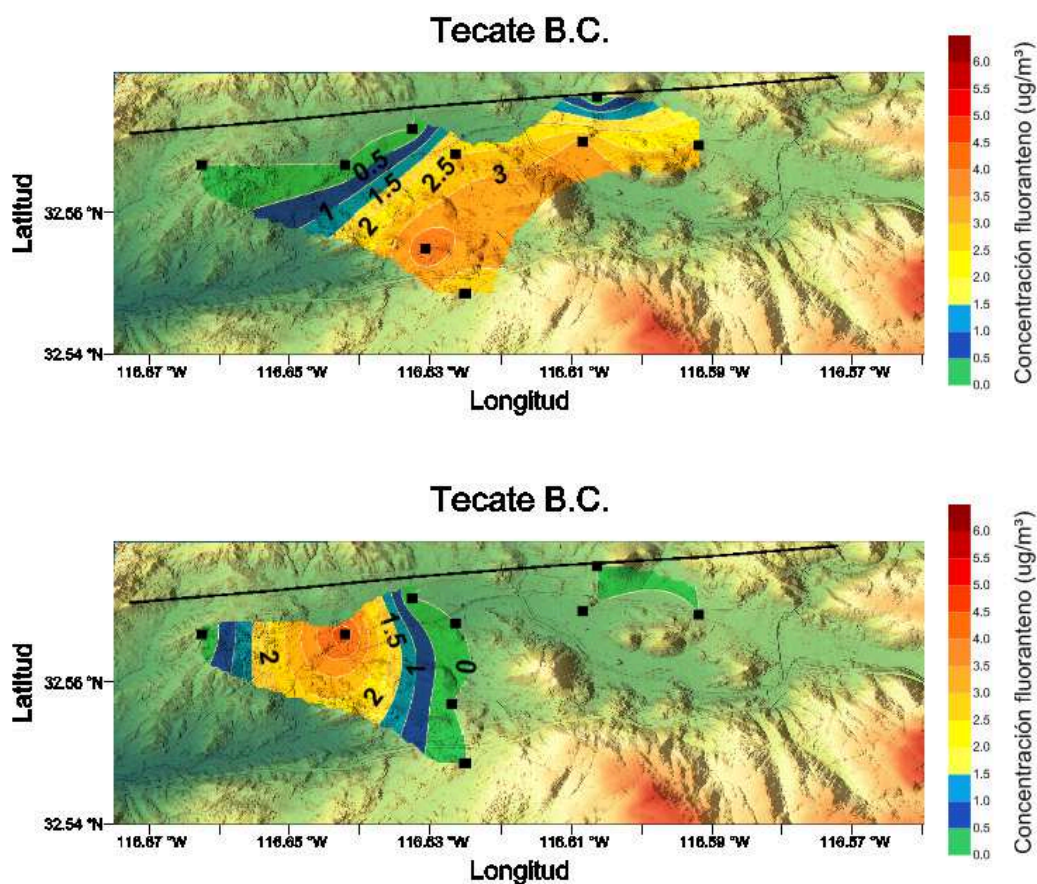
Sin embargo, en invierno se encontraron concentraciones cercanas al límite sugerido por U.S. EPA en los siguientes sitios: Esc. Sec. Técnica #33 ( $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Tijuana y Cruz Roja ( $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Ensenada. Es posible que estos sitios pudieran representar áreas de riesgo toxicológico por exposición al fluoranteno si los niveles de contaminación persisten o se incrementan, por lo que es necesario realizar una evaluación a largo plazo para observar la evolución de estos contaminantes.



**Figura 25.** Distribución de fluoranteno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).



**Figura 26.** Distribución de fluoranteno en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).



**Figura 27.** Distribución de fluoranteno en la ciudad de Tecate B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

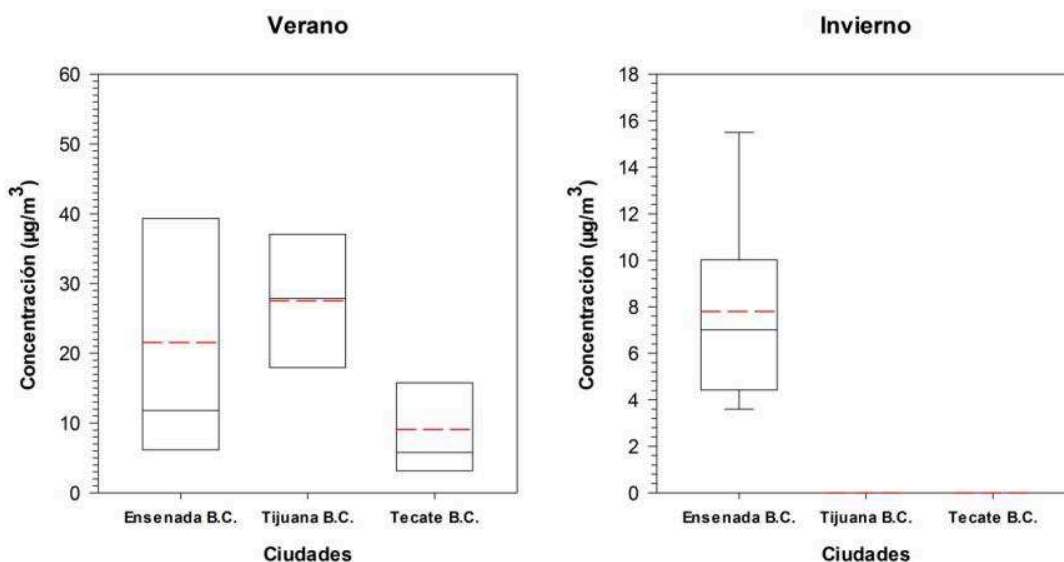
### 6.2.5 CRISENO

El criseno como la mayoría de los contaminantes atmosféricos identificados presentó una baja incidencia en las muestras analizadas. Durante el verano se presentaron las mayores incidencias de este compuesto en las tres ciudades. Sin embargo, en invierno solo fue identificado en la ciudad de Ensenada.

Como se observa en la figura 28, las mayores concentraciones se presentaron durante el periodo de verano. La ciudad de Tijuana presentó las mayores

concentraciones promedio ( $27.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y de mediana ( $27.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En el caso de Ensenada y Tecate, las concentraciones promedio fueron de  $21.5$  y  $9.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y las medianas de  $11.8$  y  $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente

Durante el invierno no se identificó este contaminante en Tijuana y Tecate. En tanto, la ciudad de Ensenada presentó un incremento en la incidencia de este compuesto en invierno y un decremento en los niveles de contaminación, presentando una concentración promedio de  $7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 28.** Gráficos de caja de las concentraciones de criseno para Ensenada, Tijuana y Tecate B.C. La línea negra continua representa la mediana y la línea punteada roja representa el valor promedio. Nótese la escala de concentración empleada en cada caso.

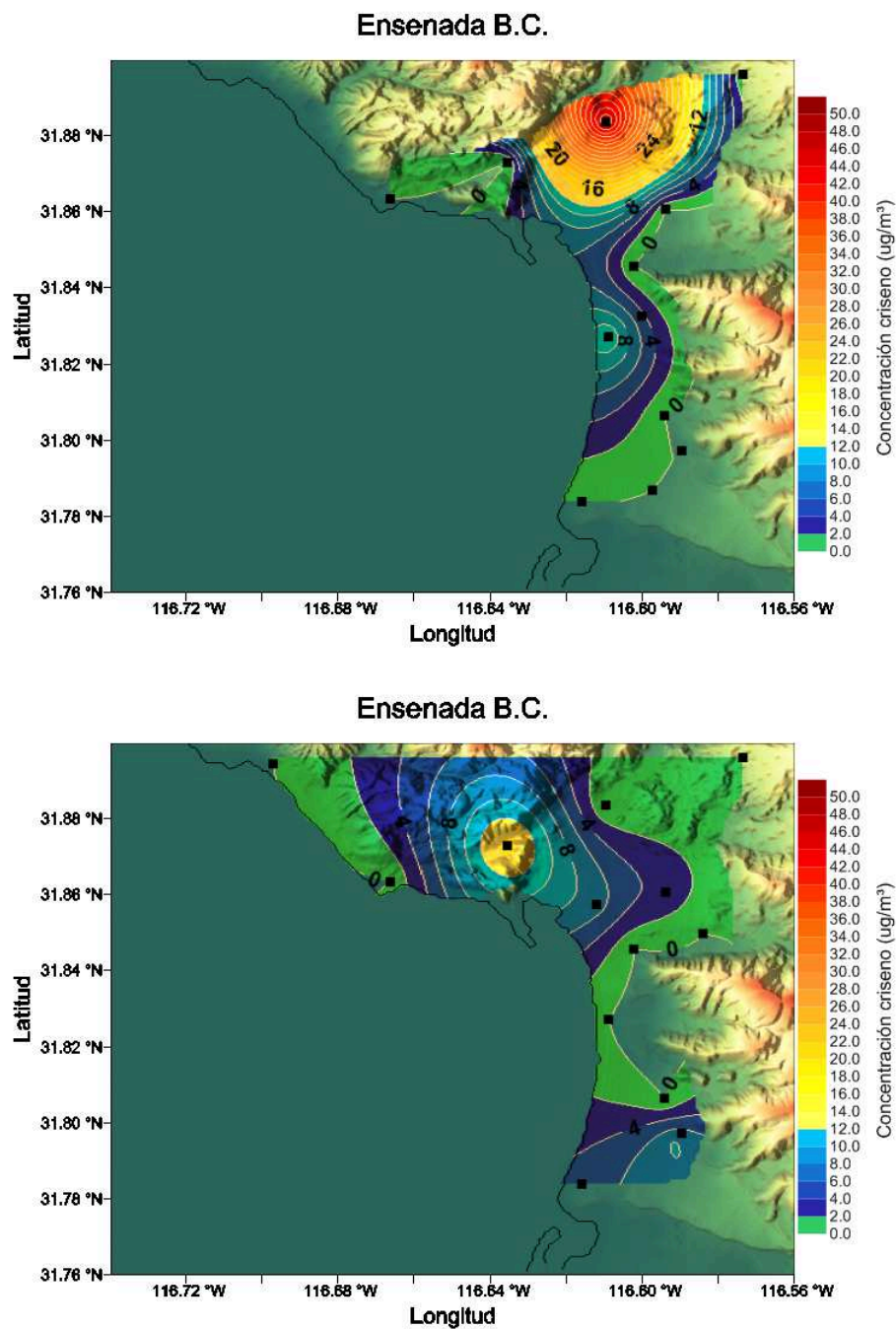
Las estaciones con mayores concentraciones de criseno se encontraron en la ciudad de Ensenada ( $48.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante el verano y en Tijuana ( $42.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en invierno. Coincidentemente, la estación ubicada en la Esc. Secundaria Técnica #20 en Ensenada presentó altos niveles de contaminación por criseno

y otros compuestos semi-volátiles. Es probable que estos niveles de compuestos semi-volátiles estén asociados a las actividades económicas predominantes en la zona como se relató en el apartado del benzo(a)antraceno.

En la ciudad de Tijuana, la concentración más alta se encontró en Cruz Roja Tijuana, la cual se encuentra cerca de tres vialidades con alta afluencia vehicular como lo son: Vía Rápida Poniente, Blvd. Federico Benítez López y Blvd. Lázaro Cárdenas. En la zona no se identificaron fuentes puntuales asociadas a emisiones contaminantes de combustión de materia orgánica, que pudieran expliquen los niveles encontrados en el lugar. Es probable que exista una influencia por el desplazamiento de masas de aire a través de la canalización del Río Tijuana hacia esta zona.

Las figuras 29 a la 31 muestran los mapas de distribución de concentraciones del criseno para las estaciones instaladas en Ensenada, Tijuana y Tecate.

De acuerdo a la U.S. EPA (2011c), los niveles de exposición promedio anuales para criseno deben ser inferiores a  $64,000 \text{ ng/m}^3$  ( $64 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ ). En este estudio no se encontró ningún sitio que supere el límite sugerido por la U.S. EPA, por lo que es poco probable que exista riesgo toxicológico por exposición a este compuesto en la región.



**Figura 29.** Distribución de criseno en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

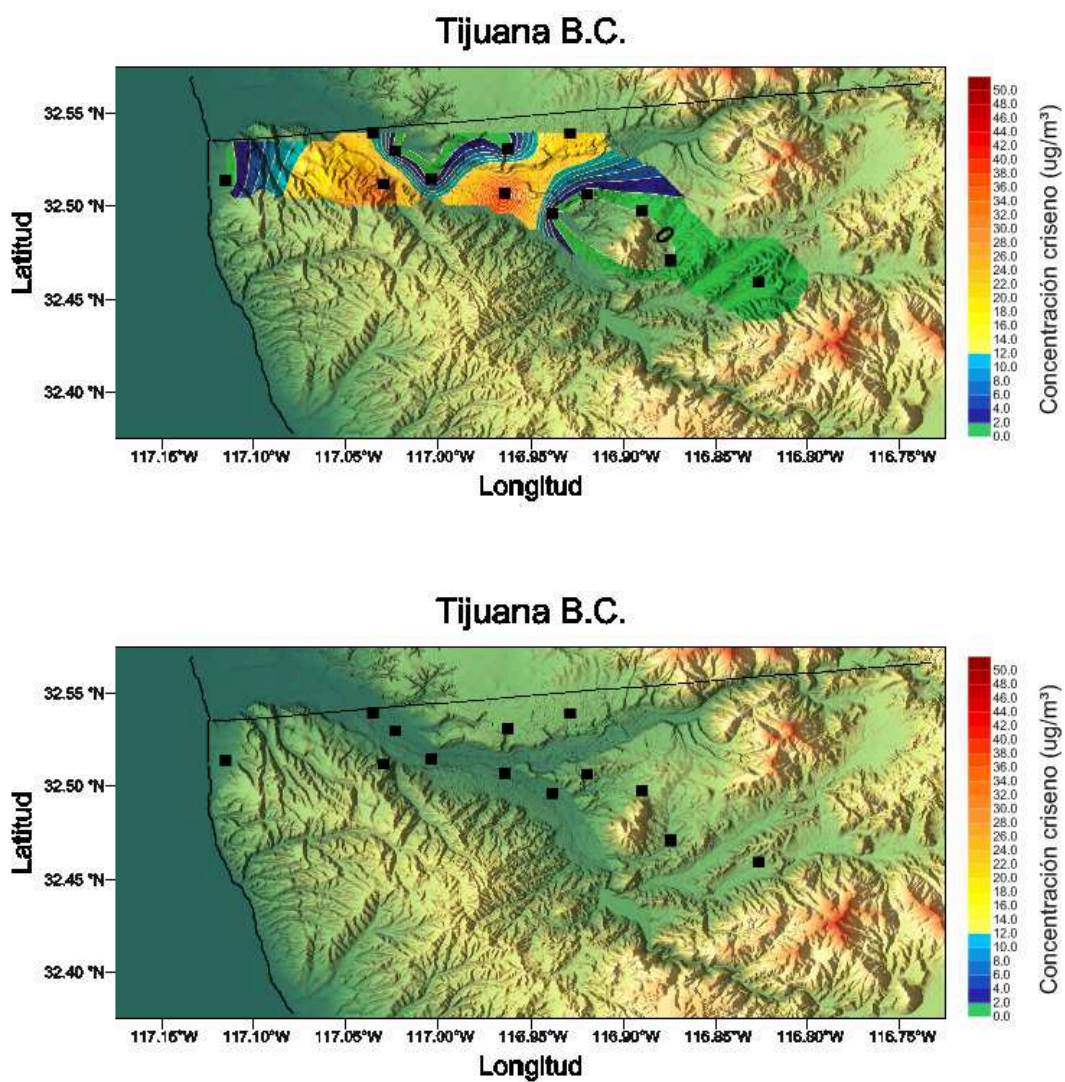
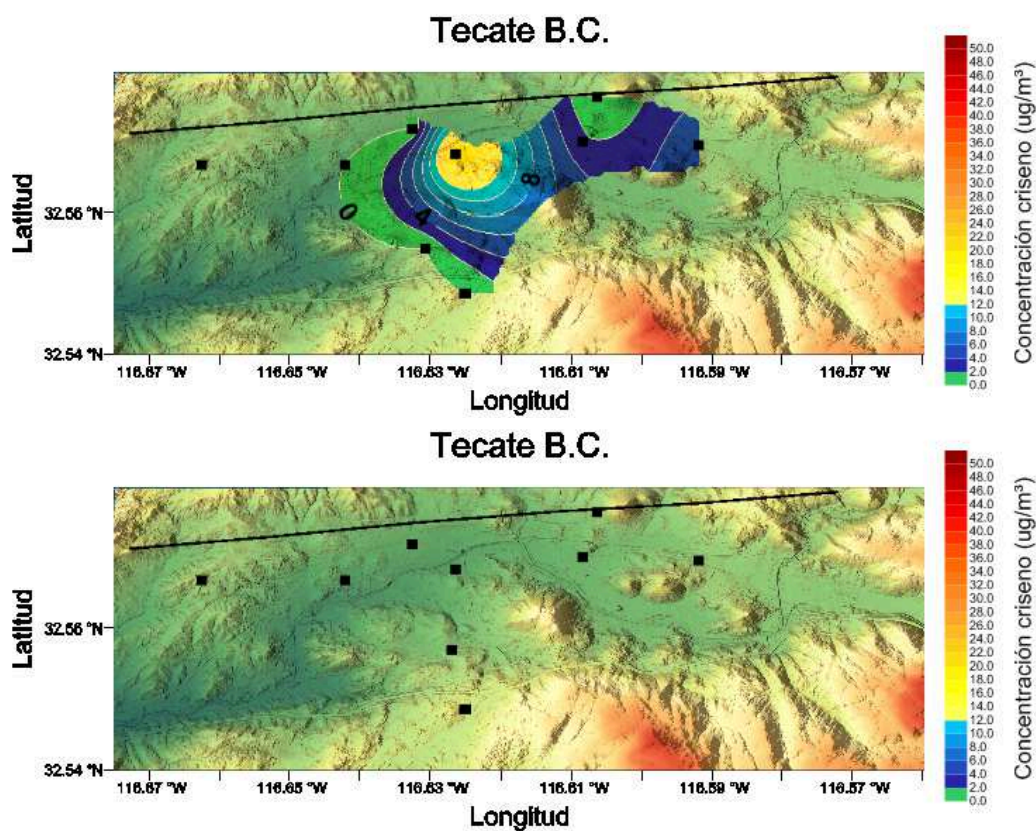


Figura 30. Distribución de crisenone en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).



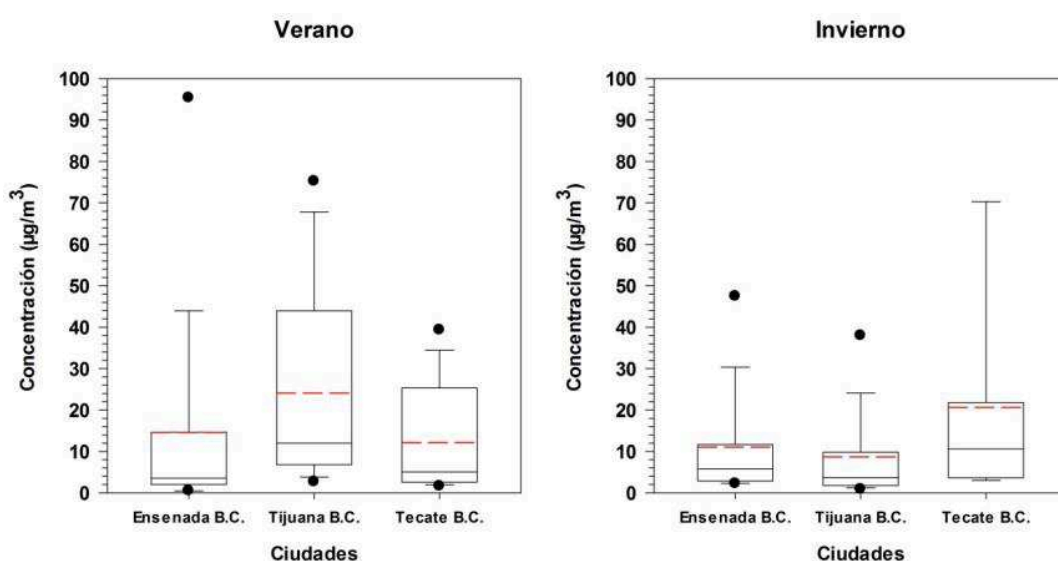
**Figura 31.** Distribución de crisenos en la ciudad de Tecate B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

### 6.2.6 CONCENTRACIONES TOTALES DE COVs Y COSVs

Se empleó la sumatoria de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles con el fin de encontrar el grado de contaminación para cada sitio y a partir de esto, se determinaron los niveles de contaminación para cada ciudad auxiliados de los parámetros de tendencia central (promedio y mediana).

Los resultados sugieren que los mayores niveles de contaminación se

presentaron durante el verano en las ciudades de Ensenada y Tijuana, y en invierno en el caso de Tecate (Fig. 32). Además, se observó que existió una menor dispersión de concentraciones en las estaciones de Ensenada y Tijuana durante el invierno, mientras que en Tecate se observó en el verano.



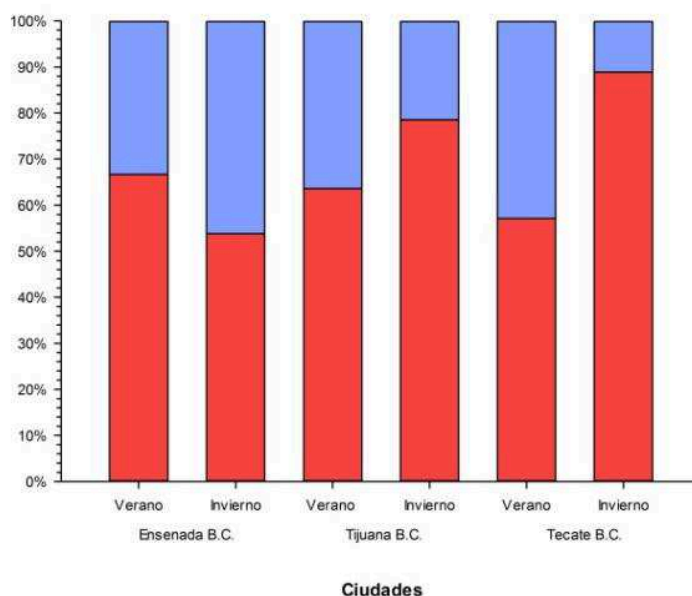
**Figura 32.** Gráfico de caja de las concentraciones totales de COVs y COSVs durante el verano e invierno del 2010 para las ciudades de Ensenada, Tijuana y Tecate B.C. La línea negra continua representa la mediana y la línea punteada roja representa el valor promedio.

En verano, las mayores concentraciones se encontraron en la ciudad de Tijuana, con concentraciones promedio y de mediana de  $24.1$  y  $12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. La ciudad de Ensenada presentó concentraciones promedio y una mediana de  $14.6$  y  $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que Tecate presentó concentraciones de  $12.2$  y  $5.1$ , respectivamente.

En invierno, las mayores concentraciones se encontraron en la ciudad de Tecate con concentraciones promedio y de mediana de  $20.6$  y  $10.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

respectivamente. En Ensenada se encontraron concentraciones promedio y de mediana de 11.0 y 5.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que en Tijuana fueron de 8.7 y 3.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Las mayores contribuciones a las concentraciones totales de COVs y COSVs fueron atribuidos principalmente a emisiones de COVs, comportamiento observado en más del 50% de las estaciones analizadas (Fig. 33). En las figuras 34 a la 36 se muestran los mapas de distribución de las concentraciones totales de COVs y COSVs encontradas estudio.



**Figura 33.** Distribución y contribución total (en porcentaje) de emisiones de COVs (rojo) y COSVs (azul) en Ensenada, Tijuana y Tecate durante verano e invierno.

El tolueno fue el compuesto más representativo al aportar mayor porcentaje a la proporción de COVs encontrados en las ciudades. En el caso de los COSVs,

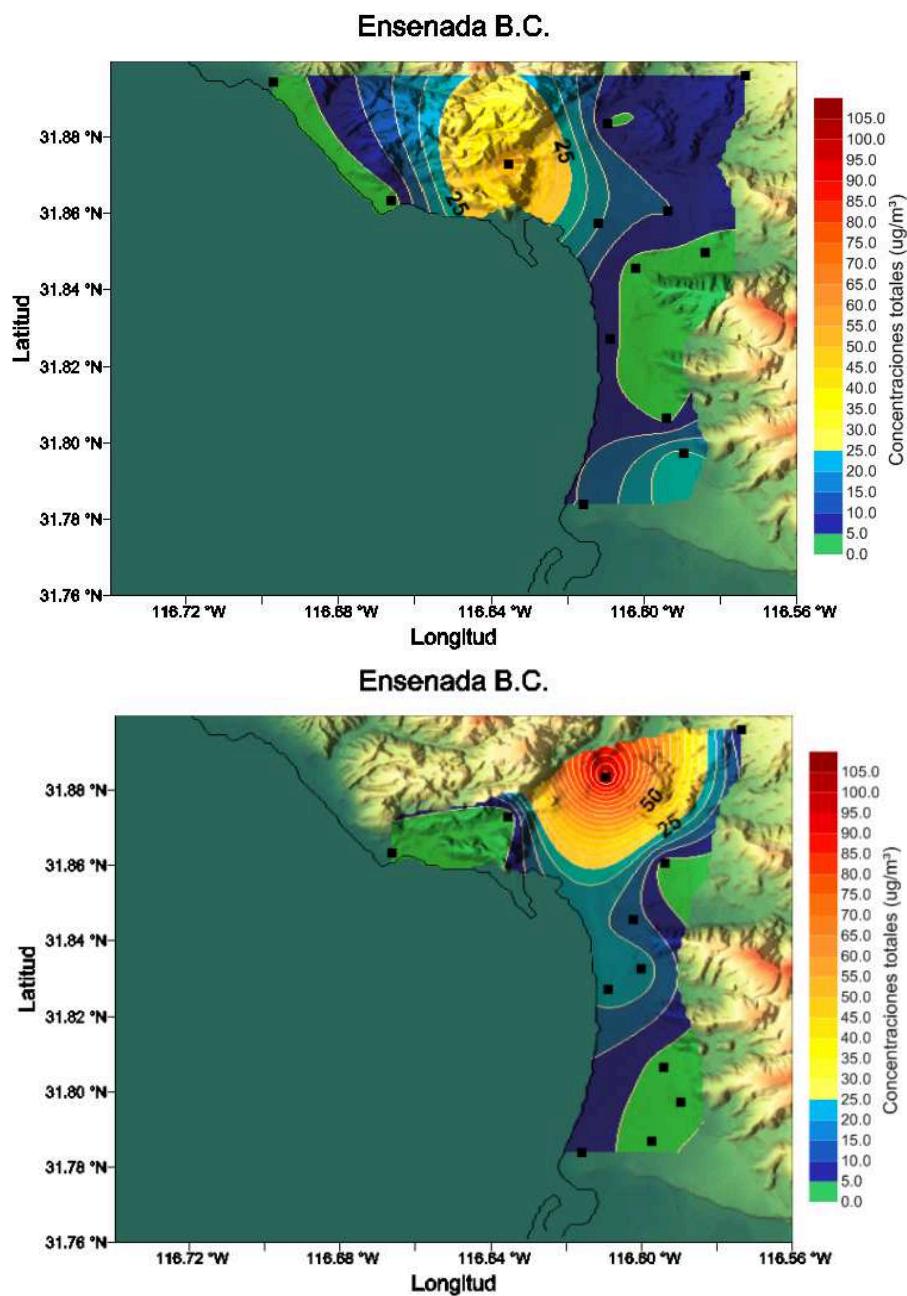
el benzo(a)antraceno y el criseno fueron los compuestos que se encontraron en mayores proporciones y que colaboraron en la mayoría de los ocasiones, a los altos niveles de contaminación en los sitios donde fueron identificados. Es necesario resaltar que los COSVs fueron identificados mayormente en las muestras obtenidas durante el verano.

Las mayores concentraciones totales de COVs y COSVs se encontraron en la Esc. Sec. Técnica #20 ( $103.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Ensenada durante el verano. Otro sitio que presentó altos niveles de contaminación durante el invierno fue el COBACH en Tecate, cuya concentración total fue de  $94.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

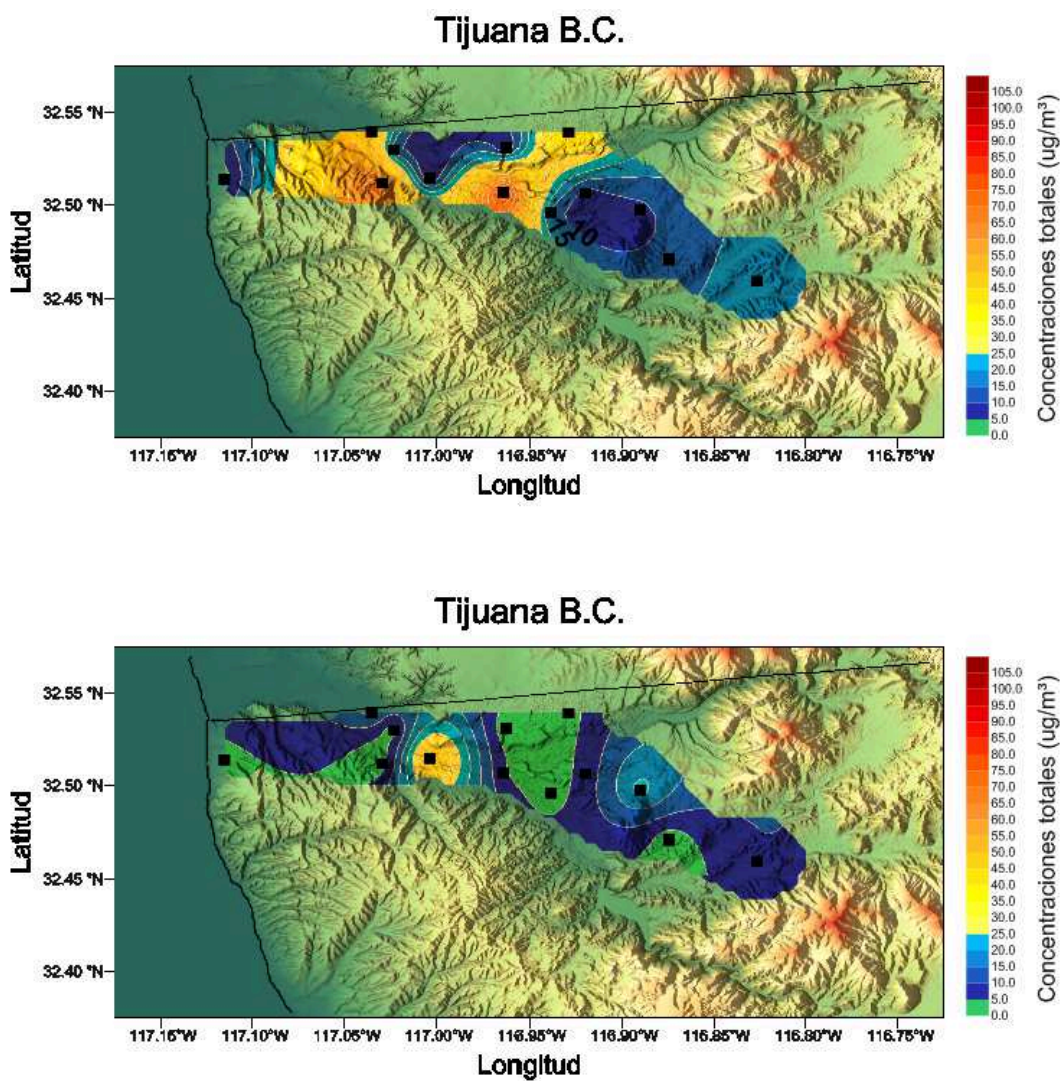
El Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) en sus guías ambientales establecidas para espacios interiores en edificios ha propuesto una concentración de compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC) de  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a partir de investigaciones realizadas en Japón (Tanaka-Kagawa et al., 2005). No obstante, el MHLW no ha establecido un procedimiento analítico para la determinación de TVOC y recomienda emplear los valores individuales de cada compuesto para prever riesgos toxicológicos (MHLW, 2000).

En este estudio no se encontraron sitios en la región que presenten altos niveles de contaminación por concentraciones totales de COVs y COSVs, tomando como referencia lo sugerido por MHLW. Sin embargo, considerando los límites individuales de cada compuesto, se encontraron concentraciones elevadas de benzo(a)antraceno en algunas estaciones, por lo que existe un

factor de riesgo toxicológico para la población como se describió en el apartado 6.2.3.



**Figura 34.** Distribución de concentraciones totales de COVs y COSVs en la ciudad de Ensenada B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).



**Figura 35.** Distribución de concentraciones totales de COVs y COSVs en la ciudad de Tijuana B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

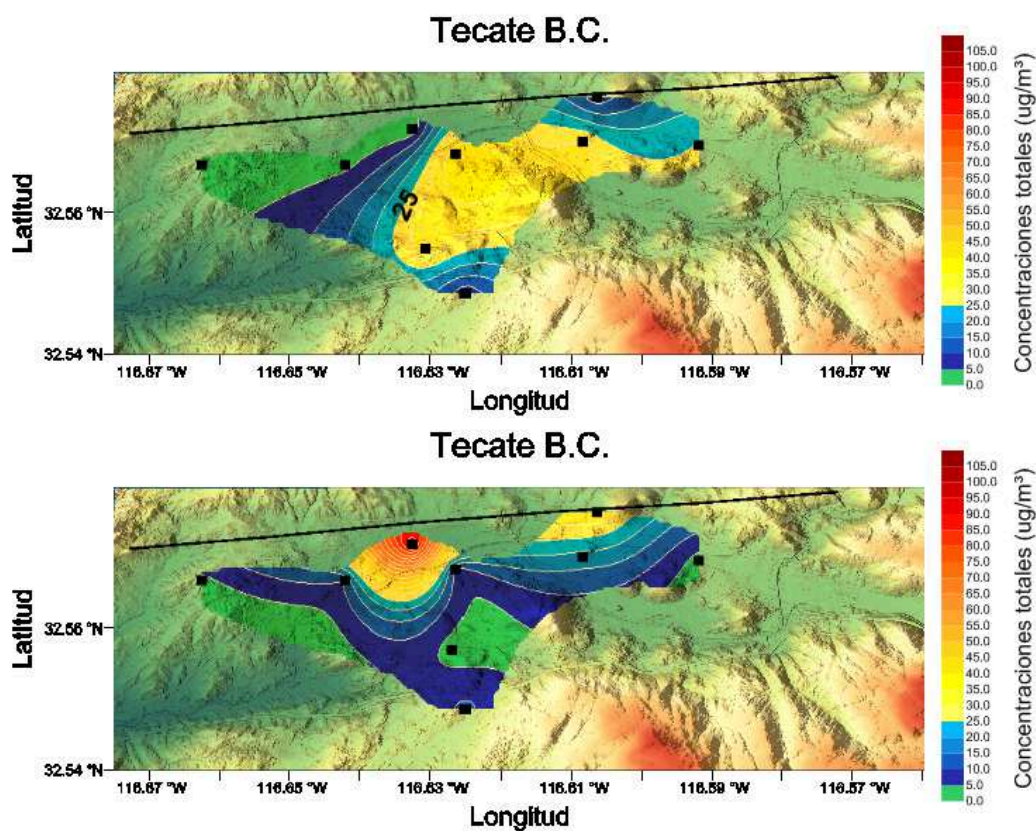


Figura 36. Distribución de concentraciones totales de COVs y COSVs en la ciudad de Tecate B.C. durante verano (superior) e invierno (inferior).

### 6.3 DISCUSIÓN

A nuestro conocimiento, este uno de los primeros trabajos realizado en la región para determinar la composición atmosférica por COVs y COSVs, ya que los principales estudios determinan las emisiones de contaminantes criterio como el ozono,  $\text{NO}_x$  y CO.

Es probable que los niveles de contaminación encontrados estén asociados al flujo vehicular y en algunos casos, a fuentes puntuales (talleres, restaurantes,

parques industriales, entre otros). Estos factores contribuyen a enrarecer la calidad de aire en las ciudades.

El panorama general en la región sugiere que podrían existir algunos sitios con problemas importantes por emisiones de compuestos orgánicos semi-volátiles que podrían repercutir en la salud de la población. Sin embargo, no se cuentan con suficientes datos que permitan determinar con certeza si la problemática en esos puntos es recurrente o bien, fueron eventos aislados.

Es necesario realizar estudios a largo plazo que permitan determinar la gama, distribución geográfica y la evolución de los niveles de contaminación por COVs y COSVs en la región. Estos estudios favorecerían un mayor entendimiento de la problemática ambiental, lo que permitiría fomentar la creación o reestructuración de legislaciones que regulen, disminuyan o mitiguen los impactos ambientales y a la salud de la población.

Se recomienda desarrollar la metodología cromatográfica apropiada para cuantificar compuestos orgánicos volátiles con menores pesos moleculares. Es primordial determinar el benceno, ya que este compuesto permite emplear una serie de razones que facilitarían identificar las posibles fuentes de las emisiones de contaminantes. Mohamed et al. (2002), menciona que es posible emplear las razones de concentraciones de compuestos como el BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) para conocer de forma cualitativa la intensidad de las emisiones vehiculares que afectan la calidad del aire. Barletta et al. (2005),

sugieren que el uso de razones de diferentes compuestos aromáticos y particularmente la razón benceno/tolueno pueden ser útiles para identificar fuentes de COVs. Por ejemplo, una razón benceno/tolueno de 0.5 podría sugerir emisiones vehiculares y una mayor a 1.0 indicaría otra clase de fuentes contaminantes como combustión de carbón o de biocombustibles.

## 7. CONCLUSIONES

---

Los compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles más abundantes en las cuencas atmosféricas de la región fueron tolueno, m,p-xileno, fenantreno, antraceno, criseno y benzo(a)antraceno.

Las mayores concentraciones promedio de compuestos orgánicos se encontraron en invierno, presentándose en el orden siguiente en las ciudades: Tijuana > (Tecate ≈ Ensenada). Durante el verano, el grado de contaminación por COVs sugiere la siguiente tendencia: Tijuana > Tecate > Ensenada.

La principal contribución de emisiones de contaminantes provino de emisiones por COVs. No obstante, algunas estaciones presentaron un porcentaje mayor de emisiones por COSVs procedentes de fuentes puntuales cercanas.

Los COVs encontrados (tolueno, etilbenceno y xilenos) se atribuyeron principalmente a emisiones vehiculares, mientras que las emisiones de COSVs se atribuyen a la combustión de materia orgánica, principalmente proveniente de emisiones de restaurantes y puestos de comida. Un incendio de matorrales (Agencia Fronteriza de Noticias, 2010) en las cercanías de la ciudad de Tijuana podría explicar las concentraciones de COSVs encontradas en la zona sureste.

En la mayoría de los compuestos analizados, las concentraciones promedio se encontraron por debajo de lo reportado en otros estudios y de los límites recomendados como máximos por diversos organismos a nivel mundial

(NIOSH, OSHA, WHO, MLHW, EPA). No obstante, en verano se encontraron concentraciones elevadas de benzo(a)antraceno en algunos sitios de Tijuana, Tecate y Ensenada hasta ocho veces el límite máximo sugerido por la U.S. EPA, por lo que esto podría impactar en la salud de la población expuesta durante largos periodos.

## **8. REFERENCIAS**

---

- Agencia Fronteriza de Noticias, 2010. Piden prevenir incendios en zona serrana de Rosarito y Tijuana. (<http://www.afntijuana.info/afn/2010/06/piden-prevenir-incendios-en-zona-serrana-de-rosarito-y-tijuana/>)
- Al-Awadhi, L., Ahmed, M., Khan, A.R., 2005. Measurement of volatile organic compounds (VOCS) in ambient air in Kuwait (1997-1998). *Emirates Journal for Engineering Research*. 10 (1), 89-99
- Argote-Espinoza, M.L., Gavidia-Medina, F.J., Amador-Buenrostro, A., 1991. Wind-induced circulation in Todos Santos bay, B.C., Mexico. *Atmósfera*. 4, 101-15.
- Barletta, B., Meinardi, S., Sherwood-Rowland, F., Chan, C., Wang, X., Zou, S., Chan, L.Y., Blake, D.R., 2005. Volatile organic compounds in 43 Chinese cities. *Atmospheric Environment*. 39, 5979-90.
- Bernstein, J. A., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, I. L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., Oullette, J. Reijula, K., Reponen, T., Seltzer, J., Smith, A., Tarlo, S. M. 2008. The health effects of nonindustrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 121 (3), 585-591.
- EBlinger, H.M., 2009. *Handbook of Brewing. Processes, Technology, Markets*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 778 p.

Gobierno del Estado de Baja California, 2010. Dejará de pagar tenencia más del 95 por ciento del parque vehicular en Baja California ([http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/noticia\\_completa.jsp?noticia=20082](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/noticia_completa.jsp?noticia=20082))

Gobierno del Estado de Baja California, 2011. Plan Estatal de Desarrollo 2002-2007. ([http://www.bajacalifornia.gob.mx/ped/ped\\_61d.htm](http://www.bajacalifornia.gob.mx/ped/ped_61d.htm)).

Gordon, S.M., Szidon J.P., Krotoszynski, B.K., Gibbons, R.D., O'Neill, H.J. 1985. Volatile organic compounds in exhaled air from patients with lung cancer. Clin Chem. 31, 1278-1282.

Health Canada, 2007. Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide. ([http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/office\\_building-immeubles\\_bureaux/organic-organiques-eng.php](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/office_building-immeubles_bureaux/organic-organiques-eng.php)).

Hung, I., Deshpande, C.G., Tsai, C. Huang, S., 2005. Spatial and temporal distribution of volatile organic compounds around an industrial park of Taiwan. Aerosol and Air Quality Research. 5 (2), 141-53.

INE, TSTES, 2007. Informe final del estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas de la frontera norte. Fase I: Tijuana y Mexicali. 49p. ([http://www.ine.gob.mx/descargas/calair/2007\\_inf\\_emis\\_act\\_vehicular\\_mexicali\\_tijuana\\_encuestas.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/calair/2007_inf_emis_act_vehicular_mexicali_tijuana_encuestas.pdf))

INE, CIATEJ, 2009. Informe final del estudio preliminar de compuestos tóxicos en aire ambiente de la zona metropolitana de Guadalajara. 92p.

([www.ine.gob.mx/descargas/dgcenica/2009\\_estudio\\_cenica\\_comp\\_toxicos\\_zmg.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/dgcenica/2009_estudio_cenica_comp_toxicos_zmg.pdf)).

INEGI, 2011. Anuario Estadístico de Baja California 2010. Gobierno del Estado de Baja California - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

(<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee10/estatal/bc/default.htm>)

Junta de Andalucía, 2010. Guía de apoyo para la notificación de las emisiones de la industria cervecera.

([http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temas\\_ambientales/vigilancia\\_y\\_preencion\\_ambiental/Vigilancia\\_Y\\_Control\\_Ambiental/PPC/PRTR/Guias\\_sectoriales/guia\\_ep\\_8bii\\_v2.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/vigilancia_y_preencion_ambiental/Vigilancia_Y_Control_Ambiental/PPC/PRTR/Guias_sectoriales/guia_ep_8bii_v2.pdf))

Laowagul, W., Garivait, H., Limpaseni, W., Yoshizumi, K., 2008. Ambient air concentrations of benzene, ethylbenzene and xylene in Bangkok, Thailand during april-august in 2007. Asian Journal of Atmospheric Environment. 2(1), 14-25.

Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009. Indoor volatile organic compounds (VOCs) and health. (<http://eetd.lbl.gov/ied/sfrb/voc-introduction.html>).

- Lee, S.C., Chiu, M.Y., Ho, K.F., Zou, S.C., Wang, X., 2002. Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong. *Chemosphere*. 48, 375-82.
- Miekisch, W., Schubert J.K., Noeldge-Schomburg, G.F. 2004. Diagnostic potential of breath analysis – focus on volatile organic compounds. *Clin Chim Acta*. 347, 25–39.
- Mohamed, M.F., Kang, D., Aneja, V.P., 2002. Volatile organic compounds in some urban locations in United States. *Chemosphere*. 47, 863-82.
- Monteiro-Martins, E., Arbilla, G., Vanni-Gatti, L., 2010. Volatile organic compounds in a residential and commercial urban area with a diesel, compressed natural gas and oxygenated gasoline vehicular fleet. 84, 175-79.
- Nicoara, S., Tonidandel, L., Traldi, P., Watson, J., Morgan, G., Popa, O., 2009. Determining the levels of volatile organic pollutants in urban air using a gas chromatography-mass spectrometry method. *Journal of Environmental and Public Health*. 2009, 1-4.
- LGEEPA, 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- OSHA, 2011. Occupational Safety and Health Guideline for Xylene (<http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/xylene/recognition.html#bibliography>).

- Ruiz, M.E., Arriaga, J.L., Garcia, I., 1996. Determinación de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la Ciudad de México mediante el uso de sistemas ópticos y métodos convencionales. *Atmósfera*. 9, 119-35.
- Serrano-TresPalacios, P.I., Ryan, L., Spengler, J.D., 2004. Ambient, indoor and personal exposure relationships of volatile organic compounds in Mexico City Metropolitan Area. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 14,118-32.
- Son, B., Breyse, P., Yang, W., 2003. Volatile organic compounds concentrations in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea. *Environment International*. 29, 79-85.
- Tanaka-Kagawa, T., Uchiyama, S., Matsushima, E., Sasaki, A., Kobayashi H., Kobayashi H., Yagi, M., Tsuno, M., Arao, M., Ikemoto, K., Yamasaki, M., Nakashima, A., Shimizu, Y., Otsubo, Y., Ando, M., Jinno, H., Tokunaga, H., 2005. Survey of volatile organic compounds found in indoor and outdoor air samples from Japan. *Bull. Natl. Health Sci*. 123, 27-31.
- U. S. EPA, 1998. Organic volatile compounds (VOC) recovery seminar. Sustainable Technology Division, Technology Transfer and Support Division, Air Pollution Prevention and Control Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency.

U. S. EPA, 1999. Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air, Second Edition. Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency (Compendium Method TO-17. Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes).

U.S. EPA, 2011a. Summary of the Clean Air Act. (<http://www.epa.gov/lawsregs/laws/caa.html>).

U.S. EPA, 2011b. Integrated Risk Information System - Benz[a]anthracene (<http://www.epa.gov/iris/subst/0454.htm#refinhal>)

U.S. EPA, 2011c. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on the Gulf Coastline. (<http://www.epa.gov/bpspill/pahs.html>)

U.S. EPA, 2011d. Integrated Risk Information System - Fluoranthene (<http://www.epa.gov/IRIS/subst/0444.htm>)

Vallero, D.A., 2008. Fundamentals of air pollution. 4<sup>th</sup> edition. Academic Press. 942p.

Vega, E., Sánchez-Reyna, G., Mora-Perdomo, V., Iglesias, G.S., Arriaga, J.L., Limón-Sánchez, T., Escalona-Segura, S., Gonzalez-Avalos, E., 2011. Air quality assessment in a highly industrialized area of México: Concentrations and sources of volatile organic compounds. Fuel. 90(12), 3509-3520.

Velasco, E., Lamb, B., Westberg, H., Allwine, E., Sosa, G., Arriaga-Colina, J.L., Jobson, B.T., Alexander, M.L., Prazeller, P., Knighton, W.B., Rogers, T.M., Grutter, M., Herndon, S.C., Kolb, C.E., Zavala, M., de Foy, B., Volkamer, R., Molina, L.T., Molina, M.J., 2007. Distribution, magnitudes, reactivities, ratios and diurnal patterns of volatile organic compounds in the Valley of Mexico during the MCMA 2002 & 2003 field campaigns. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 7, 329-53.

WHO, 2000. Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark. 288p.

WHO, 2011. Public Health and Environment.

([http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/en/index.html](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/en/index.html))

Wöhrnschimmel, H., Magaña, M., Stahel, W.A., Blanco, S., Acuña, S., Perez, J.M., Gonzalez, S., Gutierrez, V., Wakamatsu, S., Cardenas, B., 2010. Measurements and receptor modeling of volatile organic compounds in Southeastern Mexico City, 2000-2007. *Atmos. Chem. Phys.* 10, 9027-37

Zhu, J., Newhook, R., Marro, L., Chan, C.C., 2005. Selected volatile organic compounds in residential air in the city of Ottawa, Canada. *Environ. Sci. Technol.* 39, 3964-3971.

Zogorski, J.S., Carter, J.M., Ivahnenko, T., Lapham, W.W., Moran, M.J., Rowe, B.L., Squillace, P.J., Toccalino, P.L., 2006. The quality of our nation's waters

- Volatile organic compounds in the nation's ground water and drinking-water supply wells. U.S. Geological Survey Circular. 1292, 101 p.

# ANEXOS

## ANEXO I

---

### PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE TUBOS DE DESORCIÓN

Los tubos de desorción son preparados de la siguiente manera para ser utilizados posteriormente en el muestreo de contaminantes orgánicos en aire.

**A. Lavado.** Todos los tubos de desorción deben ser lavados con detergente y enjuagados con agua. Posteriormente se realizan lavados con acetona en ultrasonido y se permite secar con ventilación apropiada. Posteriormente se ingresan a un horno a una temperatura de 100 °C. Se emplean posteriormente metanol y diclorometano, y se repite el proceso de secado en horno para remover todos los residuos de los solventes empleados en los tubos de desorción.

**B. Silanización.** Emplear Silon CT para recubrir las paredes internas de los tubos de desorción. Se recomienda realizar el proceso bajo campana de flujo laminar, así como emplear guantes y lentes protectores.

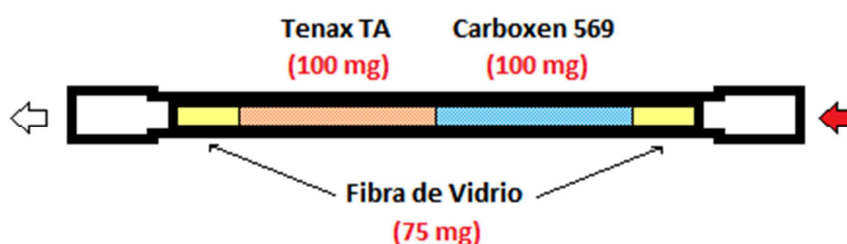
Los tubos de desorción limpios son tapados en uno de los extremos sin sellar y se colocan en un vaso de precipitado. Los tubos se llenan completamente con el reactivo con ayuda de una pipeta pasteur y se deja actuar durante un minuto. Transcurrido el tiempo el reactivo se tira en un contenedor de residuos peligrosos. Este proceso se prefiere que al de sumergir el tubo de desorción completamente en el agente de silanización debido a que la reacción del

reactivo con el recubrimiento metálico externo produce decoloración de la superficie.

**C. Enjuague.** Se remueven las tapas y se enjuagan (2X) con una mezcla de metanol:diclorometano (1:1) en un vaso de precipitado. El vaso se coloca en un ultrasonido por media hora.

**D. Secado.** Los tubos de desorción deben ser secados en horno a 100 °C.

**E. Empacado.** Los tubos de desorción secos se empaquetan con 100 mg de Tenax TA y 100 mg de Carboxen 569 con ayuda de un embudo de aluminio, el cual se adapta fácilmente en la abertura de los tubos de desorción facilitando el empaque del material adsorbente. Se colocan tapones de fibra de vidrio silanizada (con un peso aproximado de ~75 mg por tapón) en los extremos del tubo de desorción para mantener el material adsorbente en su lugar.



**F. Acondicionamiento.** En orden de preparar los tubos de desorción previamente empacados para la recolección de muestras, es necesario que las resinas adsorbentes sean acondicionadas con el objeto de remover todos los materiales extraños incluyendo vapor de agua. En el caso del

acondicionamiento de los tubos de desorción empleados en este estudio, se utilizó el bloque de desorción del equipo TD-5. El siguiente procedimiento es la versión recomendada y adaptada de acuerdo a las condiciones de trabajo en el laboratorio, con el fin de realizar el acondicionamiento adecuado de los tubos de desorción.

1. Colocar el sello de grafito/vespel en una tapa perforada (1 mm de diámetro) y posteriormente tapar un extremo del tubo de desorción apretándolo suavemente, esto con el fin de prevenir que la fibra de vidrio y el absorbente sea removido por flujo de gas durante el proceso de acondicionamiento. No utilizar agujas de desorción para acondicionar los tubos.
2. Colocar el tubo de desorción en el bloque de desorción ajustándolo firmemente en la ranura indicada.
3. Precalentar los bloques de calentamiento del TD-5 a 60 °C empleando el control manual del software del equipo TD-5.
4. Con ayuda del software del TD-5 permitir el inicio de flujo de gas (He) a razón de 20 mL/min por 10 min, para remover la humedad y el oxígeno del tubo previo el proceso de acondicionamiento. Para ello, ajustar manualmente el flujo de He situando la esfera plateada que se observa en el flujómetro a la escala de 30.0 empleando la válvula ubicada en la parte superior del bloque de desorción.

5. Insertar el tubo de desorción entre los bloques de calentamiento previamente precalentados a 60 °C e iniciar con un programa de incremento de temperatura a razón de 10 °C/min hasta una temperatura final de 280 °C, manteniendo esta temperatura por un lapso de 4 horas. Se emplea flujo constante de He a razón de 100 mL/min durante el proceso de acondicionamiento (ajustar a la escala 130.0 del flujómetro del bloque de desorción).
6. Una vez transcurrido el tiempo de acondicionamiento, retirar el tubo de los bloques de calentamiento y permitir enfriar bajo flujo constante de gas durante 5 min. No permitir enfriar mas del tiempo estipulado o se corre el riesgo de contaminación del tubo.
7. Cerrar el flujo de gas y retirar el tubo del equipo. Posteriormente tapan el tubo con las tapas de acero inoxidable y los sellos PTFE previamente acondicionados.

## ANEXO II

### IONES DE CUANTIFICACIÓN Y TIEMPOS DE RETENCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES

COMPUESTO	TIEMPO DE RETENCIÓN	IONES	
		CUANTITATIVO	CONFIRMACIÓN
trans-1,3-dicloropropeno	4.972	75	39, 110
tolueno-d8*	5.501	98	100, 70
tolueno	5.614	91	92, 65
1,1,2-tricloroetano	6.357	97	83, 61
tetracloroetano	6.764	166	131, 94
dibromoclorometano	7.015	129	127, 79
clorobenceno-d5*	8.245	117	82, 54
clorobenceno	8.304	112	51, 77
etilbenceno	8.497	91	106, 51
1,1,1,2-tetracloroetano	8.577	131	117, 95
etilbenceno	8.769	91	106, 51
m,p-xileno	9.080	91	106, 51
o-xileno	9.812	91	106, 51
1,1,2,2-tetracloroetano	10.834	83	85
estireno	10.861	104	78
cumeno	10.866	105	120, 77
4-bromofluorobenceno*	10.989	174	95, 176
1,2,3-tricloropropano	11.005	75	77, 110
bromobenceno	11.069	77	156
2-clorotolueno	11.733	91	126
n-propilbenceno	11.856	120	91
4-clorotolueno	11.995	126	91, 63
1,2,4-trimetilbenceno	12.390	105	120
tert-butilbenceno	13.107	134	119, 91
1,3,5-trimetilbenceno	13.187	105	120
1,3-diclorobenceno	13.546	146	111, 75
sec-butilbenceno	13.701	105	134, 91
1,4-diclorobenceno-d4*	13.808	152	115, 50
1,4-diclorobenceno	13.872	146	111, 75
cimeno	14.220	119	134
1,2-diclorobenceno	14.412	146	111, 75
n-butilbenceno	15.209	91	134, 92
1,2-dibromo-3-cloropropano	16.263	157	75, 153
1,2,4-triclorobenceno	18.905	180	145, 109
naftaleno	19.156	128	102
1,2,3-triclorobenceno	19.836	180	145, 109
hexacloro-1,3-butadieno	19.895	225	190, 260
acenaftileno	26.019	152	
acenafteno	26.687	154	
fluoreno	28.543	166	
fenantreno	31.608	178	
antraceno	31.769	178	
fluoranteno	35.336	202	
pireno	36.154	202	
benzo(a)antraceno	44.156	228	
criseno	44.472	228	

#### SIMBOLOGÍA:

\*: Estándares surrogados e internos

## **ANEXO III**

---

### **RESULTADOS DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES MONITOREADOS EN AIRE**

#### **ENSENADA B.C.**

**Tabla I.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Ensenada B.C. en verano del 2010.

**Tabla II.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Ensenada B.C. en invierno del 2010-11.

#### **TIJUANA B.C.**

**Tabla III.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Tijuana B.C. en verano del 2010.

**Tabla IV.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Tijuana B.C. en invierno del 2010-11.

#### **TECATE B.C.**

**Tabla V.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Tecate B.C. en verano del 2010.

**Tabla VI.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Tecate B.C. en invierno del 2010-11.

**CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES EN LA ATMÓSFERA DE CIUDADES FRONTERIZAS DE LA FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA**

COMPUESTOS	ESTACIONES (Concentraciones en µg/m <sup>3</sup> )														ESTADÍSTICAS						
	CETIS #74	CBTIS #41	Esc. Sec. Tec. #9	Cruz Roja Valle Dorado	CONALEP	Esc. Sec. Tec. #20	CEOTTE	Residencia Fracc. Coahuilla	Cruz Roja Moderna	Esc. Sec. #4	UABC-IO	COBACH	Residencia Col. Aeropuerto	Esc. Sec. Tec. #19	Residencia Fracc. Valle Dorado	FRECUENCIA	PROMEDIO	MEDIANA	SD	MÍNIMO	MÁXIMO
trans-1,3-dicloropropeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	LD
tolueno-d8 [●□]	46.0	41.5	59.9	100.7	50.9	62.5	50.0	--	63.2	--	48.0	--	41.9	LD	31.8	11	54.2	50.0	18.15	31.8	100.7
tolueno	9.1	0.8	1.8	12.0	LD	0.2	4.5	--	0.5	--	2.3	--	0.9	0.5	1.9	11	3.1	1.8	3.91	LD	12.0
1,1,2-tricloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
dibromoclorometano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
clorobenceno-d5 [●□]	2.7	11.3	103.7	201.9	98.0	55.3	55.2	--	187.9	--	52.7	--	64.7	LD	61.2	11	81.3	61.2	63.73	LD	201.9
clorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	0.0
1,1,1,2-tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	0.0
etilbenceno	LD	0.5	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	0.3	2	0.4	0.4	0.14	LD	0.5
m,p-xileno	LD	0.4	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	0.3	--	LD	LD	0.4	3	0.4	0.4	0.06	LD	0.4
o-xileno	LD	0.7	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	1	0.7	0.7	NA	LD	0.7
cumeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	--	LD	0	0.4	NA	NA	LD	0.0
4-bromofluorobenceno [●□]	62.6	93.3	80.4	137.5	77.2	92.9	93.5	--	187.9	--	95.9	--	72.8	127.0	87.2	12	100.7	93.1	34.66	62.6	187.9
bromobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
2-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-propilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
4-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-trimetilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tert-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,3,5-trimetilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	1.1	1	1.1	1.1	NA	LD	1.1
1,3-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
sec-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,4-diclorobenceno-d4 [●□]	42.9	44.2	77.2	115.8	48.3	59.4	101.6	--	92.0	--	65.3	--	52.2	92.4	52.0	12	70.3	62.4	24.83	42.9	115.8
1,4-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
cimeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2-dibromo-3-cloro-propano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
naftaleno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,3-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
hexacloro-1,3-butadieno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenaftileno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenafteno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	1.6	1	1.6	1.6	NA	LD	1.6
fluoreno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	1.7	1	1.7	1.7	NA	LD	1.7
fenantreno	LD	LD	LD	LD	LD	0.3	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	0.7	2	0.5	0.5	0.28	LD	0.7
antraceno	LD	LD	LD	LD	LD	0.4	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	0.9	2	0.7	0.7	0.35	LD	0.9
fluoranteno	LD	LD	LD	LD	LD	1.6	LD	--	LD	--	LD	--	0.5	LD	1.0	3	1.0	1.0	0.55	LD	1.6
pireno	LD	LD	LD	LD	LD	2.0	LD	--	LD	--	LD	--	0.8	LD	1.3	3	1.4	1.3	0.60	LD	2.0
benzo(a)antraceno	LD	LD	LD	LD	5.5	50.9	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	3.1	3	19.8	5.5	26.93	LD	50.9
criseno	LD	LD	LD	LD	11.8	48.5	LD	--	LD	--	LD	--	LD	LD	4.3	3	21.5	11.8	23.65	LD	48.5
COVs y COSVs Totales	9.1	2.4	1.8	12.0	17.3	103.9	4.5	NA	0.5	NA	2.6	NA	2.2	0.5	18.3	NA	14.3	3.6	28.83	0.5	103.9

SIMBOLOGÍA
LD: Límite de detección.
NA: No aplica.
--: Sitio no muestreado.
□: Estándar interno.
●: Valores expresados en % de recuperación.

**Tabla I.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Ensenada B.C. en verano del 2010.

**CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES EN LA ATMÓSFERA DE CIUDADES FRONTERIZAS DE LA FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA**

COMPUESTOS	ESTACIONES (Concentraciones en µg/m <sup>3</sup> )														ESTADÍSTICAS						
	CETIS #74	CETIS #41	Esc. Sec. Tec. #9	Cruz Roja Valle Dorado	CONALEP	Esc. Sec. Tec. #20	CECYTE	Residencia Fracc. Costa Bella	Cruz Roja Moderna	Esc. Sec. #4	UABC-IO	COBACH	Residencia Col. Aeropuerto	Esc. Sec. Tec. #19	Residencia Fracc. Valle Dorado	FRECUENCIA	PROMEDIO	MEDIANA	SD	MÍNIMO	MÁXIMO
trans-1,3-dicloropropeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tolueno-d8 [●□]	16.0	28.4	LD	27.4	10.2	36.4	LD	35.4	22.0	44.6	51.4	7.4	28.0	LD	LD	11	27.9	28.0	13.68	LD	51.4
tolueno	1.5	2.6	3.2	2.5	5.8	LD	4.2	2.3	3.7	LD	2.2	3.4	2.5	LD	LD	11	3.1	2.6	1.18	LD	5.8
1,1,2-tricloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,1,2,2-tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
dibromocloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
clorobenceno-d5 [●□]	9.8	16.2	LD	19.6	8.6	LD	LD	18.2	21.8	40.8	51.4	12.0	37.0	LD	LD	10	23.5	18.9	14.53	LD	51.4
clorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,1,1,2-tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
etilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
m,p-xileno	LD	0.3	LD	LD	LD	0.5	LD	0.6	LD	2.3	LD	LD	LD	LD	LD	5	1.0	0.6	0.80	LD	2.3
o-xileno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
cumeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
4-bromofluorobenceno [●□]	17.0	43.8	9.2	25.4	17.0	30.8	LD	26.4	25.8	40.8	50.0	31.4	42.8	LD	LD	12	30.0	28.6	12.42	LD	50.0
bromobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
2-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-propilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
4-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-trimetilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.1	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	1	0.1	0.1	NA	LD	0.1
tert-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,3,5-trimetilbenceno	LD	0.1	LD	LD	LD	0.4	LD	0.6	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	4	0.4	0.5	0.24	LD	0.6
1,3-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
sec-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,4-diclorobenceno-d4 [●□]	31.0	42.8	57.6	37.4	28.6	30.0	54.0	39.0	39.4	44.8	53.6	32.8	47.8	LD	LD	13	41.4	39.4	9.69	28.6	57.6
1,4-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
cimeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2-dibromo-3-cloro-propano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
naftaleno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,3-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
hexacloro-1,3-butadieno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenaftileno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenafteno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
fluoreno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
fenantreno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	2.4	LD	4.2	LD	LD	LD	LD	LD	LD	2	3.3	3.3	1.27	LD	4.2
antraceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	4.6	LD	LD	LD	LD	LD	LD	1	4.6	4.6	NA	LD	4.6
fluoranteno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	5.8	LD	LD	LD	LD	LD	LD	2	4.8	4.8	1.41	LD	5.8
pireno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	3.7	LD	LD	5.6	LD	LD	LD	LD	LD	3	4.3	3.7	1.10	LD	5.6
benzo(a)antraceno	4.1	LD	3.6	LD	LD	LD	LD	LD	12.0	LD	LD	5.0	5.2	LD	LD	5	6.0	5.0	3.43	LD	12.0
criseno	4.7	LD	3.6	LD	LD	LD	LD	LD	15.5	LD	LD	7.0	8.2	LD	LD	5	7.8	7.0	4.67	LD	15.5
<b>COVs y COSVs Totales</b>	<b>10.3</b>	<b>3.0</b>	<b>10.4</b>	<b>2.5</b>	<b>5.8</b>	<b>4.6</b>	<b>6.7</b>	<b>3.5</b>	<b>51.4</b>	<b>2.3</b>	<b>2.2</b>	<b>15.4</b>	<b>25.1</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>11.0</b>	<b>5.8</b>	<b>13.79</b>	<b>2.2</b>	<b>51.4</b>

SIMBOLOGÍA
LD: Límite de detección.
NA: No aplica.
---: Sitio no muestreado.
□: Estándar interno.
●: Valores expresados en % de recuperación.

**Tabla II.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Ensenada B.C. en invierno del 2010-11.

**CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES EN LA ATMÓSFERA DE CIUDADES FRONTERIZAS DE LA FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA**

COMPUESTOS	ESTACIONES (Concentraciones en µg/m <sup>3</sup> )													ESTADÍSTICAS						
	Museo del Trompo	Central de Bomberos Zona Centro	Preparatoria Federal Lazaro Cardenas	Cruz Roja	CECUT	Conjunto Habitacional Otay Modulos	Biblioteca Central UABC	Preescolar "Rosaura Zapata"	Esc. Sec. Tec. #33	Esc. Sec. Tec. #31	C. Hab. Rincomada de la Cacho	UABC Campus Valle de las Palmas	UJT	CBTIS #146	FRECUENCIA	PROMEDIO	MEDIANA	SD	MÍNIMO	MÁXIMO
trans-1,3-dicloropropeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
tolueno-d8 [●□]	258.4	126.6	LD	LD	199.1	LD	109.4	140.7	247.3	145.1	LD	LD	LD	8	157.1	142.9	75.58	LD	258.4	
tolueno	11.8	16.7	4.2	7.6	10.9	2.8	4.5	7.6	8.7	12.0	1.6	LD	LD	13	8.3	7.6	5.35	1.6	17.9	
1,1,2-tricloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
dibromoclorometano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
clorobenceno-d5 [●□]	351.2	108.9	LD	LD	221.3	LD	37.9	364.6	67.6	LD	LD	LD	LD	7	169.4	108.9	143.5	34.0	364.6	
clorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
1,1,1,2-tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
etilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
m,p-xileno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
o-xileno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
cumeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
4-bromofluorobenceno [●□]	77.1	52.3	LD	LD	80.3	LD	29.9	103.9	18.0	44.2	LD	LD	LD	8	51.7	48.3	33.40	LD	103.9	
bromobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
2-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
n-propilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
4-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
1,2,4-trimetilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
tert-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
1,3,5-trimetilbenceno	LD	0.4	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.4	LD	LD	2	0.4	0.4	0.0	LD	0.4	
1,3-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
sec-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
1,4-diclorobenceno-d4 [●□]	83.4	38.3	LD	LD	52.9	LD	34.8	77.0	12.8	17.1	LD	LD	LD	8	40.3	36.6	28.89	LD	83.4	
1,4-diclorobenceno	0.7	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	2	0.6	0.6	0.14	LD	0.7	
cimeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
1,2-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
n-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
1,2-dibromo-3-cloro-propano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
1,2,4-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
naftaleno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
1,2,3-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
hexacloro-1,3-butadieno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
acenaftileno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
acenafteno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
fluoreno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
fenantreno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
antraceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD	
fluoranteno	LD	2.4	LD	2.5	LD	LD	LD	LD	LD	LD	3.0	LD	LD	3	2.6	2.5	0.32	LD	3.0	
pireno	LD	3.5	LD	3.6	LD	LD	LD	LD	LD	LD	4.6	LD	LD	3	3.9	3.6	0.61	LD	4.6	
benzo(a)antraceno	LD	8.7	LD	20.4	LD	19.1	LD	LD	LD	LD	24.7	LD	LD	4	18.2	19.8	6.79	LD	24.7	
criseno	LD	11.5	LD	42.8	LD	24.4	LD	LD	LD	LD	31.3	LD	LD	4	27.5	27.9	13.09	LD	42.8	
COVs y COSVs Totales	12.5	43.2	4.2	76.9	10.9	46.3	4.5	7.6	8.7	12.0	65.6	NA	17.9	2.4	NA	25.9	12.0	25.2	2.4	76.9

SIMBOLOGÍA
LD: Límite de detección.
NA: No aplica.
---: Sitio no muestreado.
□: Estándar interno.
●: Valores expresados en % de recuperación.

**Tabla III.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Tijuana B.C. en verano del 2010.

**CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES EN LA ATMÓSFERA DE CIUDADES FRONTERIZAS DE LA FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA**

COMPUESTOS	ESTACIONES (Concentraciones en µg/m <sup>3</sup> )														ESTADÍSTICAS					
	Museo del Trompo	Central de Bomberos Zona Centro	Preparatoria Federal Lázaro Cárdenas	Cruz Roja	CECUT	Conjunto Habitacional Otay Módulos	Biblioteca Central UABC	Preescolar "Rosaura Zapata"	Esc. Sec. Tec. #33	Esc. Sec. Tec. #31	C. Hab. Rincomada de la Cacho	UABC Campus Valle de las Palmas	UJT	CBTIS #146	FRECUENCIA	PROMEDIO	MEDIANA	SD	MÍNIMO	MÁXIMO
trans-1,3-dicloropropeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tolueno-d8 [●□]	LD	10.6	107.8	LD	57.8	57.4	60.8	27.2	33.6	46.4	13.4	51.8	52.0	65.8	12	48.7	51.9	26.1	LD	107.8
tolueno	2.2	3.5	20.4	5.7	2.1	3.4	1.3	7.1	1.6	1.8	1.7	LD	9.8	4.1	13	5.0	3.4	5.3	LD	20.4
1,1,2-tricloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
dibromoclorometano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
clorobenceno-d5 [●□]	19.8	14.2	100.2	LD	39.4	30.0	47.0	17.0	12.2	13.2	27.6	77.4	17.8	44.2	13	35.4	27.6	26.9	LD	100.2
clorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,1,1,2-tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
etilbenceno	LD	LD	1.3	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	1	1.3	1.3	NA	LD	1.3
m,p-xileno	0.7	0.3	14.6	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	3	5.2	0.7	8.1	LD	14.6
o-xileno	LD	LD	5.6	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	1	5.6	5.6	NA	LD	5.6
cumeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
4-bromofluorobenceno [●□]	21.4	11.4	103.8	LD	28.4	24.6	36.4	25.6	28.0	26.0	21.4	76.6	16.2	23.2	13	34.1	25.6	26.2	LD	103.8
bromobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
2-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-propilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
4-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-trimetilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tert-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,3,5-trimetilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,3-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
sec-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,4-diclorobenceno-d4 [●□]	40.6	40.4	107.0	34.4	29.0	24.8	60.0	34.8	38.8	53.4	33.0	69.6	38.2	33.8	14	45.6	38.5	21.5	24.8	107.0
1,4-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
cimeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2-dibromo-3-cloro-propano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
naftaleno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,3-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
hexacloro-1,3-butadieno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenaftileno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenafteno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
fluoreno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.7	LD	LD	0.7	LD	LD	2	0.7	0.7	0.0	LD	0.7
fenantreno	LD	3.6	LD	LD	LD	LD	LD	LD	3.9	LD	LD	LD	LD	LD	2	3.8	3.8	0.2	LD	3.9
antraceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	4.2	LD	LD	LD	LD	LD	1	4.2	4.2	NA	LD	4.2
fluoranteno	LD	4.9	LD	LD	LD	LD	LD	LD	6.0	LD	LD	LD	LD	LD	2	5.5	5.5	0.8	LD	6.0
pireno	LD	4.7	LD	LD	LD	LD	LD	LD	5.7	LD	LD	LD	LD	LD	2	5.2	5.2	0.7	LD	5.7
benzo(a)antraceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
criseno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
COVs y COSVs Totales	2.9	17.0	41.9	5.7	2.1	3.4	1.3	7.1	22.1	1.8	1.7	0.7	9.8	4.1	NA	9.0	3.8	11.45	0.7	41.9

SIMBOLOGÍA
LD: Límite de detección.
NA: No aplica.
---: Sitio no muestreado.
□: Estándar interno.
●: Valores expresados en % de recuperación.

**Tabla IV.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Tijuana B.C. en invierno del 2010-11.

**CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES EN LA ATMÓSFERA DE CIUDADES FRONTERIZAS DE LA FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA**

COMPUESTOS	ESTACIONES (Concentraciones en µg/m <sup>3</sup> )															ESTADÍSTICAS					
	UABC Campus Tecate	Esc. Prim. Leona Vicario	Esc. Sec. Francisco I. Madero	Esc. Sec. Francisco I. Madero	CETS #25	COBACH	COBACH	CONALP	CONALP	Esc. Sec. Estatal #19	Parque El Profesor	Parque El Profesor	CECATI #191	CECATI #191	Esc. Prim. Benito Juárez García	FRECUENCIA	PROMEDIO	MEDIANA	SD	MÍNIMO	MÁXIMO
trans-1,3-dicloropropeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tolueno-d8 [●□]	87.5	94.2	83.8	63.5	83.7	73.3	70.8	79.1	75.5	--	65.0	73.9	108.9	74.3	102.8	14	<b>81.2</b>	77.3	13.4	63.5	108.9
tolueno	6.5	9.6	3.4	2.6	1.8	1.5	2.6	1.8	3.7	--	2.0	3.6	3.1	2.3	11.9	14	<b>4.0</b>	2.9	3.1	1.5	11.9
1,1,2-tricloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
dibromoclorometano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
clorobenceno-d5 [●□]	76.0	99.2	79.2	57.0	64.3	75.3	61.1	76.2	68.4	--	76.9	70.1	88.0	94.0	107.7	14	<b>78.1</b>	76.1	14.6	57.0	107.7
clorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,1,1,2-tetracloroetano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
etilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
m,p-xileno	LD	1.6	LD	LD	1.1	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	2	<b>1.4</b>	1.4	0.4	LD	1.6
o-xileno	LD	LD	LD	LD	1.1	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	1	<b>1.1</b>	1.1	NA	LD	1.1
cumeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
4-bromofluorobenceno [●□]	68.1	91.3	71.8	55.7	54.9	66.8	53.5	81.7	57.7	--	68.6	71.2	99.7	77.1	96.6	14	<b>72.5</b>	69.9	15.2	53.5	99.7
bromobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
2-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-propilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
4-clorotolueno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-trimetilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
tert-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,3,5-trimetilbenceno	LD	LD	LD	LD	1.2	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	1	<b>1.2</b>	1.2	NA	LD	1.2
1,3-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
sec-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,4-diclorobenceno-d4 [●□]	102.1	89.5	73.7	55.7	52.5	71.3	56.9	77.3	55.1	--	70.2	71.7	105.9	70.1	96.2	14	<b>74.9</b>	71.5	17.6	52.5	105.9
1,4-diclorobenceno	LD	2.2	LD	LD	1.5	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	2	<b>1.9</b>	1.9	0.5	LD	2.2
cimeno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2-diclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-butilbenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2-dibromo-3-cloro-propano	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
naftaleno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,3-triclorobenceno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
hexacloro-1,3-butadieno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenaftileno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	3.2	1	<b>3.2</b>	3.2	NA	LD	3.2
acenafteno	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	LD	0	NA	NA	NA	LD	LD
fluoreno	LD	2.5	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	LD	LD	3.2	2	<b>2.9</b>	2.9	0.5	LD	3.2
fenantreno	2.2	2.9	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	2.3	LD	3.7	4	<b>2.8</b>	2.6	0.7	LD	3.7
antraceno	2.3	3.1	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	2.4	LD	3.9	4	<b>2.9</b>	2.8	0.7	LD	3.9
fluoranteno	2.5	3.2	LD	2.7	LD	LD	LD	2.4	LD	--	LD	LD	2.6	LD	4.0	6	<b>2.9</b>	2.7	0.6	LD	4.0
pireno	2.4	3.1	LD	2.6	LD	LD	LD	2.3	LD	--	LD	LD	2.5	LD	3.8	6	<b>2.8</b>	2.6	0.6	LD	3.8
benzo(a)antraceno	5.7	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	6.6	LD	LD	2	<b>6.2</b>	6.2	0.6	LD	6.6
criseno	19.1	2.3	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--	LD	LD	5.8	LD	LD	3	<b>9.1</b>	5.8	8.9	LD	19.1
<b>COVs y COSVs Totales</b>	<b>40.7</b>	<b>30.5</b>	<b>3.4</b>	<b>7.9</b>	<b>6.7</b>	<b>1.5</b>	<b>2.6</b>	<b>6.5</b>	<b>3.7</b>	<b>NA</b>	<b>2.0</b>	<b>3.6</b>	<b>25.3</b>	<b>2.3</b>	<b>33.7</b>	<b>NA</b>	<b>10.5</b>	<b>5.1</b>	<b>13.85</b>	<b>1.5</b>	<b>40.7</b>

SIMBOLOGÍA
LD: Límite de detección.
NA: No aplica.
--: Sitio no muestreado.
□: Estándar interno.
●: Valores expresados en % de recuperación.

**Tabla V.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Tecate B.C. en verano del 2010.

**CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS VOLÁTILES Y SEMI-VOLÁTILES EN LA ATMÓSFERA DE CIUDADES FRONTERIZAS DE LA FRANJA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA**

COMPUESTOS	ESTACIONES (Concentraciones en µg/m <sup>3</sup> )														ESTADÍSTICAS						
	UABC Campus Tecate	Esc. Prim. Leona Vicario	Esc. Sec. Francisco I. Madero	Esc. Sec. Francisco I. Madero	CETS #25	COBACH	COBACH	CONALEP	CONALEP	Esc. Sec. Estival #19	Parque El Profesor	Parque El Profesor	CECATI #191	CECATI #191	Esc. Prim. Benito Juárez García	FRECUENCIA	PROMEDIO	MEDIANA	SD	MÍNIMO	MÁXIMO
trans-1,3-dicloropropeno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
tolueno-d8 [●□]	68.6	108.0	--	102.4	86.6	--	51.8	--	111.8	106.2	--	62.8	--	94.0	--	9	88.0	94.0	22.0	51.8	111.8
tolueno	LD	16.2	--	LD	4.4	--	35.5	--	6.2	2.8	--	3.4	--	1.9	--	7	10.1	4.4	12.2	LD	35.5
1,1,2-tricloroetano	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
tetracloroetano	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
dibromoclorometano	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
clorobenceno-d5 [●□]	73.4	102.2	--	89.0	102.0	--	65.8	--	108.0	100.0	--	61.0	--	105.0	--	9	89.6	100.0	18.2	61.0	108.0
clorobenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,1,1,2-tetracloroetano	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
etilbenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	2.4	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	1	2.4	2.4	NA	LD	2.4
m,p-xileno	1.2	0.8	--	0.4	2.1	--	23.2	--	0.5	0.2	--	0.4	--	0.4	--	9	3.2	0.5	7.5	0.2	23.2
o-xileno	0.2	LD	--	LD	2.1	--	12.8	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	3	5.0	2.1	6.8	LD	12.8
cumeno	LD	LD	--	LD	0.3	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	1	0.3	0.3	NA	LD	0.3
4-bromofluorobenceno [●□]	73.8	92.6	--	74.0	95.8	--	66.4	--	95.6	82.6	--	68.6	--	103.0	--	9	83.6	82.6	13.5	66.4	103.0
bromobenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
2-clorotolueno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
n-propilbenceno	0.1	LD	--	LD	1.1	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	2	0.6	0.6	0.7	LD	1.1
4-clorotolueno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-trimetilbenceno	0.8	LD	--	0.1	4.7	--	2.1	--	0.8	LD	--	LD	--	LD	--	5	1.7	0.8	1.8	LD	4.7
tert-butilbenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,3,5-trimetilbenceno	3.1	0.6	--	1.2	12.9	--	12.4	--	2.6	0.2	--	LD	--	0.6	--	8	4.2	1.9	5.3	LD	12.9
1,3-diclorobenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
sec-butilbenceno	0.2	LD	--	0.1	1.9	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	3	0.7	0.2	1.0	LD	1.9
1,4-diclorobenceno-d4 [●□]	70.6	91.0	--	69.2	103.6	--	71.8	--	103.4	80.8	--	68.6	--	110.0	--	9	85.4	80.8	16.8	68.6	110.0
1,4-diclorobenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
cimeno	0.2	LD	--	LD	1.6	--	0.9	--	0.2	LD	--	LD	--	LD	--	4	0.7	0.6	0.7	LD	1.6
1,2-diclorobenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
1,2,4-triclorobenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
naftaleno	1.3	LD	--	LD	0.8	--	4.7	--	0.7	LD	--	LD	--	LD	--	4	1.9	1.1	1.9	LD	4.7
1,2,3-triclorobenceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
hexacloro-1,3-butadieno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenaftileno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
acenafteno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
fluoreno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
fenantreno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
antraceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
fluoranteno	LD	LD	--	4.4	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	1	4.4	4.4	NA	LD	4.4
pireno	LD	LD	--	4.3	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	1	4.3	4.3	NA	LD	4.3
benzo(a)antraceno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
criseno	LD	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	LD	--	LD	--	LD	--	0	NA	NA	NA	LD	LD
COVs y COSVs Totales	7.6	17.6	NA	10.6	34.5	NA	94.2	NA	11.4	3.2	NA	3.8	NA	2.9	NA	20.6	10.6	29.31	2.9	94.2	

SIMBOLOGÍA
LD: Límite de detección.
NA: No aplica.
--: Sitio no muestreado.
□: Estándar interno.
●: Valores expresados en % de recuperación.

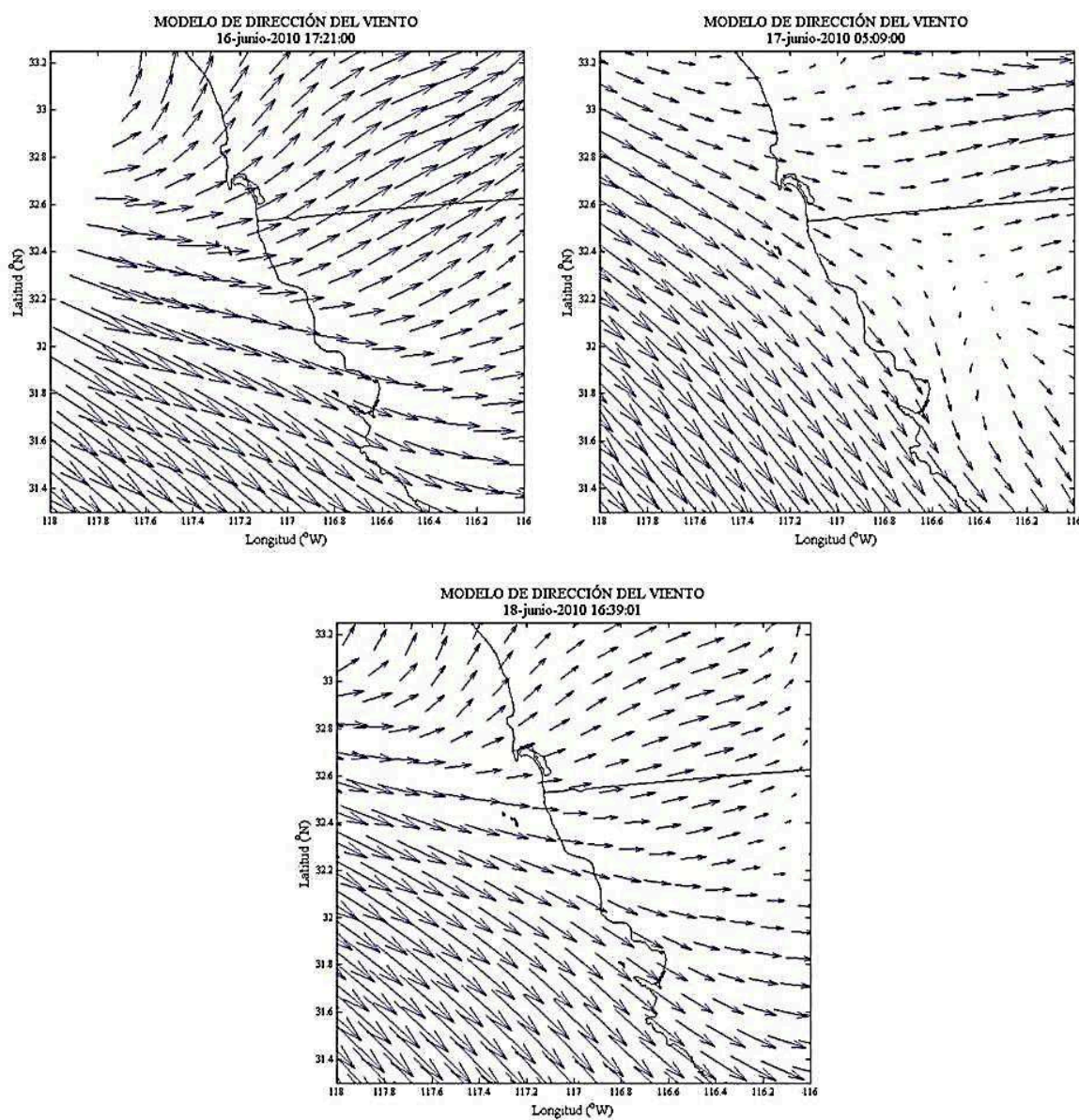
**Tabla VI.** Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles en la ciudad de Tecate B.C. en invierno del 2010-11.

## ANEXO IV

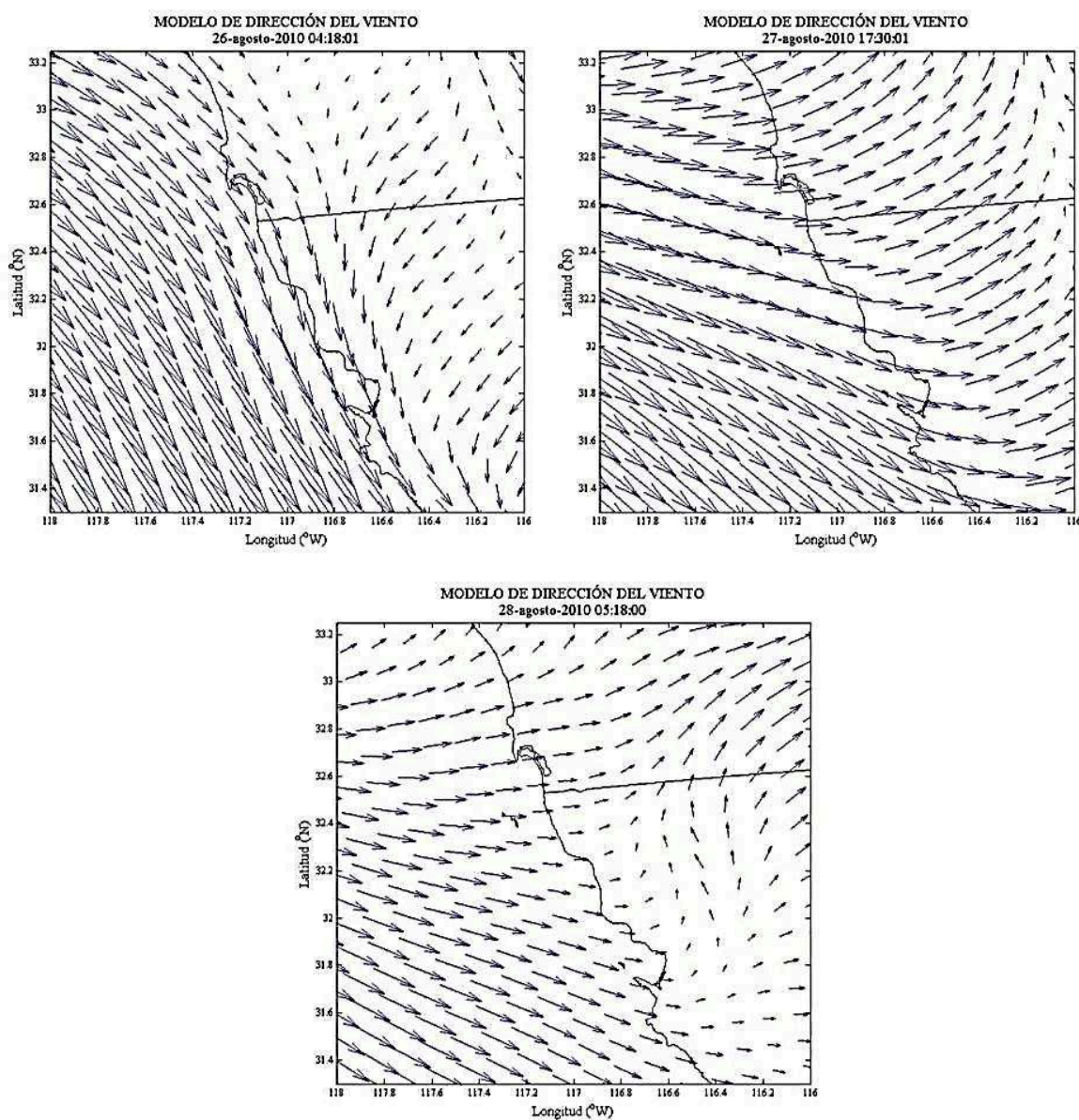
---

### PATRONES DE VIENTO DE LA REGIÓN DURANTE LOS MUESTREOS REALIZADOS DURANTE EL ESTUDIO DE COVs Y COSVs

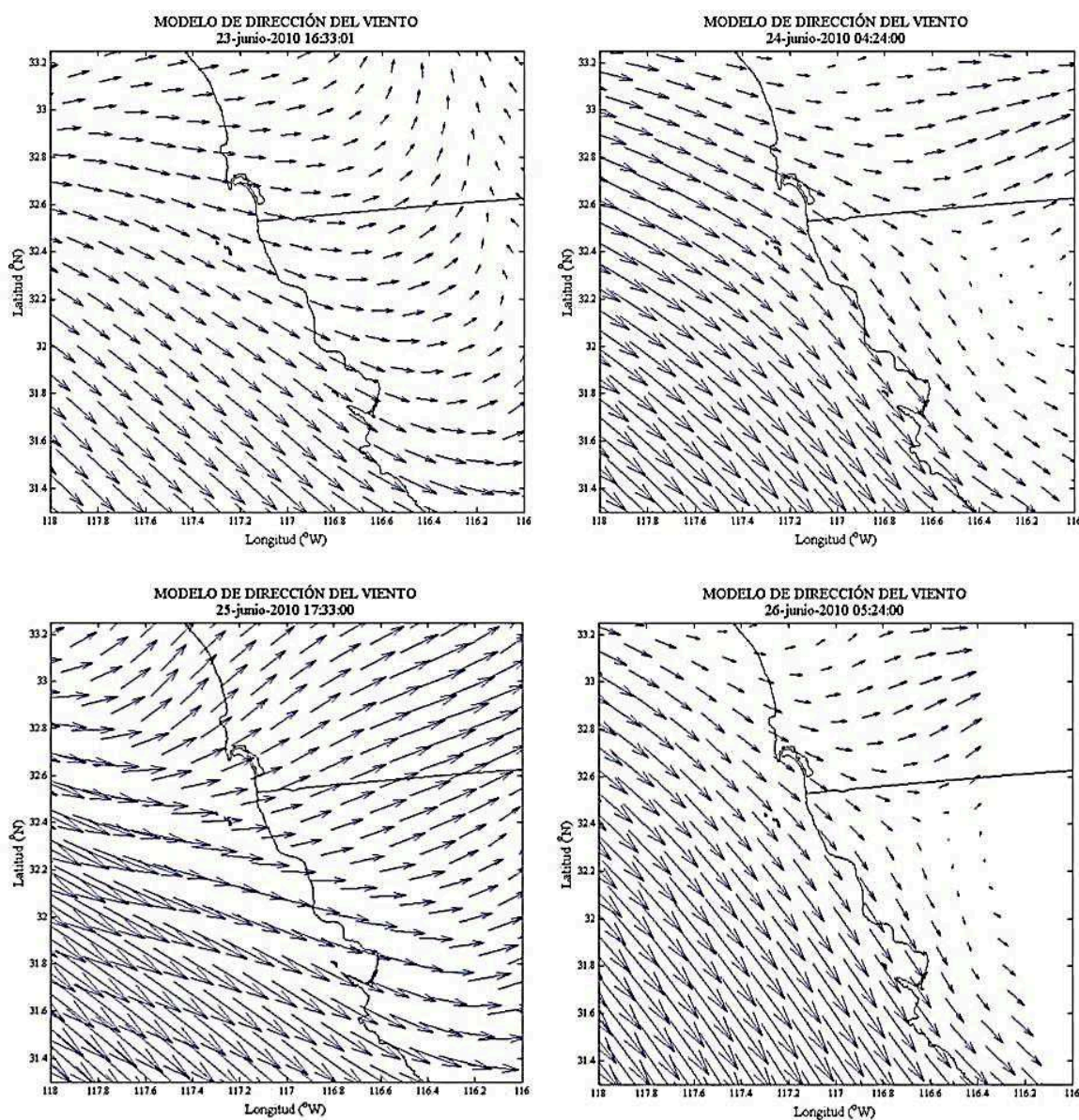
- Figura 1.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 16, 17 y 18 de junio del 2010.
- Figura 2.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 26, 27 y 28 de agosto del 2010.
- Figura 3.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 23, 24, 25 y 26 de junio del 2010.
- Figura 4.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 7, 12 y 31 de marzo del 2011.
- Figura 5.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 07 y 12 de abril del 2011.



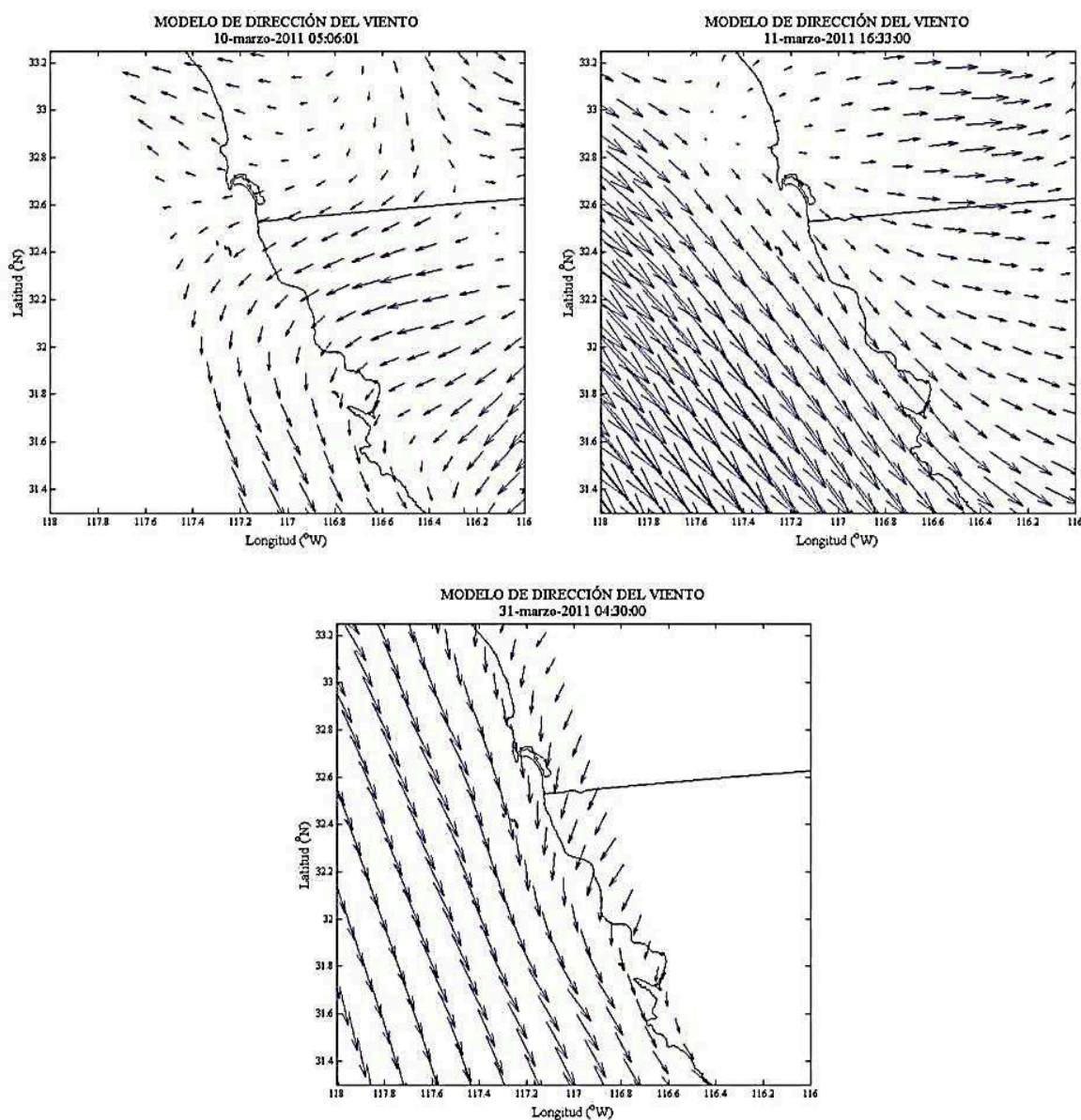
**Figura 1.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 16, 17 y 18 de junio del 2010. Información obtenida de la base de datos MetOp-A ASCAT Level 2 12.5km Ocean Surface Wind Vectors. (<http://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/ASCAT-L2-12.5km>).



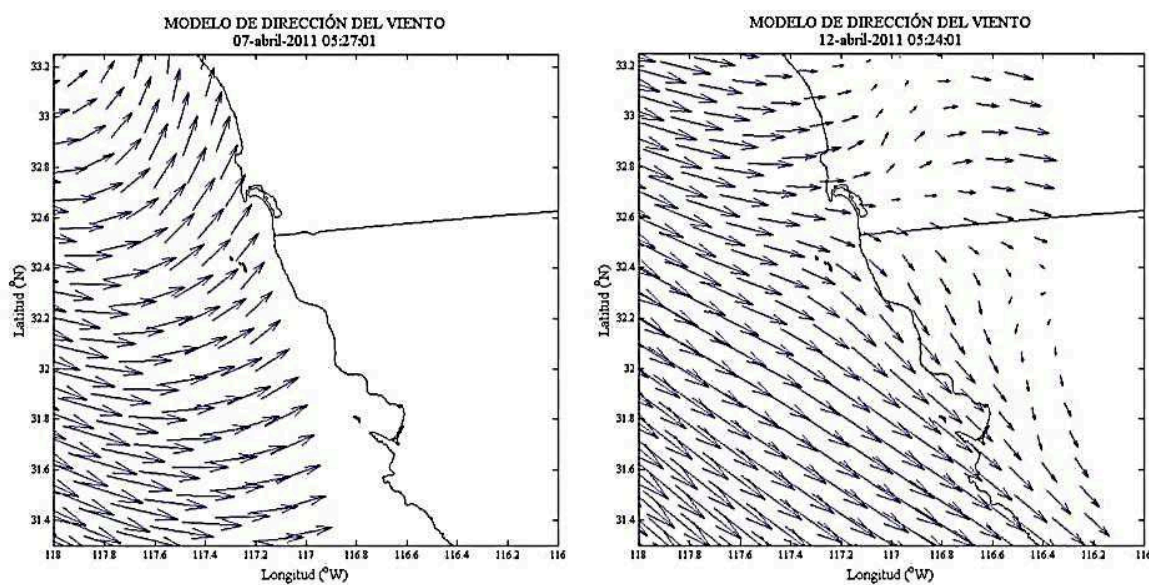
**Figura 2.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 26, 27 y 28 de agosto del 2010. Información obtenida de la base de datos MetOp-A ASCAT Level 2 12.5km Ocean Surface Wind Vectors. (<http://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/ASCAT-L2-12.5km>).



**Figura 3.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 23, 24, 25 y 26 de junio del 2010. Información obtenida de la base de datos MetOp-A ASCAT Level 2 12.5km Ocean Surface Wind Vectors. (<http://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/ASCAT-L2-12.5km>).



**Figura 4.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 7, 12 y 31 de marzo del 2011. Información obtenida de la base de datos MetOp-A ASCAT Level 2 12.5km Ocean Surface Wind Vectors. (<http://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/ASCAT-L2-12.5km>).



**Figura 5.** Modelo de dirección de viento regional correspondiente a los días 07 y 12 de abril del 2011. Información obtenida de la base de datos MetOp-A ASCAT Level 2 12.5km Ocean Surface Wind Vectors. (<http://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/ASCAT-L2-12.5km>)