



Instituto Nacional de Ecología

Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental

Informe del estudio de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, B.C.S.

Elaborado por:

**Oscar A. Fentanes Arriaga
José Miguel Noyola Poblete**

Octubre de 2010

Í N D I C E

TEMA	Página
1. Resumen ejecutivo.....	1
2. Introducción.....	2
3. Antecedentes.....	3
4. Objetivo.....	4
5. Metodología.....	4
5.1. Selección de sitio de muestreo.....	4
5.2. Medición.....	5
5.3. Recopilación de datos.....	6
5.4. Análisis de datos.....	7
6. Resultados.....	8
7. Conclusiones.....	24
8. Bibliografía	25

1. RESUMEN EJECUTIVO

Con la finalidad de evaluar el impacto de las termoeléctricas Punta Prieta II, CCI BCS I y II en la zona urbana de la ciudad de La Paz B.C.S., se realizó un estudio de calidad del aire, el cual incluyó mediciones en tres diferentes sitios: Campo Militar, CONAGUA y Costa Baja. En los dos primeros sitios, que fueron seleccionados en una visita previa, se realizaron las mediciones con la Unidad Móvil de Monitoreo de Calidad del Aire de la Dirección General del Centro de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA). Por otro lado, las mediciones en el sitio Costa Baja se realizaron con la estación fija de monitoreo que está instalada dentro del complejo turístico Marina Costa Baja.

Con las mediciones obtenidas en estos sitios, se realizó un análisis estadístico para determinar las concentraciones de los contaminantes presentes en la zona y compararlas con los valores establecidos por las normas de calidad del aire, así como para identificar las fuentes que generar tales contaminantes.

En base a los resultados del análisis de los datos, se pudo determinar que las concentraciones de los contaminantes criterio están por debajo de los límites establecidos en las normas. Asimismo, se encontró que la zona urbana de La Paz está siendo impactada por las emisiones de SO₂ generadas por las termoeléctricas, siendo la zona de Costa Baja la más afectada, ya que se registran concentraciones de hasta 250ppb, mientras que en los sitios de Campo Militar y CONAGUA son de hasta 45ppb y 67ppb respectivamente.

2. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales que repercuten en la salud pública y en los ecosistemas, tanto en México como en otras partes del mundo. Históricamente, la mala calidad del aire en las ciudades ha sido una situación muy difícil de controlar debido a la gran cantidad y variedad de fuentes emisoras que existen, así como el transporte y la transformación de los contaminantes en la atmósfera. Actualmente se considera un fenómeno muy común de las grandes ciudades y recientemente también de ciudades medianas y en crecimiento.

Para medir la contaminación del aire es indispensable contar con sistemas de medición y programas adecuados de monitoreo atmosférico bajo esquemas uniformes de operación que cuenten con un sistema de aseguramiento y control de calidad.

La finalidad de realizar estudios de monitoreo de la calidad del aire es el de obtener información sobre las concentraciones de los contaminantes criterio en un tiempo y zona determinados, así como el de comprobar cuáles son las principales fuentes que la generan. Por lo que en ocasiones, es necesario contar con información sobre la densidad de población, parque vehicular y el tipo de actividades industriales que se desempeñan en la zona de estudio. Los resultados de dichos estudios permiten comparar las concentraciones obtenidas con las Normas Oficiales Mexicanas en materia de calidad del aire. Además, representan información útil para la toma de decisiones y para generar políticas en materia de calidad del aire.

Respecto a lo anterior, el segundo conteo de población y vivienda del INEGI, en 2005 la población total del municipio de La Paz era de 219,506 habitantes, de los cuales 109,827 son hombres y 109,769 son mujeres. La población total del municipio representa el 42.87 por ciento, con relación a la población total del estado [1].

El parque vehicular del municipio de La Paz cuenta con aproximadamente 60,000 unidades [2]

Entre las actividades industriales de La Paz, destaca la existencia de tres termoeléctricas (una aproximadamente a 8Km al norte de la zona urbana de La Paz y dos al Noroeste a aproximadamente 10Km detrás de la franja montañosa), las cuales originan emisiones de gases debido a los procesos de combustión para la generación de energía eléctrica que se provee a la ciudad.

Otras de las actividades industriales son: la minería, la cual tiene actualmente un bajo porcentaje de producción; la agroindustria, conformada por dos enlatadoras de chile (Todos Santos y La Paz), una pasteurizadora de leche de vaca; la manufactura a través de las maquiladoras y cuenta además con un parque

industrial pesquero, el cual ofrece todos los servicios para la instalación de industrias pesqueras, así como aquellos conexos a dicha actividad [3].

3. ANTECEDENTES

En agosto de 1979 entró en operación la termoeléctrica Punta Prieta II con la finalidad de abastecer las necesidades de energía eléctrica en la zona metropolitana del municipio de La Paz, B.C.S. Debido al desarrollo del municipio, se pusieron en marcha dos centrales de combustión interna adicionales (la 48 CCI BCS I en 2005 y la 107 CCI BCS II, en 2008). Adicionalmente, se tiene contemplada la instalación de dos centrales adicionales, mismas que entrarían en funcionamiento en 2010 la primera de ellas (236 CCI BCS III) y en 2013 la segunda (235 CCI BCS IV).

La operación de estas centrales genera a la atmósfera emisiones de SO_2 , NO_x y partículas suspendidas como producto de la combustión de diesel y combustóleo. Por esta razón, en el marco de la Declaratoria de las Islas y Áreas Protegidas del Golfo de California como Patrimonio Mundial, se firmó en 2005 un convenio de colaboración entre la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con la finalidad de reducir la emisiones a la atmósfera de la central termoeléctrica Punta Prieta II [4].

La instalación de las termoeléctricas requiere de estudios de impacto ambiental, para lo cual, la CFE realizó estudios de calidad del aire previo a la instalación de estas centrales, encontrando que los niveles de calidad del aire respecto al SO_2 , NO_x y PM_{10} se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas correspondientes [5].

Por otro lado, se instaló una estación de monitoreo de calidad del aire dentro del complejo turístico Marina Costa Baja para medir la calidad del aire y evaluar el impacto de la termoeléctrica Punta Prieta II en esa zona.

Por lo anterior, las autoridades federales, estatales, municipales y organizaciones no gubernamentales han mostrado interés en realizar mediciones de la calidad del aire en la zona urbana de la paz. Por esta razón, los días 22 y 23 de junio de 2010, se llevó a cabo una reunión entre autoridades locales y personal de la DGCENICA, con el fin de realizar un estudio de calidad del aire a fin para evaluar el impacto de las emisiones de las centrales termoeléctricas e identificar un sitio para la instalación de una estación fija de monitoreo.

4. OBJETIVO

- Medir el impacto de las emisiones de la termoeléctrica Punta Prieta II de CFE y las Centrales de Combustión Interna CCI BCS I y II del municipio de la Paz B.C.S.
- Identificar un sitio dentro de la zona urbana de La Paz B.C.S. para la instalación de una estación de monitoreo de la calidad del aire.

5. METODOLOGÍA

5.1. Selección de sitios

La selección de sitios se realiza en base al objetivo de medición, considerando los siguientes criterios, ya sean por separado o por la combinación de ellos: Evaluar la exposición de la población a los contaminantes, medir el impacto de fuentes de emisión de contaminantes conocidas sobre la salud pública o medir la calidad del aire en una determinada área de representatividad [6].

El proceso de selección de sitios involucra además la consideración de ciertos factores como son; seguridad, logística, espacio abierto, permisos y topografía del lugar, entre otros.

En base a lo anterior, se realizó un recorrido de campo, aprovechando las reuniones llevadas a cabo en el mes junio, en el cual se visitaron los siguientes sitios:

- a) ANTENAS TV
- b) CNA
- c) TEATRO DE LA CIUDAD
- d) CAMPO MILITAR

De los sitios anteriores y considerando los objetivos del estudio, se determinó el sitio Campo Militar como el más apropiado para realizar el estudio de calidad del aire. Los aspectos geográficos del sitio, principalmente su altura, permitirían medir las emisiones directas de las termoeléctricas sin tener influencias adicionales generadas dentro de la zona urbana.

A pesar de la buena ubicación del sitio Campo Militar, se presentaron fallas recurrentes en el suministro de energía eléctrica en el Campo Militar, las cuales afectaron la operación de los instrumentos de medición y causaron pérdidas de datos como se describe más adelante. Por tal motivo, fue necesario trasladar la unidad móvil a un segundo sitio de medición, el cual fue identificado en un recorrido de campo adicional el día 29 de julio.

El sitio que se identificó para realizar las mediciones complementarias fue dentro de las instalaciones de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Este sitio, además de contar con seguridad, acceso las 24 horas del día y estar libre de obstáculos para la toma de muestra del sistema de medición, contaba con personal de apoyo para llevar a cabo la supervisión de la operación de la Unidad Móvil y descarga de datos.

En la figura 1 se muestra una imagen satelital de la ciudad de La Paz, B.C.S, en la cual se identifican la estación de monitoreo de calidad del aire (Costa Baja), los dos sitios en los que se realizaron mediciones con la unidad móvil de monitoreo de la DGCENIA: el Campo Militar (CM) y CONAGUA y además, se muestra la ubicación de las termoeléctricas que operan actualmente en el puerto.



FIGURA 1. Identificación de Sitios de medición en el puerto de la Paz y termoeléctricas.

5.2. Medición

La unidad de monitoreo cuenta con analizadores automáticos para la medición continua de dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O_3) y partículas suspendidas PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$. Cuenta además con sensores meteorológicos instalados sobre un mástil retráctil ubicado en el exterior del vehículo, para la medición de la dirección y velocidad de viento, temperatura, humedad relativa y radiación solar.

Antes de iniciar con las mediciones en el sitio Campo Militar, se instalaron y configuraron de los instrumentos de medición, para posteriormente realizar una calibración de los analizadores de contaminantes criterio, la cual consiste en introducir a los analizadores una concentración de gas conocida, lo que permite registrar la respuesta de éstos para verificar así su buen desempeño y garantizar la generación de mediciones confiables.

Las mediciones realizadas por cada instrumento son enviadas a un sistema de adquisición de datos, el cual las almacena en su memoria interna con una resolución minutal.

Las mediciones de gases criterio en Campo Militar, iniciaron el día 8 de julio y finalizaron el 31 del mismo mes. Cabe señalar que debido a los problemas con la alimentación eléctrica en Campo Militar y para evitar daños mayores en los equipos de medición, se decidió trasladar la unidad móvil al sitio de CONAGUA el día 31 de julio. Las mediciones en CONAGUA iniciaron el día 2 de agosto y finalizaron el 19 del mismo mes.

5.3. Recopilación de datos

El almacenamiento de datos de los equipos de medición se realiza automáticamente en el disco duro del sistema de adquisición de datos marca Docknorte con una resolución minutal. Esta información debe ser descargada y respaldada para evitar pérdida de datos.

Para realizar el descarga de datos, se capacitó al personal de la SEMARNAT y del gobierno del estado sobre el uso del sistema de adquisición de datos y su software, con el propósito de respaldar la información generada en Campo Militar cada tercer día, la cual debería, a su vez, ser enviada al personal del INE para su revisión. De igual manera, se capacitó a personal de CONAGUA para realizar el mismo procedimiento en el sitio del mismo nombre. Este procedimiento asegura el respaldo de información en caso de fallas en la energía eléctrica del sistema de medición y/o sistema de adquisición de datos.

Es importante señalar que en el sitio del Campo Militar, no se siguió el programa de supervisión de operación de la unidad móvil y respaldo de información, razón por la que no fue posible detectar oportunamente la pérdida de datos mencionada anteriormente. Por el contrario, el personal capacitado en el sitio de CONAGUA, siguió la rutina sugerida, detectando así, algunas fallas en los equipos de medición de manera oportuna, los cuales se solucionaron vía remota en algunos de los casos.

5.4. Análisis de datos

Posterior a la descarga y respaldo de datos, se conformó una base de datos con cada uno de los parámetros medidos, se realizó una limpieza de los datos para etiquetar con banderas los datos irregulares, como valores negativos, datos producidos durante la calibración, datos afectados por estabilización del equipo y ausencia de datos por fallas en el suministro eléctrico, entre otros; los cuales no son considerados para el desarrollo del análisis.

Una vez conformada la base de datos de los sitios de monitoreo, se realizaron series de tiempo usando los datos en promedios horarios para comparar las mediciones obtenidas entre los diferentes sitios y con los valores de las normas de calidad del aire.

Debido a una falla en el sistema de adquisición de datos propiciada por los problemas con la alimentación de energía eléctrica, la información de los parámetros meteorológicos, se registró una suficiencia de datos de aproximadamente 10% en las mediciones en Campo Militar. Asimismo, es preciso comentar que en este sitio no se contó con registros de los parámetros de PM₁₀ y PM_{2.5}, razón por lo que no se incluyen los resultados de los mismos en el presente informe.

Por otro lado, en el sitio CONAGUA, aunque se tuvo pérdida de información meteorológica, esta institución cuenta con una estación de meteorología que forma parte del Sistema Meteorológico Nacional, quienes accedieron a compartir dicha información.

6. RESULTADOS

En esta sección se presenta el análisis de los datos obtenidos con la unidad móvil y la estación Costa Baja en el puerto de La Paz. En la tabla 1 se muestra un resumen estadístico, correspondientes a los valores mínimo, máximo, promedio, desviación estándar y los percentiles 25, 75 y 98.

Tabla 1. Resumen estadístico de los promedios horarios de las concentraciones de los contaminantes medidos.

Parámetro	Sitio	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar	Percentil 25	Percentil 75	Percentil 98
NO (ppb)	Costa-Baja	0.0	24.9	0.8	2.0	0.0	0.7	6.2
	Campo Militar	0.0	66.4	1.1	4.1	0.0	0.6	28.6
	Conagua	0.0	47.8	7.5	7.5	2.0	10.0	28.3
NO ₂ (ppb)	Costa-Baja	0.6	26.0	3.7	2.9	1.9	4.8	12.6
	Campo Militar	0.0	28.4	2.2	3.2	0.0	3.0	27.0
	Conagua	0.0	34.6	11.0	8.2	4.2	17.9	26.7
NO _x (ppb)	Costa-Baja	0.0	43.5	4.4	4.6	1.8	5.5	18.1
	Campo Militar	0.0	79.3	3.2	6.3	0.1	4.0	43.7
	Conagua	0.2	75.0	16.7	10.9	9.5	22.7	43.4
SO ₂ (ppb)	Costa-Baja	0.0	248.9	3.0	16.0	0.0	0.8	32.4
	Campo Militar	0.0	45.3	1.3	4.5	0.0	0.4	11.7
	Conagua	0.0	66.7	1.8	4.9	0.4	1.5	11.4
CO (ppm)	Campo Militar	0.0	2.3	1.0	0.3	0.8	1.1	1.8
	Conagua	0.1	2.5	1.1	0.3	0.8	1.3	1.8
O ₃ (ppb)	Campo Militar	2.0	42.1	21.4	7.4	17.1	25.9	36.6
	Conagua	0.8	40.9	19.9	7.4	14.5	24.5	36.5
PM10 (µg/m ₃)	Costa-Baja	0.0	325.2	42.4	38.0	21.7	48.0	160.5
	Conagua	10.2	151.1	45.2	23.2	27.7	57.4	110.2
PM2.5	Conagua	0.8	33.3	13.7	6.8	8.6	17.6	30.7

En la tabla anterior se destaca la existencia de altas concentraciones de PM₁₀ y SO₂ en la estación de Costa Baja.

En la figura 2, se muestra la rosa de vientos correspondiente al sitio Campo Militar obtenida con los datos registrados los días 5 y 6 de julio. Se observa claramente que los vientos predominantes provienen del océano pacífico de la dirección Sur-Suroeste con una frecuencia de 32% y Suroeste con 23%. En estas componentes se alcanzan velocidades por arriba de los 11 m/s. También existe un tercer componente con una frecuencia de 16% que proviene del Sur.

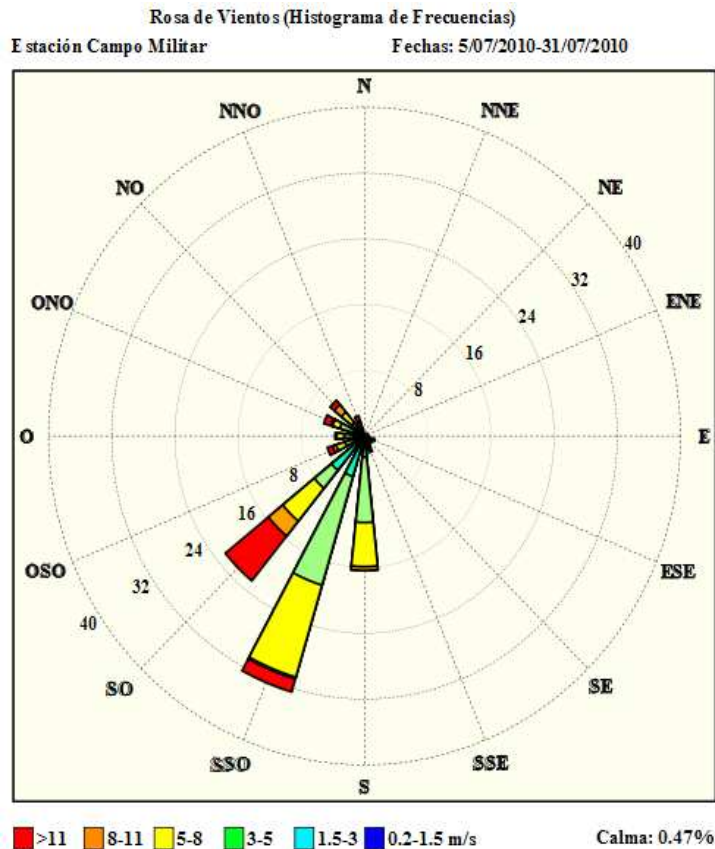


FIGURA 2. Rosa de vientos del sitio Campo Militar

En la figura 3, se muestra la rosa de vientos correspondiente al sitio CONAGUA, la cual se elaboró con los datos facilitados por el Sistema Meteorológico Nacional de CONAGUA. Ésta gráfica presenta el mismo patrón de vientos que el sitio Campo Militar. La frecuencia de los vientos predominantes provenientes de la dirección Sur-Suroeste es de 37% (5% más que en la estación Campo Militar; para los vientos de la dirección Suroeste se registra una frecuencia del 17% (6% menos con respecto al sitio Campo Militar) y un 20% para los vientos provenientes del sur.

En este sitio, las velocidades provenientes de la dirección Sur-Suroeste alcanzan velocidades máximas de hasta 8m/s, mientras que en el Campo Militar, son mayores a 11m/s. Esto se debe a la ubicación de la unidad móvil en este último sitio, que se instaló sobre un cerro a una altura mayor con respecto al sitio CONAGUA. Generalmente las velocidades del viento son mayores conforme se incrementa la altura.

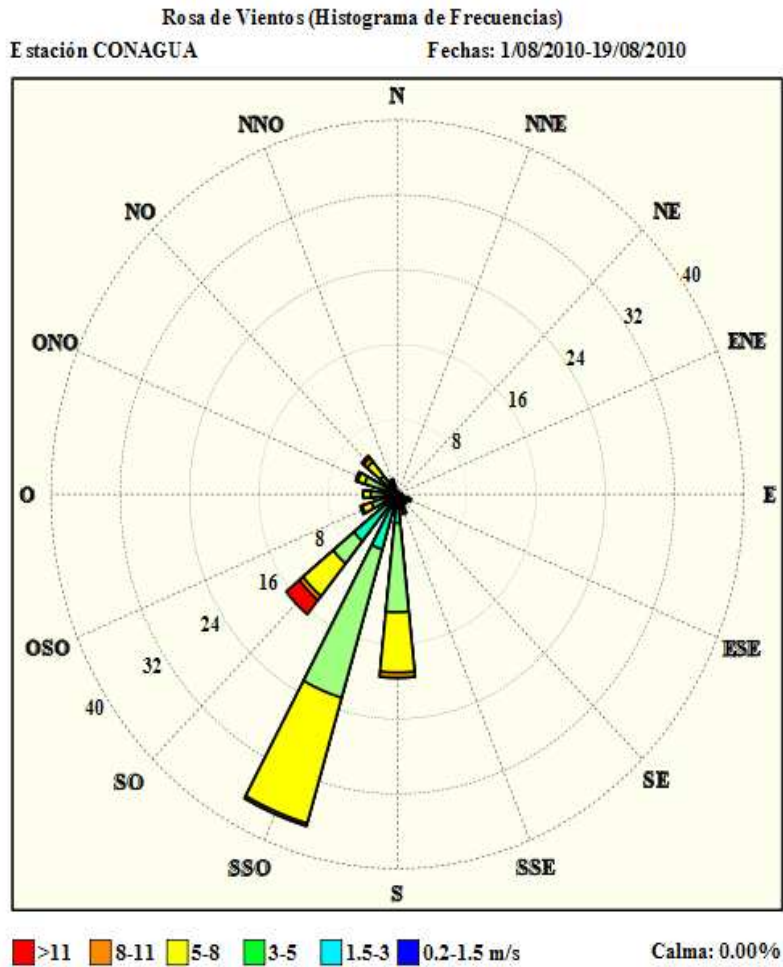


FIGURA 3. Rosa de vientos del sitio CONAGUA

En la figura 4, se muestra la rosa de vientos correspondiente al sitio Costa Baja, en la cual se puede observar que el patrón de vientos predominantes proviene de la dirección Sur y Sur-Suroeste, con una frecuencia aproximada de un 42% y 25% respectivamente. En este sitio, las velocidades son generalmente menores que en el sitio Campo Militar, de hasta 8m/s. Se registró un escaso porcentaje de vientos provenientes de la dirección Sur (aproximadamente 1%) que alcanzaron velocidades de hasta 11m/s.

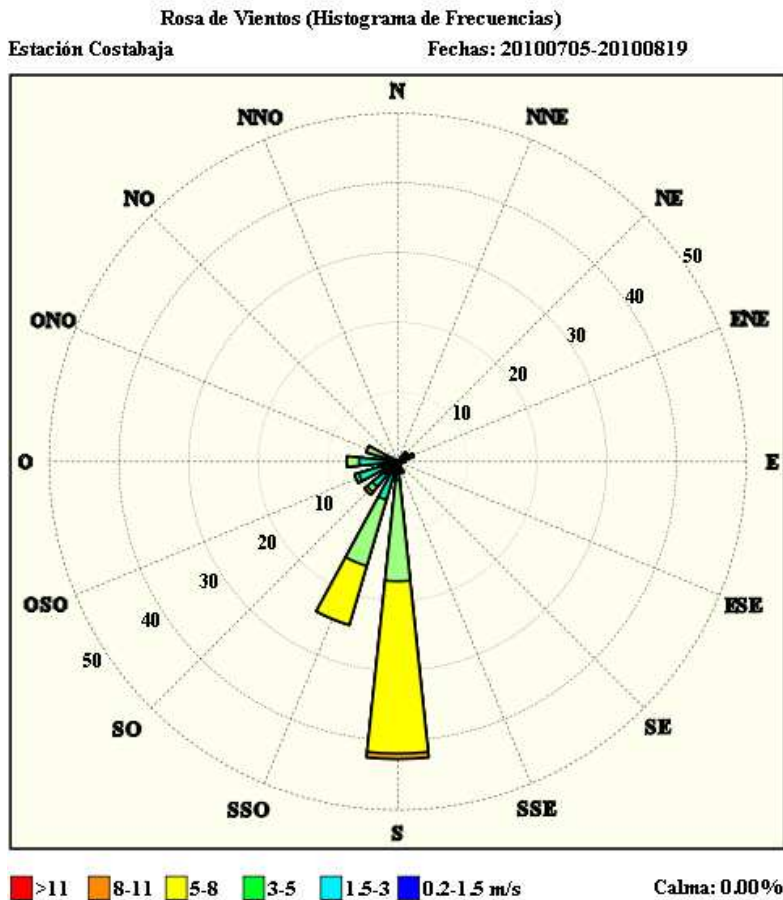


FIGURA 4. Rosa de vientos del sitio Costa Baja

En la figura 5, se muestra una comparación de las concentraciones en promedios horarios de ozono y de óxido nítrico entre los sitios Campo Militar y CONAGUA. En ambos sitios se presenta la misma tendencia para las concentraciones de ozono y los valores son muy similares (en promedio: 21.4ppb en el sitio Campo Militar y 19.9ppb en el sitio CONAGUA), alcanzando sus valores máximos entre las 10h00 y 17h00. Por otro lado, los valores de NO son mayores en la estación CONAGUA en comparación con los del sitio Campo Militar, debido a que en el sitio CONAGUA existe mayor flujo vehicular. En la gráfica también se observa el comportamiento característico de estos contaminantes, en el cual, las concentraciones de O₃ aumentan, en tanto que las de NO disminuyen. Lo anterior se debe a las reacciones fotoquímicas en la atmósfera que tiende a agotar el óxido nítrico para transformarlo en dióxido de nitrógeno y después en ozono. También se observa que la línea base de ozono se encuentra entre 10ppb y 13ppb y durante la noche se mantiene entre los 16ppb y 20ppb.

La norma de calidad del aire para ozono establece un valor de 110ppb en promedio horario. Durante el estudio se alcanzó un valor máximo horario de 42ppb

en la estación de Campo Militar, mientras que en la estación de CONAGUA fue de 41ppb.

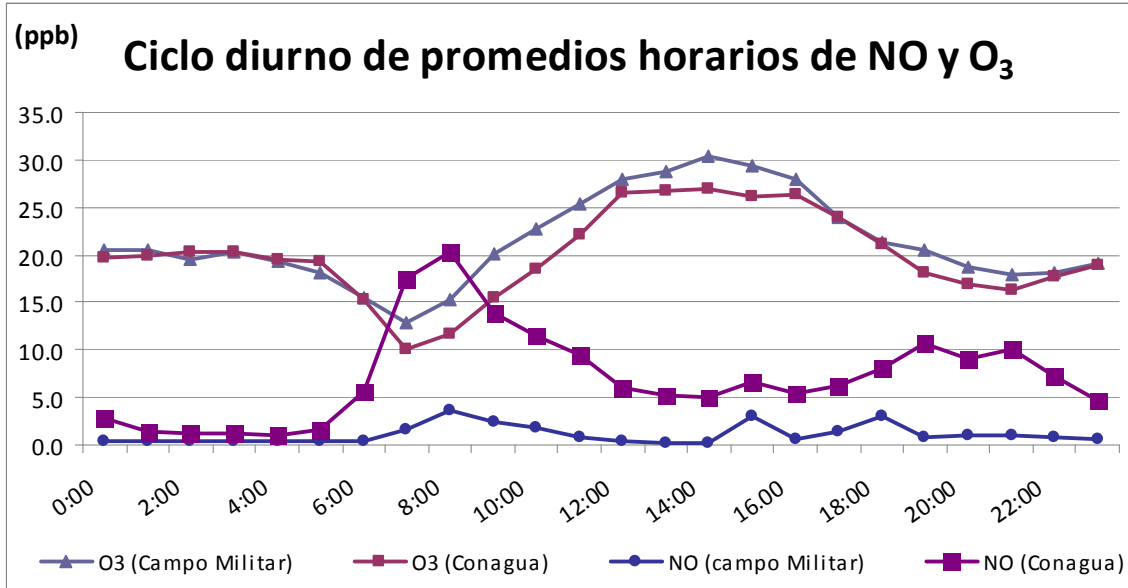


FIGURA 5. Ciclo diario de promedios horarios de O₃ y NO.

Los óxidos de nitrógeno, principalmente el óxido nítrico, deben su comportamiento a las emisiones generadas por el flujo vehicular de la zona. En la figura 6, se presentan las concentraciones de este contaminante asociado a cada uno de los tres sitios de monitoreo, apreciándose un incremento de los niveles de NO a partir de las 5h00, hasta alcanzar niveles máximos entre las 7h00 y las 9h00. En las siguientes horas disminuyen las concentraciones debido a reacciones fotoquímicas en la atmósfera y se mantienen bajas hasta las 16h00 cuando las concentraciones se incrementan nuevamente. El aumento de las concentraciones de NO registradas después de las 16h00, se deben a la actividad vehicular de la zona.

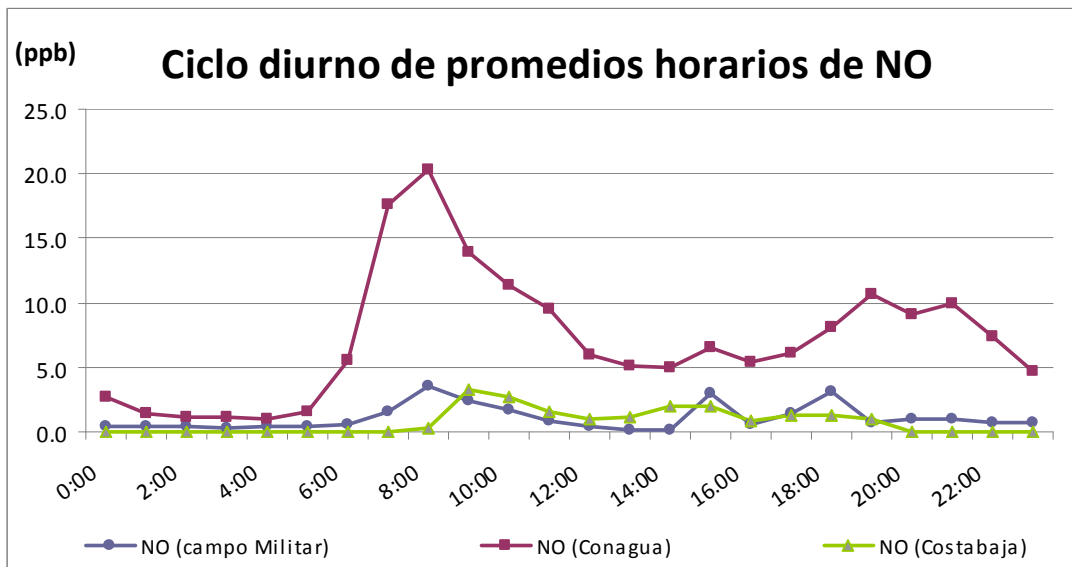


FIGURA 6. Ciclo diario de promedios horarios de NO.

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, las concentraciones de NO en el sitio CONAGUA son más altas en comparación con los otros dos sitios. Esto se debe a que este sitio se encuentra dentro de la zona urbana, en la cual existe mayor flujo vehicular. Se destaca que aunque el sitio del Campo Militar se encuentra también dentro de la zona urbana, su ubicación está sobre un cerro, lo que influye en que las mediciones sean más bajas debido a la dispersión del contaminante. Por otro lado, el sitio Costa Baja, se encuentra a las afueras de la zona urbana, por lo que las emisiones vehiculares son escasas en la zona.

En la figura 7, se muestra el ciclo diario de las concentraciones de NO₂ en promedios horarios. Se observa que en los tres sitios de monitoreo, se presenta una tendencia similar de este contaminante. Hay que notar que las concentraciones obtenidas en CONAGUA son casi el doble a las obtenidas en los otros dos sitios como se observó también para el NO. Lo anterior debido a la influencia de las emisiones vehiculares que existen dentro de la zona urbana. Asimismo, se observa que existe un retraso respecto al registro de las concentraciones máximas de NO₂ y NO de los sitios CONAGUA y Campo Militar respecto a Costa Baja, lo que se debe al transporte de este contaminante de acuerdo al patrón de vientos (vientos provenientes del cuadrante III hacia el cuadrante I).

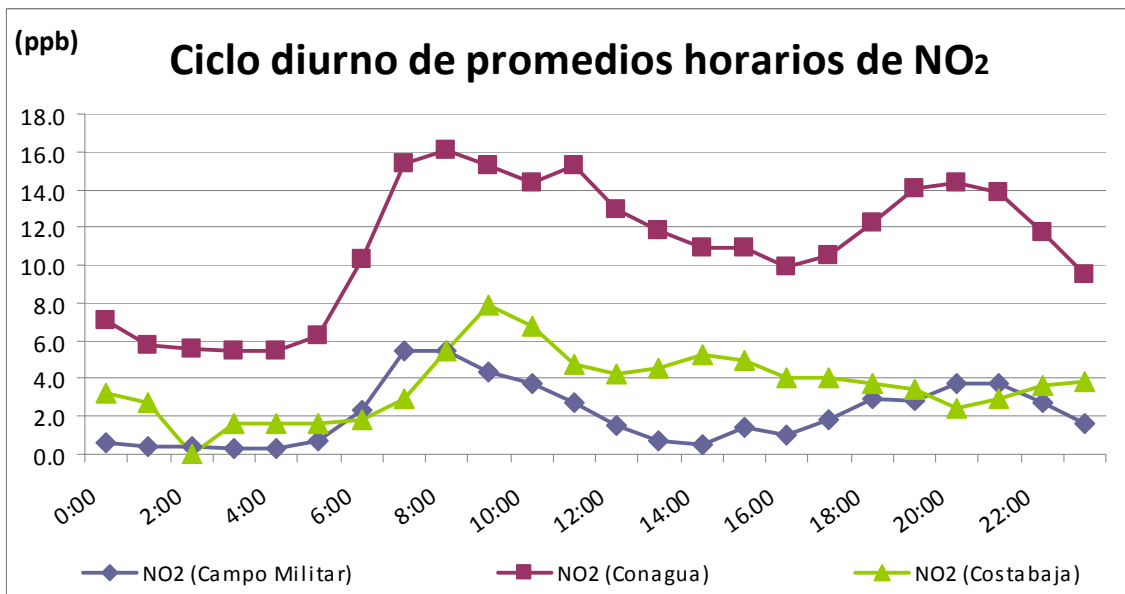


FIGURA 7. Ciclo diario de promedios horarios de NO₂.

La norma de calidad del aire para bióxido de nitrógeno establece un valor de 210ppb como límite máximo en una hora, una vez al año. La concentración máxima horaria de bióxido de nitrógeno fue de 34.6ppb en el sitio CONAGUA. Los valores máximos horarios de NO₂ pueden observarse en la figura 8.

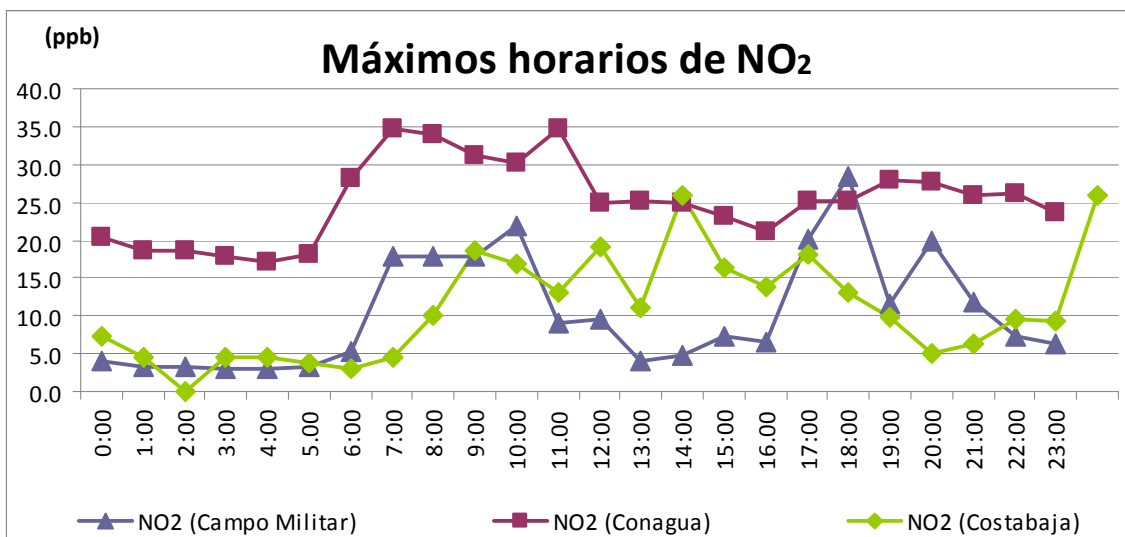


FIGURA 8. Valores máximos horarios de NO₂.

La figura 9 muestra el diagrama de cajas de las concentraciones de óxido nítrico obtenidas durante el periodo de estudio en los tres sitios. Los límites inferior y superior de la caja representan los percentiles 25 y 75 respectivamente. Los bigotes que se observan en la parte superior de la caja representan el percentil 98. Se observa que las concentraciones son en general, bajas con la presencia de picos de concentraciones relativamente altas. Esto da como resultado que la

media (Campo Militar = 1.08, CONAGUA = 7.5 y Costa Baja = 0.08 ppb) se encuentre ligeramente por encima del percentil 75 (Campo Militar = 0.6, CONAGUA = 10.0 y Costa Baja = 0.07 ppb) en los sitios de Campo Militar y Costa Baja.

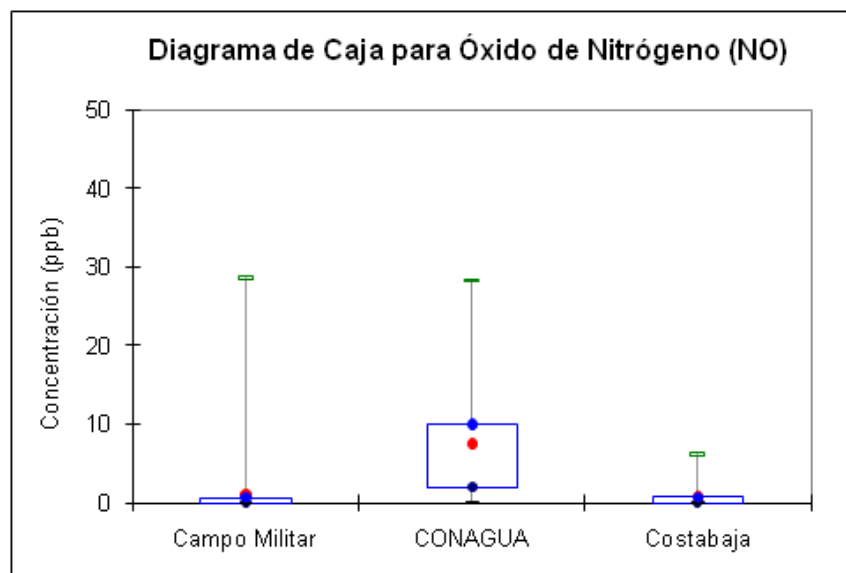


FIGURA 9. Diagrama de caja de Óxido de Nitrógeno

En la figura 10, se muestra una comparación de los diagramas de caja de las concentraciones de Bióxido de Nitrógeno obtenidas durante el periodo de estudio en los tres sitios de muestreo. En el sitio Campo Militar se puede observar que el 75% de las concentraciones están por debajo de los 3ppb, y un 25% entre 3ppb y 27ppb. La presencia del NO_2 en Campo militar es producto de la generación y reacción del NO en la zona urbana. En la estación de CONAGUA, El 50% de las concentraciones se encontraron entre los 4.2ppb y 17.9ppb, con un valor mínimo de 0.0ppb y el percentil 98 de 27ppb, siendo casi simétrica respecto a su media. En la estación Costa Baja, las concentraciones en general son mayores que en Campo Militar, ya que el 50% de los datos se encuentran entre 1.9ppb y 4.8ppb.

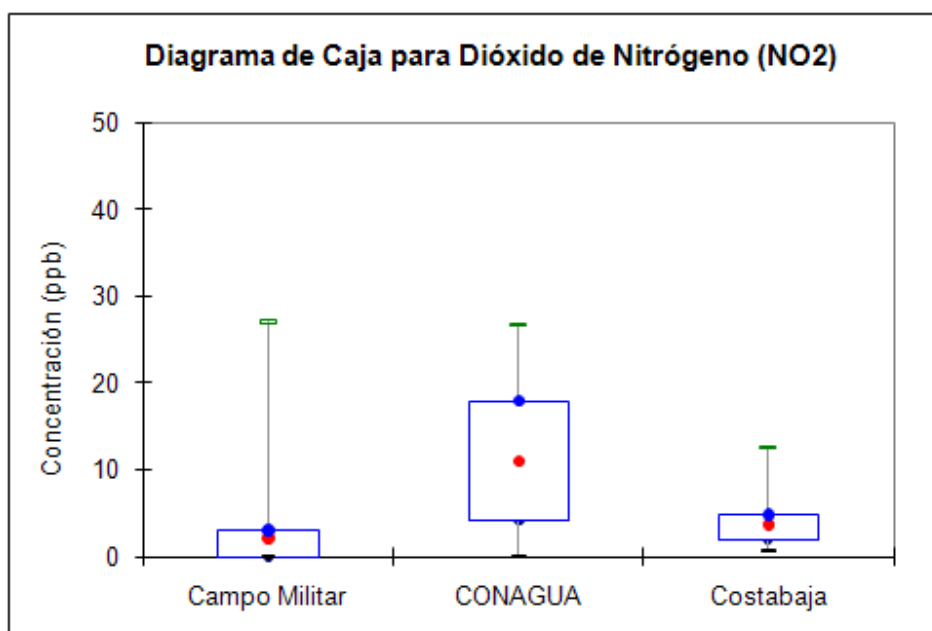


FIGURA 10. Diagrama de caja de Dióxido de Nitrógeno

El dióxido de azufre es un gas que está relacionado directamente con la actividad de vehículos pesados y las emisiones industriales. En la figura 11, se muestra el ciclo diario de este contaminante obtenido en los tres sitios de medición. En esta gráfica se observa una tendencia similar entre los diferentes sitios a lo largo del periodo de estudio, sin embargo, los valores máximos de los promedios horarios de la estación Costa Baja son aproximadamente tres veces mayores (21.21ppb) en comparación con las otras dos estaciones (Campo Militar = 5.76ppb, CONAGUA = 7.35ppb).

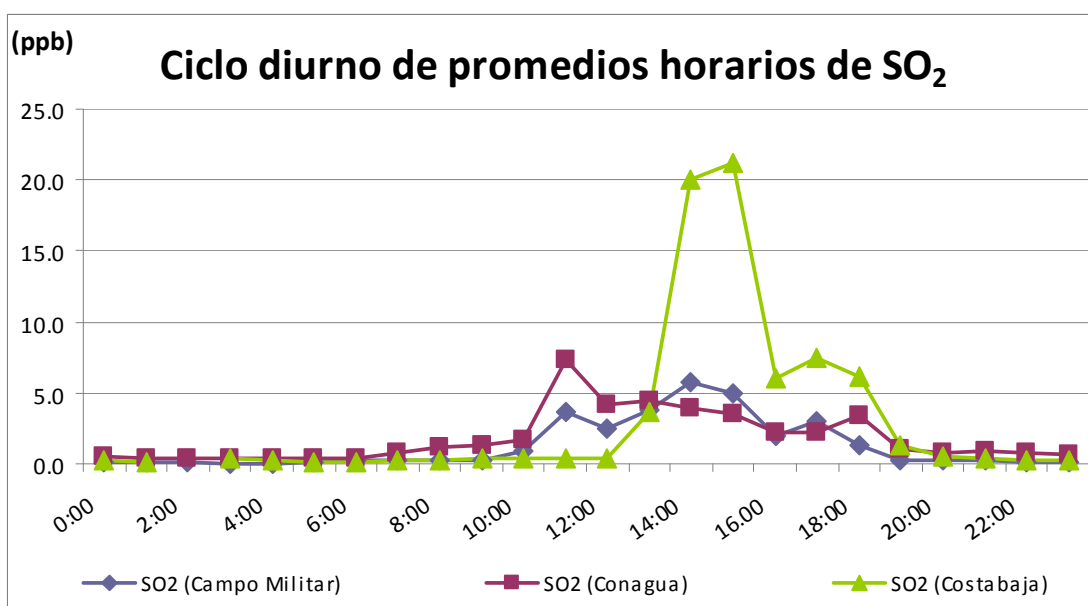


FIGURA 11. Ciclo diario de promedios horarios de SO2.

Se pueden apreciar en la figura anterior que las máximas concentraciones para los tres sitios se presentan entre las 13h00 y 18h00. En la figura 12 se observan las concentraciones horarias mas altas de SO₂, las cuales están en función de la dirección del viento (entre los 255grados y los 305grados). Tomando en cuenta que la ubicación de dicha termoeléctrica se encuentra a los 315grados, en la dirección Noroeste con respecto a la estación Costa Baja, se deduce que las emisiones de la termoeléctrica Punta Prieta II se ven reflejadas en las mediciones de dicha estación y de igual forma en los sitios Campo Militar y CONAGUA, aunque en concentraciones menores.

Por otro lado, también se observan incrementos en las concentraciones de SO₂ en los sitios de medición ubicados dentro de la zona urbana ocurren entre las 11h00 y 12h00. Estos registros son independientes de los obtenidos en Costa Baja. Al no contar con información del campo de vientos en el sitio de las termoeléctricas CCI BCS I y II, y de información de fuentes de emisión de SO₂ dentro de la ciudad, se infiere que estos son producidos por efectos de las emisiones de dichas termoeléctricas. Para verificar tal efecto, se realizó una simulación de la dispersión de las concentraciones de SO₂ utilizando un modelo Gaussiano, el cual arrojó resultados similares a los obtenidos por los sitios de monitoreo que se reportan en este informe.

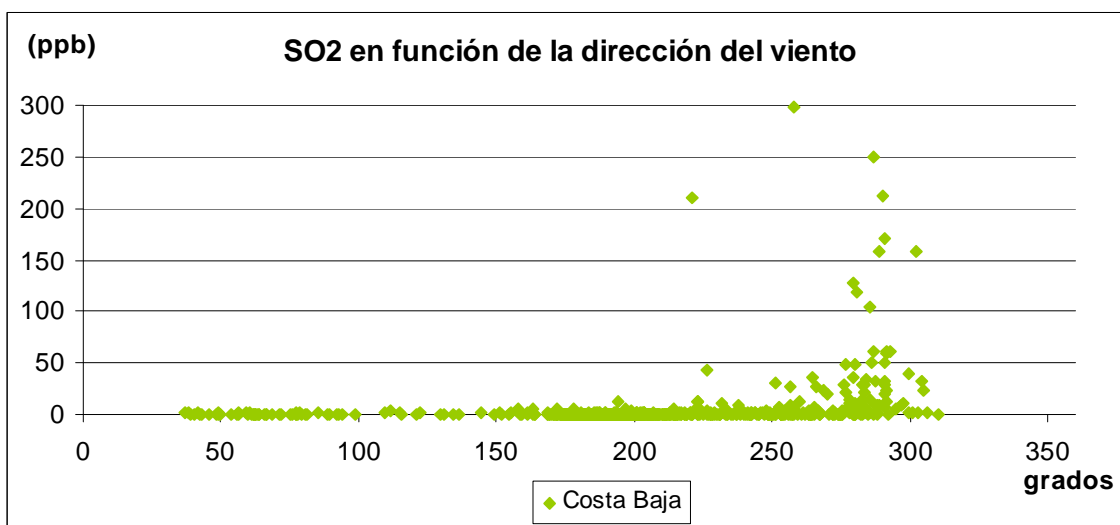


FIGURA 12. Concentraciones de SO₂ en función de la dirección de viento

La norma de calidad del aire establece un valor de 130ppb en promedio de 24 horas una vez al año, que de acuerdo a los resultados obtenidos, dicha norma no se rebasó durante el periodo de estudio, ya que el promedio de 24 horas más alto de SO₂ registrado fue en el sitio Costa Baja y fue de 24.7ppb. Por otro lado, el valor máximo horario fue de 248.9ppb como se puede ver en la figura 13, la cual muestra los valores máximos horarios de SO₂ obtenidos.

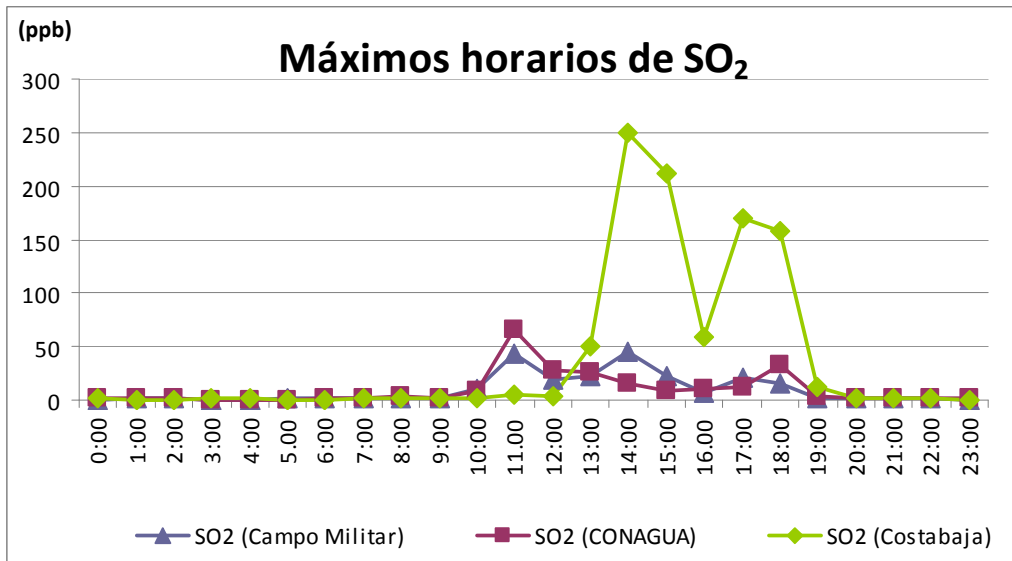


FIGURA 13. Valores máximos horarios de dióxido de azufre

En la figura 14, se muestra la serie de tiempo del SO₂ correspondiente al sitio Costa Baja. En ésta se observan picos que van desde los 50ppb hasta los 249ppb y ocurren entre las 13h00 y 18h00.

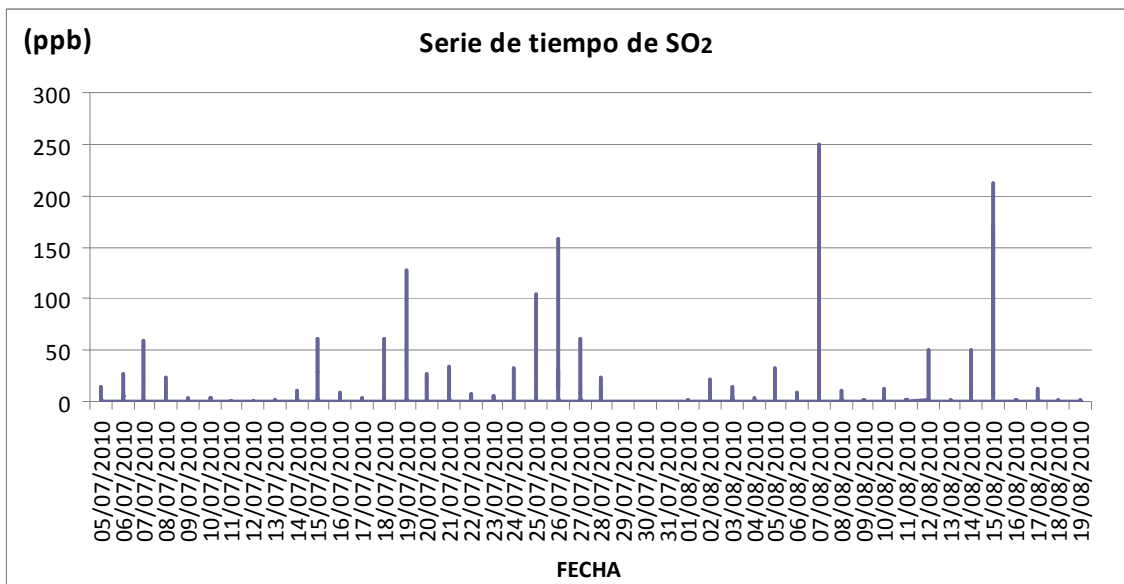


FIGURA 14. Serie de tiempo de promedios horarios de SO₂ de la estación Costa Baja

En relación a los sitios de CONAGUA y Campo Militar, el diagrama de cajas de la figura 15 muestra que la mayoría de las mediciones registradas para SO₂ son bajas, asimismo, los bigotes superiores reflejan la existencia de picos, que se atribuyen a las emisiones de vehículos pesados que circulan dentro de la zona urbana.

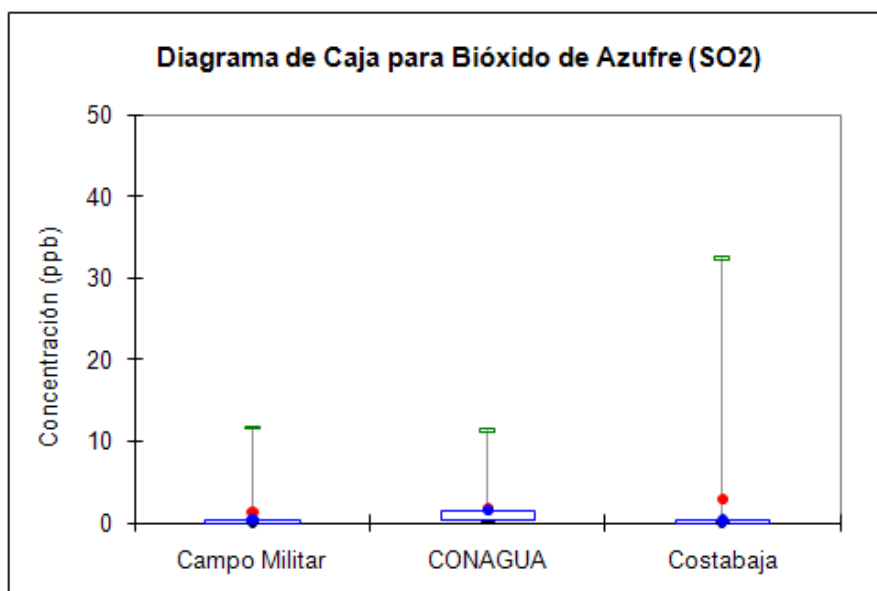


FIGURA 15. Diagrama de caja de Bióxido de Azufre

El monóxido de carbono es un gas que está directamente relacionado con la actividad vehicular. En la figura 16 se muestran los promedios horarios de este contaminante para los sitios de Campo Militar y CONAGUA, observándose una tendencia similar a lo largo del periodo de estudio, presentándose en CONAGUA las concentraciones más altas; lo anterior debido a la presencia de mayor flujo vehicular en la zona.

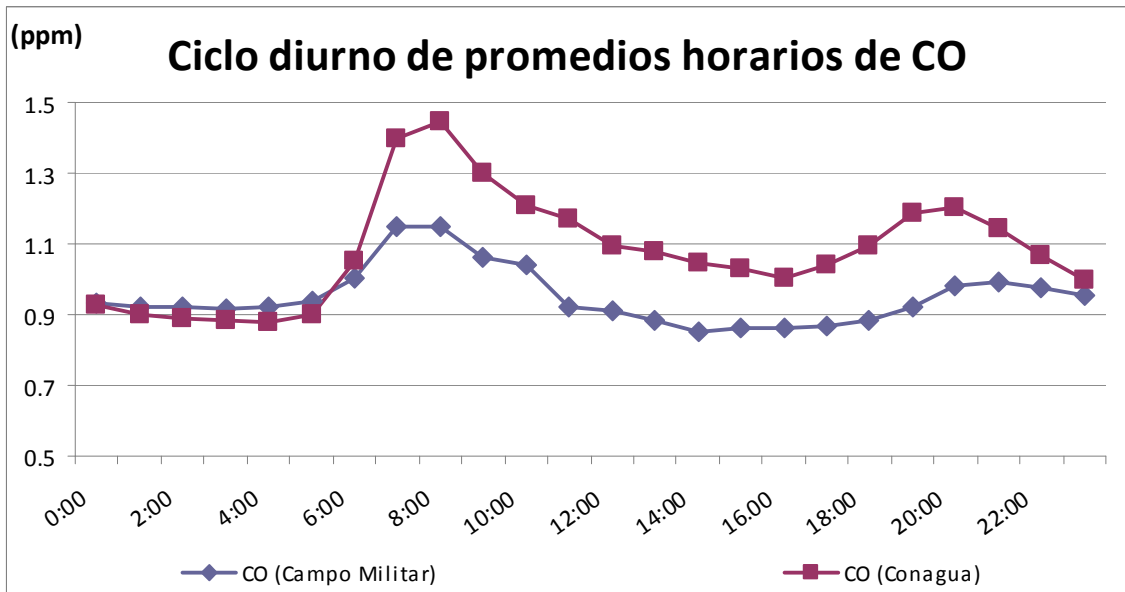


FIGURA 16. Ciclo diario de promedios horarios de CO.

En esta misma figura se observa que el incremento en las concentraciones empieza a ser notorio a partir de las 6h00, alcanzando su punto más alto al rededor de las 8h00, lo que coincide con la mayor actividad vehicular de la zona. Posteriormente disminuyen sostenidamente hasta las 16h00. A partir de esa hora las concentraciones se incrementan nuevamente en función de la misma actividad vehicular.

Las concentraciones de CO medidas en ambos sitios son bajas y comparando con la norma de calidad del aire que establece como valor límite 11ppm en promedio móvil de 8 horas, no se rebasó este valor en ambos sitios. El promedio máximo móvil de 8 horas fue de 2.2ppm en el sitio Campo Militar y de 1.8ppm en el sitio CONAGUA.

En la figura 17, se muestra el ciclo diario de los promedios horarios para las concentraciones de PM10. Se observa que las concentraciones se incrementan a partir de las 6h00 en el sitio de CONAGUA, alcanzando valores altos a las 8h00. Después disminuyen para incrementarse nuevamente a las 17h00 y alcanzando su valor máximo a las 20h00. En la estación Costa Baja se presenta una tendencia similar al sitio CONAGUA. Las concentraciones se incrementan a partir 8h00, alcanzando su punto máximo a las 10h00 en donde empiezan a disminuir las concentraciones y se incrementan nuevamente a partir de las 16h00, alcanzando un pico más bajo a las 20h00.

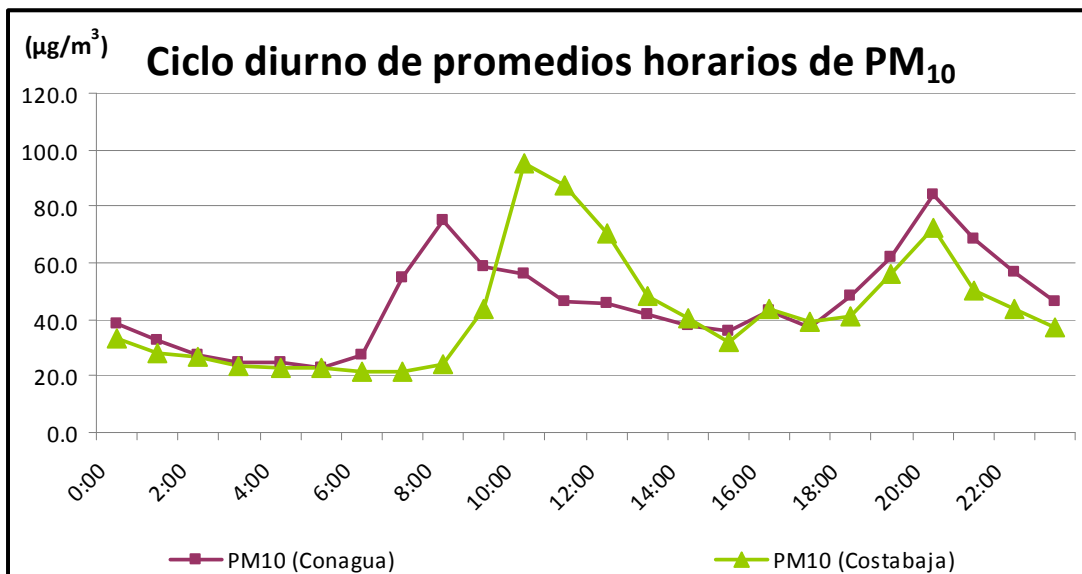


FIGURA 17. Ciclo diario de promedios horarios de PM10.

Como se mencionó anteriormente, no se incluye la gráfica de Campo Militar debido a la falta de registros, producto de las fallas en el sistema de adquisición.

En la figura 18 se muestran los promedios de 24 horas obtenidos para las concentraciones de PM₁₀ en los sitios de Costa Baja y CONAGUA, que de acuerdo con la norma para partículas menores a 10 micras, establece un valor de 120µg/m³ en promedio de 24 horas una vez al año. Como se observa en gráfica, las mediciones se encuentran por debajo del límite permisible de la norma en ambos sitios.

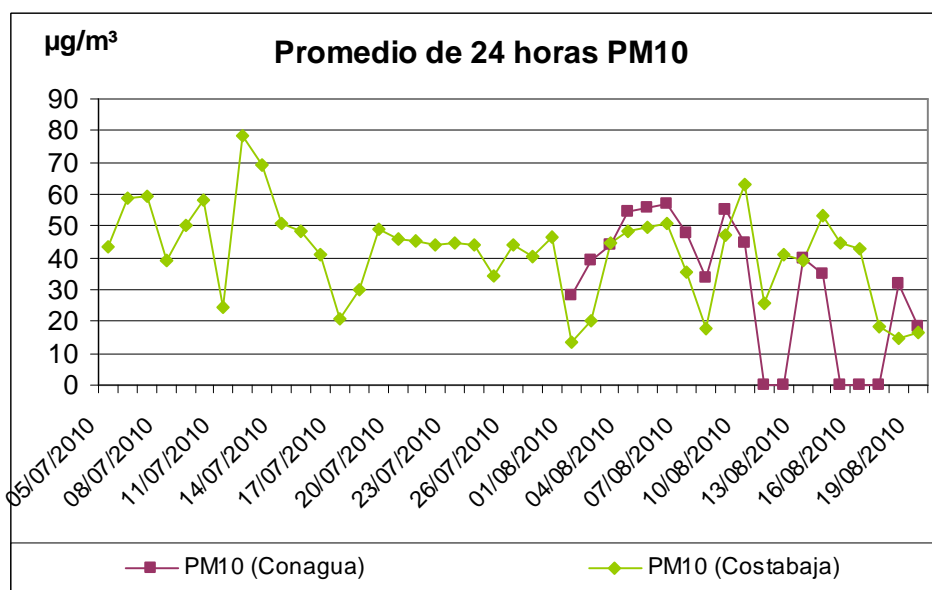


FIGURA 18. Serie de tiempo de promedios horarios de PM10

Hay que considerar que a un costado de la estación Costa Baja, se estuvieron realizando tareas de carga y descarga de materiales de construcción, por lo que al inicio del periodo de estudio se registraron las concentraciones más altas de PM_{10} (ver figura 19).



FIGURA 19. Actividades de carga y descarga de materiales en Costa Baja

En la figura 20 se muestran los promedios horarios de $PM_{2.5}$ obtenidos en la estación CONAGUA. En ésta se observa que las concentraciones mas altas en promedios horarios ocurren entre las 16h00 y 21h00, encontrándose entre $17\mu g/m^3$ y $23.1\mu g/m^3$. Dicho incremento se presume que es debido al incremento de la humedad relativa, velocidad del viento y presencia de brisa del mar.

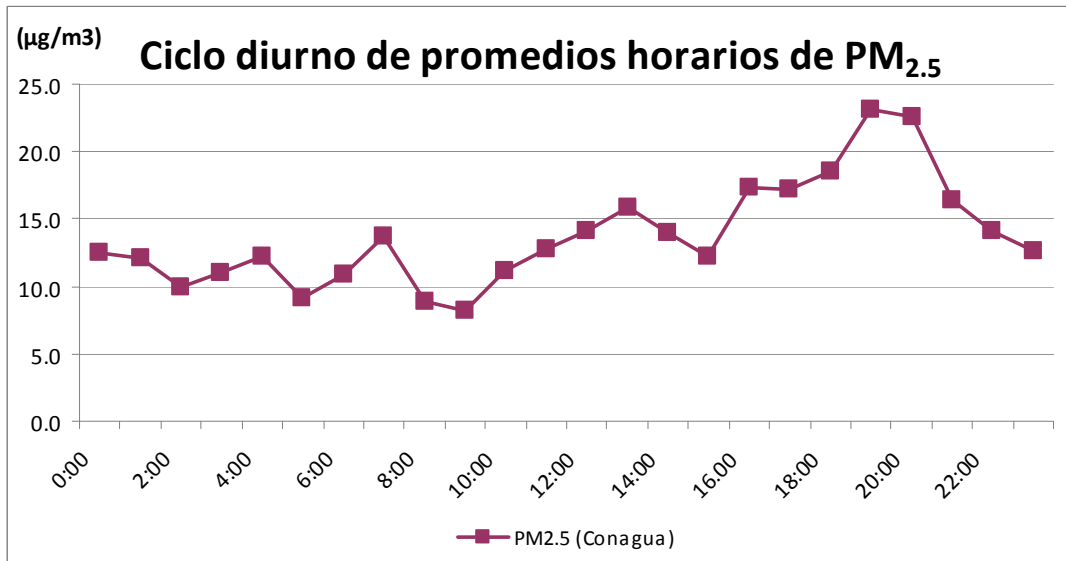


FIGURA 20. Ciclo diario de promedios horarios de PM2.5.

El promedio máximo de 24 horas de PM2.5 obtenido en la estación de CONAGUA fue de 18.1µg/m³. La norma para partículas menores a 2.5 micras, establece un valor de 65µg/m³ en promedio de 24 horas una vez al año, por lo tanto, durante el periodo de estudio no se rebasó la norma de calidad del aire.

7. CONCLUSIONES

Las concentraciones de los contaminantes criterio medidos durante el estudio no rebasaron los límites de calidad del aire establecidos en las normas y ninguno de ellos presenta valores cercanos a los límites permisibles por las mismas. Sin embargo, existen picos de SO₂, registrándose las concentraciones más altas en la estación Costa Baja (hasta 250ppb), mientras que en las estaciones de Campo Militar y CONAGUA llegan hasta los 45ppb y 67ppb respectivamente.

Se concluye que las altas concentraciones de SO₂ registradas en el sitio de Costa Baja se deben a las emisiones generadas por la termoeléctrica Punta Prieta II, y ocurren cuando la dirección de viento proviene de la dirección Noroeste. De la misma forma, la zona urbana está siendo impactada por las emisiones de esta termoeléctrica en menor proporción y dentro del mismo horario.

Por otro lado, los incrementos en las concentraciones de SO₂ en los sitios de medición ubicados dentro de la zona urbana que ocurren entre las 11h00 y 12h00, se atribuyen a las emisiones de las termoeléctricas CCI BCS I y II como se menciona en el capítulo de resultados.

Con el objetivo de encontrar un comportamiento del campo de vientos diferente y evaluar nuevamente el impacto de las emisiones generadas por las termoeléctricas en la ciudad de La Paz, se sugiere llevar a cabo un estudio complementario de la calidad del aire durante otra estación del año. A este respecto, se recomienda preferentemente la instalación de una estación de monitoreo de calidad del aire que proporcione información continua.

Otro de los objetivos del estudio fue el de identificar un sitio en base a las mediciones realizadas que sea representativo de la calidad del aire de la ciudad de La Paz, con el fin de instalar en el mediano plazo una estación fija de monitoreo de la calidad del aire. De las mediciones obtenidas en los sitios Campo Militar y CONAGUA, se pudo observar que las concentraciones y tendencias de los contaminantes son similares en ambos sitios y considerando las características topográficas, campo de vientos, uniformidad y tamaño de la zona urbana, se concluye que una estación de monitoreo de la calidad del aire puede ser ubicada prácticamente en cualquier punto de la ciudad, sin perder su representatividad.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=03>.

[2] <http://cabomil.com.mx/esp/buscador.php?keyword=parque+vehicular>.

[3] http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_bajasur.

[4] Comisión Federal de Electricidad. Boletín de Prensa: CFE-BP-62/05vf, 28 de septiembre de 2005.

[5] Consultores Ambientales. Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad para el proyecto Punta Blanca, 2010.

[6] USEPA 2008: U.S. Environmental Protection Agency 2008. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program. Report No: EPA-454/B-08-003.