

## **Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional**

### **Estudio de Monitoreo de la Calidad del Aire en La Paz, B.C.S., del 1 al 30 de junio de 2014**

**Elaboró:** Ing. José Miguel Noyola Poblete.  
Jefe del Departamento de Monitoreo Atmosférico\*.  
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

**Supervisó:** Ing. Óscar A. Fentanes Arriaga.  
Subdirector de Evaluación de Emisiones y Monitoreo Atmosférico\*.  
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

**Aprobó:** Ing. Sergio Zirath Hernández Villaseñor.  
Director de Investigación en Monitoreo Atmosférico y Caracterización  
Analítica de Contaminantes\*.  
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

**Julio, 2014.**

---

\* De conformidad con los Artículos Primero, Sexto y Séptimo transitorios de la Ley General de Cambio Climático, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012

## Tabla de contenido

	<b>Página</b>
<b>1. RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>3</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>3. ANTECEDENTES EN LA CIUDAD DE LA PAZ</b>	<b>5</b>
<b>4. OBJETIVO</b>	<b>6</b>
<b>5. SITIO DE MEDICIÓN</b>	<b>6</b>
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>7</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>15</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>16</b>

## 1. Resumen Ejecutivo

Con la finalidad de evaluar la calidad del aire y conocer las concentraciones de los contaminantes criterio, se realizó un estudio de monitoreo de calidad del aire dentro de la zona urbana de la ciudad de La Paz B.C.S., durante un periodo de 30 días; mismo que inició el 1 de junio y finalizó el día 30 del mismo mes.

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Servicio Meteorológico Nacional de CONAGUA, ubicado sobre la Av. México, esquina con Av. Luís Donald Colosio. Cabe mencionar que en este mismo sitio, el INECC realizó un estudio similar en 2010, en el cual se concluyó que las concentraciones de los contaminantes criterio se mantuvieron por debajo de los valores establecidos en las normas de calidad del aire correspondientes. No obstante, se pudieron identificar picos en las concentraciones de  $\text{SO}_2$ , lo anterior debido a la actividad de las plantas termoeléctricas en la región.

De las mediciones obtenidas en el presente estudio y del análisis de la información correspondiente, se puede mencionar que los contaminantes ozono, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y partículas suspendidas  $\text{PM}_{2.5}$  no rebasaron las normas de calidad del aire correspondientes, mientras que las partículas suspendidas  $\text{PM}_{10}$  rebasaron el valor establecido por la norma en cuatro ocasiones durante el periodo de estudio. Sin embargo, es importante mencionar que las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  fueron posiblemente impactadas de manera significativa por los trabajos de reencarpetamiento y pavimentación que se realizaron de forma exhaustiva en la zona sur y sureste de la ciudad durante el desarrollo de las mediciones.

## 2. Introducción

La presencia de contaminantes en el aire ambiente se debe principalmente al transporte y a la gran cantidad y variedad de fuentes fijas y de área emisoras que existen, presentando problemas de contaminación atmosférica generalmente en grandes ciudades, ciudades medianas y en crecimiento.

Es indispensable tener sistemas de medición y monitoreo atmosférico bajo un esquema uniforme de operación que cuente con sistema de aseguramiento y control de calidad. Para contar con información oportuna y confiable de la calidad del aire en las ciudades mexicanas, para obtener información de la calidad del aire en zonas que no cuentan con un programa de monitoreo continuo; es necesario realizar estudios de calidad del aire por cortos periodos de tiempo con ayuda de una unidad móvil de monitoreo (Figura 1), para así, poder conocer las concentraciones de gases y partículas en el aire, existiendo la posibilidad de poder identificar sobre las principales fuentes que mayormente contribuyen al problema de contaminación( por lo que es conveniente contar con información sobre la densidad de población, parque vehicular y separar el tipo de actividades industriales que se desempeñan en la zona de estudio).

Los resultados de estos estudios permiten identificar si en la zona de estudio se tienen concentraciones de contaminantes que incumplan con los límites establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas en materia de calidad del aire, además de constituirse en una valiosa herramienta para la toma de decisiones en políticas públicas.



Figura 1. Unidad móvil de monitoreo de la calidad del aire.

### 3. Antecedentes en la ciudad de La Paz

En agosto de 1979, en la ciudad de La Paz, BCS., entró en operación la termoeléctrica Punta Prieta II con la finalidad de abastecer las necesidades de energía eléctrica en la zona metropolitana de dicho municipio. Debido al desarrollo de éste, 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). Recientemente, se instalaron dos centrales adicionales, mismas que entraron en funcionamiento en 2010 la primera de ellas (236 CCI BCS III), y en 2013 la segunda (235 CCI BCS IV) [2].

Por lo anterior, autoridades federales, estatales, municipales y organizaciones no gubernamentales, mostraron interés en realizar mediciones de calidad del aire en la zona urbana de La Paz. En este sentido, en 2010 se llevó a cabo un estudio de calidad del aire en el municipio, con la finalidad de evaluar el impacto de las emisiones de las centrales termoeléctricas en la zona urbana.

Para efectos del estudio, el INECC llevó a cabo un monitoreo de calidad del aire de corto plazo en el sitio Campo Militar del 08 al 31 de julio del año 2010 y en el sitio CONAGUA del 2 al 19 de agosto de ese mismo año. Con base a las mediciones obtenidas, se determinó que las concentraciones de los contaminantes criterio estaban por debajo de los valores establecidos en las normas de calidad del aire correspondientes. Sin embargo, se pudieron identificar concentraciones pico de SO<sub>2</sub> generadas por la actividad de las centrales termoeléctricas en la zona.

Debido a las crecientes demandas de la ciudadanía respecto a la visible contaminación del aire en el municipio de La Paz, la delegación federal de la SEMARNAT en el Estado de Baja California Sur, solicitó al INECC realizar un nuevo estudio de calidad del aire para evaluar nuevamente si las Centrales de Combustión Interna están impactando la zona urbana.

En relación a lo anterior, el INECC realizó un estudio de calidad del aire, midiendo la concentración de ( contaminantes) en el período comprendido entre el 01 al 30 de junio del presente año.

De acuerdo con el censo de población y vivienda del INEGI, para el año 2010 la población total del municipio de La Paz era de 251,871 habitantes, lo que representa el 39.54 por ciento, con relación a la población total del estado que es de 637,026 [1].

## 4. Objetivo

Obtener información sobre las concentraciones de los contaminantes criterio presentes en el aire de la Paz, Baja California Sur.

## 5. Sitio de medición

La unidad móvil de monitoreo del INECC se instaló en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ubicada sobre la avenida México, esquina con avenida Luis Donaldo Colosio, dónde el personal de la delegación de la SEMARNAT de La Paz, apoyó con la supervisión de la operación de la Unidad Móvil y descarga de datos. El sitio de CONAGUA es el mismo en el cual se realizaron mediciones en el pasado estudio de 2010, por lo que sirvió de referencia para comparar las concentraciones de contaminantes de ambas campañas de medición. El sitio se puede observar en la Figura 2.



Figura 2. Entorno del sitio de medición CONAGUA.

En la Figura 3 se muestra una imagen satelital del sitio de monitoreo en el cual se instaló la unidad móvil (CONAGUA). Asimismo, se destaca (línea amarilla), la ubicación de las termoeléctricas.

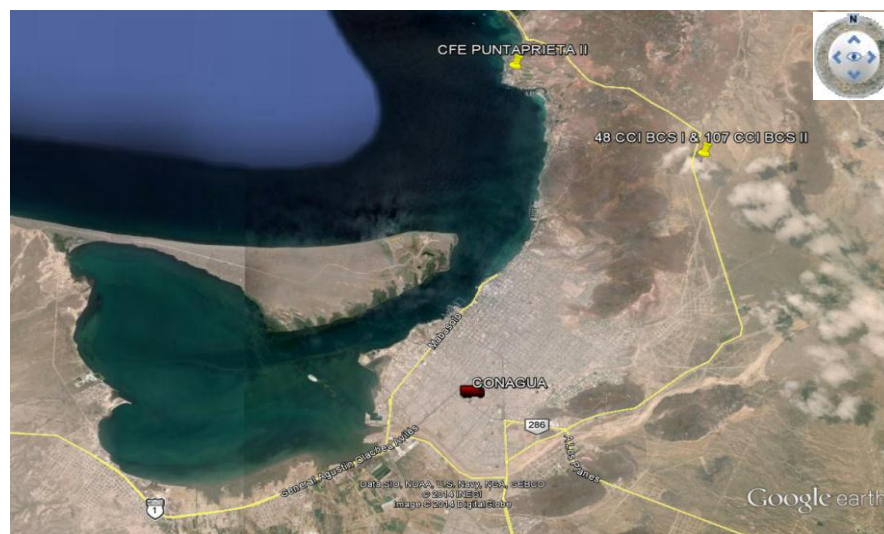


Figura 3. Imagen satelital de la ciudad de La Paz.

## 6. Resultados

Las mediciones realizadas fueron continuas ( 24 horas), iniciando el día 01 de junio y finaliza el día 30 del midiendo la concentración en: ozono (O<sub>3</sub>), bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), y partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Además, se midieron variables meteorológicas de dirección y velocidad de viento, temperatura, y humedad relativa.

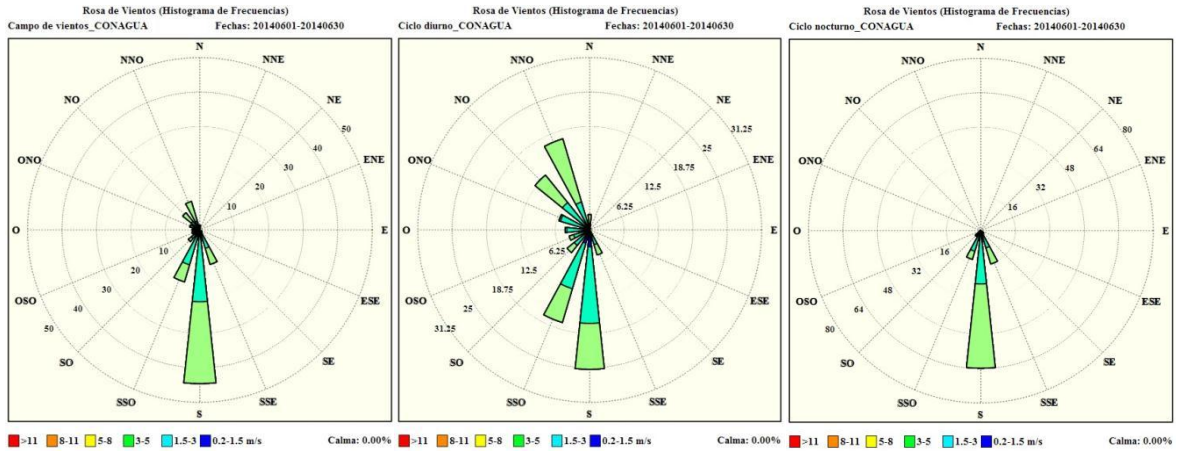
La Tabla 1 es un resumen estadístico, que muestra los valores mínimo, máximo, promedio, mediana, desviación estándar y los percentiles 25, 75 y 98. A partir de estos resultados se determina que las mediciones obtenidas durante la campaña de medición son en general, bajas, excepto en el caso de las partículas de PM<sub>10</sub>.

**Tabla 1. Resumen estadístico de los parámetros medidos en promedios horarios.**

Parámetro Valor	O <sub>3</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Mínimo	2.0	0.1	0.6	0.8	0.3	0.2
Máximo	46.9	19.1	87.0	3.3	922.4	51.5
Promedio	18.2	5.4	2.1	1.6	70.6	12.3
Mediana	17.9	4.7	1.3	1.6	46.1	8.7
Desviación estándar	7.4	3.6	4.5	0.3	87.5	11.3
Percentil 25	13.1	2.7	0.8	1.4	24.4	2.7
Percentil 75	22.3	7.6	1.9	1.7	87.6	20.3
Percentil 98	36.0	14.3	10.8	2.2	339.7	37.9

De la tabla anterior se destaca la existencia de concentraciones elevadas de partículas menores a 10 micrómetros, mismas que alcanzaron un valor máximo horario de 922.4 µg/m<sup>3</sup>. Así mismo, la desviación estándar para este contaminante fue de 87.5 µg/m<sup>3</sup>, por lo tanto, los registros fueron muy variables durante el periodo de estudio. Cabe mencionar que el 75% de las mediciones están por debajo de los 88 µg/m<sup>3</sup>.

En la Figura 4 se muestran las rosas de vientos obtenidas durante el periodo de estudio en el sitio de CONAGUA. La Figura a), corresponde a todo el periodo de medición, donde se observa la existencia de un viento predominante, proveniente de la dirección sur; mientras que la Figura b), que corresponden a la rosa de viento obtenida durante el periodo diurno, presenta vientos predominantes de la dirección sur con algunas componentes provenientes de las direcciones sur-suroeste, noroeste y nor-noroeste. Asimismo, la Figura c), que corresponde a la rosa de viento obtenida durante el periodo nocturno, presenta su componente principal proveniente de la dirección sur. La velocidad máxima alcanzada es de 5.0m/s. Debido a estos patrones de viento, el posible impacto de las emisiones de las termoeléctricas a la zona urbana, se presenta en un porcentaje muy bajo, solo cuando el viento proviene del norte o noreste.



a) periodo de medición.

b) periodo diurno de 07:00 a 18:00.

c) periodo nocturno de 19:00 a 06:00.

Figura 4. Rosas de vientos

El ozono es un contaminante secundario resultado de un proceso complejo que involucra reacciones químicas entre los NO<sub>x</sub>, compuestos orgánicos volátiles y el oxígeno en presencia de radiación solar. El incremento de la radiación solar favorece el aumento de la temperatura, en consecuencia, predispone el incremento en las concentraciones de O<sub>3</sub>. La figura 5 muestra las concentraciones de ozono y la temperatura.

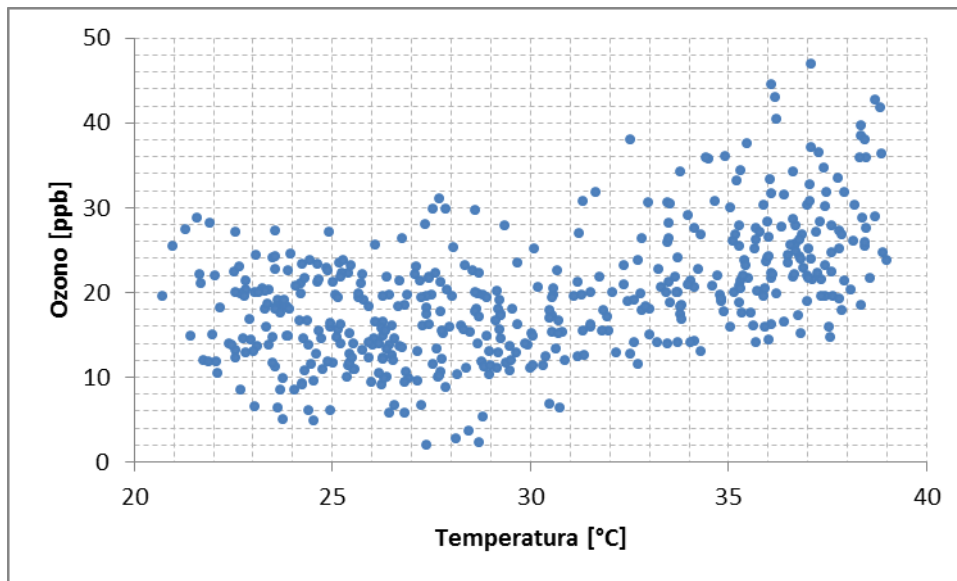


Figura 5. Relación de ozono vs temperatura en promedios horarios.

La norma de calidad del aire para ozono establece un valor de 110 ppb en promedio horario. En la Figura 6, se muestran los promedios horarios de este contaminante, en donde se observa que el valor de la norma (línea) no se excede en ningún momento durante el periodo de estudio. Los valores más altos alcanzados se tienen entre las 13:00 h y las 17:00 h. El promedio horario máximo alcanzado durante el periodo de estudio fue de 47 ppb, el 1 de junio a las 13:00 h.



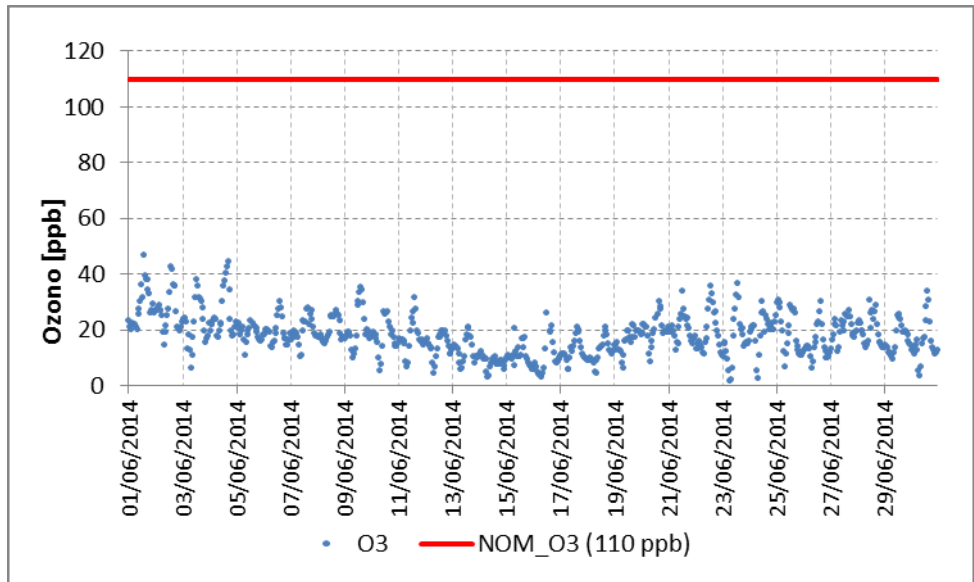


Figura 6. Promedios horarios de ozono.

Un segundo criterio para la norma de ozono establece que el quinto máximo anual de los valores máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas no debe excederse de 80 ppb (línea). En este sentido, en la Figura 7 se muestran los máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas durante el periodo de estudio. Se observa que este criterio también se está cumpliendo ya que no se rebasó el valor mencionado durante el periodo de estudio. El valor máximo diario en promedio móvil de 8 horas fue del día 4 de junio con un valor de 36 ppb.

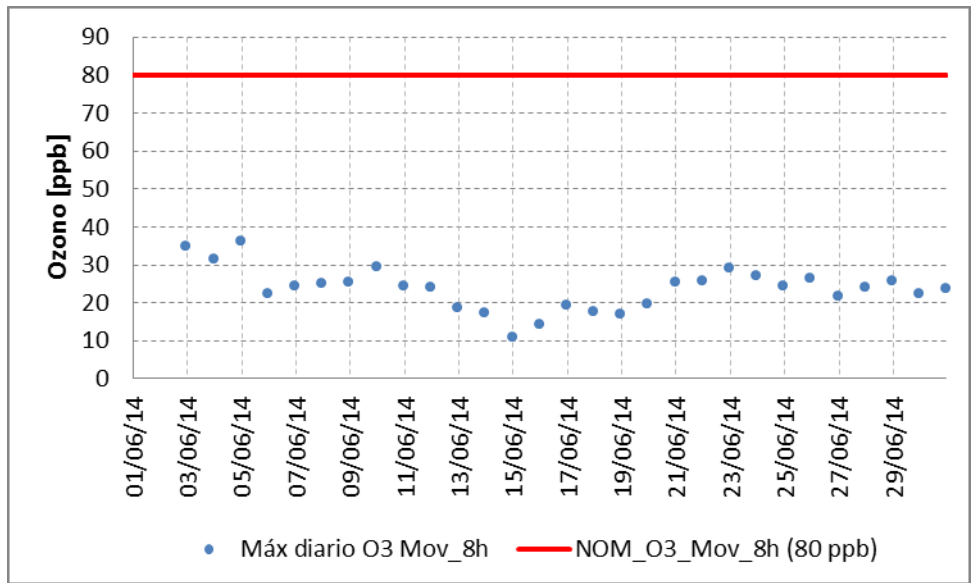


Figura 7. Máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas de ozono.

En las Figuras 8 y 9 se muestran los promedios horarios del monóxido de carbono y bióxido de azufre respectivamente. Como se puede observar en la Figura 8, los valores en promedios horarios de CO son bajos. El valor máximo medido en promedio horario fue de 3 ppm.

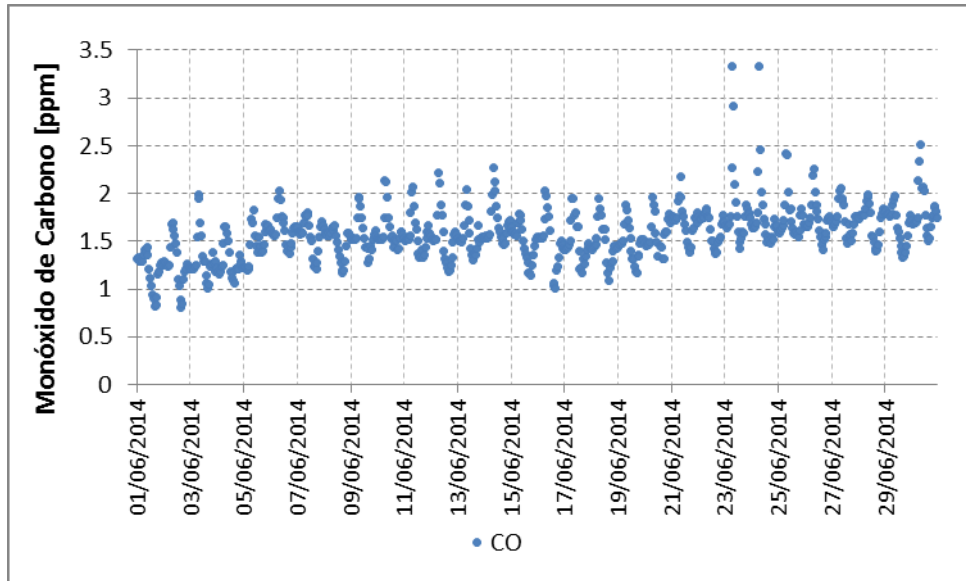


Figura 8. Promedios horarios de CO.

Por otro lado, la norma de calidad del aire para el CO establece un valor de 11 ppm en promedio móvil de 8 horas, y considerando lo anterior, este valor tampoco se excedió durante el periodo de estudio.

En el caso del SO<sub>2</sub>, la norma establece un valor de 110 ppb en promedio de 24 horas. El valor máximo en promedio horario obtenido durante el periodo de estudio fue de 87 ppb, mientras que el valor máximo en promedio de 24 horas fue de 7 ppb.

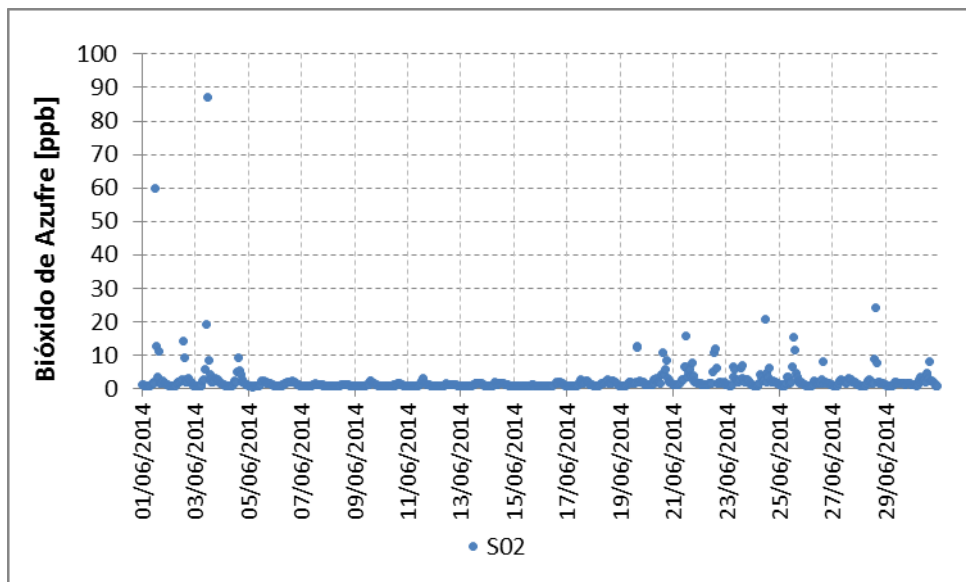


Figura 9. Promedios horarios de SO<sub>2</sub>.

En el caso del bióxido de nitrógeno, la norma establece como valor máximo permisible, 210 ppb en promedio horario. Durante el periodo del estudio, se obtuvo un valor máximo en promedio horario de 19 ppb de este contaminante el día 1 de junio, por lo cual este parámetro también se encuentra dentro de norma. Esto se puede observar en la Figura 10.

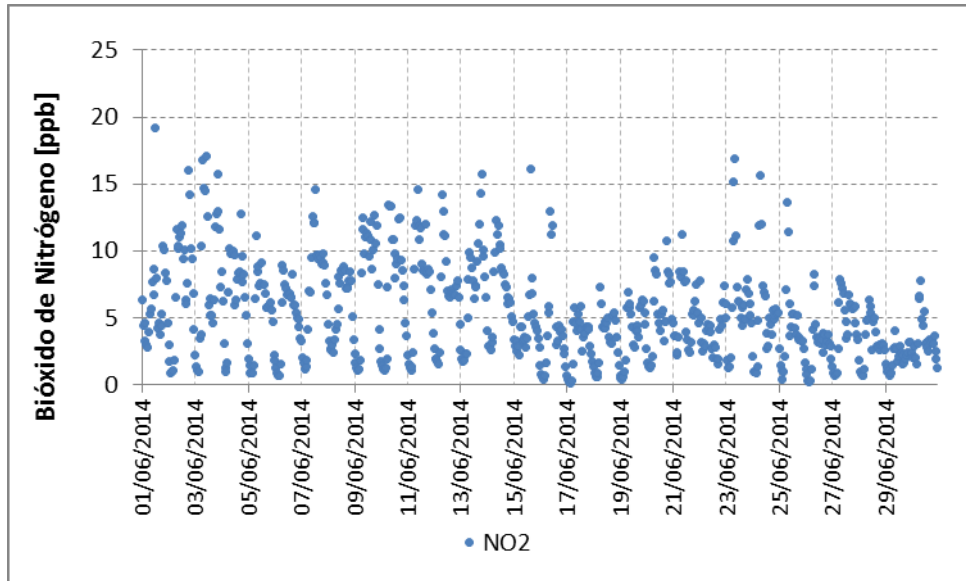


Figura 10. Promedios horarios de NO<sub>2</sub>.

Respecto a las concentraciones de partículas suspendidas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>) se registraron concentraciones elevadas durante el periodo de medición, alcanzando un valor máximo en promedio horario de 922 µg/m<sup>3</sup> el día 15 de junio a las 07:00 h. Las concentraciones en promedios horarios de PM<sub>10</sub> se pueden observar en la Figura 11, en la cual se presentan los valores registrados durante el periodo de estudio en promedios horarios. Se presume que estas concentraciones pudieron deberse principalmente a las actividades de pavimentación que se realizaron en la zona durante la fase de monitoreo.

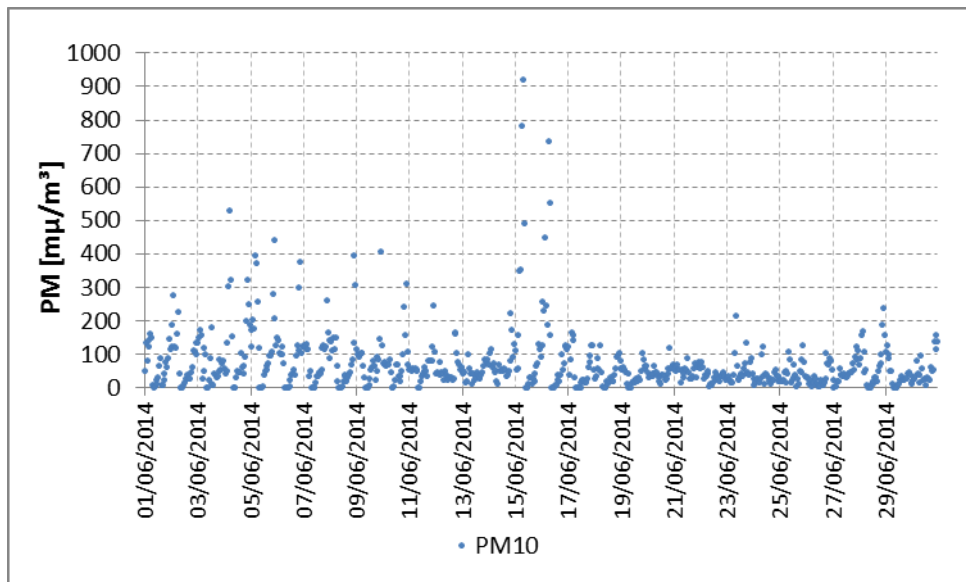


Figura 11. Promedios horarios de PM<sub>10</sub>.

En la figura 12 se muestra el perfil diario de promedios horarios de PM<sub>10</sub>, la cual consiste en presentar las concentraciones obtenidas en cada hora del día a lo largo del periodo de estudio. En la gráfica se observa que las concentraciones más altas se obtuvieron durante el periodo nocturno, que comprende de las 20:00 h a las 08:00 h, y de acuerdo con las rosas de viento

obtenidas durante el periodo de estudio, durante la noche, el viento predominante es de la dirección sur.

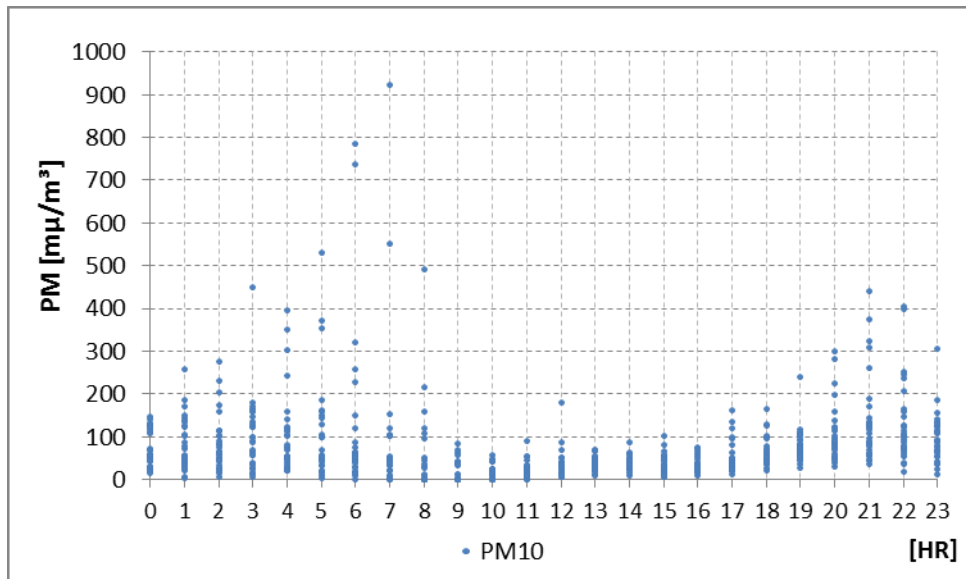


Figura 12. Perfil diurno de promedios horarios de PM<sub>10</sub>.

En el caso de las concentraciones de partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>), también se mantuvieron elevadas, considerando que la norma de calidad de aire para PM<sub>2.5</sub> establece un valor de 65 µg/m<sup>3</sup> en promedio de 24 horas. Las mediciones de este parámetro se pueden observar en la Figura 13. En donde el valor máximo alcanzando en promedio horario fue de 51 µg/m<sup>3</sup> el día 6 de junio a las 17:00 h.

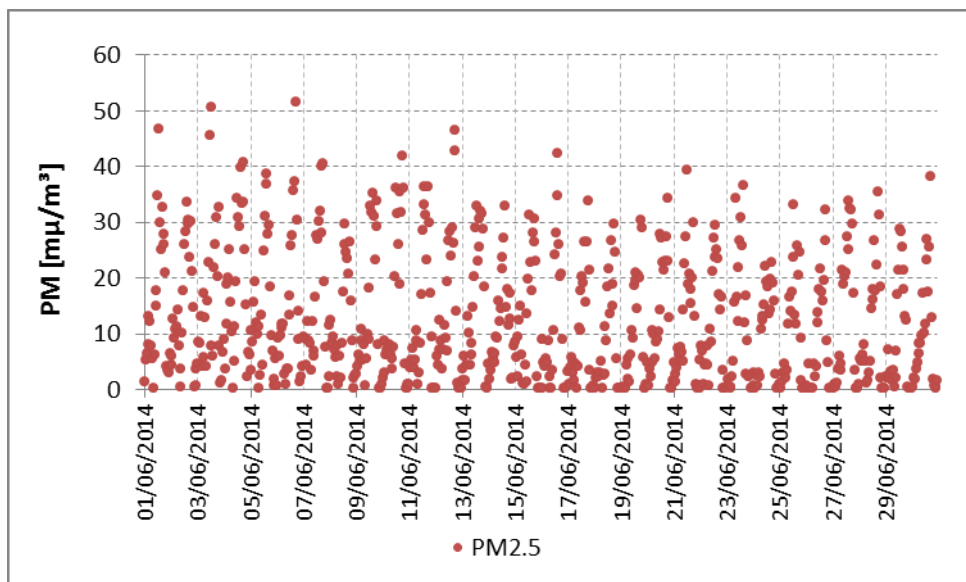


Figura 13. Promedios horarios de PM<sub>2.5</sub>.

En la Figura 14 se muestran las tendencias que guardan las concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> a lo largo del periodo de medición. Éstas presentan una tendencia similar acorde a su respectiva escala. Asimismo, se percibe que en algún momento los equipos alcanzan su límite

inferior de detección, debido a que no existe presencia de partículas, principalmente durante el periodo nocturno en el caso de partículas  $PM_{2.5}$ .

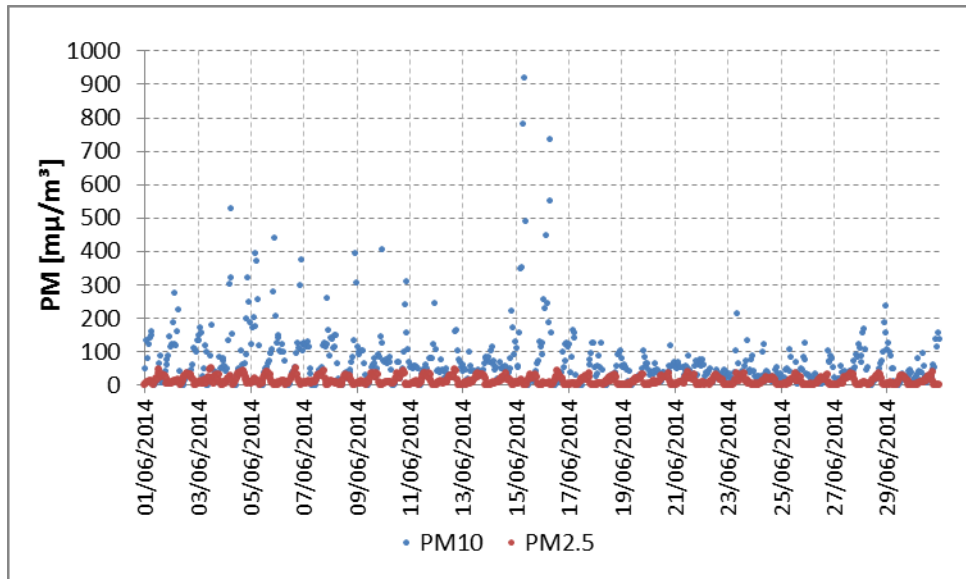


Figura 14. Promedios horarios de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

Como se mencionó anteriormente, la norma de calidad de aire para partículas suspendidas establece un valor de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{2.5}$  y para  $PM_{10}$ , un valor de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; ambos en promedio de 24 horas. En correspondencia con la Figura 15, se observa que se rebasó el valor de la norma para  $PM_{10}$ , los días 4, 5, 15 y 16 de junio, lo que corresponde al 13.3% de los días de medición. Los valores correspondientes pueden observarse en la misma figura. En el caso de  $PM_{2.5}$ , el valor de la norma no se rebasó durante el periodo de estudio. El valor más elevado alcanzado para  $PM_{2.5}$  fue de  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio de 24 horas.

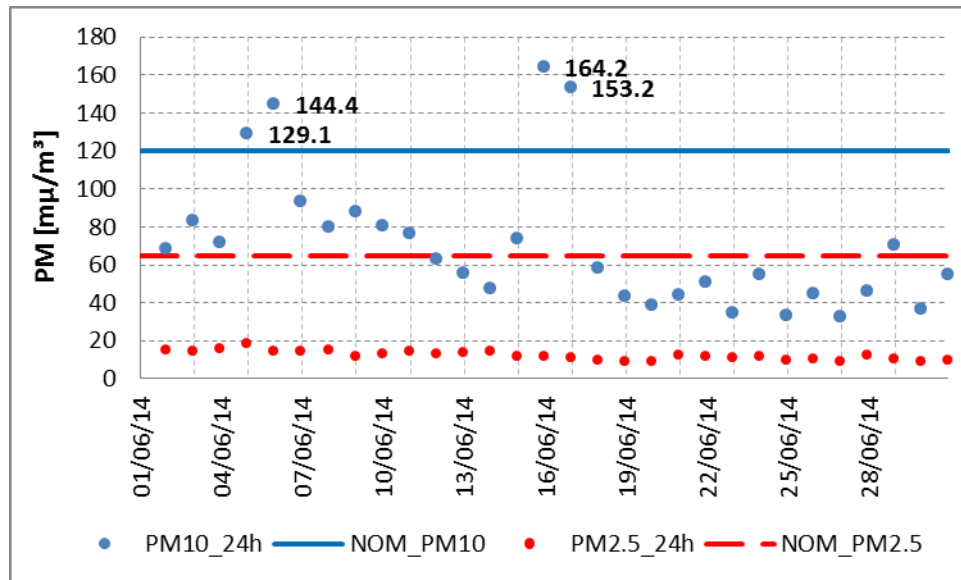


Figura 15. Promedios horario de 24 horas de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

En las Figuras 16 y 17 se presenta la relación de las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en función de la dirección del viento respectivamente. En las figuras se observa que la principal

fuentes de partículas suspendidas proviene de la dirección sur, que comprende las direcciones de 135° a 225°.

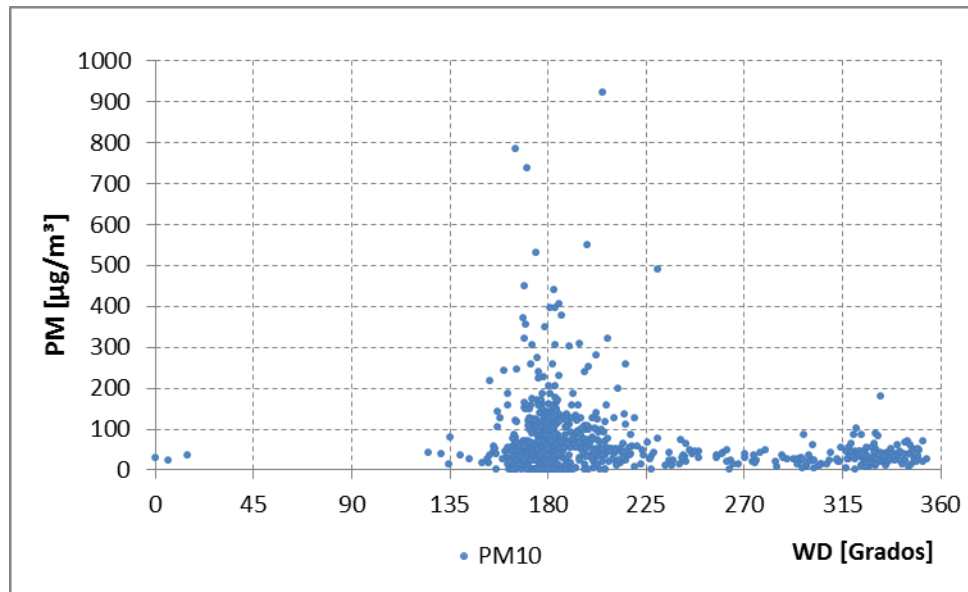


Figura 16. Promedios horarios de PM<sub>10</sub> en función de la dirección del viento.

De acuerdo con el personal de la delegación SEMARNAT de La Paz y habitantes de la zona, en esas direcciones se estuvieron realizando trabajos de pavimentación durante el periodo de estudio las 24 horas del día, incluyendo movimiento de tierra para criba y la quema de chapopote para asfalto. Por lo anterior, se presume que las altas concentraciones de partículas PM<sub>10</sub> se deben a estas actividades.

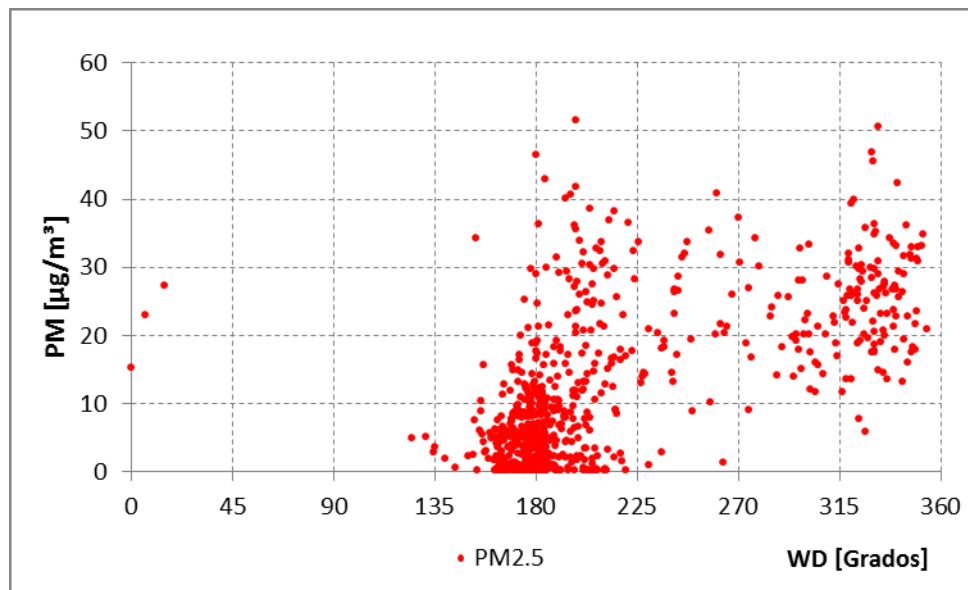


Figura 17. Promedios horarios de PM<sub>2.5</sub> en función de la dirección del viento.

## 7. Conclusiones

Durante el estudio de monitoreo realizado en el sitio de CONAGUA, en el municipio de La Paz, B.C.S., que inició el 1 de junio y finalizó el 30 de mismo mes, no se encontraron concentraciones significativas con respecto a las normas de calidad del aire para los contaminantes gaseosos criterio.

En el caso de O<sub>3</sub>, la norma establece un valor de 110 ppb en promedio horario, y el obtenido fue de 47 ppb. Otro criterio para el ozono es el promedio móvil de 8 horas, mismo que no debe exceder los 80 ppb. En este caso, el valor máximo diario en promedio móvil de 8 horas fue de 36 ppb.

Asimismo, la norma de calidad del aire para CO establece un valor de 11 ppm en promedio móvil de 8 horas. El valor máximo en promedio móvil de 8 horas de CO fue de 2.2 ppm.

Respecto al SO<sub>2</sub>, la norma establece un valor de 130 ppb en promedio de 24 horas. El valor máximo en promedio horario obtenido durante el periodo de estudio fue de 87 ppb, mientras que el valor máximo en promedio de 24 horas fue de 7 ppb.

En relación al NO<sub>2</sub>, la norma establece como valor máximo de 210 ppb en promedio horario. Durante el periodo del estudio, se obtuvo un valor máximo en promedio horario de 19 ppb de este contaminante, por lo cual este parámetro también se encuentra dentro de norma.

Por otro lado, aunque se registraron concentraciones elevadas de PM<sub>2.5</sub> durante el periodo de medición, no se rebasó la norma correspondiente, la cual establece un valor de 65 µg/m<sup>3</sup> en promedio de 24 horas. El máximo valor obtenido en promedio de 24 horas para PM<sub>2.5</sub> fue de 19 µg/m<sup>3</sup>.

De acuerdo con la norma correspondiente para PM<sub>10</sub>, cuyo valor es de 120 µg/m<sup>3</sup> en promedio de 24 horas, éste fue el único parámetro que excedió el valor establecido en cuatro ocasiones, los días 4, 5, 15 y 16 de junio con valores de 129 µg/m<sup>3</sup>, 144 µg/m<sup>3</sup>, 164 µg/m<sup>3</sup> y 153 µg/m<sup>3</sup> respectivamente.

Las concentraciones más altas PM<sub>10</sub> se obtuvieron durante el periodo nocturno, que va de las 20:00 h a las 08:00 h, y de acuerdo con las rosas de viento obtenidas durante el periodo de estudio, durante la noche, el viento predominante es de la dirección sur, que comprende las direcciones de 135° a 225°. De acuerdo con el personal de la delegación SEMARNAT de La Paz y habitantes de la zona, en la dirección sur del sitio CONAGUA se estuvieron realizando trabajos de pavimentación durante el periodo de estudio las 24 horas del día, lo que incluye movimiento de tierra para criba y quema de chapopote para asfalto, por lo que se presume que las altas concentraciones de partículas se deben a estas actividades.

Aunque evidentemente existen emisiones de gases y partículas de las plantas termoeléctricas, estas no impactan significativamente la zona urbana, al menos eso fue lo observado durante el periodo de mediciones. Sin embargo, se sugiere contar con un sistema de monitoreo continuo capaz de registrar las concentraciones de los contaminantes de interés en ésta ciudad.

## 8. Referencias Bibliográficas

[1] INEGI: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=03>

[2] Comisión Federal de Electricidad, CFE. Manifestación de Impacto Ambiental. Modalidad Particular para la 235 CCI BCS IV. Octubre de 2008.