

Campaña de monitoreo de calidad del aire enfocada en el impacto del transporte en Santo Domingo, República Dominicana

Diciembre 2017



Agradecimientos

La presente publicación ha sido elaborada por el Centro Mario Molina Chile, en el marco del proyecto: Combustibles y Vehículos más Limpios y Eficientes. El proyecto cuenta con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Iniciativa Global para la Economía de Combustible (GFEI, por sus siglas en inglés) la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV por su sigla en Inglés) y La Coalición del Clima y Aire Limpio para Reducir los Contaminantes del Clima de Vida Corta (CCAC)¹.

El proyecto está siendo implementado por Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en cooperación con el Ministerio Energía y Minas y con la asistencia de socios técnicos, CEGESTI, Centro Mario Molina Chile (CMMCh) y J&J Consulting.

¹ www.ccacoalition.org

Contenido

ANTECEDENTES.....	5
SITIO DE MONITOREO.....	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
Comparación con estaciones cercanas.....	12
Comparación con otros países de Latinoamérica.....	13
Caso San José, Costa Rica.....	13
Asunción, Paraguay y Montevideo, Uruguay.....	14
CONCLUSIÓN.....	15
ANEXO.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Promedio anual de MP_{10} en distintas estaciones de Santo Domingo, con el promedio de las mismas y la normativa anual de la OMS.	5
Figura 2 Mapa con la ubicación de sitio de monitoreo utilizado	7
Figura 3 Imágenes del sitio de monitoreo en la Av. Luperón.....	7
Figura 4 Monitores continuos: A) DustTrak, B) Microaethalometer.	8
Figura 5 Perfil diario promedio de la temperatura y la velocidad del viento en el Ministerio de Medio Ambiente para el mes de diciembre del 2012 y el 2013.	9
Figura 6 Rosas de viento promedio de las horas del día y de las horas de la noche en el Ministerio del Medio Ambiente para el mes de diciembre del 2012 y el 2013.	9
Figura 7 Serie de tiempo de los contaminantes medidos en la campaña, (Elaboración Propia) .	10
Figura 8 Gráficos de dispersión entre los dos contaminantes con la recta de su correlación lineal (anaranjado) y su intervalo de confianza del 95% para cada sitio de monitoreo Av. Luperón (Elaboración Propia)	11
Figura 9 Perfiles diarios de los dos contaminantes para el sitio de monitoreo, Av. Luperón. (Elaboración Propia)	12
Figura 10 Mediciones diarias de MP_{10} históricas en el Ministerio y ONAMEL desde el 2012 al 2014.	12
Figura 11 Perfiles diario de $MP_{2,5}$ y BC en San José, Noviembre 2015.	14
Figura 12 Gráfico de las concentraciones de BC medidas en Asunción y Montevideo, el 2014 y 2013, respectivamente.	14

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Volumen vehicular diario por la Av. Luperón.- Año 2006.....	6
Tabla 2 Estimaciones de gases y material particulado proveniente del tráfico vehicular para dos años (Fuente Sánchez & Souffront, 2008)	6
Tabla 3 Especificidades de los monitores utilizados en la campaña.	8
Tabla 4 Parámetros estadísticos y su relación en cada sitio de monitoreo	10
Tabla 5 Resultados de la correlación lineal entre ambos contaminantes en cada sitio de monitoreo	11
Tabla 6 Parámetros estadísticos de los parámetros y su relación en los sitios históricos de República Dominicana ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	13
Tabla 7 Parámetros estadísticos de las mediciones en San José	13
Tabla 8 Factores de emisión estimados para flota vehicular de Santo Domingo y Santiago	16

OBJETIVO

El objetivo es sensibilizar a las autoridades sobre los niveles de concentraciones de contaminantes cancerígenos (WHO, 2012) en Santo Domingo, para de esta manera poder realizar una campaña de monitoreo y determinar el impacto del transporte en la calidad del aire en Santo Domingo.

ANTECEDENTES

En República Dominicana la contaminación atmosférica ha comenzado a evidenciarse a través de estaciones de monitoreo discreto de Material Particulado de diámetro aerodinámico de 10 μm . En la capital, Santo Domingo, las principales estaciones de monitoreo registran promedios anuales que sobrepasan la normativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS) desde el 2012 al 2015 (ver en Figura 1).

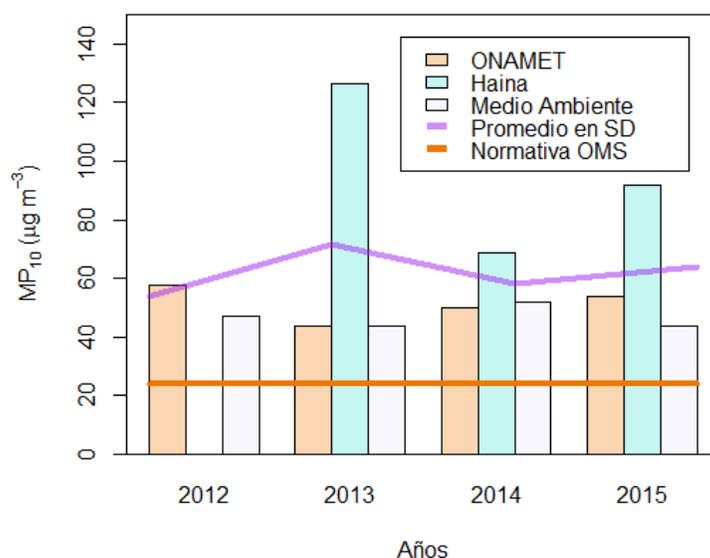


Figura 1 Promedio anual de MP₁₀ en distintas estaciones de Santo Domingo, con el promedio de las mismas y la normativa anual de la OMS.

Como en muchas ciudades, la necesidad de traslado genera un aumento en el mercado automotriz, lo cual a su vez produce un aumento en las emisiones vinculadas al tráfico vehicular. En Santo Domingo se realizó un estudio que estima las emisiones de gases generadas por el transporte que hay en dos calles dentro de la ciudad (Sanchez, A., & Souffront, M., 2008). La primera parte del estudio fue el conteo vehicular en un día del mes de Julio en ambas calles para dos años, 2006 y 2008, un ejemplo de los resultados se representa en la Tabla 1. En la

segunda parte se estiman las emisiones con los factores de emisión de Engine, Fuel and Emissions Engineering (EF & EE) (ver en Anexo) que dan como resultado la Tabla 2.

Tabla 1 Volumen vehicular diario por la Av. Luperón.- Año 2006

Tipo de Vehículo	Cantidad de vehículos registrados		
	Lunes a viernes*	Sábados**	Domingos***
Autos Privados (Gasolina)	38478	23087	7696
Autos Privados (GLP)	4275	2565	855
Camionetas Ligeras y Medianas	3850	2310	770
Camionetas Pickup-Gasolina	428	257	86
Camionetas Pickup-GLP	9982	5989	1996
Camionetas Doble Cabina (Gasoil)			
Vehículos Pesados (Diesel)	1355	813	271
Omnibus¹	5779	3467	1156
Carga²	800	480	160
Volteos			
Motocicletas de dos tiempos (Gasolina)	2561	1537	512

(*) Obtenidos del conteo directo de los vehículos en circulación

(**) Estimados que los sábados circula el 80% del total de vehículos contabilizados de lunes a viernes

(***) Estimados que los domingos circula el 20% del total de vehículos contabilizados de lunes a viernes

¹Incluye los omnibuses públicos y privados

²Incluye Camiones, patanas y furgones

Tabla 2 Estimaciones de gases y material particulado proveniente del tráfico vehicular para dos años (Fuente Sánchez & Souffront, 2008)

Emisiones	Año 2006	Año 2008
CO (ton)	1.079,51 · 10 ⁴	1.574,78 · 10 ⁴
NO_x (ton)	208,11 · 10 ⁴	244,96 · 10 ⁴
COV (ton)	128,23 · 10 ⁴	179,06 · 10 ⁴
SO_x (ton)	38,26 · 10 ⁴	39,77 · 10 ⁴
MP_{2,5} (ton)	30,69 · 10 ⁴	32,56 · 10 ⁴

A pesar de los estudios realizados, la falta de mediciones continuas de material particulado genera un vacío en el conocimiento sobre los ciclos diarios y la relación entre la calidad del aire y las emisiones de fuentes.

SITIO DE MONITOREO

Para evidenciar la exposición de la comunidad a las emisiones por tráfico vehicular se midieron $MP_{2,5}$ y BC en un sitio de monitoreo en la Av. Gregorio Luperón, ubicación que se presenta en la Figura 2.



Figura 2 Mapa con la ubicación de sitio de monitoreo utilizado

La campaña de monitoreo se realizó entre los días 27 de noviembre y 1 de diciembre del año 2017, instalándose la toma de muestra a una altura aproximada de 2 metros de tal forma de recibir el impacto directo de las emisiones vehiculares de la avenida (Figura 3).



Figura 3 Imágenes del sitio de monitoreo en la Av. Luperón..

Las mediciones continuas (cada 5 minutos) de $MP_{2,5}$ se realizaron con un nefelómetro comercial (DustTrak Modelo 8520, TSI), mientras que para las mediciones continuas de BC se utilizó un equipo óptico (Microaethalometer, Modelo AE51, AethLabs), ambos representados en la Figura 4. Los detalles de los instrumentos utilizados se entregan en la Tabla 3.



Figura 4 Monitores continuos: A) DustTrak, B) Microaethalometer.

Tabla 3 Especificidades de los monitores utilizados en la campaña.

Especificidad	DustTrak	Microaethalometer
Rango	0,001 a 100 mg/m^3	0-1 mg/m^3
Resolución	$\pm 0,1\%$ de lectura de 0,001 mg/m^3 , el que sea mayor	0,001 $\mu g BC/m^3$
Caudal	1,7 L/min	50 mL/min
Tiempo de muestreo	5 min	5 s
Principio de operación	Dispersión de luz	Atenuación de un haz de luz a través de un filtro

En relación a las condiciones ambientales en el punto de monitoreo, existe una estación meteorológica ubicada aproximadamente a 3 kilómetros de distancia de la estación en la Av. Luperón, la cual está a cargo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Para poder tener una referencia de los parámetros meteorológicos se realizaron gráficas con datos disponibles del mes de diciembre correspondientes a los años 2012 y el 2013. En la Figura 5 se observa como la temperatura y la velocidad del viento tienen aumentos desde antes de las 9 de la mañana. En la Figura 6 se observan las rosas de viento para el día y la noche, donde se observa como la mayoría de los vientos provienen desde el suroeste.

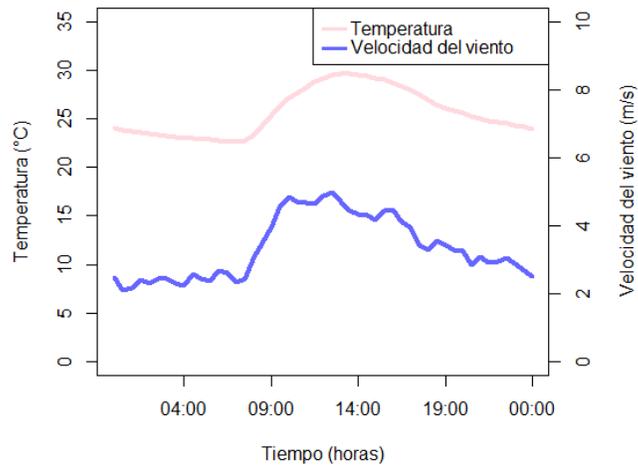


Figura 5 Perfil diario promedio de la temperatura y la velocidad del viento en el Ministerio de Medio Ambiente para el mes de diciembre del 2012 y el 2013.

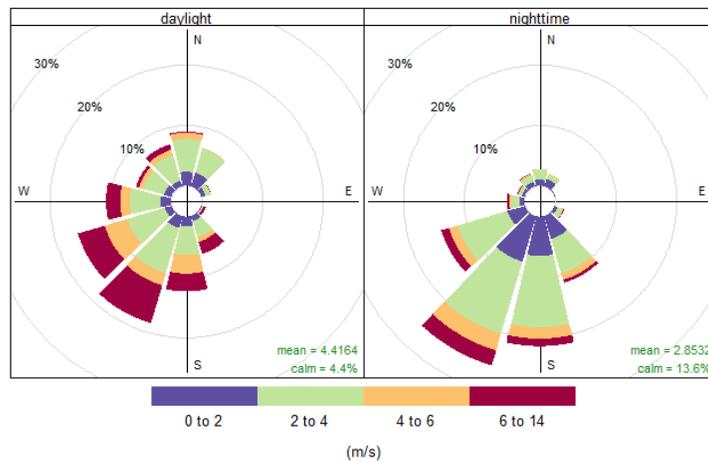


Figura 6 Rosas de viento promedio de las horas del día y de las horas de la noche en el Ministerio del Medio Ambiente para el mes de diciembre del 2012 y el 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La serie de tiempo de los datos se muestra en la Figura 7, donde se presentan las mediciones promediadas cada una hora, en anaranjado se registra el $MP_{2,5}$ y en celeste el BC. La ausencia de datos del día martes 29 en el equipo de $MP_{2,5}$ se debió a problemas técnicos. El análisis estadístico descriptivo de la campaña se entrega en la Tabla 4.

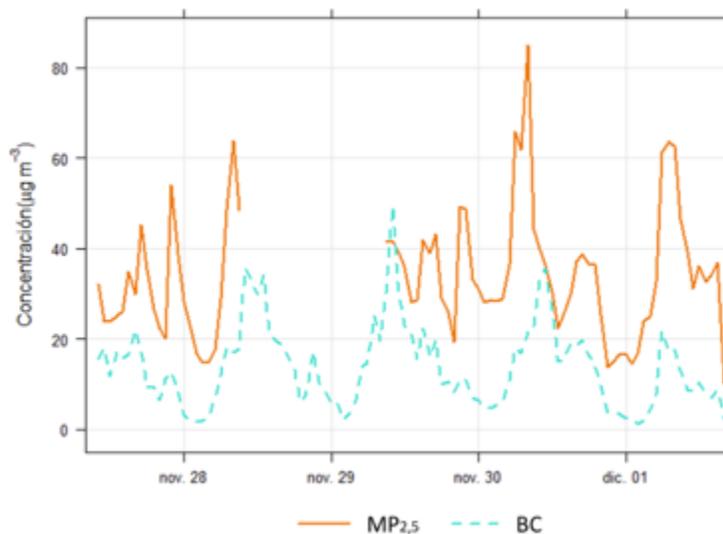


Figura 7 Serie de tiempo de los contaminantes medidos en la campaña, (Elaboración Propia)

Tabla 4 Parámetros estadísticos y su relación en sitio de monitoreo

Sitio	Parámetros	Promedio	Des. Est.	Máx.	Mín.
Av. Luperón	$MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	35,44	19,87	189,81	9,65
	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,75	12,32	96,36	0,74
	BC/ $MP_{2,5}$	0,43	0,36	2,29	0,04

El análisis de regresión entre el BC y $MP_{2,5}$ se representan en las gráficas de dispersión en la Figura 8, y en la Tabla 5. En la estación de monitoreo se observa una correlación positiva estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

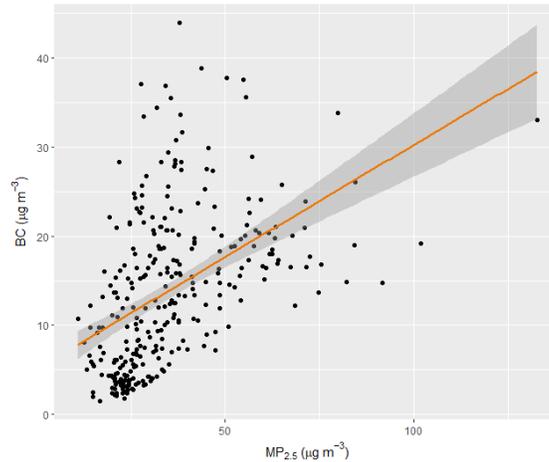


Figura 8 Gráficos de dispersión entre los dos contaminantes con la recta de su correlación lineal (anaranjado) y su intervalo de confianza del 95% para cada sitio de monitoreo Av. Luperón (Elaboración Propia)

Tabla 5 Resultados de la correlación lineal entre ambos contaminantes en sitio de monitoreo

Sitio	n	r	r ²	Valor p	Pendiente	Intercepto
Av. Luperón	303	0,472	0,222	$3,53 \cdot 10^{-18}$	0,89	22,94

El perfil promedio diario de la estación se entrega en la Figura 9. En la Av. Luperón se puede observar como las concentraciones de MP_{2,5} presenta el mismo perfil que el BC. El MP_{2,5} muestra el máximo entre las 6-9 horas de la mañana y luego disminuye a casi la mitad, mientras que el BC presenta mayores concentraciones en un período de tiempo más amplio (6 a las 18 horas). Es probable que lo anterior esté relacionado a que en la mañana hay un mayor flujo de vehículos particulares que emiten una concentración menor de BC o hay alguna emisión desde otra área.

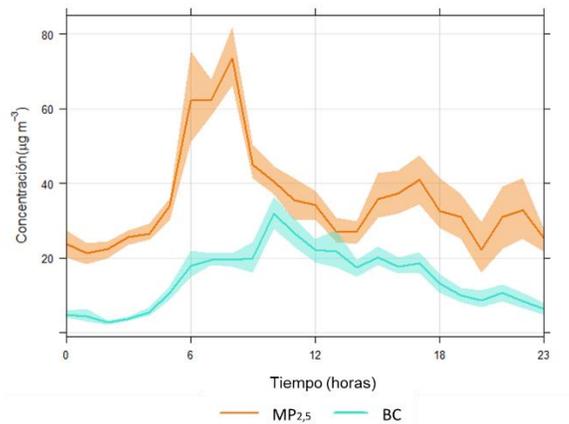


Figura 9 Perfiles diarios de los dos contaminantes para el sitio de monitoreo, Av. Luperón. (Elaboración Propia)

Comparación con estaciones cercanas

Actualmente existen datos de MP₁₀ en distintos sectores de Santo Domingo, dos de ellos se ubican en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y en Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET). Los registros del año 2012 al 2014 de estas estaciones se muestran en Figura 10, teniendo como parámetros estadísticos los de la Tabla 3. Teniendo en cuenta que el promedio de MP_{2.5} medido en la campaña es igual a 35,44 µg/m³, esta fracción vendría siendo aproximadamente un 70% del MP₁₀ en las mediciones históricas.

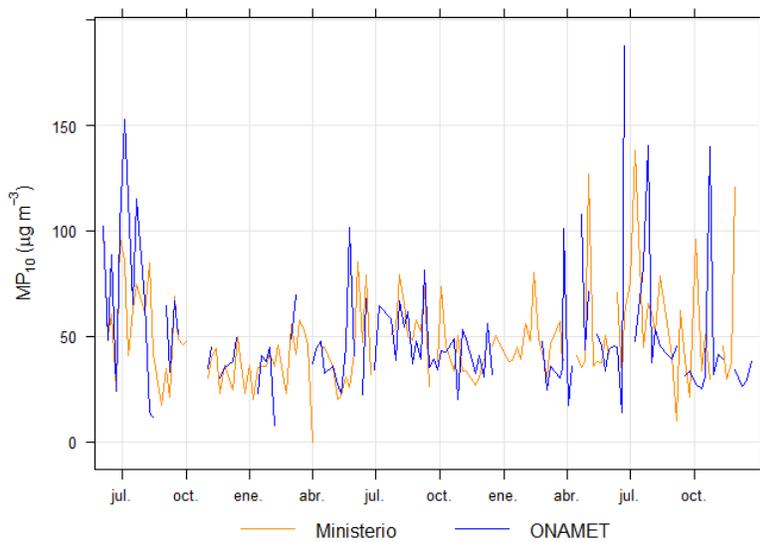


Figura 10 Mediciones diarias de MP₁₀ históricas en el Ministerio y ONAMET desde el 2012 al 2014.

Tabla 6 Parámetros estadísticos y su relación en los sitios históricos de República Dominicana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Sitios	Parámetro	Promedio	Des. Est.	Máx.	Mín.
MMA	MP ₁₀	47,55	21,86	138	0
ONAMET	MP ₁₀	49,67	29,57	188	7,9

Comparación con otros países de Latinoamérica

Caso San José, Costa Rica

En el 2015 se realizaron mediciones de MP_{2,5} y BC en la ciudad de San José, Costa Rica, campaña que duró una semana del mes de noviembre, periodo similar al medido en esta campaña. Los resultados estadísticos se muestran en la *Tabla 7*. Comparativamente se observa que el porcentaje de BC en el MP_{2,5} medido en San José es menor al registrado en la estación de Santo Domingo.

Tabla 7 Parámetros estadísticos de las mediciones en San José

	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC en MP _{2,5} (%)
Promedio	24,0	7,1	30
Max registro	260,0	45,8	

En relación al comportamiento diario de las concentraciones de los contaminantes medidos, fueron desarrollados perfiles diarios de San José, los cuales se presentan en la Figura 11. Se destaca en las concentraciones de BC la influencia del transporte con los dos picos generados en las horas de mayor tráfico, a las 6 y 16 horas.

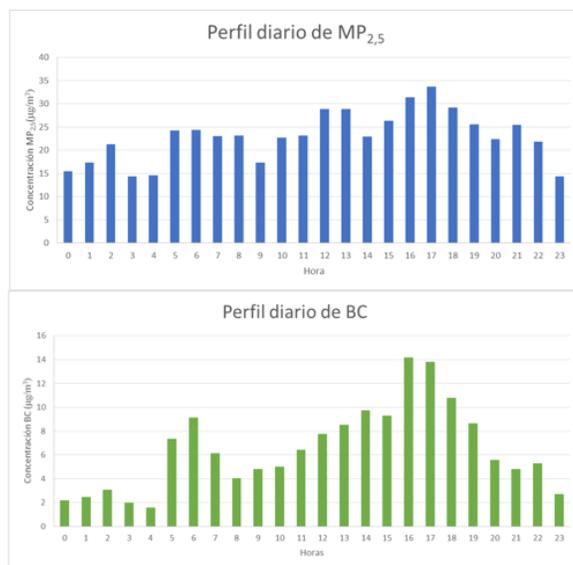


Figura 11 Perfiles diario de MP_{2,5} y BC en San José, Noviembre 2015.

Asunción, Paraguay y Montevideo, Uruguay

En los años 2014 y 2013 se midió BC en el centro de las ciudades de Asunción y Montevideo, respectivamente, los resultados se muestran en la Figura 12. Al haber medido en las horas de mayor tráfico, en las dos ciudades se observaron concentraciones que sobrepasan los 60 µg/m³.

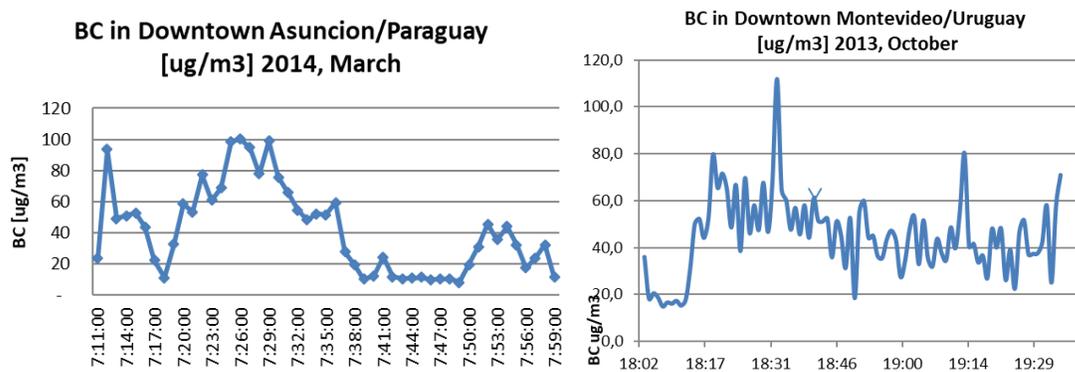


Figura 12 Gráfico de las concentraciones de BC medidas en Asunción y Montevideo, el 2014 y 2013, respectivamente.

CONCLUSIÓN

A partir de esta campaña de monitoreo de contaminantes atmosférico que afectan la calidad del aire, se puede visualizar el impacto vehicular significativo en el sitio de monitoreo de Santo Domingo manteniendo una relación promedio BC/MP_{2,5} de 0,43 y una correlación positiva estadísticamente significativa.

En la Avenida Luperón se registraron mayores niveles de MP_{2,5} durante el horario punta de la mañana entre las 6-9 horas, mientras los valores más altos del BC se presentan en un rango de tiempo más extenso del día, fenómeno que podría estar explicado por otras fuentes de emisión de BC. Al comparar los datos medidos con los históricos (Figura 10) es posible entender que un gran porcentaje de la contaminación generada en Santo Domingo proviene del MP_{2,5}, donde más de un 40% está representado en el BC. Santo Domingo, al igual que muchas otras ciudades Latinoamericanas (por ejemplo San José, Asunción y Montevideo), presenta una contaminación significativamente relacionada con el transporte vehicular.

ANEXO

Tabla 8 Factores de emisión (g/km) estimados para flota vehicular de Santo Domingo y Santiago

Tipo de Vehículo	CO	NOx	MP _{2,5}	SO _x	VOC
Autos Privados (Gasolina)	35,40	1,70	0,06	0,07	3,50
Camionetas Ligeras y Medianas	35,40	2,00	0,10	0,10	3,50
Camionetas Pickup-Gasolina	2,80	1,60	0,60	0,92	0,70
Camionetas Doble Cabina (Gasoil)					
Vehículos Pesados (Diesel)	7,40	18,00	2,50	2,49	1,50
Omnibus	2,80	1,60	0,60	0,92	0,70
Carga	8,00	16,20	1,60	2,21	2,00
Volteos					
Motocicletas de dos tiempos (Gasolina)	7,20	0,02	0,31	0,02	5,90

Contaminantes vehiculares que afectan la calidad del aire y deterioran la salud humana