

ESTUDIO DE CALIDAD DEL AIRE PARA APOYAR EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA FUTURA RED DE MONITOREO DE ASUNCIÓN

INFORME FINAL

ELABORADO PARA PETROBRAS PARAGUAY OPERACIONES Y LOGISTICA
S. R. L.



www.cmmolina.cl

[\(+56\) 2 247 9650](tel:+5622479650)

cmmolina@cmmolina.cl

[Antonio Bellet 292 int. 602
Providencia, Santiago](#)

INDICE

1	ANTECEDENTES	3
1.1	Objetivo General.	3
2	INTRODUCCIÓN	3
2.1	Contexto	4
2.2	Calidad del Aire	5
2.3	Quema de Biomasa	6
2.4	Energía y Combustibles	6
2.5	Transporte Vehicular en la Región	7
3	EJECUCIÓN DE CAMPAÑA MONITOREO 2018	9
3.1	MP _{2,5} en un Sitio Histórico	9
3.2	Monitoreo Pasivo de SO ₂	11
4	RESULTADOS CAMPAÑA DE MONITOREO	13
4.1	Mediciones de Material Particulado 2,5 (MP _{2,5})	13
4.2	Mediciones de Composición Elemental	19
4.3	Mediciones de Black Carbon (BC)	23
4.4	Mediciones de Tubos Pasivos Dióxido de Azufre (SO ₂)	26
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
6	ANEXO	31
6.1	Capacitación en Chile de una Persona de Asunción – Paraguay.	31
6.2	Cronograma Visita Ingeniero Federico Schroeder (SEAM).	32
6.3	Reporte Acerca de la “Capacitación técnica en el Centro Mario Molina Chile, 25 al 30 de junio de 2018 – Santiago de Chile”, Desarrollado por el Ingeniero Federico Schroeder (SEAM).	33
6.4	Presentación Capacitación Estudio Asunción – Paraguay 2018.	35
6.5	Envío de Equipamiento e Insumos de Chile a Asunción – Paraguay.	42
6.6	Presentación Lanzamiento Estudio Asunción – Paraguay 2018.	43
6.7	Temperatura Ambiente y Porcentaje Humedad Relativa Año '10-'14-'18.	51
6.8	Rosa de Viento Año '10-'14-'18.	54
6.9	MP _{2,5} vs. “Precipitaciones” Año '10-'14-'18.	56

1 Antecedentes

PETROBRAS PARAGUAY OPERACIONES Y LOGÍSTICA S.R.L. (Petrobras) y CENTRO PREMIO NOBEL MARIO MOLINA PARA ESTUDIOS ESTRATÉGICOS SOBRE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE CHILE LTDA (CMM) han establecido un Convenio de Cooperación para implementar el proyecto denominado “Estudio de calidad del aire para apoyar el diseño e implementación de la futura red de monitoreo de la ciudad de Asunción”.

Este estudio busca generar antecedentes que sirvan de línea base para el diseño de la futura red de monitoreo nacional. Considera la ejecución de la campaña de monitoreo 2018 en Asunción para poder compararla con las otras campañas realizadas en dos oportunidades previas (años 2010 y 2014).

En adición a las actividades de la campaña de monitoreo 2018, en esta oportunidad se consideró relevante fortalecer las capacidades locales de Asunción. Por tal motivo se incorporaron una serie de instancias que consideran la participación de personal de la SEAM durante el proyecto, asesorados por profesionales de Centro Mario Molina (CMM).

Este informe corresponde al segundo de tres, conteniendo el reporte de actividades realizadas hasta la fecha y resultados preliminares.

1.1 Objetivo General.

Este proyecto tiene como objetivo general levantar antecedentes que sirvan de línea base para el diseño de la futura red de monitoreo nacional, y transferir las herramientas necesarias que lleven a fortalecer las capacidades técnicas locales en este tema.

Se han establecido los siguientes objetivos específicos para el estudio.

1. Transferencia de conocimiento de materias de calidad del aire de CMM a actores locales de Asunción.
2. Entregar datos de calidad del aire para el año 2018 en el área urbana y rural del Gran Asunción.
3. Entregar información necesaria para el soporte de la futura red de monitoreo de calidad del aire.
4. Determinar el aporte de las distintas fuentes que están impactando en la calidad del aire (ej. combustión de biomasa, transporte, industrias, etc.).

2 Introducción

2.1 Contexto

Desde las últimas décadas los problemas de calidad del aire en ciudades urbanas han ido adquiriendo vez de mayor preocupación, producto los acelerados procesos de industrialización y urbanización. Los países en vías de desarrollo experimentan un crecimiento poblacional y una mayor acumulación de personas en áreas urbanas. Sin embargo, el crecimiento exitoso de una ciudad requiere que sea de forma sustentable con el medioambiente, ya que con el tiempo son mayores las demandas de energía y recursos que requieren para funcionar. Siguiendo esta tendencia, se encuentra que la población de Paraguay ha experimentado un crecimiento importante, y se proyecta una tasa de crecimiento anual de 1.40% al año 2020. La población estimada para el año 2018 es de 7.052.983 habitantes (proyección del CENSO 2012).

Este estudio se desarrolla dentro del contexto de Área Metropolitana de Asunción, que comprende la capital de del país (Asunción) y su conurbación extendida a 10 distritos del departamento Central.

Asunción es la ciudad más grande de Paraguay y un 37% de la población nacional se concentra en los Departamentos de Asunción y Central.

El empeoramiento de la calidad del aire afecta con mayor fuerza a dos grupos etarios de la población, los niños y ancianos. Si bien, esto se manifiesta en una preocupación actual ya que una fracción importante de la población son niños de 0 a 4 años, se puede predecir que serán más importantes con el tiempo, dado el proceso de envejecimiento etario. Las estadísticas demográficas indican una tendencia hacia el descenso de la población de niños y adolescentes, mientras que hay un aumento de la población de adultos jóvenes. Se observa también que la proporción de población de adultos mayores también está creciendo (Figura 1).

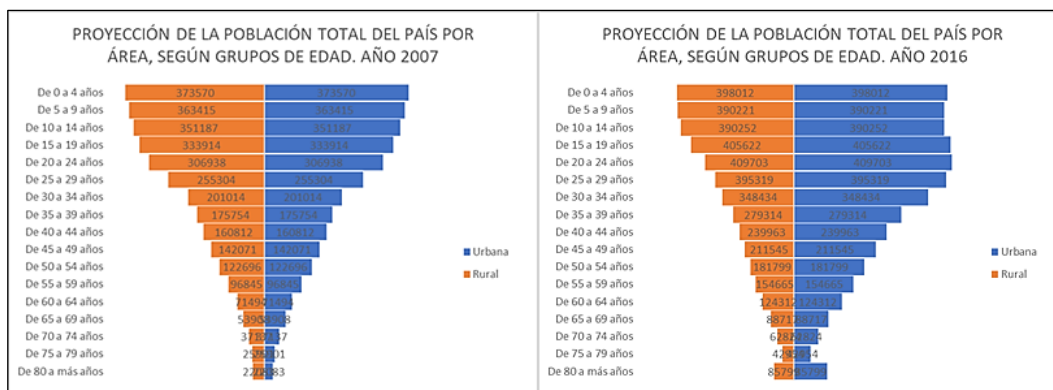


Figura 1: Proyección de la población urbana y total del país según grupos edad, año 2016 y 2007.

Fuente: Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos.

<http://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/indicadores.php>

Asunción está emplazada al lado del río más importante de Paraguay (Río Paraguay). Es navegable por buques de magnitud, y es una importante vía de transporte marítimo y un corredor comercial. Si bien, la topografía de la ciudad se caracteriza como irregular, debido a que la ciudad fue construida sobre colinas históricas, no se divisan alturas obstrucciones significativas para los vientos. El punto más elevado de Asunción es el cerro Lambaré, con 156 msnm, rodeado por una pequeña masa forestal. Esto hace pensar que Asunción sea

una ciudad con relativa buena ventilación, y se espera que el río Paraguay influya los patrones de circulación de los vientos, especialmente en las zonas urbanas más cercanas a ella.

2.2 Calidad del Aire

Durante los últimos años, la contaminación del aire ha cobrado relevancia en Asunción. En específico, en el año 2014 se promulgó la Ley de Aire Limpio (N°5211/14) cuyo enfoque es el control de la emisión de contaminantes al aire. Se establece la creación de un Programa de Control y Monitoreo de las emisiones producidas por las distintas fuentes emisoras y su regulación mediante la dictación de estándares permisibles, sanciones a los transgresores, desarrollo de programas de educación ambiental, entre otros. Esta Ley otorga a la autoridad ambiental, la responsabilidad de elaborar un plan nacional de gestión integrada de las emisiones de gases de fuentes fijas (instalaciones, equipos) y fuentes móviles (vehículos). Simultáneamente, se responsabiliza a las municipalidades en el cumplimiento de los parámetros de protección de la buena calidad del aire, fiscalizando directa o indirectamente la emisión de todo tipo de vehículos, incluyendo el transporte público y privado.

La Ley de Aire Limpio además permite que la Secretaría de Medio Ambiente (SEAM) pueda decretar las concentraciones máximas de la calidad del aire para varios contaminantes “criterios” en busca de protección de la salud pública. Así, en el año 2015, la SEAM presentó sus primeros estándares nacionales de calidad del aire (Res N° 259/15), los cuales establecieron las concentraciones límite permitidos en la atmósfera, para monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃), además del material particulado (MP) en sus fracciones MP₁₀ y MP_{2,5}. La concentración máxima permitida de MP_{2,5} como promedio de 24 horas se fijó en 30 [µg/m³], siendo este uno de los valores exigente considerando los estándares internacionales. Se posiciona después de la Unión Europea y las Guías de la OMS (TABLA 1). Respecto de MP₁₀, Paraguay ha tomado una política similar a la de la USEPA, comando con los mismos estándares.

TABLA 1: ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE (CONCENTRACIÓN LÍMITE PROMEDIO).

	Contaminante Atmosférico										
	MP _{2,5} [µg/m ³]		MP ₁₀ [µg/m ³]		O ₃ [µg/m ³]		NO ₂ [µg/m ³]		SO ₂ [µg/m ³]		
	1 año	24 h	1 año	24 h	1 año	8 h	1 año	1 h	24 h	1 h	10 m
OMS	10	25	20	50	-	100	40	200	20	-	500
USEPA**	12	35	-	150	-	140	100	188	-	196	-
UE***	-	25	40	50	-	120	40	200	125	350	-
Paraguay****	15	30	-	150	-	120	40	200	20	-	-

* Organización Mundial de la Salud, Air Quality Guidelines - Global Update 2005.

** Environmental Protection Agency, National Ambient Air Quality Standards.

*** Unión Europea

**** SEAM, Res. N°259/15.

Mediciones de MP₁₀ y MP_{2,5} disponibles en Asunción ejecutadas en zonas urbanas durante los años 2010 y 2014 han dado niveles promedios contaminación invernales entre un rango de 15 - 25 [µg/m³] para MP_{2,5}, mientras que en los días de mayor contaminación la concentración alcanzaría un valor en el rango 35 - 45 [µg/m³]. Esto permite estimar que los niveles de MP_{2,5} estarían sobrepasando el valor dictado por la norma diaria. Asimismo, otros estudios enfocados en medición de niveles de MP_{2,5} en sectores rurales indican que, en algunos casos, los niveles pueden ser incluso mayores que en zonas urbanas. Estos valores pueden responder al impacto de diversas fuentes de combustión abierta, entre las que

destacan las quemas agrícolas y la quema de leña y carbón (biomasa) en las cocinas de las viviendas rurales.

La composición fisicoquímica del $MP_{2,5}$ está asociada al impacto de las principales fuentes emisoras de la zona. Un componente importante del $MP_{2,5}$ es el carbono elemental (CE), hollín, o black carbon, contaminante emitido directamente por fuentes de combustión. Se pueden identificar también otros compuestos químicos, que resultan de la transformación in situ de sus gases precursores, que experimentan en la atmósfera mecanismos de nucleación, aglomeración y condensación. Éstos terminan en el $MP_{2,5}$ en forma de iones inorgánicos (sulfato, nitrato y amonio), o bien en forma de compuestos orgánicos secundarios. Finalmente, en el $MP_{2,5}$ se identifican además una serie de compuestos denominados “elementos traza”, que generalmente se determinan por medio de un análisis elemental (por ejemplo, fluorescencia de rayos X-XRF). Si bien, están en una cantidad pequeña en las partículas, su determinación es crucial para la identificación y cuantificación de contribuciones de principales fuentes emisoras.

Si bien Paraguay dispone de ley de aire, no tiene de una red de monitoreo de calidad del aire establecida. Así, se vuelve necesario implementar la primera red de monitoreo de calidad del aire que permita así desarrollar satisfactoriamente la vigilancia de los contaminantes criterios establecidos por ley.

2.3 Quema de Biomasa

De los estudios anteriores realizados en Asunción, ha encontrado que la quema de biomasa es un factor importante de la contaminación en Paraguay. Datos estadísticos de la zona coinciden esta observación: Cerca un cuarto de la población nacional ha declarado usar este tipo de combustible para cocinar, especialmente en zonas rurales, donde es usada por más de la mitad de la población. Adicionalmente, un 44,1% de la población quema sus desechos domésticos (basura), con porcentajes altos inclusive en zonas urbanas (21%), lo cual genera así otra fuente de contaminación significativa (Anuario Estadístico del año 2016).

2.4 Energía y Combustibles

Una descripción resumida del panorama nacional es el siguiente. Paraguay es el país con el mayor índice de generador hidroeléctrico per cápita del mundo, que se genera a partir de plantas hidroeléctricas construidas en asociación con Itaipú (Brasil) y Yacyretá (Argentina), y se caracteriza por ser un principal exportador de electricidad principalmente hacia Brasil y Argentina. Paraguay importa casi todo el combustible de petróleo y sus derivados, en donde al año 2013, el diésel y la gasolina alcanzaban el 67,7% y 21,7%, respectivamente.

Se espera que los cambios estructurales de uso de energía, combustibles y características de transporte vehicular de Paraguay se vean reflejados en un cambio en la composición química del $MP_{2,5}$. Esto da la oportunidad de utilizar la composición química del $MP_{2,5}$ como un indicador de eficiencia de introducción de políticas de descontaminación ambiental. Por ejemplo, el azufre (S), componente natural de combustibles fósiles, se encuentra tanto en gasolina como en el diésel. Durante la combustión en los motores, el S se libera en forma gaseosa como óxidos, lo que posteriormente en la atmósfera termina en forma de partículas (sulfatos) contribuyendo a la masa de $MP_{2,5}$. Es por esta razón que cualquier reducción en el contenido de azufre en los combustibles se traduce en una serie de beneficios ambientales. En este sentido, en Paraguay se ha disminuido progresivamente el contenido de azufre en el

diésel, de 4000 [ppm] (partes por millón) en el 2008 a 50 [ppm] en el 2017. La Figura 2 muestra la evolución en las especificaciones para el diésel.



Figura 2: Especificaciones históricas para diésel. Fuente: PETROBRAS.

Durante los años 2011 a 2013, el diésel tipo III, con alto contenido de azufre, siguió siendo el combustible mayormente comercializado en Asunción. No obstante, el diésel tipo I, de bajo contenido de azufre, incrementó su consumo de manera progresiva, indicando el interés de un grupo de consumidores, por el uso de combustibles de mejor calidad. Este grupo está probablemente formado por los vehículos importados nuevos, que incrementaron también, significativamente su participación en el parque automotriz.

2.5 Transporte Vehicular en la Región

El impacto del transporte vehicular en la calidad del aire es significativo, teniendo en cuenta que la flota vehicular es una de las más antiguas de América Latina. Se estima que el transporte vehicular de Asunción es una de las principales fuentes emisoras que contribuyen al $MP_{2,5}$. En el año 2012, se contabilizaba que un 95% de los vehículos grandes operan a diésel, y un 60% de los vehículos livianos. La flota se caracteriza por ser una de las más antiguas de Latinoamérica (60% de los vehículos tienen más de 10 años de antigüedad), ser de segunda mano y predominante de origen japonés. Estas estadísticas son reflejo de la Ley 2018/02 que autorizó la libre importación de vehículos, maquinarias agrícolas y maquinarias de construcción usadas de cualquier tipo u origen, con una edad bajo los 10 años¹.

Tabla 2: Evolución del parque automotor en Paraguay. Fuente: Dirección Nacional del Registro del Automotor.

Dirección del Registro de Automotores									
Tipo	2013	2014	Crecimiento o Porcentual	2015	Crecimiento o Porcentual	2016	Crecimiento o Porcentual	2017	Crecimiento o Porcentual

¹ <https://serviciosaduanerosycomerciales.wordpress.com/sustento-legal-ley-201802-que-autoriza-la-libre-importacion-de-vehiculos-maquinarias-agricolas-y-maquinarias-de-construccion-usadas/>

Automotores	840,602	922,147	9,7	1,074,987	16,6	1,180,007	9,8	1,282,429	8,7
Autos Antiguos	2,158	2,351	8,9	2,559	8,8	2,746	7,3	2,950	7,4
Motocicleta	347,518	414,316	19,2	570,861	37,8	642,241	12,5	727,206	13,2
Total Acumulado	1,190,278	1,338,814	12,5	1,648,407	23,1	1,824,994	10,7	2,012,585	10,3

Los vehículos a diésel es una reconocida fuente emisora de BC, aunque los avances que ha mostrado la tecnología de motores vehiculares han hecho disminuir la emisión de partículas significativamente en los últimos años.

3 Ejecución de Campaña Monitoreo 2018

3.1 MP_{2,5} en un Sitio Histórico

Asunción tiene una oportunidad única de realizar un estudio comparativo con las campañas anteriores (2010 y 2014), con la finalidad de evaluar históricamente el impacto de la aplicación políticas públicas. La propuesta de monitoreo inicialmente consideraba el monitoreo con filtros en el sitio “histórico” UCA, sin embargo, ésta se encontraba en cuarentena por un brote de paperas por lo que no fue posible utilizarlo. Fue por ello por lo que, junto con la contraparte del estudio, se decidió cambiar el sitio de monitoreo por “Touring y Automóvil Club Paraguayo”.

En las otras oportunidades previas del estudio (2010 y 2014) se consideró también la medición de MP con filtros en el sitio Touring. Al mismo tiempo, los resultados de los estudios anteriores indican que el Transporte Vehicular es una de las fuentes emisoras más importantes de Asunción. A la luz de estos antecedentes es posible indicar que el impacto del transporte debería verse reflejado en ambos sitios (Touring o edificio UC), y por lo tanto este cambio de sitio no altera los objetivos del estudio.

El lunes 06-08-2018 se instalaron 2 equipos de monitoreo sobre el techo de la bencinera PETROBRAS (ver Figura 3), ubicada a un costado del “Touring y Automóvil Club Paraguayo”:

1. **Impactador de Harvard de 47 [mm]**: Instrumento² diseñado por la Universidad de Harvard que utiliza la gravimetría para la determinación de las concentraciones de material particulado (MP). El Impactador de Harvard está diseñado especialmente para capturar el material particulado en un filtro (en este caso de 47 [mm]) para su posterior análisis. La característica más relevante del equipo es que puede hacer una clasificación del material particulado por tamaño aerodinámico, con una curva de eficiencia muy aguda. Esto significa que una cantidad muy pequeña de partículas con tamaño distinto al requerido logran pasar hasta el filtro.
2. **MicroAeth**: Monitor portátil que mide la tasa de cambio de absorción de luz debido al depósito continuo de aerosoles sobre un filtro (Black Carbon u Hollín). Se configuró con una resolución temporal de 5 [min] y con un flujo de 50 [mL/min].

² El diseño original se encuentra descrito en: “Impactor Design”. 1979. Virgil A. Marple y Klaus Willeke. Atmospheric Environment Vol 10. 891-896.



Figura 3: Fotografías de la instalación de los equipos de monitoreo en “Touring y Automóvil Club Paraguay”. Izquierda: Fotografía en perspectiva de la ubicación de los equipos de monitoreo sobre el techo de la bencinera PETROBRAS. Derecha: Fotografía de los equipos monitoreo. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, a modo de complemento, se indica el itinerario del Profesional del CMM Claudio Aguilera durante su estadía en Asunción – Paraguay:

- **Miércoles 08-08-2018:** Llegada a Asunción – Paraguay.
- **Jueves 09-08-2018:** Reunión de coordinación con la contraparte del estudio.
- **Viernes 10-08-2018:** Lanzamiento del estudio e instalación de tubos pasivos.
- **Sábado 11-08-2018 y Domingo 12-08-2018:** Instalación tubos pasivos.
- **Lunes 13-08-2018:** Instalación equipos continuos en “Touring y Automóvil Club Paraguay”.

El lanzamiento del estudio se desarrolló el viernes 10-08-2018 en el Salón Auditorio del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Contó con la presencia de referentes de PETROBRAS, de la SEAM, de la CADAM y de la Municipalidad de Asunción. A continuación, se entregan algunas fotografías del lanzamiento:



Figura 4: Fotografías del lanzamiento del estudio de calidad del aire Asunción – Paraguay 2018. Fuente: Fotografías compartidas por PETROBRAS.

La presentación del Profesional del CMM Claudio Aguilera se encuentra en el Anexo.

3.2 Monitoreo Pasivo de SO₂

Para el monitoreo de SO₂ se emplearon 20 muestreadores gaseosos por difusión (comúnmente llamados “tubos pasivos”). Estos consisten en tubos plásticos que contienen en su interior un *muestreador sensible* (ver Figura 5). El *muestreador sensible* consiste en un filtro impregnado con un adsorbente en particular (señalado con el n° 1 en la Figura 6), un anillo (señalado con el n° 2 en la Figura 6) y una malla de acero inoxidable (señalado con el n° 3 en la Figura 6). El filtro impregnado adsorbe el contaminante atmosférico que se desea muestrear (en este caso SO₂), el anillo sirve de unión entre el filtro y la malla, y la malla actúa como una protección mecánica por donde difunde el contaminante atmosférico. Estos dispositivos capturan el gas objetivo utilizando el proceso de difusión, basados en la ley de Fick (Ferm, 2001)³.



Figura 5: A la izquierda, una fotografía de los tubos pasivos de O₃, SO₂, NO₂ y NH₃ respectivamente. A la derecha, una fotografía de los muestreadores sensibles de O₃, SO₂, NO₂ y NH₃ respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

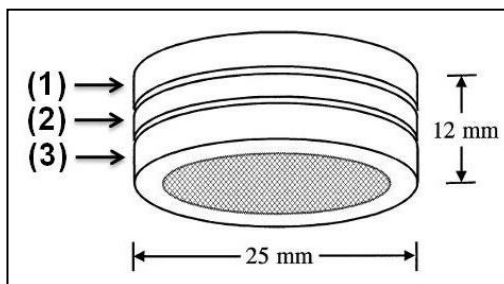


Figura 6: Partes y dimensiones de un muestreador sensible. Fuente: IVL.

A continuación, una imagen satelital de la distribución espacial de los 20 tubos pasivos de SO₂ instalados en el Gran Asunción:

³ “The Theories Behind Diffusive Sampling”, Martin Ferm, 2001.

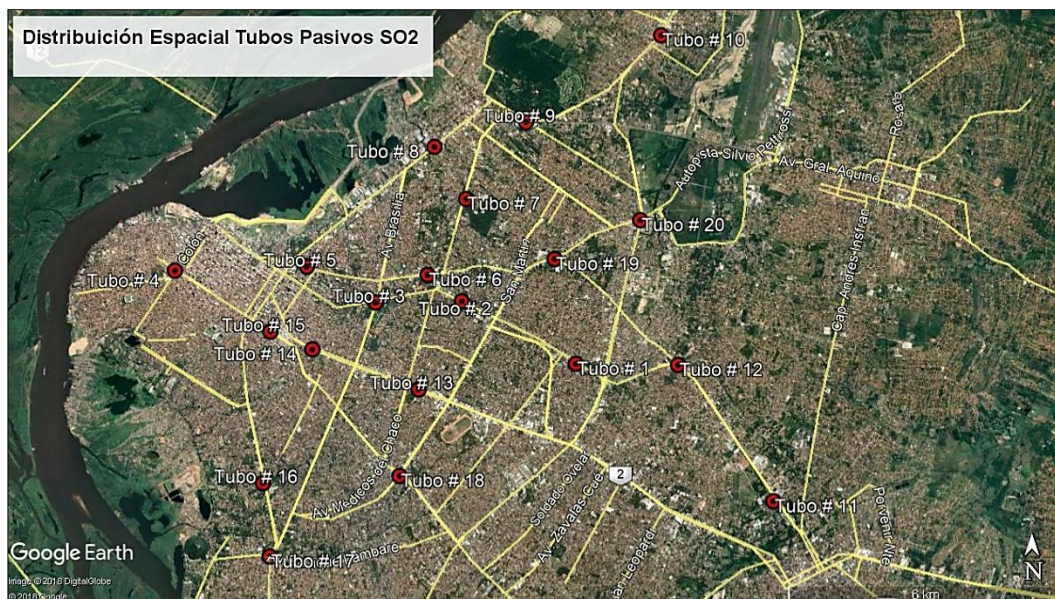


Figura 7: Distribución espacial tubos pasivos de SO₂ instalados en el Gran Asunción 2018.
Fuente: Google Earth.

La instalación de los 20 tubos pasivos de SO₂ se realizó entre el viernes 10-08-2018 y el lunes 13-08-2018, con la colaboración de la contraparte del estudio y la Municipalidad de Asunción. A continuación, se entregan algunas fotografías de la instalación.



Figura 8: Fotografías de la instalación de los tubos pasivos de SO₂. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se entrega una tabla resumen en donde se detalla la fecha y la hora de instalación y las coordenadas geográficas de cada tubo pasivo de SO₂ instalado en el Gran Asunción:

Tabla 3: Tabla resumen con los detalles más relevantes de cada tubo pasivo (número de tubo, fecha y hora de instalación y coordenadas geográficas). Fuente: Elaboración propia.

N° Tubo Pasivo	Fecha de Instalación	Coordenadas UTM	
		Huso: 21	
		Este	Norte
1	10-08-2018, 12:15	443697	7201250
2	11-08-2018, 07:57	441177	7202583
3	11-08-2018, 08:25	439280	7202534
4	11-08-2018, 09:17	434851	7203179
5	11-08-2018, 10:05	437753	7203302
6	11-08-2018, 10:29	440414	7203153
7	11-08-2018, 10:52	441236	7204834
8	11-08-2018, 11:10	440521	7205975
9	11-08-2018, 11:30	442536	7206545
10	11-08-2018, 11:48	445511	7208514
11	12-08-2018, 09:10	448042	7198321
12	12-08-2018, 09:32	445940	7201252
13	12-08-2018, 09:57	440257	7200650
14	12-08-2018, 10:12	437913	7201496
15	12-08-2018, 10:31	436982	7201871
16	12-08-2018, 10:58	436889	7198578
17	12-08-2018, 11:16	437074	7196998
18	12-08-2018, 11:35	439871	7198770
19	13-08-2018, 09:10	443205	7203534
20	13-08-2018, 09:40	445084	7204413

4 Resultados Campaña de Monitoreo

4.1 Mediciones de Material Particulado 2,5 (MP_{2,5})

En la Figura 9 se entrega la concentración de MP_{2,5} registrada para cada día de la campaña 2018. También se incluye el promedio de la campaña de monitoreo (línea continua de color roja) y la norma 24 horas Paraguay (línea continua de color gris). Se observa que la mayor concentración promedio diario de MP_{2,5} fue igual a 66,6 [µg/m³], la cual se monitoreó el lunes 13-08-2018, mientras que la menor concentración promedio diario de MP_{2,5} fue de 7,5 [µg/m³], la cual se monitoreó el domingo 02-09-2018. En casi la mitad de la campaña, la población de la ciudad de Asunción se expuso a concentraciones promedio diario mayores a la establecida por la norma 24 horas. Este número es significativamente mayor al registrado en las campañas de monitoreo de los años anteriores: en el año 2010 fueron sólo 2 días.

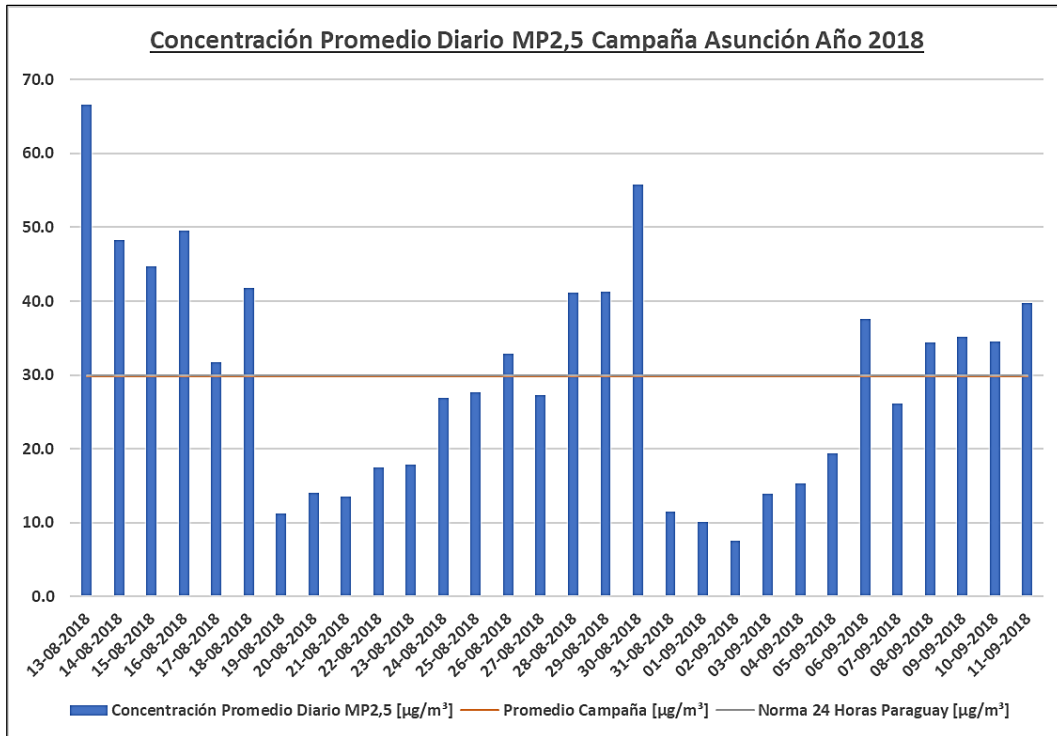


Figura 9: Concentración promedio diario de MP_{2,5} durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018 en “Touring y Automóvil Club Paraguayo”, Asunción/Paraguay. Se señala el promedio de la campaña de monitoreo (línea continua de color roja) y la norma 24 horas Paraguay (línea continua de color gris). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se entregan los resultados comparativos de todos los años (2010, 2014, 2018), y se incluye también los valores de la norma diaria de Paraguay, de la USEPA y la guía respectiva de la OMS. Durante la ejecución de la campaña se encontró que la concentración promedio diario de MP_{2,5} en la ciudad de Asunción fue igual a 30 [µg/m³]. Esto es aproximadamente un 20% más que la concentración promedio encontrada en el 2010 y un 50% más que la encontrada en el año 2014.

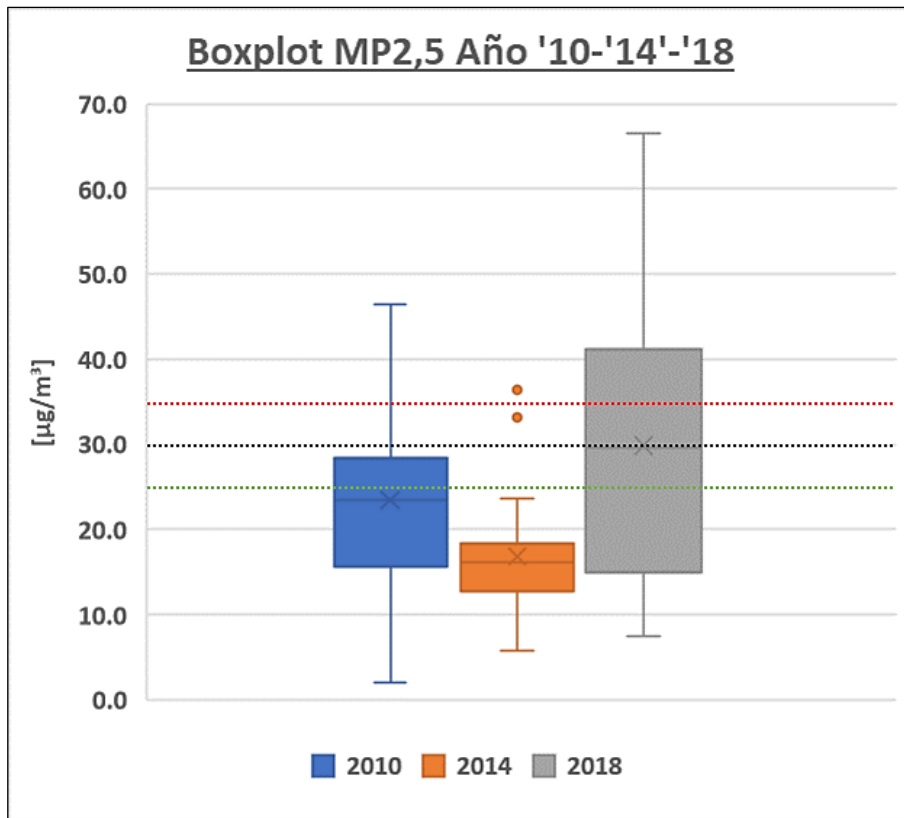


Figura 10: Boxplot MP_{2,5} Asunción/Paraguay Año 2010, 2014 y 2018. Se señala la norma 24 horas USEPA (línea segregada de color rojo), la norma 24 horas Paraguay (línea segregada de color negro) y la norma 24 horas OMS (línea segregada de color verde). Fuente: Elaboración propia.

La disminución de concentración en el año 2014 es explicada en gran medida por el efecto meteorológico, considerando las variables “velocidad del viento” y “precipitaciones”. En el gráfico de la Figura 11 se encuentra que en el año 2014 hay un incremento significativo de velocidades entre 7-8 m/s, lo que favorece la dilución atmosférica. Adicionalmente, durante la campaña de monitoreo del año 2014 se registró un porcentaje de horas con precipitaciones significativamente mayor al de los otros años (casi cinco días con lluvia en la campaña, Tabla 4). De la Figura 12 se desprende que la disminución de la concentración promedio de MP_{2,5} 2018 coincide con el aumento del porcentaje de “horas de precipitación”, actuando como factor mitigador natural a la exposición de Material Particulado.

El año 2018 se registró aproximadamente el doble de precipitaciones que en el año 2010, sin embargo la concentración de MP_{2,5} aumentó, lo que hace estimar que la calidad del aire por MP_{2,5} en Asunción a presentado un empeoramiento.

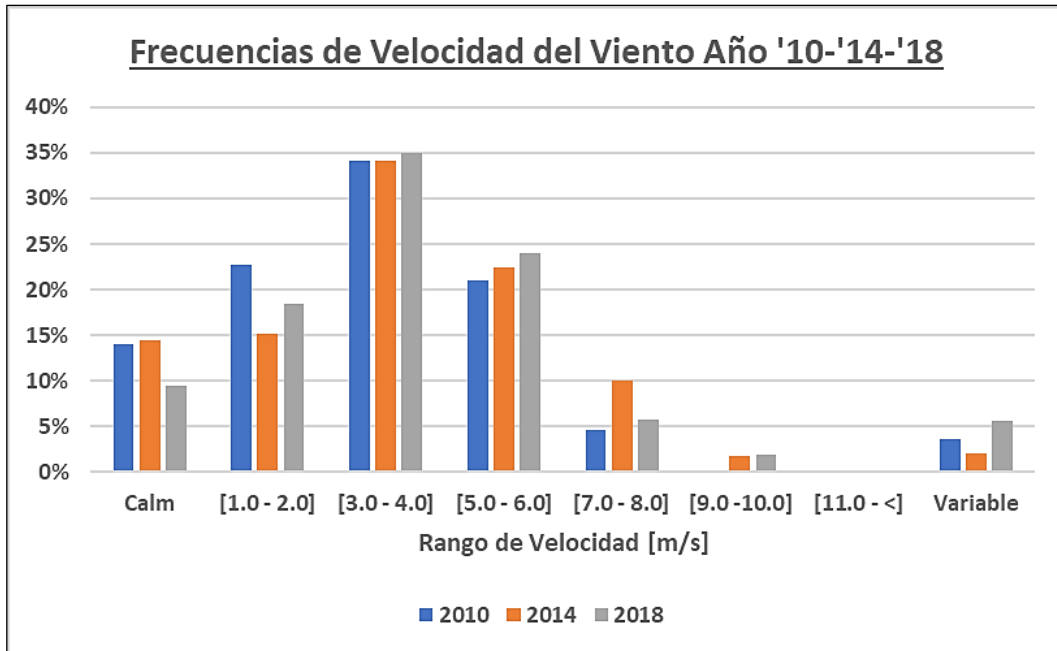


Figura 11: Frecuencias de velocidad del viento Asunción/Paraguay Año '10-'14-'18. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: Resumen de precipitaciones por campaña de monitoreo.

	Duración Campaña de Monitoreo [Horas]	Horas de Precipitaciones	% Horas de Precipitaciones
2010	696	35	5
2014	744	120	16
2018	768	75	10

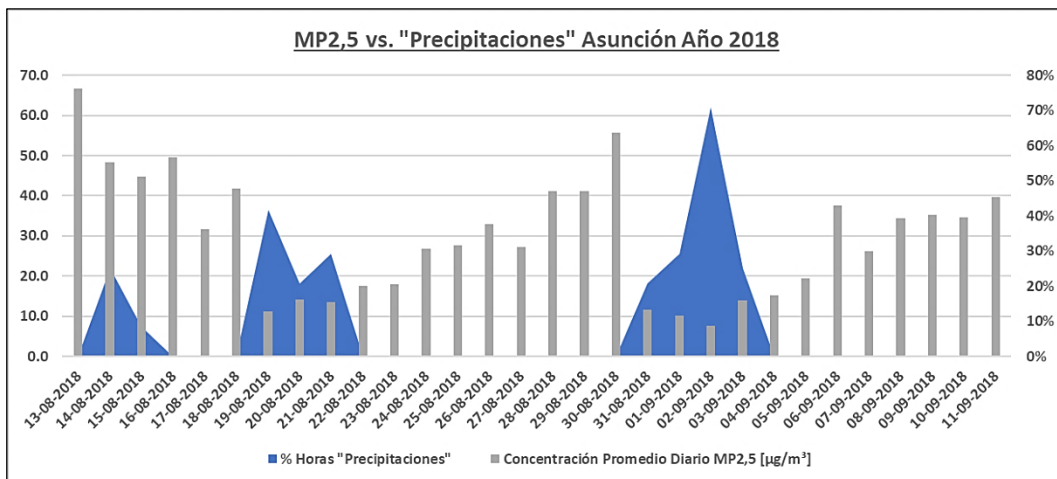


Figura 12: Gráfico MP_{2,5} vs. “Precipitaciones” Asunción/Paraguay Año 2018. Fuente: Elaboración propia.

El perfil promedio diario de concentración de MP_{2,5} se entrega en la Figura 13. Se desprende que de lunes a jueves se encuentran los mayores promedios siendo el jueves el día con

mayor valor. De viernes a domingo, bajan las concentraciones, siendo el domingo el día con menor concentración promedio de la semana (28 $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$). Este comportamiento puede responder al patrón de flujo vehicular, que se espera sea más intenso durante días laborales que en los fines de semana. Por lo tanto, la concentración de $\text{MP}_{2,5}$ está impactada por emisiones de tráfico vehicular.

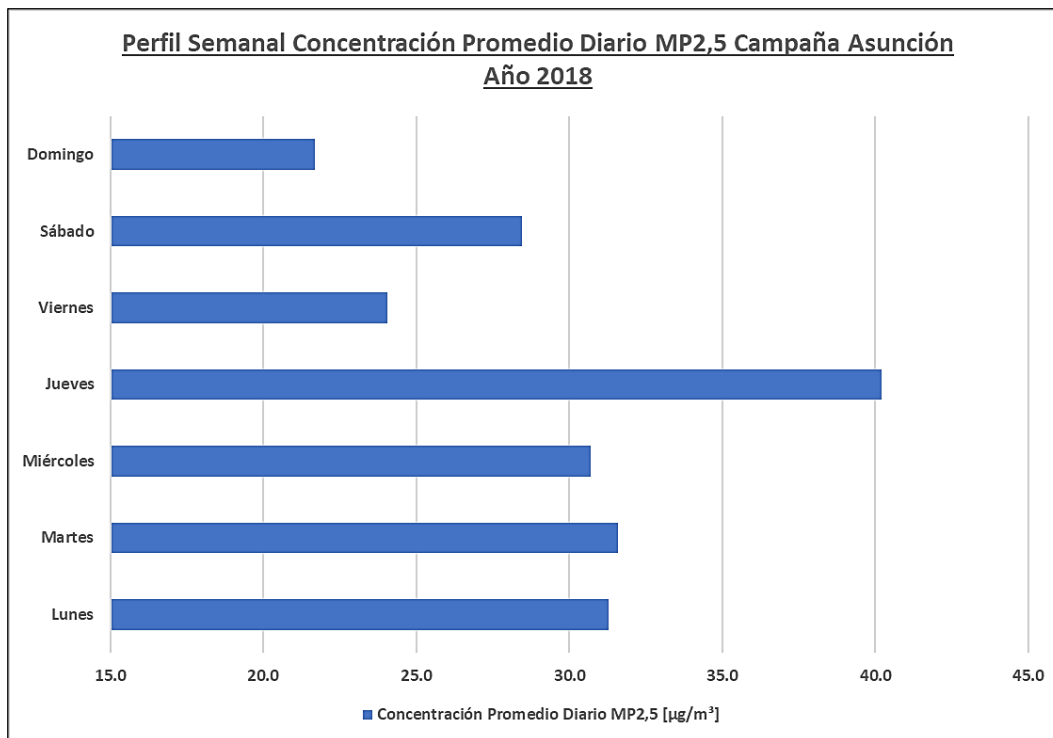


Figura 13: Perfil semanal concentración promedio diario $\text{MP}_{2,5}$ durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018 en “Touring y Automóvil Club Paraguayo”, Asunción/Paraguay. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14 muestra la rosa de viento durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018 en el Aeropuerto Internacional Silvio Pettrossi⁴, el cual se encuentra aproximadamente a 11 [km] (en línea recta) de “Touring y Automóvil Club Paraguayo”. Según esta estación, los vientos principalmente provienen desde el Noreste y Sureste. La dirección predominante del viento fue noroeste (325°) y tuvo una intensidad promedio igual a $4,1 [\text{m}/\text{s}^2]$. En el Anexo se entregan las rosas de vientos de esta misma estación para las fechas de las campañas 2010 y 2014 (ver Rosa de Viento Año '10-'14-'18.), encontrándose valores similares en esta misma estación.

Sin embargo, las rosas de vientos del Aeropuerto son diferentes a las reportadas en la campaña del año 2014 (Figura 15), lo que indica una influencia significativa del Río Paraguay, ya que los datos del año 2014 correspondieron a otra estación de monitoreo. Esto indica que es recomendable disponer de varios puntos de monitoreo meteorológicos para caracterizar el comportamiento de los vientos en Asunción Metropolitano. La información meteorológica de calidad es importante para explicar o predecir la concentración de

⁴ Datos meteorológicos fueron obtenidos desde <https://www.ogimet.com/metars.phtml>

contaminantes y la aplicación de modelos de dispersión atmosférica. La USEPA⁵, para estos casos, tiene una serie de recomendaciones para localización de los sensores de variables meteorológicas de superficie buscando la mejor representatividad del área de interés. En este caso las estaciones ubicadas cerca del río Paraguay no se esperan que puedan representar bien los vientos de zonas más alejadas (más hacia zonas rurales al oeste de Asunción). Así, esta zona se podría considerar como una “área compleja”, ya que las condiciones topográficas afectan significativamente las mediciones meteorológicas, en especial la velocidad y dirección del viento y en menor grado la temperatura y humedad. Una estación adicional podría ser necesaria para evaluar la extensión de la influencia del Río Paraguay en la zona de Asunción.

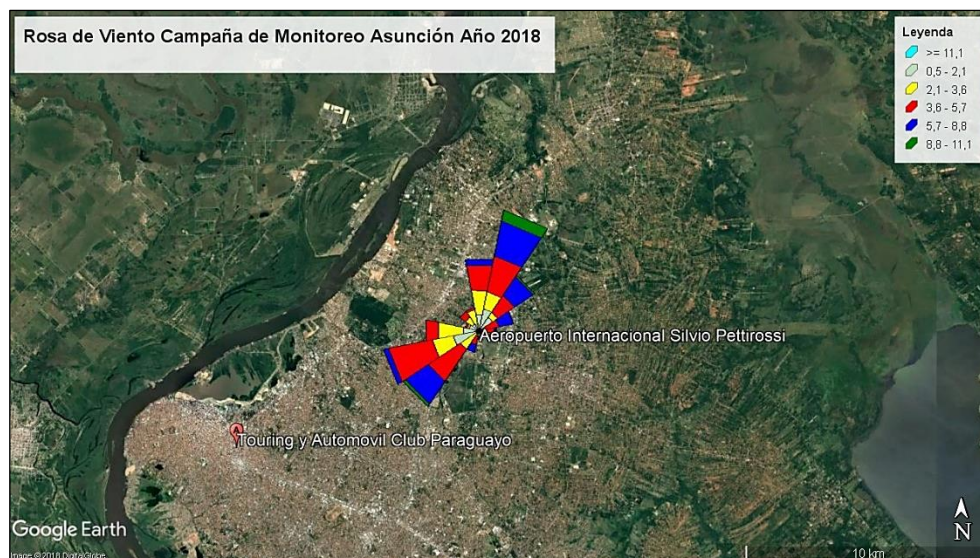


Figura 14: Rosa de viento campaña de monitoreo Asunción/Paraguay Año 2018. Se indica la dirección hacia dónde van los vientos Fuente: Elaboración propia.

⁵ <https://www3.epa.gov/scram001/guidance/met/mmgrma.pdf>

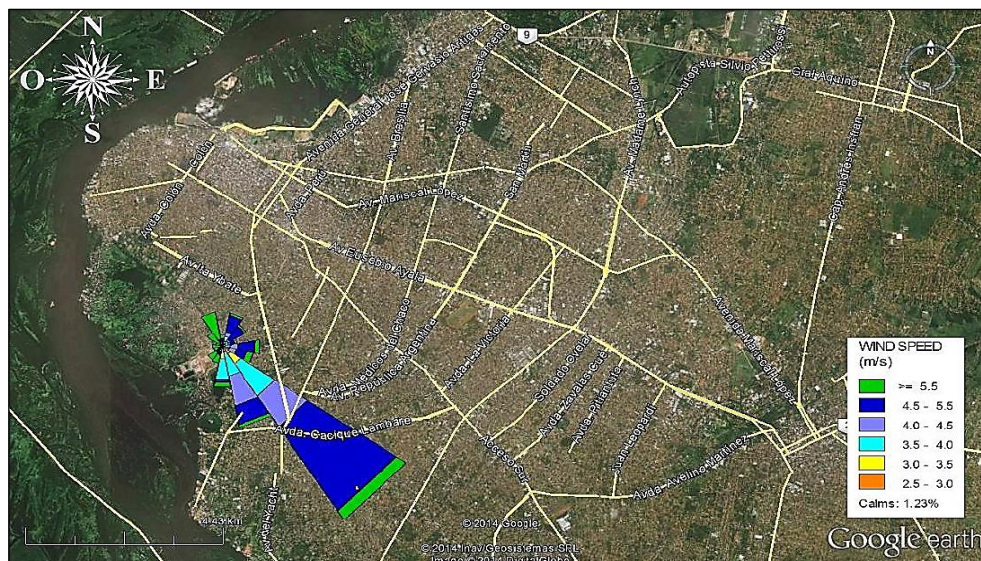


Figura 15: Rosa de viento campaña de monitoreo Asunción/Paraguay Año 2014. Se indica la dirección de donde provienen los vientos. Fuente: Informe Año 2014.

4.2 Mediciones de Composición Elemental

La Tabla 5 muestra el promedio aritmético de concentración y la contribución relativa de composición elemental del $MP_{2.5}$ durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018 en “Touring y Automóvil Club Paraguay”, Asunción/Paraguay.

Tabla 5: Promedio aritmético de concentración y la contribución relativa de composición elemental del $MP_{2.5}$ durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018 en “Touring y Automóvil Club Paraguay”, Asunción/Paraguay. Fuente: Elaboración propia.⁶

Parámetro	Unidad	Promedio Aritmético			Contribución Relativa		
		Año			Año		
		2010	2014	2018	2010	2014	2018
$MP_{2.5}$	$[\mu g/m^3]$	24.000	19.000	28.000	-	-	-
Ag	$[ng/m^3]$	0.400	INV	INV	0.002%	INV	INV
Cd		0.110	INV	INV	0.000%	INV	INV
Sb		1.230	INV	INV	0.005%	INV	INV
Pb		4.180	INV	8.930	0.017%	INV	0.032%
Bi		0.080	INV	INV	0.000%	INV	INV
Na		93.910	86.750	61.960	0.391%	0.457%	0.221%
Mg		6.610	INV	44.330	0.028%	INV	0.158%
Al		58.070	91.890	55.060	0.242%	0.484%	0.197%
Ca		35.830	93.530	144.470	0.149%	0.492%	0.516%
V		0.340	INV	INV	0.001%	INV	INV

⁶ El procedimiento de cálculo fue el siguiente: del total de número de muestras, sólo se consideraron válidos aquellos elementos en que al menos el 50% de los valores promedios fuesen mayores que su incertidumbre. Se estima que dicho porcentaje es representativo de la campaña de monitoreo del año 2018.

Parámetro	Unidad	Promedio Aritmético			Contribución Relativa		
		Año			Año		
		2010	2014	2018	2010	2014	2018
Cr		1.930	INV	2.880	0.008%	INV	0.010%
Mn		3.240	6.090	3.510	0.014%	0.032%	0.013%
Fe		68.970	91.810	100.310	0.287%	0.483%	0.358%
Ni		0.770	INV	INV	0.003%	INV	INV
Cu		1.310	INV	11.750	0.005%	INV	0.042%
Zn		17.170	10.950	26.540	0.072%	0.058%	0.095%
As		0.100	INV	INV	0.000%	INV	INV
K		427.830	493.170	591.470	1.783%	2.596%	2.112%
S		INV	358.920	251.320	INV	1.889%	0.898%
Cl		INV	21.560	69.470	INV	0.113%	0.248%

De la Tabla 5 se desprende que, de los elementos que se pueden comparar para las 3 campañas de monitoreo:

El S ha presentado una disminución significativa al año 2018, indicando que las políticas de desulfuración de combustible han tenido un impacto medible en la calidad del aire. Esta tendencia es la misma encontrada para los resultados de monitoreo de gases en base a tubos pasivos (sección Mediciones de Tubos Pasivos Dióxido de Azufre (SO₂))

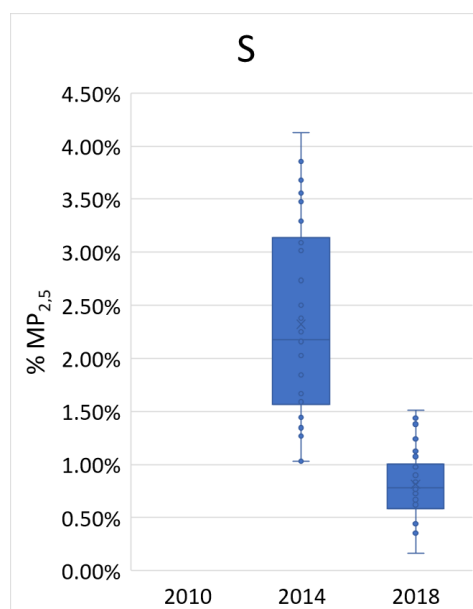


Figura 16: contribución relativa de S al MP_{2.5} para cada campaña de monitoreo.

Aumentó la contribución de Ca al MP_{2.5}. Dicho aumento, no habiendo ninguna actividad de construcción cerca del sitio de monitoreo durante la campaña, se debería al incremento del polvo resuspendido, principalmente al aumento del tráfico vehicular (remoción de material en las calles). También se observó un aumento de la contribución de Zn al MP_{2.5}. Dicho aumento también estaría influenciado por el incremento del tráfico vehicular cerca de la

zona, ya que este elemento suele estar presente como aditivo o impureza en el combustible diésel y en el aceite lubricante⁷.

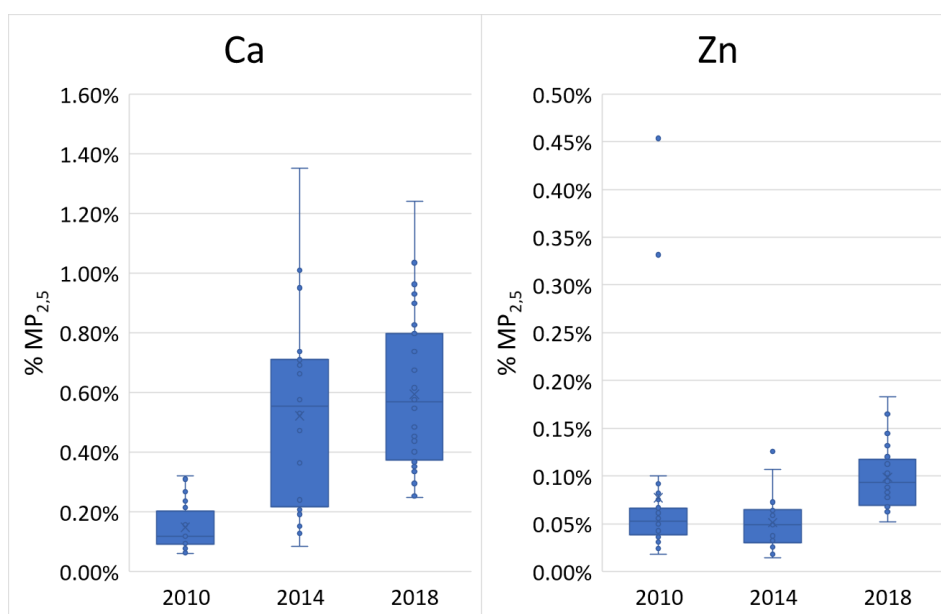


Figura 17: Contribución relativa de Ca y Zn al MP_{2,5} para cada campaña de monitoreo.

Disminuyó la contribución de K al MP_{2,5}. Dicha disminución se debería al aumento en las políticas públicas que apuntan a fomentar el uso de GNL en zonas residenciales y a restringir la quema de residuos agrícolas⁸.

⁷ <https://www.atmos-chem-phys.net/14/7585/2014/acp-14-7585-2014.pdf>

⁸ <http://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/anuario2015/Anuario%20Estadistico%202015.pdf>

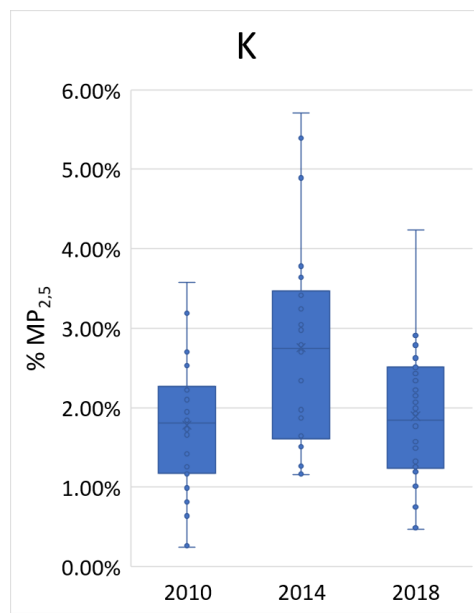


Figura 18: Contribución relativa de K al MP_{2,5} para cada campaña de monitoreo.

Un análisis exploratorio de contribución de fuentes se realizó utilizando el modelo de Factorización de Matriz con componentes positivos (PMF por sus siglas en inglés). Este es una técnica estadística multivariada que analiza la variabilidad temporal de la composición elemental de las muestras, agrupando elementos que tengan un comportamiento similar, y entonces relacionarlo con alguna fuente emisora en particular⁹. Cabe mencionar que esta técnica es exploratoria, ampliamente utilizada para dar resultados indicativos de impactos relativos de fuentes emisoras.

En este caso, la aplicación del modelo entregó resultados en base a 4 factores o fuentes predominantes,

- **Factor 1 (11,4 %):** Este factor tiene contribuciones importantes de Cl. Esto indica que la zona asociada a este factor esté altamente influenciada por quemas abiertas, como quemas agrícolas de gran escala en combinación con quema de basura.
- **Factor 2 (45,2 %):** Se observa una contribución alta de un gran número de elementos, con excepción de Cl y Cs. Destacan las contribuciones de S, Na, y de elementos térreos (Ca, Al, Si, Mn). Este factor está asociado al impacto del transporte vehicular de Asunción, compuesto por el efecto directo de emisiones directas (de escape y desgaste vehicular) y polvo re-suspendido.
- **Factor 3 (17,8 %):** Este factor tiene la particularidad de presentar contribuciones significativas de P, Cs, Ca. El Fósforo (P) es utilizado en pesticidas y herbicidas en la actividad agrícola. En efecto, también se identifica un aporte significativo de Cl, también presente en productos de esta actividad. Este factor puede ser utilizado como un indicador del impacto de zonas rurales en el punto de monitoreo.

⁹ <https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses>

- **Factor 4 (25,6 %):** Este factor se encuentra enriquecido principalmente por elementos Si y K, factor que representa el impacto de la quema de leña o biomasa de origen residencial.

Un gráfico de torta con estas contribuciones se entrega a continuación.

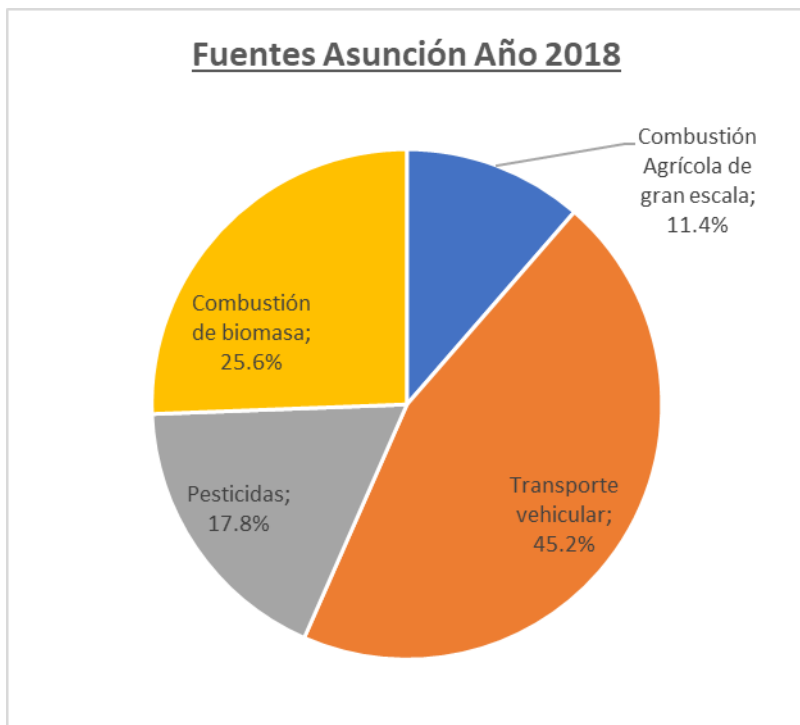


Figura 19: Contribución de fuentes MP_{2,5} año 2018.

4.3 Mediciones de Black Carbon (BC)

Entre el lunes 13-08-18 y el jueves 13-09-18 la concentración promedio diario de BC en la ciudad de Asunción fue igual a 5,4 [µg/m³], un 23% más que la concentración promedio diario de BC monitoreado durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2014. De la Figura 20 se desprende que la mayor concentración promedio diario de BC fue igual a 11,6 [µg/m³], la cual se monitoreó el miércoles 22-08-2018, mientras que la menor concentración promedio diario de BC fue igual a 1,8 [µg/m³], la cual se monitoreó el domingo 19-08-2018.

Cabe señalar que, de los 33 días monitoreados, se seleccionaron para el análisis estadístico, sólo aquellos días con una completitud sobre el 50% (16 días en total). El hecho que existieran días monitoreados con un porcentaje menor de completitud fue porque durante la ejecución de la campaña de monitoreo hubo días en donde la temperatura ambiente promedio fue mayor que la indicada por el fabricante del MicroAeth para su correcto funcionamiento (40 °C).

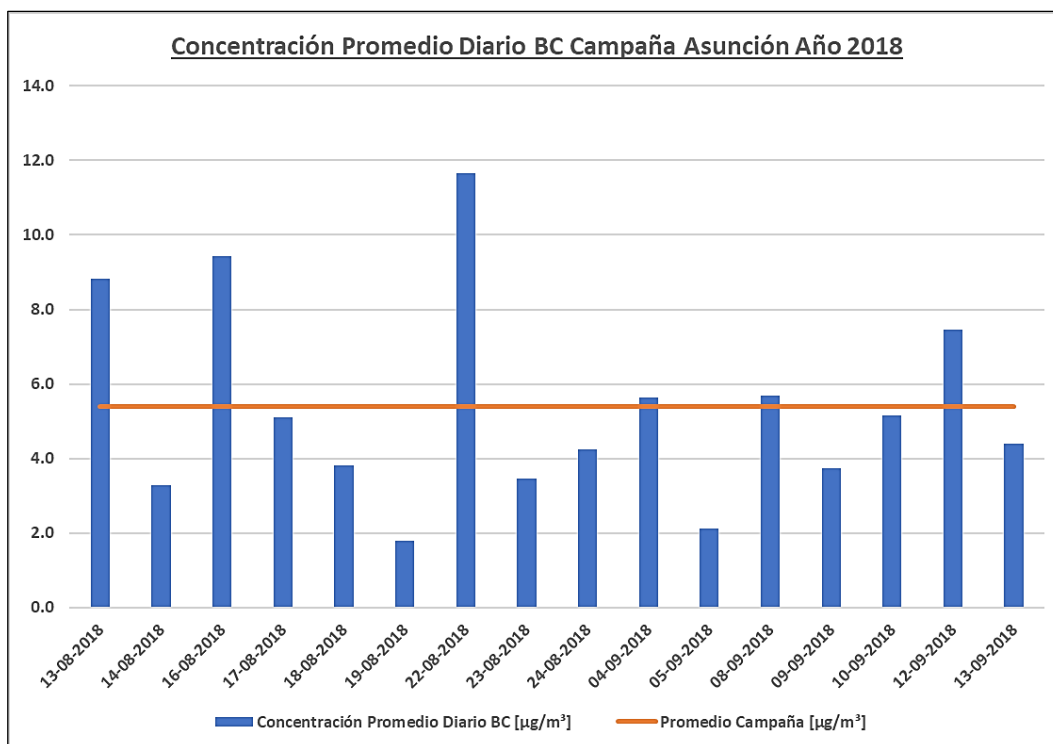


Figura 20: Concentración promedio diario de BC durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018 en “Touring y Automóvil Club Paraguayo”, Asunción/Paraguay. Se señala el promedio de la campaña de monitoreo (línea continua de color roja). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21, se entrega un gráfico del perfil horario de BC durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018. Se desprende que la concentración promedio horario de BC aumenta de 07.00 a 09.00 hrs., luego de 11.00 a 12.00 hrs., y por último de 16.00 a 20.00 hrs. Tanto el aumento de la mañana como el de la tarde, se relaciona al flujo vehicular habitual asociado a la jornada laboral. El de mediodía, según la contraparte técnica, al ser Asunción una ciudad pequeña (128 [km²]), un porcentaje no menor de ciudadanos se traslada a almorzar a sus hogares.

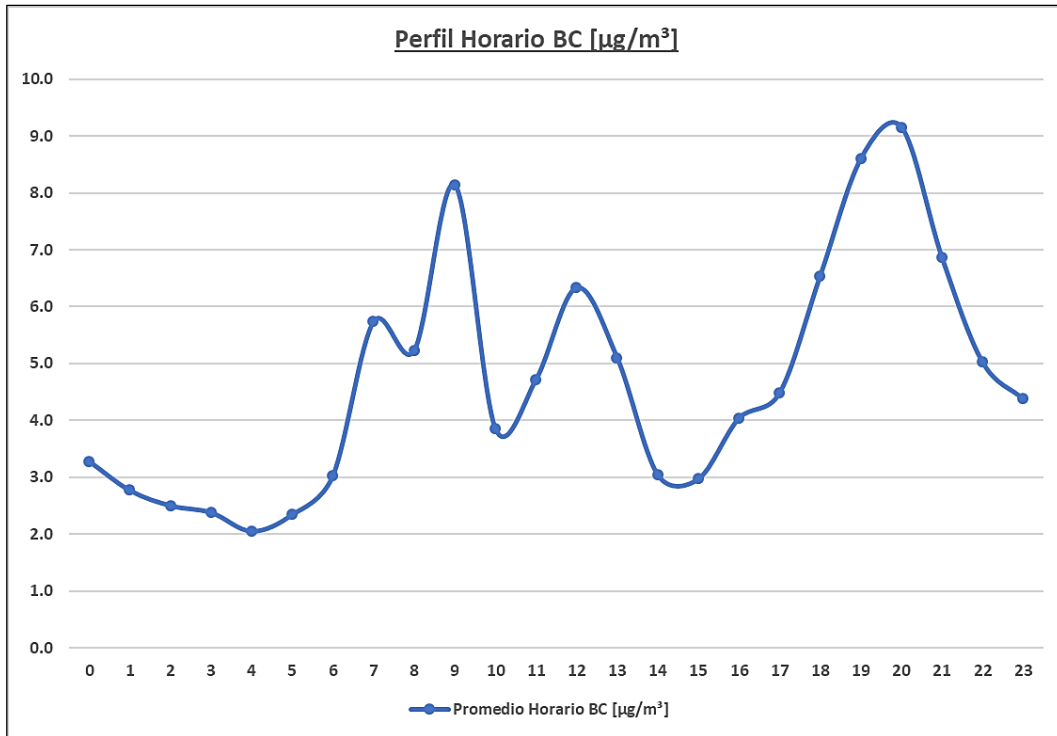


Figura 21: Perfil horario BC durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018 en “Touring y Automóvil Club Paraguayo”, Asunción/Paraguay. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22 se compara el perfil horario de BC del año 2014 con el perfil horario de BC del año 2018. De la Figura 22 se desprende que ambos perfiles aumentan su concentración durante la mañana (07.00 -09.00 hrs.) y luego en la tarde (17.00-20.00 hrs.). Dicho aumento se relaciona al flujo vehicular habitual asociado a la jornada laboral. Cabe señalar que la serie del año 2018 fue elaborada con 33 días de monitoreo (del 13-08-2018 al 14-09-2018), mientras que la serie del año 2014 fue elaborada con 11 días de monitoreo (del 15-06-2014 al 25-06-2014). Es por ello que la tendencia de la serie del año 2018 sería más representativa que la del año 2014.

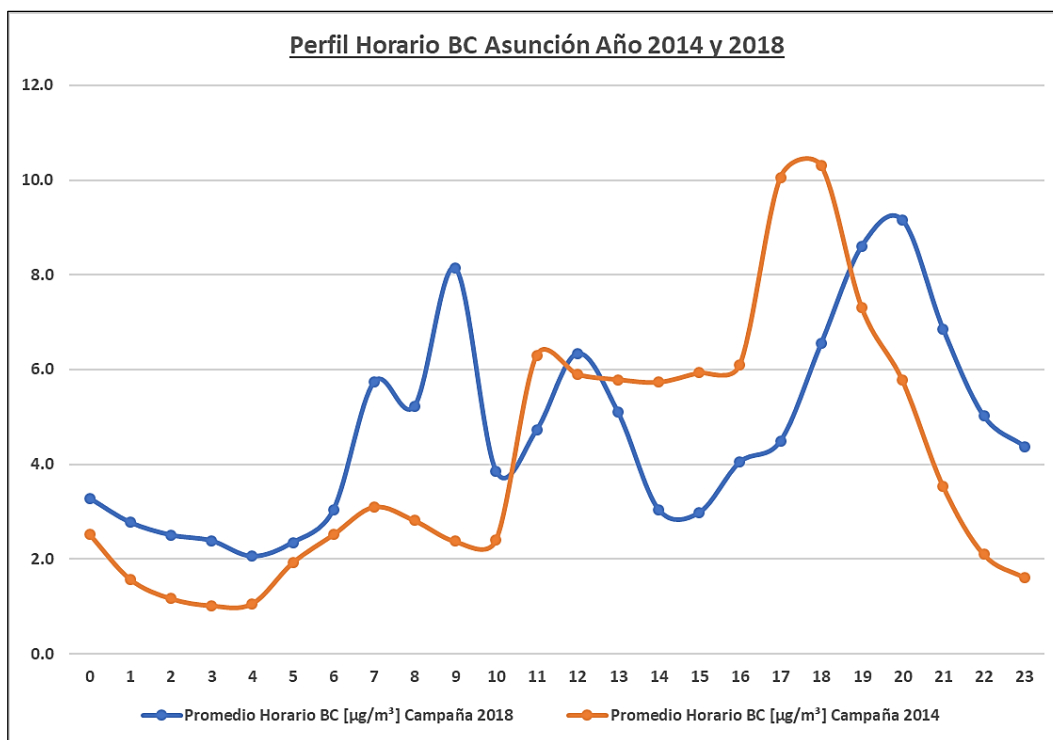


Figura 22: Comparación perfil horario BC Asunción Año 2014 y 2018. Fuente: Elaboración propia.

4.4 Mediciones de Tubos Pasivos Dióxido de Azufre (SO₂)

Se instalaron 20 tubos pasivos de SO₂ en la ciudad de Asunción. De la Tabla 6 se desprende que la distribución espacial de las concentraciones promedio de SO₂ fue homogénea durante los 30 días de monitoreo. La concentración más alta se monitoreó en la intersección de Avda. Mariscal López con Capitán Victoriano Bueno, y la más baja, en Avda. Primer Presidente, a 3 cuadras de la entrada principal del Jardín Botánico.

Tabla 6: Resultados tubos pasivos SO₂ Asunción Año 2018. Fuente: Elaboración propia.

Número Tubo Pasivo	Intersección	SO ₂ [µg/m³]
1	Avda. Mariscal López / Capitán Victoriano Bueno	1.7
2	Avda. Mariscal López / Gral. A. Garay	1.1
3	Avda. Mariscal López / Brasilia	1.0
4	Ygatimi / Colón	1.3
5	Avda. España / San José	0.9
6	Avda. España / Santa Rosa	1.0
7	Interior Instituto de Previsión Social (IPS)	1.1
8	Avda. Gral. Artigas / Capitán José Domingo Lombardo	1.0
9	Avda. Primer Presidente (cerca Jardín Botánico)	0.7
10	Ruta n°9 Carlos A. López / My Tomás A. Ruffinelli	1.0
11	Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción (FIUNA)	1.0
12	Avda. Mariscal López / Teniente Ettiene	1.0
13	Eusebio Ayala / Juan Porta Melgarejo	0.9
14	Eusebio Ayala / Cnel. José María Aguiar	0.9
15	Avda. Perú / Dr. José Gaspar Rodríguez	1.1

16	Avda. Luis María Argaña / Avda. General Máximo Sartes	1.0
17	Avda. Cacique Lambaré / Luis María Argaña	1.0
18	Avda. República Argentina / Avda. Doctor Fdo. de la Mora	1.0
19	Avda. Aviadores / Avda. Santa Teresa	1.2
20	Viaducto Aviadores	1.1
Promedio Aritmético		1.1

De la Figura 23 se desprende que la concentración promedio diario de SO₂ monitoreado durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2018 disminuyó significativamente respecto a las campañas anteriores (2010 y 2014).

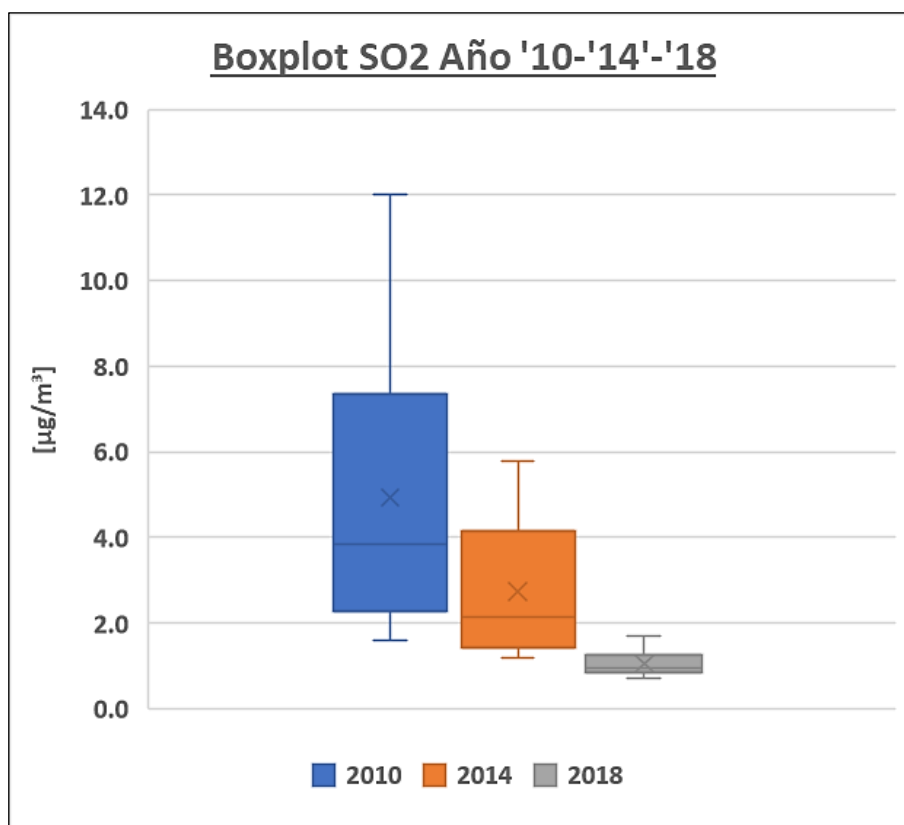


Figura 23: Boxplot tubos pasivos SO₂ Asunción/Paraguay Año 2010, 2014 y 2018. Fuente: Elaboración propia.

Para mayor detalle, en la Figura 24 se compara la concentración promedio de SO₂ en los 6 sitios en común para las 3 campañas de monitoreo ejecutadas en la ciudad de Asunción (2010, 2014 y 2018). De la Figura 24 se desprende que la tendencia de la concentración promedio de SO₂ es a la baja en todos los sitios. Se infiere que las medidas que apuntan a la desulfuración del diésel y gasolina promovidas por la autoridad han tenido efecto medible en las concentraciones de SO₂.

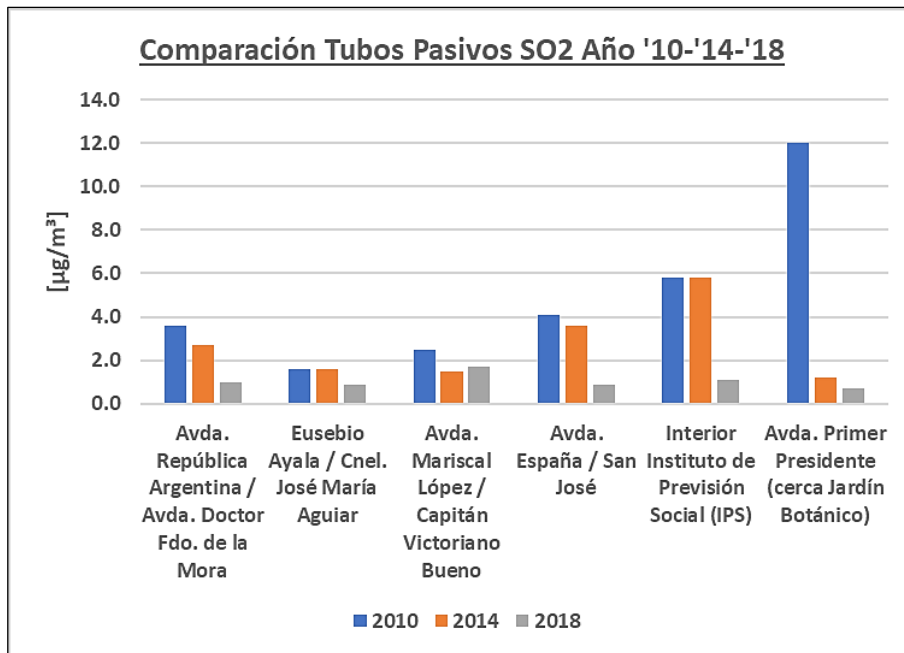


Figura 24: Comparación concentración de SO₂ en los 6 sitios en común para las 3 campañas de monitoreo ejecutadas en la ciudad de Asunción (2010, 2014 y 2018). Fuente: Elaboración propia.



Figura 25: Distribución espacial sitios en común para las 3 campañas de monitoreo ejecutadas en la ciudad de Asunción. Fuente: Elaboración propia.

5 Conclusiones y Recomendaciones

Ley de Aire Limpio (N°5211/14) permitió a la SEAM presentar estándares nacionales de calidad del aire (Res N° 259/15), sin embargo, al día de hoy no existe ningún tipo de monitoreo permanente en la zona.

Se ejecutó una campaña de monitoreo de un mes en el sitio “Touring y Automóvil Club Paraguayo”, con la finalidad de evaluar históricamente el impacto de la aplicación políticas públicas. Se estima que hay un empeoramiento de la calidad del aire respecto de las campañas anteriores. En casi la mitad de la campaña 2018, la población de la ciudad de Asunción se expuso a concentraciones promedio diario mayores a la establecida por la norma 24 horas, mientras que, durante la ejecución de la campaña de monitoreo del año 2010, fueron sólo 2 días. Se espera que esta tendencia implique en mayores costos de la salud de la población, considerando además proceso de envejecimiento etario que muestra.

La variación de de concentración de $MP_{2,5}$ entre los distintos años es explicada primeramente por el efecto meteorológico, considerando las variables “velocidad del viento” y “precipitaciones”.

Basados en el perfil promedio semanal, se encuentra que la concentración de $MP_{2,5}$ está impactada por emisiones de tráfico vehicular. También se corrobora al observar mayor contribución de Ca y Zn al $MP_{2,5}$.

Paraguay se ha disminuido progresivamente el contenido de azufre en el diésel, de 4000 [ppm] (partes por millón) en el 2008 a 50 [ppm] en el 2017. Adicionalmente, el consumo de diésel tipo I, de bajo contenido de azufre está siendo progresivamente más utilizado en el País. Esto se ha reflejado en la disminución de concentración de SO_2 y de azufre en la atmósfera.

Se encontró una disminución en la contribución de K al $MP_{2,5}$. Dicha disminución podría relacionarse al aumento en las políticas públicas que apuntan a fomentar el uso de GNL en zonas residenciales y a restringir la quema de residuos agrícolas.

Se observa que el BC está influenciado principalmente por el impacto del transporte vehicular. Valores de concentración similares se encuentran entre el año 2014 y 2018.

Basados en los principales resultados de este estudio, se recomiendan las siguientes acciones:

Implementar una red de monitoreo de calidad del aire, en el corto plazo, que tenga el objetivo de entregar información de calidad del aire al público general en tiempo real, evaluar el cumplimiento de las normas de calidad de aire vigentes, dar seguimiento a las tendencias de concentración de contaminantes atmosféricos y servir de apoyo para la elaboración políticas de descontaminación.

Esta red debe considerar dos estaciones de monitoreo; una en la zona urbana de Asunción y la otra en la zona rural, con el objeto de dar seguimiento a las dos principales fuentes emisoras de contaminantes que se encuentran.

La instalación de las estaciones debe regirse en base a criterios de emplazamiento y operación de calidad internacionales (USEPA o Unión Europea). La operación debe exigir, la

implementación de protocolos de QA/QC para calidad del aire y meteorología equivalentes a los estándares internacionales vigentes y cada estación debe ser auditada anualmente por un Laboratorio de Referencia de la Unión Europea/USEPA.

Las estaciones deben medir los contaminantes criterios normados actuales de Asunción, sin embargo, se recomienda establecer prioridades de implementación: Se recomienda partir por $MP_{2,5}$ y NO_x . El monitoreo de partículas ($MP_{2,5}$) debe realizarse en base a tecnologías continuas y en base a filtros, los que se recomienda almacenarlos para el desarrollo de análisis químicos posteriores.

Los resultados indican que el sitio de monitoreo presenta impacto significativo, tanto desde el sector urbano como el sector rural. Con la finalidad de evitar que la calidad del aire por partículas siga empeorando, se deben priorizar políticas públicas de control de contaminación proveniente de transporte vehicular y la quema abierta de biomasa y basura.

6 ANEXO

6.1 Capacitación en Chile de una Persona de Asunción – Paraguay.

Si bien se existe legislación ambiental, en el país aún carece de capacidades técnicas y de recursos humanos que le permitan implementar equipos de medición y estaciones de monitoreo para vigilar la calidad del aire. Esta brecha no permite determinar el grado de cumplimiento de la actual normativa. Es por esto que este estudio contempló una serie de actividades en busca de la entrega las herramientas necesarias para conducir a un fortalecimiento de las capacidades técnicas de los distintos organismos involucrados en este tema.

El Ingeniero Federico Schroeder, funcionario de la SEAM, fue el seleccionado para ejecutar la capacitación, la cual tenía por objetivo interiorizarse sobre metodologías de monitoreo de calidad del aire. Se incluyó también el entrenamiento del uso de los equipos de monitoreo a utilizar en la campaña en Asunción 2018. Dicha capacitación fue realizada la semana del lunes 25-06-2018 en la oficina del Centro Mario Molina (CMM). En el Anexo se encuentra la presentación realizada en esta instancia de capacitación y se incluye el cronograma de su visita.



Figura 26: Fotografías de la capacitación realizada al Ingeniero Federico Schroeder (SEAM) en la oficina del CMM.

Dentro de las actividades de capacitación se incluyó la visita de Federico Schroeder a una estación de monitoreo oficial de la Región Metropolitana de Santiago de Chile (Red MACAM), la que fue realizada el miércoles 27-06-2018. La actividad se realizó en la estación Parque O’Higgins, y fue guiada por profesionales y técnicos del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰ (entidad propietaria y operadora de la estación). A continuación, se entregan algunas fotografías de la visita:

¹⁰ Profesionales del Ministerio del Medio Ambiente, Miguel Frías y Ximena Díaz.



Figura 27: Fotografías de la visita a la estación de monitoreo Parque O'Higgins. Fuente: Elaboración propia.

6.2 Cronograma Visita Ingeniero Federico Schroeder (SEAM).

- **Lunes 25-06-2018:**
 - 12:30 – 13:30 hrs.: Traslado Aeropuerto - Hotel.
- **Martes 26-06-2018:**
 - 11:00 – 13:00 hrs.: Capacitación Equipos de Monitoreo (Claudio Aguilera; Felipe Reyes).
 - 16:30 – 17:30 hrs.: Reunión con Área de Transporte CMM (Gianni López; Lourdes Becerra).
- **Miércoles 27-06-2018:**
 - 11:00 – 13:00 hrs.: Visita Estación de Monitoreo Red MACAM (Claudio Aguilera).
- **Jueves 28-06-2018:**
 - 11:00 – 13:00 hrs.: Presentación Proyectos Varios CMM (Yeanice Vásquez; Claudio Aguilera).
- **Viernes 29-06-2018:** Libre.

6.3 Reporte Acerca de la “Capacitación técnica en el Centro Mario Molina Chile, 25 al 30 de junio de 2018 – Santiago de Chile”, Desarrollado por el Ingeniero Federico Schroeder (SEAM).

En cumplimiento a la Resolución SEAM N°353/18 por la cual se me concede permiso con goce de sueldo para realizar capacitación técnica en el Centro Mario Molina de Chile (CMMCh), paso a detallar informe de las actividades realizadas durante mi estadía en el República de Chile.

Se ha cumplido el programa de actividades establecido en la reunión con Felipe Reyes, Líder del Área de Calidad de Aire del CMMCh y Claudio Aguilera, Profesional de la misma área.

Durante la citada reunión se ha conversado sobre el Plan de Monitoreo de Calidad de Aire de la Ciudad de Asunción, que se realizará en fecha a coordinar durante el mes de Julio del presente año.

Se estableció que se realizara las siguientes mediciones:

- Medición de Material Particulado 2,5 (MP_{2,5}) en un sitio histórico.
- Medición de Dióxido de Azufre (SO₂) en 20 sitios.
- Medición de Black Carbón (BC).

Todas estas mediciones se realizarían en sitios históricos de las mediciones realizadas durante las campañas del 2010 y 2014.

Para la medición del MP_{2,5} se utilizará equipos de Impactadores de Harvard, cuyo principio y funcionamiento fue explicado perfectamente durante la reunión.

Con respecto a la medición del SO₂ a través de los tubos pasivos, los mismos serán colocados en lugares donde ya se habían medido en años anteriores y deben tener una debida protección contra actos de vandalismo, así como proteger de las inclemencias climáticas.

Y finalmente con respecto a la medición del BC se utilizará un detector automático denominado MicroAeth Modelo AE51.

El compromiso asumido en nombre de la Secretaria del Ambiente es mantener todas las actividades correspondientes al monitoreo mientras dure los 30 días de la citada medición de los parámetros antes citados, ya que el Profesional del CMMCh vendrá exclusivamente una semana para la instalación y capacitación de los equipos de medición.

Posteriormente, con la participación de Gianni López, Director Ejecutivo del CMMCh y Lourdes Becerra, Investigadora del Área de Energía y Transporte hemos conversado referente a los proyectos próximos a ejecutar en lo que respecta al área citada.

Se tiene en carpeta para la ejecución el Proyecto de la Iniciativa Mundial para Ahorro de Combustibles (GFEI, por sus siglas en inglés), para lo que se tiene previsto el desarrollo de la base de datos de emisiones de CO₂ y consumo de combustible del mercado automotriz con la realización de dos talleres, uno de lanzamiento y otro de presentación de los resultados para la entrega a Paraguay de la citada base con análisis y recomendaciones de medidas a ser tomadas. Por otro lado, se espera

iniciar con la base entregada, la elaboración de políticas para la promoción de vehículos más limpios y eficientes con objetivo de mejorar la calidad del aire y reducir las emisiones del cambio climático.

Respecto a la coordinación del proyecto se realizará en la SEAM con el Director de Normalización de Aire, Ing. Ulises Lovera, a fin de establecer los plazos para la realización de los talleres, así como la facilitación de informe y datos necesarios para la ejecución del proyecto.

Al día siguiente se realizó según el programa la visita a una estación modelo de monitoreo de la calidad del aire standard. La estación visitada ha sido la ubicada en el Parque O'Higgins que históricamente ha sido una de las primeras instaladas en el área metropolitana de Santiago de Chile. Esta estación ha medido datos de suma importancia histórica y que sirve de mucho para evaluar la eficiencia de las medidas que se han tomado para bajar la contaminación del aire considerando que hasta la actualidad sigue realizando mediciones de los indicadores de la calidad del aire.

Dicha visita ha servido de manera a interiorizarse del funcionamiento de las estaciones de monitoreo que realiza utilizando métodos de medición standard establecidos por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos de Norteamérica.

Posterior a la visita, nos hemos trasladado hasta las instalaciones del Ministerio de Medio Ambiente donde he recibido una presentación de la red de monitoreo de todo el país, así como los ejemplos de modelación que se realizan. Posteriormente hemos recorrido las instalaciones del área de Calidad de Aire del Ministerio, donde se ha observado el centro de vigilancia, el taller de mantenimiento y calibración de los equipos y el laboratorio de pesadas de filtros de material particulado.

En conversación con el encargado de la unidad de Calidad de Aire, Marcelo Fernández, hemos visto la probabilidad de firmar un convenio de cooperación marco entre el Ministerio de Medio Ambiente de Chile y el futuro Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de nuestro país.

Por último, me he reunido primeramente con Yeanice Vásquez, Investigadora Senior del CMMCh, donde me ha presentado varios proyectos desarrollados y concluidos por el citado Centro, y de algunas conclusiones a la que se llegó con la ejecución de dichos proyectos.

Posteriormente el Profesional Claudio Aguilera me ha presentado algunos aspectos a tener en cuenta respecto al Impactador de Harvard en el momento de realizar el cambio de los filtros, y cuya practica la realizaremos una vez instalado en el lugar de medición en Paraguay.

En otro aspecto y en relación con el cronograma, logística y otros aspectos, se ha acordado la visita del Profesional del CMMCh, Claudio Aguilera en la semana del 9 o la del 16 de julio para la instalación de los equipos de medición, en la semana del 2 de julio se procederá al envío de los equipos vía courier para el retiro por parte de la SEAM de la aduana del Aeropuerto.

Todo lo referente a las presentaciones en Power Point, así como algunas fotografías tomadas durante el desarrollo de las actividades se adjuntan como anexos al presente informe.

6.4 Presentación Capacitación Estudio Asunción – Paraguay 2018.



 **Centro Mario Molina**
Research and Development

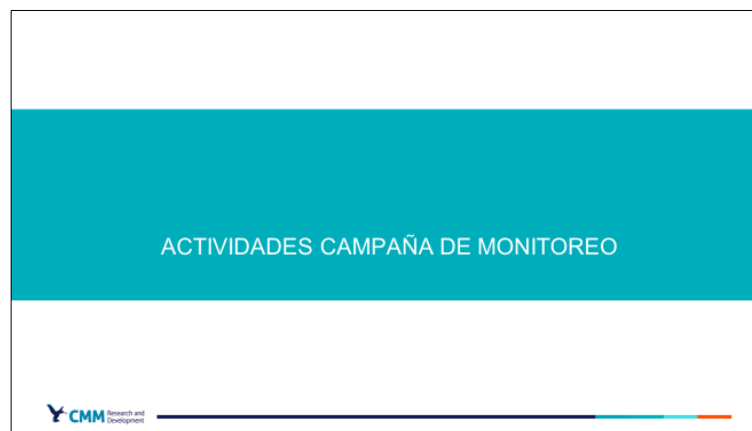
Estudio De Calidad Del Aire Para Apoyar El Diseño E Implementación De La Futura Red De Monitoreo De Asunción

Elaborado PETROBRAS PARAGUAY OPERACIONES Y LOGÍSTICA S.R.L.


Martes 26 de Julio del 2018

Agenda del día:

1. Objetivos específicos del estudio.
2. Actividades campaña de monitoreo.
3. Equipos de monitoreo:
 - Tubos pasivos.
 - Impactadores de Harvard.
 - MicroAeth modelo AE51.
4. Dudas y/o comentarios.



ACTIVIDADES CAMPAÑA DE MONITOREO



Actividades Campaña de Monitoreo

1. Monitoreo con filtros de Material Particular 2,5 (MP_{2,5}) en un sitio de monitoreo histórico.
2. Red de tubos pasivos de Dióxido de Azufre (SO₂).
3. Medición de Black Carbon (BC).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO

Objetivos Específicos del Estudio

1. Entregar datos de calidad del aire para el año 2018 en el área de la ciudad de Asunción y en las áreas urbanas del departamento Central.
2. Generar información necesaria para el soporte de una futura red de monitoreo de calidad del aire.
3. Determinar el aporte de las distintas fuentes que están impactando en la calidad del aire (ejemplo: combustión de biomasa, transporte, industrias, etcétera).

EQUIPOS DE MONITOREO

TUBOS PASIVOS

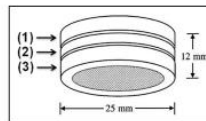
Tubos Pasivos



Figura n° 1: Fotografía de los tubos pasivos de O₃, SO₂, NO₂ y NH₃.



Figura n° 2: Fotografía de los muestreadores sensibles de O₃, SO₂, NO₂ y NH₃.



- 1) Filtro impregnado con adsorbente.
- 2) Anillo.
- 3) Malla de acero inoxidable.

Figura n° 3: Partes y dimensiones de un muestreador sensible. Fuente: SMHI.

Tubos Pasivos



Figura n° 4: Fotografía de un tubo pasivo de NH₃ sin la malla de acero inoxidable.

Tubo Pasivo	Adsorbente
Ozono	Ión Nitrito
Dióxido de Azufre	Hidróxido de Sodio
Dióxido de Nitrógeno	Yoduro, Arsenito y Etilenglicol
Amoniaco	Ácido Cítrico

Tabla n° 1. Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por IVL.

Tubos Pasivos

Primera ley de Fick: La densidad de corriente de partículas es proporcional al gradiente de concentración.

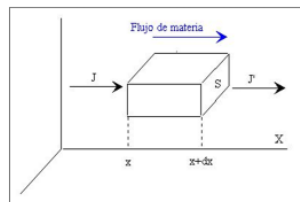


Figura n° 5. Fuente: w³.sc.edu.es.

Ecuación n° 1

$$J = -D \cdot \left(\frac{\partial n}{\partial x} \right)$$

- J: Densidad de Corriente de Partículas.
- D: Coeficiente de Difusión en el Medio.
- $\left(\frac{\partial n}{\partial x} \right)$: Gradiente de Concentración.

Tubos Pasivos



Figura n° 6: Fotografía en perspectiva de 4 tubos pasivos colocados al interior de un recipiente en el pueblo de Coya, VI Región.



Figura n° 7: Zoom figura n° 6.

Tubos Pasivos

Tarea #1: ¿Elaborar la grilla espacial de la red de tubos pasivos?



Figura nº 8: Red de tubos pasivos sobre la ciudad de Asunción (Año 2010).

Tubos Pasivos



Figura nº 9: Distribución espacial de las concentraciones de SO₂ en la ciudad de Asunción. A mano izquierda: campaña P-V (Año 2010). A mano derecha: campaña O-I (Año 2017).

Tabla 2: Concentraciones de SO₂, Asunción Año 2014.

Tubos Pasivos

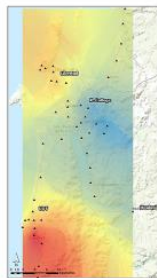


Figura nº 8: Distribución espacial de las concentraciones de SO₂ en la ciudad de Concepción durante la campaña P-V (Año 2017).

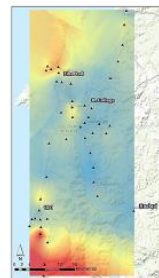


Figura nº 10: Distribución espacial de las concentraciones de SO₂ en la ciudad de Concepción durante la campaña O-I (Año 2017).

IMPACTADORES DE HARVARD

Impactadores de Harvard



Figura n° 11: Componentes de un cabezal de un Impactador de Harvard.

Figura n° 12: Ensamblaje de un cabezal de un Impactador de Harvard.

Impactadores de Harvard



Figura n° 13: Fotografías de un Impactador de Harvard instalados en distintas zonas de la ciudad de Concepción (Año 2017).

Impactadores de Harvard

Planilla Terreno Harvard Impactor 37 mm

Centro María Molero OLS

Día		Encargado:		Sitio:	
Fecha:		Observaciones:			
Hora:		Harvard Impactor PR101 () PR12.5 ()			
Código Filtro					
Iniciadora:	Fecha	Hora	Timer	Flujo	
Fin Medidor:	Fecha	Hora	Timer	Flujo	
Día		Encargado:		Sitio:	
Fecha:		Observaciones:			
Hora:		Harvard Impactor PR101 () PR12.5 ()			
Código Filtro					
Iniciadora:	Fecha	Hora	Timer	Flujo	
Fin Medidor:	Fecha	Hora	Timer	Flujo	

Figura n° 14: Planilla Terreno Estándar Impactador de Harvard.

MICROAETH MODELO AE51

MicroAeth Modelo AE51



Figura n° 15: Fotografía MicroAeth Modelo AE51.

MicroAeth Modelo AE51



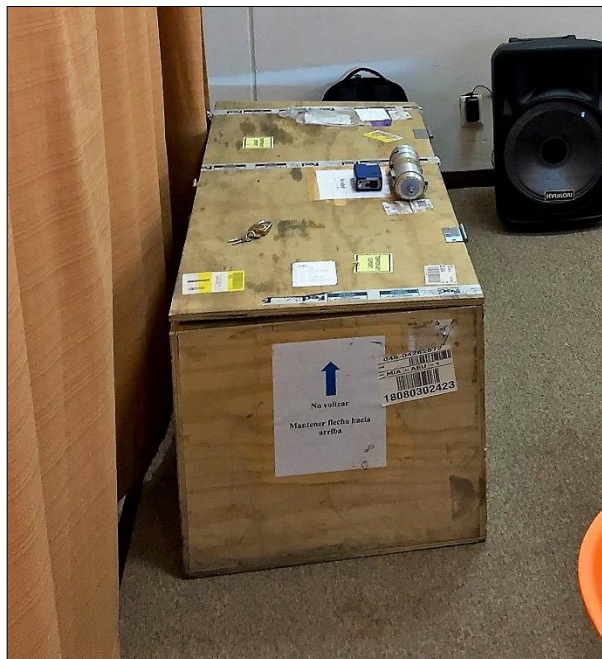
Figura n° 14: Fotografías de un Impactador de Harvard instalados en distintas zonas de la ciudad de Concepción (Año 2017).

DUDAS Y/O COMENTARIOS

6.5 Envío de Equipamiento e Insumos de Chile a Asunción – Paraguay.

Se envió el Impactador de Harvard de 47 [mm] (debidamente embalado) en una caja acondicionada. A continuación, se indica el itinerario de envío del equipo:

- **Retiro del equipo de la oficina del CMM por parte de funcionarios de FedEx:** miércoles 18-07-2018.
- **Liberación Aduana Chilena (& posterior envío a Asunción – Paraguay):** lunes 30-07-2018.
- **Llegada a Asunción – Paraguay:** martes 07-08-2018.
- **Liberación Aduana Paraguaya (& posterior retiro del equipo por parte de funcionarios de la SEAM):** jueves 09-08-2018.



**Figura 28: Fotografía de la caja en donde se envió el Impactador de Harvard de 47 [mm].
Fuente: Elaboración propia.**

Los tubos pasivos, los filtros de teflón de 47 [mm] utilizados por el Impactador de Harvard, el MicroAeth y las herramientas a utilizar en el sitio de monitoreo histórico, fueron llevados a Asunción por el Profesional del CMM Claudio Aguilera.

6.6 Presentación Lanzamiento Estudio Asunción – Paraguay 2018.



Estudio De Calidad Del Aire Para Apoyar El Diseño E Implementación De La Futura Red De Monitoreo De Asunción

Viernes 10 de Agosto del 2018

Agenda del día:

1. Propósito & objetivos del estudio.
2. Material Particulado (MP) / Black Carbon U Hollín (BC) / Dióxido De Azufre (SO₂)
3. Equipos de monitoreo.
4. Actividades campaña de monitoreo.



PROPOSITO & OBJETIVOS



Propósito & Objetivos

Este estudio tiene como objetivo general levantar antecedentes que sirvan de línea base para el diseño de la futura red de monitoreo nacional, y transferir las herramientas necesarias que lleven a fortalecer las capacidades técnicas locales en este tema.



Propósito & Objetivos: Experiencia Chilena



Propósito & Objetivos

Se han establecido los siguientes objetivos específicos para el estudio:

1. **Transferencia de conocimiento de materias de calidad del aire de Centro Mario Molina Chile a actores locales de Asunción.**
2. Entregar datos de calidad del aire para el año 2018 en el área urbana y rural del Gran Asunción.
3. Entregar información necesaria para el soporte de la futura red de monitoreo de calidad del aire.
4. Determinar el aporte de las distintas fuentes que están impactando en la calidad del aire (como por ejemplo: combustión de biomasa, transporte, industrias, etc.).



MATERIAL PARTICULADO (MP) / BLACK CARBON U HOLLÍN (BC) / DIOXIDO DE AZUFRE (SO₂)

Black Carbon (BC)

- Producido por la combustión incompleta de combustible fósil y la quema de biomasa.
- Segundo contaminante de importancia en el calentamiento global.
- Componente primario del MP_{2.5}, el mayor factor ambiental de muerte prematura en el mundo.
- Nuevas evidencias relacionan este contaminante con empeoramiento de la salud cardiovascular y muerte prematura.
- Estudios toxicológicos indican que es un transportador de otras sustancias aún más tóxicas.



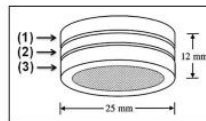
Dioxido de Azufre (SO₂)

- Irrita las vías respiratorias y los ojos, agrava el asma, la secreción de mucosidad y la bronquitis crónicas, especialmente en niños.
- Provoca que los niños sean más susceptibles a las infecciones respiratorias.
- Precursores del material particulado.

EQUIPOS DE MONITOREO

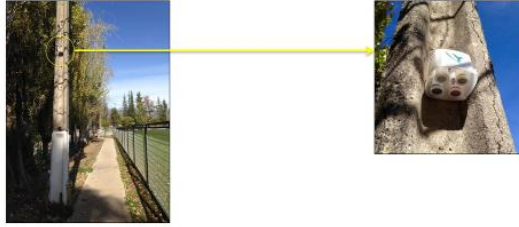
TUBOS PASIVOS

Tubos Pasivos



- 1) Filtro impregnado con adsorbente.
- 2) Anillo.
- 3) Malla de acero inoxidable.

Tubos Pasivos



Tubos Pasivos



IMPACTADORES DE HARVARD

Impactadores de Harvard



MICROAETH MODELO AE51

MicroAeth Modelo AE51



ACTIVIDADES CAMPAÑA DE MONITOREO

Actividades Campaña de Monitoreo

En base al tipo de información previa de Asunción, hemos priorizado la campaña de monitoreo con filtros de $MP_{2.5}$ en un sitio de monitoreo histórico para permitir la comparación entre las diferentes campañas de monitoreo de los años anteriores (2010 y 2014).

También hemos incluido el despliegue de tubos pasivos de SO_2 con la finalidad de identificar niveles "hotspots" de concentración y crear un mapa de distribución de concentración espacial. Se ha incluido SO_2 , dado las políticas de desulfuración que han acontecido desde el año 2010 hasta la fecha.

Finalmente se incorpora la medición de BC (con un equipo portátil) para complementar la información que entreguen los tubos pasivos de SO_2 y los resultados de $MP_{2.5}$ de la campaña de monitoreo.

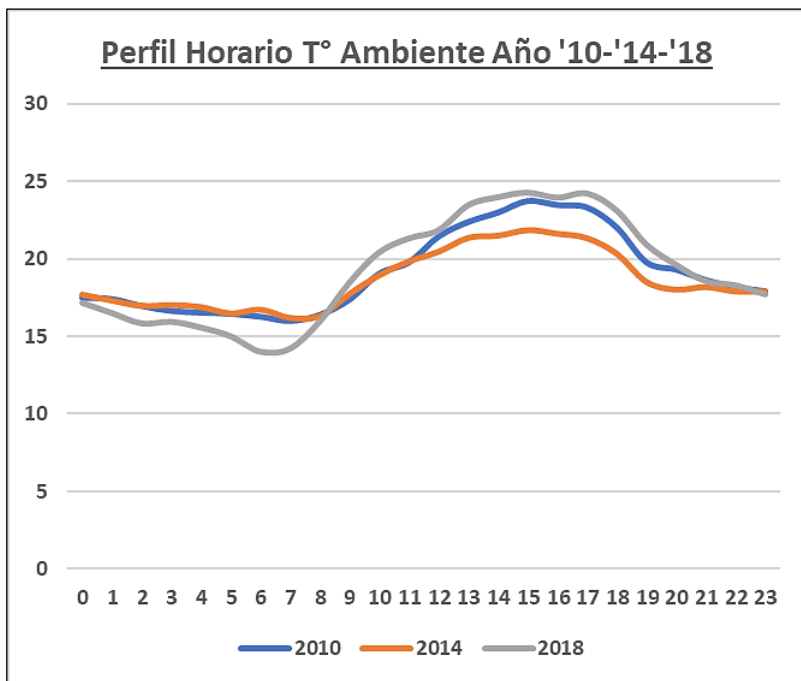
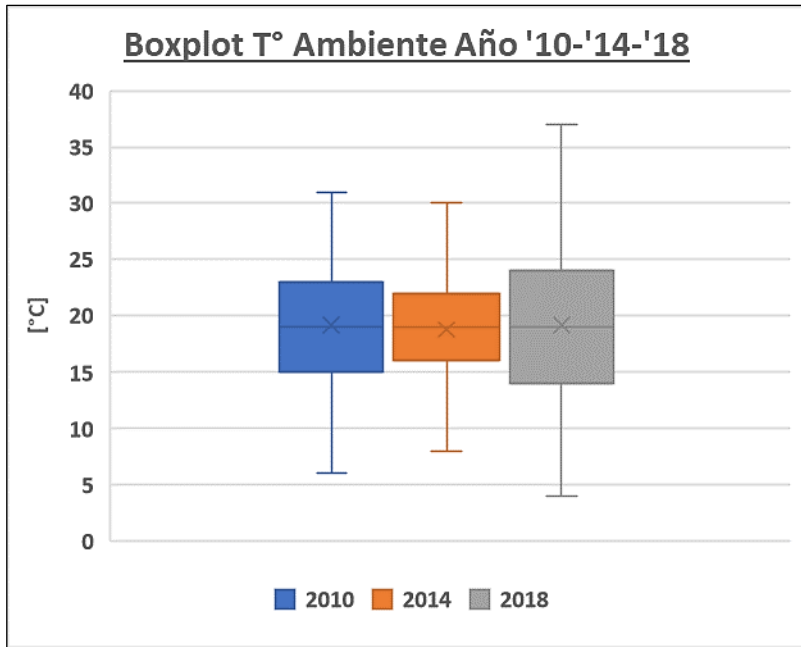
Actividades Campaña de Monitoreo

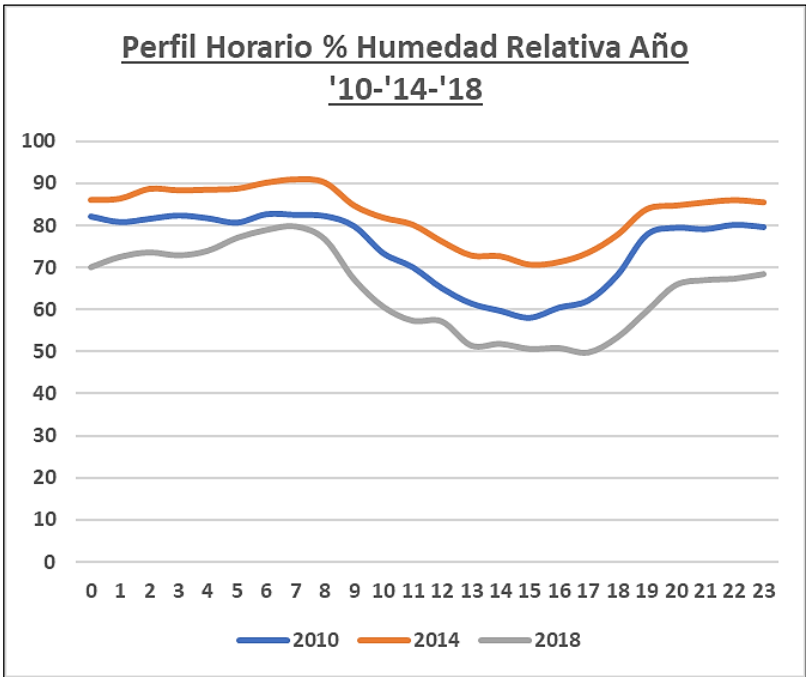
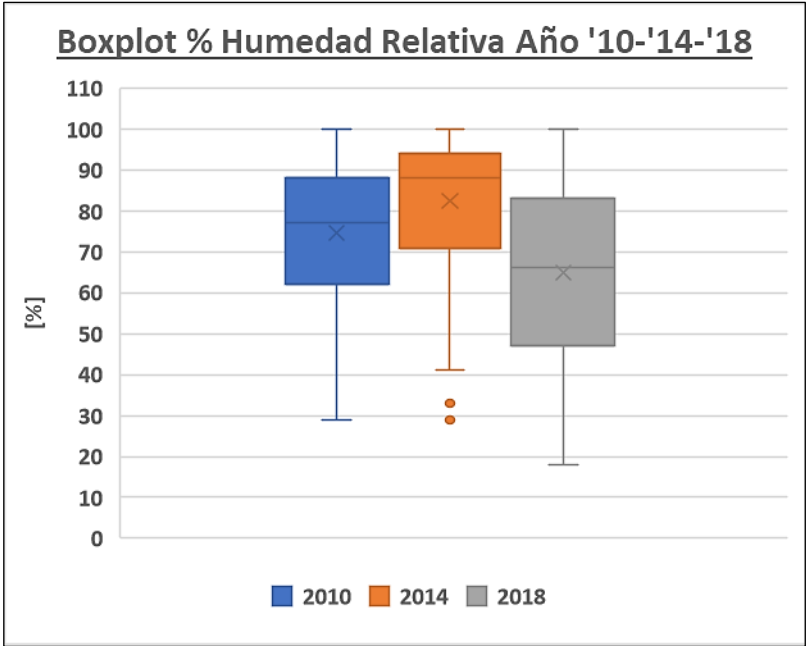
Esto considera las siguientes actividades:

1. Monitoreo de $MP_{2.5}$ en un sitio histórico.
2. Análisis gravimétrico de las muestras colectadas en laboratorios internacionales certificados.
3. Análisis de composición elemental (XRF) a las muestras colectadas en laboratorios internacionales certificados.
4. Monitoreo de 20 tubos pasivos de SO_2 en Asunción.
5. Realización de campañas de medición de BC con 1 equipo portátil durante la campaña.
6. Recopilación y sistematización de la data obtenida en esta campaña junto con la data de los estudios de los años anteriores.
7. Recopilación de data meteorológica en caso de que se encuentre disponible.
8. Análisis estadístico comparativo de las tres campañas de monitoreo.
9. Presentación de resultados.

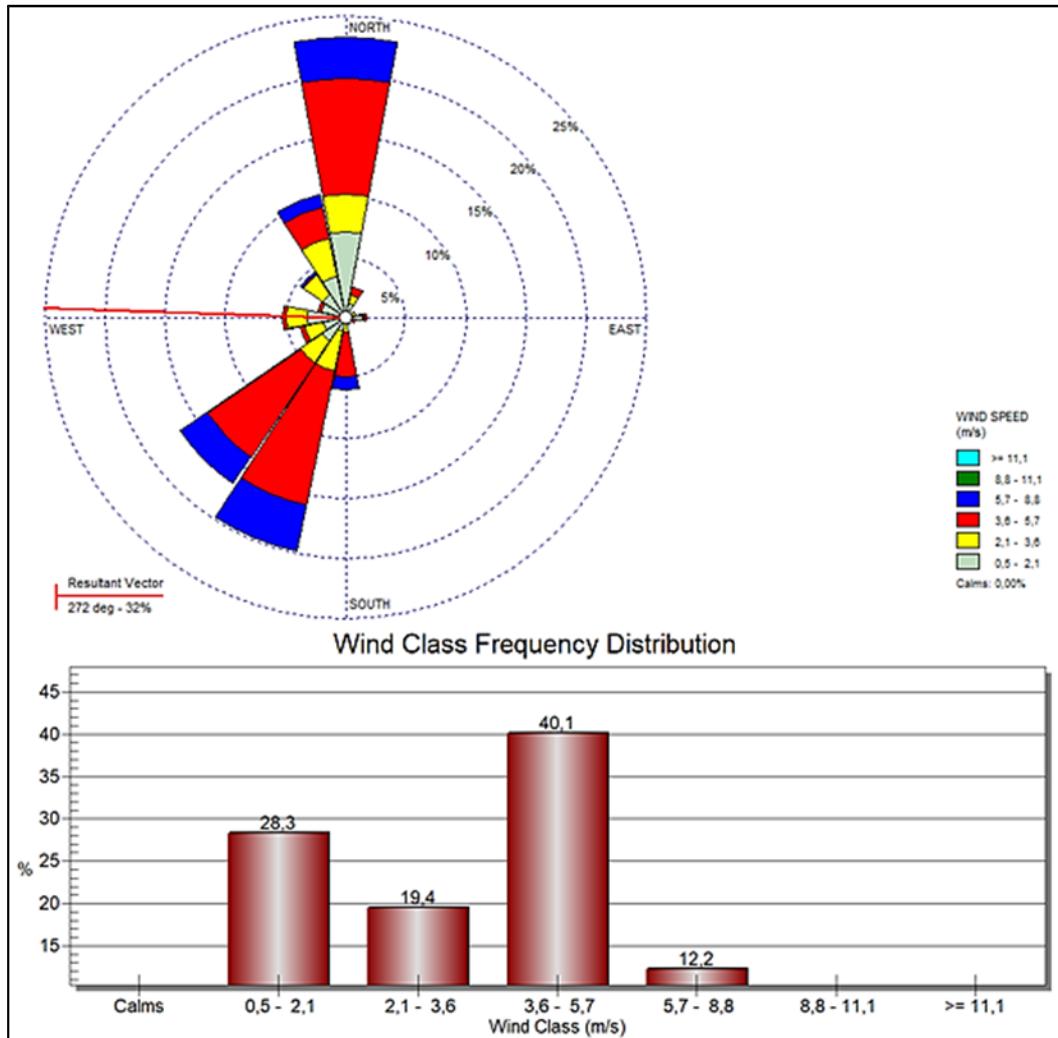


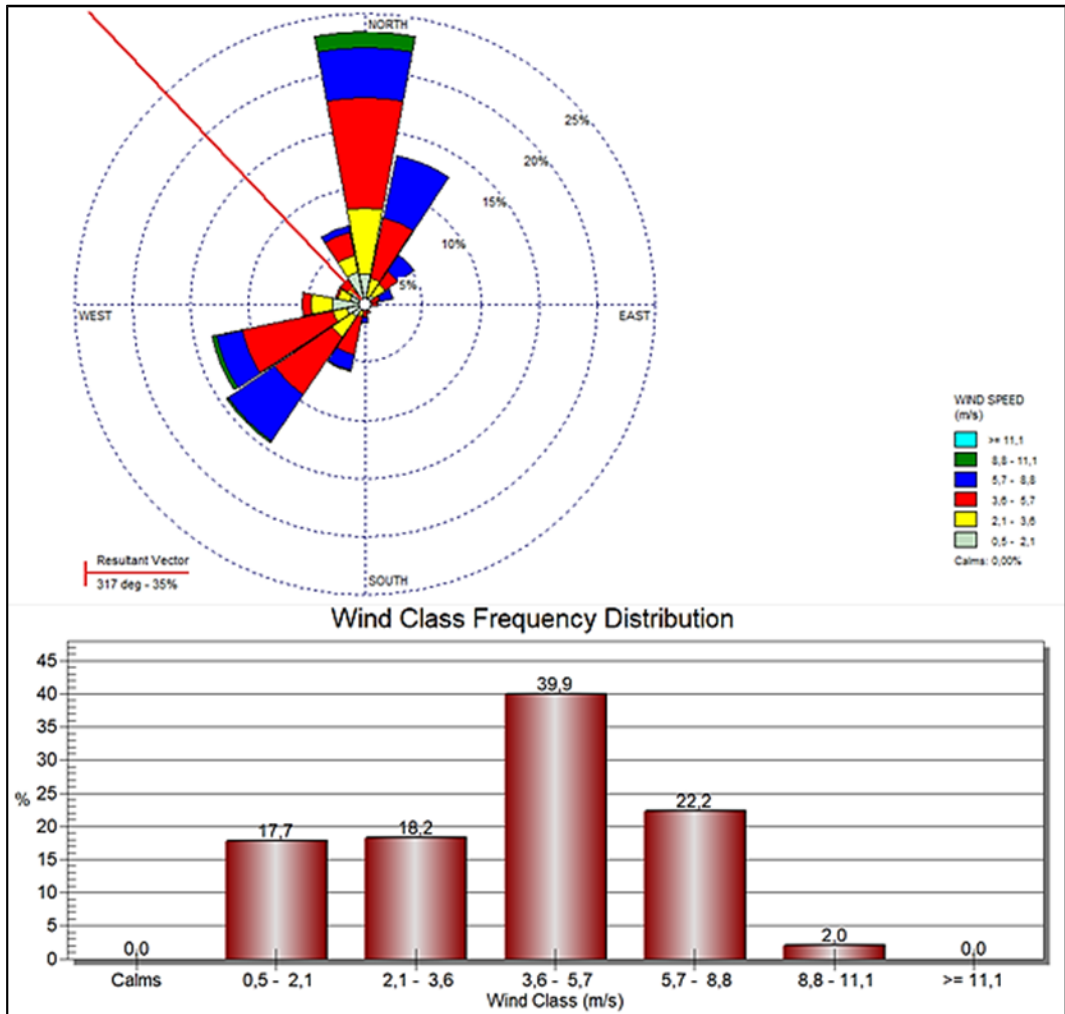
6.7 Temperatura Ambiente y Porcentaje Humedad Relativa Año '10-'14-'18.

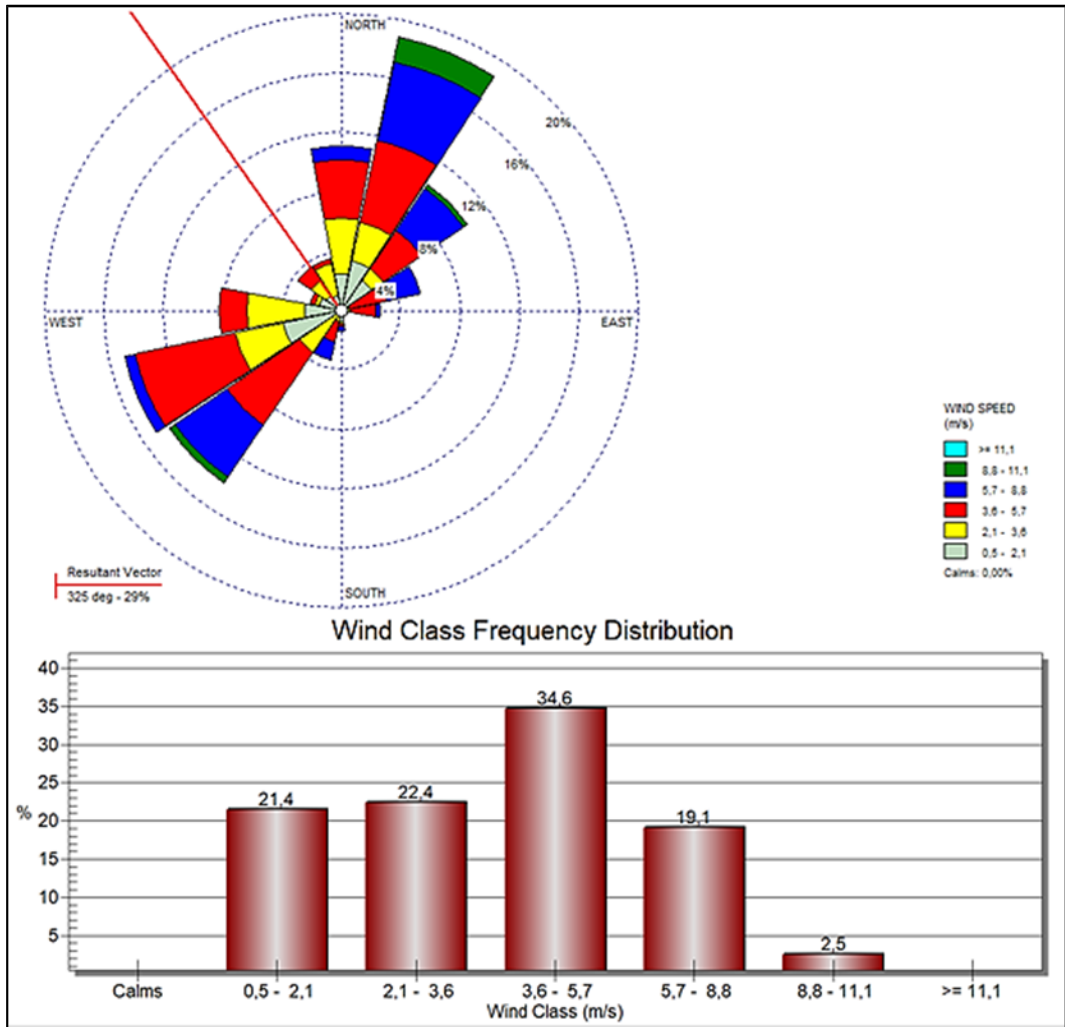




6.8 Rosa de Viento Año '10-'14-'18.







6.9 MP_{2,5} vs. "Precipitaciones" Año '10-'14-'18.

