

DEPOSICIÓN DE PARTÍCULAS DE HOLLÍN EN LA SUPERFICIE DE LAS HOJAS DE FICUS (*Ficus macrophylla*) COMO INDICADOR DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL ECOSISTEMA URBANO DE FLORIDA BAJA–CHIMBOTE

DEPOSITION OF SOOT PARTICLES ON THE SURFACE OF FICUS LEAVES (*Ficus macrophylla*) AS AN AIR POLLUTION INDICATOR IN THE URBAN ECOSYSTEM OF FLORIDA BAJA-CHIMBOTE

Abiu Josué Padilla Lauriano¹ y Elvito Fabián Villegas Silva²

Resumen

El objetivo de la investigación fue cuantificar la deposición de hollín en el follaje de la vegetación arbustiva, formada principalmente por ficus (*Ficus macrophylla*), en el ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote durante el periodo de máxima producción (mayo, junio y julio) en las fábricas productoras de harina y aceite de pescado. El aire de esta zona está cada vez más distante de ser aire limpio por contener altas concentraciones ($187.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h) de partículas suspendidas totales (PST), provenientes de la actividad industrial, comercial, urbana, del parque automotor y de los procesos naturales. Las partículas de hollín generadas por pirólisis en las calderas de las fábricas productoras de harina y aceite de pescado (a partir del diesel) forman parte de una gama de partículas aglomeradas comúnmente de forma esférica, con diámetros aerodinámicos de 0.1 a $2.5 \mu\text{m}$ (partículas finas) y menores a $0.1 \mu\text{m}$ (partículas ultrafinas), las cuales pueden penetrar con mayor facilidad en los alvéolos pulmonares produciendo efectos adversos a la salud. Estas partículas fueron cuantificadas por gravimetría, metodología restringida para cuantificar partículas menores a $10 \mu\text{m}$ (PM–10, PM–5, PM–2.5) siendo necesario utilizar, para este caso, equipos de alto volumen para su monitoreo, aplicaciones tecnológicas complementarias y tecnología de control. En el periodo de mayor actividad de las fábricas productoras de harina y aceite de pescado se ha encontrado una cantidad promedio de 1.08 mg de hollín/ cm^2 ; equivalente a 0.108 toneladas métricas de hollín/hectárea adsorbido en el follaje de los árboles de ficus, dicho nivel de contaminación es 316.79 veces superior al promedio obtenido en la primera campaña de muestreo (periodo de veda en Chimbote).

Palabras clave: deposición de hollín, adsorción, pirólisis, partículas suspendidas totales, partículas finas, partículas ultrafinas.

Abstract

The objective of this investigation was to quantify the deposition of soot on shrub vegetation foliage, mainly comprised of ficus (*Ficus macrophylla*), in the urban ecosystem of Florida Baja–Chimbote during the highest production period (may, june and july) of fish flour and fish oil producing factories. The air from this zone is gradually far from being clean *air* due to the high concentration ($187.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$; in 24 h) of Total Suspended Particles (TSP), which are generated by automobiles, by natural processes and in industrial, commercial and urban activities. Soot particles generated by pyrolysis in the boilers of fish flour and fish oil producing factories (from diesel) belong to a group of commonly spherical agglomerated particles, with aerodynamic diameters of 0.1 to $2.5 \mu\text{m}$ (fine particles) and smaller than $0.1 \mu\text{m}$ (ultrafine particles), which can easily penetrate pulmonary alveoli with adverse consequences on health. These particles were quantified gravimetrically, a methodology restricted to the quantification of particles smaller than $10 \mu\text{m}$ (PM–10, PM–5, PM–2.5). In this case, high volume equipment for monitoring, complementary technological applications and control technology were required. In the period of greatest activity of the fishmeal and fish oil producing factories, an average amount of 1.08 mg of soot / cm^2 was found; equivalent to 0.108 metric tons of soot / hectare adsorbed on the foliage of ficus trees, this level of contamination is 316.79 times higher than the average obtained in the first sampling campaign (closed season in Chimbote).

Key words: soot deposition, adsorption, pyrolysis, total suspended particles, fine particles, ultrafine particles.

Introducción.

La contaminación del aire en el ecosistema urbano de la localidad de Florida Baja–Chimbote presenta altas concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) $187.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h (DIGESA, 2012). Dicho proceso antropogénico se inicia en los primeros años de la segunda guerra mundial con las actividades de pesca en gran escala debido a la demanda internacional de hígado de pescado que incrementó la generación de residuos, que fueron aprovechados para la producción de harina de pescado que en corto tiempo se transformó en un insumo requerido para la alimentación de la industria avícola y porcina en Europa y Estados Unidos. Este gran mercado impulsó un incesante desarrollo de la industria nacional de harina de pescado en los puertos de la costa peruana. Chimbote y Coshco, se convirtieron en los puertos más importantes para la producción de productos derivados de la pesca, por su riqueza en especies marinas, principalmente, anchoveta y sardina (Kuramoto, 2005).

En la zona de influencia están ubicadas 31 fábricas productoras de harina y aceite de pescado, las que generan hollín a partir del diesel utilizado para obtener la energía requerida en las diferentes líneas productivas. Todas las empresas son formales, cuentan con la documentación correspondiente para operar manteniéndose al margen referente a los límites máximos permisibles de emisiones de partículas de carbón (hollín). En Perú los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para aire referente a PM-10 y PM-2.5 muestran valores (DS. 074-2001-PCM) que no coinciden con los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006).

El hollín concentra, por adsorción, óxidos de carbono (CO, CO₂), nitrógeno (NO, NO₂), azufre (SO₂), hidrocarburos, metales de transición y componentes biológicos como las endotoxinas bacterianas (Scheepers & Bos, 1992; U.S. EPA, 1989), formando efectos sinérgicos entre gases, metales y compuestos orgánicos, incrementando el nivel de toxicidad de las partículas suspendidas totales (PST) que varían ampliamente en su composición y propiedades fisicoquímicas (Saldivia *et al.*, 2002). Una fracción de PST corresponde a las partículas con diámetro aerodinámico medio de $10 \mu\text{m}$ (PM-10) las cuales contienen una amplia gama de material particulado y una gran cantidad de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) (Turnbull & Harrison, 2000; Li *et al.*, 2003), el material particulado comprende a su vez varias fracciones de tamaño: gruesas (2.5 a $10 \mu\text{m}$), finas (0.1 a $2.5 \mu\text{m}$) y ultrafinas ($< 0.1 \mu\text{m}$) (Koch, 2000).

El hollín está formado por un conjunto de partículas aglomeradas, comúnmente de forma esférica, alcanzando diámetros aerodinámicos de 0.01 a $0.05 \mu\text{m}$ para las partículas de hollín primarias y de 0.1 a $1 \mu\text{m}$ para las partículas de hollín secundarias; las partículas primarias se generan por pirolisis en la caldera en un

proceso de nucleación mediante el crecimiento de estructuras tridimensionales de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) y las secundarias se forman a partir de la coalescencia de las primarias (Atribak *et al.*, 2010).

La deposición de hollín se concentra en la superficie de las hojas de los árboles aledaños a las fábricas harineras, el cual puede llegar a formar una película sobre el follaje, restringiendo la absorción lumínica y el proceso de fotosíntesis, afectando de esta manera el equilibrio dinámico de la vegetación arbustiva y, por tanto, es probable la aparición de efectos adversos para la salud (De Kok *et al.*, 2006; Mitchell *et al.*, 2010; Novák *et al.*, 2014) en la población del ecosistema urbano de la zona de influencia. Las partículas de hollín también pueden obstruir las vías respiratorias aumentando la secreción de moco (Martínez, 2010) induciendo efectos de disfunción celular (Oberdörster *et al.*, 2005). Estos procesos pueden resultar en la formación de compuestos con actividad redox desencadenando estrés oxidativo (Unfried *et al.*, 2007). Además, si los iones metálicos como hierro, níquel, cobre, entre otros, se liberan de la superficie del hollín en los entornos biológicos, pueden catalizar reacciones Fenton y de forma similar están implicados en un incremento de la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Schins & Knaapen, 2007).

La inhalación de partículas de hollín puede inducir un incremento de ciclooxigenasa-2 (COX-2), enzima de gran importancia en la respuesta inflamatoria inducida por estrés fisiológico y estímulos, efecto altamente significativo en la progresión de enfermedades neurodegenerativas (Rubio-Pérez & Morillas-Ruiz, 2012; Chen *et al.*, 2017).

Materiales y métodos.

Las pruebas de campo se realizaron utilizando estaciones puntuales ubicadas en el ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote (distrito Chimbote, provincia Santa, departamento Ancash).

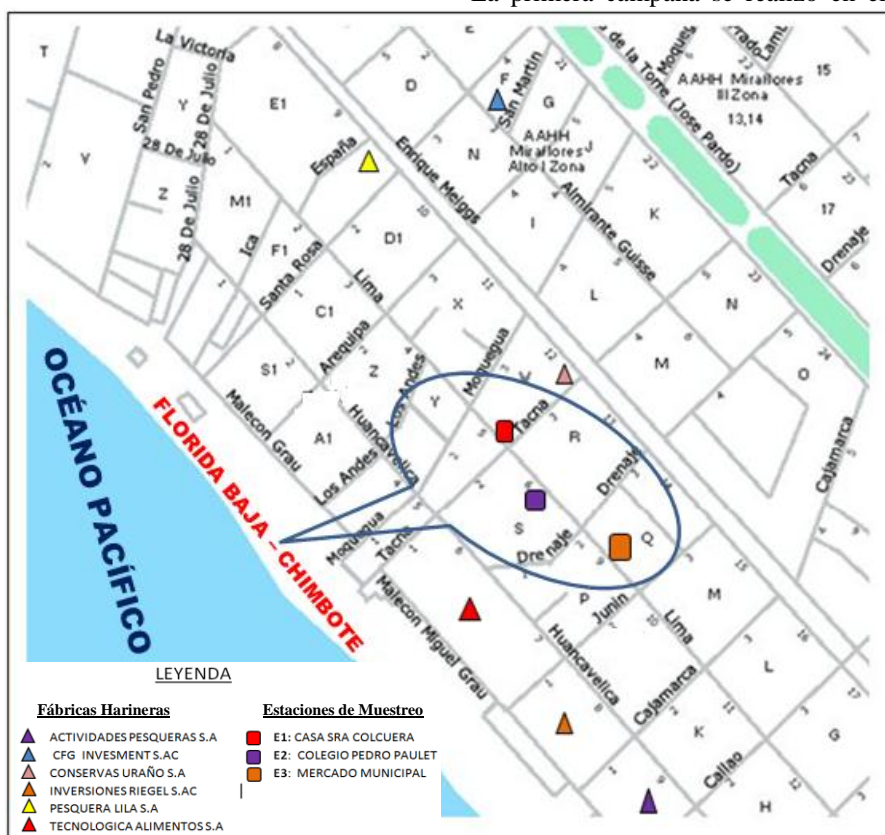
Selección de las estaciones de muestreo.

En la selección de las estaciones de muestreo (Figura 1) se consideró como criterio la influencia antropogénica puntual y móvil (U.S. EPA, 1995), incluyendo en lo posible la incidencia de la pluma contaminante proveniente de las actividades industriales, comerciales, urbanas y los parámetros meteorológicos (dirección del viento, temperatura, humedad, precipitación y radiación solar), con la finalidad de obtener la mayor deposición de hollín en el follaje.

Se ha seleccionado el *Ficus macrophylla* para la deposición de partículas de hollín por ser el más abundante en el área establecida para realizar el estudio; además, la superficie de las hojas se caracteriza por ser débilmente aterciopeladas lo cual permite tener una buena capacidad de adsorción frente a otros materiales disponibles y por la ubicación de la copa del

árbol alcanzando alturas comprendidas entre 2.0 y 2.5 m, factor importante en la conservación y toma de muestras.

diseño experimental se consideraron cuatro campañas de muestreo para cada una de las estaciones respectivas. La primera campaña se realizó en el mes de marzo



Fuente: Dirección Regional de Pesquería del Santa – Chimboé.

Figura 1. Ubicación de las principales fábricas productoras de harina y aceite de pescado y estaciones de muestreo en la ciudad de Chimboé.

Control de interferencias.

Para controlar las interferencias o errores que se presentaron en la toma de muestras se consideraron tres estaciones de muestreo adicionales o blancos fuera del área de influencia (Miramar-Chimboé), la que recibió el mismo tratamiento que las muestras colectadas (de los árboles contaminados) en cada estación de muestreo correspondiente.

Toma de muestras.

La toma de muestras se realizó por triplicado para cada período de muestreo programado (Tabla 1). En el

(2012) que corresponde al periodo de veda (no se realizan actividades productivas), mientras que las otras campañas segunda, tercera y cuarta en los meses de mayo, junio y julio (2012), representan el periodo de máxima producción en las fábricas productoras de harina y aceite de pescado.

Diseño experimental.

Se aplicó el método (U.S. EPA, 1989) de superficie respuesta utilizando una aproximación geométrica de elipse, expresando el resultado de acuerdo con la siguiente relación (Dalmasso *et al.*, 1997):

Deposición de hollín =
$$\frac{\text{Masa (m) hollín adsorbida superficie hoja}}{\text{Área hoja (A}_{\text{hoja}})}$$

$$= \frac{(m) \text{ mg de hollín}}{(\pi \times a \times b) \text{ cm}^2}$$

El área de la hoja o porta muestra corresponde a las hojas de los árboles de ficus (*Ficus macrophylla*), el



Figura 2. Área de la hoja de ficus ($A_{\text{hoja}} = \pi \times a \times b$).

Tabla 1. Toma de muestras por campaña de muestreo de acuerdo con el diseño experimental.

EM	HM	Árbol muestreado		N° M/árbol	PC Marzo	SC mayo	TC junio	CC Julio	N° total muestras
		C	Control (Miramar)						
E-1	8:0 am	1	1	3	6	6	6	6	24
	12:0 m	1	1	3	6	6	6	6	24
	8:0 pm	1	1	3	6	6	6	6	24
E-2	8:0 am	1	1	3	6	6	6	6	24
	12:0 m	1	1	3	6	6	6	6	24
	8:0 pm	1	1	3	6	6	6	6	24
E-3	8:0 am	1	1	3	6	6	6	6	24
	12:0 m	1	1	3	6	6	6	6	24
	8:0 pm	1	1	3	6	6	6	6	24
Total					54	54	54	54	216

EM = Estación de muestreo, HM = Hora de muestreo, C = contaminado, N° M/árbol = Número de muestras/árbol, PC = Primera campaña, SC = Segunda campaña, TC = Tercera campaña, CC = Cuarta campaña.

área de la hoja (A_{hoja}), se ajustó aproximadamente al área de una elipse ($A_{elipse} = \pi \times a \times b$) (Figura 2).

Análisis en el laboratorio.

Las muestras colectadas fueron procesadas en el Laboratorio de Química–Universidad Ricardo Palma, de acuerdo con el protocolo de la metodología correspondiente (U.S. EPA, 1989; Dalmasso *et al.*, 1997). El hollín fue cuantificado por gravimetría.

El hollín fue separado de los porta muestras por lavado con agua destilada y por filtración utilizando papel filtro Whatman N° 42 previamente tarado, se secó la muestra en estufa a 110 ± 2 °C por 1 hora, se estabilizó la temperatura de la muestra en un desecador durante 20 minutos. Por diferencia de pesadas se determinó la masa de hollín adsorbida en las hojas de los árboles considerando la muestra en blanco, para controlar las posibles interferencias. Dichos valores fueron correlacionados con el área de las hojas que les corresponde a cada hora y estación de muestreo.

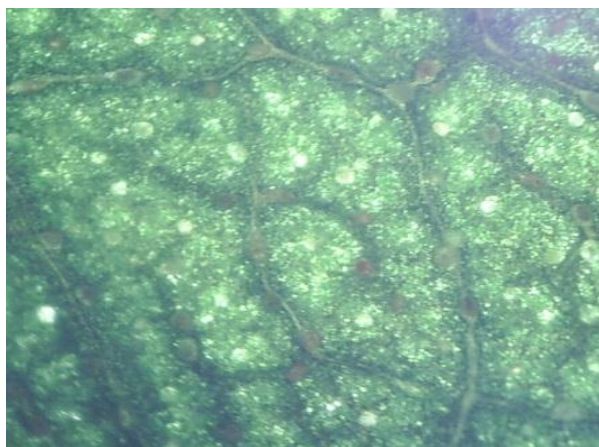


Figura 3. Toma microscópica (x=40) de muestra de hoja de ficus del ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote en el mes de marzo.

Tratamiento estadístico.

Los datos obtenidos en el análisis de laboratorio fueron evaluados utilizando el software IBM SPSS Statistics V21.0; para determinar si los resultados obtenidos presentan diferencias significativas entre los lugares y meses de muestreo se aplicó un diseño de varianza no paramétrica de una vía (ANOVA) y posteriormente una prueba de Tukey.

Resultados.

En la Tabla 2 se presentan los niveles de deposición de hollín por estación y campaña de muestreo. Dichos valores se han obtenido dividiendo la masa (m) de hollín adsorbida en la superficie de la hoja entre el área de la hoja (A_{hoja}):

$$\text{Deposición de hollín} = \frac{(m) \text{ mg de hollín}}{(\pi \times a \times b) \text{ cm}^2}$$

La primera campaña (PC) realizada el mes de marzo (2012) corresponde al periodo de veda en el puerto de Chimbote.

La Figura 3 representa una parte de la hoja de ficus utilizada como porta muestra para cuantificar la deposición de hollín, presentando una superficie aparentemente libre de hollín por tratarse del período de aire más limpio en el ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote. Corresponde a la primera campaña de

Tabla 2. Deposición de hollín según estación y campaña de muestreo.

EM	PC Marzo	SC Mayo	TC Junio	CC Julio	PEM	DE
E-1	0.00	0.34	0.91	1.04	0.76	0.37
E-2	0.00	0.74	1.64	1.78	1.39	0.56
E-3	0.00	0.54	0.64	2.05	1.08	0.84
PCM	0.00	0.54	1.06	1.63		
DE	0.00	0.20	0.52	0.52		

EM = Estación de muestreo, PC = Primera campaña, SC = Segunda campaña, TC = Tercera campaña, CC = cuarta campaña, PCM = Promedio de deposición de hollín por campaña de muestreo (mg de hollín/cm²), PEM = Promedio de deposición de hollín por estación de muestreo (mg de hollín/cm²), DE = Desviación estándar.

muestreo (PC) mes de marzo, 2012, (periodo de veda en el puerto de Chimbote), el PCM fue de 0.0034 ± 0.001 mg de hollín/cm² (Tabla 2).

La Figura 4 permite observar la deposición de hollín formando núcleos pequeños y dispersos en la superficie de la hoja de ficus, corresponde a la segunda campaña de muestreo (SC) mes de mayo (2012). El PCM fue de 0.54 ± 0.20 mg de hollín/cm² (Tabla 2), dicho valor es 159.3 veces superior al promedio obtenido en la PC mes de marzo.

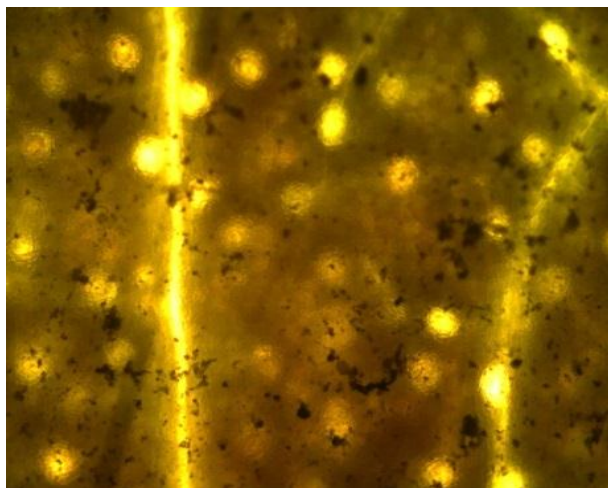


Figura 4. Toma microscópica (x=40) de muestra de hoja de ficus del ecosistema urbano de Florida Baja-Chimbote en el mes de mayo.

La Figura 5 presenta deposición de hollín formando núcleos de mayor tamaño en la superficie de la hoja de ficus, corresponde a la tercera campaña de muestreo (TC) mes de junio (2012). El PCM fue de 1.06 ± 0.52 mg de hollín/cm² (Tabla 2), dicho valor es 312.97 veces superior al promedio obtenido en la PC mes de marzo.

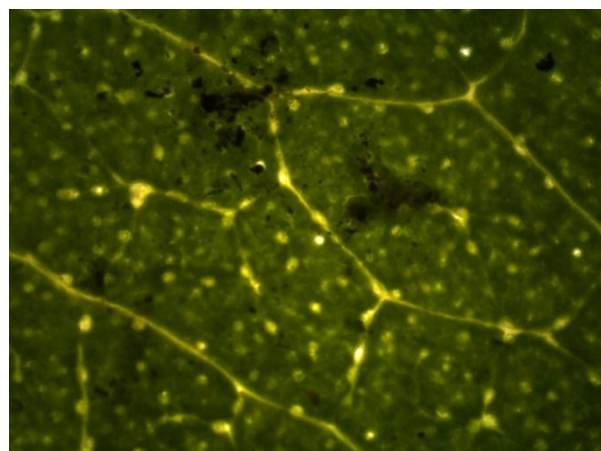


Figura 5. Toma microscópica (x=40) de muestra de hoja de ficus del ecosistema urbano de Florida Baja-Chimbote en el mes de junio.

La Figura 6 concentra la deposición de hollín en cúmulos de mayor tamaño en la superficie de la hoja de ficus, corresponde a la cuarta campaña de muestreo (CC) mes de julio (2012). El PCM fue de 1.63 ± 0.52 mg de hollín/cm² (Tabla 2), dicho valor es 478.15 veces superior al promedio obtenido en la PC mes de marzo.

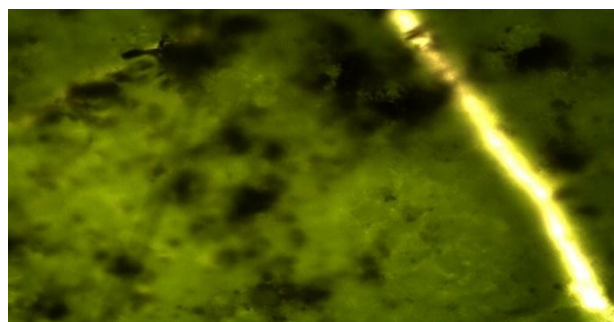


Figura 6. Toma microscópica (x=40) de muestra de hoja de ficus del ecosistema urbano de Florida Baja-Chimbote en el mes de julio.

Discusión.

Los niveles de deposición de hollín en la primera campaña de muestreo (PC) realizada en el mes de marzo (2012), periodo de veda en el puerto de Chimbote, son bajos en cada estación de muestreo y están comprendidos entre 0.0026 y 0.0045 mg de hollín/cm², con un promedio de deposición de hollín por campaña de muestreo (PCM) de 0.0034 ± 0.001 mg de hollín/cm² (Tabla 2 y Figura 3). Considerando como referencia los valores obtenidos en la PC para comparar el incremento de la deposición de hollín en el periodo de mayor actividad de las fábricas productoras de harina y aceite de pescado correspondiente a la segunda, tercera y cuarta campaña de muestreo. Se ha encontrado en la estación E-2 el valor más alto como promedio de deposición de hollín por estación de muestreo (PEM) 1.39 ± 0.56 mg de hollín/cm², dicho valor es 308.69 veces superior al obtenido en la PC para E-2. Mientras que la deposición de hollín en función de la campaña de muestreo el valor más alto obtenido es para la CC mes de julio 1.63 ± 0.52 mg de hollín/cm², dicho valor es 478.15 veces superior al promedio obtenido en la PC mes de marzo (Tabla 2).

Las campañas de muestreo realizadas en mayo y junio (2012), Figura 7, presentan mayor heterogeneidad de los valores más bajos de la deposición de hollín, desplazando las medias hacia abajo en las dos campañas de muestreo. Mientras que en la cuarta campaña (julio) se observa que la deposición de hollín presenta mayor heterogeneidad de los valores más altos desplazando la mediana del valor central hacia un nivel de incremento.

En la Figura 8 la media más alta corresponde a la estación E-2, mientras que en la estación E-1 la deposición de hollín presenta mayor heterogeneidad de

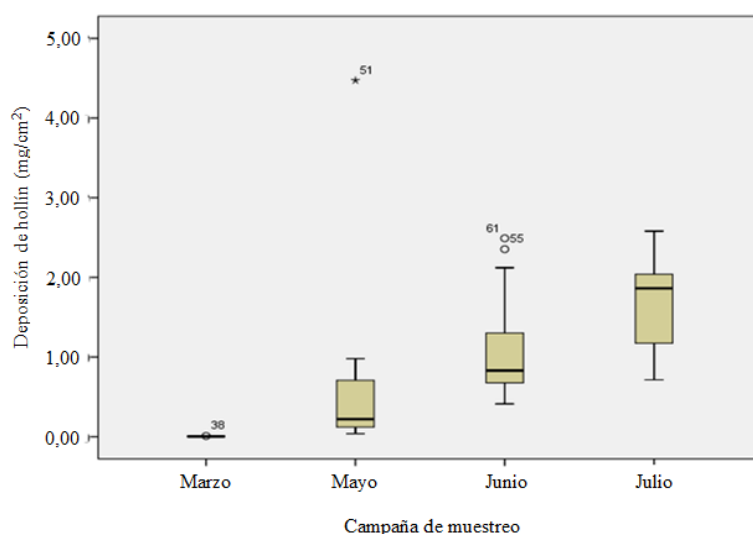


Figura 7. Distribución de la deposición de hollín según las campañas de muestreo.

los valores más altos, desplazando la mediana del valor central hacia un nivel de incremento. En la estación E-3 se encontró mayor asimetría en la deposición de hollín, la media se aproxima a la mediana.

En el periodo de mayor actividad de las fábricas productoras de harina y aceite de pescado (mayo, junio y julio) se incrementa la contaminación en la estación de muestreo (E-2) ubicada en el colegio Pedro Paulet (Tabla 2), predominando el efecto de la influencia de las variables meteorológicas (dirección del viento, temperatura, humedad, precipitación y radiación solar) en la orientación la pluma contaminante sobre el espacio aéreo del centro educativo (Figura 9 y Figura 10-a) y cuando esta pluma antropogénica desciende verticalmente hasta alcanzar el piso ingresa a los

ambientes del colegio presentando inclusive disminución de la visibilidad en el centro educativo (Figura 10-b). En dicho periodo se presentó en la estación E-2 el mayor nivel de deposición de hollín $1.38 \pm 0.56 \text{ mg/cm}^2$, dicho valor es 308.69 veces superior al promedio obtenido en dicha estación en la primera campaña de muestreo.

El análisis comparativo de la tendencia a continuar o prevalencia de enfermedades respiratorias en la base de datos validados por los centros de salud de los dos ecosistemas urbanos ubicados en la zona de influencia Florida Baja y fuera de la zona de influencia Miramar (Tabla 3 y Tabla 4, Figura 11) fueron:

En Florida Baja la prevalencia de faringitis es mayor, continúan con la enfermedad 44 personas,

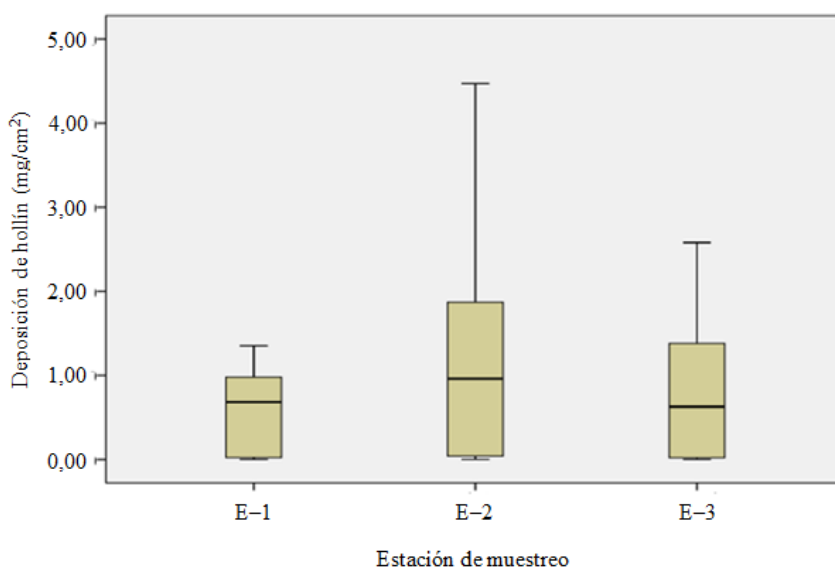


Figura 8. Distribución de la deposición de hollín según estación de muestreo.

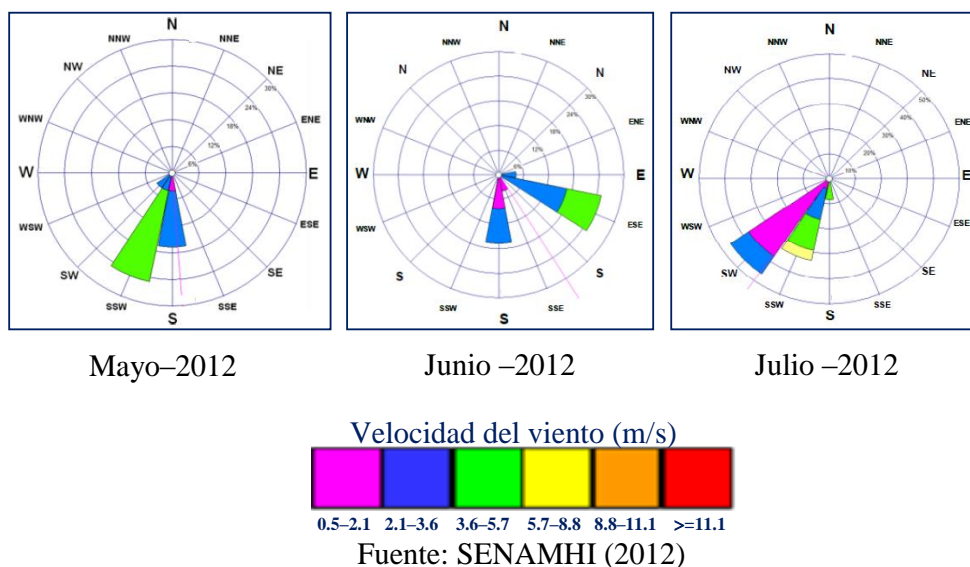


Figura 9. Rosas de viento correspondientes al período de mayor producción en las fábricas productoras de harina y aceite de pescado

mientras que en Miramar continúan con la enfermedad 14 personas (Tabla 3 y Tabla 4).

En Florida Baja y en Miramar continúan con rinitis alérgica 22 y 21 personas, respectivamente. Lo cual indica que dicha enfermedad es independiente de la presencia de hollín (Tabla 3 y Tabla 4).

En Florida Baja la prevalencia de asma acumulada es mayor, continúan con la enfermedad 23 personas, mientras que en Miramar continúan con la enfermedad 18 personas (Tabla 3 y Tabla 4).

En Florida Baja la prevalencia de asma (diagnosticada por médico) es mayor, continúan con la enfermedad 14 personas, mientras que en Miramar continúan con la enfermedad 8 personas (Tabla 3 y Tabla 4).

En Florida Baja y en Miramar continúan con asma actual 5 personas, respectivamente. Demostrando que el asma actual es una enfermedad independiente de la presencia de hollín (Tabla 3 y Tabla 4).

En Florida Baja la prevalencia de otras enfermedades respiratorias es mayor, continúan con la enfermedad 32 personas, mientras que en Miramar continúan con la enfermedad 22 personas (Tabla 3 y Tabla 4).

En Florida Baja la prevalencia de otras enfermedades es mayor, continúan con estas enfermedades 44 personas, mientras que en Miramar continúan con dichas enfermedades 22 personas (Tabla 3 y Tabla 4).

Conclusiones.

El incremento de la producción de las fábricas productoras de harina y aceite de pescado genera mayor deposición de hollín, 316.79 veces superior al promedio de la PC de muestreo en el ecosistema urbano de Florida Baja – Chimbote.

El ambiente del colegio Pedro Paulet presenta en promedio la mayor deposición de hollín, dicho valor es



Figura 10. Ambiente del colegio Pedro Paulet afectado por la actividad antropogénica de las fábricas productoras de harina y aceite de pescado.

Tabla 3. Estimación porcentual de la prevalencia de enfermedades respiratorias en el ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote, diciembre 2011–agosto 2012.

Enfermedad	N	Prevalencia (%)	NCE	IC (95%)	DE
Faringitis	234	18.74	44	16.02 – 21.46	1.39
Rinitis alérgica	164	13.28	22	10.52 – 16.03	1.41
Asma acumulada	166	14.00	23	11.97 – 16.04	1.04
Asma (diagnosticada por médico)	126	10.81	14	8.95 – 12.67	0.95
Asma actual	75	6.67	5	5.05 – 8.28	0.82
Otras enfermedades respiratorias	195	16.44	32	12.91 – 19.96	1.79
Otras enfermedades	234	18.74	44	16.02 – 21.46	1.39

N = número de casos, NCE = número de casos que continúan con la enfermedad, IC = intervalo de confianza, DE = Desviación estándar. Fuente: Dirección de Red de Salud Chimbote (2012).

Tabla 4. Estimación porcentual de la prevalencia de enfermedades respiratorias en el ecosistema urbano de Miramar–Chimbote, diciembre 2011–agosto 2012.

Enfermedad	N	Prevalencia (%)	NCE	IC (95%)	DE
Faringitis	220	6.24	14	3.86 – 8.62	1.45
Rinitis alérgica	160	13.09	21	10.48 – 15.71	1.23
Asma acumulada	170	10.64	18	8.24 – 13.04	1.09
Asma (diagnosticada por médico)	100	8.3	8	3.56 – 7.14	0.92
Asma actual	90	5.06	5	3.12 – 7.01	0.89
Otras enfermedades respiratorias	180	12.25	22	9.88 – 14.62	1.67

N = número de casos, NCE = número de casos que continúan con la enfermedad, IC = intervalo de confianza, DE = Desviación estándar. Fuente: Dirección de Red de Salud Chimbote (2012).

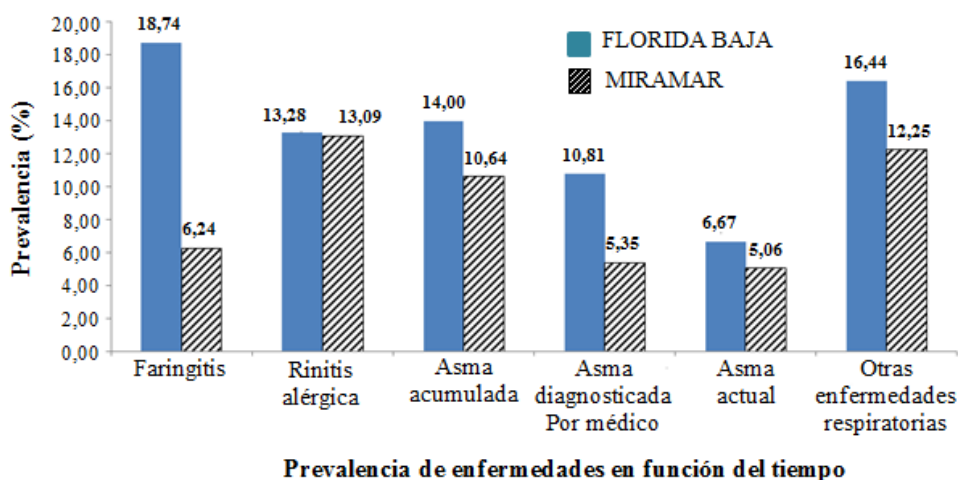


Figura 11. Comparación de la prevalencia general de enfermedades respiratorias entre los ecosistemas urbanos de Florida Baja y Miramar en la ciudad de Chimbote, diciembre 2011–agosto 2012.

308.7 veces superior al valor obtenido en la primera campaña.

La mayor prevalencia de enfermedades respiratorias en función del tiempo se presenta en el ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote, predominando la faringitis y la rinitis alérgica.

Agradecimientos.

Los autores agradecen a la ONGD Diagnóstico Integral por el apoyo económico concedido para la realización del presente trabajo durante el periodo comprendido entre julio 2011 a julio 2013.

Literatura citada.

- Atribak I., Bueno–López A. & García–García A. 2010. Uncatalyzed and catalyzed soot combustion under $\text{NO}_x + \text{O}_2$: Real diesel versus model soots. *Combustion and Flame*, 157(11): 2086–2094.
- Chen H., Kwong J. C., Copes R., Tu K., Villeneuve P. J., van Donkelaar A., Hystad P., Martin R. V., Murray B. J., Jessiman B., Wilton A. S. Kopp A. & Burnett R. T. 2017. Living near major roads and the incidence of dementia, Parkinson's disease, and multiple sclerosis: a population-based cohort study. *The Lancet*, 389 (10070): 718–726.

- Dalmasso A., Candia R. & Llera J. 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina*, 6: 91–97.
- De Kok T. M., Driee H. A., Hogeryst J. G. & Briedé J. J. 2006. Toxicological assessment of ambient and traffic-related particulate matter: a review of recent studies. *Mutat Res.*, 613: 103–122.
- DIGESA. 2012. Monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Chimbote–2012. Dirección General de Salud Ambiental. Ministerio de Salud.
- Dirección de Red de Salud Chimbote. 2012. Epidemiología y Enfermedades Respiratorias. Dirección Regional de Salud de Ancash. Ministerio de Salud.
- Koch M. 2000. Airborne Fine Particulates in the Environment: A Review of Health Effect Studies, Monitoring Data and Emission Inventories. International Institute for Applied Systems Analysis. Schlossplatz 1. A–2361 Laxenburg. Austria.
- Kuramoto J. R. 2005. “El cluster pesquero de Chimbote: Acción conjunta limitada y la tragedia de los recursos colectivos”, Documento de trabajo 48, Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE), Lima, 27.
- Li N., Sioutas C., Cho A., Schmitz D., Misra C., Sempf J., Wang M., Oberley T., Froines J. & Nel A. 2003. Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environ Health Perspect*, 111(4): 455–460.
- Martínez C. 2010. Lesiones pulmonares por inhalación. *An Pediatr.*, 72: 23–26.
- Mitchell R., Maher B. A. & Kinnersley R. 2010. Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: temporal and inter-species magnetic analyses. *Environ Pollut.* 158 (5): 1472–1478.
- Novák J., Hilscherová K., Landlová L., Cupr P., Kohút L., Giesy J. P. & Klánová J. 2014. Composition and effects of inhalable size fractions of atmospheric aerosols in the polluted atmosphere. Part II. In vitro biological potencies. *Environ Int.*, 63: 64–70.
- Oberdörster G., Oberdörster E. & Oberdörster J. 2005. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect.*, 113(7): 823–839.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. OMS. 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza.
- Rubio-Pérez J. M. & Morillas-Ruiz J. M. 2012. A Review: Inflammatory Process in Alzheimer’s Disease, Role of Cytokines. *Scientific World Journal*, 2012(1): 1–15.
- Saldivia P. H., Clarke R. W., Coull B. A., Stearns R. C., Lawrence J., Murthy G. G., Díaz E., Koutrakis P., Suh H., Tsuda A. & Godleski J. J. 2002. Lung inflammation induced by concentrated ambient air particles is related to particle composition. *Am J Respir Crit Care Med.*, 165(12): 1610–1617.
- Scheepers P. T. & Bos R. P. 1992. Combustion of diesel fuel from a toxicological perspective. *Int Arch Occup Environ Health*, 64(3):149–161.
- Schins R. P. & Knaapen A. M. 2007. Genotoxicity of poorly soluble particles. *Inhal Toxicol.*, 19(1): 189–198.
- SENAMHI. 2012. Pronósticos meteorológicos marzo–julio de 2012. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Ministerio del Ambiente.
- Turnbull A. B. & Harrison R. M. 2000. Major component contribution to PM10 composition in the UK atmosphere. *Atmos Environ.*, 34(19): 3129–3137.
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1989. AP 42 Emission Factor Documentation for section 2.6 Medical Waste Incineration. Washington: US Government printing office.
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1995. Monitoring Manual, volume 1: Air Quality. Emission Testing Methodology for Air Pollution.
- Unfried K., Albrecht C., Klotz L. O., Von Mikecz A., Grether-Beck S. & Schins R. P. F. 2007. Cellular responses to nanoparticles: Target structures and mechanisms. *Nanotox.*, 1(1): 52–71.

¹ Ecología y Gestión Ambiental, Escuela de Posgrado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. abiu33@hotmail.com.

² Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. elvito@lamolina.edu.pe.