

Material particulado en el microcentro de la Ciudad de Asunción. período agosto a septiembre 2014

Particulate matter in air of downtown Asunción City. August- September 2014 period

Miguel Angel Vázquez ⁽¹⁾, Mónica Belén Pereira Arce ⁽²⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN), UNA

mvazquez@facen.una.py.

⁽²⁾ Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), UNA.

Recibido: 26.02.2016

Aceptado: 24.03.2016

Resumen: La contaminación del aire es un significativo problema de salud ambiental que afecta a los países desarrollados de todo el mundo. A escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de partículas y gases potencialmente nocivos que afectan la salud humana y al ambiente, y que en un largo plazo dañan hasta los recursos necesarios para el desarrollo sostenible del planeta. En el presente trabajo de investigación realizado se ha diagnosticado la calidad del aire en el microcentro de la ciudad de Asunción. Se ha planteado como objetivo evaluar muestras de material particulado, colectados por deposición en diferentes puntos estratégicos del microcentro de la ciudad. Para evaluar las muestras del material particulado del aire, se utilizó un método de monitoreo pasivo por deposición, y como colector de las partículas se utilizaron placas Petri con papel de filtro. En el estudio realizado se consideraron seis puntos de muestreos, dejando los colectores de muestras durante una semana completa con tres repeticiones de la misma. El estudio muestra que la masa del material particulado del aire colectadas fue bastante elevada en los puntos de mayor circulación vehicular, destacándose la intersección de las calles Félix de Azara y Estados Unidos con un valor total de 325 μg y una densidad superficial de 2,14 $\mu\text{g cm}^{-2}$ y una masa total colectada de material particulado de aproximadamente 1.150 μg en el área del micro centro de Asunción.

Palabras claves: material particulado, contaminación del aire, monitoreo pasivo.

Summary: Air pollution is a significant environmental health problem affecting developed countries around the world. Globally, the atmospheres emit large amounts of potentially harmful gases and particles that affect human health and the environment, and in long-term damage to the resources needed for sustainable development of the planet. In this research work it has been diagnosed air quality in the downtown of the city of Asuncion. It has been proposed aimed at evaluating samples of particulate matter collected by deposition in different strategic points of the city downtown. To evaluate samples of the particulate material from the air, a method of passive monitoring deposition was used, and as the particles collector Petri dishes were used with filter paper. In the study six points of samples were considered, leaving the samplers for a full week with three repetitions of the same. The study shows that the mass of particulate matter collected air was

quite high in points higher vehicular traffic, highlighting the intersection of streets Felix de Azara and the United States with a total value of 325 μg and a surface density of 2,14 $\mu\text{g cm}^{-2}$ and a total mass of particulate matter collected about 1150 μg in the area of micro center of Asuncion.

Keywords: particulate matter, air pollution, passive monitoring.

1. Introducción

La contaminación atmosférica se describe como la presencia en la atmósfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas, sólidas o radiaciones ajenas a su composición natural o en proporción superior a aquella. Habitualmente ese término suele referirse a la ocasionada por fuentes de naturaleza antropogénica, aunque también existen episodios de contaminación atmosféricos por fuentes naturales [1].

La contaminación del aire puede definirse como la presencia en la atmósfera ambiental de uno o varios contaminantes como polvos, gases, bruma, olores o vapores, en cantidades, características y duración que puedan dañar la salud del hombre, plantas y animales, así como a los bienes [2].

La contaminación del aire es una condición atmosférica, en la que existen sustancias con concentraciones más altas que el fondo normal o que los niveles del ambiente, está contaminada si tiene efectos que se puedan medir sobre los humanos, fauna, flora o materiales [3].

Los contaminantes atmosféricos se clasifican según su origen, composición química y estado de la materia. Según su origen se clasifican como primarios y secundarios; los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera y se encuentran en la misma forma en que fueron emitidos, mientras que los contaminantes secundarios son los que se forman en la atmósfera, por medio de reacciones fotoquímicas, hidrólisis u oxidación. Según su composición química, los contaminantes se clasifican en orgánicos e inorgánicos; y según el estado en que se encuentren en partículas y gases [4].

Según las fuentes los contaminantes del aire se clasifican en fuentes fijas o estacionarias y en fuentes móviles. Las fuentes fijas provienen del área rural tales como la producción agrícola, minera y de canteras; fuentes industriales ubicadas tanto en un determinado punto o en un área determinada (parques industriales), incluye a las manufacturas químicas, productos minerales no metálicos, industrias de metales básicos y generación de energía entre los principales y las fuentes provenientes de la población, tales como: calefacción de los hogares y edificios, residuos domiciliarios, incineradores, chimeneas,

servicios de lavandería. Las fuentes móviles comprenden toda forma de combustión de los vehículos motorizados (autos, camiones, ómnibus, motocicletas, aviones, etc.) y también el polvo que produce el tránsito de dichos vehículos [5].

Material particulado

Entre los contaminantes del aire de mucho interés por su implicancia en la salud son los materiales particulados atmosféricos, que se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera, a excepción del agua pura. El termino material particulado atmosférico es un concepto amplio que engloba tanto las partículas en suspensión como las partículas sedimentables caracterizadas por su corto tiempo de residencia en la atmósfera [6].

Habitualmente se utiliza la simbología MP para referirse al material particulado del aire, generalmente acompañado de un número que indica el diámetro de la partícula. Debido a que las partículas finas coagulan y las gruesas sedimentan, el tamaño de las partículas que permanecen en el aire están fundamentalmente comprendido entre 0,1 y 10 μm [1]. Sus fuentes son tanto naturales como antropogénicas, y su origen determina tanto su composición química como su distribución de tamaños. Los principales mecanismos de generación de MP son principalmente la desintegración mecánica de la materia sólida y los procesos de combustión.

El material particulado consiste principalmente en partículas de carbón no quemado, sulfatos, nitratos, amonio, cloro, y partículas de metales como hierro, mercurio y plomo que al ser emitidas permanecen suspendidas en el aire [7].

El sistema respiratorio puede ser dañado directamente por el material particulado que entra al sistema sanguíneo o linfático a través de los pulmones. Los componentes solubles del material particulado pueden ser transportados a órganos distantes y causar efectos nocivos sobre éstos. Las partículas de tamaño inferior a 10 μm de diámetro son las que penetran en los pulmones, las de tamaño comprendido entre 2,5 a 10 μm se depositan en la tráquea, bronquios y bronquiolos. Mientras que las partículas de tamaño inferior a 2,5 μm son capaces de llegar al interior de los alvéolos pulmonares, donde las más hidrosolubles se disuelven y las menos hidrosolubles se depositan [7].

Las partículas pueden tener un efecto tóxico de una o más de las siguientes maneras; la partícula puede ser intrínsecamente tóxica debido a sus características inherentes químicas y/o físicas, la partícula puede interferir con uno o más de los mecanismos que despejan usualmente el aparato respiratorio o la partícula puede actuar como un conductor a una sustancia tóxica absorbida [8].

Considerando el impacto negativo en la salud humana de las partículas del aire y para diagnosticar la calidad de aire en la ciudad de Asunción, se ha realizado la investigación con el objetivo de evaluar material particulado del aire colectado por deposición en diferentes puntos estratégicos de la ciudad. El informe es una contribución de los autores para difundir aspectos de la calidad de aire en los centros urbanos, y es parte de los resultados del estudio realizado en el marco del trabajo de tesis, presentado y defendido para optar el título de Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción [9].

2. Metodología

El estudio fue llevado a cabo en la ciudad de Asunción, la cual posee una superficie total de 117 km². La investigación comprendió el microcentro de la ciudad, en los Barrios de La Encarnación y San Roque. La localización específica de los seis puntos de muestreo (P.1; P.2; P.3; P.4; P.5 y P.6) es detallado en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1: Localización de los puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Localización
P.1	Calle Oliva y Av. Colón
P.2	Calle Palma y Ayolas
P.3	Calle Estrella y Nuestra Señora de la Asunción
P.4	Calle Luís A. de Herrera e Independencia Nacional
P.5	Calle Félix de Azara y Estados Unidos
P.6	Calle 25 de Mayo y Brasil

Criterios de selección de puntos de muestreo

Para la selección de los puntos de muestro se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: a) La representatividad de los puntos, debido a que el centro de la ciudad presenta un alto flujo vehicular principalmente en días laborales; b) La uniformidad de los puntos, se buscó distribuir los puntos de la manera más uniforme posible dentro del microcentro, ubicando un punto en cada calle preferencial; c) La seguridad donde se dejaron los colectores, evitando ubicar los puntos en sitios que cuenten con la presencia de trabajadores informales; d) La accesibilidad a los puntos de muestreos, para la facilitar la colocación de los colectores y e) La utilización de las calles, eligiendo los puntos en las intersecciones de calles más transcurridas del centro de la ciudad.

Descripción del proceso de recolección de datos

Previo a la ejecución del muestreo, se describió el área circundante hasta los 100 metros a la redonda entorno a los puntos de muestreo, donde se tuvo en cuenta la presencia de edificios que afectan el flujo del aire, y las posibles fuentes de emisiones de partículas como construcciones y actividades comerciales, además, se eligieron los posibles sitios donde ubicar los colectores.

La clasificación de los puntos se realizó considerando tres tipos de intersecciones de calles; en la denominadas intersección de tipo 1, donde por ambas vías sólo transitan vehículos particulares; en la intersección del tipo 2, donde sólo por una de las vías circulan transportes públicos y vehículos particulares y en la otra vía sólo vehículos particulares, y en la intersección del tipo 3, donde por ambas vías circulan tanto transportes públicos como vehículos particulares.

Para la recolección de muestras se utilizaron placas Petri de plástico de 9 cm de diámetro con un papel de filtro en su interior, conformando ambos el colector de partículas. El mismo fue identificado y pesado previo a su utilización. De soporte se utilizó una tapa de tubo relleno con un material de isopor.

Los colectores se ubicaron a la altura de dos metros, medidos con cinta métrica. La altura se ubicó según el Proyecto Aire Limpio [10], fuera del alcance de transeúntes, cercano al nivel del aire aspirado por las personas y sin restricciones al flujo del aire, según puede verse en la Figura N° 1.



Figura N° 1: Ubicación de colectores en los sitios de muestreo.

Las mediciones se realizaron en todos los puntos durante la tercera y cuarta semana del mes de agosto y en la segunda semana del mes de septiembre del año 2014, no se pudo realizar de manera consecutiva por las continuas precipitaciones.

En cada punto se ubicaron tres colectores, considerados como una unidad de muestreo. Los mismos se situaron en tres columnas diferentes en las intersecciones de las calles, permaneciendo en el lugar durante siete días y posteriormente retirados.

Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se inició con la digitalización en planillas de Microsoft Office Excel, realizando los cálculos de promedio de masa y densidad superficial de las partículas.

Los colectores fueron secados y pesados en el laboratorio utilizando una estufa y balanza de precisión, dichos procesos se realizaron anterior a la colocación de los colectores y posterior a la recolección de los mismos, luego de la exposición de siete días, los colectores se dispusieron en una conservadora para aislarlos de una posible contaminación.

El secado consistió en mantener las muestras a una temperatura de 100°C durante 15 minutos, repitiendo este procedimiento tres veces con intervalos de 10 minutos entre cada repetición, de acuerdo a lo realizado por Harris [11] con el fin de eliminar el contenido humedad absorbido por el papel de filtro.

La masa fue determinada según la siguiente formula: $m = mc_2 - mc_1$

Dónde: m es la masa del material particulado del aire en μg ; mc_2 es la masa final del colector en μg , y mc_1 es la masa inicial del colector en μg

La determinación de la masa se realiza inmediatamente al salir de la estufa, utilizando el valor que indicó la balanza y se utilizó el protector para evitar la influencia del aire sobre el objeto a pesar.

En los casos en que se tuvo más de un colector por punto de muestreo, se utilizó el promedio de las masas de las partículas del aire en el punto.

Los cálculos de densidad superficial se realizaron utilizando la siguiente fórmula:

$$DS = m / A \dots\dots (1)$$

Dónde: DS es la densidad superficial ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$); m es la masa del material particulado (μg) y A es el área de la superficie del filtro (cm^2). El área de la superficie del filtro expuesto equivale a $63,6 \text{ cm}^2$, determinada a través del diámetro conocido igual a 9 cm.

Métodos de control de calidad de datos

Para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos se llevó a cabo un procedimiento de manejo de colectores, manteniéndolos aislados y manipulando con pinzas y guantes con extremo cuidado, evitando volcarlos o moverlos en exceso.

En cada punto de muestreo se ubicaron tres colectores simultáneamente previendo que se extravíen o sean manipuladas por personas ajenas a la investigación. Las muestras dañadas por las precipitaciones ocurridas durante la toma de datos fueron desechadas y no se consideraron para el análisis, repitiendo los mismos procedimientos de pesajes y secado con muestras nuevas hasta completar tres repeticiones.

3. Resultados y discusión

3.1 Descripción y clasificación de puntos de muestreo.

La descripción de los puntos, las posibles fuentes de partículas y la clasificación según el tipo de intersección de las calles se observan en el Cuadro N° 2.

Las intersecciones del tipo 1 fueron los puntos de muestreos P.2 y P.3; las intersecciones del tipo 2 fueron los puntos P.4 y P.6 y las intersecciones del tipo 1 fueron los puntos P.1 y P.5.

Las posibles fuentes de contaminantes identificadas en los diferentes puntos de muestreo fueron los vehículos, los ómnibus en las intersecciones de tipo 2 y 3, la vegetación urbana de plazas y veredas como posible fuente de polen, las estaciones de servicio y los puestos de comida tanto formales como informales, siendo estos últimos mayormente nocturnos.

En cuanto a la altitud, el punto de muestreo P.6 presenta el mayor valor con 117 m y el menor el punto de muestreo P.4 con 80 m.

El área de muestreo dentro del microcentro de la ciudad se caracterizó por ser altamente comercial, principalmente de venta de comida (formal e informal), galerías de productos tecnológicos así también de ropas, bancos, financieras, librerías, pubs, estacionamientos, etc. Resulta importante mencionar que todos los comercios cierran en horarios de la tarde

y solo algunos de los locales de venta de comidas permanecen abiertos y principalmente los informales durante los fines de semana.

Cuadro N° 2. Descripción y clasificación de puntos de muestreo.

Punto	Fuentes posibles	Descripción	Tipo de intersección
P.1	Vehículos, ómnibus, vegetación urbana, puesto de venta de comidas	Altitud 72 m, con dos edificios de gran altura, calle Oliva presenta pendiente pronunciada.	3
P.2	Vehículos, vegetación urbana, puesto de venta de comidas	Altitud 90 m, con edificios bajos.	1
P.3	Vehículos, vegetación urbana, puesto de venta de comidas	Altitud 91 m, sin presencia edificios de gran altura, rodeado de cuatro plazas.	1
P.4	Vehículos, ómnibus, puesto de venta de comidas	Altitud 80 m, con edificios de altura media.	2
P.5	Vehículos, ómnibus	Altitud 94 m con edificios de altura baja.	3
P.6	Vehículos, ómnibus, estación de servicio	Altitud 117 m, con edificios de gran altura, pendiente pronunciada.	2

3.2 Masa del material particulado del aire

Los datos de los promedios de la masa del material particulado del aire colectado por semanas de medición se exponen a continuación:

a) En la primera semana, el punto P.3 presentó el menor promedio de masa con 35 µg; considerado este punto como tipo de intersección 1, seguido por el P.1; clasificado como tipo de intersección 3 con 48 µg. En el P.2 no se registraron datos debido a la pérdida de la totalidad de las muestras. El más alto promedio de masa de las partículas se registró en el punto P.5 con 105 µg; considerado como tipo de intersección 3, seguido por el P.4 con 95 µg; del tipo de intersección 2 y por el P.6 con 75 µg; del tipo de intersección 2.

En la primera semana de medición la diferencia entre los mayores promedios de masa P.4 y P.5 fue de 10 μg , mientras que la diferencia entre los menores promedios de masa P.1 y P.3 fue de 13 μg , sin embargo la diferencia entre el mayor promedio y el menor promedio de masa P.5 y P.3 fue de 70 μg .

b) En la segunda semana, el menor promedio de masa de partículas se encontró en el punto P.1 con 15 μg ; tipo de intersección 3, seguido por el punto P.3 con 21 μg ; tipo de intersección 1. En el punto P.2 no se registraron datos debido a la pérdida de la totalidad de las muestras. El punto P.5 presentó nuevamente el mayor promedio de masa con 84 μg ; clasificado como tipo de intersección 3, seguido por el P.6 con 53 μg y el P.4 con 39 μg , ambos del tipo de intersección 2. Los menores promedios de masa correspondientes a los puntos P.1 y P.3, presentaron una diferencia ínfima entre sí de 6 μg . Entre P.5 y P.6, los mayores promedios de masa de partículas presentaron mayor rango de diferencia de 31 μg . La diferencia entre el mayor y menor promedio fue de 69 μg , siendo los promedios del P.5 y P.1 respectivamente.

c) En la tercera semana, el promedio mayor de masa de partículas nuevamente fue en el punto P.5 con 136 μg ; intersección tipo 3, seguido por el P.6 con 124 μg ; intersección tipo 2 y el P.4 con 119 μg del mismo tipo de intersección que el punto anterior. El P.2 presentó el menor promedio de masa de partículas con 44 μg ; tipo de intersección 1, seguido por el P.3 con 73 μg también del mismo tipo de intersección y por último el P.1 con 80 μg ; intersección del tipo 3. La diferencia entre el mayor y menor promedio de masa de partículas el P.5 y P.2 fue de 92 μg . La diferencia entre los mayores promedios de masa, P.5 y P.6 fue de 12 μg ; y entre los menores promedios de masa, P.2 y P.3 la diferencia fue de 29 μg .

El resumen de los promedios de la masa de partículas del aire por punto de muestreo y por semana de medición, se puede observar en el Cuadro N° 3.

En el Cuadro 3 se muestra, que en la tercera semana se produjo la colección de mayor cantidad de masa de partículas, 576 μg , seguido por la primera semana con 361 μg y la segunda semana con 212 μg . Cabe destacar que al no obtener muestras en el unto P.2 en la primera y segunda semana, no aportaron a la sumatoria total de los promedios de masa en dichas semanas.

Los mayores valores de la masa total de partículas del aire por puntos en el periodo del estudio se encontraron en los P.5, P.4 y P.6 con 325 μg , 256 μg y 252 μg respectivamente y los menores valores de masa total en P.3 y P.1 con 129 μg y 143 μg respectivamente.

Cuadro N° 3: Promedio de la masa del material particulado en μg .

Punto	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Σ (μg)
P.1	48	15	80	143
P.2	-	-	44	44
P.3	35	21	73	129
P.4	98	39	119	256
P.5	105	84	136	325
P.6	75	53	124	252
Σ (μg)	361	212	576	1.149

Debido a la pérdida de datos producida en el punto P.2, la suma total de partículas fue de tan sólo 44 μg , correspondiente a la tercera semana de medición, no obstante igual resulta el valor promedio menor de dicha semana donde se presentaron los promedios más altos en todos los puntos, pudiendo suponer que el P.2 sería el que presentaría menor promedio de masa de partículas.

La masa total del material particulado colectado en los diferentes puntos del estudio durante las tres semanas fue de aproximadamente 1.150 μg .

3.3 Densidad superficial de material particulado del aire

La densidad superficial del material particulado del aire para cada punto de monitoreo fue determinado a través de la ecuación (1) durante las tres semanas de muestreo. Se destaca la tercera semana de medición con los mayores valores de la densidad superficial en los puntos de muestreos P.5, P.6 y P.4, con 2,14 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 1,95 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y 1,87 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ respectivamente. Mientras que los valores mínimos se encontraron en P.1 y P.3 en la segunda semana de medición con 0,24 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y 0,33 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ respectivamente.

Los valores de densidad superficial en el punto P.2 no se pudieron obtener en las dos primeras semanas de medición ya que se perdieron la totalidad las muestras.

4. Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación, se destacan algunas conclusiones que se citan a continuación:

- a) El mayor promedio de masa del material particulado se encontró en el punto P.5 (Félix de Azara y Estados Unidos) en el periodo de medición. En cambio los menores promedios de masa se encontraron en los puntos P.3 (Estrella y Nuestra Señora de la Asunción) en la primera semana; punto P, 1 (Oliva y Av. Colón) en la segunda semana y en el punto P.2 (Palma y Ayolas) en la tercera semana de medición.
- b) La tercera semana de monitoreo presentó los promedios mas altos de masa de material particulado en todos los puntos de muestreos. En cambio la segunda semana presentó los promedios más bajos de masa de partículas en todos los puntos de muestreo.
- c) El promedio total de masa del material particulado colectado fue de aproximadamente 1.150 μg en el área del microcentro de Asunción.
- d) Los valores máximos de la densidad superficial encontrados fueron 2,14 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 1,95 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y 1,87 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ en los puntos P.5 (Félix de Azara y Estados Unidos), P.4 (Luís A. de Herrera e Independencia Nacional) y P.6 (25 de Mayo y Brasil) respectivamente en la tercera semana de medición.

Referencias bibliográficas

- [1] Orozco, C; Pérez, A; González, M; Rodríguez, F; Alfayate, J. 2008. Contaminación ambiental Una visión desde la química. Thomson. Madrid, SP. 1ra edición 4ta reimpresión. 363-371 p.
- [2] Enger, E; Smith, B. 2006. Ciencia ambiental. Mc Graw-Hill Interamericana. México. 10ma ed. 526 pp.
- [3] Kiely, G. 1999. Ingeniería ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana. España. 456-457 p.
- [4] Campos Gómez, I. 2003. Saneamiento Ambiental. Universidad Estatal a Distancia. San José, CR. 248pp.
- [5] Tomassetti, Z. 2003. Impacto ambiental del transporte urbano en el gran Mendoza. (en línea) Consultado 22 mar 2013. Disponible en: <http://www.aep.org.ar/espa/anales/works05/tomassetti.pdf>

- [6] Querol, X. 2004. Los sistemas terrestres y sus implicaciones medioambientales. Ministerio de Educación y Ciencia. Secretaría General de Educación. Instituto Superior de Formación del Profesorado. España. 321pp.
- [7] Ruiz, C. 2006. Caracterización del material particulado en las principales vías de transporte público colectivo y masivo del centro de Bogotá. Tesis (Ing. Amb.) Bogotá, CO: Carrera de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. 98 p.
- [8] Wark, K; Warner, C. 2006. Contaminación del aire: Origen y control. Versión autorizada en español. Limusa S.A. México DF, MX. 650 p
- [9] Mónica, B. Pereira A. 2015. Diagnóstico de material particulado del aire durante la estación de invierno de 2014 en el microcentro de la ciudad de Asunción. Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción como requisito para obtener el título de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería.
- [10] Proyecto Aire Limpio. 2006. Red de monitoreo de la Calidad de aire. Agencia suiza para el desarrollo y la cooperación (COSUDE). Bolivia. 53 p.
- [11] Harris, D. 2001. Análisis químico cuantitativo. Reverte. España. 2da ed. 985 pp.