

ESTIMACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO Y SEDIMENTABLE EN EL LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES DE LA UNACH

Guido-Patricio Santillán-Lima*1; Diego-Armando Damián-Carrión1; Marco-Vinicio Rodríguez-Llerena1; Silvia-Hipatia Torres-Rodríguez1; Franklin-Enrique Cargua-Catagña1; Santiago-Manuel Torres-Barahona1

1Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH); Av. Antonio José de Sucre Km 11/2 vía a Guano; Riobamba-Ecuador.

* Autor para correspondencia: gpatosl@hotmail.com

R esumen

El material particulado (MP) es una mezcla heterogénea de partículas líquidas y sólidas suspendidas en el aire que presentan tamaños diferentes, entre ellos 2.5 y 4 μm . La presencia de estas partículas está relacionada con diversos daños al sistema cardiorrespiratorio. La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (LSA-UNACH), con el propósito de evaluar el grado de contaminación por material particulado atmosférico (MPA) y material particulado sedimentable (MPS). El MPA de 2.5 y 4 μm se midió con el equipo DustTrak™ II y el MPS se determinó por el método de muestreo pasivo para polvo sedimentable, realizándose 12 análisis por cada reactivo HACH® (fósforo, nitritos, nitratos y sulfatos), obteniendo 48 análisis diarios durante un mes de muestreo. Los resultados fueron comparados con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la legislación ecuatoriana. Se encontró una media diaria de MPA de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de 14.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el $\text{MP}_{2.5}$ y MP_4 respectivamente, valores superiores a los LMP. Esto indica condiciones alarmantes en el LSA-UNACH.

Palabras Claves: Cámara de aislamiento, Contaminación, DustTrak™ II, Material particulado atmosférico, Material particulado sedimentable.

A bstract

Particulate matter (PM) is a heterogeneous mixture of liquid and solid particles suspended in the air that have different sizes among which are 2.5 and 4 μm . The presence of these particles is related with various cardiorespiratory system damage. This research was conducted at the Environmental Services Laboratory of Universidad Nacional de Chimborazo (LSA-UNACH), in order to assess the degree of contamination by atmospheric PM (APM) and settleable PM (SPM). To determine the APM of 2.5 and 4 μm was used the DustTrak™ II equipment and SPM was measured by passive sampling method for settleable dust, performing 12 analysis for each HACH® reagent (phosphorus, nitrites, nitrates and sulfates), obtaining 48 daily tests during a month sampling. The results were compared with the maximum permissible limits (MPL) established by the World Health Organization (WHO) and the Ecuadorian legislation it was found a daily average of 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 14.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for him $\text{SPM}_{2.5}$ and SPM_4 respectively. Finding in both cases excess in permissible limits, which indicates alarming conditions in the LSA-UNACH.

KeyWords: Isolation chamber, Contamination, DustTrak™ II, Atmospheric particulate matter, Settleable particulate material.

INTRODUCCIÓN

Es importante desarrollar estudios en relación a las condiciones de seguridad en instituciones de educación superior, fábricas, industrias, entre otras, para determinar el potencial de riesgo al que están expuestos los trabajadores respecto a agentes químicos, físicos y biológicos presentes en cada área laboral (1). Uno de los problemas frecuentes es la exposición del personal a elevadas concentraciones de material particulado (MP), que aumenta el riesgo de eventos isquémicos agudos, altera la función autonómica e incrementa el riesgo de arritmias (2), dando lugar también a enfermedades oncológicas y emergentes (3).

El MP es una mezcla heterogénea de partículas líquidas y sólidas suspendidas en el aire, de diferentes tamaños (4), que pueden ser emitidas mediante dispersión mecánica del material orgánico y a través de la combustión no controlada (5). En ambientes cerrados, como algunas instituciones, el MP se produce por actividades humanas o una organización laboral deficiente (6). Por el contrario, el llamado polvo atmosférico (MPS) consiste en pequeñas partículas suspendidas en el aire que debido a su peso descienden sobre la superficie solidificándose (7). Según la Normatividad Nacional e Internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los LMP para la salud humana son de 0,5 mg/cm²/mes (8), mientras que para el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) los LMP son de 1 mg/cm²/mes (9).

El MP es considerado para algunos autores como un catalizador para muchas reacciones químicas atmosféricas, influyendo en los procesos climáticos y la salud humana (10). El MP, por ser de dimensión, forma y constitución variada, se ha clasificado de acuerdo a su diámetro aerodinámico, agrupándose en partí-

culas finas y gruesas, 2.5 y 10 µm respectivamente (11). El MP con diámetro menor o igual a 10 µm (MP₁₀) ingresa al organismo mediante las vías respiratorias afectando al sistema respiratorio (12), las partículas con dimensión de 2.5 µm (MP_{2.5}) casi 100 veces más delgadas que un cabello humano, son respirables en un mayor porcentaje y en grandes cantidades afectan la tráquea, los bronquios y bronquiolos (13). Las partículas más pequeñas (0.5 µm) pueden penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y depositarse en los alvéolos pulmonares, teniendo graves consecuencias (14). Los límites máximos permitidos (LMP) en la legislación ecuatoriana son 15 µg/m³ (promedio anual) y 65 µg/m³ (promedio 24 horas), para MP_{2.5} y 50 µg/m³ (promedio anual) 150 µg/m³ (promedio 24 horas), para MP₁₀ (8). Estos valores son equiparables con los existentes en la mayoría de los países latinoamericanos e, incluso, con los fijados por la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (USEPA) (15).

El presente estudio tiene como objetivo medir la cantidad de MP a fin de cumplir las normativas e implementar, de ser necesario, el uso de Equipos de Protección Personal (EPP), para prevenir riesgos laborales en el laboratorio de servicios ambientales (LSA-UNACH). Esto, porque es necesario que una institución de educación superior como esta cuente con adecuadas condiciones laborales para los laboratoristas, ayudantes y personal de apoyo, dado que se encuentran expuestos a contaminación por reactivos químicos en polvo (fósforo, nitratos, sulfatos, nitritos, etc.), tanto por manipulación directa como indirecta (16).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Facultad de Ingeniería, (LSA), ubicada en el Campus Universitario vía Guano en una latitud 9817275 y longitud 762264, coordenadas WGS 1984 UTM zona 17 Sur (Figura 1). El bloque B de la facultad de ingeniería cuenta con un área de 200 m², contiene al departamento de análisis físicoquímicos en un área confinada de 6 m², el lugar de trabajo es de 1 m², su estructura es de hormigón armado con paredes de ladrillo, pisos de cerámica, ventanas de aluminio y vidrio, puertas de madera corredizas de hierro por fuera y pintura de caucho. La instalación del monitoreo del MP se efectuó a un costado de donde se realizan los análisis de agua.

Método analítico

Se realizaron en total 12 análisis por cada reactivo HACH® (fósforo, nitritos, nitratos y sulfatos) siguiendo los métodos estandarizados (17), obteniendo 48 análisis diarios durante 20 días: del 16 de junio al 11 de julio 2014, a excepción de los fines de semana.

Equipos

La cuantificación de MP de 4 µm y 2.5µm se determinó mediante dos métodos: material particulado atmosférico (MPA) y material particulado sedimentable (MPS). El método de cuantificación de MPA es el más utilizado por su fácil y eficaz manejo, se determina mediante el monitor DustTrak™ II el cual puede medir simultáneamente fracciones de masa y tamaño, este equipo posee un fotómetro láser de dispersión de luz con registro de datos alimentados por baterías capaces de ofrecer lecturas de masa de MP en tiempo real, el mismo que utiliza un sistema de aire de vaina que aísla el MP en la cámara óptica para mantenerla limpia, asegurar una mayor fiabilidad y garantizar un mantenimiento mínimo (18).

Determinación de Material Particulado Atmosférico

Utilizando el equipo DustTrak™ II se cuantificó el MPA para lo cual se procedió a encender y ejecutar (ZERO CAL) con el filtro 0 µm esto se debe realizar antes de cada una de las lecturas con los diferentes filtros, terminada su calibración se coloca el filtro de 4 µm y posteriormente el de 2,5 µm y se inicia la recolección de MP el mismo que dura 2 minutos por muestra, arrojándonos datos en (mg/m³), los cuales se transforman a µm. La toma de lecturas con equipo DustTrak™ II, inicia al instante de que el MP empieza a disgregarse por el aire (Figura 2).

Determinación de Material Particulado Sedimentable (MPS)

Para la determinación de la cantidad de MPS se consideró el método pasivo empleado por Almirón et al. (19), adaptado a nuestra investigación. Consiste en colocar dos cajas Petri MPS 001 y MPS 002 con papel filtro previamente pesado y determinada su área. Estas fueron ubicadas en lugares con mayor probabilidad de receptor MPS (Figura 3) donde permanecieron durante el mes de monitoreo. Luego de haber finalizado el muestreo, se pesó nuevamente el papel filtro en la balanza analítica SARTORIUS modelo BP221S, de precisión 0,0001 g (20),

posteriormente fue llevado a una estufa para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente a 50°C durante al menos 24h.

La fórmula empleada, para determinar el MPS se obtuvo del estudio realizado por (21), se calcula realizando la diferencia entre los pesos final e inicial y dividiendo para el área donde se recolectó la muestra, obteniendo en unidades de miligramos por centímetro cuadrado en 1 mes.

$$PAS = \left(\frac{P_f - P_i}{Area} \right)$$

Donde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable
 P_i (P. inicial): este es después de salir de laboratorio.

P_f (P. final): este es después de estar expuesta el filtro durante el periodo de muestreo.

Área del papel filtro: $A = \pi * r^2$
r: 4.8 cm

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de agua

De acuerdo a (TULSMA) el nivel de criterio de la calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico en nitritos, nitratos y sulfatos se encuentran sobre los límites permisibles, a excepción de los sulfatos (Tabla 1), siendo considerados los mismos como indicadores de contaminación orgánica de aguas superficiales (22), por lo contrario los límites de descarga al sistema de alcantarillado público (fosfatos) se encuentra sobre el nivel permisible (Tabla 1), teniendo que los resultados superar los límites permisibles suscritos en el libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente, estos ocasionan daños a los seres humanos (23).

Material Particulado Atmosférico 4 µm (MP4)

Los valores detectados con el filtro de 4

μm nos arrojaron valores que exceden el límite permisible de MP en el ambiente, encontrando concentraciones mayores a las dispuestas por la legislación Ecuatoriana (8) y la OMS (24).

El valor para el filtro de 4 μm se obtuvo a partir de la relación del filtro de 10 μm , teniendo que el límite máximo permisible para el filtro de 10 μm es de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las 24 h, obteniendo para el filtro de 4 μm como límite máximo permisible de 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los 8 minutos de muestreo. Encontrando que los días 4 y 5 (19 y 20 de junio, respectivamente) presentaron las concentraciones más altas de MP_4 (Gráfico 1) debido a que se realizaron mayor cantidad de análisis y se trabajó dentro de un área confinada. Entonces, a medida que aumenta el número de análisis, aumenta la cantidad de MP_4 corroborando los datos obtenidos por Romero *et al.* (25), quien menciona que si existe un aumento en los contaminantes atmosféricos, existirá un aumento de MP pudiendo ocasionar graves daños por inhalación, ya que las sustancias que se utilizan en LSA-UNACH, se clasifican como irritantes o muy tóxicas según su respectiva ficha de seguridad (17).

Material Particulado Atmosférico 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$)

Usando el filtro de 2.5 μm , se encontró un valor máximo de 15.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 16.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los días 4 y 5 (19 y 20 de junio, respectivamente) (Gráfico 2), siendo estos los niveles más altos de concentraciones de $\text{MP}_{2,5}$. De acuerdo a la legislación ecuatoriana y la OMS los resultados exceden los límites permisibles, ya que se establece como media anual 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y media diaria 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el $\text{MP}_{2,5}$ (24) y (8).

El mayor riesgo del $\text{MP}_{2,5}$ para la salud es producido por la alta capacidad de penetración que este tiene en el organismo y su alta reactividad química (26). La mayoría de estudios apuntan a que las sustancias que mayor impacto tienen en

la salud son: carbono elemental, compuestos orgánicos, fosfatos, sulfatos, nitratos, partículas ultrafinas ($< 0,1 \mu\text{m}$) y determinados metales (As, Cd, Fe, Zn, Ni) (27). La presencia de estas sustancias implica un riesgo sobre la salud de las personas que laboran en estos lugares (28).

Correlación de los análisis entre material particulado atmosférico de $\text{MP}_{2,5}$ y MP_4 .

Mediante un análisis estadístico de varianza (ANOVA), se determinó la correlación entre MP_4 y $\text{MP}_{2,5}$. Se utilizó el programa estadístico R versión 3.1.3 de uso libre, distribución gratuita y código abierto (29). Se encontró una correlación significativa de 0,03 entre las dos muestras, con un intervalo de confianza del 95 % (Tabla 2). De ahí que en el LSA-UNACH hay un alto grado de contaminación por material particulado atmosférico, tanto de 4 μm como de 2.5 μm . Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (30) y (31), quienes mencionan que existe una correlación positiva y lineal entre el MP_4 y el $\text{MP}_{2,5}$.

Material particulado sedimentable (MPS) por el método pasivo para polvo sedimentable

De acuerdo al Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) los resultados se encuentran enmarcados en los límites del 1 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ (9), ya que las muestras (MPS 001; MPS 002) presentan valores de 0.4 y 0.6 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ respectivamente, mientras que para la OMS el LMP de material particulado sedimentable es de 0.5 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ (32). Para la OMS la muestra 1 se encuentra dentro del LMP, contrario a la muestra 2 (Tabla 3). Este aumento puede deberse a que la muestra 2 se encontraba más alejada de la puerta por donde ingresaba aire, así como del equipo DustTrak™ II, el cual absorbía el MPA, de esta manera se impedía la suspensión de las partículas en el aire que pudieran sedimentarse. Además las partículas capturadas en el papel filtro fueron fotografiadas en el microscopio óptico a una resolución de 100 X, durante los ensayos; donde se puede apreciar la forma de las micro partículas de fosfatos (A); nitratos (B); sulfatos (C) y nitritos (D).

CONCLUSIONES

Los valores encontrados tanto para MP_4 , $\text{MP}_{2,5}$ y MPS (14,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 0,6 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ respectivamente) en el LSA-UNACH superan el LMP establecido por la OMS y la legislación ecuatoriana. Adicional se encontró una correlación significativa de 0,03 entre el MP_4 y

MP2,5. De modo que es necesario implementar una cámara de aislamiento, con el propósito de evitar que los trabajadores sufran alguna enfermedad. Asimismo usar todas las normas de seguridad dentro del laboratorio y equipos de protección personal (EPP).

TABLAS Y FIGURAS

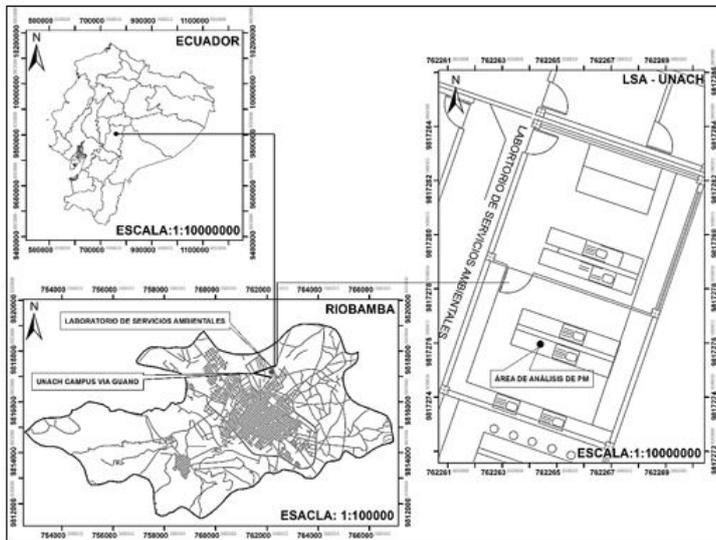


Figura 1. Laboratorio de Servicios Ambientales (LSA-UNACH).



Figura 2. Recolección de Material Particulado Atmosférico con el equipo DustTrak™ II en el LSA-UNACH



Figura 3. Recolección de Material Particulado Sedimentable en cajas Petri (MPS 001; MPS 002) en el LSA-UNACH.

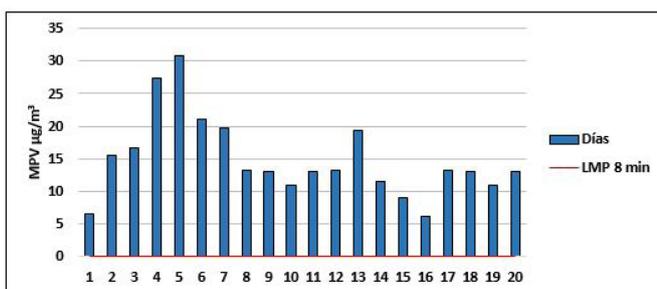


Gráfico 1. Monitoreo de material particulado atmosférico (MP4).

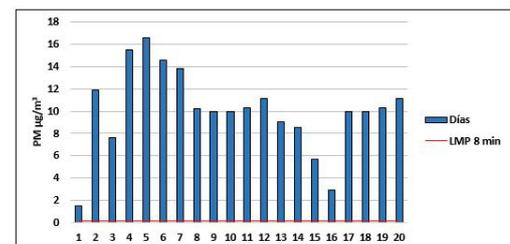


Gráfico 2. Monitoreo de material particulado atmosférico (MP2.5).

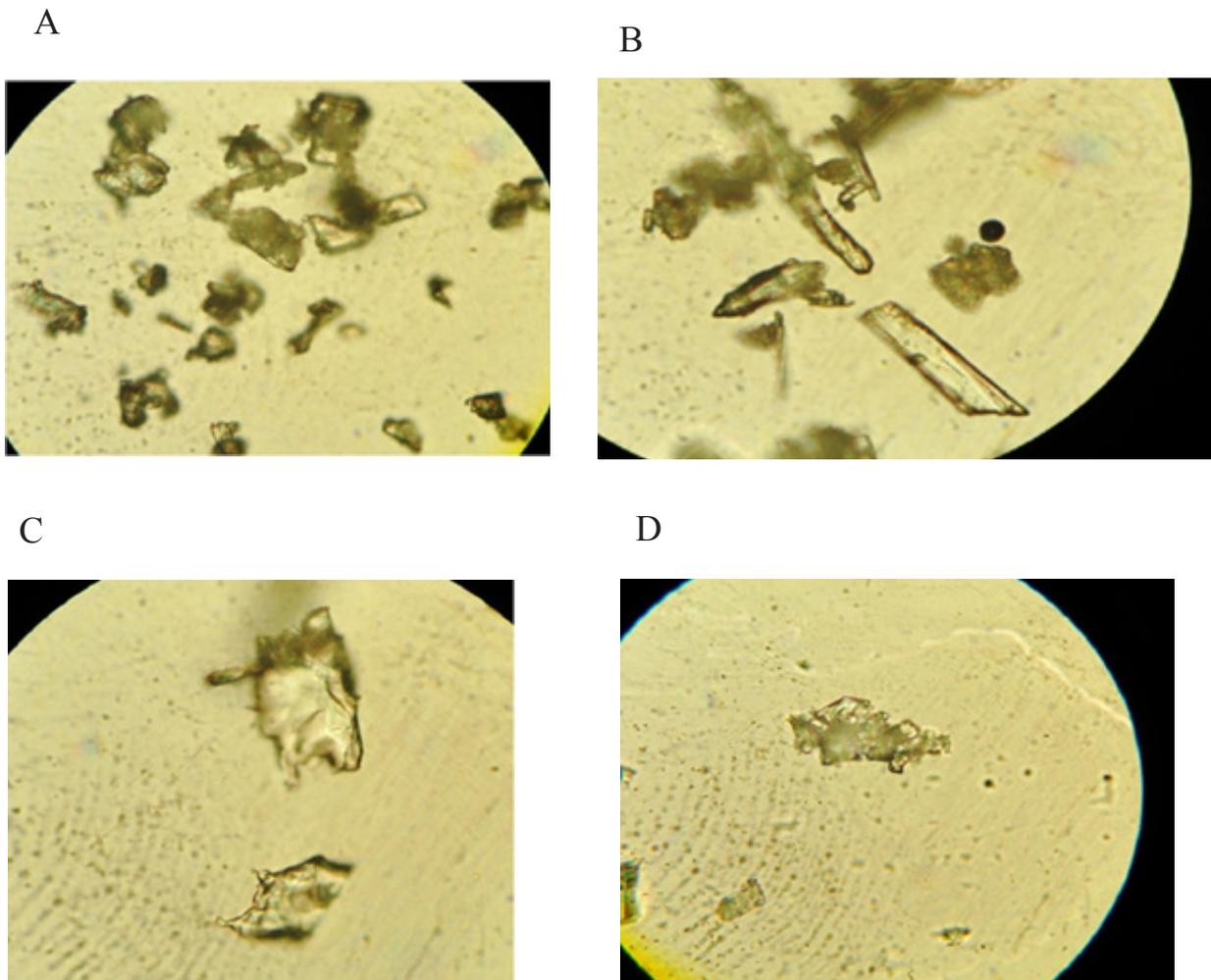


Figura 4. Cuatro fotografías realizadas en microscopio óptico a una resolución de 100 X A) Fosfatos; B) Nitratos; C) Sulfatos y D) Nitritos.

Tabla 1. Concentración de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en el análisis de agua.

PROMEDIO (ppm)	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Fosfatos
	69,9	1,1	186,0	42,1
LMP TULSMA (ppm)	50	0,2	250	15

LMP límite máximo permisible; ppm partes por millón.

Tabla 2. Correlación entre el MP2.5/MP4.

FILTRO	X'	SE	S ²	SD	CV	p	Significancia
Total 2,5 um	10,03	0,83	13,99	3,74	37,29	0,03	*
Total 4 um	14,88	1,39	38,71	6,22	41,81		

* Significativo

Tabla 3. Concentraciones de MPS permisible mensual (mg/cm²/mes) entre el 16 de junio a 16 de julio 2014; Organización Mundial de la Salud (OMS); Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS).

Muestra	Peso Papel mg	MPS	Normativa OMS mes de muestreo	Permisible	Normativa CEPIS mes de muestreo	Permisible
M 001 P inicial	500	0,4	0,5 mg/cm ²	SI	1 mg/cm ²	SI
M 001 P final	530					
M 002 P inicial	490	0,6	0,5 mg/cm ²	No	1 mg/cm ²	SI
M 002 P final	530					

R eferencias

1. Rojas M, Squillante G, Espinoza C. Condiciones de trabajo y salud de una universidad venezolana. *Salud Pública de México*. 2002; 44(5): 413-421.
2. Castro P, Vera J, Cifuentes L, Wellenius G, Verdejo H, Sepulveda L, Llevaneras S. Polución por material particulado fino (MP 2,5) incrementa las hospitalizaciones por insuficiencia cardiaca. *Revista chilena de cardiología*, 2010; 29(3): 306-314.
3. Severiche C, González H. Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. *Ingenierías USBmed*. 2012; 3(2): 6-11.
4. Costa L, de Lima T, de Medeiros A, de Paula V. Association between maternal exposure to particulate matter and premature birth. *Ambiente E Água*. 2014; 9(1): 27-36.
5. Blanco-Becerra L, Miranda-Soberanis V, Hernández-Cadena L, Barraza-Villarreal A, Junger W, Hurtado-Díaz M, Romieu I. Effect of particulate matter less than 10µm (MP10) on mortality in Bogotá, Colombia: a time-series analysis, 1998-2006. *Salud Pública de México*. 2014; 56(4): 363-379.
6. Weng Z. Riesgos en los laboratorios: consideraciones para su prevención. *Higiene y Sanidad Ambiental*. 2005; 5: 132-137.
7. Alcalá J, Sosa M, Moreno M, Quintana C, Campos A, Holguin C. Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras en la planeación urbana sustentable: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*. 2008; 17(1): 17-28.
8. Díaz V, Páez C. Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *Revista Acta Nova*. 2006; 3(2): 308-322.
9. Farías E, Rodrigo C. El Proceso de Fijación y Revisión de Normas de calidad del Aire/Lima:-CENPIS. División de Salud y Ambiente. 2004.
10. Sienna M, Préndez M, Romero R. Metodología para la extracción, fraccionamiento y cuantificación de hidrocarburos aromáticos policíclicos presentes en material particulado urbano. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*. 2002; 47(4): 311-324.
11. Anciniégas C. Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable MP 10. *Luna Azul*. 2012; 34: 195-213.
12. Salazar-Ceballos A, Álvarez-Miño, L. Los efectos de material particulado 10 (MP 10) y de las variables climatológicas en las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en niños en la ciudad de Santa Marta, Colombia, 2008-2009. *Duazary*. 2011; 9(1): 33-41.
13. García F, Agudelo R, Jiménez K. Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. *Facultad Nacional de Salud Pública*. 2006; 24(2): 73-82.
14. Préndez M, Corvalán R, Cisternas M. Estudio preliminar del material particulado de fuentes estacionarias: Aplicación al sistema de compensación de emisiones en la región metropolitana, Chile. *Información Tecnológica*. 2007; 18(2): 93-103.

15. Lacasaña-Navarro M, Aguilar-Garduño C, Romieu I. Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina. *Salud Pública de México*. 1999; 41(3): 203-15.
16. Ábalos A, Aguilera I, Pérez R. Riesgo químico en el Laboratorio de Análisis del Centro de Estudios de Biotecnología Industrial. *MEDISAN*. 2010; 14(6): 799-806.
17. Hach C. (2000). *Manual de análisis de agua*. Loveland, Colorado, EE.UU.
18. TSI, I. Monitor de aerosoles dusttrak™. [Internet]. 2013. Disponible en: www.tsi.com.
19. Almirón M, Dalmasso A, Llera J. Uso de *Larrea Cuneifolia Cav.* y *Zuccagnia Punctata cav.* en la evaluación del material particulado sedimentable en una calera de los Berros - San Juan - Argentina. *Multequina: Latin American Journal Of Natural Resources*. 2008; 17(1): 29-38.
20. Herrera M, García C, Barrios M, Martínez V. Stability of sodium picosulphate oral drops. *Cubana de Farmacia*. 2008; 42(2).
21. Marcos R, Cabrera M, Laos H, Mamani D, Valderrama A. Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empelado las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad Universitaria de San Marcos - Lima. *Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT Universidad San Marcos*, 2010; 49-58.
22. Rivera N, Encina F, Palma R, Mejias P. Superior and Medium Water Quality in Traiguén River. IX Región-Chile. *Información tecnológica*. 2009; 20(4).
23. Herranz M, Clerigué N. Poisoning in children. Methaemoglobinaemia. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 2003; 26(Supl. 1): 209-223.
24. Gaviria C, Benavides C, Tangarife C. Particulate air pollution (MP2.5 and MP10) and medical consultations due to respiratory disease in Medellín (2008-2009). *Facultad Nacional de Salud Pública*. 2011; 29(3): 241-250.
25. Romero M, Más P, Lacasaña M, Téllez M, Aguilar J, Romieu I. Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *Salud Pública de México*. 2004; 46(3): 222-233.
26. Meza L, Quintero M, García F, Ramírez J. Estimación de Factores de Emisión de MP10 y MP2,5, en , vías urbanas en Mexicali, Baja California, México. *Información Tecnológica*. 2010; 21(4): 45-56.
27. García R, F. F., Agudelo G, R. A., & Jiménez J, K. M. (2006). Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. *Facultad Nacional de Salud Pública*, 24(2), 73-82.
28. Linares C, Díaz J. Impact of particulate matter with diameter of less than 2.5 microns [MP2.5] on daily hospital admissions in 0-10-year-olds in Madrid. Spain [2003-2005]. *Gaceta Sanitaria*. 2009; 23(3): 192-197.
29. Salas C. ¿Por qué comprar un programa estadístico si existe R? *Ecología austral*. 2008; 18(2): 223-231.
30. Echeverri C, Maya G. Relation between fine particles (MP 2.5) and breathable particles (MP 10) in Medellín city. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 2008; 7(12): 23-42.
31. Rojas N, Galvis B. Relación entre MP2.5 y MP10 en la ciudad de Bogotá. *Revista de Ingeniería*. 2005; (22): 54-60.
32. Martínez A, Romieu I. "Introducción al monitoreo atmosférico", Organización Mundial de la Salud. Metepec-México. 1997.