

Contaminación atmosférica y aerobiología del casco urbano de Calceta-Manabí

Vivas Saltos Holanda Teresa, Mendoza Cedeño Laura Gema, Loureiro Salabarría Julio Abel, Delgado Moreira María Isabel, Pincay Cantos María Fernanda, Vera Villamil Verónica Monserrate
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ESPAM-MFL, Ingeniería Ambiental, Calceta-Manabí
 teresavivas_saltos@outlook.com

Abstract— air pollution and noise generation represent environmental risk factors for public health in Calceta. Due to the lack of information on air pollutants, the objective of this work was to estimate the concentration of carbon monoxide (CO), sedimentary particulate matter (SPM), sound pressure level (SPL) and aerobic bacteria in the urban area of the Calceta. 18 data collection points were established covering an area of 6.9 km²; the concentration of CO was measured with a portable detector; the MPS collection was carried out during 30 days continuously by passive method; for the NPS measurements, the 15-second method (Leq-15s) was applied; Aerobiology was performed in Petri dishes with nutrient medium. The concentration of CO in a sector of the urban area of Calceta has an arithmetic mean of 5804,26 µg/m³ and according to the EPA this level is capable of affecting the population in general. The levels of SPM and SPL reflect the breach of the limits established in the national regulations for both pollutants. Bacterial concentrations were lower than 500 CFU/m³. The present study is a baseline in air quality that will allow in perspective the implementation of measures for the benefit of public health.

Index Terms— Environmental monitoring, lung diseases, air

I. INTRODUCTION

EL estudio más reciente de Peso Mundial de las Enfermedades (GBD, por sus siglas en inglés) estima que la contaminación del aire fue la causa de 5,5 millones de muertes prematuras en todo el mundo en 2013, lo que implica que la contaminación atmosférica es la principal causa de muertes relacionadas con el medio ambiente (Lanzi, Dellink, y Chateau, 2018; Sanidas *et al.*, 2017; Nobles, *et al.*, 2018). En Latinoamérica, de acuerdo al estudio realizado por Lanzi, Dellink y Chateau (2018), en 2010 se perdieron 30 millones de dólares por faltas laborales y se gastaron 350 millones de dólares en enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2008) en su informe sobre el estado del medio ambiente señala que Ecuador no cuenta con información precisa del estado de la calidad del aire, pues la gestión en ese sector es de origen reciente. A nivel nacional, los contaminantes más comunes son el monóxido de carbono (CO), material particulado sedimentable (MPS) y ruido. El CO es reconocido por el Ministerio del Ambiente (MAE, 2015) como contaminante criterio, según la Agencia de Protección

Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2018) a niveles superiores a 2286.5 µg/m³ (2 ppm); esta concentración es capaz de afectar a la población en general.

A falta de información objetiva, sobre los niveles de contaminantes atmosféricos en la zona urbana de la parroquia Calceta (Manabí), el principal aporte del presente trabajo es el levantamiento de una línea base ambiental sobre la concentración de contaminantes atmosféricos. Este aporte permitirá mejorar las políticas relacionadas con el aire, cuyo objetivo es proteger a la población y el medio ambiente frente a la contaminación atmosférica. Es imposible formular políticas eficaces sin observar y comprender la situación actual y sus causas (Agencia Europea del Medio Ambiente [AEMA], 2013).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

El área de estudio comprende la zona urbana de la parroquia Calceta, en la cual se ubicaron 18 puntos de monitoreo para CO, MPS, NPS y bacterias, considerando el uso de suelo. La ciudad está ubicada al este de la República del Ecuador, en la provincia Manabí, a una altura promedio de 15 metros sobre el nivel del mar. La extensión urbana es aproximadamente de 6,9 km² y alberga una población de 33.415 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2011). Los puntos de monitoreo fueron seleccionados considerando paradas de transporte público urbano y rural de la ciudad y en base a la concurrencia dentro de la zona urbana de Calceta.

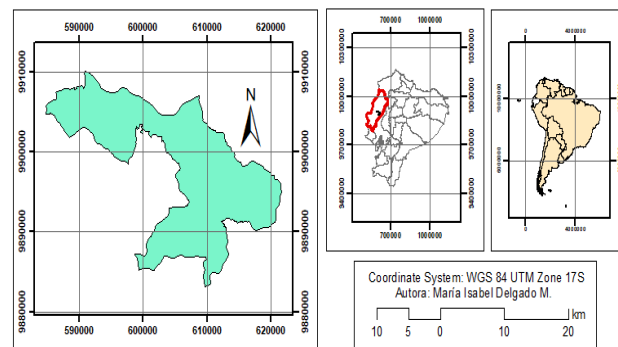


Fig. 1. Ubicación de la zona urbana de Calceta.

B. Determinación de monóxido de carbono

Para medir el CO, se utilizó el detector portátil multigas

CrowCon modelo T4. El detector posee calibración automática empleando la placa de calibración incluida en el equipo (CrowCon, 2016). Dado que el dispositivo mide la concentración de CO en ppm, se utilizó la ecuación de conversión de unidades propuesta por el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (2001) con la finalidad de realizar una comparación acertada con el Anexo 4 Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Acuerdo Ministerial 097A.

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{PM}}{24,5} \times 10^3 \quad (1)$$

Donde:

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ = Concentración del contaminante por peso por unidad de volumen de aire

ppm = Concentración del contaminante por volumen por unidad de volumen de aire

PM = Peso molecular del agente contaminante conocido

C. Determinación de material particulado sedimentable

La colección de material particulado sedimentable (MPS) fue realizada durante 30 días de forma continua y simultánea en cada punto durante el mes de diciembre del año 2018. Se aplicó el método pasivo empleado por Santillán, Damián, Rodríguez, Torres, Cargua, y Torres (2016) adaptado a la investigación. Este método consiste en colocar cajas Petri con papel filtro previamente pesado y determinado su área, a una altura mayor de 1,2 metros sobre el nivel del suelo como lo establece el Anexo 4 del Libro VI del TULSMA. Luego de finalizado el muestreo, el papel filtro fue llevado a una estufa para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente a 50°C durante 24h; para posteriormente pesar nuevamente el papel filtro en la balanza analítica.

$$\text{MPS} (\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{mes}^{-1}) = \frac{P_f - P_i}{\text{Área}} \times 1000 \quad (2)$$

Donde:

MPS = Material Particulado Sedimentable

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Área del papel filtro: $A = \pi r^2$

D. Determinación de niveles de presión sonora

Se realizaron mediciones de NPS de forma paralela al monitoreo de los demás contaminantes, siendo estas de lunes a viernes en horas de alto tráfico vehicular (12h00 a 14h00). Se aplicó el método de 15 segundos (Leq 15s). Se utilizó un sonómetro datalogger Sper Scientific modelo 850013 con un rango de medición de 30 a 130 dB, ubicado a una altura de 1,5 metros sobre el nivel del suelo y a una distancia mínima de cuatro metros de cualquier obstáculo como muros u objetos que puedan afectar la medición; como lo establece la metodología para la medición, cuantificación y determinación de nivel del ruido para fuentes fijas, según el Anexo 5 del Libro VI del TULSMA (MAE, 2015).

E. Aerobiología del aire

El muestreo microbiológico del aire se realizó por el método de sedimentación en cajas Petri que contenían agar nutriente (medio de cultivo deshidratado granulado) para bacterias aerobias 1.05450.0500 (Granucult TM de Merck). Las cajas Petri fueron colocadas abiertas a una altura de 1,50 m del suelo y permanecieron expuestas el ambiente durante un periodo de 30 minutos. Las placas con la muestra se incubaron durante 24 horas a $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Concluida la incubación se realizó el conteo de las colonias bacterianas emergentes en los medios de cultivo y se determinaron las unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFC/ m^3). Teniendo en cuenta la ecuación utilizada por (Lectong, Palma, López, De la Cruz, Cobeña y Philco, 2014). El número de colonias, equivale a la media total de las colonias que se contabilizaron en cada sitio evaluado (Lectong et al. 2014).

$$\text{Número de UFC}/\text{m}^3 \text{ de aire} = \frac{\text{NC} \times 25}{\text{tiempo (min)}} \quad (3)$$

Donde:

NC = número de colonias por placa

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los puntos de monitoreo seleccionados se ubicaron mayoritariamente en equipamiento de servicios sociales (44,44%), seguido por uso de suelo comercial (27,78%), uso de suelo residencial (16,67%) y finalmente 11,11% en equipamiento de servicios públicos (Figura 2).

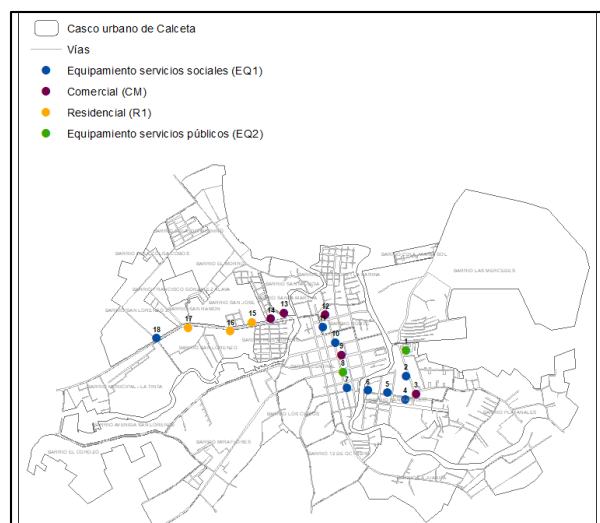


Fig. 2. 18 Puntos de monitoreo y uso de suelo.

En la zona urbana de Calcuta existe una variación significativa en la concentración de CO (valor $p < 2e-16$); siendo el punto con mayor concentración el punto 18 con una media de $45000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que sobrepasa la concentración del nivel de emergencia ($40000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) estipulada en la legislación ambiental nacional, señalada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Anexo 4.

Debido principalmente al tráfico vehicular que se presenta en esta zona de Calcuta por los establecimientos educativos allí ubicados. El estudio realizado por Nuñez, Orozco, Velasco,

Toriz y Casas (2006) en Guadalajara, México reportó niveles hasta 49 ppm (56020 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), lo cual supera lo establecido en la legislación ambiental de este país. El valor más alto reportado en este estudio 53733 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Punto 4) es un valor cercano al encontrado en el estudio realizado en Guadalajara, aunque la parroquia Calceta no se compara con Guadalajara en extensión ni en población.

La distribución del CO en la zona urbana de Calceta presenta cuatro valores atípicos (sobre los 15000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los puntos 1-12 (Figura 3). De acuerdo a la EPA (2018), este nivel es capaz de afectar a la población en general, pues al inhalar este gas se reemplaza el oxígeno localizado en el torrente sanguíneo, lo que puede producir afectaciones al corazón, cerebro y órganos internos. El CO también posee consecuencias sobre el clima, ya que contribuye a la formación de gases de efecto invernadero; su vida media en la atmósfera es de unos tres meses, lo que permite su lenta oxidación para formar dióxido de carbono (CO_2), proceso durante el cual también se genera ozono troposférico (O_3) (EPA, 2018). Además, el CO participa en reacciones químicas que pueden influir en la formación de hollín (Guo, Thomson y Smallwood, 2009).

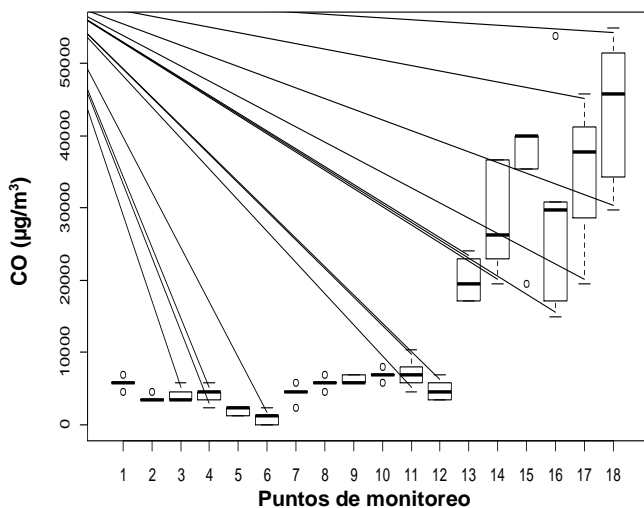


Figura 3. Concentración de CO puntos 1-12 (izquierda), puntos 13-18 (derecha).

El 100% de los puntos de monitoreo superan el límite establecido por la norma técnica para MPS ($1 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{mes}^{-1}$) siendo el punto 1, ubicado en el terminal terrestre (EQ2) el que mayor concentración de MPS presentó con un valor de $2350 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{mes}^{-1}$ (Figura 4). La media aritmética fue de $1543 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{mes}^{-1}$. En un estudio realizado en la ciudad de Cuenca por Mejía, Zegarra, Astudillo, y Moscoso (2018), se encontró que el 37% de los puntos de monitoreo superaron el límite establecido, siendo el uso residencial el de mayor porcentaje (45%). Los resultados encontrados en Lima por Marcos, Canrera, Laos, Mamaní y Valderrama (2008) muestran valores de hasta $0,75 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ (en 30 días) de partículas sedimentables; valor que, aunque sobrepasa el límite establecido por la OMS ($0,5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$) no es tan elevado como los valores encontrados en la presente investigación.

El programa de control de emisiones vehiculares desarrollado en Quito logró disminuir los niveles ambientales de CO de $4500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2004 a $780 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2007; esa disminución se asocia con la reducción de la incidencia de enfermedades respiratorias (Estrella, Sempértegui, Franco, Cepeda y Naumova, 2018). Durante el mes de diciembre 2018, de acuerdo a lo reportado por la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito la media aritmética del CO fue de $4362,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ valor inferior a la media más baja reportada en el presente estudio ($5804,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, puntos 1 al 12). La reactividad química de las partículas contenidas en el MPS tiene mayor injerencia que su masa, evidenciándose un papel muy importante de los contaminantes antropogénicos carbónicos (García *et al.*, 2018).

Los niveles de MPS tienden valores altos, la media aritmética en los puntos 1 al 12 es de $1945 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{mes}^{-1}$, mientras que en los puntos del 13 al 18 es de $738 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{mes}^{-1}$ (Figura 5). Mejía *et al.* (2018) encontró una tendencia a valores bajos.

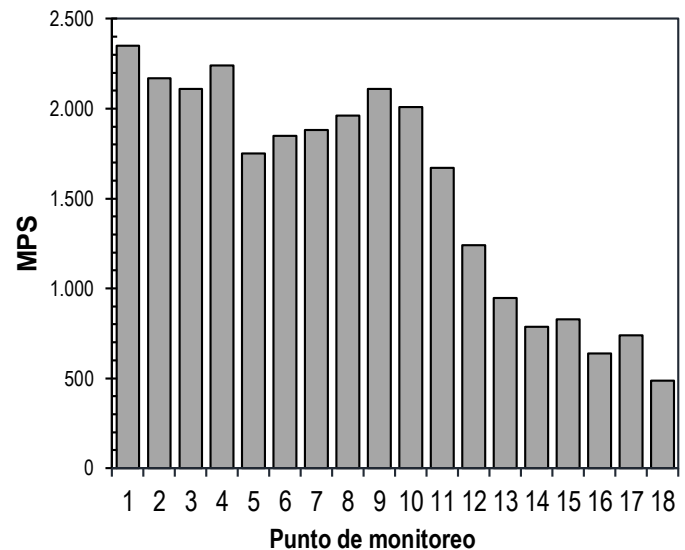


Fig 4. Material particulado sedimentable (MPS) recolectado en cada punto de monitoreo.

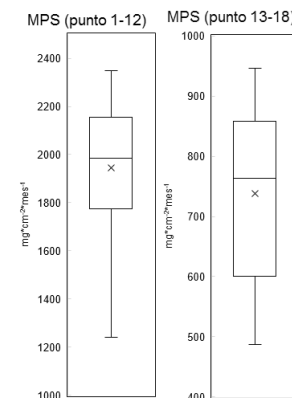


Fig. 5. Concentración de MPS puntos 1-12 (izquierda), puntos 13-18 (derecha).

El ruido es uno de los problemas ambientales más relevantes.

Auger, Duplaix, Bilodeau, Lo, y Smargiassi (2018) lo describen como un factor de estrés que afecta el bienestar. Los efectos de los altos niveles de ruido afectan la salud mental; causan dolor, deterioro o daños permanentes del oído, e incluso daños.

Todos los puntos superaron límites de presión sonora, cuyos valores son de 60 dB para uso de suelo comercial y 55 dB para Equipamiento de Servicios Públicos, Sociales y uso de suelo residencial (Figura 6). La media aritmética de los datos obtenidos es de 87,95 dB (Figura 6), valor que sobrepasa todos los límites establecidos en la legislación ambiental nacional, señalada en el Anexo 5 del TULSMA. Para Mejía *et al.* (2018) los elevados niveles de ruido son atribuibles al tráfico vehicular y en su estudio se demuestra una relación moderada del mismo con las concentraciones de MPS, pero se debe considerar que el monitoreo de MPS fue realizado de forma continua y no solamente en las horas de monitoreo de NPS, lo cual puede justificar la baja relación obtenida.

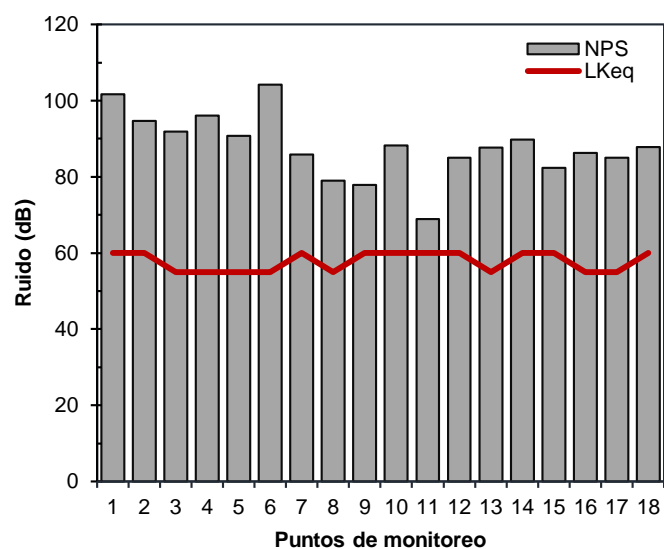


Fig. 6. Nivel de Presión Sonora (NPS) y niveles máximos de emisión de ruido (LKeq) en periodo diurno.

La concentración de bacterias presentó una media aritmética de 279,16 UFC/m³ de aire; obteniéndose el valor medio más alto en el punto 2 (500 UFC/m³). A pesar de la existencia de varios valores atípicos (Figura 7), las concentraciones fueron inferiores a 500 UFC/m³. En un estudio realizado por Anaya, Castro, Borrego y Cobo (2015) se menciona que existen diferentes criterios sobre el valor límite de concentración microbiana considerado como peligroso para la salud del hombre; y que el valor más aceptado como peligroso para la salud es 500 UFC/m³, tanto para hongos como para bacterias.

A pesar de la existencia de varios valores aberrantes (Fig. 7), las concentraciones fueron inferiores a 500 UFC/m³. En un estudio realizado por Anaya, Castro, Borrego y Cobo (2015) se menciona que existen diferentes criterios sobre el valor límite de concentración microbiana considerado como peligroso para la salud del hombre; y que el valor más aceptado como peligroso para la salud es superior 500 UFC/m³, tanto para hongos como para bacterias.

Lectong *et al.* (2014) encontraron valores menores a

600 UFC/m³ en un estudio realizado en la zona urbana de Calceta y clasificaron el aire como no contaminado. En este estudio, se muestra una distribución no normal de agentes microbiológicos en el aire de Calceta con una tendencia a valores bajos (Fig. 8). Además, no existe diferencia significativa entre los valores obtenidos (valor $p = 0,134$).

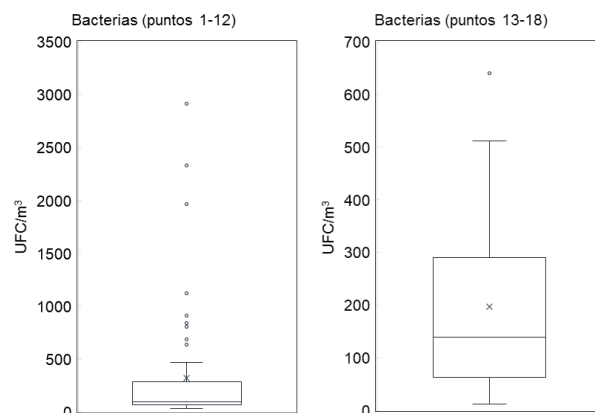


Fig. 7. Cajas de distribución de microorganismos (UFC/m³) de aire.

Las bacterias al ser transportadas por el aire pueden tener efectos importantes sobre la salud humana y la productividad de los ecosistemas gestionados y naturales (Bowers, *et al.*, 2011). Además, pueden causar asma alérgica y alergias estacionales (Alghamdi *et al.*, 2014). Cabe recalcar que, es de gran importancia una caracterización de especies microbianas patógenas como perspectiva de nuevos estudios.

IV. CONCLUSIONES

En el aire de la zona urbana de Calceta, se exceden los niveles de CO, MPS y NPS establecidos en los Anexos 4 y 5 del TULSMA. Los niveles de agentes microbiológicos, a pesar de presentar valores aberrantes, se mantienen en un nivel considerado no dañino para la salud humana. Los niveles de contaminantes que exceden lo estipulado en la normativa nacional, son atribuibles a tráfico vehicular y al escaso índice verde urbano que existe en el cantón Bolívar (2,36 m² por habitante).

AGRADECIMIENTOS

Por la revisión del presente manuscrito y sugerencias en la ejecución de esta investigación, los autores manifiestan su agradecimiento a Carlos Banchón.

REFERENCIAS

- [1]. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (8 de Septiembre de 2018). Información básica sobre la contaminación del aire exterior con monóxido de carbono (CO). Recuperado de <https://www.epa.gov/>
- [2]. Agencia Europea del Medio Ambiente. (2013). La contaminación atmosférica: el conocimiento es esencial para combatirla. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/>
- [3]. Alghamdi, M., Shamy, M., Redal, M., Khoder, M., Awad, A., y Elserougy, S. (2014). Microorganisms associated particulate matter: A preliminary study. *Science of the Total Environment*, 109-116.

- [4]. Anaya, M., Castro, M., Borrego, S., y Cobo, H. (2015). Influencia del campo magnético sobre la distribución de los hongos en el aire de un local cerrado. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 35, 47-52
- [5]. Auger, N., Duplaix, M., Bilodeau, M., Lo, E., y Smargiassi, A. (2018). Environmental noise pollution and risk of preeclampsia. *Environmental Pollution* 239, 599-606.
- [6]. Bowers, R., Sullivan, A., Costello, E., Collett, J., Knight, R., y Fierer, N. (2011). Sources of Bacteria in Outdoor Air across Cities in the Midwestern United States. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(18), 6350-6356.
- [7]. CrowCon. (2016). Manual del usuario y el operador. Equipo personal de detección de gas. México: CrowCon.
- [8]. Estrella, B., Sempértegui, F., Franco, O., Cepeda, M., y Naumova, E. (2018). Air pollution control and the occurrence of acute respiratory illness in school children of Quito, Ecuador. *Public Health*, 17-34.
- [9]. García, N., Astudillo, A., Moscoso, D., Mejía, D., Narváez, M., y Vásquez, P. (2018). Niveles de material particulado en la zona urbana de Cuenca-Ecuador y su relación con el tráfico vehicular. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 9(20), 41-5
- [10]. Guo, H., Thomson, K., y Smallwood, G. 2009. On the effect of carbon monoxide addition on soot formation in a laminar ethylene/air coflow diffusion flame. *Combustion and Flame* 156, 1135-114.
- [11]. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2011). Población, superficie (km²), densidad poblacional a nivel parroquial. Quito: INEC
- [12]. Lanzi, E., Dellink, R., y Chateau, J. (2018). The sectoral and. *Energy Economics*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.014>.
- [13]. Lectong, M., Palma, C., López, M., De la Cruz, A., Cobeña, H., y Philco, E. (2014). Agentes microbiológicos presentes en el aire de la ciudad de Calcuta. *Simpósio Alpa-UTEQ*, 411-420.
- [14]. Ministerio del Ambiente Ecuador. (2015). Reforma del libro III del texto unificado de legislación secundaria.
- [15]. Ministerio del Medio Ambiente Colombia. (2001). Normas de calidad del aire. Colombia: Ministerio del Medio Ambiente. <http://www.ideam.gov.co/documents/41590/42475/inmision.pdf/>
- [16]. Marcos, R., Cantera, M., Laos, H., Mamani, D., y Valderrama, A. (2008). Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando 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*, 49-58.
- [17]. Mejía, D., Zagarra, R., Astudillo, A., y Moscoso, D. (2018). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de la Fac. de Ciencias Químicas* 19, 55-64.
- [18]. Nobles, C., Schisterman, E., Ha, S., Kim, K., Mumford, S., Buck, G., Chen, Z., Liu, D., Sherman, S., Mendola, P. (2018). Ambient air pollution and semen quality. *Environmental Research*, 163, 228-236.
- [19]. Nuñez, E., Orozco, M., Velasco, J., Toriz, R., y Casas, J. (2006). Diagnóstico de contaminación ambiental en una área crítica del centro de la ciudad Guadalajara. *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*, 485-507.
- [20]. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2008). GeoEcuador 2008. Informe. Obtenido de <http://www.pnuma.org>
- [21]. Sanidas, E., Papadopoulos, D., Grassos, H., Velliou, M., Tsioufis, K., Barbetseas, J., y Barbetseas, V. (2017). Air Pollution and Arterial Hypertension. A New Risk Factor Is In The Air. *Journal of the American Society of Hypertension*. doi: 10.1016/j.jash.2017.09.008.
- [22]. Santillán, G., Damián, D., Rodríguez, M., Torres, S., Cargua, F., y Torres, S. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. *Perfiles* Número 16(2), 32-39.
- [23]. Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. (2018). Datos Históricos Monitoreo Aire. <http://www.quitoambiente.gob>



Mendoza G. Magister en Ciencias Ambientales, mención Tecnologías y Gestión, Ingeniera en Medio Ambiente, Docente Investigadora de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Loureiro J. Magister en Ingeniería en Saneamiento Ambiental Mención: Saneamiento, Cuba. Ingeniero Químico, Cuba. Docente de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (MFL), ha dictado Química Física, Operaciones Unitarias, Termodinámica, entre otras y es autor de artículos indexados en revistas científicas de Ecuador.



Delgado M. I. Estudiante de séptimo semestre de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



Pincay M.F. Magister en Biotecnología Molecular, Bióloga, Docente Investigadora de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Carrera de Ingeniería Ambiental Manuel Félix López



Vera V. Magister en Ciencias Ambientales, mención Tecnologías y Gestión, Ingeniera en Medio Ambiente, Docente Investigadora de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



Vivas H.T. Magister en Ciencias Ambientales, mención Tecnologías y Gestión, Ingeniera en Medio Ambiente, Docente Investigadora de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria Manabí Manuel Félix López (MFL); dicta clases de Contaminación Atmosférica, Gestión Ambiental I y Gestión Ambiental II.

