

# El Bioindicador Idóneo para la Detección de Plomo Atmosférico a Partir de una Experiencia en Cuenca, Ecuador

Cordero, Paula<sup>1,2,\*</sup> ; Zambrano, Yuliana<sup>1</sup> ; Heras, Diego<sup>1</sup> ; Matovelle, Carlos<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Católica de Cuenca, Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción. Cuenca, Ecuador

<sup>2</sup>Grupo Geociencias, Ambiente y Recursos Naturales, Cuenca, Ecuador

**Resumen:** La alteración ecosistémica debido a metales pesados es uno de los mayores problemas ambientales y de salud pública; generalmente se miden en aire, suelo y agua, pero en menor medida se conoce su incidencia sobre los seres vivos. Este trabajo se enfoca en la concentración de plomo tanto en el aire como en los bioindicadores miel y polen de abejas en Cuenca (Ecuador). Se tomaron muestras de partículas atmosféricas (PM10) en tres sitios de la zona urbana y muestras de miel y polen en 6 sitios distintos, con 3 repeticiones cada una. Se analizó la concentración de plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica. En miel, el plomo encontrado está en un rango de 0,033 a 0,08 mg/kg, menor a los límites superiores según la norma del Servicio Nacional de Normalización del Ecuador (INEN): 1 mg/kg, y la norma europea 0,10 mg/kg. Las cantidades de plomo detectadas en polen no sobrepasan los 0,12 mg/kg, siendo inocuo para el consumo, pues, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) establece que, el consumo máximo de plomo por individuo es de 0,214 mg al día. La densidad de plomo en partículas atmosféricas se estableció en una categoría de  $1 \times 10^{-7}$  a  $9 \times 10^{-7}$  ug/m<sup>3</sup>, entre los límites instaurados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 1,5 ug/m<sup>3</sup>. Se concluye por el índice de Yuen que el polen es un mejor bioindicador de concentración por plomo que la miel y, que existen bajas ocurrencias de este metal en Cuenca, Ecuador.

**Palabras clave:** contaminación atmosférica, bioindicador, plomo, polen, miel

## The Suitable Bioindicator for the Detection of Atmospheric Lead From an Experience in Cuenca, Ecuador

**Abstract:** The ecosystem alteration due to heavy metals is one of the biggest environmental and public health problems; generally measured in air, soil and water, but their incidence on living beings is known to a lesser extent. This work focuses on the concentration of lead both in the air and in the bioindicators honey and bee pollen in Cuenca (Ecuador). Samples of atmospheric particles (PM10) were taken at three sites in the urban area and samples of honey and pollen at 6 different sites, with 3 repetitions each. Lead concentration was analyzed by atomic absorption spectrophotometry. In honey, the lead found is in a range of 0.033 to 0.08 mg/kg, less than the upper limits according to the standard of the National Standardization Service of Ecuador (INEN): 1 mg/kg, and the European standard 0.10 mg /kg. The amounts of lead detected in pollen do not exceed 0.12 mg/kg, being safe for consumption, since the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) establishes that the maximum consumption of lead per individual is 0.214 mg a day. The lead density in atmospheric particles was established in a category of  $1 \times 10^{-7}$  to  $9 \times 10^{-7}$  ug/m<sup>3</sup>, within the limits established by the WHO of 1.5 ug/m<sup>3</sup>. It is concluded from the Yuen index that pollen is a better bioindicator of lead concentration than honey and that there are low occurrences of this metal in Cuenca, Ecuador.

**Keywords:** air pollution, bioindicator, lead, pollen, honey

### 1. INTRODUCCIÓN

La relación del ser humano con su medio se ha vuelto cada vez más difícil debido a las variaciones en la forma de vida de las sociedades humanas, que se han dado en los últimos 150 años con la Revolución Industrial, esto ha ocasionado

incluso el uso de nuevos vocablos entre ellos “contaminación”, que no es más que la alteración de los distintos medios naturales, la misma que se establece mediante la medición de parámetros y su comparación con normas establecidas (Kimura et al., 2009).

\*pcorderoc@ucacue.edu.ec

Recibido: 10/03/2023

Aceptado: 22/06/2023

Publicado en línea: 14/11/2022

10.33333/rp.vol52n2.01

CC 4.0

La forma más evidente de contaminación del aire es el smog que puede visualizarse en las ciudades. Pero, existen otras formas de polución visible e invisible, algunas de ellas contribuyen al calentamiento global. La contaminación del aire se da por cualquier sustancia existente en su composición que tiene efectos dañinos sobre los seres vivos y el ambiente (Saénz, 2017; Vullo, 2003). El Ecuador, al ser un país inmiscuido en el progreso industrial forma parte del “mundo contaminado” y entre sus ciudades pujantes está Cuenca, por ello la investigación ambiental dentro de este territorio es prioritaria (Tello, 2018).

La contaminación ambiental tiene efecto directo sobre la salud humana, es por eso que el estudio de los valores máximos permisibles en cuanto a diferentes contaminantes atmosféricos, entre ellos la concentración de plomo se relaciona con las enfermedades que pueden provocar (Bogdanov, 2006; Parikh et al., 2021; Ruiz et al., 2013). Las sustancias tóxicas entran en la cadena alimenticia de los ecosistemas provocando bioacumulación en los organismos, entre ellos en las abejas y por tanto en sus exudados como la miel y el polen apícola (Kumar et al., 2020; M Van der Steen et al., 2015). Además, para ejercer control sobre la contaminación atmosférica se la debe monitorear constantemente. Una de las maneras sencillas de hacerlo es el uso de bioindicadores como los insectos y particularmente áfidos y sus derivados como el polen, la miel, las ceras (Bogdanov, 2006; Conti y Botrè, 2018; Lambert et al., 2012; M Van der Steen et al., 2015).

Muchos metales pesados proceden de fuentes geoquímicas de fondo natural. Sin embargo, la mayor parte de ellos son utilizados como materia prima de componentes electrónicos, maquinaria y materiales. Por ejemplo, actualmente se utiliza un material eléctrico resultante de la mezcla de zirconato de plomo y de titanato de plomo, con las consiguientes emisiones y residuos peligrosos generados. Entre los casos más antiguos de contaminación ambiental en el mundo están los de los romanos que ya extrajeron y usaron metales pesados en la fundición de: cobre, mercurio y plomo (Ryzkowski, 1993; Tello, 2018). En la actualidad durante el transporte de contaminantes, y entre ellos el plomo, debido a la recirculación del viento pueden llegar a zonas alejadas a las de su origen (Freije, 2015).

Existen muchas fuentes de contaminación de metales pesados, entre ellas: pintura, baterías, fertilizantes o pesticidas, al no poder ser biodegradados, entran en la cadena trófica y persisten por cientos de años. Además, se traslocan al ser humano, causando muchas enfermedades crónico-degenerativas que, pueden producir intoxicación aguda y hasta la muerte (Labanda y Fernández, 2012; PNUMA, 2010).

Las partículas de plomo de pequeño tamaño habitualmente persisten en suspensión en la atmósfera durante semanas y, en este tiempo, pueden transportarse cientos de kilómetros, razón por la cual se puede encontrar plomo en organismos voladores prácticamente de cualquier lugar en el mundo (Cortez-Lugo et al., 2003). De acuerdo con (Sbarato et al.,

2000) la técnica actual de monitoreo ambiental de plomo en partículas atmosféricas solo da valores puntuales de concentración en una área específica. En cambio, especies bioindicadoras como las abejas dan cuenta de toda el área que recorren, a más de que se conoce que los metales pesados son bioacumulables en el tiempo y por tanto, mediante este tipo de monitoreo se pueden tener datos ecológicos con mayor validez en cuanto a lapso y superficie (Colin et al., 2019; Develliers, 2002); además de que la presencia de metales pesados no les provoca mayores dificultades.

El crecimiento del parque automotor dentro y fuera de las ciudades desde los años 70 y la adición de plomo en las gasolinas hasta el año 1998 (FLACSO, MAE y PNUMA, 2008), aumentaron el riesgo de contaminación por plomo en la atmósfera, lo cual afecta de diferentes maneras a toda la cadena trófica, empezando por los polinizadores ya sea directamente por inhalación o indirectamente por bioacumulación en sus tejidos y al ser humano también por inhalación e ingesta desde otros compuestos orgánicos. La intoxicación por plomo provoca saturnismo o plumbismo, cuando el plomo ingresa al cuerpo humano ya sea por ingestión o inhalación. Esta es una enfermedad que, a su vez, llega a provocar anemia, pues, interviene en el traslado de oxígeno en el tejido sanguíneo e impide la síntesis de hemoglobina. La sangre es la encargada de transportar este metal por todo el organismo y si llega al cerebro provoca problemas neurológicos irreversibles (Honorio-Labanda & Fernández-García, 2012).

Debido a que la contaminación por plomo y otros metales pesados se ha convertido en un problema de salud pública en muchos países. En los últimos años, se han llevado a cabo investigaciones, las cuales sugieren utilizar la miel y el polen como bioindicadores de contaminación ambiental (Cáceres, 2014; Córdor, 2015; Gallardo, 2007; Gutiérrez, 2016; Saenz, 2017; Sattler et al., 2016).

La mayor parte de las partículas atmosféricas son el resultado de actividades relacionadas con la construcción, las partículas secundarias se forman por la condensación de gases, provenientes de: el ozono (O<sub>3</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles (COV), los mismos que producen problemas respiratorios en los seres humanos. Las partículas atmosféricas sólidas o líquidas de diferente composición (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen) que se encuentran dispersas en la atmósfera y que tienen un diámetro aerodinámico menor que 10 µm se conocen como PM<sub>10</sub> y puede llegar a las vías respiratorias inferiores, y las que tiene diámetro aerodinámico menor que 10 µm PM<sub>2,5</sub> suele penetrar hasta las áreas de intercambio de gases en el pulmón, y, por ello, el PM<sub>2,5</sub> es considerado como un elemento cancerígeno (EMOV EP, 2014).

Las cantidades de plomo atmosférico reportadas en la ciudad de Cuenca no son mayores respecto a grandes ciudades latinoamericanas como Ciudad de México o Lima (Aguilera et al., 2019; Bedregal et al., 2012; EMOV, 2015;

Tello, 2018), sin embargo existen actualmente fuentes de contaminación como: la industria de pinturas, galvanizados y en los combustibles utilizados en el transporte. Este metal puede ser medido de manera directa mediante su concentración en PM10 o también mediante bioindicadores de manera indirecta pero que dan cuenta de un proceso de contaminación dentro del ecosistema y dentro de los seres vivos (Gutiérrez, 2016).

La calidad ambiental puede ser evaluada mediante bioindicadores, los mismos que pueden ser: especies, algunas comunidades e incluso ciertos procesos biológicos, que al ser dinámicos dan razón de cambios temporales (Parikh et al., 2021). El uso de abejas como especies indicadoras es documentado por Ruiz et al. (2013) quienes afirman que: se inicia en el año 1935 cuando Svoboda estableció que este himenóptero podría proporcionar información importante a cerca del impacto ambiental provocado por las industrias en un área específica.

Las abejas se han convertido en un valioso instrumento de monitorización ambiental, debido a sus particulares características (Gutiérrez, 2016):

- Fácilmente reconocible
- Han sido muy estudiadas en distintos ámbitos
- Su distribución es extensa en todo el mundo y su abundancia es destacada.
- Permiten un monitoreo prolongado
- Son indicadoras de cambios climáticos
- Responden a las variaciones del ambiente
- Son manipulables

Las abejas llevan a sus colmenas algunos contaminantes como: herbicidas, pesticidas, metales pesados entre otros, los mismos que están presentes en las cercanías de las colmenas y que se encuentran en las superficies de las plantas visitadas, sobre todo de las flores y el polen que recogen como alimento, además del néctar con el cual ellas fabrican la miel. Por tanto, son las abejas melíferas las más expuestas porque asimismo recorren superficies considerables de hasta 7 km<sup>2</sup> a la redonda (Gutiérrez, 2016; Zambrano, 2018). También, la miel que es un exudado proveniente de las abejas melíferas y al igual que el polen, es un producto apícola comúnmente utilizado en la alimentación ya que contienen un alto valor nutritivo (Conti y Botrè, 2018; Ryzkowski y Borowiecki, 1993; Taha, 2015). Por todas las razones antes expuestas constituyen los bioindicadores idóneos en los cuales evaluar la concentración de plomo atmosférico en el ecosistema.

Este estudio consiste en la recolección y análisis de miel de abeja y de polen para determinar el nivel de concentración de plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica en estos dos sustratos y así analiza cuál de ellos sería un mejor bioindicador, al compararlos con los datos de contaminación atmosférica por plomo existente en las partículas atmosféricas (PM10) en los diferentes sectores la ciudad de Cuenca-Ecuador, considerando los posibles lugares de mayor contaminación por este metal. Los resultados serán comparados con las normas permisibles de concentración de plomo en alimentos y en el aire y se

realizará un análisis espacial de la contaminación por este metal.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Zona de estudio

El estudio se realizó en la zona urbana de Cuenca, misma que, registra una población de 636 996 para el año 2020, y representa el 38,3% del territorio de la provincia del Azuay en el Ecuador (INEC, 2011).

Los sitios escogidos fueron posibles lugares con presencia de plomo: el parque industrial, la autopista sur, el centro histórico; zonas con alto movimiento de automotores y de emisión industrial. También se tomaron muestras de miel y polen en las zonas cercanas a las estaciones fijas de muestreo de aire. Se escogieron seis distintos sitios para la toma de muestras de miel y polen y tres sitios de estaciones fijas de muestreo de aire (EMOV EP, 2014). De las cuales se extrajeron partículas atmosféricas PM10 para el análisis de plomo en aire. Ver Figura 1.

### 2.2. Toma de muestras

Las muestras de aire fueron tomadas en: mayo, julio y septiembre ya que se representan variaciones en cuanto a temperatura y precipitaciones que pueden afectar a la concentración de plomo atmosférico del filtro de PM10; el mismo que, puede precipitar con la lluvia. Además, se tomaron 100 gr. de miel y 50 gr. de polen mediante una trampa, en apiarios ya establecidos por sector, con la misma periodicidad establecida. Posteriormente, las unidades de muestreo fueron examinadas en el laboratorio mediante el método químico de digestión húmeda en alimentos (Furr, 1996) para la detección de plomo en las muestras de miel, polen y partículas atmosféricas. Las concentraciones de plomo y cadmio son generalmente ínfimas en los alimentos, por tanto, se someten a un tratamiento de aglutinación de estos compuestos a través de la extracción con disolventes entre ellos: el ácido nítrico y perclórico (Furr, 1996; Thompson et al., 1979).

Las muestras son atomizadas a través de espectrofotometría de absorción atómica, pues, los metales pesados se absorben a una longitud de onda específica sobre un detector, para lo cual es indispensable que la porción nebulizada se disperse a modo de aerosol sobre una flama de aire, mediante acetileno u óxido nítrico acetileno (Román et al., 2002; Ruiz-Jiménez et al., 2003).

### 2.3. Tratamiento de datos

Con los resultados, se realizaron dos análisis de la distribución espacial de plomo. El primero utiliza una interpolación IDW (Poderación de Distancia Inversa), que es un método determinista y exacto; que usa un algoritmo simple fundamentado en distancias y no se apoya en procesos estadísticos, esta metodología analiza diferentes combinaciones de vecinos más cercanos (Sajid et al., 2013).

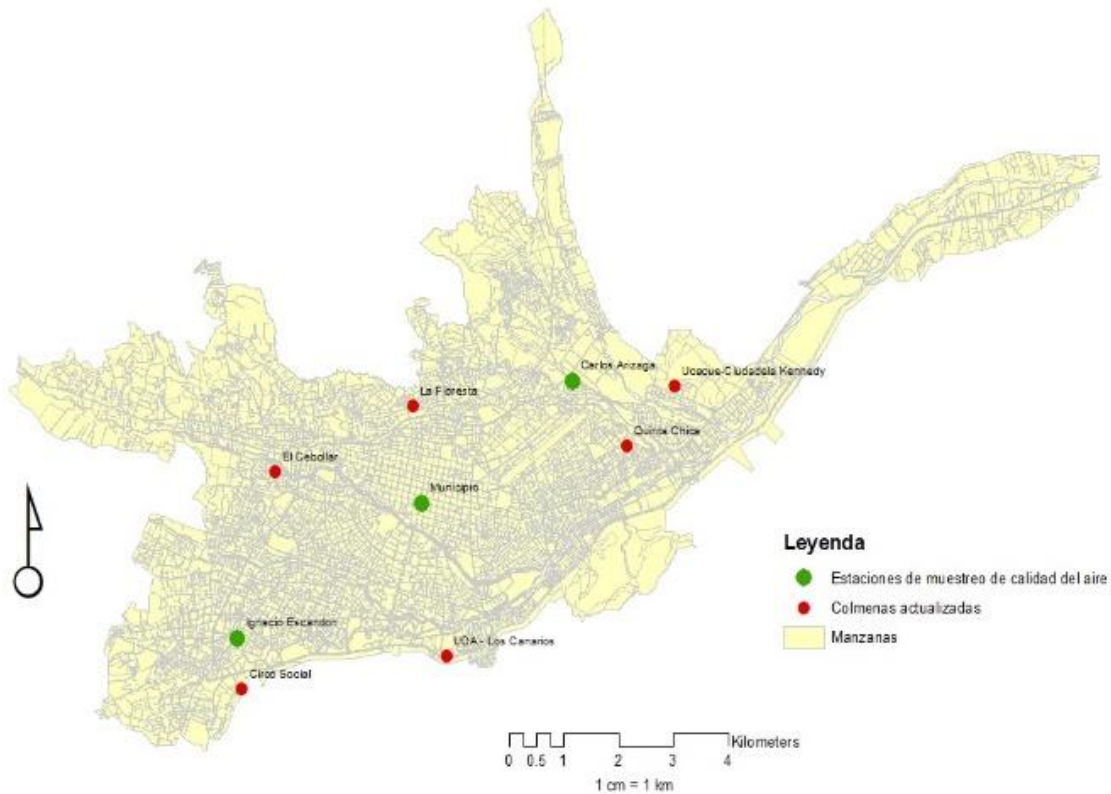


Figura 1. Localización de las zonas de muestreo de miel de abeja, polen y PM10 en la ciudad de Cuenca

Según Cely et al. (2002); Lozano et al. (2010) y Moreno (2013) se puede analizar que la tendencia para entender la distribución de contaminantes del aire, particularmente la técnica IDW que presenta resultados convenientes al organizar superficies continuas (Afik et al., 2006). El segundo análisis es una autocorrelación considerando el espacio, mediante el índice de Moran, que es uno de los más utilizados. Una característica del cómputo del  $I$  de Moran es resultante de comparar los parámetros de cada unidad de análisis con los valores de la media, como se muestra en la Ecuación 1 (Siabato y Guzmán-Manrique, 2019).

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Donde  $N$  es el número de unidades de análisis y  $W$  corresponde al número total de vecindades.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con Zambrano (2018), la densidad de plomo en miel no pudo ser encontrada con especificidad y esto conlleva a considerarlo como un elemento traza, que no pudo ser detectado por la técnica utilizada, debido a que en las unidades muestrales la concentración de plomo no fue detectable al ser menor a 0,033 mg/kg, y por tanto, no

superan los límites máximos de plomo permitidos la norma INEN:CODEX 193:2013 que es de 1 mg/kg en compotas y conservas (FAO y OMS, 2015). En el Ecuador, no se presentan normas particulares para la concentración de plomo permitida en miel y derivados apícolas, por ello los resultados encontrados se contrastan con la norma Europea, que señala niveles máximos 0,10 mg/kg de plomo en miel (Davis y Grant, 2003).

Se realizaron comparaciones con otros estudios, de las cuales, Kulike y Voget (1983) detectan en Berlín niveles de plomo en miel de 0,018 mg/kg bastante menor al detectado en Cuenca-Ecuador. En Israel, en el año 2006, las concentraciones de plomo detectadas fueron de 1,2 mg/kg (Afik et al., 2006) En Irán, la concentración de plomo establecida en miel de abeja es de 0,93545 mg/kg (Mohammadi Aghamirlou et al., 2015). En Córdoba, España el plomo detectado en miel tiene un rango de 0,01 a 0,05 mg/kg (Gutiérrez, 2016).

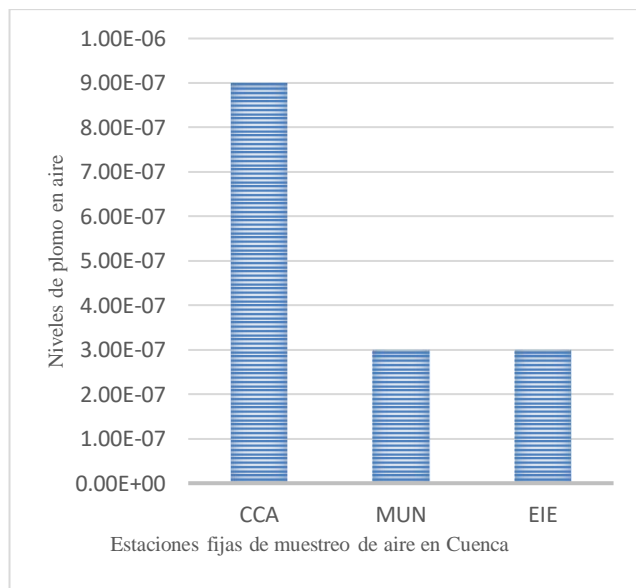
En Latinoamérica, se reporta en Arequipa-Perú concentraciones de plomo en miel de 0,68 a 2,74 mg/kg (Cáceres, 2014). En el Ecuador y específicamente en Quito, la concentración de plomo medida es de 0,079 a 0,13 mg/kg (Córdor, 2015). En cuanto a los resultados de este estudio, el único dato distinto corresponde al mes de mayo en el sector la Floresta aledaño al Parque Industrial cuya cantidad se acerca al valor de detección de acuerdo con la Tabla 1.

**Tabla 1.** Datos de niveles de plomo encontrados en los diferentes sectores medios en miligramos por kilogramo (mg/kg)

	Sector	Fuente	Mayo	Julio	Septiembre
1	CA	Aire	1,14	0,033	0,87
2	MU	Aire	0,41	0,033	0,26
3	IE	Aire	0,30	0,033	0,41
4	UC	Polen	0,02	0,080	0,07
5	CS	Polen	0,02	0,120	0,08
6	QC	Polen	0,07	0,070	0,03
7	CB	Polen	0,03	0,040	0,03
8	FI	Polen	0,03	0,110	0,02
9	UCK	Polen	0,03	0,080	0,02

Fuente: (Zambrano, 2018)

En cuanto al plomo en el aire a través de las mediciones de PM10, el valor medio más alto corresponde al sector 1 “Carlos Arízaga” con un valor de 0,681 mg/kg, los sectores 2 y 3 poseen valores medios similares de acuerdo con la Figura 2.

**Figura 2.** Niveles de concentración de plomo en aire promedio por sector medido en microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en el año 2018

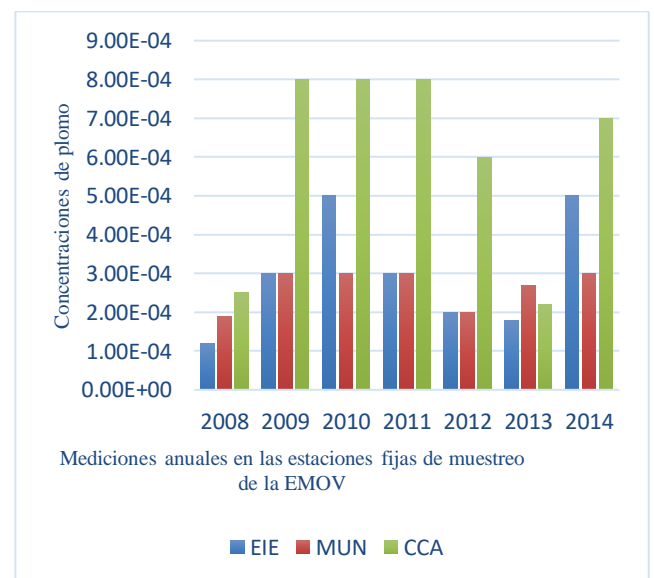
El coeficiente de variación en los tres sectores evidencia mucha mutabilidad en los datos de niveles de Pb, con los intervalos de confianza al 95%. Estos valores son mínimos respecto a concentraciones de plomo en Cuenca, que solían ser altos y que se detectaron hasta el año 1998 en que el 6,6% de niños presentaban posible saturnismo (Oviedo et al., 2000).

En el sector 1 “Carlos Arízaga” (CCA), se encuentran las mayores concentraciones de plomo y, en los sectores 2 y 3 “Municipio”(MUN) e “Ignacio Escandón” (EIE) los niveles de plomo son menores y similares con variabilidades aproximadas entre sí. Esto puede deberse a que el sector 1,

es el que está más próximo al Parque Industrial en el que se supone las emisiones de plomo son mayores (Astudillo, 2014; Tello, 2018). Las medidas de plomo en partículas atmosféricas deben transformarse de ppm a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y deben ser promediadas por zona geográfica para estimar las concentraciones de plomo en aire (Cortez-Lugo et al., 2003). Los resultados de los análisis de plomo en aire se encuentran en un rango de  $1 \times 10^7$  a  $9 \times 10^7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valores que son muy bajos y que no sobrepasa los límites permisibles según la OMS  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Davis y Grant, 2003; Ministerio del Ambiente del Ecuador et al., 2012).

Estos resultados se corroboran con los de la institución oficial: Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca EMOV EP. Las concentraciones de plomo en la ciudad de Cuenca entre el año 2008 y el año 2014 se encuentran en un rango de  $1 \times 10^{-4}$  y  $8 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$  (EMOV, 2015), de acuerdo con la Figura 3. Se corrobora que los índices de plomo encontrados en las partículas atmosféricas extraídas de las estaciones fijas de muestreo de calidad del aire se correlacionan con la concentración en diferentes organismos y exudados.

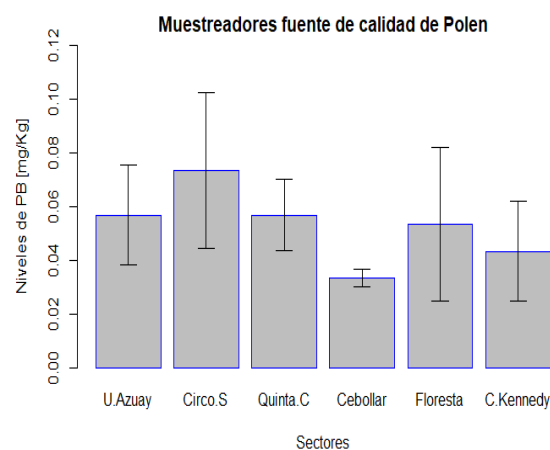
Al compararlos con otros estudios se demuestran que las concentraciones en Cuenca son bajas. Bedregal et al. (2012) reportan en Perú, específicamente en Lima su capital densidad de plomo en aire de  $0,05$  a  $0,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; en el año 2003 en Ciudad de México los niveles de plomo en aire establecidos van de  $0,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $1,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Cortez-Lugo et al., 2003). Otro estudio de plomo en aire en la ciudad de Quito reporta valores entre  $0,4$  y  $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Noriega-Rivera et al., 2008) En la zona de Boyacá en Colombia, se reportó plomo en aire en concentraciones que van de  $0,1$  a  $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Agudelo-Calderón et al., 2016).

**Figura 3.** Concentración de plomo en el aire de Cuenca entre los años 2008-20014 medido en microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Como se puede apreciar en la Figura 4, las concentraciones de plomo encontrados en el polen muestreado en los distintos sitios, de mayor a menor concentración son: “Circo Social”, seguido de la “Floresta”, “Quinta Chica” y



“Universidad del Azuay” con valores medios aproximadamente parecidos, de este grupo la variabilidad es más alta en la “Floresta”. Los niveles de plomo son más bajos en el “Cebollar” de acuerdo con Zambrano (2018). Estos resultados pueden estar relacionados a que en el sector Circo Social existe un mayor tráfico de vehículos, pues, por allí pasa la autopista que bordea el sector sur de la ciudad; por otro lado, el sector de la Floresta está localizado en las inmediaciones del Parque Industrial reportado con mayores niveles de este metal por Tello (2018).



**Figura 4.** Diagramas de barras y error del plomo muestreado en polen cuantificado en miligramos por kilogramo (mg/kg)

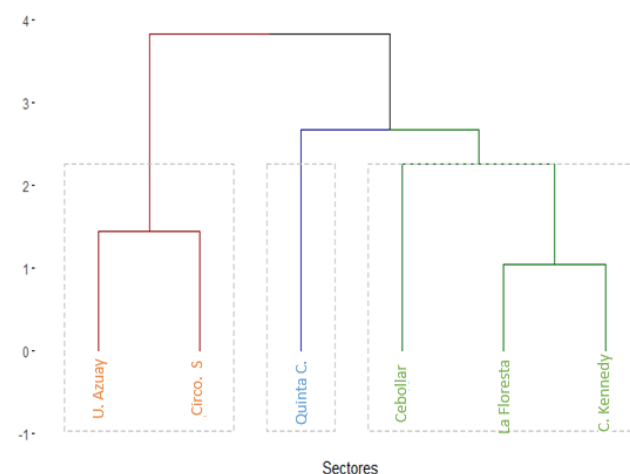
Por otra parte, en los niveles de plomo en polen se puede apreciar que el valor medio más alto se encuentra en el sector 5 “Circo Social” con una variabilidad del 68,6%, seguido de los sectores 4 y 6 “Universidad del Azuay” y “Quinta Chica” con un valor medio de 0,0567 mg/kg y variabilidades de 56,7% y 40,75% respectivamente, los sectores restantes poseen niveles muy cercanos al límite mínimo de detección de 0,03 mg/kg con variabilidades muy elevadas en los sectores de la “Floresta” y “Ciudadela Kennedy” (Zambrano, 2018).

Los resultados de los análisis muestran concentraciones de 0,02 y 0,12 mg/kg de plomo en polen (Zambrano, 2018). Por lo tanto, en el polen los niveles de plomo detectados son mayores que en la miel; a pesar de ello, su concentración no es mayor a 0,12 mg/kg bastante inferior al valor establecido por la FAO de 0,214 mg como consumo máximo diario de plomo (FAO y OMS, 2000). De acuerdo a la densidad de plomo encontrado una persona debería comer 3,73 kg de polen al día para exceder el límite máximo.

En cuanto a comparación con otros estudios, en Venezuela en el año 2014 en el estado de Mérida se reportan concentraciones de plomo entre 0,198 y 0,288 mg /kg (Gutiérrez et al., 2014), estos niveles detectados son bastante mayores a los reportados por Saénz (2017) en Durango México en el año 2007 con valores de entre  $33 \times 10^{-6}$  a  $71 \times 10^{-6}$  mg/kg, incluso inferiores a los de Cuenca Ecuador y Río Grand do Sul Brasil cuya variación está entre 0,012 y 0,018 mg/kg (Sattler et al., 2016), un poco más altos que los encontrados en el polen de Cuenca, cuyos valores son mucho menores a los encontrados en Quito

Ecuador (Córdor, 2015), Venezuela e incluso Francia en donde se establece una media de 0,240 mg/kg (Lambert et al., 2012).

En la Figura 5, se muestra el resultado de un análisis clúster usando distancias de similitudes euclidianas para los indicadores de plomo en polen en función de sus características de variabilidad temporal para identificar el conjunto de sectores que poseen similitudes en su comportamiento. El análisis de conglomerados para este caso busca aglomerar el conjunto de sectores en grupos, de forma que los lugares de un mismo grupo sean similares según sus características en cuanto a la concentración de plomo en polen en los meses analizados.



**Figura 5.** Dendrograma por sectores de la concentración de plomo en polen

El propósito para el análisis de conglomerados en los sectores es de tratar de identificar una estructura natural en los mismos, explorar potenciales diseños conceptuales útiles que den cuenta de como se da el agrupamiento de las distintas zonas, a fin de formular posibles hipótesis de acuerdo con la representación y búsqueda de los grupos formados en este caso respecto a las concentraciones de plomo en aire (Díaz y Morales, 2012).

Se puede apreciar en el dendrograma que, según el corte estimado se forman tres grupos, “Floresta – Ciudadela Kennedy - Cebollar”, “Universidad del Azuay – Circo Social” y “Quinta Chica”, en los cuáles se puede considerar que los niveles de plomo en los meses muestreados tienen un comportamiento similar, esto puede deberse a su cercanía.

En cuanto a los resultados del análisis espacial la interpolación IDW ponderación de distancia inversa, trabaja con una sola combinación, la distancia máxima entre los vecinos más cercanos fue de 2,382 metros (distancia diagonal máxima), de acuerdo con la Figura 6. se puede observar la distribución espacial del plomo de acuerdo al método IDW. Los resultados corroboran mayores concentraciones de este metal en la zona norte y sus estaciones, que pueden repercutir sobre las concentraciones encontradas en el polen ponderación de distancia inversa.

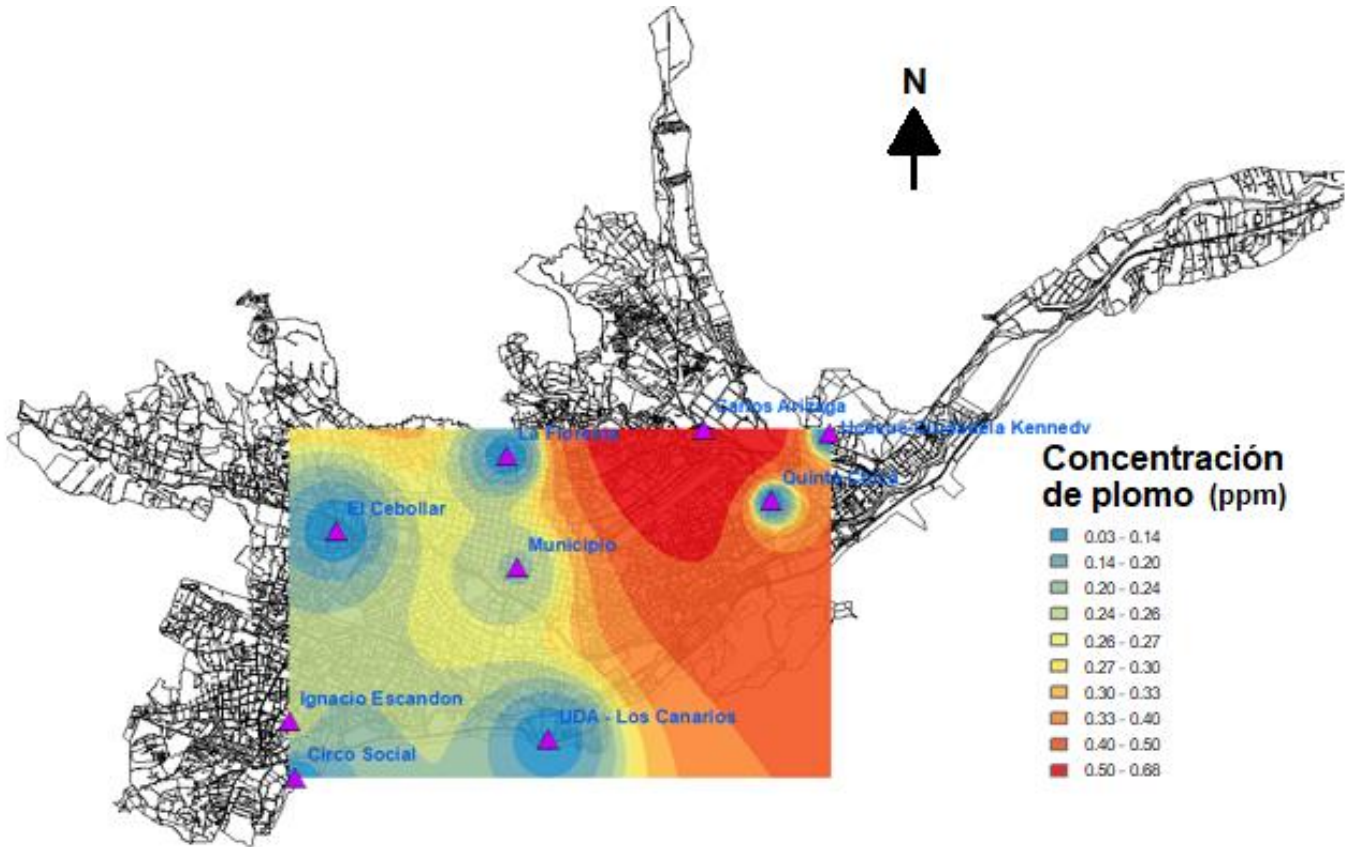


Figura 6. Distribución espacial del plomo en la ciudad de Cuenca

En la misma Figura 6 se muestra que la estación Carlos Arízaga (CA) es donde se encuentra la mayor concentración de plomo, esta estación se encuentra en el Parque Industrial de Cuenca y se dispersa en la zona noreste de la ciudad por las concentraciones mayores. Ya que según la distribución espacial es evidente la concentración de plomo distinta en los bioindicadores, el siguiente paso es analizar si existe una relación espacial entre los puntos de monitoreo, pues la medida de plomo en aire es indirecta y se basa en su concentración en el PM10.

Posteriormente, se realizaron tres análisis diferentes para encontrar relaciones entre las estaciones de monitoreo. En el primero se busca la relación entre todos los lugares que tienen mediciones de plomo, en el segundo análisis se busca una relación entre las que se localizan en la zona norte y el tercero se busca relación espacial entre las estaciones de la zona sur. En la Figura 7, se encuentran las estaciones de los tres análisis realizados. Los valores estadísticos obtenidos indican si los datos de análisis se encuentran dispersos, agrupados o tienen una distribución aleatoria.

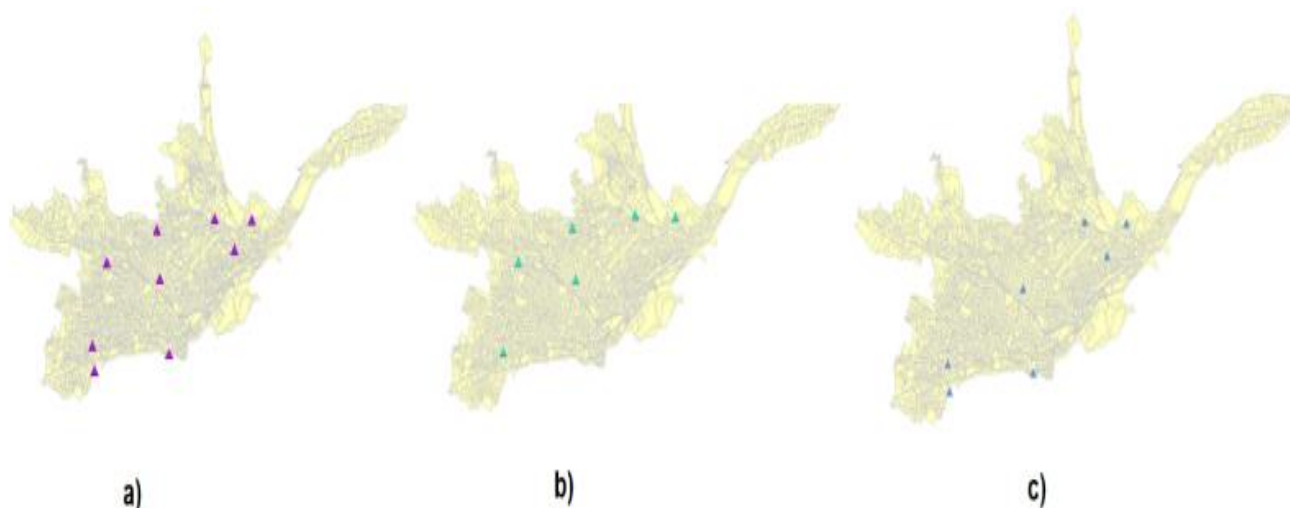
Para esto se trabajó con el Índice de Moran, previas las siguientes consideraciones estadísticas: la hipótesis nula, indica que los valores se dispersan de forma aleatoria. Si el valor de P es cercano a cero la posibilidad de que se cumpla la hipótesis nula es muy pequeña. El parámetro de Z representa las desviaciones estándar, si es próximo a cero no existe suficiente evidencia estadística como para

rechazar la hipótesis nula. Si P es muy pequeño los números que adquiere Z son muy elevados (ya sean positivos o negativos).

El I de Moran analiza patrones para saber si existe relación espacial. En la Tabla, se presenta un resumen de los valores estadísticos de cada análisis.

Tabla 2. Resumen de análisis de I de Moran

	Primer análisis	Segundo análisis	Tercer análisis
Índice de Moran	-0,460718	-0,330647	-0,498102
Variancia	0,060064	0,078457	0,085286
Puntuación Z	-1,369837	-0,0466429	-0,134907
P valor	0,170738	0,640908	0,256414
Conceptualización	Distancia Inversa	Distancia Inversa	Distancia Inversa
Método de distancia	Euclidiana	Euclidiana	Euclidiana
Distancia límite	2724,0231 metros	2917,7090 metros	2598,4642 metros



**Figura 7.** a) Análisis de todas las estaciones, b) análisis de las estaciones de la zona norte, c) análisis de las estaciones de la zona sur

Si los parámetros tienden a agruparse espacialmente (valores bajos con valores bajos; valores altos con valores altos) el índice de Moran será positivo. Si las medidas se dispersan (valores bajos cerca de valores altos) el índice de Moran será negativo.

Para cada una de las pruebas el valor del I de Moran es negativo, lo que indica que las estaciones analizadas no tienen una relación espacial, su comportamiento es aleatorio; los valores P en las pruebas son cercanos a cero, por tanto, existe una pequeña probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula, que en este caso es: que exista relación espacial entre las variables de análisis. Esto puede deberse principalmente a la dispersión del plomo en la atmósfera y su relación con las fuentes de emisión, además del hecho ya indicado del radio de vuelo de las abejas.

Se aplicó el análisis de varianza ANOVA de una variable para comparar las concentraciones de plomo entre la miel y el polen utilizados como bioindicadores. Como resultado el valor P es inferior al nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , por tanto, se rechaza la hipótesis nula que afirma que las concentraciones de plomo en los tres grupos examinados son diferentes estadísticamente.

A pesar de ello, y a modo de análisis final se utilizó la prueba de YUEN para dos medias independientes como son los datos de concentración de plomo en el polen y en la miel. Como resultado se comprueba que el polen es un mejor bioindicador respecto a la miel, lo mismo que afirman Lambert et al. (2012)

#### 4. CONCLUSIONES

- Las concentraciones de plomo en miel y polen en la ciudad de Cuenca-Ecuador no sobrepasan los límites permisibles en alimentos ya que se encuentra en un rango entre 0,02 a 0,12 mg/kg en el polen y de 0,03 a 0,08 mg/kg en el caso de la miel.

- Los niveles de plomo encontrados en este estudio en el aire y medidos dentro de las partículas atmosféricas PM10 están en valores que van desde 0,021 a 0,72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo un valor insignificante de presencia de plomo en el ambiente y que no afecta a la salud del ecosistema y de las personas.
- Se concluye que el polen es mejor bioindicador, ya que los análisis demuestran mayores valores de concentración. Por tanto, se recomienda su manejo como indicador de la presencia de plomo y probablemente de otros metales pesados.
- Se recomienda monitorear la calidad ambiental en Cuenca mediante bioindicadores de diferentes contaminantes, pues se conoce que la bioacumulación, aporta datos que pueden contribuir a una gestión eficiente de la calidad del aire.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se desarrolló gracias al aporte económico del GAD Municipal de Cuenca a través de la Comisión de Gestión Ambiental CGA mediante convenio con la Universidad Católica de Cuenca, institución que aportó con los investigadores y los laboratorios necesarios para esta investigación.

#### REFERENCIAS

- Afik, O., Dag, A., Kerem, Z., & Shafir, S. (2006). Analyses of avocado (*Persea americana*) nectar properties and their perception by honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Chemical Ecology*, 32(9), 1949–1963. <https://doi.org/10.1007/s10886-006-9120-1>
- Agudelo-Calderón, C. A., Quiroz-Arcenales, L., García-Ubaque, J. C., Robledo-Martínez, R., & García-Ubaque, C. A. (2016). Evaluación de condiciones ambientales: Aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en



- Boyacá, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 18(1), 50–60. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n1.55384>
- Aguilera, A., Bautist, F., Delgado, C., Gogichaichvili, A., Cejudo, R., Gutiérrez-Ruiz, M., Cenicerós-Gómez, A., & NR, L.-S. (2019). Spatial analysis of lead in the street dust of Mexico City: implications for human health. *Journal of Environmental Science and Public Health*, 03(02), 210–225. <https://doi.org/10.26502/jesph.96120058>
- Astudillo, A. (2014). Estudio de genotoxicidad del material particulado (PM 10) de la zona urbana del cantón Cuenca. [Tesis de maestría de Toxicología de la Universidad de Cuenca]. En repositorio institucional de la Universidad de Cuenca, Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5467/1/tesis.pdf>
- Bedregal, P., Ubillús, M., Hurtado, J., & Mendoza, P. (2012). Evaluación de la contaminación atmosférica en puntos críticos de la ciudad de Lima y Callao, utilizando Tillandsia capillaris como biomonitor. *Informe Científico Tecnológico*, 12(1), 41–47. <https://revistas.ipen.gob.pe/ict/article/view/63>
- Bogdanov, S. (2006). Contaminants of bee products. *Apidologie*, 37(1), 1–18. <https://doi.org/10.1051/apido:2005043>
- Cáceres, I. (2014). Determinación de los niveles de plomo en miel de abeja por voltamperometría y su aplicación como bioindicador de contaminación ambiental, Arequipa-2012. [Tesis de licenciatura de la Universidad Católica Santa María], Arequipa, Perú. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/4311>
- Cely, J., Siabato, W., Sánchez, A., & Rangel, A. (2002). Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental. *Revista Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 7(2), 31–38. <https://doi.org/10.14483/23448393.2815>
- Colin, T., Meikle, W. G., Paten, A. M., & Barron, A. B. (2019). Long-term dynamics of honey bee colonies following exposure to chemical stress. *Science of the Total Environment*, 677, 660–670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.402>
- Cóndor, F. (2015). Determinación de metales pesados en miel de abeja para su evaluación como indicador ambiental en zonas contaminadas, en la provincia de Pichincha-Ecuador. [Tesis de Ingeniero en Biotecnología de Universidad de las Fuerzas Armadas. Quito, Ecuador]. Repositorio de la ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10886>
- Conti, M. E., & Botrè, F. (2018). Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination genetic and metabolic profiling of elite athletes view project monitoring and evaluation of the spatial variability of PM chemical components through spatially resolved. *Environmental Monitoring and Assessment*, 667, 267–282. <https://doi.org/10.1023/A:1010719107006>
- Cortez-Lugo, M., Téllez-Rojo, M., Gómez-Dantés, H., & Hernández-Avila, M. (2003). Tendencia de los niveles de plomo en la atmósfera de la zona metropolitana de la Ciudad de México. 1988-1998. *Salud Pública de México*, 45(2), 196–202. <https://doi.org/10.1590/s0036-36342003000800005>
- Davis, J. M., & Grant, L. D. (2003). Experiencias de la instauración de normas relativas al contenido de plomo en aire y el agua, en los Estados Unidos de América. *Salud Pública de México*, 45(2), 237–243.
- Develliers, J. (2002). *Honey bees: estimating the environmental impact of chemicals*. En J. Develliers & M. Pham-Delegue (Eds.), Book (p. 347). Taylor & Francis. <http://www.amazon.co.uk/Honey-Bees-Estimating-Environmental-Chemicals/dp/0415275180>
- Díaz, L., & Morales, M. (2012). *Análisis Estadístico de Datos Multivariados* (Universidad Nacional de Colombia). [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79916/Análisis Estadístico de Datos Multivariados 9789587751062.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79916/Análisis%20Estadístico%20de%20Datos%20Multivariados%209789587751062.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- EMOV. (2015). Informe de calidad del aire de Cuenca 2015. [https://www.emov.gob.ec/sites/default/files/Calidad%20del%20Aire%20final%202015\\_0.pdf](https://www.emov.gob.ec/sites/default/files/Calidad%20del%20Aire%20final%202015_0.pdf)
- EMOV EP. (2014). Informe Calidad del Aire 2014 I Red de Monitoreo de Calidad de Aire - EMOV EP. [https://www.researchgate.net/publication/280320700\\_Informe de la calidad del aire de Cuenca Año 2014 Cuenca - Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/280320700_Informe_de_la_calidad_del_aire_de_Cuenca_Ano_2014_Cuenca_-_Ecuador)
- FAO, & OMS. (2000). Codex Alimentarius. Proyecto de norma revisado para la miel. (Número Apéndice 1). [ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCS/ccs7/S00\\_03s.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCS/ccs7/S00_03s.pdf)
- FAO, & OMS. (2015). CODEX ALIMENTARIUS. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/es/>
- FLACSO, MAE, & PNUMA. (2008). Estado del aire en el Ecuador. En G. Fontaine, I. Narváez, & P. Cisneros (Eds.), Informe sobre el estado del medio ambiente (FLACSO, p. 105). Observatorio Socio Ambiental de la FLACSO. [http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador/pdf/04\\_Capitulo\\_2\\_Estado\\_del\\_aire.pdf](http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador/pdf/04_Capitulo_2_Estado_del_aire.pdf)
- Freije, A. M. (2015). Heavy metal, trace element and petroleum hydrocarbon pollution in the Arabian Gulf: Review. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 17(1), 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2014.02.001>
- Furr, K. (1996). *Analytical methods for atomic absorption spectroscopy*. The Perkin-Elmer Corporation.
- Gallardo, O. (2007). *Las abejas melíferas biomonitores de metales pesados en el aire de Torreón y sitios aledaños* [Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio universitario UAAAN. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/42733>
- Gutiérrez, I. (2016). *Empleo de Apis mellifera como bioindicador de la contaminación de metales pesados en el término municipal de Córdoba*. [Tesis Doctoral Universidad de Córdoba]. <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13253/2016000001367.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez, L., Bonive, F., Paz, L., Vielma, J., Carrero, P. E., Delgado, Y., Cerinza, J. P., & Vit, P. (2014). Uso del polen apícola como bioindicador ambiental en la determinación de plomo en el municipio Antonio Pinto Salinas, del estado Mérida-Venezuela. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 45, 191–210.

- INEC. (2011). Resultados del censo 2010 en la provincia del Azuay. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/azuay.pdf>
- Kimura, M., Saito, K., & Motoda, H. (2009). Blocking links to minimize contamination spread in a social network. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, 3(2), 1–23. <https://doi.org/10.1145/1514888.1514892>
- Kulike, H., & Voget, M. (1983). Honey as a biological indicator of lead and cadmium air pollution. *Allg. dt. Imkerztg*, 17(10), 323–324.
- Kumar, A., Kumar, A., Cabral-Pinto, M., Chaturvedi, A. K., Shabnam, A. A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Gupta, D. K., Malyan, S. K., Kumar, S. S., Khan, S. A., & Yadav, K. K. (2020). Lead toxicity: Health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179>
- Lambert, O., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Larhantec, M., Delbac, F., & Pouliquen, H. (2012). Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. *Environmental Pollution*, 170, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.07.012>
- Labanda, P., & Fernández, C. (2012). Saturnismo, a propósito de un caso. *Medicina y seguridad en el trabajo*, 59, 168–173. <https://dx.doi.org/10.4321/S0465546X2012000200009>
- Lozano, A., Usero, J., Vanderlinden, E., Raez, J., Contreras, J., Navarrete, B., & El Bakouri, H. (2010). Optimization of the design of air quality monitoring networks and its application to NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in Jaen, Spain. *Microchemical Journal*, 96(2), 406–411. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.07.002>
- M. Van der Steen, J. J., de Kraker, J., & Grotenhuis, T. (2015). Assessment of the Potential of Honeybees (*Apis mellifera* L.) in Biomonitoring of Air Pollution by Cadmium, Lead and Vanadium. *Journal of Environmental Protection*, 6, 96–102. <https://doi.org/10.4236/jep.2015.62011>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador, OPS, & OMS. (2012). Lineamientos Generales para Establecer Políticas de la Calidad del Aire en Ecuador.
- Mohammadi Aghamirlou, H., Khadem, M., Rahmani, A., Sadeghian, M., Mahvi, A. H., Akbarzadeh, A., & Nazmara, S. (2015). Heavy metals determination in honey samples using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0189-8>
- Moreno, A. (2013). Población y polución atmosférica intraurbana por dióxido de nitrógeno en Madrid: Análisis desde la justicia ambiental basado en sistemas de información geográfica. *Cuadernos Geográficos*, 52(1), 84–107.
- Noriega Rivera, P., Medici, A., Murillo, A., Bedón, J., Haro, F., & Galecio, G. (2008). Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores. *La Granja*, 8(2), 17. <https://doi.org/10.17163/lgr.n8.2008.03>
- Oviedo, J., Bossano, F., Estrella, R., Torres-Garcés, L., Gaybor, M., & Calderón, M. (2000). Monitoreo de la contaminación ambiental en el Ecuador. *VozAndes*, 13(1), 7–13.
- Parikh, G., Rawtani, D., & Khatri, N. (2021). Insects as an Indicator for Environmental Pollution. *Environmental Claims Journal*, 33(2), 161–181. <https://doi.org/10.1080/10406026.2020.1780698>
- PNUMA. (2010). Analisis de flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe (Oficina re). <file:///C:/Users/UCACUE/Downloads/UNEP%20Year%20Book%202010-2010917-spanish.pdf>
- Román, D. A., Rivera, L., Morales, T., Ávila, J., & Corté, P. (2002). Determination of trace elements in environmental and biological samples using improved sample introduction in flame atomic absorption spectrometry (Hhpn-Aas; Hhpn-Ff-Aas). *Anal. Chem*, 83(4), 327–341. <https://doi.org/10.1080/0306731000076869>
- Ruiz-Jiménez, J., Luque-García, J. L., & Luque De Castro, M. D. (2003). Dynamic ultrasound-assisted extraction of cadmium and lead from plants prior to electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 480(2), 231–237. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)01658-6](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(02)01658-6)
- Ruiz, J. A., Gutiérrez, M., & Porrini, C. (2013). *Biomonitoring of bees as bioindicators*. *Bee World*, 90(3), 61–63. <https://doi.org/10.1080/0005772x.2013.11417545>
- Ryckowski, J., & Borowiecki, T. (1993). Double impregnation-application of a preparation method for well dispersed and high metal loading Ni/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts. *Kinet. Catal. Lett*, 49(1), 2157. <https://doi.org/10.1007/BF02084038>
- Saéñz, M. (2017). *Determinación de metales pesados y pesticidas en miel de abeja del norte del estado de Durango, México*. [Tesis de maestría en Gestión Ambiental]. Instituto Politécnico Nacional IPN. Repositorio digital. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/24057>
- Sajid, A. H., Rudra, R. P., & Parkin, G. (2013). Systematic evaluation of kriging and inverse distance weighting methods for spatial analysis of soil bulk density. *Canadian Biosystems Engineering*, 55(1983), 1–13. <https://doi.org/10.7451/CBE.2013.55.1.1>
- Sattler, J. A. G., De-Melo, A. A. M., do Nascimento, K. S., de Melo, I. L. P., Mancini-Filho, J., Sattler, A., & de Almeida-Muradian, L. B. (2016). Essential minerals and inorganic contaminants (Barium, cadmium, lithium, lead and vanadium) in dried bee pollen produced in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Food Science and Technology*, 36(3), 505–509. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0029>
- Sbarato, V., Sbarato, D., Basan, R., Manzo, P., Ortega, J. E., Campos, M., & Salort, M. R. (2000). *Análisis y caracterización del material particulado atmosférico*. [Teis de Maestría en Gestión para la Integración Regional y Centro de Información y Documentación Regional, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina]

[http://www.monitoreoambiental.com/download/16.Análisis del Material Particulado-paper24.pdf](http://www.monitoreoambiental.com/download/16.Análisis%20del%20Material%20Particulado-paper24.pdf)

- Siabato, W., & Guzmán-Manrique, J. (2019). La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 1–22. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.76919>
- Taha, E. K. A. (2015). Chemical composition and amounts of mineral elements in honeybee-collected pollen in relation to botanical origin. *Journal of Apicultural Science*, 59(1), 75–81. <https://doi.org/10.1515/jas-2015-0008>
- Tello, M. de los A. (2018). Determinación de las concentraciones de plomo y cadmio en suelos de sectores aledaños al parque industrial de la ciudad de Cuenca. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento.*, 2, 560–577. <https://doi.org/10.26820/recimundo/2.esp.2018.560-577>
- Thompson, M., Walton, S. J., & Wood, S. J. (1979). Statistical appraisal of interference effects in the determination of trace elements by atomic-absorption spectrophotometry in applied geochemistry. *The Analyst*, 104(1237), 299–312. <https://doi.org/10.1039/an9790400299>
- Vullo, D. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química Viva*, 2(3), 93–104.
- Zambrano, Y. (2018). *Determinación de la concentración de plomo presente en miel de abejas y en polen como bioindicador de contaminación atmosférica dentro del Cantón Cuenca*. [Tesis de Ingeniera Ambiental de la Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio de la Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954>

## BIBLIOGRAFÍAS

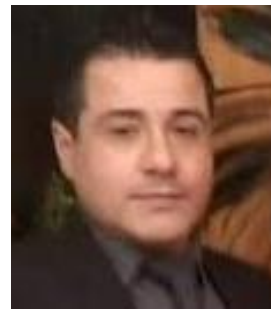


**Paula, Cordero**, Bióloga por la Universidad del Azuay, con maestría en Ciencias Biológicas, Biología Ambiental con orientación en la Restauración Ecológica en la UNAM México. Docente investigadora de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Cuenca. Participación en proyectos de

investigación: Determinación de la Concentración de plomo presente en la miel de abeja y plomo como bioindicador de contaminación atmosférica. Uso de diatomeas como bioindicadoras de calidad de agua en la provincia del Azuay. Vulnerabilidad de Poblaciones bajo Escenarios Extremos VULPES. Biodeterioro de Ingapirca. Cambios de uso de suelo y cambio climático en la cuenca del Tomebamba.



**Yuliana, Zambrano**, Ingeniera Ambiental por la Universidad Católica de Cuenca participó en el proyecto “Determinación de la Concentración de plomo presente en la miel de abeja y plomo como bioindicador de contaminación atmosférica en el Cantón Cuenca”, dentro de un convenio firmado entre la Comisión de Gestión Ambiental del Cantón Cuenca CGA y la UCACUE, el mismo que le permitió desarrollar su tesis de graduación y ganar el primer premio del II Congreso Estudiantil Interdisciplinario de la Universidad Agraria del Ecuador, organizado como incentivo a los trabajos innovadores en las áreas científicas aplicables a nivel nacional e Internacional.



**Diego, Heras**, Ingeniero Electrónico con master universitario en Ingeniería Computacional y Matemáticas, docente de la Universidad Católica de Cuenca en las ramas de matemática y estadística dentro de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, experto en estadística y manejo de datos cuantitativos y cualitativos. Colaborador de proyectos de investigación: Datos hidrológicos de las Cuenca del Pacífico Ecuador.



**Carlos, Matovelle**, Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Valencia. Especialista en Recursos Hídricos y Tratamiento de Agua. Candidato a Doctor por el Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. Profesor por 9 años de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Cuenca, Coordinador del HYDROLAB del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología –CIITT. Como investigador ha sido Director de Proyectos Institucionales e Interinstitucionales que han resultado en publicaciones indexadas y ponencias en varios eventos científicos. Coordinador del Grupo de Investigación en Geociencias, Ambiente y Recursos Naturales adscrito al Centro de Investigación de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.

