

Iván Andrés González Vargas · Iván Darío López Villalobos

Editores científicos

# CONTAMINACIÓN DEL AIRE

CASOS DE INVESTIGACIÓN EN EL  
VALLE DEL CAUCA

VIGILADA  
MINEDUCACIÓN



EDITORIAL



**Cita este libro / Cite this book:**

González Vargas, I. A. y López Villalobos, I. D. (eds. científicos). (2020). *Contaminación del aire: casos de investigación en el Valle del Cauca*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

**Palabras Clave / Keywords:**

Clinoptilolita, amonio, intensidad sonora, acústica, enfermedad respiratoria, polución.

Clinoptilolite, ammonium, sound intensity, acoustics, respiratory disease, pollution.

**Contenido relacionado:**

<https://investigaciones.usc.edu.co/>

# **CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

**CASOS DE INVESTIGACIÓN EN EL  
VALLE DEL CAUCA**

*Air pollution: investigation cases in Valle del Cauca*

**Iván Andrés González Vargas**

**Iván Darío López Villalobos**

Editores científicos



EDITORIAL

Contaminación del aire: casos de investigación en el Valle del Cauca / Iván Andrés González Vargas; Iván Darío López Villalobos [Editores científicos]. -- Santiago de Cali: Universidad Santiago de Cali, 2020.

158 páginas; 24 cm.

Incluye referencias bibliográficas.

**ISBN Obra impresa:** 978-958-5147-42-3    **ISBN Obra digital:** 978-958-5147-43-0

1. Contaminación acústica 2. Trabajadores informales 3. Polución 4. Enfermedad respiratoria I. Iván Andrés González Vargas. Universidad Santiago de Cali. Facultad de Ciencias Básicas. II. Iván Darío López Villalobos. Institución Universitaria Antonio José Camacho. Facultad de Educación a Distancia.

SCDD 333.7 ed. 23

CO-CaUSC

JRGB/2021



### **Contaminación del aire: casos de investigación en el Valle del Cauca.**

© Universidad Santiago de Cali.

© **Editores científicos:** Iván Andrés González Vargas e Iván Darío López Villalobos.

© **Autores:** Iván Andrés González Vargas, Raúl Alberto Cuervo Mulet, Fabián Felipe Fernández Daza, Michel Fernanda Balanta Galvis, Johannes Delgado Ospina, Iván Darío López, Leidy Maritza Guanga Esterilla y Luis Felipe Granada.

1a. Edición 100 ejemplares.

Cali, Colombia - 2020.

#### **Fondo Editorial University Press Team**

Carlos Andrés Pérez Galindo  
Rector  
Claudia Liliana Zúñiga Cañón  
Directora General de Investigaciones  
Edward Javier Ordóñez  
Editor en Jefe

#### **Comité Editorial Editorial Board**

Claudia Liliana Zúñiga Cañón  
Doris Lilia Andrade Agudelo  
Edward Javier Ordóñez  
Alba Rocío Corrales Ducuara  
Santiago Vega Guerrero  
Milton Orlando Sarria Paja  
Mónica Carrillo Salazar  
Sandro Javier Buitrago Parías  
Claudia Fernanda Giraldo Jiménez

#### **Proceso de arbitraje doble ciego:** “Double blind” peer-review.

**Recepción/Submission:**  
Agosto (August) de 2020.

**Evaluación de contenidos/  
Peer-review outcome:**  
Septiembre (September) de 2020.

**Correcciones de autor/  
Improved version submission:**  
Octubre (October) de 2020.

**Aprobación/Acceptance:**  
Noviembre (November) de 2020.



La editorial de la Universidad Santiago de Cali se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 1</b>	
Uso de la capacidad de intercambio iónico de zeolitas para la reducción de olores en el compost de gallinaza .....	11
<i>Iván Andrés González Vargas, Universidad Santiago de Cali</i>	
<i>Raúl Alberto Cuervo Mulet, Universidad de San Buenaventura Cali</i>	
<i>Michel Fernanda Balanta Galvis, Universidad Santiago de Cali</i>	
<i>Johannes Delgado Ospina, Universidad de San Buenaventura Cali</i>	
<i>Fabián Felipe Fernández Daza, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<b>Capítulo 2</b>	
Análisis de distribución del ruido ambiental y efectos en comunidad trabajadora expuesta en una zona de la comuna 3 de Cali, 2018.....	57
<i>Iván Darío López, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Fabián Felipe Fernández Daza, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Luis Felipe Granada, Universidad Libre de Cali</i>	
<b>Capítulo 3</b>	
Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020 .....	95
<i>Leidy Maritza Guanga Esterilla, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Fabián Felipe Fernández Daza, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Iván Darío López Villalobos, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Iván Andrés González Vargas, Universidad Santiago de Cali</i>	
<b>Acerca de los autores.....</b>	<b>151</b>
<b>Pares Evaluadores.....</b>	<b>155</b>



# Table of contents

<b>Introduction</b> .....	9
<b>Chapter 1</b>	
Use of the ion exchange capacity of zeolites for the reduction of odors in the gallinaza compos .....	11
<i>Iván Andrés González Vargas, Universidad Santiago de Cali</i>	
<i>Raúl Alberto Cuervo Mulet, Universidad de San Buenaventura Cali</i>	
<i>Michel Fernanda Balanta Galvis, Universidad Santiago de Cali</i>	
<i>Johannes Delgado Ospina, Universidad de San Buenaventura Cali</i>	
<i>Fabian Felipe Fernández Daza, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<b>Chapter 2</b>	
Analysis of the distribution of environmental noise and effects on an exposed working community in an area of the commune 3 of Cali, 2018 ....	57
<i>Iván Darío López, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Fabian Felipe Fernández Daza, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Luis Felipe Granada, Universidad Libre de Cali</i>	
<b>Chapter 3</b>	
Air pollution and vulnerability of exposed individuals in commune 21 of the city of Cali 2020 .....	95
<i>Leidy Maritza Guanga Esterilla, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Fabian Felipe Fernández Daza, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Iván Darío López Villalobos, Institución Universidad Antonio José Camacho</i>	
<i>Iván Andrés González Vargas, Universidad Santiago de Cali</i>	
<b>About the authors</b> .....	151
<b>Peer Evaluators</b> .....	155



# Introducción

## Introduction

El aire como recurso natural es tan importante como el suelo y el agua; sin embargo, las estrategias de manejo, calidad y conservación no son suficientes para disponer de este valioso recurso, a pesar de considerar a la contaminación atmosférica como el principal factor de riesgo ambiental, por encima de la mala calidad del agua y la exposición a metales tóxicos o peligrosos, según el informe de carga de enfermedad ambiental en Colombia del Instituto Nacional de Salud.

El presente libro *Contaminación del aire: Casos de investigación en el Valle del Cauca*, nace como respuesta a la problemática de contaminación creciente en el planeta y el país, como consecuencia del desarrollo industrial, agrícola, minero y automotor, describiendo el problema de la contaminación del aire en sus diferentes fuentes; entre estas se encuentran orgánicas, químicas y físicas, que es su conjunto generan patologías en los organismos vivos y que en el hombre se asocian a patologías respiratorias, cardíacas y cerebrovasculares. En este libro se dan a conocer a los lectores, diferentes estrategias de investigación en las que se incluyen procesos orientados a la prevención o disminución de emisiones orgánicas como olores, evaluación del riesgo de las personas expuestas al ruido y al material particulado en la ciudad de Cali.

Esta obra surge como una necesidad de dar a conocer a los lectores las diferentes estrategias e investigaciones realizadas por el grupo de investigación GIMIA de la Universidad Santiago de Cali y el grupo GISAP de la Institución Universitaria Antonio José Camacho. Consta de tres capítulos; en el primer capítulo se aborda la importancia en crear una estrategia que reduzca la emisión de compuestos orgá-

nicos volátiles, los cuales se asocian con la generación de moléculas responsables del efecto invernadero, así como material particulado que impacta en la salud de ser humano, por lo que se evalúa el potencial de zeolitas para la retención de ion amonio, producto de la degradación microbiológica de los materiales compostables orgánicos, como lo es la gallinaza. El segundo capítulo estudia un contaminante físico del aire, en este caso el ruido, cómo se distribuye en un área comercial informal (centro de Cali), con las sintomatologías presentes en quienes laboraban en la zona, estudio de vital importancia en relación a la patología fisiológicas y psicológicas resultantes, de la exposición a este agente contaminante. El tercer capítulo se centra en la exposición que constantemente sufren la personas en sus lugares de trabajo, evaluando las sintomatologías presentes en los pobladores de la comuna 21 en Cali, relacionándole con un modelo logístico y mostrando el impacto económico asociado a la atención de enfermedades respiratorias relacionadas, en Colombia.

Los autores deseamos que este libro sea un ejemplo de trabajo y una guía para los lectores que deseen aportar al mejoramiento de la calidad de vida y la reducción de la contaminación ambiental, así como estrategias de investigación en el área.

**Los autores**

## Capítulo 1

# Uso de la capacidad de intercambio iónico de zeolitas para la reducción de olores en el compost de gallinaza

*Use of the ion exchange capacity of zeolites for the reduction of odors in the gallinaza compost*

**Iván Andrés González Vargas**

Universidad Santiago de Cali  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-0576-3889>

✉ [ivan.gonzalez03@usc.edu.co](mailto:ivan.gonzalez03@usc.edu.co)

**Johannes Delgado Ospina**

Universidad de San Buenaventura Cali  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-8095-4741>

✉ [jdelgado1@usbcali.edu.co](mailto:jdelgado1@usbcali.edu.co)

**Raúl Alberto Cuervo Mulet**

Universidad de San Buenaventura Cali  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-0182-0161>

✉ [racuervo@usbcali.edu.co](mailto:racuervo@usbcali.edu.co)

**Fabián Felipe Fernández Daza**

Institución Universidad Antonio José Camacho  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-9125-705X>

✉ [fabfernandez@hotmail.com](mailto:fabfernandez@hotmail.com)

**Michel Fernanda Balanta Galvis**

Universidad Santiago de Cali  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-2234-7086>

✉ [michelgalvis75@gmail.com](mailto:michelgalvis75@gmail.com)

**Cita este capítulo**

González Vargas, I. A.; Cuervo Mulet, R. A.; Balanta Galvis, M. F.; Delgado Ospina, J. & Fernández Daza, F. F. (2020). Uso de la capacidad de intercambio iónico de zeolitas para la reducción de olores en el compost de gallinaza. En: González Vargas, I. A. y López Villalobos, I. D. (eds. científicos). *Contaminación del aire: casos de investigación en el Valle del Cauca*. (pp. 11-55). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

# Uso de la capacidad de intercambio iónico de zeolitas para la reducción de olores en el compost de gallinaza

*Use of the ion exchange capacity of zeolites for the reduction of odors in the gallinaza compos*

Iván Andrés González Vargas · Raúl Alberto Cuervo M · Michel Fernanda Balanta G · Johannes Delgado Ospina · Fabián Felipe Fernández D.

## Resumen

Las zeolitas han sido utilizadas en la agricultura para la preparación de fertilizantes químicos, mejorando el poder de los suelos para retener nitrógeno y promover una liberación controlada del nutriente hacia la zona radicular de las plantas basándose en su alta capacidad de intercambio iónico, selectividad y retención de agua. Por ello, en el presente estudio se caracterizó y evaluó la capacidad de intercambio iónico del ion  $\text{NH}_4^+$  en cuatro zeolitas comerciales con potencial agroindustrial. Los materiales zeolíticos se caracterizaron por las técnicas de difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), análisis termogravimétrico (TGA), microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersa (SEM-EDS) y absorción atómica (AA), con las cuales se identificaron las fases presentes en las zeolitas, se obtuvo información estructural de las mismas y se determinó el contenido iónico aproximado presente en cada una de ellas.

Los datos de retención de ion amonio se calcularon depositando el material zeolítico en una columna de cromatografía por la cual se hizo pasar una solución de cloruro de amonio de concentración conocida. Se recogieron muestras de volúmenes constantes y se analizó

la concentración del ion amonio intercambiado mediante el método colorimétrico del reactivo de Neesler. Además, se analizó la captación del mismo ion en una muestra de gallinaza con el fin de conocer el efecto del material zeolítico en la retención del ion  $\text{NH}_4^+$  en la misma. El índice de retención del ion amonio, mostró una tasa equivalente de  $3,88 \pm 0,001$ ;  $2,40 \pm 0,020$ ;  $1,67 \pm 0,005$  y  $3,62 \pm 0,020$  mg amonio / g zeolita para cada una de las zeolitas evaluadas. Por último, la incorporación de las zeolitas en la muestra de gallinaza demostró una disminución de emisiones del ion amonio a la atmósfera. Estos resultados demuestran que estos materiales zeolíticos pueden usarse como una alternativa en la mitigación de olores por medio de la inmovilización del ion amonio producido durante la degradación de la materia orgánica, convirtiéndose a su vez en un producto que puede usarse de manera eficiente para el mejoramiento de suelos, aumentando su capacidad de intercambio catiónico, específicamente por el aporte de nitrógeno.

**Palabras clave:** amonio, clinoptilolita, intercambio iónico, índice de retención.

## **Abstract**

Zeolites have been used in agriculture for the preparation of chemical fertilizers, improving the power of soils to retain nitrogen and promoting a controlled release of the nutrient to the root zone of plants due to its high ion exchange capacity, selectivity and retention of Therefore, in the present study, the ion exchange capacity of the  $\text{NH}_4^+$  ion was characterized and evaluated in four commercial zeolites with agroindustrial potential.

Zeolitic materials are characterized by X-ray diffraction (DRX) techniques, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetric analysis (TGA), scanning electron microscopy with

scattered energy detector (SEM-EDS) and atomic absorption (AA) with which the phases present in the zeolites are identified, structural information is obtained from them and the current ionic content in each one is determined. The ammonium ion retention data was calculated by depositing the zeolitic material on a chromatography column through which an ammonium chloride solution of known concentration was passed. Constant volume samples were collected and the concentration of the exchanged ammonium ion was analyzed using the Neesler's reagent colorimetric method. In addition, it analyzed the uptake of the same ion in a chicken manure sample in order to know the effect of the zeolitic material on the retention of the  $\text{NH}_4^+$  ion in it.

The ammonium ion retention index registered an equivalent rate of  $3,88 \pm 0,001$ ;  $2,40 \pm 0,020$ ;  $1,67 \pm 0,005$  and  $3,62 \pm 0,020$  mg of ammonia / g of zeolite for each of the zeolites evaluated. Finally, the integration of the zeolites in the manure sample showed a decrease in the emissions of the ammonium ion into the atmosphere. These results that these zeolitic materials can have as an alternative in the mitigation of odors by means of the immobilization of the ammonium ion produced during the degradation of organic matter, becoming in turn a product that can be efficiently successful for improvement of soils, improving its cation exchange capacity, specifically due to the contribution of nitrogen.

**Keywords:** ammonium, clinoptilolite, ion exchange, retention rate.

## 1.1. Introducción

En Colombia la alteración de la calidad del aire por generación de olores ofensivos es cada vez más grave; teniendo en cuenta que el crecimiento de la industria avícola en el 2018 representó un 4,5 % respecto al 2017, para una producción nacional de 2 500 000 toneladas año de

carne (FENAVI 2018). La producción avícola intensiva, genera desperdicios con alto contenido de nutrientes y material orgánico, que causan la contaminación de suelos y aguas, además de propiciar la proliferación de vectores y microorganismos patógenos; todo ello con un impacto negativo en el medio ambiente (Guadalupe, 2018; Williams, 2011).

En Colombia, la industria avícola genera 550 mil empleos y tiene un peso del 7,25% en el PIB agrícola, lo que se traduce en una producción de \$18 billones (Dinero 2019); esta actividad es la fuente de generación de empleos directos e indirectos durante su cadena productiva. El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) informó que, en el primer trimestre de 2020, el Producto Interno Bruto (PIB) del sector agropecuario creció 6,8%, respecto al mismo periodo del año anterior lo cual se debe a los resultados logrados en actividades específicas como: pesca y acuicultura (31,5%), cultivos transitorios, permanentes y otros (8,6%), ganadería (7,1%), y silvicultura y extracción de madera (2,6%); específicamente, el top cinco de los cultivos que más crecieron fueron: plátano (35%), maíz (29,4%), arroz (20,9%), huevo (13,4%), y papa (11,2%) (Ministerio de Agricultura, 2020).

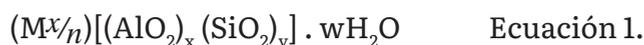
El compostaje, es la conversión, de un material orgánico inestable, a un producto estabilizado, a través de respiración aerobia (Adams & Frostick, 2008); dicho proceso, involucra la conversión biológica, de material orgánico sólido, en productos útiles, tales como: fertilizantes, substratos para la producción de champiñones o biogás (metano). Independientemente del producto, las poblaciones microbianas, son el componente activo de los procesos de biodegradación y conversión durante el compostaje. Sin embargo, la optimización de la calidad del compost, está directamente relacionada, con su composición y la sucesión de comunidades microbiales durante el proceso, lo que genera una dinámica poco conocida (Peters et al., 2000).

Durante el compostaje, la materia orgánica, es biotransformada en condiciones aeróbicas, mediante reacciones de óxido-reducción catalizadas por enzimas microbianas. En este proceso, los microorganismos utilizan la materia orgánica como nutriente para su desarrollo, produciendo su descomposición (mineralización), hasta moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas, siendo el proceso de humificación, el paso en el cual se crean nuevas macromoléculas, a partir de moléculas sencillas, formadas en la descomposición. El proceso en conjunto, produce fundamentalmente calor, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y compuestos húmicos (Moreno & Moral, 2008).

### Generalidades de las zeolitas

Las zeolitas, son una clase de aluminosilicatos cristalinos con un esqueleto aniónico rígido que tiene canales y cavidades bien definidas, constituidas por átomos de silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) e hidrógeno (H). Las cavidades también contienen cationes que pueden ser intercambiables como sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), bario (Ba) y magnesio (Mg) (Soudejani et al., 2019).

La fórmula general de la composición de una zeolita es:



Donde M son los cationes de valencia n, los cuales neutralizan las cargas negativas del esqueleto estructural, w es el número de moléculas de agua presentes en la estructura, “x” e “y” son la cantidad total de tetraedros. Existe una relación entre estos ( $x/n$ ) cuyo valor varía de 1 a infinito, por lo general, se puede representar mediante la siguiente ecuación

$$R = \frac{Si}{Al} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde  $R$  es la razón entre el número de átomos de silicio y aluminio, y su valor es inversamente proporcional a la cantidad de aluminio presente. Al haber mayor cantidad de átomos de aluminio se encontrará un gran número de cationes intercambiables (sodio, potasio, calcio, etc.) ya se origina una deficiencia de carga eléctrica local, por tal motivo habrá un mayor intercambio iónico (Ramírez et al., 2014), (Smart et al., 1995), (I. M.S. Souza et al., 2018; Soudejani et al., 2019).

La clinoptilolita, es la zeolita natural más abundante y ampliamente distribuida en el mundo (Güvenir, 2005; Hossein Nia et al., 2016). Es una zeolita con un tipo de marco HEU (heulandite). Las estructuras cristalinas de la clinoptilolita se describen principalmente como monoclinicas aunque se han reportado simetrías inferiores. Hay tres especies distintas de clinoptilolita, clinoptilolita-Na, clinoptilolita-K y clinoptilolita-Ca las cuales se encuentran en una amplia gama de entornos, incluidas cavidades en rocas volcánicas y son materiales que no son costosos de adquirir, ya que se pueden encontrar fácilmente en la naturaleza (Kouli et al., 2018).

Las zeolitas como la clinoptilolita, presentan características tales como alta porosidad, un armazón rígido formado por vías capaces de promover el intercambio iónico, la adsorción, la difusión selectiva y la separación de componentes de una mezcla de acuerdo con el tamaño y la forma de las moléculas (Obiri-Nyarko et al., 2020), (Simantiraki & Gidakos, 2015). Hoy día las porciones grandes de clinoptilolita se utilizan como material de construcción (A. Nuñez, 2019), (Florez, 2019), en la alimentación animal (Hossein Nia et al., 2016) o en fertilizantes (I. M.S. Souza et al., 2018), (Doula et al., 2012). La Clinoptilolita, se puede también utilizar en intercambio iónico y usos de la adsorción (Iane M.S. Souza et al., 2020), incluyendo el tratamiento de aguas residuales (Prajitno et al., 2021), (Leyva Ramos et al., 2001) y la eliminación de  $SO_2$  (Ferretti et al., 2017). Un estudio muestra que la clinoptilolita tiene una alta capacidad para retener los iones de amonio, para modificar la zeo-

lita mediante un tratamiento alcalino o mediante fusión con hidróxido de sodio a una reacción hidrotérmica (I. M.S. Souza et al., 2018).

Dadas las propiedades de las zeolitas, una de sus posibles aplicaciones agroindustriales se da en la industria avícola que genera impactos negativos cada vez más graves por la mala disposición de sus residuos orgánicos con alto contenido de nutrientes; teniendo en cuenta que el crecimiento del sector avícola en el último año presentó una tasa de 3,6% (Borrero & Silva H, 2005) como controlador de organismos del suelo, dando buenos resultados antagonista, que puede alterar el equilibrio microbiológico que existe en el suelo. Por lo anterior se hizo necesario realizar pruebas de confrontación o pruebas antagónicas (in vitro) (*Dinámica Industria Avícola Colombiana: Logros y Perspectivas 2019*, 2019) lo que conlleva también a un aumento en la cantidad de residuos orgánicos. La producción avícola intensiva, genera residuos con alto contenido de nitrógeno el cual se convierte rápidamente en amoníaco que se volatiliza (Collazos García, 2010), causando contaminación de suelos, aguas y aire; además de propiciar la proliferación de microorganismos patógenos que causan un gran impacto negativo al medio ambiente. Para poder controlar y mitigar las emisiones de nitrógeno al medio ambiente están surgiendo métodos económicos y efectivos que buscan recuperar y estabilizar este elemento en las diferentes formas en las que puede presentarse como es el caso del ion amonio.

En la mayoría de los casos, el intercambio catiónico se ha identificado como el mecanismo para la adsorción de amonio. Generalmente, el proceso se lleva a cabo con la absorción de una o más especies catiónicas y el desplazamiento simultáneo de una cantidad equivalente de una o más especies catiónicas inmersas en la matriz (Vocciante et al., 2018). Los intercambiadores de cationes a base de zeolita han llamado mucho la atención debido a su capacidad específica, selectividad, seguridad y estabilidad en el ambiente agresivo de aguas residuales con

composición compleja; además de su eficacia en presencia de especies orgánicas disueltas e incluso estiércol (Leyva Ramos et al., 2001; Vocciante et al., 2018).

Los métodos para la eliminación de amonio de medios contaminados incluyen enfoques híbridos en los que se involucran diversos procesos (Enrique & Carballo, 2004), (Manrique Losada et al., 2016). El enfoque biológico implica la conversión de amonio en nitrato (nitrificación) seguido de la conversión de nitrato en nitrógeno (desnitrificación) (Verstraete & Philips, 1998). Los enfoques fisicoquímicos incluyen extracción de aire, nanofiltración, oxidación, precipitación, y adsorción. Específicamente, los procesos de adsorción y desorción han sido reconocidos como confiables y limpios, debido a su uso limitado de reactivos químicos y condiciones de operación moderadas. El carbón activado, los polímeros de hidrogel, los polímeros funcionalizados y los minerales se han propuesto como adsorbentes para el amonio (Vocciante et al., 2018).

Debido al gran potencial de las zeolitas para atrapar cationes; este trabajo pretendió investigar el potencial de zeolitas comerciales como intercambiadoras de ion amonio en un sistema real como lo es un compostaje de gallinaza, que tiene pérdida de este catión por evaporación y lixiviación lo que origina contaminación por malos olores en el sector agroindustrial.

## **1.2. Materiales y métodos**

El material zeolítico se adquirió de cuatro empresas ubicadas en Colombia y a cada una de ellas se les asignó los siguientes códigos: A, B, C, y D. La composición y los parámetros físico-químicos del material zeolítico según las empresas donde se compraron se dan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Composición del material zeolítico y parámetros evaluados según las empresas donde se compró el material.

Elemento	Resultados (%)	Parámetro evaluado	Concentración
Potasio total K <sub>2</sub> O	0,13 – 1,5	pH	7,5%
Calcio total CaO	3,15 – 5,78	Humedad	4,7 – 4,9%
Magnesio total MgO	1,73	Retención de humedad	32,8 – 44,0%
Hierro total Fe	3,50	Capacidad de intercambio catiónico	52,0 – 120 me/100g
Aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,6 – 12	Clinoptilolita	43,0 – 69,0%
Sodio total Na	0,6 – 2,4		
Silicio total SiO <sub>2</sub>	53,0 – 68,6		

**Fuente:** elaboración propia (2019).

El material zeolítico se pasó por un molino de bolas durante 3.5 horas para reducir su tamaño; después se pasó por una serie de tamices donde se escogieron dos tamaños, el primero consistió en las partículas entre 125 y 150  $\mu\text{m}$  que se empleó para la caracterización del material y un segundo que consistió en las partículas entre 250 y 450  $\mu\text{m}$  que se empleó para los ensayos de campo. Finalmente, el material se purificó mediante una serie de lavados con agua destilada y agua tipo 1, hasta que el agua de los lavados fue translúcida.

Los reactivos usados en la evaluación fueron: cloruro de amonio (Merk Millipore), cloruro de potasio (Merk Millipore), formaldehído al 37% (Merk Millipore), cloruro de calcio (Merk Millipore), cloruro de magnesio (Merk Millipore), ácido bórico (Merk Millipore), hidróxido de sodio saturado (Chemi), reactivo de Neesler de concen-

tración 0.2N (Biopack), ácido sulfúrico concentrado al 98% (Fisher Scientific), fenoltaleína e indicador mixto.

### **1.2.1. Caracterización del material zeolítico.**

#### **Difracción de rayos X (DRX).**

El material zeolítico se analizó por difracción de rayos X. Con el fin de analizar las fases existentes en el material. Los patrones de difracción de rayos X del material zeolítico se obtuvieron con un difractómetro PANalytical X'PertPRO con un tubo de rayos con ánodo de cobre y una rejilla de haz difractado. Los patrones de difracción de rayos X se compararon con aquellos de la base de datos Crystallography Open Database (COD), correspondientes haciendo uso de los software Match 2.0 y Maud.

#### **Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).**

En este trabajo, el análisis de infrarrojo se realizó en la Universidad del Valle, sede Meléndez, utilizando el método de pastillas de KBr.

#### **Análisis termogravimétrico (TGA).**

Los análisis termogravimétricos se hicieron en la Universidad del Valle y se llevaron a cabo entre 20 y 800°C con un flujo de aire seco de 100 mL/min y una velocidad de calentamiento de 10°C/min.

#### **Microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDS).**

La morfología estructural y la composición elemental del material zeolítico se estimaron por medio de un análisis de microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDS).

### **Espectroscopía de absorción atómica (AA).**

La composición elemental del material zeolítico también se estimó por medio de un análisis de espectroscopía de absorción atómica (AA).

### **Capacidad de intercambio catiónico (CIC).**

Se mezclaron 0,5 g del material zeolítico y 25,0 mL de una solución de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1,0 M en un matraz cónico de 150 mL. La suspensión se agitó a temperatura ambiente durante una hora. Posteriormente, el material zeolítico se separó utilizando un papel de filtro cuantitativo y se lavó con 50,0 mL de agua destilada. Luego, el papel filtro y el material zeolítico se lavaron en un matraz de 250 mL con 40,0 mL de solución de  $\text{KCl}$  1,0 M. Después de eso, se añadieron 8,0 mL de formaldehído en el matraz y se mantuvo en reposo durante 5 min. Finalmente, se agregaron 4,0 gotas de indicador fenolftaleína en los matraz antes de la valoración con una solución estándar 0,1 M de  $\text{NaOH}$  y las unidades de CIC se expresaron en  $\text{mEq}/100\text{g}$  (Dong & Lin, 2016).

### **Índice de retención de amonio del material zeolítico (método continuo).**

Se colocaron 40,0 g del material zeolítico en una columna de cromatografía. Se pasó por el material 390 mL de una solución de cloruro de amonio de concentración 1,5 g/L. Se recogieron muestras de volúmenes constantes de 30,0 mL de solución y se analizó la concentración del ion amonio adsorbido en un espectrofotómetro UV 2005 de marca BIOTECH a una longitud de onda de 425 nm, mediante un método colorimétrico empleando 20  $\mu\text{L}$  de reactivo de Neesler y 750  $\mu\text{L}$  de la solución de cloruro de amonio recogida de la columna (Tovar, 2009).

### **Índice de retención de amonio del material zeolítico (método discontinuo).**

Se colocaron 5,0 g del material zeolítico en contacto con 25,0 mL de una solución de cloruro de amonio de concentración 1,5 g/L en un vaso de precipitados de 50,0 mL durante 24 h sin agitación. Posteriormente se analizó la concentración del ion amonio adsorbido mediante reacción con el reactivo de Nessler, en breve, 750  $\mu$ L de la solución en contacto con el material zeolítico se tomaron y se mezclaron con 20  $\mu$ L del reactivo de Nessler y luego se midió en un espectrofotómetro UV 2005 de marca Biotech la absorbancia a una longitud de onda de 425 nm (Dong & Lin, 2016).

### **Índice de retención de metales (Ca+2, Mg+2 y K+) del material zeolítico (método continuo).**

Se colocaron 30,0 g del material zeolítico en una columna de cromatografía. Se pasaron por cada zeolita y por separado, 300 mL de una solución de cloruro de calcio, magnesio y potasio de concentración 1,5 g/L. Se recogieron muestras de volúmenes constantes de 30,0 mL de solución y se analizó la concentración de los iones adsorbidos en un medidor de conductividad S230 SevenCompact™ de marca Mettler Toledo™; donde se relacionó la conductividad con la concentración de los iones adsorbidos de forma lineal. Las unidades de conductividad se expresaron en ms/cm (Tovar, 2009).

### **Evaluación de la capacidad de captación de amonio en sustrato orgánico.**

El proceso de captura del ion amonio se realizó en un sistema cerrado, el cual consistió en colocar 25,0 g de gallinaza cruda mezclada con diferentes concentraciones del material zeolítico (0, 10, 15 y 20 g) en botellas de 500 mL; donde la cantidad de ion amonio desprendido se

capturó en 25,0 mL de una solución de ácido bórico al 4% que estaba contenido en otras botellas de 500 mL unidas al sistema cerrado por medio de una manguera. Cada sistema se almacenó durante 20 días a temperatura ambiente y en un lugar oscuro. Finalmente cumplidos los 20 días de almacenamiento, se evaluó el ion capturado en la solución de ácido bórico colocando 3 gotas de indicador mixto y se valoró con una solución de ácido sulfúrico 0,1 M hasta un cambio de color de verde a rosa. Las unidades de ion capturado se expresaron en mg de amonio retenido / g de zeolita adicionada (Guadalupe Valerio Luna et al., 2015).

### **1.2.2. Análisis estadístico**

En el diseño experimental de la captación de ion amonio, se evaluaron cuatro cantidades diferentes de zeolitas A, B, C y D en un solo tipo de residuo orgánico (gallinaza) teniendo un total de 13 tratamientos (tabla 2), donde se evaluaron las tasas de emisión del ion amonio.

Los resultados obtenidos de las titulaciones de los tratamientos fueron sometidos a una prueba estadística de varianza y a una prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) mediante el programa Prism ver 7.0

**Tabla 2.** Tratamientos usados en la evaluación de emisión del ion amonio en el compost de gallinaza.

<b>Zeolita</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de material zeolítico(g)</b>	<b>Cantidad de material orgánico(g)</b>
A	T1	10	25
	T2	15	25
	T3	20	25
B	T1	10	25
	T2	15	25
	T3	20	25
C	T1	10	25
	T2	15	25
	T3	20	25
D	T1	10	25
	T2	15	25
	T3	20	25
	Control	0	25

**Fuente:** elaboración propia (2019).

## **1.3. Resultados y discusión**

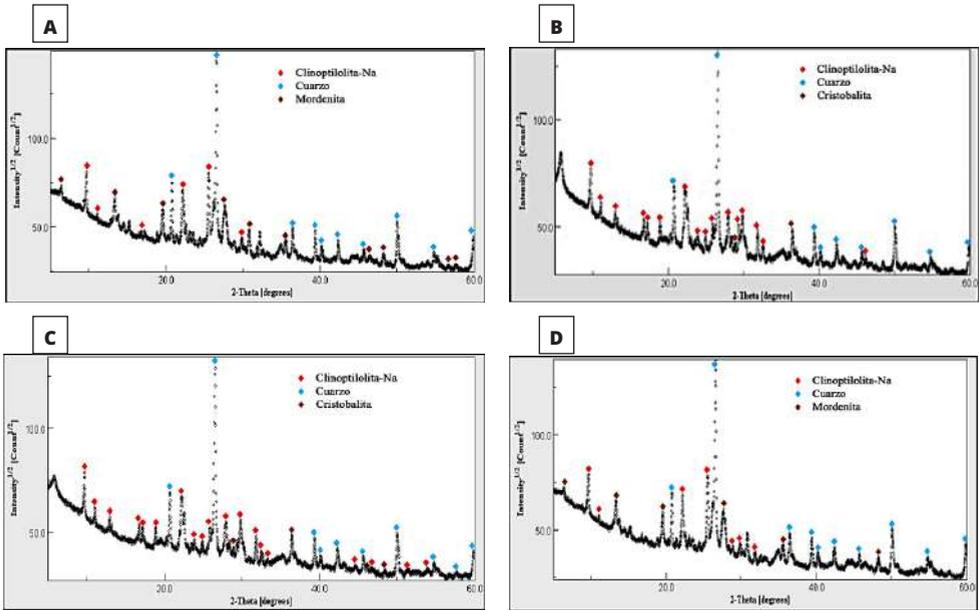
### **1.3.1. Caracterización del material zeolítico.**

#### **Difracción de rayos X (DRX).**

La técnica de difracción de rayos X permite identificar y diferenciar las zeolitas mediante su patrón de difracción característico, además de permitir determinar en el material zeolítico sus fases zeolíticas y no zeolíticas (I. M.S. Souza et al., 2018).

En la figura 1 se presentan los patrones de difracción de rayos X de las cuatro zeolitas estudiadas. Los patrones fueron comparados con los archivos Cif específicos para cada mineral esperado en la composición de las zeolitas (tabla 3); donde a su vez, estos fueron descargados de la base de datos Crystallography Open Database (COD); base de datos de estructuras cristalinas de libre acceso para sus usuarios. Después de analizar los resultados en los software Match 2.0 y Maud se encontró que las zeolitas A, B, C y D presentan clinoptilolita-Na en porcentajes de 26,5%, 36,5%, 36,3% y 30,1% respectivamente. Resultados que no coinciden con los datos de los parámetros evaluados por las empresas donde se hizo la compra del material zeolítico. Por otro lado, cabe resaltar que los picos señalados para clinoptilolita-Na concuerdan con lo reportado en la literatura para zeolitas clinoptilolita de otras fuentes naturales (Luna de J et al., 2015). Dicho lo anterior, se observa que las cuatro zeolitas presentan clinoptilolita-Na lo que es positivo para el estudio, debido a que esta es una de las zeolitas con mayor utilidad a nivel industrial, sin embargo, también se encontró que las zeolitas A y D presentan dos tectosilicatos (clinoptilolita-Na y mordenita), mientras que B y C solo uno (clinoptilolita-Na), lo que puede influenciar en la capacidad de intercambio catiónico de las zeolitas, que es el que les permite adsorber y desorber diversos tipos de iones y moléculas como el agua; molécula que liberará el material zeolítico cuando sea necesario (Rodríguez Álvarez, 2012).

Figura 1. Difractogramas (DRX) de las muestras de zeolitas estudiadas.



Fuente: elaboración propia (2019).

Dicho lo anterior, en las zeolitas A y D, similares en la composición, se encontró la presencia de cuarzo y mordenita (Tabla 3), la mordenita es un tectosilicato al igual que la clinoptilolita, de gran utilidad en la agricultura, debido a las reacciones que llevan a cabo con el amonio presente en un medio acuoso, logrando la retención del amonio en su estructura interna y externa, convirtiéndolas así en fertilizantes nitrogenados de lenta liberación (Gonzalez, 2007).

Por otra parte, en las zeolitas B y C, similares en la composición se identificaron cuarzo y cristobalita (tabla 3). La cristobalita es un mineral característico de la serie polifórmica del cuarzo, es utilizada a nivel industrial; sus arenas son utilizadas para la fabricación de vidrios, cerámicas, refractarios, pigmentos, etc. Además, los cristales

sintéticos de esta se utilizan en la relojería, filtros de frecuencias y osciladores (Santiago de Cuba et al., 2010).

**Tabla 3.** Identificación y cuantificación de minerales en las zeolitas A, B, C y D.

Zeolita	Composición (%)						
	Clinoptilolita	Cuarzo			Cristobalita		Mordenita
	9009579*	1011159*	9009666*	9012600*	9001579*	9001580*	9005242*
A	26,5	59,0	-	-	-	-	14,6
B	36,5	-	55,5	-	8,0	-	-
C	36,3	-	-	58,2	-	5,5	-
D	30,1	-	-	55,8	-	-	14,1

\* Cif de referencia: Difractograma teórico de un mineral específico.

**Fuente:** elaboración propia (2019).

### **Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).**

Como muchos estudios mencionan la técnica FTIR puede ser una herramienta útil para obtener información importante sobre la estructura, la sustitución catiónica ( $\text{Si}^{+4}$  por  $\text{Al}^{+3}$ ); e incluso el tamaño del canal en los sitios tetraédricos de zeolitas minerales (Breck, 1973; Delmás et al., 2009).

En el rango espectral de  $1500$  a  $200 \text{ cm}^{-1}$ , se puede obtener información sobre las frecuencias de vibración en las zeolitas (Ramírez et al., 2014). En la figura 2 se presentan los espectros de FTIR de las muestras zeolíticas y en la tabla 4 las señales correspondientes a la estructura de cada una de ellas. De acuerdo con los espectros y las bandas encontradas en las regiones entre  $1250$  y  $950 \text{ cm}^{-1}$  se observan vibraciones internas debido al estiramiento asimétrico del Si-O correspondiente del  $\text{SiO}_4$  donde su posición depende de la relación Al/Si; y de  $720$  a  $650 \text{ cm}^{-1}$  co-

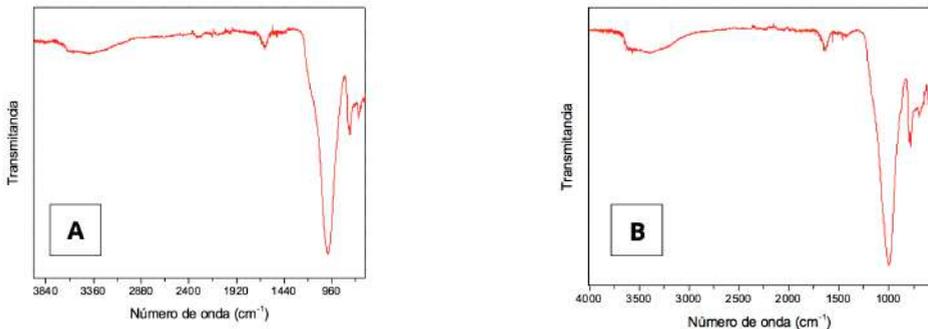
rresponden a las vibraciones internas debido al estiramiento simétrico Si-O-Si, región en la cual también pueden aparecer vibraciones debidas a Si-O y Si-O-Al (Borrero & Silva H, 2005; Lesnicenoks et al., 2014) the known crystal structure and easy ion exchange allows considering zeolites as easily tuneable media that with a little effort can be changed to suitable porous media for hydrogen sorption. Metal (Li, Mg. Por otro lado, se aprecia estiramiento de enlaces OH y vibración Si-O-Si en las regiones de 1520 a 1630  $\text{cm}^{-1}$ ; además de observarse estiramiento y flexión de enlaces O-Si-O en las regiones de 577 a 779  $\text{cm}^{-1}$ .

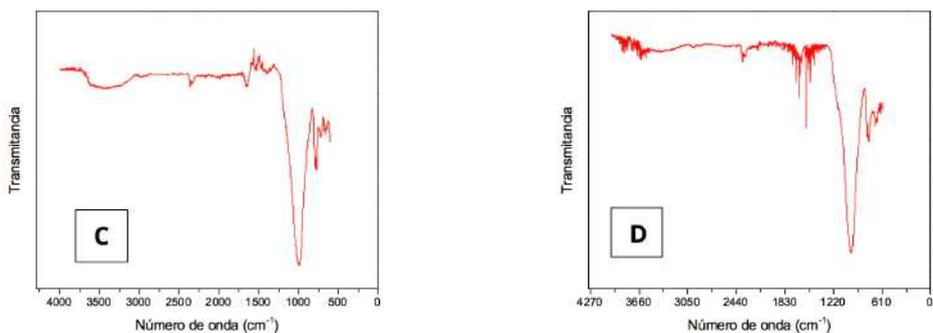
**Tabla 4.** Frecuencias y bandas vibracionales correspondientes al espectro infrarrojo de materiales zeolíticos.

Número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Tipo de vibración
470-779	Estiramiento y flexión de enlaces O-Si-O
580-650	Torsión a los enlaces Al-O-Si
1040	Estiramiento asimétrico del Si-O
1220-1350	Estiramiento Si-O
1460-1520	Vibración Si-O-Si
1740-1850	Deformación de enlaces O-H
3500-1630	Tensión y flexión de enlaces O-H

**Fuente:** elaboración propia (2019).

**Figura 2.** Espectro de FT-IR de las zeolitas A, B, C y D.

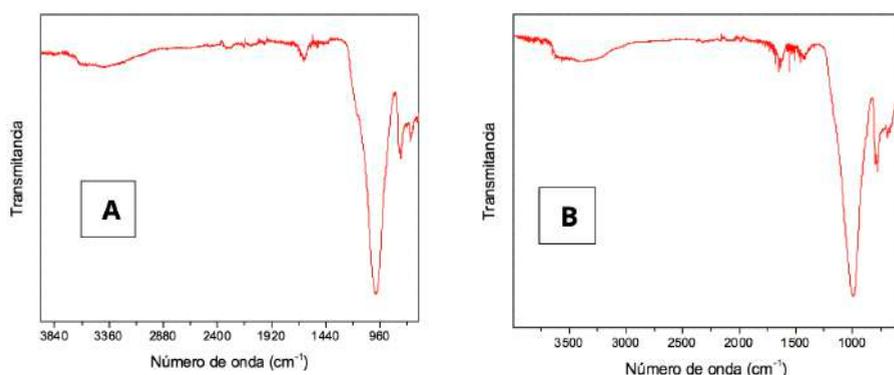


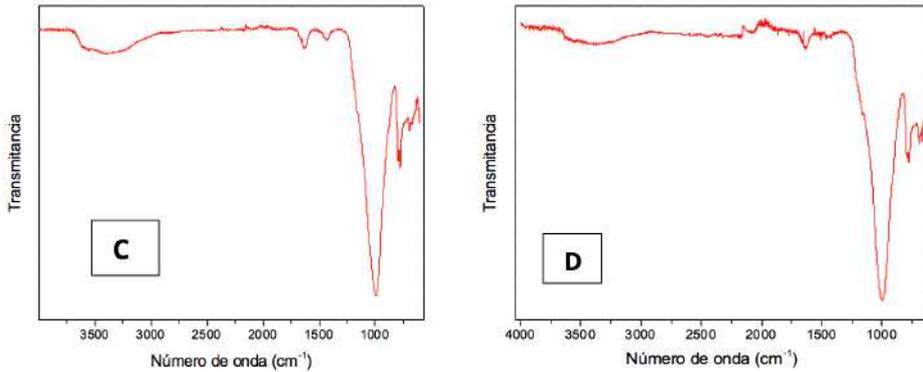


**Fuente:** elaboración propia (2019).

Posteriormente, en la figura 3 se muestran los espectros del material zeolítico cargado con  $\text{NH}_4^+$ , en los que se observan las frecuencias vibracionales de los grupos funcionales presentes antes y después de la impregnación de este. Cabe destacar que en ambos experimentos no hay diferencias significativas, excepto por las vibraciones que se encuentran con un pico débil entre 3300 y 3500  $\text{cm}^{-1}$  y 1650 y 1580  $\text{cm}^{-1}$ , que probablemente se deban a la absorción de tensión del enlace N-H.

**Figura 3.** Espectro de FT-IR de las zeolitas A, B, C y D cargadas con  $\text{NH}_4^+$ .



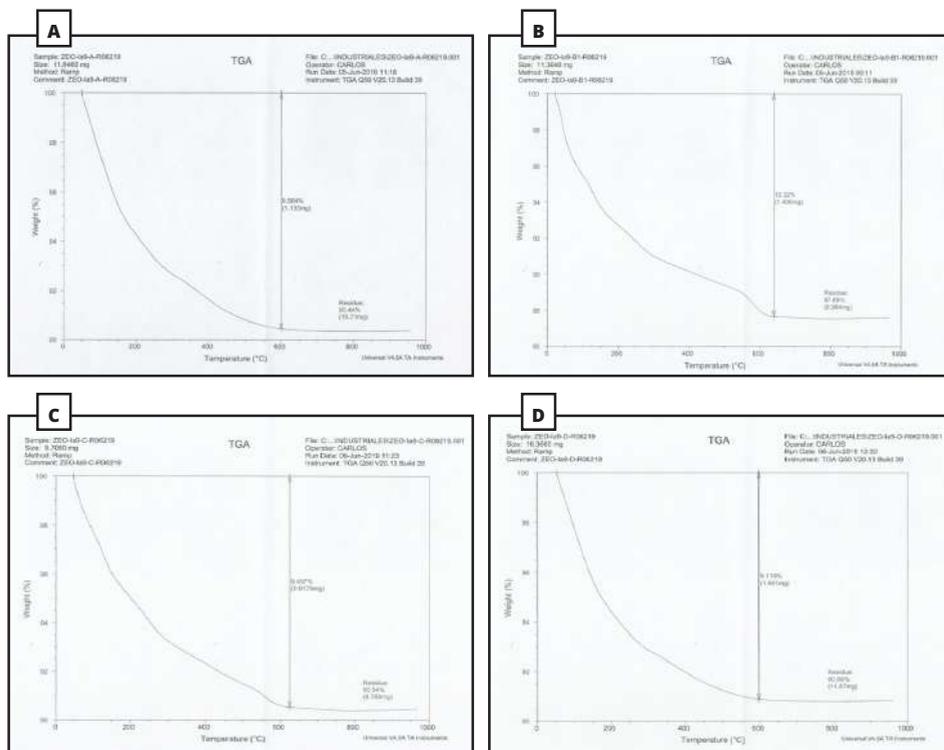


**Fuente:** elaboración propia (2019).

De acuerdo con los DRX, en las muestras hay presencia de clinoptilolita. Las bandas de IR entre 793 y 460  $\text{cm}^{-1}$  son asignadas a la flexión interna tetraédrica T-O y el enlace simétrico tetraédrico externo que se extiende en las zeolitas de tipo clinoptilolita (Lesnicenoks et al., 2014).

### **Análisis termogravimétrico (TGA).**

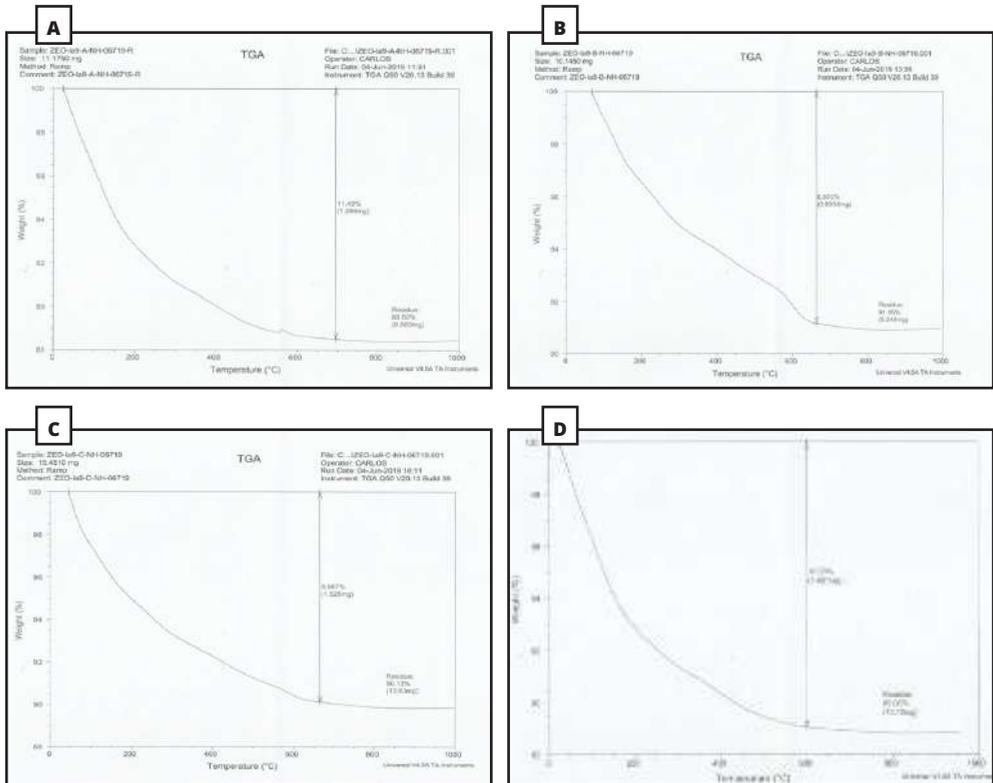
La clinoptilolita es muy estable hasta los 700°C de acuerdo con su contenido catiónico (Enrique & Carballo, 2004). A partir de los termogramas que se muestran en las figuras 4 y 5, es evidente que la pérdida de humedad del material zeolítico comenzó entre 30 y 70°C y continuó hasta aproximadamente 650°C. La comparación del porcentaje de pérdida de peso del material zeolítico sin cargar con  $\text{NH}_4^+$  con el material zeolítico cargado con  $\text{NH}_4^+$  no reveló una diferencia significativa, porque la pérdida de peso porcentual promedio observado de humedad de ambos experimentos fue del 10,196%.

**Figura 4.** Termogramas de las zeolitas comerciales A, B, C y D.

**Fuente:** elaboración propia (2019).

Esta notable pérdida de peso en el rango de temperatura entre 30 y 650°C para el material zeolítico podría estar asociada con la pérdida de agua libre y absorbida físicamente dentro de los poros de la zeolita. Se cree que la pérdida de peso que ocurre por encima de 200°C está asociada con la pérdida de agua de complejos de hidratación formados con cationes intercambiables (- Luna de J et al., 2015; Musyoka et al., 2015; Usachev et al., 2003). Por otro lado, la pérdida de masa insignificante por encima de 400°C podría deberse a la deshidroxilación, la cual se produce, al destruirse, los enlaces hidroxilo que son formados cuando los cationes intercambiables polarizan las moléculas de agua, lo que lleva a la expulsión de más agua de las cavidades de la zeolita.

Figura 5. Termogramas de las zeolitas comerciales A, B, C y D cargadas con NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.



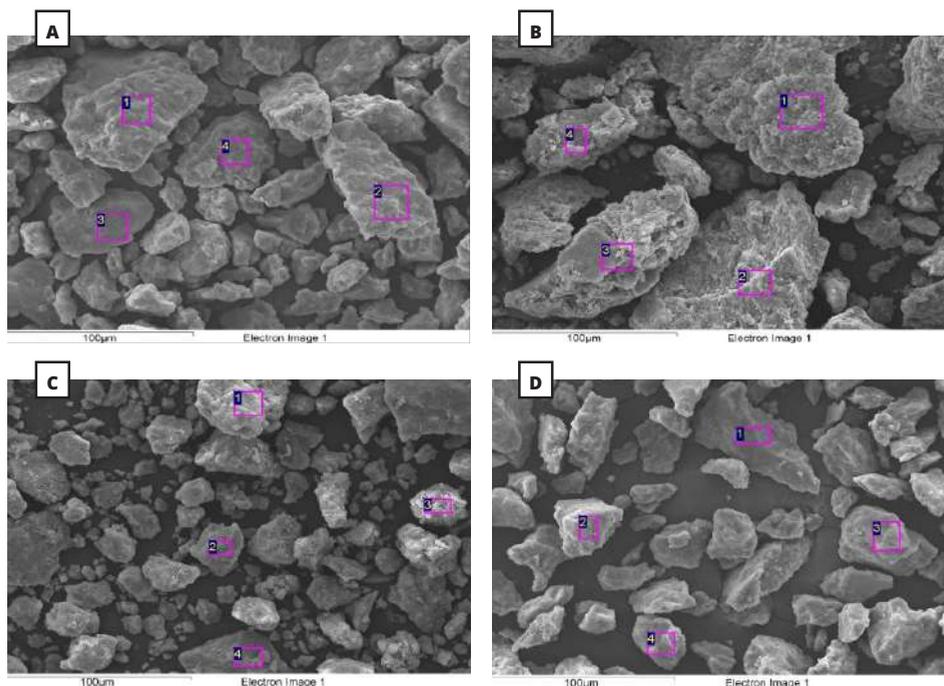
Fuente: elaboración propia (2019).

Estudios dicen que el contenido de agua zeolítica depende de la naturaleza y el tamaño del catión intercambiable y del número de iones Al en la estructura zeolítica; además que la relación Si/Al tiene un efecto sobre la estabilidad térmica de las zeolitas, donde esta es a menudo directamente proporcional a la relación Si/Al (- Luna de J et al., 2015; Musyoka et al., 2015; Usachev et al., 2003). Esta proporcionalidad directa se atribuye a la variación de la constante de red, que está relacionada con las longitudes de enlace Al-O (1,728 Å) y Si-O (1.608 Å) (Breck, 1973).

## Microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDS).

El análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) se realizó con el fin de examinar las propiedades de textura de las zeolitas. En la figura 6 se muestran las micrografías del material zeolítico, donde se puede observar algunas partículas del material en forma de láminas aglomeradas de diferentes dimensiones. Las diferencias en el tamaño de las zeolitas, probablemente se deba a la forma en que se procesó la muestra debido a las condiciones de molienda donde pueden resultar pequeñas diferencias. Hay que tener en cuenta que las micrografías se originan en un área diferente de la muestra, para garantizar la homogeneidad de la misma; por ello, se observan los números 1, 2, 3 y 4.

**Figura 6.** Imágenes de microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDS) de las zeolitas A, B, C y D.



**Fuente:** elaboración propia (2019).

Las zeolitas también fueron analizadas con detector de energía dispersiva (SEM-EDS), donde se obtuvo un conteo semi-cuantitativo y con ello un aproximado del contenido iónico presente en el material, lo que nos permitió corroborar y comprobar los datos obtenidos por DRX; además de realizar con ellos una relación silicio-aluminio (Si/Al), relación que está directamente relacionada con la capacidad de intercambio catiónico del material zeolítico. En la tabla 5 se muestra la cantidad porcentual de los iones obtenidos en el microanálisis de cada zeolita.

**Tabla 5.** Composición elemental de las zeolitas A, B, C y D mediante análisis de microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva.

Composición elemental (%)											
Zeolita	Si	O	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	C	Br	Si/ Al
A	40,90	48,49	-	1,17	3,50	-	6,82	-	-	-	5,99
B	31,56	52,55	5,16	-	2,32	1,42	5,36	4,50	9,89	-	5,89
C	33,04	49,67	2,38	-	2,93	1,97	6,73	8,72	-	-	4,91
D	37,59	49,49	2,01	1,84	3,31	-	7,53	4,22	-	12,37	4,99

**Fuente:** elaboración propia (2019).

Por otro lado, en la tabla 5, se muestran los valores de los cationes de compensación, tales como Na, K, Ca y Mg que están presentes en las muestras; además de mostrarse los valores de otros cationes como Fe, C y Br, cationes presentes en la composición de zeolitas en otros estudios (Herrera, M.C, 2006); donde posiblemente se deba a la composición de las cenizas volcánicas involucradas en el origen del material. Comparando estos valores con los datos de DRX, se observa que los datos de SEM-EDS de la zeolita A no coinciden con los datos de DRX ya que el catión Na no aparece en la composición del material, sin em-

bargo, si están presentes K y Ca; esto se debe a que el software que se utilizó escoge las posibles fases presentes en el material y con esas son las que se trabajó y se hizo la comparación de los cif teóricos con los difractogramas experimentales; además hay que tener en cuenta que existen 3 especies de clinoptilolita, que son, clinoptilolita-Na, clinoptilolita-K y clinoptilolita-Ca; posiblemente el software hace una comparación de toda la estructura de la clinoptilolita, sin tener en cuenta el Na.

### **Espectroscopía de absorción atómica (AA).**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de absorción atómica, los cuales fueron utilizados para corroborar los resultados obtenidos por SEM-EDS.

**Tabla 6.** Composición elemental realizada por análisis de espectroscopia de absorción atómica de llama de las zeolitas A, B, C y D.

Composición elemental					
Zeolita	Si (mg kg <sup>-1</sup> )	Al (% m/m)	Ca (% m/m)	Mg (% m/m)	Relación Si/Al
A	79,70 ± 0,2	0,140 ± 0,001	1,55 ± 0,02	0,25 ± 0,001	0,057 ± 0,000432
B	105,9 ± 0,1	0,130 ± 0,001	2,41 ± 0,04	4,27 ± 0,10	0,081 ± 0,000628
C	105,3 ± 0,3	0,140 ± 0,001	1,90 ± 0,03	4,27 ± 0,10	0,075 ± 0,000577
D	132,3 ± 0,8	0,150 ± 0,002	1,52 ± 0,04	4,27 ± 0,10	0,088 ± 0,001175

**Fuente:** elaboración propia (2019).

La capacidad de intercambio catiónico de las zeolitas depende fundamentalmente de su contenido en cationes de compensación, que está relacionado directamente con la composición química de la zeolita y en particular con la relación Si/Al (Enrique & Carballo, 2004).

En teoría, se obtiene una capacidad máxima de intercambio para zeolitas cuanto más baja sea la relación Si/Al, pero la posición de los cationes en las cavidades y canales también influye, así como la carga y tamaño de los mismos. De hecho, un aumento en la relación Si/Al disminuye la capacidad de absorción total, pero además aumenta el carácter hidrófobo del sólido, favoreciendo por tanto la absorción de moléculas cada vez menos polares a medida que disminuye la proporción de aluminio, obteniendo una selectividad máxima de absorción de moléculas no polares en estructuras puramente silíceas (Enrique & Carballo, 2004).

De acuerdo, a lo mencionado anteriormente y a los resultados obtenidos tanto en el análisis de SEM-EDS, en el de absorción atómica y en los datos de la composición del material zeolítico proporcionados por las empresas (tabla 1) se puede observar que estos no coinciden en su totalidad; sin embargo se observa que la relación Si/Al del análisis SEM-EDS se encuentra dentro del intervalo (3,49 - 8,40) de zeolitas clinoptilolita de otros estudios (M. A. Hernández et al., 2010); además de observarse que la relación Si/Al es relativamente baja, lo que nos indica que el material presenta bastante intercambio iónico debido a que hay una menor cantidad de átomos de aluminio y por ende, se encontrará en él un mayor número de cationes intercambiables.

### **Capacidad de intercambio catiónico (CIC).**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) estima los sitios de carga de las zeolitas, tanto las cargas permanentes, como las cargas dependientes de pH. Estos sitios de intercambio retienen por fuerzas electrostáticas a los cationes. La CIC es un indicador indirecto de la capa-

cidad amortiguadora de los suelos y que es función de la cantidad y tipo de zeolita (Pérez Rosales et al., 2017).

En la tabla 7 se recopilan los resultados experimentales del intercambio catiónico del material zeolítico. Para hallar la capacidad de intercambio catiónico de las zeolitas se hizo necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{ce} = CV / M \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde C es la concentración de la solución de NaOH (mol/L); V, es el volumen consumido de la solución de NaOH (mL); y M, la masa del material zeolítico (g).

**Tabla 7.** Capacidades de intercambio catiónico.

Zeolita	Capacidad de intercambio catiónico (CIC) mEq/100g
A	5,33 ± 0,10
B	5,27 ± 0,20
C	4,63 ± 0,20
D	5,03 ± 0,20

**Fuente:** elaboración propia (2019).

Los cationes tales como, K, Ca y Mg, pueden separarse del esqueleto cristalino de la zeolita, a través del efecto del intercambio catiónico sin afectar su estructura. El CIC es uno de los indicadores importantes de la capacidad de adsorción de las zeolitas y es el responsable de reflejar la máxima capacidad de adsorción del material (Yener et al., 2012).

Los resultados muestran una relación directamente proporcional entre el CIC y la relación Si/Al; donde a mayor relación Si/Al, mayor es el

CIC; datos que no coinciden con la teoría la cual dice que a una menor relación Si/Al, mayor será el CIC; y además no se encuentran dentro de los intervalos de CIC de zeolitas (2-3 mEq/100g) (Costafreda Mustel-lier, 2014) y dentro del intervalo reportado por las empresas donde se compró el material zeolítico (tabla 1). Estos resultados probablemente se deben a la existencia de otros cationes intercambiables o a que parte del aluminio puede encontrarse como catión intercambiable en vez de constituir la red zeolítica o también a que los cationes son muy grandes para pasar por los canales y no se intercambian (María & Blanes, 2015).

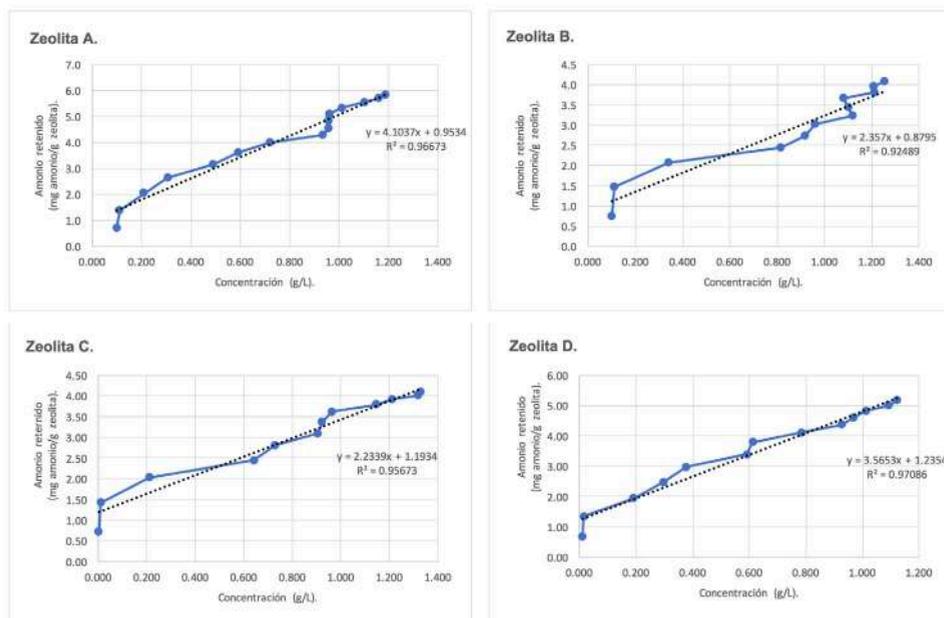
### **Índice de retención de amonio del material zeolítico (método continuo).**

El modelo experimental al que el índice de retención del ion amonio corresponde, es a un modelo lineal y se muestra en la figura 8. Por otro lado, para determinar la capacidad de adsorción ( $q$ ) del material se hizo necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$q = \frac{V(C_i - C_e)}{m} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde  $C_i$  es la concentración inicial de cloruro de amonio ( $\text{mgL}^{-1}$ ),  $C_e$  es la concentración de cloruro de amonio en el equilibrio ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $V$  es el volumen de solución expresado en litros,  $m$  es la masa de adsorbente expresada en gramos y  $q$  es la capacidad de adsorción ( $\text{mg g}^{-1}$ ). De acuerdo con los datos obtenidos los resultados indican que la capacidad de absorción de ion amonio de las zeolitas A, B, C y D es  $3,88 \pm 0,001$ ;  $2,40 \pm 0,020$ ;  $1,67 \pm 0,020$ ;  $3,62 \pm 0,005$  mg amonio por g de zeolita, respectivamente. Lo que indica que las zeolitas A y D tienen una mejor capacidad de adsorción de amonio; posiblemente esto se deba a que contienen dos tectosilicatos en lugar de uno.

**Figura 7.** Índice de retención de  $\text{NH}_4^+$  de las zeolitas comerciales A, B, C y D.



**Fuente:** elaboración propia (2019).

### Índice de retención de amonio del material zeolítico (método discontinuo).

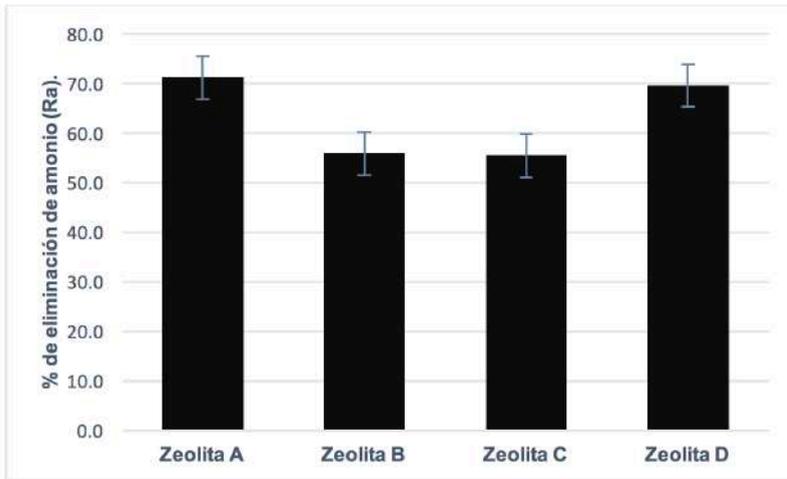
Para hallar las tasas de adsorción de amonio de las zeolitas se hizo necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$Ra = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \quad \text{Ecuación 5.}$$

Las tasas de adsorción del ion amonio de las diferentes zeolitas se muestra en la figura 8. Los resultados muestran que después de la adsorción de las zeolitas A, B, C y D, los contenidos residuales de ion amonio son  $0,432 \text{ g/L} \pm 0,001$ ;  $0,662 \text{ g/L} \pm 0,020$ ;  $0,669 \text{ g/L} \pm 0,005$  y  $0,456 \text{ g/L} \pm 0,020$  y las tasas de eliminación de amonio son  $71,18\% \pm 0,001$ ;  $55,84\% \pm 0,020$ ;  $55,41\% \pm 0,005$  y  $69,62\% \pm 0,020$ , respectivamente.

te. La observación indica que la capacidad de absorción de las zeolitas A y D es mejor; por ende, tienen una mejor eficiencia de eliminación de nitrógeno amoniacal. En estudios previos se han reportado valores muy parecidos con zeolitas naturales y modificadas por microondas y acetato de sodio (Dong & Lin, 2016).

**Figura 8.** Tasa de adsorción de amonio.



**Fuente:** elaboración propia (2019).

Comparando los resultados obtenidos con los del método discontinuo se observa que la capacidad de adsorción del material zeolítico implementando el método discontinuo es mejor (tabla 8), a pesar de la cantidad de material zeolítico utilizado; posiblemente esto se debe a que el flujo utilizado en columnas no proporciona el tiempo de contacto necesario para que los iones se distribuyan a través de toda el área superficial del adsorbente. Es por esto, que los procesos tipo batch proporcionan una mejor interacción entre los iones y el adsorbente que los sistemas en columna y por esta razón existe una disminución significativa de las capacidades de adsorción en las columnas (Manrique Losada et al., 2015).

**Tabla 8.** Capacidad de absorción de las zeolitas A, B, C y D según el método de trabajo.

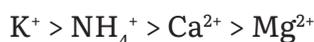
Zeolita	Capacidad de absorción (mg amonio/g zeolita)	
	Método continuo	Método discontinuo
A	3,88 ± 0,001	5,34 ± 0,003
B	2,40 ± 0,020	4,19 ± 0,006
C	1,67 ± 0,005	4,16 ± 0,001
D	3,62 ± 0,020	5,24 ± 0,004

**Fuente:** elaboración propia (2019).

### Índice de retención de metales (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> y K<sup>+</sup>) del material zeolítico (método continuo).

La cantidad de retención de los metales Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> y K<sup>+</sup> en el material zeolítico bajo una concentración de 1,5 g/L inicial de cada uno de ellos se muestra en la tabla 9.

Cabe aclarar que las curvas de los iones metálicos se construyen con el fin de observar que tanta interferencia pueden presentar estos cationes en el medio donde se evalúa el índice de retención del ion de interés; el ion amonio, ya que, de acuerdo con la literatura, la afinidad catiónica de la zeolita clinoptilolita varía de acuerdo a las condiciones de operación o muestra (Vocciante et al., 2018) de la siguiente forma:



Según lo observado en los resultados obtenidos esa tendencia no se cumple en el estudio; esto posiblemente se deba a que el flujo utilizado en las columnas no fue el mismo y por ello no se proporcionó un tiempo de contacto similar entre los análisis para que los iones interactuaran de forma parecida con el material zeolítico.

**Tabla 9.** Índice de retención de Ca+2, Mg+2 y K+ con respecto al índice de retención del ion NH4+ de las zeolitas A, B, C y D.

Zeolita	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Capacidad de adsorción. (mg ion/ g zeolita)		
		Iones		
		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>
A	3,88 ± 0,001	0,20 ± 0,001	0.10 ± 0,500	0.80 ± 0,010
B	2,40 ± 0,020	0.10 ± 0,001	0.10 ± 0,001	0.71 ± 0,001
C	1,67 ± 0,005	0.10 ± 0,001	0.10 ± 0,010	0.70 ± 0,001
D	3,62 ± 0,020	0.10 ± 0,001	0.10 ± 0,001	0.79 ± 0,010

**Fuente:** elaboración propia (2019).

### **Evaluación de la captación de amonio en sustrato orgánico.**

Para calcular el amoniaco volatilizado se usó la siguiente ecuación:

$$N-NH_3 \text{ (mg)} = V \cdot C \cdot 14 \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde C es la concentración de la solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (mol/L); V, es el volumen consumido de la solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (mL); y 14, el peso molecular del nitrógeno.

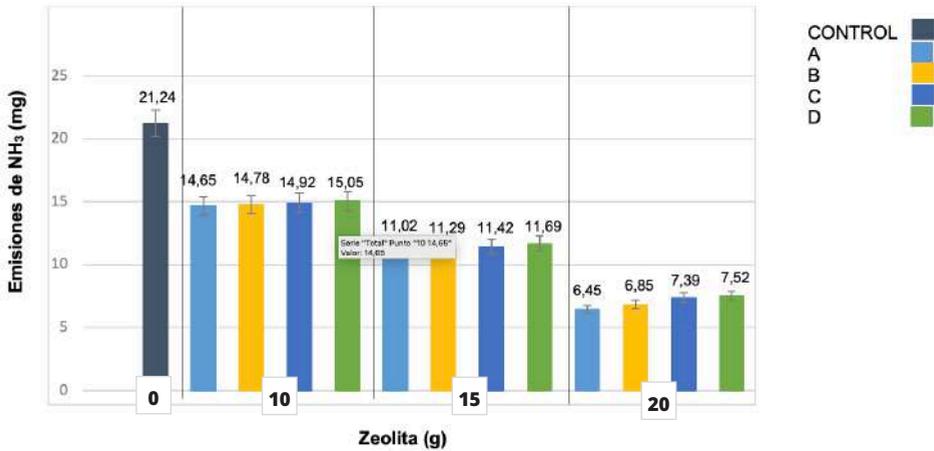
Al evaluar la influencia de la cantidad de zeolita depositada en cada uno de los tratamientos, se observa una disminución de emisiones al tener más cantidad de material zeolítico (figura 9). Este efecto posiblemente se deba a que al haber mayor cantidad de material zeolítico en cada uno de los tratamientos va haber una mayor cantidad de sitios de intercambio catiónico donde estos a su vez van a evitar o disminuir la lixiviación de iones amonio a nitrato por parte de bacterias nitrificantes (Rodríguez Álvarez, 2012). Dicho lo anterior, se nos permite concluir por medio de las pruebas Anova y Tukey que sí existen diferencias significativas en-

tre los diferentes tratamientos; debido a que se observa que el valor de F calculado es mayor que el valor crítico, permitiendo a su vez que haya efectos secundarios respecto a los gramos utilizados en cada uno de los tratamientos; además se comprueba con el nivel de significancia, donde la probabilidad es menor a 0,05 lo que me permite corroborar que el F en realidad es significativo (ver anexos 1 y 2).

Por otro lado, en la figura 9 también se observa que los tratamientos de la zeolita A, a comparación de los tratamientos de la zeolita D, de similar composición, son los que más reducen emisiones del ion amonio hacia la atmosfera (ver anexo 3); y los tratamientos de la zeolita D son los que más permiten que haya emisiones de ion amonio hacia la atmosfera. Estos resultados posiblemente se deban a una mala homogenización del sustrato orgánico o a un aumento de la relación Si/Al de la zeolita D que disminuye su capacidad de adsorción y aumenta su carácter hidrófobo permitiéndole adsorber moléculas menos polares (Enrique & Carballo, 2004).

Por otra parte, el porcentaje promedio de amonio retenido en el tratamiento 2 con respecto al control alcanzó un valor total del 43,1%, lo que indica que aproximadamente un 56,9% de ion amonio se volatiliza en el control, porcentaje que se utilizó para compararlo con el reportado por Guadalupe Valerio Luna et al. (2015), que señala que la pérdida de nitrógeno por volatilización puede ser superior al 40% cuando no se tiene algún tratamiento previo.

**Figura 9.** Volatilización de amonio con diferentes concentraciones de material zeolítico.



**Fuente:** elaboración propia (2019).

Estos resultados nos permiten comprobar la utilidad de las zeolitas en el tratamiento de la contaminación provocada por aves ya que con estas no solo se remueve nitrógeno amoniacal que ocasiona olores fétidos, sino que también retienen la mayor parte de nitrógeno de la materia orgánica, lo que realza su valor fertilizante (Guadalupe Valerio Luna et al., 2015).

## 1.4. Conclusiones

Los resultados demuestran que el tratamiento que presentó mayor disminución de volatilización del ion amonio es el que tiene una mayor cantidad del material zeolítico (20 g), lo que indica que los materiales zeolíticos pueden usarse como alternativa para la mitigación de olores atrapando el ion amonio, gracias a la capacidad de adsorción de este ion que se volatiliza al degradarse la materia orgánica para con ello potenciar el mejoramiento del aire; además de que puedan usarse de manera

eficiente estos desechos como una oportunidad para el mejoramiento de suelos, específicamente con el aporte de nitrógeno.

Las zeolitas A y D estudiadas son las que presentan mejores características para el intercambio del ion de interés, el ion  $\text{NH}_4^+$

La cantidad de  $\text{NH}_4^+$  en la muestra de gallinaza disminuyó significativamente respecto a la concentración del material zeolítico lo que aminora el proceso de nitrificación del mismo.

Los resultados obtenidos alientan al estudio de adsorción de otros compuestos nitrogenados con los materiales zeolíticos, los cuales pueden convertirse en efectivos adsorbentes de bajo costo para tratar residuos de diferentes tipos de contaminantes.

## 1.5. Referencias

- Adams, J. D. W., & Frostick, L. E. (2008). Investigating microbial activities in compost using mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation as an experimental system. *Bioresource Technology*, 99(5), 1097–1102. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.02.019>
- Borrero, C. A., & Silva H, M. R. (2005). Efectos de *Trichoderma* (in vitro) en los microorganismos no patógenos descomponedores de la materia orgánica de un suelo oxisol clase IV del piedemonte llanero. En: *Orinoquia*. 9 (2), 6–14.
- Breck, D. W. (1973). *Zeolite molecular sieves: structure, chemistry, and use*. USA: Wiley.
- Collazos García, H. (2010). La aplicación de Zeolita en la producción avícola: Revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.22490/21456453.904>

- Costafreda Mustelier, J. L. (2014). *Tectosilicatos con características especiales: las zeolitas naturales*. Madrid. Fundación Gómez-Pardo.
- Delmás, D., Muñoz, P., & Lizardo, J. (2009). Síntesis de ZSM-5 para uso catalítico y caracterización por DRX y FTIR. In *rev. Per. Quím. ing. Quím. vol* (Vol. 12, Issue 2).
- Dinámica Industria Avícola Colombiana: Logros y Perspectivas 2019. (2019). <https://avicultura.info/dinamica-industria-avicola-colombiana-logros-y-perspectivas-2019/>
- Dinero. 2019. El pollo y el huevo van ganando la guerra de la proteína. [Online]. Available: <https://www.dinero.com/pais/articulo/aumenta-la-produccion-y-consumo-de-pollo-y-huevo/266218#:~:text=En%20Colombia%2C%20la%20industria%20av%C3%ADcola,una%20producci%C3%B3n%20de%20%2418%20billones.> [Accessed: 15-octubre-2020]
- Dong, Y. bo, & Lin, H. (2016). Ammonia nitrogen removal from aqueous solution using zeolite modified by microwave-sodium acetate. *Journal of Central South University*, 23(6), 1345–1352. <https://doi.org/10.1007/s11771-016-3186-x>
- Doula, M. K., Elaiopoulos, K., Kavvadias, V. A., & Mavraganis, V. (2012). Use of clinoptilolite to improve and protect soil quality from the disposal of olive oil mills wastes. *Journal of Hazardous Materials*, 207, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.014>
- Enrique, F., & Carballo, M. (2004). *Las Zeolitas De La Costa De Ecuador (Guayaquil): Geología, Caracterización y aplicaciones*. España. ESPOL.
- FENAVI. 2018. El sector avícola en Colombia creció 4,5% en 2018 [Online]. Available: <https://fenavi.org/comunicados-de-prensa/el-sector-avicola-crecio-45-en-2018/>. [Accessed: 15-octubre-2020].

- Ferretti, G., Keiblinger, K. M., Zimmermann, M., Di Giuseppe, D., Faccini, B., Colombani, N., Mentler, A., Zechmeister-Boltenstern, S., Coltorti, M., & Mastrocicco, M. (2017). High resolution short-term investigation of soil CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> and NH<sub>3</sub> emissions after different chabazite zeolite amendments. *Applied Soil Ecology*, 119, 138–144. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2017.06.004>
- Florez, C. A. (2019). *Análisis del desempeño puzolánico de las zeolitas naturales pre - tratadas como adición al cemento Portland ordinario* *Análisis del desempeño puzolánico de las zeolitas naturales pre-tratadas como adición al cemento Portland ordinario* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77498/80844163.2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Herrera, M.C. (2006). *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia: Estudio fundamental e implicaciones en Ingeniería*. [Tesis docotrado Ingeniería]. Universidad de los Andes.
- González, F. (2007). *Efecto de la Adición de Zeolita (Clinoptilolita y Mordenita) en un Andosol sobre el Ambiente Químico Edáfico y el Crecimiento de Avena*. Interciencia.
- Guadalupe, D. T. D. (2018). *ESTRATEGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO ECONÓMICO DE RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS POR GRANJAS AVÍCOLAS DEL VALLE DE LA PAZ, B.C.S.* [Tesis para optar por el título de MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA]. Universidad Autónoma de Baja California sur.
- Guadalupe Valerio Luna, S., Quintero Lizaola, R., Adolfo de Jesús Baca Castillo, G., & Griceldo Quispe Limaylla, A. (2015). CAPTACIÓN DE AMONIO EN ZEOLITA AL INCUBAR GALLINAZA Y RESIDUOS DE CODORNIZ *Ammonium Uptake in Zeolite During Incubation of Quail Poultry Manure*.

- Güvenir, Ö. (2005). *Synthesis and characterization of clinoptilolite*. [thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences] Middle East Technical University.
- Hernández, M. A., Rojas, F., & Pérez, G. (2010). Comparación de la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> en clinoptilolitas naturales y tratadas químicamente. *Superficies y Vacío*, 23(S) 67-72.
- Hossein Nia, B., Khorram, S., Rezazadeh, H., Safaiyan, A., & Tarighat-Esfanjani, A. (2016). The Effects of Natural Clinoptilolite and Nano-Sized Clinoptilolite Supplementation on Glucose Levels and Oxidative Stress in Rats with Streptozotocin-Induced Diabetes. *Canadian Journal of Diabetes*, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2017.01.010>
- Kouli, M. E., Banis, G., Tsarabaris, P., Ferraro, A., & Hristoforou, E. (2018). A study on magnetic removal of sodium, calcium and potassium ions from seawater using magnetite/clinoptilolite-Na composite nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 465, 692-699. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.06.064>
- Lesnicenoks, P., Grinberga, L., & Kleperis, J. (2014). Gravimetric and spectroscopic studies of reversible hydrogen sorption on nanoporous clinoptilolite. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 51(3), 35-41. <https://doi.org/10.2478/lpts-2014-0017>
- Leyva Ramos, R., Sánchez Castillo, M. A., Hernández Sánchez, M. V., & Guerrero Coronado, R. M. (2001). Remoción de metales pesados de solución acuosa por medio de clinoptilolitas naturales. In *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (Vol. 17, Issue 3, pp. 129-136).
- Luna de J, M. A., López C, F. N., Mercado A, P. Y., Camacho, P. O., De León, C. G., Rodríguez P, G. S., & - Zamora, G. M. (2015). Caracterización de clinoptilolita natural y modificada con Ca<sup>2+</sup> por

distintos métodos físico - químicos para su posible aplicación en procesos de separación de gases. *Superficies y vacío*, 28(1), 5–11.

Manrique Losada, L., Bonilla, N., Buitrago, R. C., Jesús, •, Otálora Bonilla, H., & Maurin Salamanca, •. (2015). Estudio Preliminar de la Capacidad de Remoción de Iones Inorgánicos de Una Zeolita Sintética Tipo Faujasita. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 114–123. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1300>

María, J., & Blanes, M. (2015). *Obtención de zeolitas utilizando líquidos iónicos como agentes directores de estructura*. [Tesis Doctoral] Universidad de Sevilla.

Musyoka, N. M., Petrik, L. F., Hums, E., Kuhnt, A., & Schwieger, W. (2015). Thermal stability studies of zeolites A and X synthesized from South African coal fly ash. *Research on Chemical Intermediates*, 41(2), 575–582. <https://doi.org/10.1007/s11164-013-1211-3>

MinAgricultura. 2020. El sector agropecuario creció 6,8% e impulsó la economía colombiana en el primer trimestre de 2020. [Online]. Available: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-6,8-e-impuls%C3%B3-la-econom%C3%ADa-colombiana-en-el-primer-trimestre-de-2020-.aspx>. [Accessed: 15-octubre-2020]

Nuñez, A. (2019). *Caracterización de las Tobas de Palmarito de Cauto para la obtención de bloques de hormigón* [Universidad de Moa]. <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3792/GarciaMolina2019.pdf?sequence=1>

Obiri-Nyarko, F., Kwiatkowska-Malina, J., Malina, G., & Wołowiec, K. (2020). Assessment of zeolite and compost-zeolite mixture as permeable reactive materials for the removal of lead from a model

acidic groundwater. *Journal of Contaminant Hydrology*, 229(November 2019), 103597. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.103597>

Pérez Rosales, A., Galvis Spínola, A., Bugarín Montoya, R., Hernández Mendoza, T. M., Vázquez Peña, M. A., & Rodríguez González, A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+n). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 171. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80>

Peters, S., Koschinsky, S., Schwieger, F., & Tebbe, C. C. (2000). Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR-single-strand-conformation polymorphism-based genetic profiles of small- subunit rRNA genes. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(3), 930–936. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.3.930-936.2000>

Prajitno, M. Y., Tangparitkul, S., Zhang, H., Harbottle, D., & Hunter, T. N. (2021). The effect of cationic surfactants on improving natural clinoptilolite for the flotation of cesium. *Journal of Hazardous Materials*, 402(February 2020), 123567. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123567>

Ramírez, J. H., González, D. R., Pérez, L., & Santa, A. (2014). Producción y caracterización de zeolita obtenida a partir de ceniza volante mediante drx production and characterization of zeolite from fly ash by XRD. *MOMENTO, Revista de Física*, No. 48E.

Rodríguez Álvarez, R. (2012). Alternativa de Eficiencia y Ecología. *Grupo de Tecnologías Limpias, GMTERRA LTDA*, 23.

Santiago de Cuba, D., Leyva Mormul, C., Leyva Rodríguez, A. , Carlos, A. , Leyva Ramírez, E.; Reyes, A., & Samuel, R. (2010). Un acercamiento al conocimiento de las características del cuarzo cuba-

no y sus posibles aplicaciones industriales Ciencias Holguín, vol. XVI, núm. 1, enero-marzo, 2010, pp. 1-11

Simantiraki, F., & Gidakos, E. (2015). Comparative assessment of compost and zeolite utilisation for the simultaneous removal of BTEX, Cd and Zn from the aqueous phase: Batch and continuous flow study. *Journal of Environmental Management*, 159, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.043>

Smart, L., Moore, E., Quintana Owen, P., & Castellanos Román, M. A. (1995). *Química del estado sólido : una introducción*. España: Addison-Wesley Iberoamericana.

Soudejani, H. T., Kazemian, H., Inglezakis, V. J., & Zorpas, A. A. (2019). Application of zeolites in organic waste composting: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22(October), 101396. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101396>

Souza, I. M.S., Gurgel, G. C. S., Medeiros, A. M., Zonta, E., Ruiz, J. A. C., Paskocimas, C. A., Motta, F. V., & Bomio, M. R. D. (2018). The use of clinoptilolite as carrier of nitrogened fertilizer with controlled release. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4171–4177. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.017>

Souza, Iane M.S., Sainz-Díaz, C. I., Viseras, C., & Pergher, S. B. C. (2020). Adsorption capacity evaluation of zeolites as carrier of isoniazid. *Microporous and Mesoporous Materials*, 292, 109733. <https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2019.109733>

Tovar, S. O. (2009). *Análisis de las características físico químicas de aguas y suelos de cultivos acuícolas intensivos y superintensivos*. (1. ed.). Colciencias.

- Usachev, N. Y., Belanova, E. P., Krukovsky, I. M., Kanaev, S. A., Atal'yan, O. K., & Kazakov, A. V. (2003). Thermal transformations in systems based on zeolites Y, X, and A containing zinc and sodium nitrates. *Russian Chemical Bulletin*, 52(9), 1940–1949. <https://doi.org/10.1023/B:RUCB.0000009636.89718.56>
- Verstraete, W., & Philips, S. (1998). Nitrification-denitrification processes and technologies in new contexts. *Environmental Pollution*, 102(SUPPL. 1), 717–726. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)80104-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)80104-8)
- Vocciante, M., De Folly D'Auris, A., Finocchi, A., Tagliabue, M., Bellettato, M., Ferrucci, A., Reverberi, A. P., & Ferro, S. (2018). Adsorption of ammonium on clinoptilolite in presence of competing cations: Investigation on groundwater remediation. *Journal of Cleaner Production*, 198, 480–487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.025>
- Williams, C. (2011). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y Agricultura*, 47–52. <http://www.fao.org/docrep/019/i3531s/i3531s.pdf>
- Yener, N., Bier, C., Önal, M., & Sarikaya, Y. (2012). Simultaneous determination of cation exchange capacity and surface area of acid activated bentonite powders by methylene blue sorption. *Applied Surface Science*, 258(7), 2534–2539. <https://doi.org/10.1016/j.apusc.2011.10.088>

## Anexos

**Anexo 1.** Tabla de análisis de varianza entre los tratamientos de las zeolitas A, B, C y D.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	122,04	2	61,02	518,0	5,08x10 <sup>-10</sup>	4,26
Dentro de los grupos	1,06	9	0,118			
Total	123,1	11				

**Fuente:** elaboración propia (2019).

**Anexo 2.** Tabla prueba de Tukey entre los tratamientos de las zeolitas A, B, C y D.

Tratamientos	1	2	3
1		3,50	7,80
2	-3,50		4,30
3	-7,80	-4,30	
HSD*	0,678		

HSD\*: Diferencia honestamente significativa.

**Fuente:** elaboración propia (2019).

**Anexo 3.** Tabla de análisis de varianza entre los tratamiento de las zeolitas A y D.

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<b>Filas</b>	62,11	2	31,06	546,6	0,0018	19,0
<b>Columnas</b>	0,763	1	0,763	13,43	0,0670	18,5
<b>Error</b>	0,113	2	0,056			
<b>Total</b>	62,99	5				

**Fuente:** elaboración propia (2019).



## Capítulo 2

# Análisis de distribución del ruido ambiental y efectos en comunidad trabajadora expuesta en una zona de la comuna 3 de Cali, 2018

*Analysis of the distribution of environmental noise and effects on an exposed working community in an area of the commune 3 of Cali, 2018*

**Iván Darío López**

Institución Universidad Antonio José Camacho  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-9513-7162>

✉ [idariolopez@admon.uniajc.edu.co](mailto:idariolopez@admon.uniajc.edu.co)

**Fabián Felipe Fernández Daza**

Institución Universidad Antonio José Camacho  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-9125-705X>

✉ [fabfernandez@hotmail.com](mailto:fabfernandez@hotmail.com)

**Luis Felipe Granada**

Universidad Libre  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-8050-6866>

✉ [lfgranada70@hotmail.com](mailto:lfgranada70@hotmail.com)

### *Cita este capítulo*

López, I. D.; Fernández Daza, F. F. y Granada, L. F. (2020). Análisis de distribución del ruido ambiental y efectos en comunidad trabajadora expuesta en una zona de la comuna 3 de Cali, 2018. En: González Vargas, I. A. y López Villalobos, I. D. (eds. científicos). *Contaminación del aire: casos de investigación en el Valle del Cauca*. (pp. 57-94). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

# **Análisis de distribución del ruido ambiental y efectos en comunidad trabajadora expuesta en una zona de la comuna 3 de Cali, 2018**

*Analysis of the distribution of environmental noise and effects on an exposed working community in an area of the commune 3 of Cali, 2018*

**Iván Darío López · Fabián Felipe Fernández Daza · Luis Felipe Granada**

## **Resumen**

La contaminación por aumento de niveles de intensidad sonora, es uno de los problemas más comunes en el mundo, asociado a las actividades urbanísticas como la invasión del espacio público de zonas comerciales. Este estudio analizó el ruido ambiental y las consecuencias en la salud de los vendedores ambulantes estacionarios en un área comprendida en las carreras 3<sup>a</sup> y 9<sup>a</sup> entre calles 12 y 15, zona central de la ciudad de Cali. Mediante un diseño metodológico de enfoque cualitativo y cuantitativo de tipo transversal de cuatro fases, utilizando técnicas como la observación y aplicación de encuestas, además de la medición de niveles de intensidad sonora con equipos de sonometría y dosimetría. Se identificaron en mapas de ruido diseñados a través de un sistema de información geoestadístico usando los datos de los puntos de muestreo e interpolación Kriging. Se logró establecer que, en algunos puntos, los rangos de presión sonora se encuentran entre 80 y 84 dBA y las dosimetrías entre 84,9 y 85,3 dB, sobrepasando la normatividad ambiental y ocupacional, por lo que la población expuesta puede presentar consecuencias en su salud como tinnitus, perturbación del sueño y alteraciones cardiovasculares y

disminución de la capacidad auditiva, afectando considerablemente su calidad de vida.

**Palabras clave:** contaminación acústica, trabajadores informales, intensidad sonora.

## **Abstract**

Pollution due to increased levels of sound intensity is one of the most common problems in the world, associated with urban activities such as the invasion of public space in commercial areas. This study analyzed the environmental noise and the consequences on the health of stationary street vendors in an area included in the races 3 and 9 between streets 12 and 15, central area of the city of Cali. Through a methodological design with a qualitative and quantitative approach of a cross-sectional four-phase type, using techniques such as observation and application of surveys, in addition, the measurement of sound intensity levels with sonometry and dosimetry equipment. They were identified in noise maps designed through a geostatistical information system using the data from the Kriging sampling and interpolation points. It was possible to establish that, in some points, the sound pressure ranges are between 80 and 84 dBA and the dosimetries between 84.9 and 85.3 dB, exceeding the environmental and occupational regulations, so that the exposed population can present consequences in their health such as tinnitus, sleep disturbance and cardiovascular disorders and decreased hearing capacity, considerably affecting their quality of life.

**Keywords:** noise pollution, informal workers, sound intensity.

## 2.1 Introducción

El sonido permite a las personas representar sensaciones agradables y poder caracterizar el sitio donde se encuentran. Sin embargo, este no siempre representa sensaciones agradables; cuando esto sucede se habla de ruido, definido como un “sonido desagradable o no deseado”. Este, a su vez, se divide de acuerdo al sitio donde se genera, como ejemplo el ruido ambiental, que se encuentra asociado con un ambiente determinado en un momento específico, compuesto generalmente por el sonido de muchas fuentes en diversas direcciones. Puede tener efectos negativos en la salud de las personas expuestas si supera los límites permisibles previamente expuestos en la problemática (Harris, 1995).

Existen factores físicos para la caracterización del sonido como la presión sonora que es la variación de la presión atmosférica en un punto como consecuencia de la propagación de la onda a través del aire; su unidad de medida es el micropascal y la intensidad sonora es la magnitud de la cantidad de energía que está fluyendo por el medio, como consecuencia de la propagación de la onda.

Según Harris (1995), el oído humano tiene la capacidad de escuchar sonidos a partir de una intensidad de  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>. Dado que en el rango de intensidades que el oído humano puede detectar sin dolor, existen altas diferencias en el número de cifras empleadas en una escala lineal, por lo tanto, se usa una escala logarítmica. Dicha escala logarítmica se emplea como nivel de referencia para el umbral de audición. La unidad más empleada en la escala logarítmica es el decibelio.

Los niveles de intensidad sonora son el parámetro clave para la realización del análisis de ruido ambiental de acuerdo a los límites permisibles que establece la normatividad ambiental colombiana según la Resolución 0627 de 2006 del Ministerio del Medio Ambiente y los

límites permisibles en espacios laborales establecidos por la Resolución 1792 de 1990 del Ministerio de Salud.

Sin embargo, el fenómeno del ruido ambiental es un problema en aumento, debido al crecimiento de las ciudades, afectando a la comunidad y población trabajadora.

En China el 71.4% de las ciudades con más de un millón de habitantes están expuestas a niveles de ruido por encima de 70 dBA, superando el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para áreas industriales, comerciales y de tráfico. Además, el 67% de las zonas residenciales se encuentra en sitios que registran ruidos por encima de los estándares permitidos (55 dBA para exterior de viviendas y 35 dBA al interior), siendo el 61% proveniente de fuentes vehiculares. En España, un 22% de la población se expone a niveles sonoros que sobrepasan los 65 dB diarios siendo el país más ruidoso del mundo, por detrás de Japón (Ramírez & Domínguez, 2011).

En Suramérica, realizaron una caracterización acústica de avenidas principales en Tucumán, Argentina, donde se evidenció que los niveles de ruido superaban lo recomendado por la Ley de Calidad Acústica (Paterlini & Garzón, 2017). Por otra parte, en Lima - Perú se realizó un estudio, donde encuestaron a transeúntes y conductores sobre la percepción del ruido. El resultado arrojó que el ruido afectaba moderadamente al 32.29% y significativamente al 46.15%, siendo los vehículos la fuente de ruido más molesta, seguido de lugares públicos y vecinos (Quintero, 2012).

La economía informal es el reflejo de los altos niveles de desempleo, los bajos ingresos de la población trabajadora y donde la mayor parte de los trabajadores informales está desprotegida de los beneficios de la seguridad social y en especial del sistema de riesgos laborales (Palacios, Sierra & Agredo, 2014).

De estos hacen parte principalmente los vendedores ambulantes, que se ven obligados a trabajar en la calle, en las aceras y en espacios públicos, donde anuncian sus productos haciendo mal uso de la voz y están expuestos a contaminantes como ruido y monóxido de carbono, entre otros (Palacios, Sierra & Agredo, 2014).

En algunas zonas céntricas de Colombia el ruido ambiental supera los límites establecidos por la normatividad, representando un riesgo para la salud de los vendedores ambulantes estacionarios, quienes por el tipo de actividad que realizan, se encuentran ubicados en estas zonas. Igualmente, el 87,5% de los trabajadores informales del mercado de Bazurto en Cartagena se encuentran expuestos a ruido durante su jornada laboral que dura un promedio 10 horas, 6 días a la semana (Gómez, et al. 2012).

En la ciudad de Cali, se han realizado estudios de ruido ambiental como los presentados por el DAGMA (2015), Bedoya (2010) y la Secretaría de Salud Pública Municipal de Cali (2016); sin embargo, no se evidencian estudios de ruido ambiental en áreas específicas que relacione su impacto en los trabajadores vendedores ambulantes estacionarios. Por tal motivo, el presente estudio, se realizó con el fin de analizar el ruido ambiental y efectos en esta población, de la zona ubicada entre la Carreras 3 y 6, calles 12 y 15 de la comuna 3 de la ciudad de Cali, diseñándose una metodología de cuatro fases que comprende una observación del área, una caracterización sociodemográfica y medición de los niveles de intensidad sonora con equipos de sonometría y dosimetría, así como la elaboración de mapas de ruido para determinar las áreas que presentan mayores niveles de ruido ambiental; se identificaron las áreas donde se superan los niveles permitidos por la normatividad en las que, en la población objeto de estudio, puede desencadenar efectos adversos en su salud, tales como tinnitus, perturbación del sueño, alteraciones cardiovasculares y disminución de la capacidad auditiva.

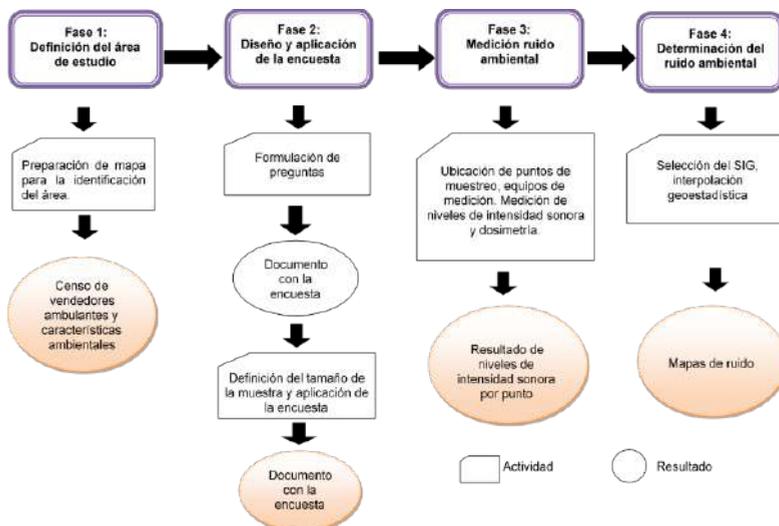
## 2.2 Metodología

Para el desarrollo de este estudio, se estableció una metodología de enfoque cuantitativo, descriptivo de tipo transversal, compuesta de cuatro fases como se muestra en la figura 10, de manera que se pudiera analizar el ruido ambiental y los efectos a la población de vendedores ambulantes estacionarios, en un área de la comuna 3 de la ciudad de Cali, comprendida entre las carreras 3 y 9, calles 12 y 15, como lo muestra la figura 11.

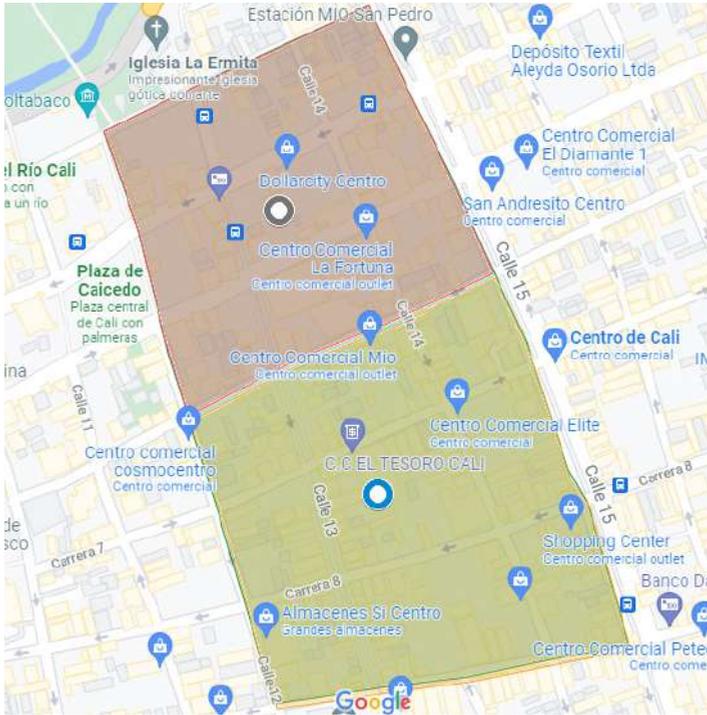
### Fase 1: Definición del área de estudio.

Dado que no se disponía de datos sobre el número de vendedores ambulantes estacionarios del área total de estudio, se determinó el área de trabajo y se realizó el conteo manual de la población objeto de estudio. Se observaron características físicas de las edificaciones, así como las fuentes de ruido que influyen en el fenómeno del ruido con el fin de establecer los puntos de muestreo por georreferenciación con una distribución preferiblemente uniforme acorde a estas características.

**Figura 10.** Fases metodológicas de estudio.



**Fuente:** Elaboración propia (2019).

**Figura 11. Zona de estudio.**

**Fuente:** Elaboración propia adaptada de Google Maps (2019).

## **Fase 2: Adaptación de encuesta y sondeo.**

Para la caracterización de la población objeto de estudio, se realizó una encuesta el 18 de mayo de 2018, en jornada diurna laboral, desde las 9:00 hasta las 17:00, mediante el mecanismo de formulación de preguntas tipo entrevista directa, con tiempo de duración máximo de cuatro minutos. En la encuesta de catorce preguntas, como se ve en el anexo 1, se tomaron datos sociodemográficos y de condiciones en seguridad y salud en el trabajo, que incluyó factor de riesgo físico (ruido). Se realizó un muestreo aleatorio simple, según la ecuación 1, para una población de 1098 vendedores ambulantes estacionarios, para una muestra de 285 vendedores.

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

Ecuación 1. Muestreo aleatorio simple.

Dónde:

N = Tamaño de la población

Z= Distribución Normal para nivel de confianza del 95%,

d= Precisión de 5%

P= Prevalencia 50%

Q= Complemento de p 50%

Una vez realizada la encuesta se tabularon los resultados en hojas de cálculo de formato Excel, se representaron gráficos de barras univariados y bivariados para establecer la relación de las condiciones de la actividad laboral con los niveles de intensidad sonora.

### **Fase 3: Medición ruido ambiental.**

Para medir los niveles de intensidad sonora se utilizó un (1) sonómetro tipo 2, marca 3M, referencia SE-402 debidamente calibrado. Durante cada medición se registraron y almacenaron en la memoria del equipo las variables de nivel de intensidad sonora continua equivalente ( $L_{eq}$ ) y nivel de presión sonora en cada intervalo de tiempo ( $L_p$ ).

Las mediciones de emisión de ruido en época corriente del año, excluyendo época navideña, para simular el fenómeno físico entre semana laboral, es decir de lunes a viernes, se hicieron con ocho repeticiones, el viernes 15 de Junio de 2018 e igualmente para el fin de semana, el sábado 16 de Junio de 2018. El tiempo de duración de cada jornada fue de ocho horas de 09:00 hasta las 17:00. Los niveles de intensidad sonora se midieron en decibelios (dB), cuyas muestras fueron de cinco minutos por cada dos horas de exposición, con

filtro de ponderación frecuencial A y respuesta rápida (fast). Se contó con dispositivo protector contra viento para evitar errores en las mediciones.

Se efectuaron mediciones en veintidós puntos estratégicos, georreferenciados como se muestra los puntos rojos de la figura 12, previa evaluación de la situación de emisión de ruido a 1.5 m de la fachada, a una altura de 1,20 a 1,50 metros sobre el nivel del piso, acorde a la metodología de selección de puntos de muestreo establecida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (07 de abril de 2006), con la Resolución 0627. Cada medición tuvo una duración de dos horas según los siguientes rangos:

Mañana: 9:00 a 11:00 y de 11:00 a 13:00

Tarde: 13:00 a 15:00 y de 15:00–17:00

De esta manera se estableció una diferencia entre los horarios de mayor y menor ruido entre las 09:00 y las 17:00. Este análisis se realizó con ayuda del programa estadístico SPSS versión 20. Posterior a la sonometría, se realizaron dos dosimetrías a un vendedor ambulante estacionario por día, una entre semana y otra en fin de semana en los puntos con mayor registro de ruido de acuerdo con los resultados arrojados en la sonometría, con un dosímetro Svantec.

**Figura 12.** Ubicación de los 12 puntos de muestreo.



**Fuente:** Elaboración propia adaptado de Google Maps (2019).

#### **Fase 4: Determinación de áreas de ruido ambiental.**

Con los datos obtenidos en la fase anterior se realizaron los mapas de ruido del área mediante el diseño de un sistema de información geográfica basado en el programa arcGIS, donde se ubicaron los resultados de cada punto de medición por rango de horario, aplicando interpolación geo estadística basada en el método de Kriging, de manera que se definan las distancias de los niveles de intensidad sonora, diferenciándolas por nivel, aplicando rangos de colores. Este método consiste en estimar los valores de intensidad sonora en puntos inter-

medios sobre los puntos de muestreo que se tomaron con el sonómetro. La precisión depende de varios factores:

- a. El número de las muestras tomadas
- b. La calidad de la medición en cada punto
- c. Las ubicaciones de las muestras en la zona; en este caso las muestras fueron igualmente espaciadas, dando mejor cobertura, mayor información acerca de la zona que aquella que se obtendría de muestras muy agrupadas en unos sectores y separadas de otros.
- d. Las distancias entre las muestras; para la predicción es más confiable usar muestras vecinas que muestras distantes, esto es, la precisión mejora cuando la cercanía de las muestras aumenta, y se deteriora cuando esta disminuye. La extrapolación no es aconsejable.
- e. La continuidad espacial de la variable o atributo en estudio; es más fácil estimar el valor de una variable bastante regular en una región que una que presenta grandes fluctuaciones.

## 2.3 Resultados

### **Fase 1: Definición del área de estudio.**

En la zona de estudio, se realizó el conteo manual de la población de vendedores ambulantes estacionarios que dio como resultado 1098 en total. La zona posee un fuerte flujo comercial estacionario y ambulante, que incluye un alto tráfico vehicular y edificaciones con más de tres pisos. Todas estas características influyen en el fenómeno del ruido. Esto se complementó con un trabajo de campo donde se realizó la georreferenciación del lugar como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10.** *Coordenadas planas de puntos de muestreo.*

Punto	X	Y
1	1060578,70541	873591,187832
2	1060637,11944	873668,243603
3	1060731,70817	873712,71574
4	1060843,62714	873689,961528
5	1060785,15411	873650,009365
6	1060660,00594	873587,302989
7	1060685,40599	873502,106986
8	1060825,63544	873560,844603
9	1060894,95641	873582,011312
10	1060863,73551	873476,177767
11	1060713,45188	873409,502634
12	1060625,08087	873418,498485
13	1060665,70552	873277649471
14	1060766,26934	873322,316073
15	1060891,42468	873383,981978
16	1060961,05136	873468,355075
17	1061030,31472	873292,884169
18	1060943,61192	873255,334549
19	1060793,52865	873206,975314
20	1060693,64557	873180,282609
21	1061000,00576	873130,749745
22	1060831,23559	873476,177767

**Fuente:** elaboración propia (2018).

## Fase 2: Diseño y aplicación de la encuesta

La encuesta aplicada a los 285 vendedores ambulantes estacionarios de la zona pudo evidenciar que el 47% de la población dice no presentar ninguna afectación auditiva, es importante resaltar que aquellas que presentan insomnio, en su mayoría, se encuentran en el rango de edad de 41-50 años, seguido por sordera temporal, donde la mayoría se encuentra entre edades de 51-60 años, Gráfico 1. El 28% de la población se encuentra entre el rango de edad de 17-30 años, mientras que un 26% tiene entre 31-40 años; siendo estas las edades más representativas.

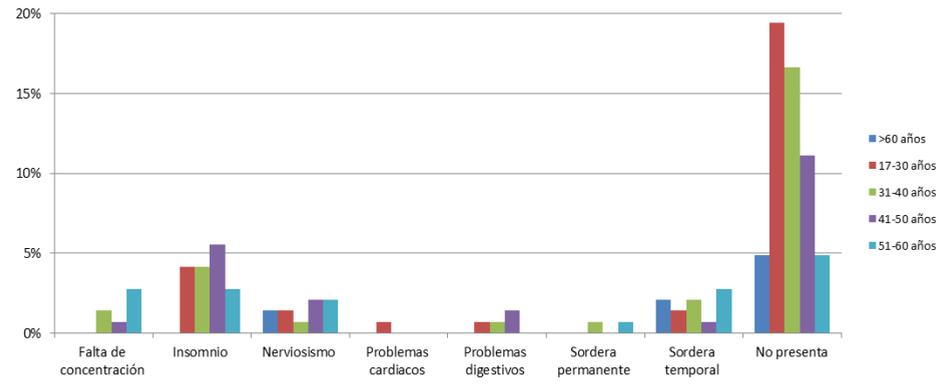
Un 65% se dedica a la compra-venta de mercancía, mientras el resto de la población se distribuye de la siguiente manera: preparación de alimentos (14%), ventas de dulces y varios (7%), alimentos empacados (7%), mercado de frutas y verduras (3%), y lustrabotas (2%). Laboran un promedio de 6 días a la semana en su mayoría (65%) con una jornada laboral superior a las ocho horas diarias. El 33% manifiesta que lleva realizando esta actividad entre 11 y 20 años, mientras que el 26% menos de 5 años, seguido de un 22% que dice llevar más de 20 años, siendo el periodo entre 6 y 10 años el de menor porcentaje, con un 19%.

En cuanto a la percepción del ruido, el 56% considera que durante su jornada laboral siempre se encuentra expuesto a este fenómeno, seguido de un 38% que manifiesta casi siempre estarlo y solo un 6% considera que esta exposición es ocasional. El 63% realiza actividades extra laborales con exposición a ruido, la cuales son: el 30% escucha música a alto volumen, el 25% utiliza moto como medio de transporte, un 7% frecuenta discotecas.

El 57% de la población reportó no haber sido diagnosticado con alguna de las enfermedades mencionadas, en los últimos seis meses; sin embargo, un 17% manifestó haber sido diagnosticado con insomnio y

un 9% con sordera temporal. El 73% de la población manifiesta no haber sufrido enfermedades relacionadas con el oído, sin embargo, un 8% dice haber presentado alguna vez dolor de oído al igual que otro 8% sordera temporal.

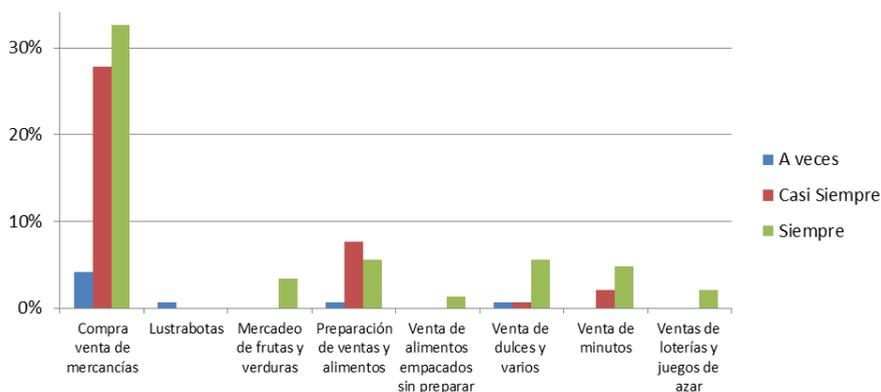
**Figura 13.** Condiciones de salud vs edad.



**Fuente:** elaboración propia (2019).

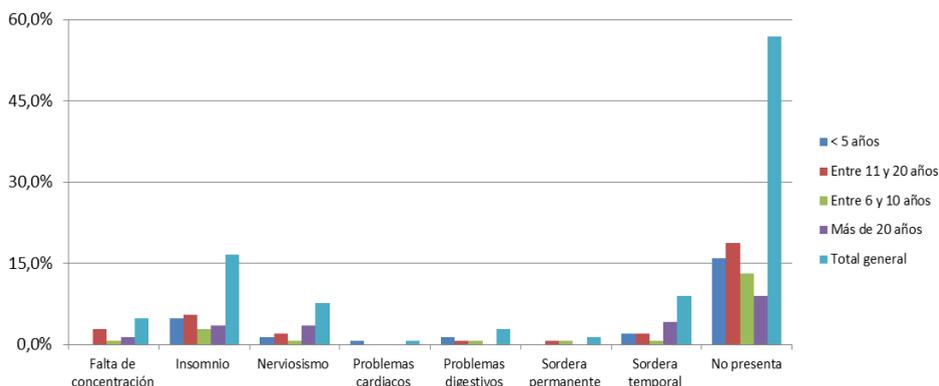
Como se muestra en la figura 13, aunque la mayor parte de la población refiere no presentar ninguna de las condiciones de salud, es importante resaltar que aquellas que presentan insomnio, en su mayoría se encuentran en el rango de edad de 41-50 años, seguido por sordera temporal, donde la mayoría se encuentra entre edades de 51-60 años.

La relación entre el tipo de actividad y la exposición al ruido de la población, en la que se evidencia que el 65% de los vendedores que se dedica a compra y venta de mercancías se encuentra expuesta casi siempre y siempre al ruido en su labor.

**Figura 14.** Tipo de actividad vs exposición a ruido.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

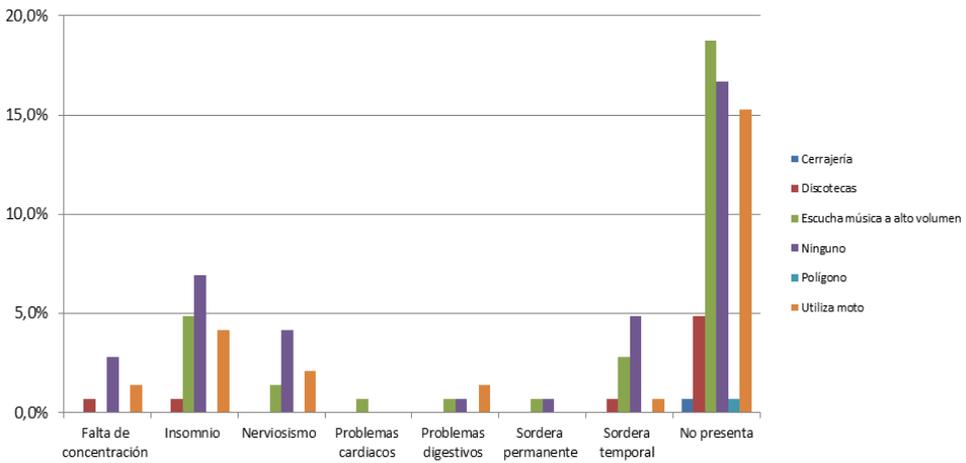
En la figura 14, se representa el tipo de actividad a la que se dedican los vendedores ambulantes estacionarios y la exposición al ruido. De las personas que refieren estar siempre y casi siempre expuestas al ruido durante su jornada laboral, la mayoría se dedica a la compra venta de mercancías, seguido por las personas que se dedican a la preparación y venta de alimentos.

**Figura 15.** Condiciones de salud vs tiempo realizando la actividad.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

Según la figura 15, a pesar que la mayor parte de la población refiere no presentar ninguna de las condiciones de salud, es importante resaltar que, de aquellas que manifiestan haber presentado insomnio, la mayoría lleva entre 11 y 20 años realizando la actividad, y los que refieren haber presentado sordera temporal, la mayor parte lleva más de 20 años realizando la actividad.

**Figura 16.** Condiciones de salud vs actividades extralaborales.



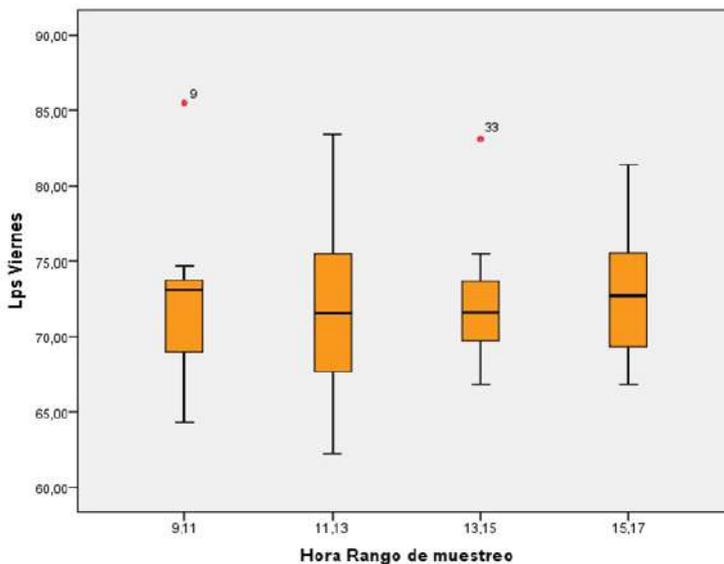
**Fuente:** Elaboración propia (2019).

Cuando se comparan las condiciones de salud con respecto a las actividades extralaborales, en la figura 16, muestra que el 16.7% de los trabajadores que manifestó haber sido diagnosticado con insomnio o sordera temporal refiere no realizar ninguna actividad extralaboral, sin embargo, el 57% refiere no presentar ninguna condición en salud con respecto al ruido a pesar de las actividades extralaborales que desarrolla.

### Fase 3: Medición ruido ambiental

El análisis realizado a los datos de los puntos de sonometría mediante el programa SPSS se representó en gráficas de cajas y alambres con respecto a la mediana para interpretación de la variabilidad de los datos. Estos gráficos se presentan a continuación.

**Figura 17.** Diagrama de cajas y alambres medición viernes.

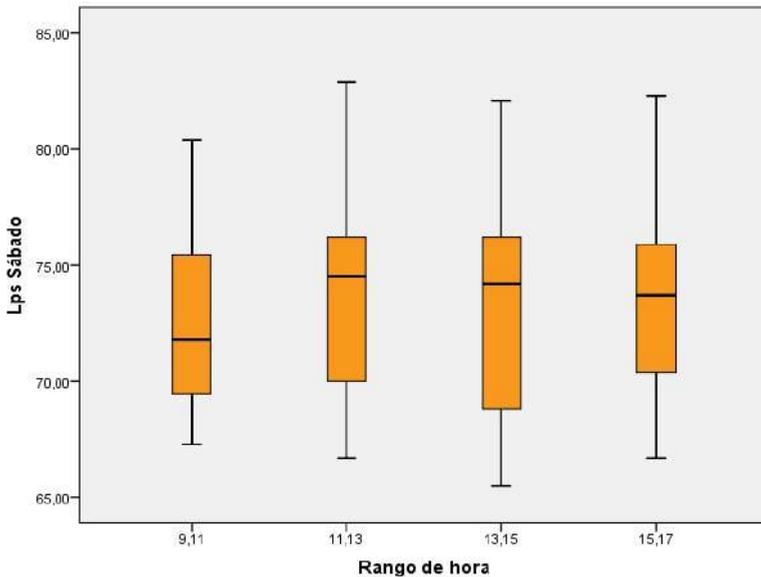


**Fuente:** Elaboración propia (2019).

Según la figura 17, diagrama de cajas y alambres para el día viernes, existe una distribución con valores atípicos que se presenta en los horarios de 9:00 a 11:00 y de 13:00 a 15:00. En el primer rango los valores están más agrupados de la mediana al cuartil 75, lo que indica que se inicia un incremento de la presión sonora, tal vez por el inicio de la jornada laboral. En los rangos de 11:00 a 13:00 y de 15:00 a 17:00, se presenta los valores máximos en los alambres con una distribución más normal de los datos, esto significa que el ruido presenta una ge-

neración más continúa debido al aumento del tráfico vehicular de hora pico. En el rango de 13:00 a 15:00, el ruido también presenta una distribución normal, pero moderada con respecto a la normatividad. El análisis se centra en los puntos extremos cuya fuente, según las observaciones de las fichas técnicas se debe a la presencia de parlantes y amplificadores que no tienen los mismos niveles que en el resto del área. Por lo tanto incrementa considerablemente la presión sonora. Dicho punto se encuentra ubicado en la Calle 15 con Cra. 5.

**Figura 18.** Diagrama de cajas y alambres medición sábado.



**Fuente:** Elaboración propia (2019).

Como se muestra en la figura 18, los días sábados, durante toda la jornada, se presenta una distribución normal del ruido, con una agrupación de los datos con respecto a la mediana al cuartil 75, donde se empiezan a incrementar los niveles de presión sonora desde las 11:00 hasta las 17:00. El rango de 9:00 a 11:00, presenta una agrupación de datos hacia el cuartil 25, es decir muy por debajo de los niveles de la

normatividad, esto debido al inicio de la jornada, donde los niveles de presión sonora son más bajos. El análisis anterior se esquematiza en los mapas de ruido.

La estimación del fenómeno, esquematizada en los mapas de ruido, establece que los días viernes en el rango de 9:00 hasta las 11:00, el área más crítica, sombreada de color rojo, es la comprendida en la Calle 15 con Cra. 5, donde se encuentran niveles de ruido entre 80 y 84 dB, excediendo los niveles de ruido permitidos por la norma.

Al observar las demás áreas, predominan los colores amarillo y verde, indicando que los niveles de presión sonora son más bajos. Lo anterior puede estar relacionado con el bajo tráfico vehicular y el inicio de la jornada laboral de los vendedores ambulantes estacionarios.

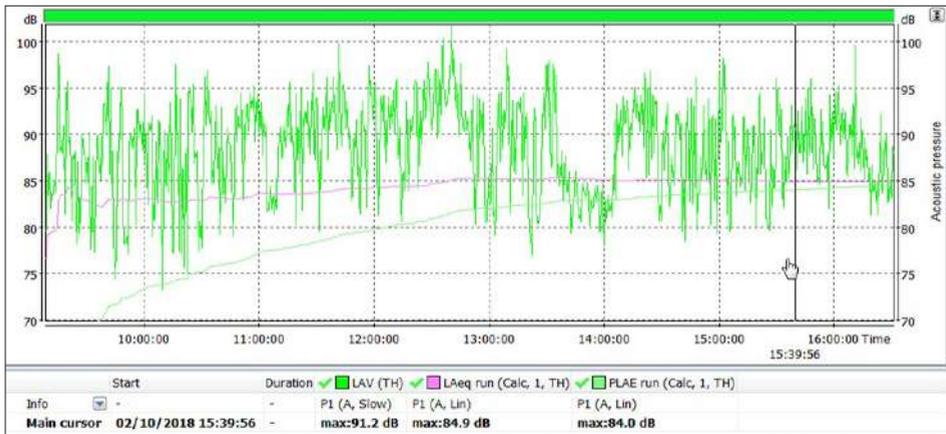
Por otra parte, el mismo día, en el rango entre 11:00 hasta las 13:00, el área sombreada de color naranja se amplía y la amarilla disminuye, indicando que el nivel de ruido tiende a aumentar; esto puede estar relacionado con la hora pico y el aumento de las fuentes generadoras de ruido. En el rango entre 13:00 a 15:00, se evidencia una disminución del ruido entre las carreras 5 y 6 con Calles 13 y 14, relacionándose con el horario, pues en este horario el flujo vehicular disminuye. En el rango de 15:00 hasta 17:00, nuevamente aumenta el ruido, debido al aumento del flujo vehicular por ser hora pico.

En el día sábado se observa que el punto de la Cra. 5 con Calle 15 sigue siendo crítico, sumándole a éste el punto 8 ubicado en la Cra 5 con Calle 14 en el rango de 9:00 a 11:00. En el rango de 11:00 a 13:00, existe una disminución y de 13:00 a 15:00, se observa un aumento general del ruido especialmente entre la carrera. 4 y 5 entre calle 13 y 14, incluyendo nuevamente al punto 8. Lo anterior puede estar relacionado con el aumento del tráfico vehicular característico de ese rango de hora. Para el rango entre 15:00 a 17:00, el ruido tiene un comporta-

miento similar en los puntos 8 y 9, aunque las demás áreas se empiezan a normalizar.

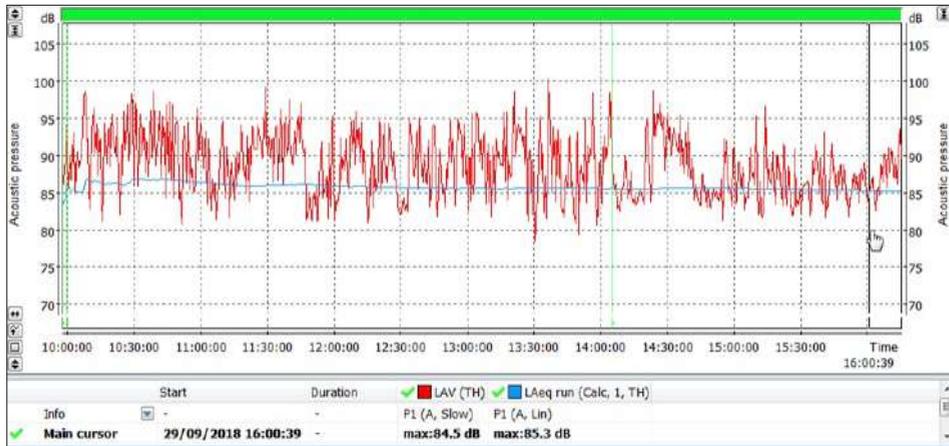
A continuación, se presentan los resultados de las dosimetrías realizadas a un vendedor ambulante estacionario del área crítica del día viernes y sábado.

**Figura 19.** Resultado dosimetría día entre semana.



**Fuente:** elaboración propia (2018).

De acuerdo con la figura 19, se aprecia que el promedio de ruido entre semana es de 84,9 dB, muy cerca 85 dB, límite establecido por la normatividad colombiana en cuanto a ruido ocupacional para una jornada laboral de ocho horas.

**Figura 20.** Resultado dosimetría sábado.

**Fuente:** elaboración propia (2018).

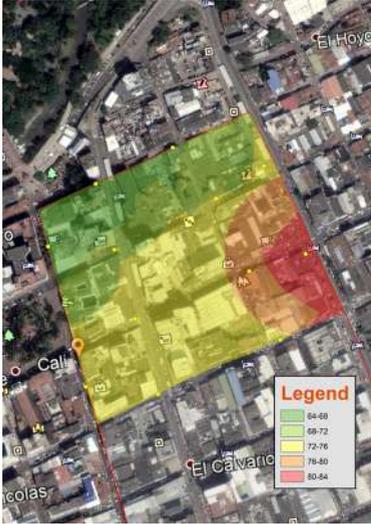
En la figura 20, se muestra que la población de vendedores ambulantes estacionarios se encuentra con dosis de ruido por encima del límite establecido por la normatividad colombiana, con un promedio en esta área de 85,3 dB.

#### **Fase 4: Determinación del ruido ambiental**

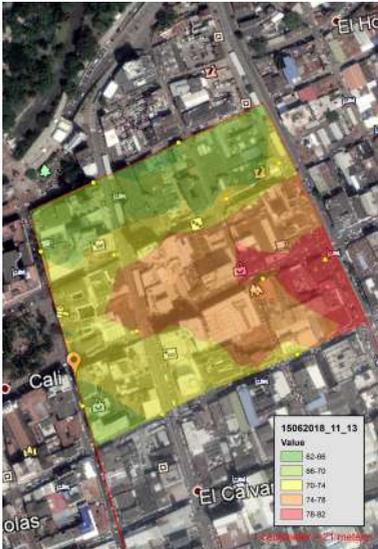
Los mapas de ruido presentan los resultados de cada punto de medición por rango de horario, esquematizando las distancias de los niveles de intensidad sonora, diferenciándolas por nivel, aplicando rangos de colores. Cada uno de los mapas con las áreas de ruido por horario se pueden ver en la figura 21 y la figura 22, donde las áreas de color rojo, son las más críticas debido a que están por encima de los límites permisibles, seguidas de la de color naranja y amarillo con una intensidad sonora moderada y por último, las áreas de color verde con una intensidad sonora baja que no afecta la salud de los vendedores ambulantes estacionarios.

Figura 21. Mapas día viernes por rango de medición, referencia del fenómeno entre semana.

Mapas día viernes



9 y 11 horas

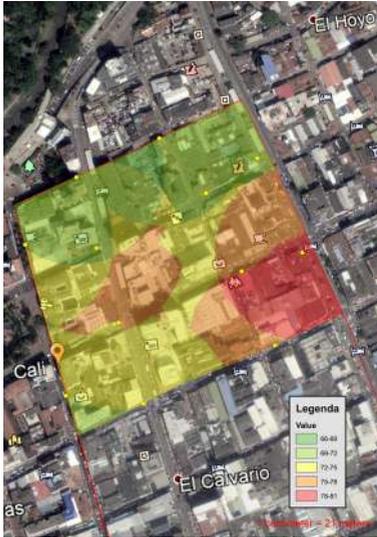


11 y 13 horas



Figura 22. Mapas día sábado por rango de medición, referencia del fenómeno fin de semana.

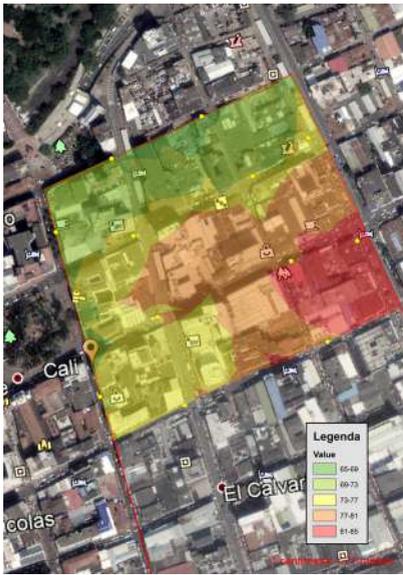
Mapas día sábado



9 y 11 horas



11 y 13 horas



13 y 15 horas



15 y 17 horas

Fuente: Elaboración propia (2019).

De acuerdo con los niveles de presión sonora esquematizados en los mapas de ruido que muestran en las figuras 21 y 22, los resultados de las sonometrías y dosimetrías, y acorde como lo dicen Maqueda Blasco y otros (2010), evidencia un potencial patológico de los vendedores ambulantes estacionarios que se exponen a posibles consecuencias en la salud; dependiendo de los decibeles y tiempo de exposición, pueden presentar los siguientes efectos que se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11.** Efectos en salud de trabajadores expuestos a ruido según resultados.

Rango de Ruido (dB)	Efectos en la Salud	
	Auditivos	No auditivos
64 dB – 68 dB	Pérdida auditiva. Hipoacusia moderada.	Fatiga del sueño. Alteraciones nerviosas. Aumento de la frecuencia cardiaca.
68 dB – 72 dB	Hipoacusia moderada a severa.	Aumento de la presión sanguínea.
72 dB – 76 dB	Hipoacusia severa.	Aumento de la presión sanguínea.
76 dB – 80dB	Hipoacusia severa.	Isquemia cardiaca.
80 dB – 85 dB	Hipoacusia severa.	Alteraciones vasculares. Infarto del miocardio. Isquemia cardiaca.

**Fuente:** adaptada de Maqueda Blasco, y otros (2010).

## 2.4 Discusión

Los vendedores ambulantes estacionarios en Colombia están expuestos a ruido ambiental (Gómez, Castillo, Banquez, Castro, & Lara en 2012). Los estudios citados anteriormente han evidenciado que personas vulnerables, que realizan este tipo de actividades en otras ciudades de Colombia están expuestas a una intensidad sonora entre 80 y 86 dB. Así mismo, esta población no cuenta con un sistema de protección social que garantice sus derechos por desarrollar actividades informales al margen de la legislación laboral en Colombia (Palacios A. T., 2013); aunque se cuenta con una normativa que protege a los trabajos desde el punto de vista laboral en sus puestos de trabajo (in door) y con una normativa que regula el nivel de ruido exterior (out door) esta no contempla la exposición de dichas personas porque se supone que no pueden permanecer en dichos espacios. Esta situación puede generar vulneración de derechos y por tanto inequidad en la población de menos recursos económicos que acuden a estos espacios a realizar su actividad laboral en vista del desplazamiento forzado (Palacios A. T., 2013), el nivel educativo y el nivel de desempleo existente en Colombia y en esta caso Cali.

Aunque Colombia cuenta con la Resolución 08321 de 1983, la Resolución 1792 de 1990 y la Resolución 0627 de 2006 que tienen por objeto controlar y reducir la contaminación por ruido, actualmente la gestión del sistema de protección social, tiene una oportunidad de mejora en la cobertura del servicio de salud si considera implementar acciones que reduzcan la exposición al ruido y las posibles consecuencias en los vendedores ambulantes estacionarios de la ciudad de Cali y en Colombia. Sin embargo, para la toma de decisiones en mejora de la gestión en el marco de la salud ambiental, esta normativa debería unificarse en componentes de ruido de emisión, inmisión y laboral, para el alcance efectivo de las autoridades ambientales y sanitarias.

Bajo este contexto, la revisión de la literatura especializada permitió identificar que existen referentes conceptuales y teóricos desarrollados sobre el tema desde el punto de vista técnico en cuanto la medición del nivel del ruido. Esto significa, que en la revisión realizada no permiten identificar la forma de realizar una gestión de la situación de una manera sistémica integrando los aspectos legales, técnicos y laborales. Por estas razones, la novedad de este estudio radica en la integración de los involucrados e interesados para reducir la inequidad existente actualmente en Colombia en materia sanitaria y laboral identificando las deficiencias que existen en el sistema para preservar la salud de estas personas. Este artículo se constituye en un aporte pertinente para los retos actuales que persigue Colombia en cuanto a la salud ambiental, base fundamental para el desarrollo social y la disminución de las brechas de pobreza e inequidad social existente en Colombia.

Se sugiere la realización de estudios posteriores en las áreas restantes donde se encuentre este tipo de población, para determinar el nivel de exposición al fenómeno del ruido, así como posibles afectaciones por esta.

Se recomienda realizar primero las mediciones y posteriormente realizar la encuesta de percepción de ruido, esto con el fin de conocer con certeza la población expuesta que presenta alguna afectación en la salud.

Proponer los datos de asimetría, error típico y curtosis para realizar análisis de normalidad de los datos, para que se determine si el ruido es similar en semana o fin de semana con significancia.

La alcaldía municipal y entidades relacionadas como el Dagma deben realizar programas que involucren e incluyan a los vendedores en la construcción de herramientas para disminuir el uso de amplificadores de sonido.

## 2.5 Conclusiones

La metodología utilizada permitió conocer la situación actual de un área del centro de la ciudad de Cali en cuanto al nivel del ruido ambiental en términos de la exposición y dosis de los vendedores ambulantes estacionarios. Las sonometrías, dosimetrías y encuestas realizadas, permitieron conocer la respuesta que esta población ha tenido a dicha exposición en cuanto a las condiciones de salud y percepción de ruido. Igualmente, la revisión de la literatura permitió establecer las deficiencias que en materia de normativa existe para la protección social de las personas que, por razones de inequidad social, acuden a estos espacios a realizar actividades informales como medio de sustento. De igual manera, el uso del sistema de información geográfica aplicando modelos geo estadísticos a partir de los resultados de sonometría, permitió esquematizar el comportamiento de los niveles de intensidad sonora por áreas, en intervalos de tiempo durante la jornada laboral entre semana y fines de semana, para una mejor visualización de los sitios de menor a mayor intensidad, donde la población objeto de estudio, presenta exposición al ruido por encima de la normativa vigente, obteniéndose un insumo para la priorización de estrategias de prevención en el marco de la salud ambiental y la educación ambiental.

El 28% de los vendedores ambulantes, están en un rango de edad 17 a 40 años, el 65% se dedica a la compra venta de mercancías, percibe que siempre está expuesta al ruido en su jornada laboral y realiza actividades extra laborales con exposición a ruido, tales como escuchar música a alto volumen y utilizar moto como medio de transporte. Aunque en su mayoría, los vendedores refieren no haber sido diagnosticados con enfermedades como insomnio, falta de concentración, nerviosismo, problemas cardiacos, digestivos, sordera permanente y temporal, un 43% manifestó padecer alguna de estas condiciones, siendo más representativo el insomnio y la sordera temporal.

Las condiciones de salud están relacionadas con su exposición al ruido ambiental, debido a llevan más de once años realizando la actividad de vendedores ambulantes con exposición a este fenómeno durante una jornada laboral de ocho horas diarias por seis días a la semana. Sin embargo, se debe tener en cuenta que estas también pueden estar relacionadas con la edad, ya que hay un grupo de trabajadores que se encuentran en un rango de edad de 51-60 años y realizan actividades extra laborales con exposición a ruido.

Las sonometrías realizadas demuestran una distribución de los valores atípica en el día viernes, indicando un aumento de la presión sonora al inicio de la jornada laboral que se mantiene en el día, aunque aumenta en las horas pico, desde las 11:00 hasta las 13:00 horas. Y desde las 15:00 hasta las 17:00 horas El día sábado la distribución de los valores es de tendencia normal; aunque en toda el área no se exceden los límites permisibles, se presentaron varios puntos donde, durante toda la jornada, siempre superó el límite ambiental, siendo un factor de riesgo para los vendedores ambulantes estacionarios que laboran en esta zona. Así mismo en los resultados de la dosimetría, el promedio de ruido entre semana es 84,9 dB, en el límite establecido por la normatividad colombiana, 85dB para ruido ocupacional para una jornada laboral de ocho horas y para el fin de semana se excede este límite, llegando a 85,3 dB. Esto indica que los vendedores ambulantes estacionarios de esta zona son más susceptibles a presentar enfermedades relacionadas con el oído.

La exposición a altos niveles de ruido ambiental es un factor de riesgo para los vendedores ambulantes estacionarios, ya que pueden llegar a presentar problemas en su salud, como insomnio, alteraciones nerviosas, aumento de la frecuencia cardiaca y sanguínea, hipoacusia e infartos, afectando la calidad de vida de los mismos. Los vendedores ambulantes estacionarios ubicados cerca de las carreras 5 y 6 entre calles 15 y 14, se exponen a los niveles más altos de ruido ambiental de

la zona (78-85 dB), presentando mayor probabilidad de padecer alteraciones cardiovasculares, infartos de miocardio, isquemia cardiaca e hipoacusia severa.

## 2.6. Referencias

Ayuga Téllez, E. (2008). *Aplicaciones de Inferencia Estadística a la Ingeniería del Medio Natural*. Madrid: Fundación Conde del Valle Salazar, ETSIM (UPM).

Bedoya, B. (2010). *Evaluación de los factores de riesgo físicos, ruido, estrés termico e iluminación en los concesionarios de una plaza de mercado de la ciudad de Cali* [ebook]. Cali: Universidad Autonoma de Occidente. 2010, 69 p. Disponible en: <http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/1193/1/TID00333.pdf>

Banguera Vidal, J., & Guluma Tierradentro, D. (2016). *Análisis de la exposición a presión sonora en vendedores ambulantes estacionarios en la zona centro de la comuna 6, entre carrera 26 y 28 de la ciudad de Palmira, Valle del Cauca*. Cali, Colombia: Institución universitaria Antonio José Camacho.

Cabaní, F. T. (2003). *Efectos del ruido sobre la salud*. Obtenido de Asociación Catalana Contra la Contaminació Acústica: [http://www.sorolls.org/docs/efectos\\_ruidos\\_salud.htm](http://www.sorolls.org/docs/efectos_ruidos_salud.htm)

Congreso de la República. (24 de Enero de 1979). *Ley 9 de 1979*. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=1177>

DANE. (13 de Febrero de 2018). *Boletín técnico Medición de empleo informal y seguridad social*. Obtenido de [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co): [http://](http://www.dane.gov.co)

[www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech\\_informalidad/bol\\_ech\\_informalidad\\_oct17\\_dic17.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech_informalidad/bol_ech_informalidad_oct17_dic17.pdf)

Delgado, A. (14 de Julio de 2016). El ruido ensordece al Valle. El País.

Delgado Inga, O., & Martínez, J. (29 de 08 de 2015). Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario. *Ciencias especiales*, 411-440. doi:<https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2059>

Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – Dagma (2015). Actualización del mapa de ruido periodos de tiempo diurno y nocturno entre semana y fin de semana. Ene 2015. Disponible en: <http://www.cali.gov.co/documentos/529/mapa-ruido-dagma/>

Gómez, I. P., Castillo, I. Y., Banquez, A. P., Castro, A. J., & Lara, H. R. (2012). Condiciones de trabajo y salud de vendedores informales estacionarios del mercado de Bazurto, en Cartagena. *Revista Salud Pública*, 448-459.

Granada, L. F (2018). El aire: características, contaminantes, fuentes de emisión, efectos en su calidad, salud humana y modelos de calidad del aire. Vol. 1, cap. 2 en: Lineamientos para la implementación de una filosofía de Gestión Ambiental. ISBN: -978-958-762-883-8, Cali: Departamento de Publicaciones Universidad Libre. p. 41- 53. Cali.

Harris, C. M. (1995). *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. (Tercera ed., Vol. 1). Madrid, España: Mcgraw-Hill-Interamericana de España, S. A.

ICONTEC. (16 de Septiembre de 1992). Norma Técnica Colombiana NTC 3428. Obtenido de Icontec: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8HRQxPU2J4cJ:https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3428.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>

ICONTEC. (22 de Diciembre de 2005). Norma Técnica Colombiana NTC 3522. Obtenido de Icontec.

ICONTEC. (28 de Agosto de 2013). Norma Técnica Colombiana NTC 3520. Obtenido de Icontec: [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YHl642\\_MG0QJ:https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3520.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YHl642_MG0QJ:https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3520.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co)

Jaramillo, M. (15 de Marzo de 2016). Los altos niveles de ruido en la ciudad de Cali son un serio problema de salud pública. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana Cali: <https://www.javerianacali.edu.co/noticias/los-altos-niveles-de-ruido-en-la-ciudad-de-cali-son-un-serio-problema-de-salud-publica>

Maqueda Blasco, J., Ordaz Castillo, E., Cortés Barragán, R. A., Gamo González, M. F., Bermejo García, E., Silva Mato, A., y otros. (2010). *Efectos extra-auditivos del ruido, salud, calidad de vida y rendimiento en el trabajo; actuación en vigilancia de la salud*. España: Instituto de Salud Carlos III.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (07 de Abril de 2006). Resolución 0627 de 2006. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=19982>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (07 de Abril de 2006). Resolución 627 de 2006. Obtenido de Alcaldía Ma-

yor de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=19982>

Ministerio de la Protección Social. (Diciembre de 2006). *Guía de atención integral basada en la evidencia para hipoacusia neurosensorial inducida por ruido en el lugar de trabajo (GATI-HNIR)*. Obtenido de Ministerio de Salud: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:sqdlVlK4nqMJ:https://www.minsalud.gov.co/Documentos%2520y%2520Publicaciones/GATISO-HIPOACUSIA%-2520NEROSENSORIAL.pdf+%&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>

Ministerio de Salud. (4 de Agosto de 1983). Resolución 8321 de 1983. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=6305>

Ministerio de Salud. (04 de Agosto de 1983). Resolución 8321 de 1983. Ministerio de Salud. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=6305>

Ministerio de Trabajo y Ministerio de salud y protección social. (03 de Mayo de 1990). Resolución 1792 de 1990. Obtenido de Arl Sura: <https://www.arlsura.com/index.php/component/content/article?id=195>

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (22 de Mayo de 1979). Resolución 2400 de 1979. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=53565>

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1990). Resolución 1792 de 1990. Obtenido de ARL Sura: <https://www.arlsura.com/index.php/component/content/article?id=195>

Ministerio del Medio Ambiente. (05 de Junio de 1995). Decreto 948 de 1995. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=1479>

- Morales Castro, Y. R. (2010). Estudio socioeconómico sobre los vendedores estacionarios del sector uno del centro histórico de Barranquilla. *Psicogente*, 13(23).
- Muñoz, A., & Choís, P. M. (2014). Riesgos laborales en trabajadores del sector informal del Cauca, Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Unal*, 379-385.
- Palacios Pérez, A. T., & Osorio Torres, C. A. (2013). Factores ambientales, sociodemográficos y comunicativos y su relación con alteraciones en la audición, la función respiratoria y la voz en vendedores ambulantes de la ciudad de Popayán. *Prevención integral*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10893/15066>
- Palacios, A., & Sierra, C. (2014). Prevalencia de los trastornos comunicativos y factores de riesgo asociados con respecto a los trabajadores informales en Popayán, Colombia. *Revista de salud pública*, 16(4), 572-584.
- Paterlini, L., & Garzón, B. (27-29 de Septiembre de 2017). *Caracterización acústica de la arteria principal de la ciudad de San Miguel de Tucumán*. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Presidencia de la República. (18 de Diciembre de 1974). Decreto Ley 2811 de 1974. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=1551>
- Quintero, J. R. (2012). Caracterización del ruido producido por el tráfico vehicular en el centro de la ciudad de Tunja, Colombia. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 311 - 343.
- Ramírez, A., & Domínguez, E. A. (2011). El ruido vehicular urbano: problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. *Revis-*

ta de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales, 510-530.

Recio Martín, A., Carmona Alférez, R., Linares Gil, C., Ortiz Burgos, C., Banegas, J. R., & Díaz Jiménez, J. (2016). *Efectos del ruido urbano sobre la salud: estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid*. Obtenido de Escuela Nacional de Sanidad Instituto Carlos III.

Rincón Baéz, W. U., & Soler Hurtado, A. J. (2015). *Perspectiva socioeconómica de los vendedores informales de Chapinero. Cooperativismo y Desarrollo*, 23(107).

Tangarife, J. Betancourt R. López, J. López, I. Ramírez, V. (2018). *Diseño de un modelo para la estimación de los costos en salud, asociados al ruido ambiental en vendedores ambulantes en la zona urbana central del municipio de Cali, Valle del Cauca*. Cali: Institución Universitaria Antonio José Camacho.

Tardón, L. (27 de Abril de 2016). *El ruido: una amenaza para la salud*. *El Mundo*.

Secretaria de Salud Publica Municipal de Cali (2016). *Plan de Desarrollo. Municipio Santiago de Cali 2016 – 2019 CMP*. Disponible en: [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/80477/1/cali\\_alcaldia\\_plandesarrollo\\_2016.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/80477/1/cali_alcaldia_plandesarrollo_2016.pdf)

Valverde Solis, A. (2014). *Evaluación del ruido ambiental en la zona rosa de Quibdó, Chocó, Colombia*. *Revista Científica Institucional*, 33(2).

## Anexo

### Anexo 4. Modelo encuesta.

10. ¿Durante su jornada laboral usted está expuesto al ruido?

Siempre  Casi Siempre  A veces  Nunca

11. ¿Alguna vez le han realizado una audiometría?

Si  No

12. ¿Cuál fue el resultado?

Normal  Anormal

13. ¿Realiza alguna de estas actividades extralaboralmente?

Juega tejo  Escucha música a alto volumen  Discotecas

Cerrajería  Utiliza moto para transportarse

Pulidoras  Polígono

Otro Cuál? \_\_\_\_\_

14. ¿Alguna vez ha sufrido enfermedades relacionadas con el oído?

Si  No

¿Cuál? \_\_\_\_\_

**Fuente:** elaboración propia (2019).

## Capítulo 3

# Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020

*Air pollution and vulnerability of exposed individuals in commune 21 of the city of Cali 2020*

**Leidy Maritza Guanga Esterilla**

Institución Universidad Antonio José Camacho  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-3285-9181>

✉ [sisoledy@gmail.com](mailto:sisoledy@gmail.com)

**Iván Darío López Villalobos**

Institución Universidad Antonio José Camacho  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-9513-7162>

✉ [idariolopez@admon.uniajc.edu.co](mailto:idariolopez@admon.uniajc.edu.co)

**Fabián Felipe Fernández Daza**

Institución Universidad Antonio José Camacho  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-9125-705X>

✉ [fabfernandez@hotmail.com](mailto:fabfernandez@hotmail.com)

**Iván Andrés González Vargas**

Universidad Santiago de Cali  
Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-0576-3889>

✉ [ivan.gonzalez03@usc.edu.co](mailto:ivan.gonzalez03@usc.edu.co)

**Cita este capítulo**

Guanga Esterilla, L. M.; Fernández Daza, F. F.; López Villalobos, I. D. & González Vargas, I. A. (2020). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020. En: González Vargas, I. A. y López Villalobos, I. D. (eds. científicos). *Contaminación del aire: casos de investigación en el Valle del Cauca*. (pp. 95-140). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

# Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020

*Air pollution and vulnerability of exposed individuals in commune 21 of the city of Cali 2020*

Leidy Maritza Guanga Esterilla · Fabián Felipe Fernández Daza · Iván Darío López Villalobos · Iván Andrés González Vargas

## Resumen

En este capítulo se muestra la relación entre la contaminación del aire y la vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali. Los valores de contaminación de aire para la comuna 21 de Cali, se tomaron de *sisaire* (punto compartir), las características sociodemográficas y de vulnerabilidad se evaluaron a 328 habitantes, la correlación entre la contaminación de aire (síntomas respiratoria), las condiciones sociodemográficas y de vulnerabilidad, se evaluaron mediante regresión logística; la estimación del impacto en la salud pública colombiana entre 2007 y 2019, se estimó a partir de los datos para enfermedades respiratorias crónicas. En general la población contaba con básica primaria (93.8%) e ingresos de hasta un salario mínimo legal vigente (82.3%), el 52.45% eran mujeres, entre 18 a 50 años (93.8%). En total se presentaron sintomatologías respiratorias en el 27.61% de los encuestados, donde el riesgo fue mayor para personas de estrato 1 (RR: 1.546), y menor en el Salario mínimo legal vigente 1 (RR: 0.49), esta última explicó el 3.32% ( $p=0.002$ ) del modelo logístico ( $p=0.001$  % explicado: 9.85%); en Colombia la atención por paciente con enfermedades respiratorias oscila entre 85.510 a 1.609.218 de pesos. Se observa una tendencia en el incremento de enfermedades respiratorias en relación con el rango etario, nivel aca-

démico y tiempo de exposición, en la población evaluada; se requiere incrementar el cuestionario y adaptarle para evaluación de condiciones *outdoor* e *indoor*.

**Palabras claves:** polución, enfermedad respiratoria, costos de atención, vulnerabilidad

## **Abstract**

This chapter shows the relationship between air pollution and the vulnerability of exposed individuals in commune 21 of the city of Cali. The air pollution values for the 21 commune of Cali were taken from *sisaire* (share point), the sociodemographic and vulnerability characteristics were evaluated in 328 inhabitants, the correlation between air pollution (respiratory symptoms), sociodemographic conditions and vulnerability were evaluated by logistic regression; The estimate of the impact on Colombian public health between 2007 and 2019 was estimated from data for chronic respiratory diseases. In general, the population had basic primary education (93.8%) and income of up to a current legal minimum wage (82.3%), 52.45% were women, between 18 and 50 years old (93.8%). In total, respiratory symptoms were presented in 27.61% of those surveyed, where the risk was higher for people in stratum 1 (RR: 1,546), and lower in SLMLV 1 (RR: 0.49), the latter explained 3.32% ( $p = 0.002$ ) of the logistic model ( $p = 0.001\%$  explained: 9.85%), in Colombia care per patient with respiratory diseases ranges from 85,510 to 1,609,218 pesos. A trend is observed in the increase of respiratory diseases in relation to the age range, academic level, exposure time and exposure, in the evaluated population, it is necessary to increase the questionnaire and adapt it for the evaluation of outdoor and indoor conditions.

**Keywords:** pollution, respiratory disease, care costs, vulnerability

### 3.1 Introducción

En el mundo, la contaminación del aire se encuentra asociada a aproximadamente a más de 3 millones de decesos por año; estos son causados por enfermedades derivadas por la exposición de los contaminantes suspendidos, entre los que se encuentran sulfatos, nitratos, amonio, cloruro de sodio, “carbón negro”, polvo mineral y material orgánico entre otros contaminantes (Ortiz et al., 2017), que son el resultado de la combustión de derivados del petróleo, la industria minera y de procesos naturales (K. Kim et al., 2015). En el ser humano la contaminación ambiental, en específico el material particulado ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) suspendido, se ha relacionado a muertes en infantes (Conceição et al., 2001; Jakubiak-lasocka et al., 2015), aparición de asma, alergias respiratorias, bronquitis crónica, cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes (K. Kim, Kabir, & Kabir, 2015). y alteraciones de desarrollo (E. Kim et al., 2016).

Si bien, existen diferencias en la mortalidad producida por la contaminación de aire, cuando se compara los países de ingresos altos (7/100.000 habitantes), respecto a países de ingresos medios y bajos (18/100 000 habitantes) (OMS, 2018b) como lo son los países latinoamericanos, esta problemática se encuentra en aumento, como resultado de la industrialización. Esto se evidencia en que solo en América Latina y el Caribe, se estima que por lo menos 100 millones de personas se exponen a niveles de contaminación del aire superiores a los recomendados (valores de exposición por día  $MP_{2.5} = 25 \mu\text{g}/\text{m}^2$  y  $PM_{10} = 50 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ; y valores promedio anuales de  $MP_{2.5} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^2$  y  $MP_{10} = 20 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ) (OMS, 2005). En este sentido para el 2018, según el Rankin mundial de contaminación por  $MP_{2.5}$ , Perú, Chile, México, Brasil y Colombia ocuparon las posiciones 21, 26, 33, 40 y 50 respectivamente, con menor calidad de aire (IQAir, 2018). A pesar de que los peruanos aparecen en una posición mayor en relación a Chile, es en este país donde se reportan las ciudades con mayor contaminación por  $PM_{2.5}$  (IQAir, 2018).

En Colombia el Ministerio del Medio Ambiente mediante Resolución 2254 de 2017 (Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones, 2017), define el marco en cual se toman las medidas para garantizar el acceso a un ambiente saludable, en relación a la calidad de aire; estas medidas son constantemente vigiladas por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM), el cual realiza mediciones ambientales continuas, que permiten conocer los niveles de los contaminantes, generando alertas y convirtiéndose en base para desarrollo de políticas públicas. (IDEAM, 2016). Los datos recolectados, por esta institución, han permitido establecer las zonas con menor calidad de aire que corresponden a Puente Aranda, Carvajal y Kennedy en Bogotá, Ráquira (Boyacá) y Yumbo (zona industrial) en el Valle del Cauca. (IDEAM, 2016). En la ciudad de Cali, la contaminación del aire existente, es generada en el 90% por la combustión vehicular, y el 10% por la agricultura (El Tiempo, 2018).

La contaminación del aire constituye una problemática social y de salud pública, afectando a quienes se exponen; puede producir desde alergias y asma, hasta patología crónicas. Este capítulo describe los conceptos asociados, efectos en la salud, y los resultados de la valoración de la vulnerabilidad de los individuos expuestos en la comuna 21, expresado como la morbilidad sentida, y su relación con variables socioeconómicas que podrían estar asociadas a la exposición; finalmente se muestran los costos aproximados derivados de la atención de enfermedades respiratorias agudas, de las cuales la contaminación de aire es considerada un factor de riesgo.

### **Contaminación del aire**

En este escrito, definiremos la contaminación del aire como la presencia de partículas de naturaleza orgánica o inorgánica, en concentraciones superiores a las observadas en ambientes naturales, durante periodos de tiempo prolongados (Manisalidis et al., 2020). Las

fuentes de estos contaminantes (tabla 12) incluyen actividades antropológicas (industria, minería, combustión de derivados del petróleo, agricultura entre otros) y eventos naturales (deslizamientos, erupciones volcánicas, erosión)(Kousehlar & Widom, 2019; Manisalidis et al., 2020; Vallack et al., 2017; Zeng & Han, 2020)

**Tabla 12.** Fuentes de contaminantes del aire (Public Health England, 2018).

Fuentes	Contaminantes				
	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NMVOC
Industria de producción eléctrica	3.3%	22.4%		0.1%	0.5%
Industria de manufactura y construcción	16.1%	15.6%	21.6%	0.7%	2.4%
Industria de procesos	12%	0.1%	4.8%	1.3%	54.1%
Residencias y centro comerciales pequeños	43.1%	10.3%	25.5%	0.8%	6.2%
Emisiones de descomposición	1.1%	0.2%	1.4%	0.1%	15.8%
Transporte diferente al vehicular	3.6%	16.8%	8.3%	0	1.6%
Transporte vehicular	12.4%	33.6%	0.7%	1.5%	3.9%
Agricultura	4%	0.8%	87.6%		14.4%

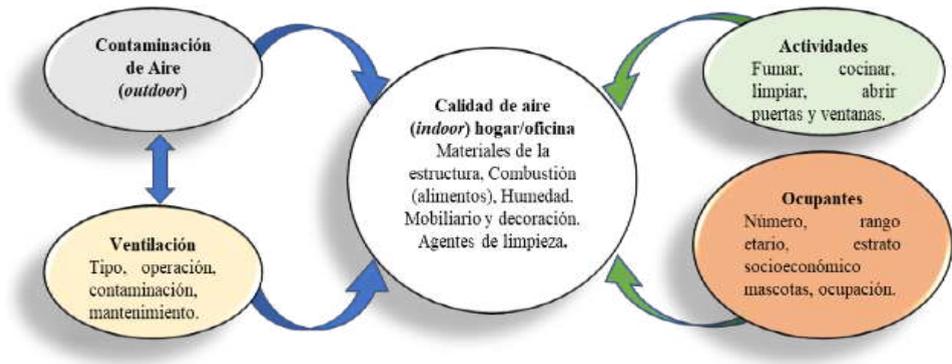
En la tabla PM<sub>2.5</sub>: material particulado de 2.5µm, NO<sub>2</sub>: dióxido de nitrógeno, SO<sub>2</sub>: dióxido de azufre, NH<sub>3</sub>: amonio, NMVOCs: compuestos orgánicos volátiles, diferentes al metano. \* Los valores de filas no suman 100%.

**Fuente:** elaboración propia (2020).

Debido a la contaminación del aire producida por enfermedades respiratorias, anualmente mueren 63.82 personas por cada 100.000 habitantes. La contaminación de aires se divide en contaminación *outdoor*, cuando se refiere a la contaminación en ambientes abiertos, –en estos su principal fuente es combustión vehicular, responsable de 42.35

muerres por cada 100.000 habitantes (tabla 12)– y la contaminación en ambientes cerrados *indoor* (figura 23), como son los hogares, oficinas u espacios cerrados, en los que se asocian a 21.47 muertes por cada 100.00 habitantes; en condiciones *indoor* las principales fuentes de contaminación son los productos de limpieza, métodos de cocción de alimentos y consumo de cigarrillo entre otras (Bo et al., 2017; Hannah, 2019).

**Figura 23.** Contaminación por materia particulado en áreas cerradas *indoor* (Livemit, 2019).



**Fuente:** elaboración propia (2020).

### **Características de los contaminantes en aire**

En esta sección se describen los contaminantes más frecuentes en el aire, que corresponden a: material particulado, ozono(O<sub>3</sub>), monóxido de carbono(CO), óxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxido de nitrógenos (NO<sub>x</sub>), plomo, compuestos orgánicos volátiles (COV) y Bioaerosoles (Chithra & Nagendra, 2018)(OMS, 2018c)(Năstase et al., 2018)but it also poses risks to the food security, the economy and the environment. The majority of the pollutants emitted by human activities derive from the production and use of fossil-fuel-based energy. Most energy-related emissions contain sulfur dioxide and nitrogen oxides. The principal source of sulfur dioxide originates from coal, and the main sources

of nitrogen oxide emissions are power generation and use of vehicles. Other important pollutants are the inhalable coarse particles (PM10

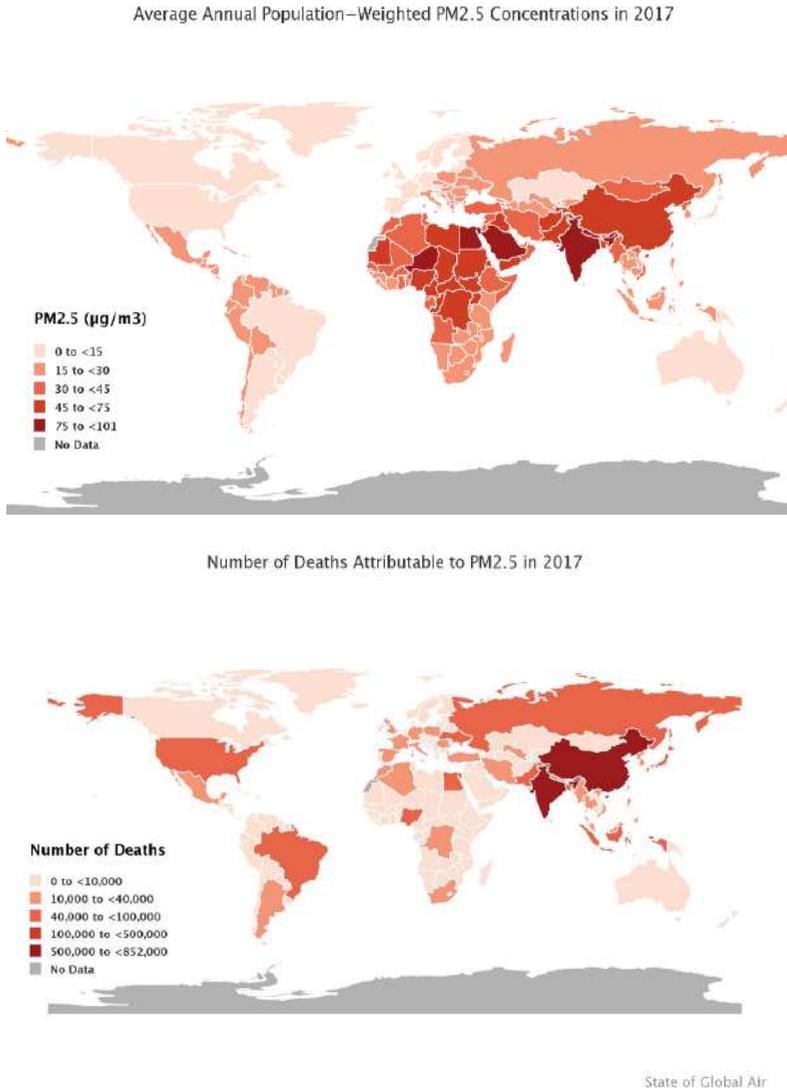
### **Material particulado**

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas, que se encuentran suspendidas en el aire; estas presentan variación en su composición, forma, tamaño, propiedades químicas y físicas; las propiedades químicas se asocian al impacto en la salud, y las propiedades físicas, a la capacidad de transportarse o mantenerse suspendidas en el aire. Son responsables de 38.15 muertes por cada 100.000 habitantes (Hannah, 2019). Una de sus características físicas más importantes, corresponde al diámetro aerodinámico, que se define cómo el diámetro que debería tener una esfera para que su velocidad terminal en aire sea la misma que la de la partícula de interés (V. Nuñez et al., 2020). Si bien las partículas suspendidas pueden ser clasificadas en partículas gruesas y finas, con relación a los efectos en la salud, se clasifican en  $PM_{10}$ , que son partículas con tamaños menores a  $10\mu m$ ,  $PM_{2.5}$ , con tamaños menores a  $2.5\mu m$  (Tabla 13), y UTF: *ultra fine particles*, que corresponden a partículas menores a  $0.1\mu m$  (Polichetti et al., 2009).

El materia particulado, se ha asociado al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (W. Wang et al., 2019) (Liang et al., 2020), así como la mortalidad (Figura 24) de estas (Du et al., 2016), complicaciones en cuadros asmáticos (Hao et al., 2017), dificultad para la respiración, reducción en la capacidad pulmonar (Guo et al., 2014), en niños la reducción en el peso (E. Kim et al., 2016), alteraciones en el desarrollo cerebral (Cserbik et al., 2020) desarrollo pulmonar (Isiugo et al., 2019) (Guo et al., 2019), cambios epigenéticos (Shukla et al., 2019), bronquitis crónica, silicosis, asbestosis, cáncer de pulmón (Li et al., 2017) entre otras (K. Kim et al., 2015). A nivel ambiental la contaminación por material particulado puede incrementar la acidez en

fuentes de aguas, reduce la cantidad de nutrientes en el suelo y afecta la diversidad biológica.

**Figura 24.** Concentración de PM2.5 y número de muertes por exposición para el 2017 (Health Effects Institute, 2019).



**Fuente:** <https://www.healtheffects.org/>

**Tabla 13.** Características generales de UTF, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>.

Características	UTF	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
Diámetro	Menor a <0.1 µm	Menor a 2.5 µm	Menor a 10 µm
Composición	Ca, S, P, Fe, O y compuestos menores de Zn,	SO <sub>2-4</sub> , NO <sub>3</sub> , amonio, NH <sub>4</sub> , H <sup>+</sup> , C, componentes orgánicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, partículas unidas al agua	Polvo, cenizas, óxidos metálicos de Si, Al, Mg, Ti, Fe, CaCO <sub>3</sub> , NaCl, sal marina; polen, esporas de moho y partes de plantas.
Fuentes	Combustión de diésel, gasolina, lubricantes, incendios forestales, incensio, cigarrillos, cocina	Combustión de carbón y combustibles, terpenos, procesos de alta temperatura (fundición)	Resuspensión de partículas de suelo, agricultura, minería, polvos construcción, combustión de carbón y petróleo y aspersión oceánica.
Duración	Minutos	Días a semanas	Minutos a horas
Distancia de vuelo (km)	0.3	100 a 1000	1 a 10
Penetración en el cuerpo humano	Pueden atravesar el tracto respiratorio hasta los alvéolos.  Penetran la barrera alveolar-capilar llegando al sistema circulatorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 2,1 a 3,3 µm</li> </ul> Área bronquial secundaria <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 1,1 a 2,1 µm</li> </ul> Paso del área bronquial terminal <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 0.65 a 1,1 µm</li> </ul> Penetrabilidad de los bronquiolos <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 0,43-0,65 µm</li> </ul> Penetrabilidad alveolar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menor all µm</li> </ul> Fosas nasales y al tracto respiratorio superior <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 7 a 11 µm</li> </ul> Cavidad nasal <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 4,7 a 7 µm</li> </ul> Laringe <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 3,3 a 4,7µm</li> </ul> área tráquea-bronquial

\*Tomada y modificada de (Jeong et al., 2015; K. Kim et al., 2015; Kwon, 2020; Manisalidis et al., 2020).

**Fuente:** elaboración propia (2020).

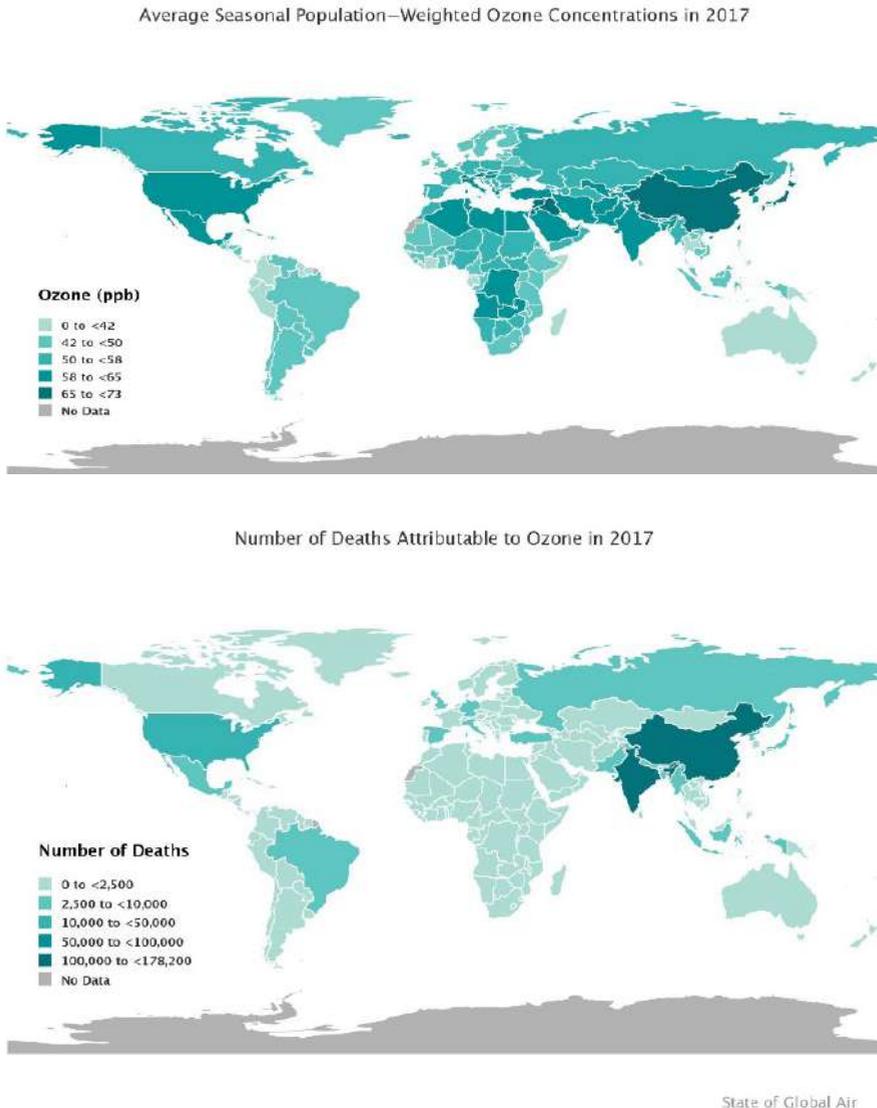
## **Ozono(O<sub>3</sub>)**

El ozono (O<sub>3</sub>) es considerado un contaminante del aire, cuando se presenta en la antroposfera ( nivel del suelo) a concentraciones iguales o mayores a 100µg/m<sup>3</sup> (OMS, 2018a). Este se origina por la reacción de oxidación entre el monóxido de carbono, metano u otros compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxido de nitrógeno, en presencia de luz UV(Ge et al., 2021). Este contaminante se ha asociado a muertes por asma, bronquitis, muerte en prematuros, infarto y otras patologías cardiovasculares (Z. Wang et al., 2019), muertes que presentan una tasa de 6.3 por 100.000 habitantes; adicionalmente deteriora la vegetación (Proietti et al., 2020; Tian et al., 2020). La tasa de muertes varía, en relación con la concentración presente, como se observa en la figura 25.

## **Monóxido de carbono (CO)**

Este gas incoloro e inodoro, es producido en condiciones naturales por la oxidación de la materia orgánica en presencia de UV, incendios naturales, erupciones volcánicas entre otras (Dey & Chandra Dhal, 2020; Scranton & de Angelis, 2001), o por acciones antropológicas (95%), especialmente por la combustión incompleta de combustibles (B. G. Miller, 2011). Su efecto nocivo en la salud, se asocia sus características de afinidad de unión al glóbulo rojo, que se estima entre 200 a 400 veces más que el oxígeno, provocando hipoxia (intoxicaciones en una tasa de 136 por millón de habitantes) y la muerte (4.6 casos por millón de habitantes) (Mattiuzzi & Lippi, 2020), en caso de exposición controlar que las concentraciones sean menores de 7mg/m<sup>3</sup> (WHO, 2018).

**Figura 25.** Concentración de Ozono (O<sub>3</sub>) y número de muertes por exposición para el 2019 (Health Effects Institute, 2019).



**Fuente:** <https://www.healtheffects.org/>

## **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

El dióxido de azufre se caracteriza por ser un gas incoloro con un fuerte olor; este proviene de actividades antropológicas entre las que se encuentran: la combustión de combustibles fósiles, carbón y aceites con alto contenido de azufre, calderas industriales y fundición de metales. En la naturaleza se libera durante erupciones volcánicas (35% a 65% de la emisión total) (Jain et al., 2016; B. Miller, 2015). En relación a este contaminante, se recomiendan exposiciones cortas de máximo 10 min, en ambientes con concentraciones de 500 µg/m<sup>3</sup> y que, en promedio para exposiciones de 24 h, la concentración de este en el ambiente sea inferior a 20 µg/m<sup>3</sup> (WHO, 2018). El óxido de azufre presenta diversos efectos en el medio ambiente y la salud humana, los cuales varían en relación con los compuestos químicos que este produce en la atmosfera, entre los que se encuentran: el ácido hiposulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>), anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y dióxido de azufre en agua. A nivel de ecosistemas acuáticos, los productos generados por el dióxido de azufre reducen el pH, incrementando la acidez; promueven la liberación de aluminio (Al), nutrientes y minerales en el suelo y provocan la reducción de crecimiento en peces y plantas (lluvia acida). En el ser humano puede provocar irritación en los ojos, nariz, garganta y pulmones, broncoconstricción, asma, bronquitis crónica, e inflamación del sistema respiratorio. También provoca daños a edificaciones (Jain et al., 2016; Wu et al., 2020).

## **Óxido de Nitrógeno (NOX)**

En este grupo se encuentran: el óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el óxido nítrico (NO), esto últimos, son los principales contaminantes del aire, siendo generados principalmente por la combustión de combustibles (Ji et al., 2019) y biomasa, altas energías como los rayos y la oxidación de amoníaco (Jain et al., 2016;

WHO, 2018). El  $\text{NO}_2$ , se caracteriza por su color marrón rojizo y olor acre cuando la concentración es igual o mayor a  $188 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , deben evitarse lugares con concentraciones de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (promedio anual) y  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (promedio en un hora) (Ackermann-Liebrich et al., 2019; WHO, 2018). La exposición a este contaminante se ha asociado a irritación en los ojos (Ji et al., 2019), envejecimiento cutáneo (Fussell & Kelly, 2020), diabetes gestacional (Robledo et al., 2015), nacimientos pretérmino (Ji et al., 2019), irritación en nariz y pulmones (Jiang et al., 2019), dificultad para la respirar, náuseas, discapacidad visual, asma, reducción en la asimilación de oxígeno, alteraciones en el sistema inmune ( $\text{CD8}^+$ , NK) (Manisalidis et al., 2020), edema pulmonar y muerte (Ackermann-Liebrich, 2011).

### **Plomo**

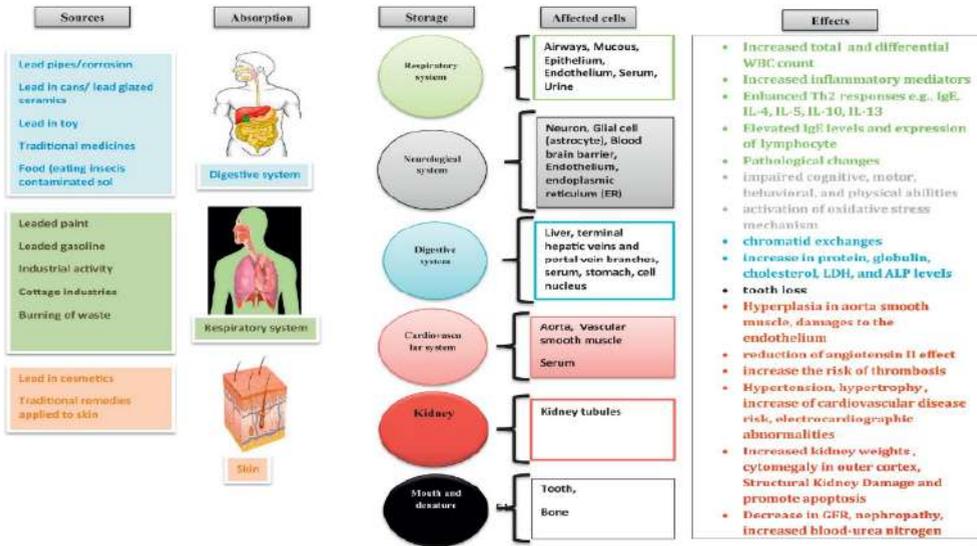
Este metal pesado puede ser liberado al aire por procesos industriales (minería, producción de baterías y reciclaje), combustión de combustibles (se utiliza como antidetonante), incineración de residuos y aguas residuales (EPA, 2017; Hai et al., 2018; Manisalidis et al., 2020; Sun et al., 2006) Los efectos tóxicos en humanos (figura 26), se relacionan con la inhalación, ingestión o absorción dérmica; en mujeres embarazadas este se le transmite al feto, en todos los casos se relaciona con efectos neurotóxicos, debido a la competencia por  $\text{Ca}^{2+}$  en las células nerviosas, problemas gastrointestinales, retraso de crecimiento, problemas cognitivos y muerte. (Boskabady et al., 2018; Nakata et al., 2017).

### **Compuestos orgánicos volátiles (COV)**

Estos compuestos orgánicos, pueden ser producidos por animales, plantas y microorganismos, (Bedia et al., 2018; Pennerman et al., 2016) estos últimos (MCOVS) se han relacionados con alergias, enfermedades respiratoria y el síndrome de edificio enfermo (Fu, 2016), al-

gunos autores los denominan bioaerosoles (Năstase et al., 2018). Estos compuestos se pueden encontrar en los solventes orgánicos (benceno, tolueno, xileno entre otros), que se emplean en la limpieza, pintura y mantenimiento, así como producto de la quema de material orgánico, combustibles, carbón y gas natural (Thurston, 2017), en general son sustancias que se evaporan rápidamente, liberando sus moléculas al aire por lo cual son más abundantes en espacios cerrados indoor.

**Figura 26.** Efectos tóxicos de la contaminación por plomo (Boskabady et al., 2018).



**Fuente:** Boskabady et al. (2018).

Estos compuestos adicionalmente puede reaccionar con los óxidos de nitrógeno y formar ozono a nivel de suelo, o smog, que contribuye al cambio climático (Bensouilah et al., 2020). La exposición crónica a estos puede desencadenar daño renal, hepático, neural, y cáncer (Iaqsciencie.lbl.gov, 2020); en caso de presentar exposiciones cortas,

puede haber irritación en los ojos, tracto respiratorio, mareos, fatiga, pérdida de la memoria y otros síntomas asociados a intoxicaciones leves (Jain et al., 2016).

### **Calidad de aire**

Finalmente, la calidad de aire será estimada por la concentración de los diferentes contaminantes, donde valores menores a los recomendados permitirían minimizar los riesgos de aparición de las patologías descritas; diferentes entidades o Estados, determinan los límites a seguir; se describen en la tabla 14.

### **Regresión logística**

La regresión logística, permite identificar el aporte de diferentes variables (categorías o continuas) en la ocurrencia o no de un fenómeno (binomial se presenta o no se presenta), este modelo implica entonces que la variable respuesta, presenta dos valores posibles 1/0, en relación a la regresión lineal, esta difiere en la estimación, ya que emplea el método de máximo-verisimilitud, en lugar que el método de suma de cuadrados (Minitab, 2019)

$$P(y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}}$$

Ecuación 1. Regresión logística de respuesta

**Tabla 14.** Límites de exposición de contaminantes de aire  
(Chithra & Nagendra, 2018).

IAQ parameters	Health symptoms	References
CO <sub>2</sub> , air exchange rates, particle counts	Nasal congestion, sore throat, headache	Kinshella <i>et al.</i> , 2001
Bioaerosols	Asthma, allergic rhinitis, atopic eczema	Meklin <i>et al.</i> , 2002
VOCs, bioaerosols	Respiratory irritation, asthmatic symptoms, common viral respiratory infection	Putus <i>et al.</i> , 2004
CO <sub>2</sub> , allergens	Wheeze, asthma, respiratory symptoms	Kim <i>et al.</i> , 2005
CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	Asthma, wheeze, breathlessness	Mi <i>et al.</i> , 2006
SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , HCHO	Asthma, wheezing, breathlessness	Zhao <i>et al.</i> , 2008
CO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>	Dry cough, rhinitis, nasal patency	Simoni <i>et al.</i> , 2010
PM	Rhinitis, asthma	Canha <i>et al.</i> , 2011
PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1</sub>	Allergies, dry flaking skin, dizziness	Habil and Taneja, 2011
PM <sub>2.5</sub> , NO <sub>2</sub> , acrolein, HCHO, acetaldehyde	Rhinoconjunctivitis, Asthma	Annesi-Maesano <i>et al.</i> , 2012
SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	Impaired lung function	Altuğ <i>et al.</i> , 2013
CO <sub>2</sub> , Temperature	Fatigue, stuffy nose, headache, wheezing, cough with wheezing, fever	Turunen <i>et al.</i> , 2014
CO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>	Difficulties in focusing, heavy headed and dizziness, feeling thirsty, feeling uncomfortable, heavy sweating, muscle pain	Elbayoumi <i>et al.</i> , 2015
CO <sub>2</sub> , Temperature, Relative humidity, Bacteria	Respiratory symptoms, Gastrointestinal symptoms	Haverinen-Shaughnessy <i>et al.</i> , 2015

NAAQS: Reviewing National Ambient Air Quality Standards, OSHA: Occupational Safety and Health Administration, NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health , ACGIH: Association advancing occupational and environmental health, WHO: World Health Organization, HCHO: Formaldehido, Lead: Plomo.

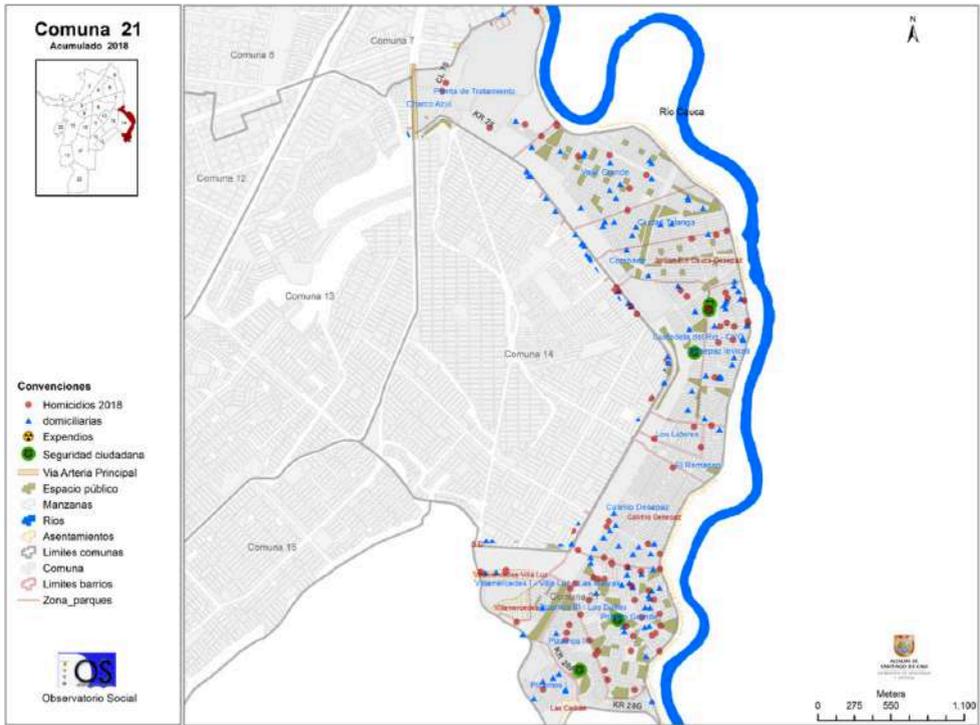
**Fuente:** Chithra & Nagendra (2018).

## Descripción de la comuna 21 de Cali

Se estima que en esta comuna viven más 108.790 habitantes (DANE, 2019) (6,3% indígena, el 17,9% afrodescendiente, el 11,5% mulato, el 23,4% blanco, y 26,6% mestizo); la distribución etaria indica que el 52.1% es menor de 24 años, el 39.1% tiene entre 25 y 59 años, y el 5% más de 60 años (Cadavid et al., 2019).

Territorialmente esta comuna se encuentra formada por 955 manzanas, que agrupan 8 barrios (Pízosos I, II y III, Las Dalias, Villa Mercedes, Calimío, Remansos de Comfandi, Ciudadela Desepaz) y 6 urbanizaciones (Urbanización Compartir, Ciudad Talanga, Proyectos Comunitarios, Coopopulares, Santa Ana, Las Dalias, Ciudadela del Río y Suerte 90)(El Tiempo, 1998). En relación con su ubicación geográfica, la comuna 21 se encuentra en zona oriente, donde limita con Navarro en la zona sur, el oriente y nororiente con el perímetro urbano, las comunas 13, 7 y 14 corresponden a los límites noroccidente, norte y occidente respectivamente (Figura 27) (Cadavid et al., 2019).

**Figura 27. Mapa Ubicación de la Comuna 21.**



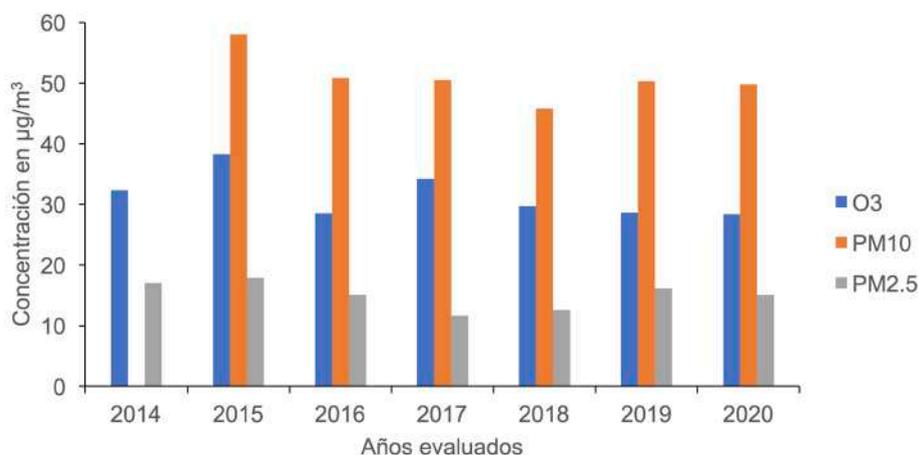
**Fuente:** Cadavid et al. (2019).

### **Contaminación de aire en la comuna 21**

En relación a la calidad de aire, los reportes indican que el aire en la ciudad de Cali, tiene calidad aceptable (los valores promedio corresponden a  $PM_{10}$ :  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{2.5}$ :  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $O_3$ :  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $SO_2$ :  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $NO_2$ :  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y  $CO$ :  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (IDEAM, 2020), donde el 93% de los contaminantes son generados por el tráfico; el 77% se atribuye a las motocicletas. Esta situación se relaciona a la circulación de automotores que no cumplen con condiciones óptimas de emisión de gases (54.85%) (El Pais, 2020).

En la comuna 21, se localiza un medidor de contaminación de aire, en el sector de Compartir; este presenta el registro de contaminación que se encuentra limitado temporalmente; a pesar de esto muestra la dinámica de la contaminación en el área (IDEAM, 2020). Para el ozono, se observa una reducción, desde el año 2017, encontrándose para el 2020 una concentración de  $28.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (figura 28); en contraste las concentraciones de PM10 y PM2.5, se incrementaron, presentando concentraciones para el 2020 de  $49.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $15.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente.

**Figura 28.** Concentración de O3, MP10 y MP2.5 para el 2020, en la comuna 21.



**Fuente:** elaboración propia (2020).

### 3.2. Metodología

Esta investigación correspondió a un estudio cuantitativo de tipo inferencial de corte transversal, donde se analizó la contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali, en el marco del proyecto macro denominado *Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2019*.

## **Caracterización de la población**

Esta se realizó, a 328 habitantes ( I.C + 93% L.C + 5% OpenEpi V3.01) de la comuna 21. La encuesta consistió en preguntas relacionadas al rango etario, salario, antigüedad de labor en la comuna, género, nivel académico, estrato socioeconómico, régimen de salud (en Colombia se puede clasificar en subsidiado o contributivo), exposición (realización de sus actividades en locales comerciales o en la vía pública), presencia de sintomatología respiratoria, los costos inducidos (indirectos) y la disposición a pagar por disminuir la contaminación (directos); el diseño de la encuesta se aprecia en <https://forms.gle/zc-qtNrrZVNGsStbP7>. Todas las personas encuestadas eran mayores de 18 años, ninguno de los cuales presentaron al momento del estudio, patologías asociadas al consumo de sustancias psicoactivas, cigarrillo (tabaco) ni exposición a fogón de leña.

## **Análisis estadístico**

Para establecer el modelo de probabilidad, las variables se integraron en un modelo logístico a través del programa estadístico Minitab 18. El análisis de la vulnerabilidad de los trabajadores expuestos incluyó los costos promedio por presentar una enfermedad respiratoria a partir del documento de la Organización Panamericana de Salud – POS (2008), actualizando los precios del años 2007, según la tasa de inflación promedio de Colombia entre los años 2007 y 2020 que ha sido del 4.13% anual. En total, la moneda presentó un aumento del 69.25% entre estos años.

### **3.3. Resultados**

Se encuestaron 171 personas, de estas el 52.45% pertenecía al género femenino, distribuyéndose en rangos etarios de 18 a 35 años (43.25 %), 36 a 50 años (45.71%) y más de 50 años (11.04); de estos

90 (27.61%) presentaron algún tipo de enfermedad relacionada a la contaminación. Se encontró un incremento en la proporción (calculada como media ponderada para cada rango) de personas que presentaron enfermedades con relación al rango etario (mayor al incrementar la edad), al igual que en la proporción de aquellas consideradas leves (15.56%) o graves (84.44 %). La distribución en los diferentes estratos socioeconómicos, mostró que el 47.87% (143) pertenecía a estrato 1, 54.29 % (117) al estrato 2 y 1.84% (6) al estrato 3; la aparición de las enfermedades se concentró en los estratos 1 (54.4%) y 2 (43.3%), lo cual se evidencia como resultado del número de individuos que componen cada categoría; a pesar de esto, se observó el incremento de la aparición de las enfermedades en relación al incremento del estrato. El 93.8% (306) de los encuestados había cursado primaria (34%) o eran bachilleres (59.8%), y solo el 4.5% (15) eran universitarios; la aparición de enfermedades mostró reducirse al aumentar su nivel académico. La exposición, es entendida como el desarrollo de las actividades en zonas diferentes a locales comerciales, y donde el individuo se expone directamente a las condiciones ambientales de la ciudad; en esta se presentaron 54 casos (60%) en contraste de 35 (38.9%) que se observaron en aquellos que realizaban sus labores en locales. La presencia de enfermedad en los encuestados se redujo al incrementarse el tiempo labor, y el salario, en relación con la antigüedad en el lugar se mantuvo similar (tabla 15).

**Tabla 15.** Características socioeconómicas y de exposición del personal encuestado.

	Enfermedad				Total	Gravedad				Total
	No		Si			Grave		Leve		
	F	M	F	M		F	M	F	M	
<b>Rango etario</b>										
18-35	55	56	16	14	141	1	1	15	13	30
36-50	56	49	27	17	149	3	5	24	12	44
> 50	10	10	7	9	36	2	2	5	7	16
<b>Estrato socioeconómico</b>										
1	55	39	29	20	143	2	5	27	15	49
2	65	73	20	19	177	4	3	16	16	39
3	1	3	1	1	6			1	1	2
<b>Nivel académico</b>										
Primaria	38	43	17	13	111	4	2	13	11	30
Bachillerato	79	65	29	22	195	2	4	27	18	51
Universitario	4	6	3	2	15			3	2	5
Ninguno		1	1	3	5		2	1	1	4
<b>Exposición a condiciones ambientales</b>										
Exterior	70	63	29	25	187	6	4	23	21	54
Exterior /Interior			1		1			1		1
Interior	51	52	20	15	138		4	20	11	35
<b>Horas labor por día</b>										
0-8 horas	59	62	24	14	159	2	1	22	13	38
8-12 horas	49	36	20	15	120	4	4	16	11	35
> 12 horas	13	17	6	11	47		3	6	8	17

<b>Antigüedad en la labor</b>										
> 36 meses	48	41	18	24	131	1	7	17	17	42
0 - 36 meses	73	74	32	16	195	5	1	27	15	48
<b>Régimen de salud</b>										
Subsidiado	96	79	37	24	236	6	4	30	20	60
Contributivo	25	36	13	16	90	0	4	13	12	29
<b>Ingresos en SMLV*</b>										
1	105	102	36	26	269	6	6	30	20	62
2	16	13	14	12	55		2	14	10	26
3				2	2				2	2

\*Salario mínimo legal vigente, para el 2020  
(234.33 dólares, a cambio 3789.50 pesos/dólar)

**Fuente:** elaboración propia (2020).

La asociación entre las diferentes variables sociodemográficas y la enfermedad se evaluó mediante la relación de riesgo (R.R); si bien las relaciones no fueron significativas, se encontró que la aparición de la enfermedad se incrementa en aquellos que trabajan por más de 12 horas, mayores a 35 años, que desempeñan su labores expuestos a condiciones medioambientales (calle) y con más de 36 meses de experiencia en la actividad. Adicionalmente encontramos que el estrato socioeconómico 1 y salarios mayores a dos salarios mínimos legales vigentes (SMLV), se asocian significativamente con la presencia de enfermedad (tabla 16).

**Tabla 16.** Asociación entre las variables socioeconómicas y enfermedad.

	Enfermedad		Total	Riesgo	Límites de confianza		p	R. R
	No	Si			L.I	L.S		
<b>Tiempo de exposición</b>								
0 - 8 horas	122	38	160	23.75	17.79	30.94	0.144	0.767
> 12 horas	116	52	168	30.95	24.44	38.32		
<b>Rango etario</b>								
15 - 35	133	46	179	25.70	19.83	32.58	0.439	0.870
36 - 50	105	44	149	29.53	22.78	37.31		
<b>Estrato socioeconómico</b>								
1.00	94	49	143	34.27	26.98	42.37	0.015	1.546
2 y 3	144	41	185	22.16	16.75	28.71		
<b>Nivel académico</b>								
Primaria	83	30	113	26.55	19.24	35.4	0.793	0.951
Bachillerato	155	60	215	27.91	22.33	34.26		
<b>Exposición</b>								
Exterior (Calle)	133	54	187	28.88	22.85	35.76	0.483	1.139
Interior (establecimiento)	103	35	138	25.36	18.81	33.25		
<b>Tiempo de labor</b>								
0 - 8 horas	122	38	160	23.75	17.79	30.94	0.144	0.767
> 12 horas	116	52	168	30.95	24.44	38.32		
<b>Antigüedad en el lugar</b>								
0 - 36 meses	147	48	195	24.62	19.08	31.13	0.153	0.774
> 36 meses	90	42	132	31.82	24.47	40.2		
<b>Régimen de salud</b>								
Subsidiado	175	61	236	25.85	20.67	31.8	0.251	0.802
Contributivo	61	29	90	32.22	23.44	42.46		

SMLV								
1.00	207	62	269	23.05	18.4	28.45	0.000	0.469
2.00	29	28	57	49.12	36.62	61.74		

\*Salario mínimo legal vigente, para el 2020 (234.33 dólares, a cabio 3789.50 pesos/dólar),  
L.I: límite de confianza inferior, L.S: límite de confianza superior, p:valor de probabilidad  
para test X2, R.R: razón de riesgo.

**Fuente:** elaboración propia (2020).

Los resultados previos mostraron un posible efecto de las diferentes variables sociodemográficas en la aparición de las enfermedades relacionadas a la contaminación por material particulado en el aire. El análisis del modelo de regresión binaria mostro que el único efecto significativo, correspondió a los ingresos económicos (SMMLV) (tabla 17).

**Tabla 17.** Modelo de regresión logística.

Fuente	GL	Dev. sec.	Contribución	Dev. ajust.	Media ajust.	Chi <sup>2</sup>	Valor p
Regresión	15	37.336	9.85%	37.336	2.489	37.34	0.001
Tiempo labor	2	2.623	0.69%	1.717	0.858	1.72	0.424
Antigüedad	1	1.220	0.32%	0.201	0.202	0.20	0.654
Exposición	1	0.734	0.19%	2.696	2.696	2.70	0.101
Genero	1	0.623	0.16%	0.697	0.697	0.70	0.404
Rango etario	2	5.490	1.45%	4.648	2.324	4.65	0.098
Régimen de salud	1	2.786	0.74%	0.176	0.176	0.18	0.675
Estrato socioeconómico	2	4.453	1.18%	3.992	1.996	3.99	0.136
SMLV	2	12.575	3.32%	12.041	6.020	12.04	0.002
Nivel académico	3	6.832	1.80%	6.832	2.2773	6.83	0.077
Error	305	341.666	90.15%	341.666	1.1202		
Total	320	379.002	100.00%				

**Fuente:** elaboración propia (2020).

De este primer resultado, se obtiene que las variables contribuyen al modelo un 9,85% con una probabilidad  $P=0,001$  y un Chi-Cuadrado de 37.34% por consiguiente se realiza la prueba de hipótesis.

Según los resultados del modelo de regresión el “nivel de ingresos”, es la variable que más relaciona con la presencia de enfermedades respiratorias en los trabajadores de la zona de estudio, como lo muestra la tabla 18.

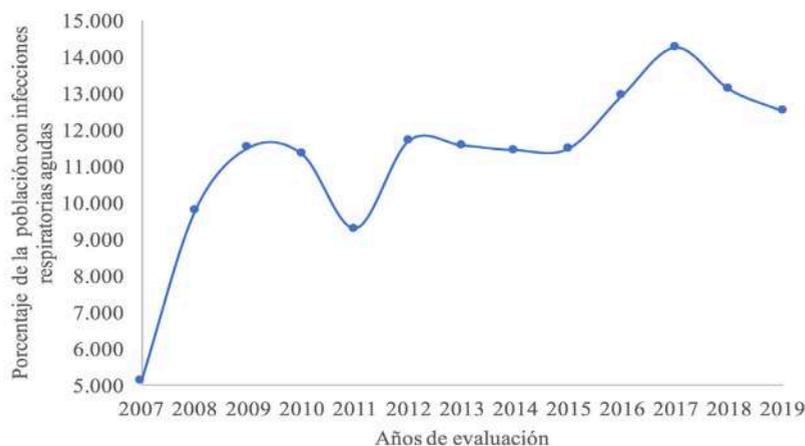
**Tabla 18.** Variable que mejor explica la vulnerabilidad a la enfermedad.

Fuente	GL	Desv. sec.	Contribución	Desv. ajust.	Media ajust.	Chi-cuadrada	Valor p
Ingresos	2	12.575	3.32%	12.041	6.0203	12.04	0.002

**Fuente:** elaboración propia (2020).

Debido a que se presenta  $P=0,002$ , explica que, entre menos ingresos se tengan, existe una mayor vulnerabilidad de presentar una enfermedad por causa de la contaminación del aire por material particulado en los vendedores de la zona de estudio.

En relación a los costos asociados a la contaminación por material particulado, aun aproximado, se muestran los registros de afecciones respiratorias agudas en Colombia, con la salvedad que existe en la relación entre material particulado y otras patologías, entre las que se encuentran problemas cardiovasculares, neuronales, renales y cáncer, datos que no se consideraron en el análisis de costos. En nuestro país encontramos que durante el periodo 2015 a 2019, el 12.5% de la población reportó una afección respiratoria aguda, registrándose reducciones a partir del 2018 (figura 29).

**Figura 29.** Porcentaje de la población colombiana con enfermedades respiratorias agudas entre el 2007 a 2019.

**Fuente:** elaboración propia (2019).

Este tipo de enfermedades se asocia con una carga económica, que se encuentra solventada por el sistema nacional de salud, y entidades privadas (instituciones prestadoras de salud); la estimación de esta carga se realizó considerando los valores referencia presentados en la tabla 19.

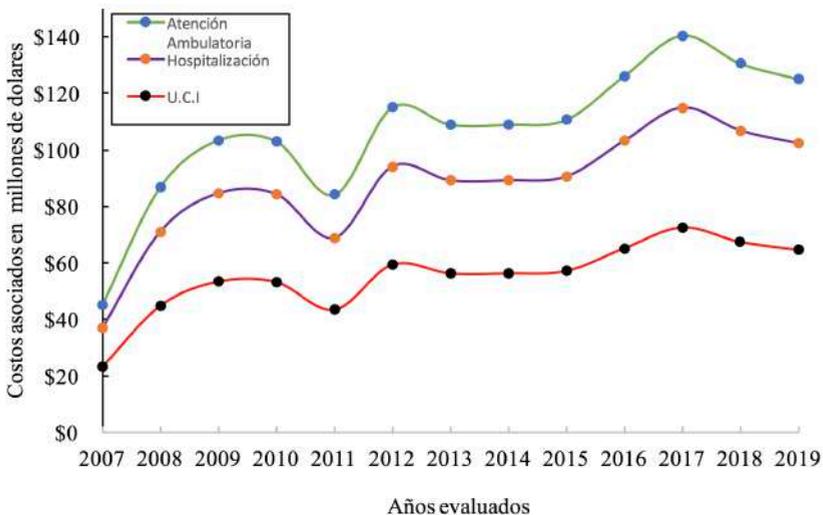
**Tabla 19.** Análisis básico de costos por presentar enfermedad respiratoria.

ITEM de costo	Costo USD
Atención Ambulatoria	\$ 22
Sala ERA	\$ 34
Observación en urgencias	\$ 60
Hospitalización en casa	\$ 123
Hospital Baja Complejidad + Hos. Día	\$ 192
	\$ 431

**Fuente:** elaboración propia, adaptada de Organización Panamericana de Salud - OPS (2008).

Estimamos que aproximadamente se han destinado 3.4 billones de dolares en la atención de personas que presentaron enfermedades respiratorias agudas en el periodo comprendido entre el 2006 a 2019, donde 1.4 billones de dolares se destinaron a atención ambulatoria, 1.1 billones en gastos de hospitalización y 770 millones en gastos de unidades cuidados intensivos; en este último solo se consideraron cinco días en la unidad. Solo los últimos cinco años (2014-2019), los gastos fueron de 1.7 billones, estimándose que en promedio los costos de atención ambulatoria, hospitalización y UCI (unidad de cuidados intensivos), correspondieron a 123, 101 y 63 millones de dolares respectivamente; es importante anotar que el costo en pesos es fluctuante, y está sujeto a la variación en el coste de la tasa de cambio; a pesar de esto se estima que para el 2019 la atención de un paciente oscilaría entre 85.510 a 1.609.218 de pesos (dólar: 3887 pesos) por día (figura 30).

**Figura 30.** Gastos estimados en la atención de la población colombiana con enfermedades respiratorias agudas entre el 2007 a 2019.



**Fuente:** elaboración propia (2019).

### 3.4. Discusión

Esta investigación describe la relación entre la contaminación del aire y la vulnerabilidad de individuos expuestos en la comuna 21 de la ciudad de Cali 2020, sector que se caracteriza por presentar una calidad de aire aceptable (El País, 2020).

La distribución etaria, el nivel educativo e ingresos económicos de la población encuestada en este estudio, concuerda con lo reportado previamente por la alcaldía de Cali (Cadavid et al., 2019), y es característico de la población latinoamericana expuesta a la contaminación en el aire (OMS, 2018a, 2019); en este sentido es una población joven, menor de 35 años (43%), con nivel académico que no supera el bachillerato (93%), estrato socioeconómico entre 1 y 2 (98%9), además de un ingreso económico no superior a un salario mínimo legal vigente, catalogándolos como una población vulnerable (J. Hernández et al., 2018).

Cuando se realizó el análisis de razón de riesgo a nuestros resultados, se observó que no existe en la población evaluada relación entre la exposición a las variables (rango etario, exposición, ingresos y antigüedad en la labor) y el incremento en el riesgo, medido como la sintomatología. A pesar de esto, se conoce que estar expuesto a contaminación ambiental, se relaciona a la aparición de patologías respiratorias, entre otras (Chinthra & Shiva, 2018; Gabriel et al., 2018; J. Hernández et al., 2018). Cuando se pondera por el número de participantes en cada rango etario, encontramos el incremento en el porcentaje de enfermedad, que correspondió a 29.5% para personas entre 35 a 50 años, y a 44% para personas mayores a 50 años, lo cual concuerda con los estudios que señalan la relación entre el incremento en la edad y la aparición de patologías o sintomatologías respiratorias, como lo reporta la literatura. (Lelieveld et al., 2018; Noomnual & Shendell, 2017; Public Health England, 2018).

Otro factor asociado es la exposición, medida en nuestro estudio como antigüedad, y exposición (intemperie/local); nuestros resultados muestran un número similar de afectados en relación a estas variables, lo cual puede ser explicado, por los diferentes tipos de contaminación *indoor* y *outdoor*, la usencia de diferencia entre estos podría señalar, que no existen sistemas de ventilación, que estos son defectuosos o inadecuados para el control del ingreso de la contaminación ambiental a los locales, que se comportarían como ambientes cerrados (Bo et al., 2017; Chinthra & Shiva, 2018; Livemit, 2019). Adicionalmente, los sistemas de monitoreo de calidad de aire evalúan las condiciones ambientales, por lo que los ambientes cerrados, requerirían de evaluaciones particulares, así mismo la inclusión en la encuesta de utilización de agentes de contaminación como lo son limpiadores, y factores de consumo de cigarrillo. Estos resultados señalan que no existe diferencia entre el vendedor ambulante, entendiéndose como aquel que desempeña su labor en calle, sin un local fijo, y por su naturaleza con mayor exposición a los contaminantes ambientales (Amegah & Jaakkola, 2013; Kongtip et al., 2006; Noomnual & Shendell, 2017).

El modelo de regresión logística, al igual que la prueba de razón de riesgo, señalan como significativa la variable ingreso SMMLV, que en relación con la aparición de la enfermedad o sintomatología, es confusa, pero podría ser explicarse, si se integra a la encuesta, preguntas orientadas a evaluar el nivel de estrés, un factor que puede ser el resultado de esta exposición (IQAir, 2020), este puede afectar el sistema inmune e incrementar la aparición de patologías, entre estas respiratorias, por sus efectos a nivel de estrés oxidativo, y que en nuestra investigación, se ve expresada por esta relación (Fuller et al., 2017; Münzel et al., 2017; Münzel & Daiber, 2018).

Finalmente los datos asociados al gasto público en la atención de enfermedades relacionadas a la contaminación ambiental, muestran la

necesidad de fortalecer la vigilancia de los emisores de contaminantes, que en general corresponde al sistema vehicular, que si bien presenta regulación, actualmente no todo el parque automotor cumple con estos requisitos (El Pais, 2020).

### 3.5. Conclusiones

Nuestro estudio indica la relación entre la contaminación ambiental y la sintomatología (enfermedad) al incrementarse la edad, siendo la población mayor de 50 años la más afectada.

En la población evaluada, los resultados en relación a la exposición, indicarían que en la comuna no existe una cultura de prevención o cuidado respecto a la contaminación ambiental, eso sugerido por la frecuencia similar de enfermedad en condiciones ambientales (*outdoor*) y de local (*indoor*).

La contaminación del aire corresponde a un problema de salud pública en Colombia y un factor asociado a gasto público, que puede ser reducido, al vigilar de forma más eficiente el parque automotor, el cual es el responsable del más del 80%, de la contaminación en aire, y éste un factor de desarrollo de patologías, respiratorias y cardiovasculares entre otras.

### 3.6. Referencias

- Ackermann-Liebrich, U. (2011). Respiratory and Cardiovascular Effects of NO<sub>2</sub> in Epidemiological Studies. In J. O. B. T.-E. of E. H. Nriagu (Ed.) (pp. 840–844). Burlington: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00065-9>
- Ackermann-Liebrich, U., Felber Dietrich, D., & Joss, M. K. B. T.-R. M. in E. S. and E. S. (2019). Respiratory and Cardiovascular Effects of NO<sub>2</sub>. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.02128-X>
- Amegah, A., & Jaakkola, J. (2013). Work as a street vendor, associated traffic-related air pollution exposures and risk of adverse pregnancy outcomes in Accra, Ghana. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.07.010>
- Bedia, C., Cardoso, P., Dalmau, N., Garreta-Lara, E., Gómez-Canela, C., Gorrochategui, E. y Tauler, R. (2018). C Applications of Metabolomics Analysis in Environmental Research. In J. Jaumot, C. Bedia, & R. B. T.-C. A. C. Tauler (Eds.), *Data Analysis for Omic Sciences: Methods and Applications* (Vol. 82, pp. 533–582). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.coac.2018.07.006>
- Bensouilah, R., Knani, S., Mansour, S., & Ksibi, Z. (2020). Air pollution (volatile organic compound, etc.) and climate change. In A. Figoli, Y. Li, & A. B. T.-C. T. and F. D. on (Bio-) M. Basile (Eds.), *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (pp. 31–46). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816778-6.00002-3>

- Bo, M., Salizzoni, P., Clerico, M., & Buccolieri, R. (2017). Assessment of Indoor-Outdoor Particulate Matter Air Pollution : A Review. *Atmosphere*, 8(136). <https://doi.org/10.3390/atmos8080136>
- Boskabady, M., Marefati, N., Farkhondeh, T., Shakeri, F., & Farshbaf, A. (2018). The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of inflammatory mechanisms, a review. *Environment International*, 120(July), 404–420. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.013>
- Cadavid, M. A., Villamizar, A., Uribe, P., & Loaiza, J. (2019). Caracterización Comuna 21. Cali-Colombia: Alcaldía de Santiago de Cali.
- Chinthra, V., & Shiva, N. (2018). A review of scientific evidence on indoor air of school building : pollutants, sources, health effects and management. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 12(2), 87–108. <https://doi.org/doi>: <https://doi.org/10.5572/ajae.2018.12.2.87>
- Chithra, V. ., & Nagendra, S. (2018). A review of scientific evidence on indoor air of school building : pollutants, sources, health effects and management. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 12(2), pp. 87–108.
- Conceição, G. M. S., Miraglia, S. G. E. K., Kishi, H. S., Saldiva, P. H. N., & Singer, J. M. (2001). Air Pollution and Child Mortality : A Time – Series Study in São Paulo, Brazil. *Environmental Health Perspectives*, 109(April), 347–350.
- Cserbik, D., Chen, J., Mcconnell, R., Berhane, K., Sowell, E. R., Schwartz, J., ... Herting, M. M. (2020). Fine particulate matter exposure during childhood relates to hemispheric- specific differences in brain structure. *Environment International*, 143 (December 2019), 105933. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105933>

- DANE. (2019). Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Cali-Colombia. Retrieved from <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190711-CNPV-presentacion-valle.pdf>
- Dey, S., & Chandra Dhal, G. (2020). Controlling carbon monoxide emissions from automobile vehicle exhaust using copper oxide catalysts in a catalytic converter. *Materials Today Chemistry*, 17, 100282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2020.100282>
- Du, Y., Xu, X., Chu, M., Guo, Y., & Wang, J. (2016). Air particulate matter and cardiovascular disease : the epidemiological, biomedical and clinical evidence. *Review Article on Pollutational Haze*, 8(1), 8–19. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2015.11.37>
- El Pais. (2020). Desmejora la calidad del aire en Cali, ¿qué lo está contaminando?. Retrieved October 9, 2020, from <https://www.elpais.com.co/cali/desmejora-la-dad-del-aire-en-que-lo-esta-contaminando.html>
- El Tiempo. (2018). Las ciudades más contaminadas de Colombia -. Retrieved September 27, 2020, from <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/las-ciudades-mas-contaminadas-de-colombia-244542#:~:text=De acuerdo con los datos,calidad del aire en Colombia.>
- El Tiempo. (1998). Vías, dolor de cabeza de comuna 21. Retrieved October 6, 2020, from <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-850050#:~:text=Los barrios y asentamientos que,90%2C Los habitantes solicitaron que>
- EPA. (2017). *Basic Information about Lead Air Pollution*. Retrieved October 6, 2020, from <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/basic-information-about-lead-air-pollution>

- Fu, X. (2016). Indoor Microbial Volatile Organic Compound (MVOC) Levels and Associations with Respiratory Health, Sick Building Syndrome (SBS), and Allergy. In C. Viegas, A. C. Pinheiro, R. Sabino, S. Viegas, J. Brandão, & C. B. T.-E. M. in P. H. Veríssimo (Eds.), *Environmental Mycology in Public Health* (pp. 387–395). Amsterdam: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411471-5.00022-3>
- Fuller, C. H., Feeser, K. R., Sarnat, J. A., & Neill, M. S. O. (2017). Air pollution, cardiovascular endpoints and susceptibility by stress and material resources : a systematic review of the evidence. *Environmental Health*, 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0270-0>
- Fussell, J. C., & Kelly, F. J. (2020). Free Radical Biology and Medicine Oxidative contribution of air pollution to extrinsic skin ageing. *Free Radical Biology and Medicine*, 151(November 2019), 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.11.038>
- Gabriel, N., Alexandru, Ş, Florentina, A., & Dragomir, G. (2018). Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania. *Atmospheric Environment*, 184, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.034>
- Ge, S., Wang, S., Xu, Q., & Ho, T. (2021). Characterization and sensitivity analysis on ozone pollution over the Beaumont-Port Arthur Area in Texas of USA through source apportionment technologies. *Atmospheric Research*, 247, 105249. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105249>
- Guo, C., Hoek, G., Chang, L., Bo, Y., Lin, C., Huang, B. & Lao, X. Q. (2019). Long-Term Exposure to Ambient Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) and Lung Function in Children, Adolescents , and Young Adults : A Longitudinal Cohort Study. *BMC Medicine*, 127(12), 1–9.

- Guo, C., Zhang, Z., Lau, A. K. H., Lin, C. Q., Chuang, Y. C., Chan, J., ... Yeoh, E. (2014). Articles Effect of long-term exposure to fine particulate matter on lung function decline and risk of chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan : a longitudinal, cohort study. *The Lancet Planetary Health*, 2(3), e114–e125. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30028-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30028-7)
- Hai, D. N., Tung, L. Van, Van, D. K., Binh, T. T., Phuong, H. L., Trung, N. D. & Khue, P. M. (2018). *Lead Environmental Pollution and Childhood Lead Poisoning at Ban Thi Commune, Bac Kan Province, Vietnam*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5156812>
- Hannah, R. (2019). *Outdoor Air Pollution - Our World in Data*. Retrieved October 5, 2020, from <https://ourworldindata.org/outdoor-air-pollution#citation>
- Hao, Y., Zhang, G., Han, B., Xu, X., Feng, N., Li, Y. & Xia, Z. (2017). Prospective evaluation of respiratory health benefits from reduced exposure to airborne particulate matter. *International Journal of Environmental Health Research*, 3123, 0. <https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1292497>
- Health Effects Institute. (2019). *State of Global Air 2019*. Retrieved October 5, 2020, from <https://www.stateofglobalair.org/data/#/health/map>
- Hernández, J., Cardona-Arango, D., & Segura-Cardona, A. M. (2018). Construcción y análisis de un índice de vulnerabilidad social en la población joven. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 16(1), 403–412. <https://doi.org/10.11600/1692715x.16125>
- Iaqsciencie.lbl.gov. (2020). VOCs and Cancer. Retrieved October 6, 2020, from <https://iaqscience.lbl.gov/voc-cancer>

IDEAM. (2016). Calidad del aire. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

IDEAM. (2020). SISAIRE - IDEAM. Retrieved October 9, 2020, from [http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/calidad\\_aire\\_municipio.xhtml](http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/calidad_aire_municipio.xhtml)

IQAir. (2018). World air quality. Retrieved from file:///D:/New folder/world-air-quality-report-2018-en.pdf

IQAir. (2020). Stress and Air Pollution \_ IQAir. Retrieved October 9, 2020, from <https://www.iqair.com/blog/health-wellness/air-pollution-stress-and-your-health>

Isiugo, K., Jandarov, R., Cox, J., Ryan, P., Newman, N., Grinshpun, S. A., Reponen, T. (2019). Science of the Total Environment Indoor particulate matter and lung function in children. *Science of the Total Environment*, 663, 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.309>

Jain, R. K., Cui, Z. “Cindy,” & Domen, J. K. (2016). Environmental Impacts of Mining. In R. K. Jain, Z. “Cindy” Cui, & J. K. B. T.-E. I. of M. and M. P. Domen (Eds.), *Environmental Impact of Mining and Mineral Processing* (pp. 53–157). Boston: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804040-9.00004-8>

Jakubiak-lasocka, J., Lasocki, J., & Badyda, A. J. (2015). The Influence of Particulate Matter on Respiratory Morbidity and Mortality in Children and Infants. *Adv Exp. Medicine, Biology - Neuroscience and Respiration*, 10, 39–48. <https://doi.org/10.1007/5584>

Jeong, C. H., Evans, G. J., Healy, R. M., Jadidian, P., Wentzell, J., Liggio, J., & Brook, J. R. (2015). Rapid physical and chemical trans-

- formation of traffic-related atmospheric particles near a highway. *Atmospheric Pollution Research*, 6(4), 662–672. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.075>
- Ji, X., Meng, X., Liu, C., Chen, R., Ge, Y., Kan, L., & Fu, Q. (2019). Nitrogen dioxide air pollution and preterm birth in Shanghai, China. *Environmental Research*, 169(June 2018), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.007>
- Jiang, Y., Niu, Y., Xia, Y., Liu, C., Lin, Z., Wang, W., Kan, H. (2019). Effects of personal nitrogen dioxide exposure on airway inflammation and. *Environmental Research Journal*, 177(August), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108620>
- Kim, E., Park, H., Ae, E., Hong, Y., Ha, M., Kim, H., & Ha, E. (2016). Particulate matter and early childhood body weight. *Environment International*, 94, 591–599. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.021>
- Kim, K., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>
- Kongtip, P., Thongsuk, W., Yoosook, W., & Chantanakul, S. (2006). Health effects of metropolitan traffic-related air pollutants on street vendors. *Atmospheric Environment*, 40(37), 7138–7145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.025>
- Kousehlar, M., & Widom, E. (2019). Applied Geochemistry Sources of metals in atmospheric particulate matter in Tehran, Iran : Tree bark biomonitoring. *Applied Geochemistry*, 104(November 2018), 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.03.018>

- Kwon, H. (2020). Ultra fine particles : unique physicochemical properties relevant to health and disease. *Experimental & Molecular Medicine*, 52, 318–328. <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0405-1>
- Lelieveld, J., Haines, A., & Pozzer, A. (2018). Age-dependent health risk from ambient air pollution: a modelling and data analysis of childhood mortality in middle-income and low-income countries. *The Lancet Planetary Health*, 2(7), e292–e300. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30147-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30147-5)
- Li, J., Li, W., Bai, C., & Song, Y. (2017). Particulate matter-induced epigenetic changes and lung cancer. *The Clinical Respiratory Journal*, (2), 539–546. <https://doi.org/10.1111/crj.12389>
- Liang, F., Liu, F., Huang, K., Yang, X., Li, J., Xiao, Q., Gu, D. (2020). Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Cardiovascular Disease in China. *Journal of the American College of Cardiology*, 75(7), 707 LP – 717. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.12.031>
- Livemint. (2019). *Indoor air pollution the invisible adversary*. Retrieved September 27, 2020, from <https://www.livemint.com/mint-lounge/features/indoor-air-pollution-the-invisible-adversary-1567759328936.html>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., & Stavropoulos, A. (2020). *Environmental and Health Impacts of Air Pollution : A Review*. *Front. Public Health*, 8, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Mattiuzzi, C., & Lippi, G. (2020). Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning. *Human and Experimental Toxicology*, 39(4), 387–392. <https://doi.org/10.1177/0960327119891214>
- Miller, B. (2015). 4 - Sulfur oxides formation and control. In B. B. T.-F. F. E. C. T. Miller (Ed.), *Fossil Fuel Emissions Control Technologies*

(pp. 197–242). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801566-7.00004-X>

Miller, B. G. (2011). The Effect of Coal Usage on Human Health and the Environment. In B. G. B. T.-C. C. E. T. Miller (Ed.), *Clean Coal Engineering Technology* (pp. 85–132). Boston: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-710-8.00004-2>

Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. Resolución 2254 del 2017. "Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones" (2017). Bogotá-Colombia: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia. Retrieved from <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=82634>

Minitab. (2019). Revisión general de ajustar modelo logístico binario - Minitab. Retrieved October 6, 2020, from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fit-binary-logistic-model/before-you-start/overview/>

Münzel, T., & Daiber, A. (2018, March). *Environmental Stressors and Their Impact on Health and Disease with Focus on Oxidative Stress. Antioxidants & Redox Signaling*. United States. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7488>

Münzel, T., Sørensen, M., Gori, T., Schmidt, F. P., Rao, X., Brook, F. R., Rajagopalan, S. (2017). Environmental stressors and cardio-metabolic disease: part II-mechanistic insights. *European Heart Journal*, 38(8), 557–564. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw294>

Nakata, H., Nakayama, S. M. M., Oroszlany, B., & Ikenaka, Y. (2017). Monitoring Lead (Pb) Pollution and Identifying Pb Pollution Sources in Japan Using Stable Pb Isotope Analysis with Kidneys of

Wild Rats. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(1), 56. <https://doi.org/10.3390/ijerph14010056>

Năstase, G., Șerban, A., Năstase, A. F., Dragomir, G., & Brezeanu, A. I. (2018). Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania. *Atmospheric Environment*, 184, 292–303. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.034>

Noomnual, S., & Shendell, D. G. (2017). Young Adult Street Vendors and Adverse Respiratory Health Outcomes in Bangkok, Thailand. *Safety and Health at Work*, 8(4), 407–409. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.02.002>

Nuñez, V., Rojas, R., Martín, M. O., Machado, A., Oca, M. De, Arbolaez, P., ... Sánchez, D. A. (2020). Estimación de la carga contaminante por PM 10 en los municipios costeros, provincia Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(1), 1–9.

OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Retrieved from [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf;jsessionid=D655B2A562D8508E3E49A4CBE519A232?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=D655B2A562D8508E3E49A4CBE519A232?sequence=1)

OMS. (2018a). Ambient (outdoor) air pollution. Retrieved October 5, 2020, from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

OMS. (2018b). Contaminación del Aire Ambiental. Retrieved September 26, 2020, from [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es)

- OMS. (2018c). Types of pollutants. Retrieved October 5, 2020, from <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/ambient-air-pollution/pollutants/types-of-pollutants>
- OMS. (2019). Determinantes sociales de la salud. Retrieved August 24, 2019, from [https://www.who.int/social\\_determinants/thecommission/finalreport/key\\_concepts/es/](https://www.who.int/social_determinants/thecommission/finalreport/key_concepts/es/)
- Ortiz, C., Linares, C., Carmona, R., & Díaz, J. (2017). Evaluation of short-term mortality attributable to particulate matter pollution in Spain. *Environmental Pollution*, 224, 541–551. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.037>
- Pennerman, K. K., AL-Maliki, H. S., Lee, S., & Bennett, J. W. (2016). Fungal Volatile Organic Compounds (VOCs) and the Genus *Aspergillus*. In V. K. B. T.-N. and F. D. in M. B. and B. Gupta (Ed.), *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 95–115). Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00007-5>
- Polichetti, G., Cocco, S., Spinali, A., Trimarco, V., & Nunziata, A. (2009). Effects of particulate matter (PM 10 , PM 2 . 5 and PM 1) on the cardiovascular system. *Toxicology*, 261(2), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.04.035>
- Proietti, C., Coulibaly, F., & Marco, A. De. (2020). Ozone weekend effect in cities : Deep insights for urban air pollution control. *Environmental Research*, 191(September). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110193>
- Public Health England. (2018). Health matters air pollution -. Retrieved September 27, 2020, from <https://www.gov.uk/govern->

ment/publications/health-matters-air-pollution/health-matters-air-pollution

- Robledo, C. A., Mendola, P., Yeung, E., Männistö, T., Sundaram, R., Liu, D., Grantz, K. L. (2015). Preconception and early pregnancy air pollution exposures and risk of gestational diabetes mellitus. *Environmental Research*, 137, 316–322. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.020>
- Scranton, M. I., & de Angelis, M. A. (2001). Gas Exchange in Estuaries. In J. H. B. T.-E. of O. S. (Second E. Steele (Ed.), *Encyclopedia of Ocean Sciences* (Second Edi, pp. 1–8). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00080-1>
- Shukla, A., Bunkar, N., Kumar, R., Bhargava, A., Tiwari, R., Chaudhury, K., Mishra, P. K. (2019). Air pollution associated epigenetic modifications: Transgenerational inheritance and underlying molecular mechanisms. *Science of The Total Environment*, 656, 760–777. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.381>
- Sun, Y., Zhuang, G., Zhang, W., Wang, Y., & Zhuang, Y. (2006). *Characteristics and sources of lead pollution after phasing out leaded gasoline in Beijing*, 40, 2973–2985. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.032>
- Thurston, G. D. (2017). Outdoor Air Pollution: Sources, Atmospheric Transport, and Human Health Effects. In S. R. B. T.-I. E. of P. H. (Second E. Quah (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health* (2nd ed., pp. 367–377). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00320-9>
- Tian, Y., Wu, Y., Liu, H., Si, Y., Wu, Y., & Wang, X. (2020). The impact of ambient ozone pollution on pneumonia : A nationwide time-

series analysis. *Environment International*, 136(September 2019), 105498. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105498>

Vallack, H. W., Philip, S., Martin, R. V, Snider, G., Weagle, C. L., & Donkelaar, A. Van. (2017). Anthropogenic fugitive , combustion and industrial dust is a significant , underrepresented fine particulate matter source in global atmospheric models Anthropogenic fugitive , combustion and industrial dust is a significant , underrepresented fine partic. *Environmental Research Letters*, 12(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa65a4>

Wang, W., Liu, C., Ying, Z., Lei, X., Wang, C., Huo, J., Kan, H. (2019). Particulate air pollution and ischemic stroke hospitalization: How the associations vary by constituents in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 695, 133780. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133780>

Wang, Z., Lv, J., Tan, Y., Guo, M., Gu, Y., Xu, S., & Zhou, Y. (2019). Temporospatial variations and Spearman correlation analysis of ozone concentrations to nitrogen dioxide, sulfur dioxide , particulate matters and carbon monoxide in ambient air , China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(4), 1203–1210. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.02.003>

WHO. (2018). Carbon monoxide. In *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. (pp. 55–102). WHO Regional Office for Europe. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138710/>

Wu, Y., Li, R., Cui, L., Meng, Y., Cheng, H., & Fu, H. (2020). The high-resolution estimation of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) concentration, health effect and monetary costs in Beijing. *Chemosphere*, 241, 125031. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125031>

Zeng, J., & Han, G. (2020). Tracing zinc sources with Zn isotope of fluvial suspended particulate matter in Zhujiang River, southwest China. *Ecological Indicators*, 118(June), 106723. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106723>

# Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Difractogramas (DRX) de las muestras de zeolitas estudiadas .....	27
<b>Figura 2.</b> Espectro de FT-IR de las zeolitas A, B, C y D. ....	29
<b>Figura 3.</b> Espectro de FT-IR de las zeolitas A, B, C y D cargadas con NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	30
<b>Figura 4.</b> Termogramas de las zeolitas comerciales A, B, C y D .....	32
<b>Figura 5.</b> Termogramas de las zeolitas comerciales A, B, C y D cargadas con NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> . ....	33
<b>Figura 6.</b> Imágenes de microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDS) de las zeolitas A, B, C y D .....	34
<b>Figura 7.</b> Índice de retención de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> de las zeolitas comerciales A, B, C y D. ....	40
<b>Figura 8.</b> Tasa de adsorción de amonio. ....	41
<b>Figura 9.</b> Volatilización de amonio con diferentes concentraciones de material zeolítico. ....	45
<b>Figura 10.</b> Fases metodológicas de estudio .....	63
<b>Figura 11.</b> Zona de estudio. ....	64
<b>Figura 12.</b> Ubicación de los 12 puntos de muestreo .....	67
<b>Figura 13.</b> Condiciones de salud vs edad. ....	71
<b>Figura 14.</b> Tipo de actividad vs exposición a ruido .....	72
<b>Figura 15.</b> Condiciones de salud vs tiempo realizando la actividad. ...	72
<b>Figura 16.</b> Condiciones de salud vs actividades extralaborales. ....	73
<b>Figura 17.</b> Diagrama de cajas y alambres medición viernes. ....	74
<b>Figura 18.</b> Diagrama de cajas y alambres medición sábado. ....	75

<b>Figura 19.</b> Resultado dosimetría día entre semana. ....	77
<b>Figura 20.</b> Resultado dosimetría sábado. ....	78
<b>Figura 21.</b> Mapas día viernes por rango de medición, referencia del fenómeno entre semana .....	79
<b>Figura 22.</b> Mapas día sábado por rango de medición, referencia del fenómeno fin de semana .....	81
<b>Figura 23.</b> Contaminación por materia particulado en áreas cerradas indoor (Livemit, 2019) .....	101
<b>Figura 24.</b> Concentración de PM2.5 y número de muertes por exposición para el 2017 (Health Effects Institute, 2019) .....	103
<b>Figura 25.</b> Concentración de Ozono (O3) y número de muertes por exposición para el 2019 (Health Effects Institute, 2019) .....	106
<b>Figura 26.</b> Efectos tóxicos de la contaminación por plomo (Boskabady et al., 2018) .....	109
<b>Figura 27.</b> Mapa Ubicación de la Comuna 21.....	113
<b>Figura 28.</b> Concentración de O3, MP10 y MP2.5 para el 2020, en la comuna 21 .....	114
<b>Figura 29.</b> Porcentaje de la población colombiana con enfermedades respiratorias agudas entre el 2007 a 2019 .....	122
<b>Figura 30.</b> Gastos estimados en la atención de la población colombiana con enfermedades respiratorias agudas entre el 2007 a 2019.....	123

# Index of figures

<b>Figure 1.</b> Diffractograms (XRD) of the zeolite samples studied .....	27
<b>Figure 2.</b> FT-IR spectra of zeolites A, B, C and D.....	29
<b>Figure 3.</b> FT-IR spectra of zeolites A, B, C and D loaded with NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ...	30
<b>Figure 4.</b> Thermograms of commercial zeolites A, B, C and D.....	32
<b>Figure 5.</b> Thermograms of commercial zeolites A, B, C and D loaded with NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	33
<b>Figure 6.</b> Scanning electron microscopy with energy dispersive detector (SEM-EDS) images of zeolites A, B, C and D.....	34
<b>Figure 7.</b> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> retention rate of commercial zeolites A, B, C and D ...	40
<b>Figure 8.</b> Ammonium adsorption rate .....	41
<b>Figure 9.</b> Volatilization of ammonium with different concentrations of zeolitic material.....	45
<b>Figure 10.</b> Methodological phases of the study .....	63
<b>Figure 11.</b> Study area .....	64
<b>Figure 12.</b> Location of the 12 sampling points.....	67
<b>Figure 13.</b> Health conditions vs. age .....	71
<b>Figure 14.</b> Type of activity vs. noise exposure .....	72
<b>Figure 15.</b> Health conditions vs. time performing the activity.....	72
<b>Figure 16.</b> Health conditions vs. extra-occupational activities .....	73
<b>Figure 17.</b> Diagram of boxes and wires Friday measurement .....	74
<b>Figure 18.</b> Box-and-wire diagram Saturday measurement .....	75
<b>Figure 19.</b> Weekday dosimetry result .....	77
<b>Figure 20.</b> Saturday dosimetry result.....	78

<b>Figure 21.</b> Friday maps by measurement range, reference of the phenomenon during the week .....	79
<b>Figure 22.</b> Saturday maps by measurement range, reference of the weekend phenomenon .....	81
<b>Figure 23.</b> Particulate matter pollution in indoor closed areas (Livemit, 2019) .....	101
<b>Figure 24.</b> PM2.5 concentration and number of deaths from exposure for 2017 (Health Effects Institute, 2019) .....	103
<b>Figure 25.</b> Ozone (O3) concentration and number of deaths from exposure by 2019 (Health Effects Institute, 2019) .....	106
<b>Figure 26.</b> Toxic effects of lead pollution. (Boskabady et al., 2018)....	109
<b>Figure 27.</b> Map Location of Comuna 21 .....	113
<b>Figure 28.</b> Concentration of O3, PM10 and PM2.5 for 2020, in commune 21 .....	114
<b>Figure 29.</b> Percentage of the Colombian population with acute respiratory diseases between 2007 and 2019 .....	122
<b>Figure 30.</b> Estimated expenses for the care of the Colombian population with acute respiratory diseases between 2007 and 2019 .....	123

# Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Composición del material zeolítico y parámetros evaluados según las empresas donde se compró el material.....	20
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos usados en la evaluación de emisión del ion amonio en el compost de gallinaza.....	25
<b>Tabla 3.</b> Identificación y cuantificación de minerales en las zeolitas A, B, C y D.....	28
<b>Tabla 4.</b> Frecuencias y bandas vibracionales correspondientes al espectro infrarrojo de materiales zeolíticos.....	29
<b>Tabla 5.</b> Composición elemental de las zeolitas A, B, C y D mediante análisis de microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva .....	35
<b>Tabla 6.</b> Composición elemental realizado por análisis de espectroscopiaz de absorción atómica de llama de las zeolitas A, B, C y D .....	36
<b>Tabla 7.</b> Capacidades de intercambio catiónico.....	38
<b>Tabla 8.</b> Capacidad de absorción de las zeolitas A,B,C y D según el método de trabajo.....	42
<b>Tabla 9.</b> Índice de retención de Ca <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup> y K <sup>+</sup> con respecto al índice de retención del ion NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> de las zeolitas A, B, C y D.....	43
<b>Tabla 10.</b> Coordenadas planas de puntos de muestreo .....	69
<b>Tabla 11.</b> Efectos en salud de trabajadores expuestos a ruido según resultados .....	83
<b>Tabla 12.</b> Fuentes de contaminantes del aire (Public Health England, 2018).....	100
<b>Tabla 13.</b> Características generales de UTF, PM2.5 y PM10 .....	104

<b>Tabla 14.</b> Límites de exposición de contaminantes de aire (Chithra & Nagendra, 2018) .....	111
<b>Tabla 15.</b> Características socioeconómicas y de exposición del personal encuestados.....	117
<b>Tabla 16.</b> Asociación entre las variables socioeconómicas y enfermedad.....	119
<b>Tabla 17.</b> Modelo de regresión logística.....	120
<b>Tabla 18.</b> Variable que mejor explica la vulnerabilidad a la enfermedad.....	121
<b>Tabla 19.</b> Análisis básico de costos por presentar enfermedad respiratoria .....	122

# Index of tables

<b>Table 1.</b> Composition of zeolitic material and parameters evaluated according to the companies where the material was purchased .....	20
<b>Table 2.</b> Treatments used in the evaluation of ammonium ion emission in poultry manure compost .....	25
<b>Table 3.</b> Identification and quantification of minerals in zeolites A, B, C and D .....	28
<b>Table 4.</b> Frequencies and vibrational bands corresponding to the infrared spectrum of zeolitic materials .....	29
<b>Table 5.</b> Elemental composition of zeolites A, B, C and D by scanning electron microscopy analysis with energy dispersive detector .....	35
<b>Table 6.</b> Elemental composition performed by flame atomic absorption spectroscopy analysis of zeolites A, B, C and D .....	36
<b>Table 7.</b> Cation exchange capacities .....	38
<b>Table 8.</b> Absorption capacity of zeolites A,B,C and D according to the working method .....	42
<b>Table 9.</b> Ca <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup> and K <sup>+</sup> retention index with respect to the NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ion retention index of zeolites A, B, C and D .....	43
<b>Table 10.</b> Plane coordinates of sampling points .....	69
<b>Table 11.</b> Health Effects of Noise-Exposed Workers by Results .....	83
<b>Table 12.</b> Sources of air pollutants (Public Health England, 2018) .....	100
<b>Table 13.</b> General characteristics of UTF, PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> .....	104
<b>Table 14.</b> Air pollutant exposure limits (Chithra & Nagendra, 2018) ...	111
<b>Table 15.</b> Socioeconomic and exposure characteristics of surveyed personnel .....	117

<b>Table 16.</b> Association between socioeconomic variables and disease .....	119
<b>Table 17.</b> Logistic regression model.....	120
<b>Table 18.</b> Variable that best explains vulnerability to disease .....	121
<b>Table 19.</b> Basic cost analysis for presenting respiratory disease .....	122

# Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Tabla de análisis de varianza entre los tratamientos de las zeolitas A, B, C y D .....	54
<b>Anexo 2.</b> Tabla prueba de Tukey entre los tratamiento de las zeolitas A, B, C y D.....	54
<b>Anexo 3.</b> Tabla de análisis de varianza entre los tratamiento de las zeolitas A y D .....	55
<b>Anexo 4.</b> Modelo encuesta.....	94

# Index of annexes

- Annex 1.** Table of analysis of variance between zeolites  
A, B, C and D treatments ..... 54
- Annex 2.** Table Tukey test between zeolites A, B, C and D  
treatments..... 54
- Annex 3.** Table of analysis of variance between zeolites  
A and D treatments ..... 55
- Annex 4.** Model survey ..... 94

# Acerca de los autores

*About the authors*

## **Iván Andrés González Vargas**

Profesión: Biólogo con énfasis en Genética, egresado de la Universidad del Valle, magíster en Ciencias-Biología de la Universidad del Valle. Actualmente adelanta estudios de Doctorado en Ciencias y tecnologías Marinas en la Universidad de Cádiz (España).

Área: Pertenece al grupo de Investigación en Microbiología Industria y Ambiente de la Universidad Santiago de Cali, donde actualmente se desempeña como docente en el programa de Microbiología.

© <https://orcid.org/0000-0002-0576-3889>

✉ [ivan.gonzalez03@usc.edu.co](mailto:ivan.gonzalez03@usc.edu.co)

## **Raúl Alberto Cuervo Mulet**

Profesión: Biólogo con énfasis en Genética, egresado de la Universidad del Valle, magíster en Ciencias-Biología de la Universidad del Valle y Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad del Valle.

Área: Pertenece al grupo de Investigación Biotecnología de la Universidad de San Buenaventura Cali, donde actualmente se desempeña como docente en el programa de Ingeniería Agroindustrial. y al grupo de Investigación en Microbiología Industria y Ambiente de la Universidad Santiago de Cali.

© <https://orcid.org/0000-0002-0182-0161>

✉ [racuervo@usbcali.edu.co](mailto:racuervo@usbcali.edu.co)

### **Fabián Felipe Fernández Daza**

Profesión: Biólogo, egresado de la Universidad del Valle, magíster en Ciencias-Biológicas de la Universidad del Valle. Actualmente adelanta estudios de Doctorado en Ciencias – Biológicas en la Universidad del Valle.

Área: Pertenece al grupos de Investigación de Biotecnología de la universidad de San Buenaventura-Cali, GIMIA de la universidad Santiago de Cali y GISAP de la institución Universitaria Antonio José Camacho, donde actualmente se desempeña como docente en el programa de salud ocupacional.

© <https://orcid.org/0000-0002-9125-705X>

✉ [fabfernandez@hotmail.com](mailto:fabfernandez@hotmail.com)

### **Michel Fernanda Balanta Galvis**

Profesión: Químico egresado de la Universidad Santiago de Cali, actualmente adelanta estudios en gestión de la calidad de la Universidad del Valle.

Área: Pertenece al grupo de Investigación GIMIA de la Universidad Santiago de Cali.

© <https://orcid.org/0000-0002-2234-7086>

✉ [michelgalvis75@gmail.com](mailto:michelgalvis75@gmail.com)

### **Johannes Delgado Ospina**

Profesión: Químico egresado de la Universidad Santiago de Cali, magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente adelanta estudios de Doctorado en Ciencias de los Alimentos en la Universidad de Teramo (Italia).

Área: Pertenece al grupo de Investigación Biotecnología de la Universidad de San Buenaventura Cali, donde actualmente se desempeña como docente en el programa de Ingeniería Agroindustrial y como director de la Maestría en Ingeniería: Biotecnología.

© <https://orcid.org/0000-0001-8095-4741>  
✉ [jdelgado1@usbcali.edu.co](mailto:jdelgado1@usbcali.edu.co)

### **Iván Darío López Villalobos**

Profesión: ingeniero ambiental y magíster en Ingeniería Ambiental egresado de la universidad nacional de Colombia, con especialización en administración pública.

Área: Docente tiempo completo de la institución universitaria Antonio José Camacho, en programa de salud Ocupacional, director del grupo de Investigación GISAP.

© <https://orcid.org/0000-0001-9513-7162>  
✉ [idariolopez@admon.uniajc.edu.co](mailto:idariolopez@admon.uniajc.edu.co)

### **Leidy Maritza Guanga Esterilla**

Profesión: Profesional en Salud Ocupacional, egresada de la institución Antonio José Camacho (UNIAJC).

Área: Pertenece al grupo de Investigación GISAP de la institución Universitaria Antonio José Camacho.

© <https://orcid.org/0000-0002-3285-9181>

✉ [sisoledy@gmail.com](mailto:sisoledy@gmail.com)

### **Luis Felipe Granada**

Profesión: Ingeniero mecánico egresado de la Universidad Autónoma de Occidente, magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental de la Universitat Rovira I Virgili, doctor en ciencias técnicas del Instituto Politécnico Superior José Antonio Echeverría.

Área: Profesor de la maestría en Gerencia de Servicios de Salud de la facultad de Ciencias de la Salud de Cali.

© <https://orcid.org/0000-0002-8050-6866>

✉ [luisf.granadaa@unilibre.edu.co](mailto:luisf.granadaa@unilibre.edu.co)

# Pares Evaluadores

*Peer Evaluators*

## **Jorge Eduardo Moncayo**

Universidad Antonio Nariño

© <https://orcid.org/0000-0001-6458-4162>

## **Julián Zapata**

Instituto de Química, Facultad de Ciencias

Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia

© <https://orcid.org/0000-0002-8888-1521>

## **William Palta**

Universidad de San Buenaventura, Cali

© <https://orcid.org/0000-0003-1888-0416>

## **Alexander López Orozco**

Universidad de San Buenaventura, Cali

© <https://orcid.org/0000-0003-0068-6252>

## **Marco Antonio Chaves Garcia**

Fundación Universitaria María Cano, Sede Medellín

© <https://orcid.org/0000-0001-7226-4767>

## **Carolina Sandoval-Cuellar**

Universidad De Boyacá

© <https://orcid.org/0000-0003-1576-4380>

## **Kevin Alexis García**

Universidad del Valle

© <https://orcid.org/0000-0002-8412-9156>

**Lucely Obando Cabezas**

Universidad Libre Cali

© <https://orcid.org/0000-0002-8770-2966>

**Ricardo Tapia Vega**

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

© <https://orcid.org/0000-0003-2750-1828>

**Clara Mercedes Blanco Ospina**

Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium

© <https://orcid.org/0000-0002-8640-8175>

**Jean Jader Orejarena Torres**

Universidad Autónoma de Puebla, México

© <https://orcid.org/0000-0003-0401-3143>

**Jorge Ladino Gaitán Bayona**

Universidad del Tolima

© <https://orcid.org/0000-0001-9539-4660>

**Alexander Luna Nieto**

Fundación Universitaria de Popayán

© <https://orcid.org/0000-0002-9297-8043>

**Margareth Mejía Génez**

Instituto de Educación digital del estado de Puebla

© <https://orcid.org/0000-0002-5142-5813>

## **Distribución y comercialización**

*Distribution and Marketing*

Universidad Santiago de Cali  
Publicaciones / Editorial USC  
Bloque 7 - Piso 5  
Calle 5 No. 62 - 00  
Tel: (57+) (2+) 518 3000  
Ext. 323 - 324 - 414  
✉ editor@usc.edu.co  
✉ publica@usc.edu.co  
Cali, Valle del Cauca  
Colombia

## **Diseño y diagramación**

*Design and layout by*

Juan Diego Tovar Cardenas  
Universidad Santiago de Cali  
✉ librosusc@usc.edu.co  
Tel. 5183000 - Ext. 322  
Cel. 301 439 7925

Este libro fue diagramado utilizando fuentes  
tipográficas Literata en el contenido del texto y  
Open Sans para los títulos.

Impreso en el mes de diciembre.  
Se imprimieron 100 ejemplares en los  
Talleres de SAMAVA EDICIONES E.U.  
Popayán-Colombia  
Tel: (57+) 3136619756  
2020

Fue publicado por la Facultad  
de Ciencias Básicas de la Universidad  
Santiago de Cali.

Con la escritura de este libro de investigación, se pretende la divulgación de las problemáticas asociadas a la contaminación, considerando ambientes asociados a contaminantes microbiológicos, sónicos y de tipo gaseoso (polución); enfocándose en aspectos relacionados a estrategias de mitigación, exposición de personal laboral y comunidad en general. En este contexto se muestran las generalidades de la contaminación asociada a producción agroindustrial donde se producen compuestos que expelen amonio, como contaminante relacionado a efecto de calentamiento global, así como alteraciones de vías respiratorias superiores donde se muestra el potencial de medidas de mitigación, entre éstas, el uso de materiales como las zeolitas; adicionalmente la contaminación ambiental se enfoca en emisiones como el sonido, responsable de alteraciones auditivas, en trabajadores; en el caso descrito informales relacionados a ventas en la ciudad de Cali, este efecto general de la contaminación se aborda en la exposición a agente contaminantes en aire, en el contexto de día a día de los habitantes de la comuna 21.

Esperamos que este documento les permita conocer y profundizar en estas temáticas, mostrando situaciones comunes en relación a la contaminación y efectos negativos, en el ser humano.

