

Gómez, Diana, García, Diego, Lache, Jaime, Cuéllar, Luz (2021). Análisis microbiológico de contaminantes atmosféricos en la plaza de mercado del sur de la ciudad de Tunja, Boyacá. Cuaderno Activa, 13, 25-40.



# Análisis microbiológico de contaminantes atmosféricos en la plaza de mercado del sur de la ciudad de Tunja, Boyacá

*Microbiological analysis of atmospheric pollutants in the south market square of the city of Tunja, Boyacá*

*Diana Catalina Gómez, Diego Felipe García, Jaime Ricardo Lache, Luz Ángela Cuéllar*

**Recibido:** 15 noviembre 2020. **Aprobado:** 21 mayo 2021.

**Resumen:** Mediante el presente estudio se buscó hacer el análisis microbiológico de contaminantes atmosféricos en la plaza de mercado del sur de Tunja, por ser un lugar donde se desarrollan diferentes actividades económicas que facilitan la proliferación de diversas especies microbianas. Las condiciones microbiológicas del aire constituyen uno de los factores que requieren atención en las sociedades modernas, por el peligro que conllevan si no se encuentran en el estado adecuado. Por ello es necesario llevar a cabo estudios que permitan verificar estas condiciones, las cuales repercuten directamente en la salud humana y animal debido a que algunas sustancias microbiológicas son patógenas y actúan como vectores para la transmisión de enfermedades. Existen diferentes métodos para la recolección de bioaerosoles, uno de los más empleados es el método gravimétrico de sedimentación en placa, por la facilidad de

muestreo que brinda, y que fue aplicado en esta investigación durante un periodo de 6 semanas tomando muestras cada semana los días jueves a las 7:00 a. m. El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de microbiología de la Universidad Santo Tomás de la ciudad de Tunja. Se encontraron diversas especies bacterianas y fúngicas que representan un peligro para la salud humana y animal; además, a partir del asistente matemático MATLAB, se construyó la curva de crecimiento microbiano para cada sector estudiado comparando el modelo teórico con los valores experimentales, y se observó que existen diversas fluctuaciones entre estos debido a la incidencia de factores ambientales tales como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, que influyen directamente en el crecimiento de los microorganismos y en su posterior propagación.

1 Estudiante facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia. [diana.gomezc@usantoto.edu.co](mailto:diana.gomezc@usantoto.edu.co)

2 Estudiante facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia. [diego.garciac@usantoto.edu.co](mailto:diego.garciac@usantoto.edu.co)

3 Estudiante facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia. [jaime.lache@usantoto.edu.co](mailto:jaime.lache@usantoto.edu.co)

4 Ph. D. en Ciencias Biológicas, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia. [luz.cuellar@usantoto.edu.co](mailto:luz.cuellar@usantoto.edu.co)

**Palabras clave:** Bacteria; curva de crecimiento; patógenos; hongos; UFC.

**Abstract:** The microbiological conditions of the air constitute one of the prevailing factors in modern societies, due to the danger that these entail if they are not in the proper state, for this reason the need arises to carry out studies that allow to verify these conditions which have a direct impact on the human and animal health due to the fact that some microbiological substances are pathogenic and act as vectors for the transmission of diseases. The present project sought to carry out the microbiological analysis of atmospheric pollutants in the market square in the south of Tunja as this is one of the places where different economic activities take place which facilitate the proliferation of various microbial species. There are different methods for the collection of bioaerosols, one of the most used due to the ease of sampling it presents is the gravimetric method of plate sedimentation which was applied in this research in a period of 6 weeks, taking samples on Thursdays at 7:00 am. The analysis of the samples was carried out in the microbiology laboratory of the Santo Tomás University in the city of Tunja. Several bacterial and fungal species were found that represent a danger to human and animal health; moreover using the mathematical assistant MATLAB the microbial growth curve for each sector studied was constructed comparing the theoretical model with the experimental values, observing that there are various fluctuations between them due to the incidence of environmental factors such as temperature, relative humidity and wind speed that directly affect the growth of microorganisms and their subsequent spread.

**Keywords:** Bacteria; growth curve; health effects; fungi; CFU.

## Introducción

Según Soto Varela et al. [1], la calidad del aire se define como la agrupación de compuestos que, en un momento de estudio, se encuentran en el aire y garantizan condiciones adecuadas para la salud de la población y el medioambiente, involucra aspectos claves tales como los factores químicos,

biológicos y microbiológicos. Estos últimos son de gran relevancia para determinar la calidad microbiológica del aire, por su incidencia directa en la salud humana y animal. A pesar de que el aire no cuenta con una microbiota propia, los microorganismos han desarrollado capacidades para sobrevivir en este medio y dispersarse a través de las corrientes de aire en diferentes entornos, como los cuerpos hídricos, las plantas, el suelo y la microflora humana [2]. Una de las formas como se pueden dispersar los microorganismos es a través de los conidios, los cuales son esporas fúngicas que cumplen un papel clave en la reproducción de estas especies cuando las condiciones ambientales son adversas, estas esporas les permiten alcanzar hábitats con mayor abundancia de alimento y colonizar esos lugares.

El desarrollo de actividades antrópicas ha favorecido la generación de residuos biológicos, físicos y químicos, los cuales emiten gran cantidad de partículas que facilitan la dispersión de los microorganismos en el aire. Además, al estar en constante exposición al medio ambiente, el ser humano es susceptible de contraer diferentes patologías a causa de una gran variedad de agentes microbiológicos [3]. Los mercados de abastos son uno de los lugares donde se presentan las condiciones ideales para la proliferación de microorganismos, debido a la presencia de diversas actividades económicas que generan problemas ambientales como la producción excesiva de residuos sólidos y su inadecuado manejo. La problemática en torno a la gestión inadecuada de estos residuos ha aumentado en los últimos años en países como Colombia, donde es escasa la formulación e implementación de sistemas de gestión de residuos que permitan construir una economía circular en la que los residuos sean vistos no como un desecho, sino como una materia prima con potencial de reutilización o reciclaje [4]. Estos factores favorecen que diversas especies microbianas entren en contacto con los alimentos, animales y personas que a diario concurren a estos mercados, lo cual constituye un grave problema de salud pública, puesto que pueden ocasionar desde síntomas gastrointestinales hasta enfermedades mortales [1].

Por otra parte, el interés de las personas por mantener una vida más saludable ha generado en los últimos años un aumento en el consumo de frutas y verduras [5], lo cual, a su vez, ha propiciado el incremento de enfermedades transmitidas por este tipo de alimentos, ya que se encuentran expuestos a la contaminación microbiológica presente en la atmósfera antes, durante y después de la cosecha. Un factor para considerar es la naturaleza de la flora contaminante, la cual puede variar ampliamente de acuerdo con el tipo de fruta o verdura analizadas, lo que incide directamente en la abundancia de las especies encontradas [5].

La plaza mayorista del sur de Tunja es uno de los principales puntos de abastecimiento de productos tales como frutas, verduras y carnes para la población tunjana, es un sitio donde estos sustratos orgánicos facilitan la reproducción y el crecimiento de bacterias, hongos y otros microorganismos, los cuales son potenciales causales de enfermedades respiratorias e infecciones cutáneas [2], por ello es fundamental identificar las especies microbianas presentes en esta plaza de mercado, con el objetivo de tomar medidas ante la proliferación de agentes patógenos que perjudiquen la salud de los visitantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, en esta investigación se analizaron contaminantes atmosféricos de naturaleza microbiológica en el aire de la plaza de mercado del sur de la ciudad de Tunja, la cual constituye la principal central de abastos para la capital boyacense, con el fin de identificar los potenciales microorganismos causantes de enfermedades en el ser humano y en los animales.

## **Materiales y métodos**

### **Área de estudio**

Los muestreos se llevaron a cabo en la plaza de mercado del sur del municipio de Tunja, Boyacá, Colombia (05° 30' 30.96"N; 73° 22' 20.14" W), la cual tiene un área aproximada de 48.493,47 m<sup>2</sup>.

### **Muestreo microbiológico**

Se realizaron muestreos durante seis semanas, entre los meses de septiembre y octubre del año 2019 los días jueves a las 7:00 a. m., por ser el día y la hora en que más se presenta tránsito de

personas. En cada muestreo se registraron datos meteorológicos como la temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, obtenidos a partir de la estación meteorológica UPTC (5° 33' 00" N; 73° 21' 36" W) ubicada a 5 km de la plaza de mercado. Se emplearon los datos de esta estación por ser la única presente en la zona de estudio, además, no contaba con datos faltantes para los días de muestreo. El procedimiento que se desarrolló para la toma de las muestras fue por medio del método denominado "impactación directa en medios de cultivo", en el cual, de acuerdo con [6], las partículas suspendidas en el aire tienden a precipitarse sobre las superficies. Este método consiste en dejar expuesta una caja de Petri con el medio de cultivo sólido seleccionado (Tryptone Glucose Yeast Agar), recorriendo las diferentes áreas, con el fin de captar estas partículas. Se realizó un recorrido de 15 minutos para cada una de las áreas (zona exterior, zona interior y zona de venta de animales). De igual forma, se tomó una cuarta muestra a lo largo de todo el recorrido con un medio de cultivo destinado al crecimiento de hongos (Medio de cultivo Potato Dextrose Agar).

### **Identificación de los microorganismos aislados**

Las muestras recolectadas eran transportadas el mismo día que se tomaban al laboratorio de microbiología ambiental de la Universidad Santo Tomás, sede Tunja (05° 33' 2.07"N; 73° 20' 39.24" W), y se introducían las cajas de Petri boca abajo en la incubadora de referencia JSGL-50T a una temperatura de 37,4 °C por un periodo de 24 horas.

Luego de su crecimiento, se realizó el conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC) mediante el método de conteo en placa empleando el equipo Boeco colony counter cc-1. Asimismo, se hizo la caracterización macroscópica de colonias y los procesos de fijación, tinción de Gram y acción enzimática para la identificación microscópica de cada uno de los géneros.

Es necesario mencionar que en la segunda visita se tomaron tres muestras, las cuales correspondieron a la zonas interior y exterior y la caja de Petri con el cultivo destinado para hongos, y en la cuarta visita se tomaron, de igual forma, tres muestras (zonas interior y exterior y zona de animales), ya que no se contaba con el cultivo para hongos en el laboratorio.

### Modelo matemático

Mediante el modelo de crecimiento poblacional [7] (Ecuación 1), se comprobó la curva de crecimiento microbiano con los datos obtenidos mediante el método de conteo en placa.

$$dP/dt=K.P \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$dP/dt$ : Es la derivada de la población en función del tiempo

K: Constante de proporcionalidad

P: Población de colonias

Este modelo se desarrolla por el método de ecuaciones diferenciales mediante variables separables (Ecuación 2) y se obtiene:

$$P(t)=e^{Kt} \times C \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$P(t)$ : Es la población en un tiempo determinado

e: Constante matemática de Euler que equivale aproximadamente a 2,71828

K: Constante de proporcionalidad

t: tiempo (en semanas) en que se desea conocer la población de microorganismos

C: Población inicial de microorganismos

Por medio de la ecuación 2 se determinaron las ecuaciones que describen la curva de crecimiento para cada una de las zonas estudiadas, junto con la muestra de hongos. Por último, a partir de las ecuaciones halladas anteriormente para las muestras estudiadas, se realizó el análisis comparativo entre el modelo teórico (MATLAB) y los valores hallados experimentalmente (ver Figuras 1, 2, 3 y 4).

### Estudio cuantitativo (número de colonias)

El recuento de colonias que hayan crecido se expresa en unidades formadoras de colonias (UFC) referidas a 1 m<sup>3</sup> de aire, las cuales se cuentan por triplicado y se promedian para dar un número de UFC de cada zona estudiada.

Para llevar a cabo el análisis estadístico, se elaboró una matriz de datos totales de las cuatro muestras. Se empleó el programa Stata versión 1, y se realizó un análisis de varianza de entrada múltiple a un nivel de significancia de ( $P = 0,05$ ). Se asumió que los datos cumplían con los principios de normalidad y homocedasticidad [8]. La estadística descriptiva se presenta con el cálculo de la media estadística y la desviación estándar de los niveles de contaminación en UFC de las curvas teóricas frente a las curvas experimentales [9].

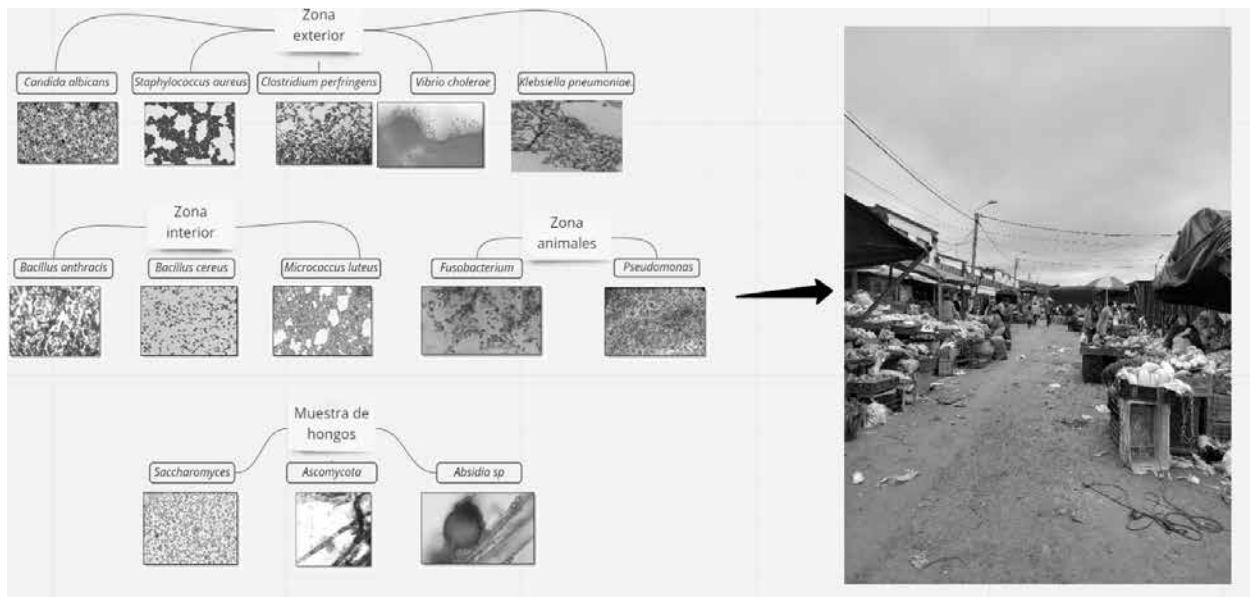


Figura 1. Resumen gráfico.

## Resultados y Discusión

### Condiciones ambientales y pronóstico del tiempo

Los datos meteorológicos registrados en los muestreos se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Condiciones ambientales registradas durante las seis semanas de muestreo en la plaza de mercado del sur de Tunja.

Condiciones ambientales	Muestreo					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura (°C)	10	11	12	10	10	8
Humedad relativa (%)	86	88	93	90	95	98
Velocidad del viento (km/h)	6	8	3	5	5	4

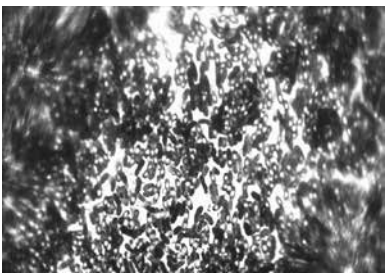
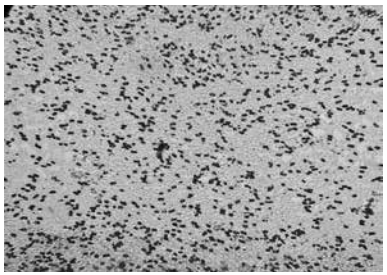
Fuente: Elaboración propia.

Los datos meteorológicos evidencian un ambiente con valores de temperatura bajos que oscilan entre 8 y 12 °C. La plaza de mercado se encuentra en una zona rural, lo cual contribuye a que se presenten velocidades del viento altas. Además, el sector presenta porcentajes de humedad mayores a 85 % en todos los muestreos (ver Tabla 1).

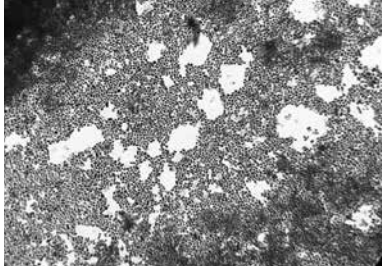
### Descripción de los microorganismos observados

En las tablas siguientes (2, 3 y 4) se describen los microorganismos encontrados en la plaza de mercado del sur de Tunja. En la Tabla 2, los que se encontraron en la zona interior, en la Tabla 3, los que se hallaron en la zona exterior, y en la Tabla 4, los encontrados en la zona de animales. Finalmente, en la Tabla 5 se observan los microorganismos encontrados en las placas de Petri con el cultivo destinado para el crecimiento de hongos.

**Tabla 2.** Descripción de los microorganismos hallados en la zona interior de la plaza de mercado de la ciudad de Tunja.

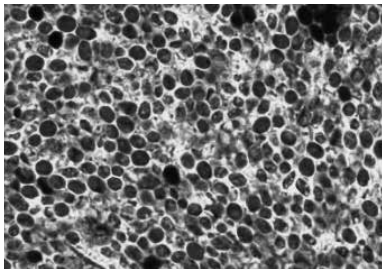
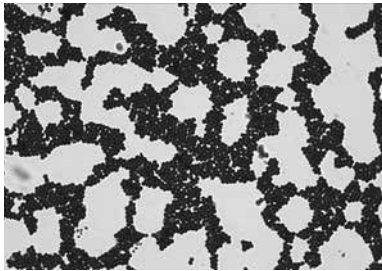
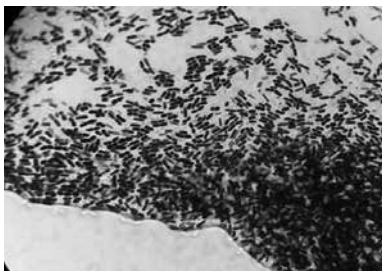
Zona interior	
Imagen observada	Observación
	Se constató la presencia de colonias de <i>Bacillus anthracis</i> , un bacilo Gram positivo de metabolismo tanto aerobio como anaerobio. Sus principales características son: su resistencia a las condiciones ambientales gracias a la formación de esporas y su cápsula constituida con ácido D-glutámico que le otorga sus propiedades virulentas. Provoca la enfermedad aguda del carbunco, o ántrax, que afecta a los mamíferos de pezuñas y a los seres humanos [10].
	Se encontró la presencia de <i>Bacillus cereus</i> , un bacilo Gram positivo que desarrolla esporas que le permiten adaptarse a diferentes condiciones ambientales de temperatura y radiación. Estos bacilos producen toxinas que son contaminantes de los alimentos, además son capaces de tolerar los procesos de cocción y pasteurización. Las enfermedades causadas por este microorganismo se transmiten principalmente por la ingesta de alimentos contaminados [11].

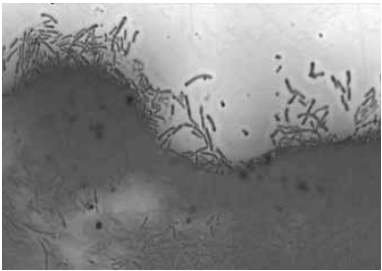
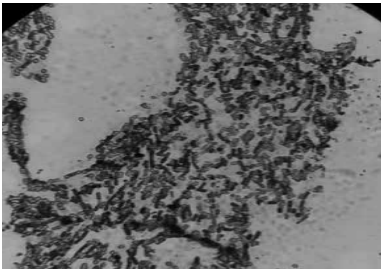


Zona interior	
Imagen observada	Observación
	Se observó la presencia de <i>Micrococcus luteus</i> en la zonas exterior e interior. Se trata de una especie de bacteria Gram positiva con una morfología esférica y un tamaño que oscila entre 0,5 a 3,5 $\mu\text{m}$ . Es una bacteria aerobia obligada, que puede desarrollarse en diferentes ambientes, incluso forma parte de la microbiota de la dermis de los mamíferos. Entre las patologías más destacadas ocasionadas por <i>Micrococcus luteus</i> se encuentra la endocarditis, artritis séptica, meningitis e infecciones pulmonares como la neumonía [12].

Fuente: elaboración propia.


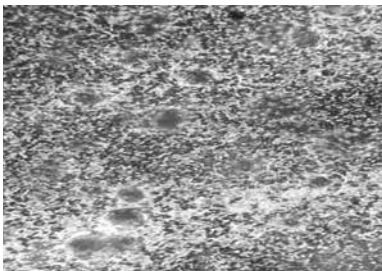
**Tabla 3.** Descripción de los microorganismos encontrados en la zona exterior de la plaza de mercado de la ciudad de Tunja.

Zona exterior	
Imagen	Observación
	Se halló evidencia de la presencia de <i>Candida albicans</i> . Son hongos unicelulares o levaduras que presentan blastoconidios subsféricos (3-8 x 2-7 $\mu\text{m}$ ); se encuentran con frecuencia en diferentes partes del cuerpo humano como un microorganismo comensal. Sin embargo, en pacientes con un sistema inmunológico débil este microorganismo puede ser un potencial causante de infecciones locales y sistémicas [13].
	También se encontró <i>Staphylococcus aureus</i> . Esta especie de bacteria Gram positiva presenta una morfología similar a un coco con tamaño de 0,5 a 1 $\mu\text{m}$ de diámetro, y además se congrega en forma de racimos de uvas. Este microorganismo ocasiona gran variedad de patologías, como neumonía, fiebre alta, dolor de pecho, infecciones cutáneas, etc. [14].
	Se observó la presencia de <i>Clostridium perfringens</i> , una bacteria Gram positiva que presenta una morfología rectangular con extremos de forma redondeada o rectos. Produce esporas que sintetizan toxinas que pueden comprometer la salud humana y animal. Puede causar enfermedades como la septicemia y la gangrena e infecciones pulmonares. Además, provoca enteritis cuando su número en los alimentos es elevado [15] if not all, other CPE-producing strains.

Zona exterior	
Imagen	Observación
	<i>Vibrio cholerae</i> . Este bacilo presenta una morfología curva similar a una coma, con una longitud entre 2 y 4 micras [16]. Esta bacteria ocasiona la enfermedad del cólera cuando se ingieren alimentos o agua contaminados por ella [17]
	Se pudo evidenciar la presencia de <i>Klebsiella pneumoniae</i> , un bacilo Gram negativo de la familia <i>Enterobacteriaceae</i> , no tiene flagelos y es inmóvil, es característico de los humanos y bovinos, entre otros mamíferos. Este microorganismo es potencial causante de una gran variedad de infecciones nosocomiales [18].

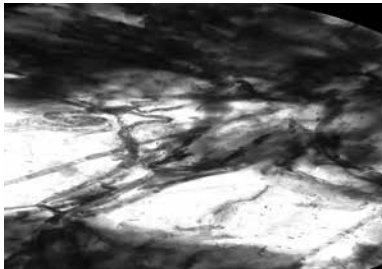

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.** Descripción de los microorganismos encontrados en la zona de animales de la plaza de mercado de la ciudad de Tunja.

Zona de animales	
Imagen	Observación
	En esta muestra se observó la presencia de <i>Fusobacterium</i> , un género de bacterias que se caracteriza por ocasionar diferentes patologías periodontales y cutáneas. Aunque generalmente son Gram positivas, también pueden adquirir la tinción negativa; presentan metabolismo anaerobio y un aspecto filamentosos. Algunas especies de <i>Fusobacterium</i> ocasionan necrobacilosis, una enfermedad causada por <i>Fusobacterium necrophorum</i> , la cual afecta a una gran variedad de animales, tanto domésticos como silvestres [19].
	Se encontró la presencia de <i>Pseudomonas</i> , unas bacterias en forma de bacilo en su mayoría gram negativas, que se desarrollan en ambientes donde la humedad relativa es alta (como es el caso de la zona de estudio). Pueden causar infecciones en diferentes órganos del cuerpo humano, como los pulmones, los oídos, los ojos, el corazón, etc. [20].

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.** Descripción de los microorganismos observados en la muestra de hongos.

Muestra hongos	
Imagen	Observación
	Tanto en la zona de animales como en la muestra de hongos, se observó la presencia de esporas del género <i>Saccharomyces</i> , el cual incluye distintos tipos de levaduras, que se caracterizan por ser fermentadores enérgicos de los azúcares bajo condiciones anaeróbicas [21].
	Se encontraron hongos de la división <i>Ascomycota</i> , que presentan la característica de poseer cuerpos fructíferos con un aspecto membranoso y emitir olores suaves. También hacen parte de este grupo la mayoría de los mohos que se encuentran en alimentos en descomposición y en la mayoría de las levaduras [22].
	Se observó, asimismo, la presencia del hongo filamentoso <i>Absidia sp</i> , que pertenece a la división <i>Zigomycota</i> . <i>Absidia</i> es un género de hongos de la familia <i>Mucoraceae</i> dentro del orden <i>Mucorales</i> . Es un zygomyceto considerado común en el medio ambiente. Es un microorganismo ubicuo, y por eso se dice que es un hongo contaminante en cultivos. Puede llegar a causar zygomicosis (mucormicosis) en personas inmunocomprometidas. Los conidios de <i>Absidia sp</i> pueden ser agentes de infecciones invasivas, en particular, provocan infecciones cutáneas y subcutáneas [22].

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos es importante mencionar, en primer lugar, que los microorganismos que se encuentran en el aire han creado adaptaciones que les han permitido desarrollarse en diferentes medios y así garantizar su supervivencia y permanencia. Estos organismos pueden causar enfermedades en plantas, animales y seres humanos, y a la vez causar alteraciones en los alimentos. Se identificaron diferentes microorganismos bacterianos y fúngicos causantes de enfermedades en el ser humano, el primero que se destaca es *Vibrio cholerae*, que se encontró

en la zona exterior de la plaza de mercado, el cual ocasiona la enfermedad del cólera que se caracteriza por producir cuadros severos de diarrea; de igual manera, se ha encontrado [1] que esta bacteria está asociada a la enfermedad de la gastroenteritis, que se adquiere por la ingesta de alimentos y agua contaminados por este microorganismo [17] O1 y O139, la capacidad de producción de toxina de estos serogrupos es un factor determinante en la virulencia. Características del agente El *Vibrio cholerae* es un bacilo Gram negativo, curvo, perteneciente a



la familia Vibrionaceae, móvil, flagelado, no forma esporas, mide de 2 a 5 micras de largo, sobrevive a temperaturas entre 22 ° C y 40 ° C y crece bien en medios alcalinos. Para el *Vibrio cholerae* O1 se han descrito 2 biotipos, El Clásico y El Tor, cada biotipo tiene tres serotipos: Inaba, Ogawa e Hikojima.. La infección se adquiere por la ingestión de alimentos o agua contaminada con el *Vibrio*, la dosis infectante es variable y depende del vehículo, requiriendo una menor dosis cuando el vehículo son corresponde a alimentos contaminados. El período de incubación es variable, depende de la dosis infectante fluctuando entre dos horas y cinco días. Patogenia La manifestaciones digestivas del cólera se producen por la capacidad que tiene el *V cholerae* O1 y O139 de secretar una enterotoxina responsable de promover la secreción de fluidos y electrolitos a nivel del intestino delgado. El *Vibrio cholerae* se adhiere a receptores celulares específicos presentes en la superficie de las células intestinales. Finalmente induce un bloqueo para la absorción de sodio y cloro por la vellosidad y promueve la secreción de cloro y agua por las células de las criptas intestinales. Cuadro Clínico El cólera es una enfermedad diarreica aguda, que afecta a individuos de todas las edades. Se caracteriza por la aparición de diarrea acuosa profusa con deshidratación secundaria de diferente cuantía. El 80% de los casos son asintomáticos o cursan con un cuadro leve. Un 20% se manifiesta con diarrea acuosa aguda profusa moderada y un 10-20% de estos puede evolucionar a un cuadro más grave. El inicio del cuadro es abrupto con diarrea líquida profusa descrita como "agua de arroz", asociada a náuseas, vómitos, dolor abdominal. Puede haber calambres musculares resultantes del desbalance hidroelectrolítico por la pérdida importante de potasio a través de las deposiciones. La fiebre se presenta en baja frecuencia (5%, y este aspecto aquí toma sentido, ya que esta bacteria se adhiere a la superficie de diversos alimentos tales como frutas y verduras, y si no se les realiza un lavado correcto este patógeno puede ingresar fácilmente al organismo y provocar sus efectos. En una investigación realizada en la plaza de mercado mayorista de la ciudad de Quevedo, Ecuador, también se detectó la presencia de *Vibrio cholerae* en la zona de mariscos [3].

En segundo lugar, se destaca la identificación de *Staphylococcus aureus* el cual se encontró dos veces

en la zona exterior. Esta especie de bacteria causa varias infecciones, tanto de origen comunitario como hospitalario, como neumonía e infecciones cutáneas, entre otras [14]. *Staphylococcus aureus* presenta una gran resistencia a las condiciones ambientales y está ampliamente distribuida en el aire, el agua y los residuos, por ende, se puede transmitir a una amplia gama de alimentos tanto de consumo directo como de origen animal, lo cual demuestra el potencial riesgo que tienen las personas que consumen alimentos de esta plaza de mercado si no se presentan adecuadas condiciones de higiene y preservación de estos productos, ya que existe una alta probabilidad de que la bacteria ingrese al cuerpo humano, porque presenta toxinas muy resistentes a los procesos de cocción [23]. Se debe mencionar que también se registraron *Staphylococcus* gram negativos en esta misma zona, este género de bacterias se destaca por su potencial patogénesis, ya que producen enterotoxinas que pueden causar diarreas, vómitos y náuseas [2].

También se identificó a *Micrococcus luteus*, tanto en la zona exterior como en la zona interior de la plaza de mercado, una bacteria potencial causante de enfermedades en el ser humano, está asociada a la endocarditis, artritis séptica, meningitis e infecciones pulmonares como la neumonía [12]. En otra investigación [2] *Micrococcus luteus* fue identificada en el aire de la plaza de mercado de la ciudad de Neiva, también se halló en el mercado mayorista de Quevedo [3].

En la zona exterior también se identificó a *Clostridium perfringens*, un patógeno que afecta no solo a los seres humanos, sino también al ganado. *C. perfringens* causa enfermedades histotóxicas y enfermedades que se originan en los intestinos, como enteritis o enterotoxemia (las toxinas producidas en el intestino se absorben en la circulación y luego dañan órganos como el cerebro). La virulencia de este anaerobio Gram-positivo, formador de esporas, es en gran parte atribuible a su capacidad de producir al menos 17 toxinas diferentes [15]. La enteritis, enfermedad provocada por esta bacteria, suele generarse cuando se encuentra en número elevado en alimentos, en especial verduras y productos cárnicos, los cuales son comercializados en la plaza de mercado del sur.

En la misma zona se encontró la presencia de *Klebsiella pneumoniae*, la cual representa un riesgo para la salud humana por su potencial patogénesis, pues puede provocar infecciones en gran parte del cuerpo humano [18]. En la investigación llevada a cabo en la plaza de mercado de Valencia y San Diego en Venezuela [5], se encontró *K. pneumoniae* en frutas tales como fresas, duraznos y guayabas, siendo estas frutas las posibles fuentes de identificación de esta bacteria. Finalmente, en la zona exterior se destaca la presencia de *Candida albicans*, especie fúngica que normalmente no ocasiona problemas de salud, pero que puede llegar a actuar como patógeno oportunista y provocar infecciones superficiales y sistémicas a pacientes inmunocomprometidos [13], y se encontraron, además, conidios fúngicos en esta misma zona probablemente pertenecientes a esta especie.

En cuanto a la zona interior, se encontró que predominan las especies de *Bacillus*, en particular, *Bacillus anthracis* y *Bacillus cereus*. El primero es conocido por provocar carbunco pulmonar o ántrax, una enfermedad infecciosa que afecta frecuentemente a los animales con pezuñas, por lo tanto, las personas que tengan un contacto directo con estos mamíferos pueden resultar contagiadas. El contagio por inhalación ocurre cuando las esporas de este microorganismo se introducen en el aparato respiratorio. La cercanía de la zona interior con la zona de animales puede ser la razón de encontrar esta bacteria en este sector. *Bacillus cereus*, por su parte, produce toxinas que contaminan los alimentos, las enfermedades causadas por este microorganismo en los humanos son principalmente transmitidas por el consumo de estos alimentos, ya que *B. cereus* es tolerante a los procesos de cocción o pasteurización [11]. Esta bacteria es la responsable de síndromes eméticos y diarreicos, además puede causar otras patologías como endocarditis y endoftalmitis [24].

En la zona de animales se destaca la presencia de colonias de *Pseudomonas*, bacterias capaces de producir infecciones en diferentes órganos del cuerpo humano [20]. Es de mencionar que en esta zona constantemente se encuentra personal de la plaza de mercado realizando obras de limpieza y adecuación, por lo cual son susceptibles de sufrir esta clase de infecciones. En segundo lugar, se

identificaron bacterias del género *Fusobacterium*, la *Fusobacterium necrophorum* ocasiona necrobacilosis o afecciones necrobacilares, que se refieren a padecimientos de los animales domésticos, en los cuales se presentan casos necróticos [19].

Por otro lado, durante los muestreos se aislaron distintas especies fúngicas, entre las cuales se encontraron esporas del género *Saccharomyces*, que incluye distintos tipos de levaduras. De acuerdo con [25] la producción es afectada por enfermedades fungosas, siendo la pudrición blanda de frutos una causa de pérdidas en precosecha y en poscosecha. La enfermedad es común; sin embargo, la información acerca de los agentes causales es escasa. El objetivo de este trabajo fue identificar a los hongos mucorales causantes de pudrición blanda mediante caracterización morfológica y molecular. Se recolectaron frutos enfermos durante el periodo mayo-octubre de 2014 en Colima, Veracruz y Oaxaca. Se aislaron hongos mucorales, se determinó la patogenicidad con los postulados de Koch y se registraron datos de estructuras fúngicas. La caracterización molecular se realizó mediante análisis de las regiones ITS1-5.8S-ITS2 y 28S (LSU, esta especie se encuentra con frecuencia y principalmente en la capa externa de las frutas. En el estudio realizado por [26] también se logró identificar *Saccharomyces* en la zona de carnes, pescado y comidas de la plaza de mercado de Tingo María en Perú.

En un muestreo se halló el género de hongos *Nannizziopsis*, que suelen crecer sobre cuernos y pezuñas. Asimismo, en dos ocasiones se constató la presencia de hongos de la división *Ascomycota*, su importancia radica en que son tipos de hongos que suelen crecer en alimentos en descomposición los cuales son muy comunes en este tipo de recintos [26]. Por último, se encontró la especie *Absidia sp*, la cual puede llegar a causar zygomicosis (mucormicosis) en personas inmunocomprometidas. Los conidios de *Absidia sp* pueden ser agentes de infecciones invasivas, en particular provocan infecciones cutáneas y subcutáneas, por lo que también representan un riesgo para la salud humana [22]. En México, se hallaron hongos mucorales en muestras de papaya, siendo esta una posible fuente de identificación para *Absidia sp* [25] la producción es afectada por

enfermedades fúngicas, siendo la pudrición blanda de frutos una causa de pérdidas en pre cosecha y en pos cosecha. La enfermedad es común; sin embargo, la información acerca de los agentes causales es escasa. El objetivo de este trabajo fue identificar a los hongos mucorales causantes de pudrición blanda mediante caracterización morfológica y molecular. Se recolectaron frutos enfermos durante el periodo mayo-octubre de 2014 en Colima, Veracruz y Oaxaca. Se aislaron hongos mucorales, se determinó la patogenicidad con los postulados de Koch y se registraron datos de estructuras fúngicas. La caracterización molecular se realizó mediante análisis de las regiones ITS1-5.8S-ITS2 y 28S (LSU). También se encontraron muestras de este tipo de hongos en una zona de comidas en la plaza de mercado estudiada por [26].

Los factores ambientales como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento influyen en la dispersión de esporas fúngicas. El aire es un medio óptimo para su dispersión, y a pesar de que son importantes para ciertas actividades agrícolas, pueden contribuir a afectar la salud humana. Según [27], se encuentran más esporas de hongos en las temporadas de verano y otoño posiblemente porque en las temporadas de altas precipitaciones la microbiota tiende a depositarse sobre la superficie terrestre, lo que retarda el proceso de dispersión. Sin embargo, en [2] se afirma que las esporas de hongos se dispersan más fácilmente cuando la humedad es alta con valores superiores al 70 %, lo cual concuerda con la humedad relativa que se presentó en las seis semanas de muestreo, la cual estuvo por encima del 80 %.

Considerando que los muestreos se desarrollaron en una zona en la cual la presencia de alimentos es alta y a la vez la movilidad de ganado es constante, hay que tener en cuenta que muchas de las plantas de las cuales se obtienen estos alimentos son el hábitat de diversos microorganismos patógenos, incluyendo las bacterias, lo que genera el aumento de partículas suspendidas en el aire por acción del viento y de la lluvia. Al mismo tiempo, los animales y seres humanos son una fuente de bacterias patógenas: en el caso de los humanos, al hablar, toser, estornudar y también el desprendimiento de cabello o heridas ocasionan presencia de bacterias, virus y hongos; y en el muestreo en la

zona de ganado, se identificaron microorganismos, ya que sus heces son potenciales generadores de patógenos que pueden ser suspendidos en la atmósfera [28].

Por otra parte, los factores ambientales, tales como la velocidad del viento, influyen en la dispersión de los microorganismos y de esporas bacterianas que se encontraron a lo largo de los muestreos. El viento es uno de los principales factores que permiten la dispersión de esporas al ambiente, a medida que aumenta la velocidad del viento mayor será el número de esporas que se desprenden, de hecho, cuando la velocidad es mayor a 1,8 km/h el potencial de dispersión aumenta de manera considerable, y la tendencia puede seguir hasta velocidades de 18 km/h. Esta información concuerda con los valores que se obtuvieron en las seis semanas de muestreo, ya que las velocidades del viento estuvieron por encima a 3,6 km/h (ver Tabla 1). La frecuencia repetitiva de la aparición de esporas bacterianas se debe a que estas formas de reproducción contribuyen a su supervivencia en diferentes condiciones ambientales, gracias a su desarrollo metabólico que no requiere el consumo de nutrientes para sobrevivir durante periodos prolongados. Además, su morfología y su baja densidad facilitan su dispersión en distintos medios [30]. Y aunque muchas de las esporas mueren en su recorrido por la atmósfera, la reproducción de unas pocas garantiza el desarrollo de la colonia [31].

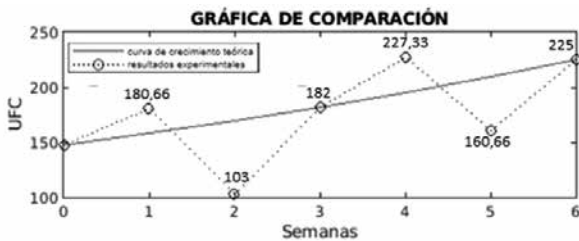
### Modelo matemático y datos experimentales

Las ecuaciones de crecimiento para cada zona estudiada obtenidas a partir de la ecuación 2, junto con la muestra de hongos, se ilustran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Resultados teóricos obtenidos a partir de la ecuación de crecimiento poblacional.

Muestra	Ecuación de crecimiento	Población inicial (UFC)
Zona interior		147,249
Zona exterior		28,62168
Zona de animales		330,453
Hongos		164,934

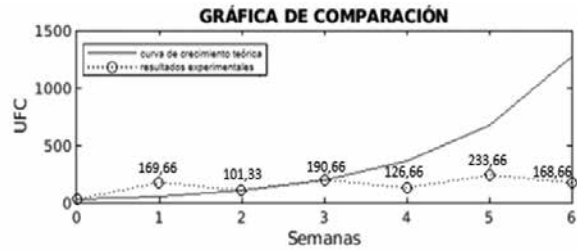
En la zona interior se puede ver que el modelo teórico indica un crecimiento exponencial a lo largo del tiempo, sin embargo, se observan fluctuaciones con respecto a los valores tomados en campo, ya que las condiciones ambientales, como el viento, la humedad relativa y la temperatura, son diferentes de una semana a otra; de la semana uno a la dos y de la semana cuatro a la cinco se identifica una disminución en las UFC (Figura 2), y un factor que influye es el aumento de la humedad relativa, que puede ocasionar que ciertas especies bacterianas disminuyan su población.



**Figura 2.** Comparación del modelo teórico de crecimiento con los valores experimentales para la zona interior.

Fuente: elaboración propia.

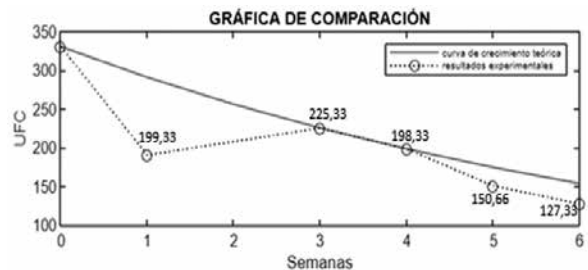
De igual manera, se observa un crecimiento exponencial a lo largo del tiempo en la zona exterior, ya que para la construcción de la ecuación de crecimiento se tomaron los valores de UFC de la semana 2 y de la semana 3, en los cuales se evidenció un aumento considerable en la población de especies bacterianas (Figura 3). No obstante, las fluctuaciones son evidentes, con aumentos y disminuciones en las seis semanas de muestreo. Además, se observa una disminución de las UFC de la semana 5 a la 6, ya que tanto la velocidad del viento como la temperatura disminuyeron, un km/h y 2 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa aumentó, lo cual influye en la dinámica poblacional de las especies bacterianas que suelen reproducirse de mejor manera cuando aumenta la velocidad del viento y la temperatura [29].



**Figura 3.** Comparación del modelo teórico de crecimiento con los valores experimentales para la zona exterior.

Fuente: elaboración propia.

En la zona de animales se observó un comportamiento diferente a las dos zonas previamente mencionadas, puesto que tanto la ecuación de crecimiento poblacional como los valores experimentales muestran una tendencia a la baja en la cantidad de UFC, solo con una excepción en el cambio de la población de la semana 1 a la 3, donde se presentó un incremento (Figura 3). El decrecimiento bacteriano en esta zona de estudio se puede deber a que el tránsito de animales fue muy limitado en el periodo de estudio, además se observó que con el paso de las semanas esta zona presentaba una mejor calidad higiénica ya que existía la presencia de personal encargado del aseo de esta zona. Por otro lado, la disminución en la temperatura y el aumento en la humedad relativa desde la semana 3 a la semana 6 puede ser causante de la disminución de las UFC en esta zona, lo cual concuerda con lo establecido en la investigación realizada por [2].



**Figura 3.** Comparación del modelo teórico de crecimiento con los valores experimentales para la zona de animales.

Fuente: elaboración propia.



En cuanto a la muestra de especies fúngicas, de acuerdo con el modelo teórico se observa un crecimiento exponencial, comportamiento que también se evidenció en la práctica, aunque las UFC disminuyeron en el periodo que comprende de la semana 3 a la semana 5 (Figura 4), debido al cambio de los factores ambientales, en especial de variables como la temperatura, la cual se redujo en 2 °C durante estas dos semanas, y la humedad relativa, la cual aumentó en un 2 %. Esto concuerda con lo hallado en [2]a, donde se identificó que las UFC de hongos encontradas en el aire de Neiva eran mayores cuando aumentaba la temperatura y disminuía la humedad relativa.



**Figura 4.** Comparación del modelo teórico de crecimiento con los valores experimentales para la muestra de hongos.

Fuente: elaboración propia.

Se identifica que el lugar que más presentó UFC fue la zona de animales con 180,196, en contraste, la que menos presentó fue la zona exterior con 165,105, sin embargo, la mayor diversidad de microorganismos estuvo en la zona exterior con un total de siete especies diferentes en comparación con los dos géneros presentes en la zona de animales. Probablemente esto se deba a que la zona exterior junto con la zona interior, que presentó 179,775 UFC en promedio, son las zonas por donde más transitan las personas y donde se ubican los alimentos, de ahí la diversidad de microorganismos encontrados en estas dos zonas. De igual manera, la mayoría de las especies bacterianas encontradas fueron gram positivas, cuya pared celular es más gruesa, lo que les proporciona una mayor resistencia a las diferentes condiciones ambientales.

Al realizar una comparación con estudios llevados a cabo en plazas de mercado en Ecuador [3] y Perú [26], se observa que la cantidad de UFC encontradas en la presente investigación fue significativamente más baja, esto puede obedecer a que el área de dichos mercados es mayor, lo que hace que tanto el tránsito de personas como la cantidad de alimentos y productos expuestos a la contaminación aumenten. Además, las condiciones climáticas son diferentes: en [26] la temperatura ambiental registrada en los muestreos realizados es superior a los 25 °C, por lo tanto, de acuerdo a lo mencionado por [2], la cantidad de especies bacterianas y fúngicas se dispersan más fácilmente.

Comparada con investigaciones similares, la cantidad de UFC en la plaza de mercado del sur de Tunja fue más baja, sin embargo, la diversidad de especies bacterianas y fúngicas identificadas (13 especies) fue mayor que en la plaza mayorista 25 de julio en Quevedo, Ecuador (9 especies) [3]. Pero al comparar con la investigación realizada por [26] el resultado fue similar, ya que en el mercado Modelo de Tingo María se encontraron 15 especies diferentes de bacterias y hongos.

## Conclusiones

El análisis microbiológico de contaminantes atmosféricos en la plaza de mercado del sur de Tunja permitió obtener un diagnóstico de la situación actual de la microbiota presente en el aire de este recinto, con el cual se concluye que el riesgo de infección es de medio a alto por la cantidad significativa de especies bacterianas y fúngicas encontradas, con capacidad de generar graves patologías en el ser humano (afectaciones pulmonares, infecciones cutáneas, enfermedades gastrointestinales), y en los animales, como es el caso de la bacteria *Fusobacterium*, que provoca casos necróticos, así como *Bacillus anthracis*, que afecta el ganado pero que es transmitida a los seres humanos y provocar el carbunco pulmonar, una enfermedad que puede ser mortal si las esporas logran germinar en el interior del organismo.

Por otra parte, se observó que los factores ambientales, como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, influyen de manera directa tanto en el crecimiento de los microorganismos

como en su propagación: humedades altas y velocidades del viento mayores a 1 m/s son condiciones que favorecen el asentamiento de las especies bacterianas y fúngicas en la plaza de mercado del sur de Tunja. Por esta razón, existen discrepancias entre el modelo de crecimiento teórico, determinado por las ecuaciones diferenciales, que no tiene en cuenta la intervención de las condiciones ambientales, y el modelo de crecimiento que considera los valores experimentales que están determinados por la intervención de estas condiciones. Se observó que la disminución en la cantidad de UFC se debe a la temperatura y la humedad relativa; en general, una temperatura más baja y una humedad más alta generan una reducción en las comunidades bacterianas y fúngicas.

No se encontraron registros de los brotes de contagio provocados por los microorganismos encontrados en la plaza de mercado y tampoco de las enfermedades transmitidas por los alimentos comercializados en este lugar, lo que puede obedecer a que en países subdesarrollados como Colombia esta clase de brotes epidémicos no suelen denunciarse y no se reportan suficientes investigaciones al respecto [5]. Sin embargo, es necesario realizar acciones encaminadas a mejorar las condiciones de salubridad al interior de la plaza de mercado, para lo cual se debe establecer un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos con miras a reducir los impactos ambientales negativos derivados de la disposición inadecuada de los residuos generados, y de esta forma disminuir la probabilidad de contraer alguna de las patologías provocadas por los microorganismos contaminantes.

Con la realización de esta investigación se recomienda que los lugares de trabajo, y en este caso zonas de amplia influencia, tengan áreas ventiladas, ya que estas características permiten disminuir concentraciones altas de microorganismos perjudiciales para la salud de las personas, tanto quienes concurren a esta plaza de mercado como los vendedores que pasan mayor tiempo en ella. La desinfección debería estar a cargo de una empresa capacitada para tal labor, dado que la limpieza que actualmente recibe la

plaza de mercado es de las personas que tienen allí su puesto de venta, y su área de influencia es exclusivamente los alrededores de dicho puesto.

## Referencias

- [1] Z. S. Varela, L. P. Lavalley y D. E. Alvarado, "Bacteria causing of foodborne diseases: An overview at Colombia," *Salud Uninorte*, vol. 32, n.º 1. Universidad del Norte, pp. 105-122, Jan-2016. doi: 10.14482/sun.32.1.8598.
- [2] C.A. Méndez-Puentes, J. G. Camacho-Suárez y S. Echeverry-Hernández, "Identificación de bacterias y hongos en el aire de Neiva, Colombia," *Rev. Salud Pública*, vol. 17, n.º 5, pp. 728-737, 2015. doi: 10.15446/rsap.v17n5.3846
- [3] V. H. Campoverde y A. D. Vélez, "Identificación de contaminantes biológicos en el mercado mayorista 25 de Julio de la ciudad de Quevedo y su relación con riesgos laborales y enfermedades profesionales", *SciELO.Sld.Cu*, n.º 1715958359, p. 2751430, 2015.
- [4] Y. L. Pulgarín y B. F. Orozco, "Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia", *Cuad. Act.*, n.º 12, 2020.
- [5] A. Gil, A. M. de Salim y Y. Gaesrte, "Calidad microbiológica en frutas de conchas comestibles expandidas en mercados populares de los municipios Valencia y San Diego, estado Carabobo, Venezuela", *Rev. la Soc. Venez. Microbiol.*, vol. 33, n.º 2, pp. 105-109, 2013.
- [6] L. M. G. Fierro y J. A. P. Bernal, "Protocolo de monitoreo y análisis de calidad microbiológica del aire en centros de atención médica", Universidad Santo Tomás, Tunja, 2016.
- [7] D. G. Zill y W. S. Wright, *Ecuaciones Diferenciales con problemas con valores en la frontera*, 8.ª ed., México: Cengage Learning Eds., 2013.

- [8] P. Acosta, B. Pacheco, L. Á. Cuéllar y M. Díaz Pita, "Análisis de variables físicas y microbiológicas en el proceso de compostaje de biosólidos en pilas menores a un metro cúbico", *Cuaderno Activa*, n.º 11, pp. 23-32, 2019.
- [9] G. E. Meek, W. Mendenhall, R. L. Scheaffer, y D. D. Wackerly, "Estadística matemática con aplicaciones", *Technometrics*, vol. 29, n.º 3, p. 384, 1994.
- [10] J. L. Cañada y J. R. García, "Carbunco", vol. 29, n.º 5, pp. 7-10, 2003.
- [11] J. Sánchez, M. Correa y L. M. Castañeda-Sandoval, "*Bacillus cereus* un patógeno importante en el control microbiológico de los alimentos", *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, vol. 34, n.º 2, 2016. doi: 10.17533/udea.rfnsp.v34n2a12
- [12] L. Souhami, R. Feld, P. G. Tuffnell y T. Feller, "Micrococcus luteus pneumonia: A case report and review of the literature", *Med. Pediatr. Oncol.*, vol. 7, n.º 4, pp. 309-314, 1979. doi: 10.1002/mpo.2950070404.
- [13] M. L. Espina Suárez, G. J. Guillen Rivera, B. Calvo y L. M. Meza, "Caracterización morfológica y fisiológica de las especies cándida aisladas de la cavidad bucal de pacientes geriátricos", *Cienc. Odontológica*, vol. 2, n.º 2, pp. 110-119, 2005.
- [14] J. J. Camarena y R. Sánchez, "Infección por *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina", Departamento de Microbiología, Hospital Universitario Doctor Peset, Valencia, 2008.
- [15] J. C. Freedman, A. Shrestha y B. A. McClane, "Clostridium perfringens enterotoxin: Action, genetics, and translational applications," *Toxins (Basel)*, vol. 8, n.º 3, 2016. doi: 10.3390/toxins8030073
- [16] R. J. Borroto, "Ecology of vibrio cholerae serogroup 01 in aquatic environments," *Rev. Panam. Salud Pública/Pan Am. J. Public Heal.*, vol. 2, n.º 5, pp. 328-333, 1997. doi: 10.1590/S1020-49891997001100005
- [17] Ministerio de Salud Pública de Colombia, "Cólera. Diagnóstico, tratamiento y prevención", 2013. Disponible en: <https://www.minsal.cl/portal/url/item/951d40f3a5b-b42a2e04001011e013c17.pdf>
- [18] L. M. E. Toro, S. L. A. Muñoz, y J. R. Restrepo, "K. pneumoniae y betalactamasas. Un problema creciente", *Med. UPB*, vol. 28, n.º 2, pp. 135-141, 2009.
- [19] K. Arane y R. D. Goldman, "Les infections à Fusobacterium chez l'enfant", *Can. Fam. Physician*, vol. 62, n.º 10, pp. 4-8, 2016.
- [20] C. A. Romero Bohórquez, D. F. Castañeda y G. S. Acosta, "Determinación de bacterias en el aire del laboratorio de microbiología de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas asociadas a posibles afecciones en la salud", Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2015.
- [21] C. Calizaya Limaco, G. Salazar Torres y J. Silva Aburto, "Evaluación de hongos ambientales en mercados de abastos de la ciudad de Tacna - Perú", *Revista Mexicana de Micología*, vol. 31, pp. 65-67, 2010.
- [22] F. Pacasa-Quisbert, M. G. Loza-Murguía, A. Bonifacio-Flores, L. VINO-NINA y T. Serrano-Canaviri, "Comunidad de hongos filamentosos en suelos del Agroecosistema de K'iphak'iphani, Comunidad Choquenaira-Viacha", *J. Selva Andin. Res. Soc.*, vol. 8, n.º 1, pp. 2-25, 2017. doi: 10.36610/j.jsars.2017.080100002

- [23] Fundación Vasca para la seguridad agroalimentaria, "Staphylococcus aureus", 2013. Disponible en: [http://www.elika.net/datos/pdfs\\_agrupados/Documento95/7.Staphylococcus.pdf](http://www.elika.net/datos/pdfs_agrupados/Documento95/7.Staphylococcus.pdf)
- [24] I. Portuondo, "Bacillus cereus y su papel en las intoxicaciones alimentarias", *Rev. Cuba. Salud Pública*, vol. 38, n.º 1, pp. 98-108, 2012.
- [25] I. Cruz-Lachica, I. Márquez-Zequera, R. S. García-Estrada, J. A. Carrillo-Fasio, J. León-Félix y R. Allende-Molar, "Identificación de hongos mucorales causantes de la pudrición blanda en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) en México", *Rev. Mex. Fitopatol. Mex. J. Phytopathol.*, vol. 35, n.º 3, pp. 397-417, 2017. doi: 10.18781/r.mex.fit.1611-3
- [26] D. C. Torres Cárdenas, "Microorganismos del aire interno de seis sectores del mercado Modelo de Tingo María", Informe de práctica pre-profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú, 2011. Disponible en: [https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/MICROORGANISMOS%20DEL%20AIRE%20INTERNO%20DE%20SEIS%20SECTORES%20DEL%20MERCADO%20MODELO%20DE%20TINGO%20MARIA.pdf](https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/MICROORGANISMOS%20DEL%20AIRE%20INTERNO%20DE%20SEIS%20SECTORES%20DEL%20MERCADO%20MODELO%20DE%20TINGO%20MARIA.pdf)
- [27] R. Ramos y V. Meza, "Efectos de algunos factores meteorológicos sobre la concentración de esporas de hongos en la Plaza San Martín de Lima, Perú", *Ecol. Apl.*, vol. 16, n.º 2, 2017.
- [28] A. Cruz y A. Jiménez, "Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos oportunistas y su relación con material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) en la localidad de Puente Aranda", tesis de grado, Universidad de La Salle, Bogotá, 2006.
- [29] K. V. Mallaiah y A. S. Rao, "Aerial dissemination of urediniospores of groundnut rust", *Trans. Br. Mycol. Soc.*, vol. 78, n.º 1, pp. 21-28, 1982. doi: 10.1016/s0007-1536(82)80072-7
- [30] Á. P. Álvarez Rodríguez y G. H. Meza Ruiz, "Correlación de microorganismos patógenos existentes en los ambientes intra y extramural presentes en jardines infantiles más y menos influenciados por factores contaminantes ubicados en las localidades de Fontibón y Kennedy", tesis de grado, Universidad de La Salle, Bogotá, 2009.
- [31] M. Mosso, C. Ullán y M. Rosa, "El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos", *Observatorio Medioambiental*, n.º 5, pp. 375-402, 2002. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0202110375A>