



Nivel de contaminación microbiana del aire en un taller agroindustrial y sus posibles riesgos laborales

Level of microbial contamination of the air in an agro-industrial workshop and its possible occupational risks

Nível de contaminação microbiana do ar em uma oficina agroindustrial e seus possíveis riscos ocupacionais

Holanda Teresa Vivas Saltos / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / teresa.vivas@espam.edu.ec

Sulay Katherine Marcillo García / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / sulykathmarga@gmail.com

Diana Margarita Zambrano Zambrano / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / dianazambrano030@gmail.com

María Fernanda Pincay Cantos / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / maria.pincay@espam.edu.ec

José Manuel Calderón Pincay / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / jose.calderon@espam.edu.ec

Recibido: 3/2/2022

Aceptado: 25/9/2022

Publicado: 23/10/2022

RESUMEN

La finalidad de esta investigación fue identificar las bacterias presentes en el aire circundante de un taller agroindustrial y sus posibles riesgos ocupacionales. Se procedió a la caracterización de las actividades que se desarrollan en el taller, ubicado en el cantón Bolívar, provincia Manabí, Ecuador, mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas y la observación directa. Posteriormente, se determinó el grado de contaminación bacteriana aplicando el monitoreo ambiental; se ejecutaron dos muestreos en siete puntos. La recolección de bacterias se realizó mediante sedimentación por gravedad; para determinar las posibles enfermedades que estas pueden provocar, se identificaron los microorganismos recolectados empleando agar *Petrifilm Staph Express* para *Staphylococcus aureus* y agar cristal violeta-rojo neutro-bilid-glucosa para Enterobacte-

rias. La mayor carga microbiana se presentó en el despacho con 270 UFC/m³ de aire. El *muestreo 1* alcanzó hasta 848 UFC/m³, considerándose contaminado, y en el *muestreo 2* la carga bacteriana fue de 550 UFC/m³, resultando poco contaminado. No existen cepas de *Staphylococcus aureus*, aunque hay presencia de *Enterobacter aeroneges* en las áreas de ingreso de materia prima y almacenamiento de hielo. Por ello se concluyó que, de no existir adecuadas medidas de higiene, el personal es susceptible a contraer infecciones a causa de *Enterobacter aeroneges*.

Palabras clave: bacteria, contaminación microbiológica, enfermedades, enterobacter

ABSTRACT

The purpose of this research was to identify the bacteria present in the surrounding air of an agro-industrial workshop and their possible occupational risks. We proceeded to characterize the activities that take place in the workshop, located in Bolívar canton, Manabí province, Ecuador, through the application of semi-structured interviews and direct observation. Subsequently, the degree of bacterial contamination was determined by applying environmental monitoring; two samplings were carried out at seven points. Bacterial collection was performed by gravity sedimentation. To determine the possible diseases that these can cause, the collected microorganisms were identified using *Petrifilm Staph Express* agar for *Staphylococcus aureus* and crystal violet-red neutral-bilid-glucose agar for Enterobacteriaceae. The highest microbial load was found in the office with 270 CFU/m³ of air. Sampling 1 reached up to 848 CFU/m³, being considered contaminated, and in sampling 2 the bacterial load was 550 CFU/m³, resulting in little contamination. There are no strains of *Staphylococcus aureus*, although there is a presence of *Enterobacter aeroneges* in the raw material entry and ice storage areas. For this reason, it was concluded that, if there are no adequate hygiene measures, the personnel is susceptible to contracting infections due to *Enterobacter aeroneges*.

Keywords: bacterium, diseases, enterobacter, microbiological contamination

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi identificar as bactérias presentes no ar circundante de uma oficina agroindustrial e seus possíveis riscos ocupacionais. Procedemos à caracterização das atividades que acontecem na oficina, localizada no cantão Bolívar, província de Manabí, Equador, por meio da aplicação de entrevistas semiestruturadas e observação direta. Posteriormente, foi determinado o grau de contaminação bacteriana por meio da aplicação de monitoramento ambiental; foram realizadas duas amostragens em sete pontos. A coleta bacteriana foi realizada por sedimentação por gravidade. Para determinar as possíveis doenças que estes podem causar, os microrganismos coletados foram identificados usando ágar *Petrifilm Staph Express* para *Staphylococcus aureus* e ágar cristal violeta-vermelho-bilida-glicose neutra para Enterobacteriaceae. A maior carga microbiana foi encontrada no consultório com 270 UFC/m³ de ar. A amostragem 1 atingiu até 848 UFC/m³, sendo considerada contaminada, e na amostragem

2 a carga bacteriana foi de 550 UFC/m³, resultando em pouca contaminação. Não há cepas de *Staphylococcus aureus*, embora haja a presença de *Enterobacter aeroneges* nas áreas de entrada de matéria-prima e armazenamento de gelo. Por esse motivo, concluiu-se que, se não houver medidas de higiene adequada, o pessoal fica suscetível a contrair infecções por *Enterobacter aeroneges*.

Palavras chave: bactérias, contaminação microbiológica, doenças, enterobacter

INTRODUCCIÓN

Se estima que a nivel mundial el efecto de la contaminación del aire sobre la esperanza de vida es más del doble que los efectos combinados de la contaminación del agua, el suelo y la contaminación ocupacional (Moellin y Broecker, 2020). Referente a la contaminación atmosférica de origen biológico, los microorganismos aerotransportados son omnipresentes en el entorno y gradualmente se convierten en objeto de investigación, puesto que estos microorganismos desempeñan un papel vital en la salud humana, la química atmosférica, los procesos de nucleación y las interacciones de los ecosistemas (Zhai *et al.*, 2018).

Varias especies o cepas bacterianas tienen una alta tolerancia a la baja temperatura, la irradiación ultravioleta y otros factores de estrés ambiental, que se pueden encontrar en la atmósfera; estas características bacterianas permiten la presencia de bacterias en la estratosfera y el transporte intercontinental a lo largo de miles de kilómetros (Ruiz *et al.*, 2020). Por otra parte, se ha demostrado el impacto del aire exterior en la calidad del aire en interiores, dado que los contaminantes del aire exterior podrían penetrar en interiores junto con el aire infiltrado en un edificio con ventilación natural; por lo que se ha determinado que las comunidades de

bacterias en el interior son similares a aquellas del aire exterior (Zhou *et al.*, 2021).

El aire interior nunca queda libre de microorganismos/esporas, de hecho, los factores abióticos como la temperatura, la humedad, el aislamiento, los equipos de circulación de aire y el mantenimiento de los conductos regulan el aire interior y la supervivencia de los contaminantes biológicos, además, se ha reportado que los elementos de ventilación (ventiladores y acondicionadores de aire) generalmente están colonizados por hongos (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Phialophora* y *Geotrichium*), bacterias y levaduras (Kumar *et al.*, 2021). La relevancia científica de conocer la calidad del aire interior radica en que estos lugares actúan como reservorio de patógenos, que luego se transfieren a otros individuos, por ejemplo, administradores, trabajadores y visitantes al toser, estornudar, hablar y otras actividades humanas (Moldoveanu, 2015).

Desde una perspectiva social, la calidad del aire interior se ve afectada por la presencia de microorganismos que incluyen bacterias, mohos y virus; mientras que las personas pasan entre el 80 y 90% de su tiempo en ambientes interiores, respirando un promedio de 14 m³ de aire por día. A partir de esto, en los últimos años ha existido un creciente

interés en los estudios sobre los microorganismos presentes en el aire interior, lo cuales son capaces de afectar la salud humana, causando principalmente enfermedades en las vías respiratorias superiores e inferiores al inducir reacciones de hipersensibilidad inmediata, otros tipos de respuestas inmunológicas o infección. También pueden actuar como posibles irritantes e incluso como toxinas, siendo los principales responsables de la mortalidad y la morbilidad entre los huéspedes susceptibles (Fu *et al.*, 2021).

Por otra parte, es probable que los seres humanos y el aire exterior sean los principales vectores de transporte de microorganismos (Fujiyoshi *et al.*, 2017). Por tanto, el estudio de las bacterias aerotransportadas en ambientes al aire libre tiene relevancia tanto para la salud pública como para el desarrollo de diversas actividades de carácter antrópico como los procesos agroindustriales (Ruiz-Gil *et al.*, 2020).

En el casco urbano de la ciudad de Calceta, poblado más cercano al taller objeto de estudio, se determinó que existe una concentración elevada de bacterias en el aire (de hasta 948.22 UFC/m³) (Vivas *et al.*, 2021). Además, en el taller de procesos agroindustriales, se desarrolla el procesamiento de lácteos, cárnicos, harinas, balanceados, frutas y vegetales. Bajo tales antecedentes, el desarrollo de esta investigación busca responder el planteamiento de la siguiente hipótesis: las actividades que se llevan a cabo en el taller propician condiciones para la proliferación de bacterias que afectan la salud de las personas que laboran en dicho lugar. Para ello se plantearon los siguientes

objetivos: caracterizar las actividades que se desarrollan en el taller, determinar el grado de contaminación microbiológica y describir el riesgo para la salud del personal por la presencia de bacterias. La estrategia metodológica aplicada responde a un enfoque mixto, a continuación se detalla el proceso y las técnicas empleadas.

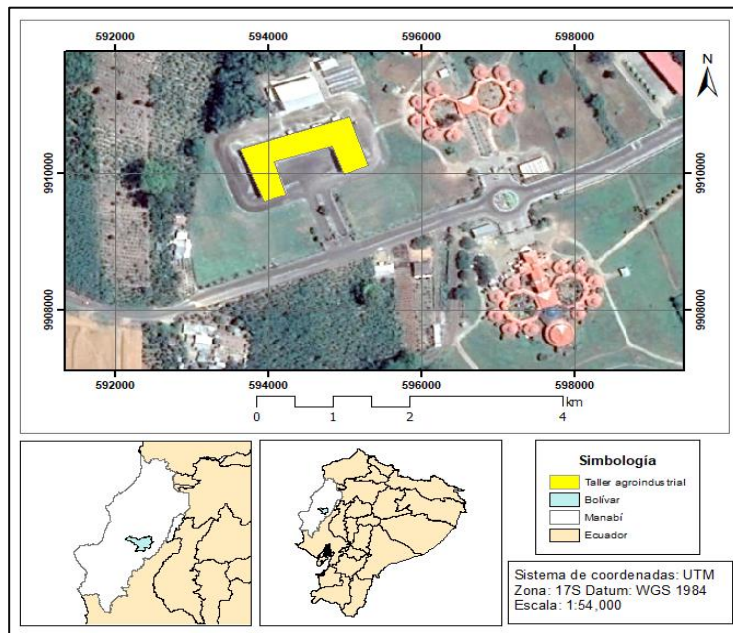
MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio presenta un enfoque mixto, puesto que incluye diferentes características tanto del enfoque cuantitativo como del enfoque cualitativo, además, se ha fijado el alcance de la investigación de tipo descriptivo. En este contexto, las variables bajo análisis comprenden: el nivel de contaminación microbiana del aire y sus posibles riesgos laborales, variables que fueron definidas acorde a criterios de Sáez (2017) dado que, no existen criterios técnicos aplicables al ambiente industrial o a espacios de interior para evaluar los contaminantes biológicos; los cuales muestran una amplia variabilidad de características según su propia naturaleza. En lo referente al procedimiento para analizar los datos, se tomaron como fundamento resultados de investigaciones relacionadas con el tema de estudio.

Área de estudio

Esta investigación se realizó en el taller de procesos agroindustriales del cantón Bolívar, provincia Manabí, Ecuador; ubicado en las coordenadas 590434.36 E, 9908547.72 N (*figura 1*). Según la clasificación de Holdridge el área se encuentra en la región subhúmeda tropical (Sistema Nacional de Información, 2012).

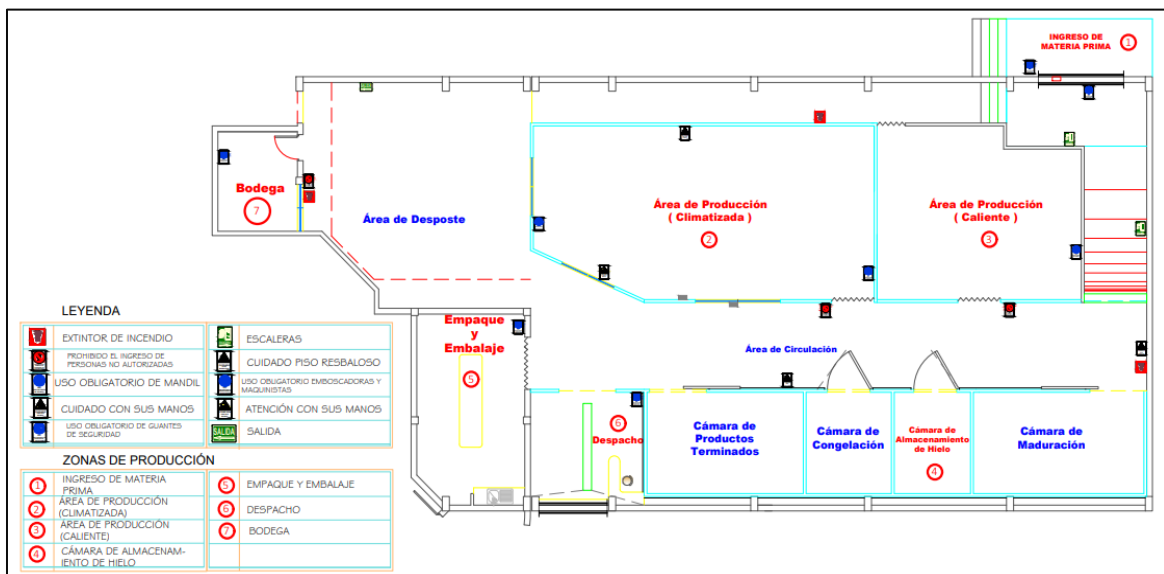
Figura 1. Ubicación geográfica del taller de procesos agroindustriales.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2 se detalla la distribución de las áreas de proceso del taller, puntualizando la infraestructura interna y la señalética de bioseguridad, lo cual constituyó un insumo importante para el establecimiento de los puntos de monitoreo.

Figura 2. Orientación de las diferentes áreas del taller agroindustrial.



Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de las actividades que se desarrollan en el taller de procesos agroindustriales

Mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas y la observación directa, se obtuvieron los datos básicos del taller objeto de estudio (días laborables, horarios, equipos de protección personal utilizados, higiene y desinfección); identificando las actividades realizadas en las diferentes áreas de trabajo (Feria *et al.*, 2020).

Determinación del grado de contaminación bacteriana

Se realizaron dos muestreos aplicando el método pasivo por sedimentación en placa. Para esto se prepararon los medios de cultivos selectivos, empleando la técnica de sedimentación por gravedad. Tomando en cuenta los procesos productivos del taller, se establecieron los puntos de monitoreo (*tabla 1*), en cada punto se colocaron tres cajas Petri. Se ejecutaron dos muestreos según lo propuesto

Tabla 1. Lista de los puntos de monitoreo establecidos.

Punto	Área
1	Ingreso de materia prima
2	Área de producción (climatizada)
3	Área de producción (caliente)
4	Cámara de almacenamiento de hielo
5	Empaque y embalaje
6	Despacho
7	Bodega

Fuente: Elaboración propia.

por Romero *et al.* (2016); el *muestreo 2*, se realizó transcurridos 15 días después del primero (Pérez *et al.*, 2016).

La identificación de bacterias se realizó siguiendo el método de ensayo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana 1529-1:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) para la preparación de medios de cultivo selectivo (medio sólido), el cual se fundamenta en la capacidad de las enterobacterias de producir ácidos a partir de la glucosa, y utiliza la técnica del recuento en placa por siembra en profundidad. La recolección de bacterias se llevó a cabo mediante la técnica de sedimentación por gravedad, adaptando la metodología de Silva (2018). Las cajas

Petri (con el medio de cultivo) se expusieron abiertas durante 30 minutos; posteriormente se sellaron herméticamente y se ubicaron en un contenedor aislante de poliestireno expandido para ser trasladadas al laboratorio de microbiología donde se llevó a cabo la identificación de bacterias.

Las condiciones de inoculación se efectuaron siguiendo lineamientos expuestos por Brągoszewska *et al.* (2020); estableciéndose una temperatura de 37 °C por 48 horas para bacterias totales. Al finalizar la inoculación de bacterias, se llevó a cabo el conteo de colonias en un contador *BOECO* y los recuentos se expresaron según el método pasivo por sedimentación en placa, representado

por la ecuación 1. Los recuentos totales de bacterias se compararon con criterios determinantes (tabla 2) de la contaminación de microorganismos para un espacio explícito (Andualet *et al.*, 2019)

$$N = \frac{NC \times 25}{T} \quad (1)$$

Donde:

N = UFC/m³ de aire

NC = Número de colonias

T = Tiempo (minutos)

Tabla 2. Criterios empleados para establecer el grado de contaminación del aire en el taller de procesos agroindustriales.

Niveles de contaminación	Concentración de microorganismos (UFC/m ³ de aire)
Muy baja	25
Baja	26 – 100
Intermedia	101 – 500
Alta	501 – 2000

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

Identificación del riesgo para la salud del personal por la presencia de bacterias

Para medir bacterias, el recuento de colonias en medios de cultivo celular sólidos es uno de los métodos más tradicionales y ampliamente utilizados (Park *et al.*, 2014). Esta etapa inició con la identificación de los microorganismos recolectados, mediante la preparación de agares según la Norma Técnica Ecuatoriana 1529-1:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) con diferente uso y propósito de identificación (tabla 3); para bacterias *Staphylococcus aureus* (Petrifilm Staph Express) y para Enterobacterias (agar cristal violeta-rojo neutro-bilid-glucosa).

Para tal propósito se prepararon diluciones a concentraciones de 10x1, 10x2 y 10x3 con agua peptonada (método de Listeria) para las dos siembras, tomando una repetición al azar de cada punto de muestreo. Para realizar el conteo en *Staphylococcus aureus* se aplicó el recuento en placa por siembra en profundidad basado en la Norma Internacional de la Association of Analytical Communities método oficial 2003:11 (ecuación 2); mientras que el recuento de Enterobacterias se hizo por siembra en profundidad acorde a lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana 1529-1:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) (ecuación 3).

$$N = \text{Número de colonia de un cuadro representativo} * 30 \quad (2)$$

$$N = \frac{\text{Número total de colonias encontradas o calculadas}}{\text{Cantidad total de muestra sembrada}} \quad (3)$$

Tabla 3. Criterios de identificación de bacterias según características de las colonias.

Familia	Microorganismos	Características morfológicas
Enterobacteriaceae	<i>Escherichia coli</i>	Colonias con precipitado
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Rosadas, cremosas y mucosas
	<i>Salmonella typhimurium</i>	Colonias incoloras
	<i>Enterobacter aerogenes</i>	Colonias rosas
	<i>Proteus mirabilis</i>	Incoloras transparentes
	Staphylococcaceae	<i>Staphylococcus aureus</i>

Fuente: Course Hero (2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

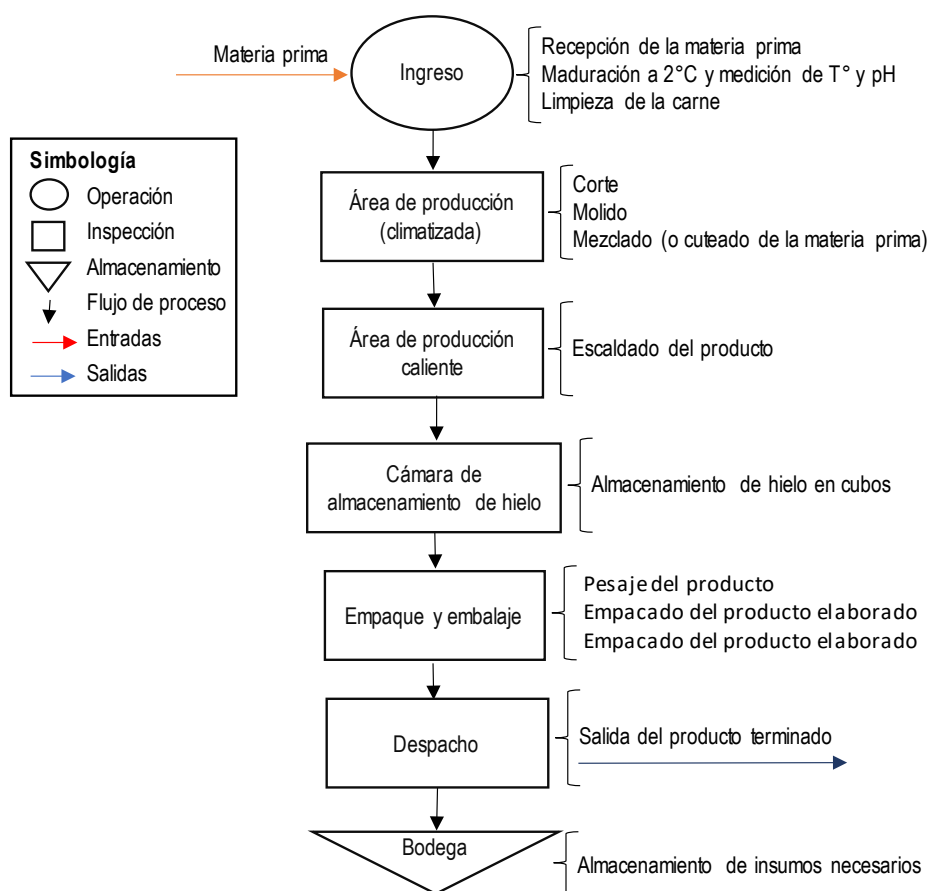
Caracterización de las actividades que se desarrollan en el taller de procesos agroindustriales

El área del taller agroindustrial es de 363 m²; cuenta con tres puertas de acceso y cuatro ventanas; el techo está cubierto de láminas de policarbonato y el piso tiene recubrimiento de pintura epóxica; además, cuenta con seis extractores de aire eólico y servicios básicos (agua potable y electricidad). En la *figura 3* se detalla el flujo de los procesos que se desarrollan en el taller, donde se evidencia que ciertas actividades requieren de variabilidad de temperatura, lo que permite la presencia de diversos microorganismos en el aire; pues según el *Department of Agriculture* (2017) la temperatura es un factor esencial para el desarrollo de microorganismos como los psicrotróficos

(< 100°C), ambientales (10-25 °C), mesófilos (35-37°C) y termófilos (45 °C).

El horario de trabajo es de lunes a viernes desde las 8:00 y hasta las 17:00 horas. Los equipos de protección personal utilizados incluyen: mandil, botas, cofia, guantes y mascarilla; además, el taller cuenta con señaléticas de seguridad (información, advertencia, seguridad y peligro). Asimismo, en las instalaciones del taller existen botiquines de primeros auxilios y extintores. En cuanto a la higiene, limpieza y desinfección de las instalaciones se realiza dos veces al día durante los cinco días laborables. Los equipos y materiales se desinfectan diariamente y los extractores de aire eólicos se limpian cada seis meses; cabe indicar que el personal que realiza la limpieza utiliza los equipos de protección personal apropiados para la prevención de los riesgos y protección de su salud.

Figura 3. Diagrama de proceso de actividades de cada área del taller agroindustrial.



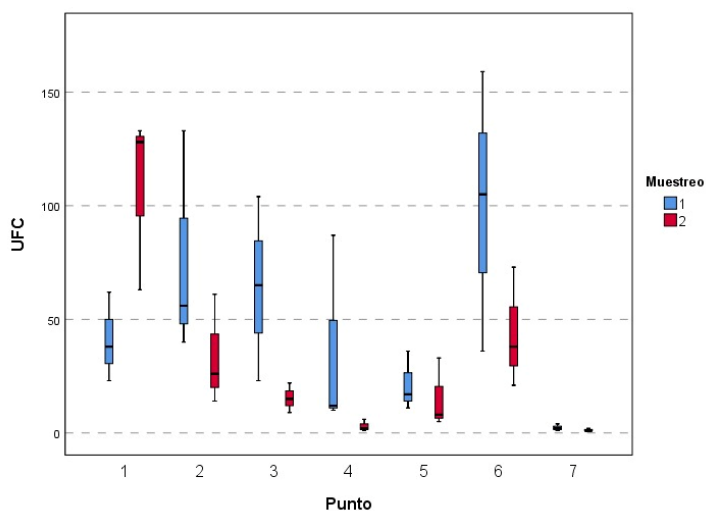
Fuente: Elaboración propia.

Determinación del grado de contaminación bacteriana

El total de *Unidades Formadoras de Colonias* (UFC) encontradas en cada punto de monitoreo se muestra en la figura 4, determinándose que durante el *muestreo 1* la mayor carga bacteriana se presentó en el punto 6 (despacho), con un total de 300 UFC. Mientras que, en el

segundo monitoreo (ejecutado después de dos semanas) existió mayor cantidad de UFC en el punto 1 (ingreso de materia prima), alcanzando las 324 UFC; en contraste, el punto 7 (bodega) mostró los menores valores de UFC, siendo iguales a 7 y 4 UFC en el primer y segundo muestreo respectivamente.

Figura 4. Diagrama de cajas de la distribución de datos de las UFC formadas en cada punto de monitoreo.

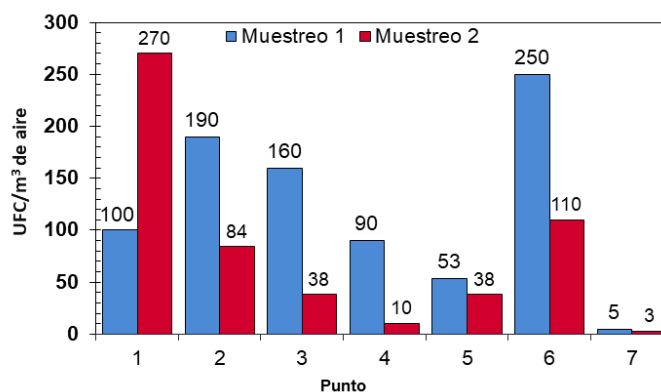


Fuente: Elaboración propia.

En relación con estos hallazgos, se ha determinado que existe abundancia de bacterias en áreas cercanas a fuentes de contaminación externas e internas, como: presencia frecuente de personas, puertas y ventanas (Romero *et al.*, 2016). Lo anterior concuerda con el alto número de UFC encontrado en el punto 6, debido a la circulación del personal hacia esta área, y en el punto 1 se atribuye el alto nivel de UFC a la entrada de aire exterior por la puerta de ingreso que es de dimensiones considerables; el conteo de colonias es una técnica básica, efectiva y confiable según lo expone Kim *et al.* (2021).

De manera semejante al total de UFC por área, al efectuar la determinación de las UFC/m³, se encontró que en el primer muestreo en el punto 6 (despacho) se alcanzaron las 250 UFC/m³, siendo este el valor más elevado. Para el *muestreo 2* el punto 1 (ingreso de materia prima) presentó el mayor nivel de bacterias, con 270 UFC/m³ (figura 5). Al comparar estos resultados con los criterios puntualizados en la *tabla 2* se deduce que los puntos 1 y 6 presentan un nivel de contaminación intermedia.

Figura 5. Recuento total de bacterias en cada punto de monitoreo.



Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto para considerar es que en el *muestreo 1* los valores fueron más elevados en los puntos 1 (100 UFC/m³), 2 (190 UFC/m³), 3 (160 UFC/m³) y 6 (250 UFC/m³); valores que, en las industrias alimentarias corresponden a un ambiente contaminado, en contraste, en el segundo monitoreo los niveles se mantuvieron bajos: 100 UFC/m³ (a excepción del punto 1), indicando un bajo grado de contaminación (Masotti *et al.*, 2018; Andualem *et al.*, 2019). En un estudio realizado en un edificio de oficinas en Gliwice, Polonia, se determinó que el nivel de bacterias observado en el exterior (325 UFC/m³) fue incluso cuatro veces menor que el nivel registrado en el interior (de 540 a 1360 UFC/m³), por lo que los autores concluyeron que las actividades humanas suelen ser la fuente predominante de bacterias en el interior (Bragoszewska *et al.*, 2018). Por otra parte, al estudiar la calidad del aire en una universidad de Etiopía, se encontró que las aulas universitarias tuvieron una concentración bacteriana de hasta 2453 UFC/m³, indicando un rango altamente contaminado, por lo que esta edificación fue considerada candidato potencial para el síndrome del edificio enfermo (Ashuro *et al.*, 2022).

Al analizar datos de conteos en otros ambientes, como en un cruce de alta densidad de tráfico en India, se determinó una concentración bacteriana total promedio de 2000 UFC/m³, siendo significativamente mayor ($p < 0.05$) que la concentración fúngica correspondiente (1100 UFC/m³); además, se observó una fuerte correlación positiva ($r = 0.83$, $p < 0.05$) entre los aerosoles bacterianos y fúngicos, lo que indica la similitud de los factores que afectan sus variaciones temporales (Madhwal *et al.*, 2020).

De manera semejante, al analizar el nivel de bioaerosoles en una planta de tratamiento de aguas residuales, se encontró un promedio de 1016 UFC/m³ en invierno y 1973 UFC/m³ en verano (Niazi *et al.*, 2015).

Por otro lado, en esta investigación, el valor total de UFC/m³ para el *muestreo 1* fue de 848 UFC/m³, mientras que en el *muestreo 2* se alcanzaron los 550 UFC/m³; por lo que la disminución de la carga bacteriana fue de 298 UFC/m³, lo cual se atribuye a la limpieza general en las instalaciones del taller agroindustrial realizada un día antes del segundo muestreo. Las bacterias mesófilas son microorganismos muy adaptables y, por lo tanto, se pueden encontrar en una amplia variedad de hábitats (Fritsche, 2016). Las partículas, que son emitidas tanto por fuentes antropogénicas como naturales, varían mucho en concentración y pueden aumentar mucho en el aire ambiente (Bowers *et al.*, 2011).

Esta dependencia también se ha descrito en el aire circundante a las viviendas, donde se atribuye la carga bacteriana a factores como elevada humedad relativa, insuficiente ventilación natural e insolación, limpieza deficiente y hacinamiento (Course Hero, 2022). Es decir, existe una notable dependencia de la carga bacteriana ante la asepsia.

Identificación del riesgo para la salud del personal por la presencia de bacterias

No se identificaron bacterias *Staphylococcus aureus* en ninguno de los puntos establecidos; lo cual se atribuye al uso obligatorio de mascarilla o cubreboca, con la finalidad de prevenir la propagación del COVID-19, pues las bacterias pertenecientes al género *Staphylococcus*

normalmente sobreviven en la mucosa nasal y en la boca de los humanos (Mayo Foundation for Medical Education and Research, 2022). En adición, se ha puntualizado que la presencia de polvo en el aire afecta la capacidad de cultivo, la capacidad de formación de biopelículas y el potencial inflamatorio, pero no la viabilidad de *Staphylococcus aureus*, lo que también se relaciona con la higiene (Kerr *et al.*, 2020).

Por otra parte, se identificaron colonias rosas en los puntos 1 (ingreso de materia prima) y 4 (cámara de almacenamiento de hielo), por lo

que acorde a la *tabla 3* se deduce la presencia de *Enterobacter aeroneges*, cuyos valores se resumen en la *tabla 4*. Se ha reportado la presencia de *E. aeroneges* en varios tipos de alimentos; no obstante, sobre todo en aquellos productos derivados de la carne debido a que son parte de la flora intestinal de los animales (Moelling y Broecke, 2020); noción que concuerda con los hallazgos de esta bacteria en el punto 1, donde ingresa carne de cerdo, pollo y res.

Tabla 4. Recuento total de la especie *Enterobacteriaceae sp.* Expresado en UFC/m³ de aire.

Punto	Muestreo 1			Muestreo 2		
	Repetición	Dilución 10 ²	Dilución 10 ³	Repetición	Dilución 10 ²	Dilución 10 ³
1	R1	0	0	R2	<1.0X10 ¹	0
2	R2	0	0	R1	0	0
3	R3	0	0	R3	0	0
4	R3	1.3X10 ²	0	R2	1.3X10 ²	0
5	R2	0	0	R1	0	0
6	R1	0	0	R1	0	0
7	R3	0	0	R1	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Dada la característica facultativa de las Enterobacterias, pueden vivir con o sin aire y se desarrollan mejor cuando la concentración de oxígeno en la atmósfera es de entre 3 y 5% (Kerr *et al.*, 2020); estos microorganismos también pueden vivir a una temperatura de 20 a 45 °C, aunque algunas pueden vivir a temperaturas de refrigeración, concordando con la presencia de *E. aeroneges* en el punto 4 (cámara de almacenamiento de hielo), lugar donde existe gran cantidad de agua disponible favoreciendo su desarrollo. Además, la presencia de bacterias fecales como el grupo de las *Enterobacteriaceae* se considera una fuerte contaminación del aire interior, vinculada inclusive a fugas provenientes

de aguas residuales (Ruiz-Gil *et al.*, 2020) y está asociado con una variedad de hábitats ambientales. Las cepas de *E. aeroneges* tienen una amplia capacidad para adquirir mecanismos de resistencia a los antibióticos. Otros resultados han demostrado que *E. aeroneges* sobrevive en todo tipo de superficies (acero inoxidable, PVC o cerámica) y que sobrevive durante al menos 500 horas en temperaturas de hasta 7 °C (Igo y Schaffner, 2019).

La presencia de *Enterobacter aeroneges* se detectó en el taller estudiado, donde los riesgos para el personal se asocian con el padecimiento de enfermedades como: infección del tracto urinario, diarrea aguda, otitis media, celulitis y

sepsis neonatal (Bush y Vazquez-Pertejo, 2022). Estos hallazgos sugieren que el personal del taller agroindustrial es susceptible de contraer cualquiera de las infecciones antes mencionadas. Este estudio proporciona información para identificar las interacciones entre las bacterias mesófilas y las partículas en el aire, los datos obtenidos se pueden utilizar como valores de referencia para la evaluación de las emisiones en diferentes ambientes, la información sobre las concentraciones microorganismos en el aire es necesaria tanto para estimar el peligro para la salud como para crear estándares de control de la calidad del aire interior. Las principales implicaciones de los resultados conforman una línea base que estima la concentración bacteriana en un taller de procesos agroindustriales. En investigaciones futuras se aplicarán metodologías para identificar los microorganismos molecularmente, aplicando técnicas como la metagenómica y secuenciación, y así generar propuestas que permitan mejorar la calidad del aire interior.

CONCLUSIONES

Mediante los monitoreos realizados se determinó que en el taller agroindustrial

existe hasta 270 UFC/m³, valor que sugiere un nivel de contaminación intermedio en el lugar, lo que se asocia a manifestaciones clínicas como alergia, rinitis, asma y conjuntivitis. Por lo tanto, se debe prestar atención al control de aquellos factores ambientales que favorecen el crecimiento y la multiplicación de microorganismos en el ambiente interior del taller de procesos agroindustriales para salvaguardar la salud de los usuarios y trabajadores.

La identificación morfométrica reveló la presencia de *Enterobacter aeroneges* en los puntos 1 (ingreso de materia prima) y 4 (cámara de almacenamiento de hielo), por lo que de no existir adecuadas medidas de higiene, el personal del taller puede sufrir enfermedades infecciosas a causa de su exposición a esta bacteria. Aunque recientemente se han propuesto factores que influyen en las comunidades bacterianas transportadas por el aire y procedimientos estandarizados para su evaluación, el uso de taxones bacterianos como indicadores microbianos de fuentes específicas de bioaerosoles y estacionalidad no se ha explorado ampliamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aalde, H., Gonzalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Ogle, S., Raison, J., Schoene, D., Ravindranath, N. H., Elhassan, N. G., Heath, L. S., Higuchi, N., Kainja, S., Matsumoto, M., Sanz, M. J. y Somogyi, Z. (2006). Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra en H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe (Eds), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 4). Instituto para las Estrategias Ambientales Globales. <https://bit.ly/3ciocMV>
- Arroyave, M. (2018). *Estimación del crecimiento, la biomasa y la captura de carbono de tres especies arbóreas del bosque urbano en los municipios de Medellín y Envigado* [Tesis de Maestría, Universidad EIA]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3c0CMbU>

- Arroyave, M. P., Posada, M. I. y Gutiérrez, M. E. (2014). *Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá*. Universidad EIA. <http://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co>
- Arroyave, M., Posada, M. I., Nowak, D. J. y Hoehn, R. E. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1), 5-16. <https://doi.org/h4j2>
- Arteaga, N. y Casanova, K. (2018). *Valoración económica y ambiental del arbolado en la zona centro sur de Manta, tramo parque de la Madre – redondel de Barbasquillo* [Tesis de Grado no publicada]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
- Brown, S. y Lugo, A. E. (1992). Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1), 8-18. <https://bit.ly/3PIDfUS>
- Castillo-Ruperti, R. J., Rodríguez-Guerrero, B. y Bravo-Meza, K. (2022). Fijación de carbono (CO₂) del arbolado de los parques La Rotonda y La Madre, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 6(10), 8-21. <https://doi.org/h4kq>
- Cristancho, F. A. (2020). *Propiedades y cualidades del árbol de Neem (Azadiractha indica a. juss) como especie promisorio en arreglos agroforestales* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3lyamIK>
- Czaja, M., Kołton, A. y Muras, P. (2020). The complex issue of urban trees-stress factor accumulation and ecological service possibilities. *Forest*, 11(9), 932. <https://doi.org/10.3390/f11090932>
- Danilina, N., Tsurenkova, K. y Berkovich, V. (2021). Evaluating urban green public spaces: The case study of Krasnodar Region cities, Russia. *Sustainability*, 13(24), 14059. <https://doi.org/h4kr>
- DatosMacro. (2020). *Ecuador - Emisiones de CO₂ en 2020*. Recuperado el 4 de enero de 2022 de <https://bit.ly/3ySVkDT>
- Divakara, B. N., Nikitha, C. U., Nölke, N., Tewari, V. P. y Kleinn, C. (2022). Tree diversity and tree community composition in northern part of megacity Bengaluru, India. *Sustainability*, 14(3), 1295. <https://doi.org/h4ks>
- Dyderski, M. K. y Jagodzinski, A. M. (2020). Impacts of alien tree species on the abundance and diversity of terricolous bryophytes. *Folia Geobotanica*, 55, 351–363. <https://doi.org/gn49t8>
- Edwards, P. J., Drillet, Z., Richards, D. R., Fung, T. K., Song, X. P., Leong, R. A. T., Gaw, L. Y. F., Yee, A. T. K., Quazi, S. A., Ghos, S. y Chua, K. W. J. (2020). Ecosystem services in urban landscapes: Benefits of tropical urban vegetation. Singapore-ETH Centre/Future Cities Laboratory. <https://bit.ly/3ytdxq7>

- Farinango, J. P. (2020). Determinación de la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado de las avenidas de cuatro parroquias urbanas del cantón Ibarra [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3nWmIKV>
- Farinango-Carlosama, J. N. (2020). *Estimación de la captura de carbono del arbolado urbano en la Cabecera cantonal de Otavalo, provincia de Imbabura* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3AGBZHh>
- Flores, K. L., García, F. E., Irigoín, Y. y Taype, C. A. (2021). *Los espacios verdes públicos y su influencia en la calidad de vida urbana en el distrito de Lurín, 2020. Arquitectura y Urbanismo Ambiental*, 24. <https://doi.org/10.21142/tb.2021.1966>
- Gratani, L., Varone, L. y Bonito, A. (2016). Carbon sequestration of four urban parks in Rome. *Urban Forestry & Urban Greening*, 19(1), 184-193. <https://doi.org/f882j8>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2018). *Anuario de Estadísticas de Transporte 2017* [PDF]. <https://bit.ly/2P5yp3h>
- International Energy Agency. (2008). *World Energy Outlook: 2008*. OECD/IEA. <https://bit.ly/3ch6klr>
- Jumbo-Salazar, C. A., Arévalo, C. D. y Ramirez-Cando, L. J. (2018). Carbon measurement of the natural forest arbóreo stratum, Tinajillas-Limon Indanza, Ecuador. *La Granja*, 27(1), 49-61. <https://doi.org/h5jk>
- Kiss, M., Takács, A., Pogácsás, R. y Gulyás, A. (2015). The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*, 23(3). <https://doi.org/gf39td>
- Kowarik, I., Fischer, L. K. y Kendal, D. (2020). Biodiversity conservation and sustainable urban development. *Sustainability*, 12(12), 4964. <https://doi.org/10.3390/su12124964>
- Latinopoulos, D. (2022). Evaluating the importance of urban green spaces: a spatial analysis of citizens' perceptions in Thessaloniki. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. <https://doi.org/10.1007/s41207-022-00300-y>
- Muneroli, C. C. y Mascaró, J. J. (2010). Arborização urbana: uso de espécies arbóreas nativas na captura do carbono atmosférico. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(1), 160-182. <https://doi.org/h4qb>

- Muñoz, M. E. y Vásquez, E. G. (2020). *Estimación del potencial de captación de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO₂ vehicular en Cuenca, Ecuador* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3AGHQfU>
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático* (FCCC/INFORMAL/84*). Recuperado el 4 de enero de 2022 de <https://bit.ly/3AKAvM7>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Los bosques y el cambio climático*. Recuperado el 15 de diciembre de 2021 de <https://bit.ly/3yXx8jR>
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. y Anthony, S. (2009). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. World Agroforestry Centre. <https://bit.ly/3PjPa5l>
- Paganová, V. y Vyhnáliková, M. (2018). Pruning urban trees-type and quality according to arborist union standards. *Plants in Urban areas and landscape*, 29-34. <https://doi.org/h4qn>
- Pilozo, M. F. (2017). *Espacios Verdes en la Universidad Eloy Alfaro de Manabí: Importancia Ambiental e Influencia en el Bienestar de las personas* [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3yVJ8RI>
- Raihan, A., Begum, R. A., Mohd, M. N. y Pereira, J. J. (2021). Assessment of carbon stock in forest biomass and emission reduction potential in Malaysia. *Forests*, 12(10), 1294. <https://doi.org/10.3390/f12101294>
- Rojas, M. V., Caraballo, M. A., Álvarez, O. H. y Vivanco, S. (2018). Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja, Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 8(1), 23-29. <https://bit.ly/3uEGE8Z>
- Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M. y Bhattacharya, P. (2021). Assessment of carbon sequestration potential of tree species in Amity University Campus Noida. *Environmental Sciences Proceedings*, 3(1), 51. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-08075>
- Turner-Skoff, J. B. y Cavender, N. (2019). The benefits of trees for livable and sustainable communities. *Plants, People, Planet*, 1(4), 323–335. <https://doi.org/10.1002/ppp3.39>
- Velasco, E., Roth, M., Norford, L. y Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*, 148, 99–107. <https://doi.org/f8gh6g>
- Virido, J., Pittman, J., Bost, J., Bedwell, K., Thomson, V., Stewart, F., Otto, A., Sendall, J., Puciato, H. y Patel, R. (2022). *Pan-European City Rating and Ranking on Urban Mobility for Liveable Cities. Report for the Clean Cities Campaign, hosted by Transport & Environment* [PDF]. <https://bit.ly/3axOcUO>

Wang, Y., Chang, Q. y Li, X. (2021). Promoting sustainable carbon sequestration of plants in urban greenspace by planting design: A case study in parks of Beijing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127291. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127291>

Xie, Ch. (2018). Tree diversity in urban parks of Dublin, Ireland. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(12A), 8695-8708. <https://bit.ly/3OpcGgg>

Zucchetti, A., Hartmann, N., Alcantara, T., Gonzales, P., Cánepa, M. y Gutierrez, C. (2020). *Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina*. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y ClikHub. <https://bit.ly/3zoFzF7>