

Microbiological Quality of Indoor Air at the San Sebastian Market - Cajamarca, 2025

Diego Chávez-Plasencia¹; Milagros Blanco-Broncales²; Fanny Chuquimango-Tingal³;

Carlita Izquierdo-Ramirez, M.Sc.⁴

^{1,2,3,4}Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00362530@upn.pe, N00338910@upn.pe, N00283594@upn.pe, carlita.izquierdo@upn.pe

Abstract– *The purpose of this research study was to assess the microbiological quality of indoor air at the San Sebastián Market, an enclosed environment of public health significance located in the city and department of Cajamarca. Currently, there are few local studies of this type, despite their great value in understanding public health risks and preventing disease in high-traffic indoor spaces. This was a non-experimental study, and Sabouraud Dextrose Agar (SDA) and Plate Count Agar (PCA) were used to prepare culture media. The CFU/m³ results revealed a non-uniform microbial load, with the Fish area (P3) recording the highest average (4,106 CFU/m³), followed by Vegetables (P4) (3,326 CFU/m³), while Food (P2) showed the lowest value (1,098 CFU/m³). This distribution demonstrates that the microbial load is directly linked to the operational activities of each zone and the nature of the products sold, favoring proliferation in areas where fresh or moist foods are handled. Bacterial identification revealed the recurrent presence of Staphylococcus and Micrococcus spp. in food-handling areas (P1–P4), associated with perishable products and microenvironmental conditions. The Entry and Exit zones (P5–P6) revealed a more varied composition, including Streptococcus spp., Pseudomonas spp., Legionella pneumophila, and Corynebacterium, indicating environmental and traffic-related contamination. For fungi, Penicillium spp., Aspergillus niger, Cladosporium herbarum, and Candida sp. were recurrent, especially in handling areas.*

Keywords– *Indoor air quality, bioaerosols, microorganisms, bacteria and airborne fungi.*

Calidad Microbiológica del Aire Interior del Mercado San Sebastián - Cajamarca, 2025

Diego Chávez-Plasencia¹; Milagros Blanco-Broncales²; Fanny Chuquimango-Tingal³;

Carlita Izquierdo-Ramirez, M.Sc.⁴

^{1,2,3,4}Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00362530@upn.pe, N00338910@upn.pe, N00283594@upn.pe, carlita.izquierdo@upn.pe

Resumen– El presente trabajo de investigación tuvo como propósito evaluar la calidad microbiológica del aire interior en el Mercado San Sebastián, un entorno cerrado de relevancia para la salud pública, ubicado en la ciudad y departamento de Cajamarca. Actualmente, existen pocos estudios locales de este tipo, pese a que estos representan un gran valor para el conocimiento de los riesgos de salud pública y la prevención de enfermedades en espacios cerrados de alta concurrencia. El tipo de investigación es no experimental y para la preparación de medios de cultivo se utilizó Agar Sabouraud Dextrose (SDA) y Agar Plate Count (PCA). Los resultados de UFC/m³ revelaron una carga microbiana no homogénea, con el área de Pescados (P3) registrando el promedio más alto (4106 UFC/m³) seguida por Verduras (P4) (3326 UFC/m³), mientras que Comida (P2) mostró el valor más bajo (1098 UFC/m³). Esta distribución evidencia que la carga microbiana está directamente vinculada a las actividades operativas de cada zona y a la naturaleza de los productos comercializados, favoreciendo la proliferación en sectores de manipulación de alimentos frescos o húmedos. La identificación bacteriana mostró la presencia recurrente de *Staphylococcus* y *Micrococcus* sp. en áreas de manipulación (P1-P4), asociada a productos perecibles y condiciones microambientales. Las zonas de Entrada y Salida (P5-P6) revelaron una composición más variada, incluyendo *Streptococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Legionella pneumophila* y *Corynebacterium*, indicando contaminación ambiental y por tránsito. Para los hongos, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Cladosporium herbarum* y *Candida* sp. fueron recurrentes, especialmente en áreas de manipulación.

Palabras clave– Calidad del aire interior, bioaerosoles, microorganismos, bacterias y hongos aerotransportados.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad del aire es un determinante fundamental de la salud humana, especialmente en entornos cerrados donde las personas pasan la mayor parte de su tiempo. La contaminación del aire en estos espacios no solo incluye contaminantes químicos, sino también bioaerosoles, que son partículas biológicas aerotransportadas como bacterias, hongos, virus y sus subproductos. La exposición prolongada a altas concentraciones de estos agentes biológicos está directamente asociada con una variedad de problemas de salud, que van desde reacciones alérgicas y asma hasta infecciones respiratorias agudas y enfermedades crónicas [1]. Por esta razón, el monitoreo de la calidad microbiológica del aire se ha convertido en una herramienta esencial de salud pública.

Los mercados públicos de abastos representan entornos de particular interés para el estudio de bioaerosoles. Estos lugares se caracterizan por una alta densidad de ocupación humana, la manipulación constante de una gran variedad de productos orgánicos (frutas, verduras, carnes y desechos) y, frecuentemente, sistemas de ventilación deficientes. Esta combinación de factores crea microclimas ideales con alta humedad y disponibilidad de nutrientes, que facilitan la proliferación y dispersión de microorganismos. Estudios en mercados similares han demostrado que las actividades de venta, limpieza y el manejo de residuos contribuyen significativamente a la aerosolización de bacterias y hongos, exponiendo a comerciantes y consumidores a concentraciones que pueden exceder los límites recomendados [2].

En el contexto local, el Mercado San Sebastián de Cajamarca es un importante centro de comercio de alimentos de la ciudad. A pesar de su relevancia, existe un vacío de información sobre la calidad del aire que se respira en sus instalaciones. La falta de un diagnóstico microbiológico actualizado, impide conocer los riesgos reales a los que está expuesta la población y limita la capacidad de las autoridades para implementar medidas de control efectivas. Este estudio se justifica por la necesidad de generar datos científicos que sirvan como línea de base para proteger la salud de miles de personas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, la pregunta de investigación que resuelve este estudio es: ¿Cuál es la calidad microbiológica del aire interior del Mercado San Sebastián - Cajamarca, 2025? Para ello se plantearon los siguientes objetivos; determinar la concentración (UFC/m³) de bacterias mesófilas aerobias y hongos (levaduras y mohos) aerotransportados en el Mercado San Sebastián; realizar una descripción comparativa de la carga microbiológica entre las diferentes zonas (carne, verduras, comidas, pasillos) y comparar los niveles de contaminación fúngica y bacteriana con los estándares de referencia para calidad de aire interior.

Por último, existe la necesidad de generar investigaciones sobre los componentes biológicos del aire en ambientes interiores con alta afluencia, que permitan entender mejor los riesgos para la salud pública. Esta urgencia se ha hecho aún más evidente tras la pandemia de COVID-19, un evento que marcó un punto de inflexión y aumentó drásticamente la exigencia científica y normativa por conocer, monitorear y garantizar la calidad del aire en espacios cerrados [3]. Razón de ello, el trabajo de investigación se justifica en poder

desarrollar recomendaciones de mejora en el mercado, con énfasis en la mitigación del riesgo sanitario para comerciantes y usuarios. Para lograrlo, es importante establecer un diagnóstico preciso de la calidad microbiológica actual en el ecosistema de dicho ambiente.

II. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se desarrolló en el Mercado San Sebastián, ubicado en la ciudad de Cajamarca, en el norte de los Andes del Perú a 2750 m.s.n.m. Este mercado constituye uno de los principales centros de abasto de la zona urbana, caracterizado por una alta afluencia de comerciantes y consumidores. Se encuentra dentro del ecosistema templado subhúmedo, según la clasificación de zonas de vida actualizada en Perú [4]. Durante el estudio se observó e identificó diferentes puntos de muestreo en el mercado, con el fin de evaluar las condiciones ambientales y sanitarias del lugar.

El tipo de investigación es no experimental y el diseño es descriptivo, pues este se centró en identificar y cuantificar microorganismos presentes en el aire que podrían afectar la salud de los comerciantes y consumidores, contribuyendo a conocer los riesgos microbiológicos y las condiciones sanitarias del mercado.

A. Fase de pre-campo

En esta etapa se realizaron las actividades de planificación necesarias para el desarrollo del estudio. Se efectuó la revisión bibliográfica sobre metodologías de muestreo microbiológico del aire, normas de calidad del aire interior, como la norma UNE 100012 de Higienización de sistemas de climatización [5] para obtener el valor máximo recomendado en aire del ambiente interior y UNE 171330 de Calidad ambiental en interiores [6] donde se especifica el protocolo que se siguió para el monitoreo, y antecedentes de estudios similares.

Al no contar con el dato del área exacta del mercado, se siguió lo especificado en la norma UNE 171330, y se identificaron los seis puntos de muestreo más críticos y representativos (carnes, comida, pescados, verduras, pasillo de entrada y de salida), debido a que son las fuentes de emisión de bioaerosoles más probables y potentes dentro del mercado.

B. Fase de campo

En la primera visita se realizó un recorrido por las diferentes áreas del mercado para identificar rutas de acceso, zonas de mayor concurrencia y posibles focos de contaminación ambiental. Se tomaron notas descriptivas y fotografías para documentar las condiciones del lugar.

En la segunda visita, se realizó la toma de muestras de microorganismos y la toma de datos de cada uno de los puntos de muestreo considerados, como se muestra en la siguiente tabla I:

TABLA I
COORDENADAS UTM DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

Punto	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
P1 – Carnes	774786.933	9207495.122	2716.68
P2 – Comida	774790.059	9207475.151	2699.88
P3 – Pescados	774807.937	9207449.42	2717.88
P4 – Verduras	774809.902	9207461.205	2716.58
P5 – Entrada	774816.14	9207487.88	2716.58
P6 – Salida	774795.67	9207446.43	2717.78

La Figura 1 muestra la ubicación de los puntos de muestreo elegidos y monitoreados dentro del Mercado San Sebastián.

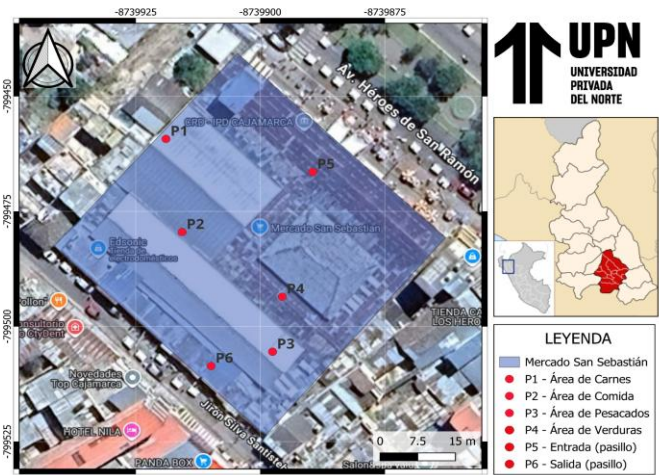


Fig. 1 Mapa de puntos de monitoreo dentro del Mercado San Sebastián.

C. Fase de laboratorio

Se procedió con la preparación de los medios de cultivo. Para hongos se usó 7.8g de Agar Sabouraud Dextrose (SDA) y para bacterias se usó 2.82g de Agar Plate Count (PCA), en ambos se utilizó 120 ml, ya que cada medio necesitó 6 placas (20 ml/placa).

Los medios se pusieron en el autoclave, junto con las placas petri, para su esterilización. Una vez completado este proceso, se vertieron los agares en las placas, debidamente rotuladas, se cubrieron en papel aluminio y se guardaron para su posterior uso.

Se realizó el monitoreo de bacterias y hongos en cada punto seleccionado, una vez tomadas las muestras se trasladaron en un cooler, a fin de evitar cualquier tipo de contaminación o cambio brusco de temperatura.

En esta fase se procedió al análisis microbiológico de las muestras recolectadas en campo, después del periodo de incubación.

Para bacterias: a 37 °C durante 24 a 48 horas.

Para hongos: a 25 °C durante 3 a 5 días.

Posteriormente, se realizó el conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC/placa) utilizando un contador de colonias, y se utilizó la ecuación de Omeliansky para determinar la concentración de UFC por metro cúbico (m^3) de aire [7].

También, se hizo las tinciones para la identificación de microorganismos, Tinción de Gram [8] para bacterias y Tinción Simple con azul de metileno [9] para hongos.

D. Fase de gabinete

En esta etapa se elaboraron los mapas del área de estudio, con la identificación de cada una de las zonas consideradas como puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4, P5 y P6) haciendo uso del programa QGis (V. 3.40.5).

Además, se llevó a cabo el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en laboratorio.

Se calcularon las concentraciones promedio de bacterias y hongos (UFC/m^3) y se compararon con los valores de referencia establecidos por la Norma UNE 171330.

Se elaboraron tablas y gráficos en Microsoft Excel para la interpretación de los resultados, así como el análisis comparativo entre las distintas áreas del mercado.

Finalmente, se redactaron las conclusiones y recomendaciones orientadas a mejorar la calidad microbiológica del aire interior en el Mercado San Sebastián.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. UFC/m^3 de cada punto de muestreo.

En la Tabla II se presentan los resultados de la concentración de bioaerosoles (bacterias y hongos) en los seis puntos de muestreo del mercado. Se evidencia una carga microbiana aérea considerable y una distribución marcadamente heterogénea, es decir, fuertemente sectorizada según las actividades de cada área. Al comparar estos valores con la norma UNE 100012 [5], la cual establece un límite de referencia de 800 UFC/m^3 para la calidad del aire interior, se observa un nivel de biocontaminación crítico, dado que la gran mayoría de las zonas superan significativamente este umbral.

TABLA II
 UFC/m^3 REGISTRADOS POR PUNTO DE MUESTREO

Punto	Área	UFC/m^3 (Bacterias)	UFC/m^3 (Hongos)	Promedio UFC/m^3
P1	Carnes	1687	1464	1576
P2	Comida	414	1783	1098
P3	Pescados	3406	4806	4106
P4	Verduras	4584	2069	3326
P5	Entrada	2037	2069	2053
P6	Salida	2897	1974	2435

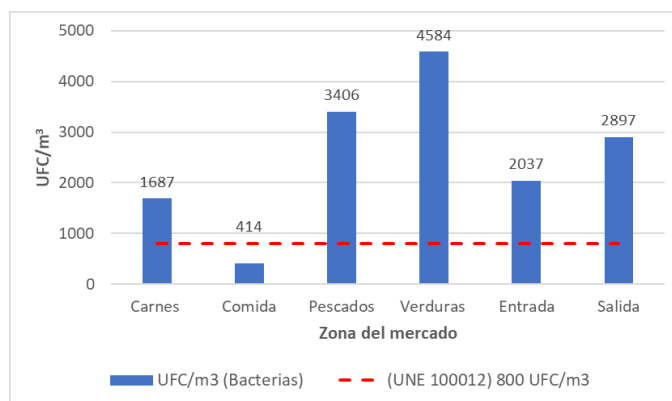


Fig. 2 Comparación de UFC/m^3 de bacterias con el valor máximo.

Respecto a la contaminación bacteriana, como se puede observar en la Fig. 2, cinco de las seis zonas evaluadas incumplen la normativa. El foco más alarmante es el área de Verduras (P4), que registró el valor máximo con 4584 UFC/m^3 , excediendo en más de cinco veces el límite permitido. Como señala la literatura, este pico se atribuye al origen agrícola de los productos, cuya manipulación constante propicia la resuspensión de microorganismos y polvo adherido. En contraste, la zona de Comida (P2) es la única que cumple con el estándar bacteriano, registrando apenas 414 UFC/m^3 ; un resultado coherente, ya que los procesos de cocción logran inhibir la dispersión de bacterias viables en ese microambiente.

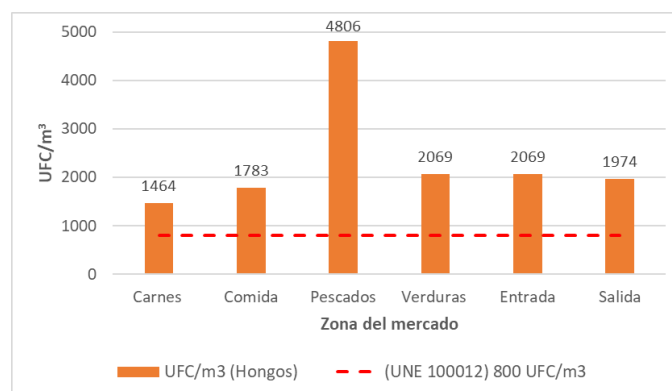


Fig. 3 Comparación de UFC/m^3 de hongos con el valor máximo.

Por otro lado, el escenario fúngico presenta un riesgo generalizado, pues la totalidad de los puntos de muestreo superan el límite de 800 UFC/m^3 , evidenciando que el mercado presenta condiciones estructurales que favorecen su proliferación. El área de Pescados (P3) destaca como el punto de mayor riesgo con 4806 UFC/m^3 (superando además su propia carga bacteriana de 3406 UFC/m^3). Este comportamiento de alta carga es típico en zonas húmedas y de venta de productos de origen animal [10], donde la naturaleza del pescado fresco y el constante uso de agua generan un sustrato ideal que facilita la rápida aerosolización de esporas. Cabe destacar que incluso el área de Comida (P2), a pesar de

su baja carga bacteriana, presenta un nivel fúngico considerable (1783 UFC/m³), lo que sugiere una dispersión aérea desde zonas aledañas o contaminación por la manipulación de insumos crudos previos a su preparación.

Finalmente, las zonas de tránsito como Entrada (P5) y Salida (P6) mantienen valores altos que superan las 2000 UFC/m³ en ambos parámetros, impulsados principalmente por el constante flujo de transeúntes y las corrientes de aire que arrastran partículas hacia y desde las áreas internas. El área de Carnes (P1) mostró niveles intermedios (1687 UFC/m³ en bacterias y 1464 UFC/m³ en hongos), manteniendo un equilibrio relativo, pero igualmente fuera de la norma.

En conjunto, estos hallazgos coinciden con investigaciones previas sobre mercados de abasto [11], confirmando que la naturaleza biológica de los productos frescos, particularmente pescados y verduras, actúa como el factor determinante y principal emisor en la calidad microbiológica del aire interior en este tipo de recintos.

B. Bacterias encontradas en cada punto de muestreo.

La Tabla III muestra las bacterias identificadas, evidenciándose una presencia recurrente de *Staphylococcus* y *Micrococcus* en diferentes áreas.

Las zonas donde se manipulan alimentos (P1–P4) presentan una mayor diversidad y recurrencia bacteriana, lo cual podría deberse al contacto directo con productos perecibles, la acumulación de residuos orgánicos y las condiciones microambientales (como humedad y temperatura) que favorecen el crecimiento microbiano. En cambio, las áreas de entrada y salida (P5–P6) muestran una composición bacteriana más variada, destacándose la presencia de *Streptococcus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Legionella pneumophila* y *Corynebacterium*, lo que sugiere una posible contaminación ambiental asociada al tránsito constante de personas y al ingreso de partículas desde el exterior.

TABLA III
BACTERIAS REGISTRADAS DE CADA PUNTO

Punto	Área	Nombres
P1	Carnes	<i>Staphylococcus</i> <i>Micrococcus</i>
P2	Comida	<i>Micrococcus</i>
P3	Pescados	<i>Staphylococcus</i> <i>Micrococcus</i>
P4	Verduras	<i>Micrococcus sp</i> <i>Staphylococcus</i>
P5	Entrada	<i>Streptococcus spp</i> <i>Pseudomonas spp</i> <i>Micrococcus sp</i>
P6	Salida	<i>Staphylococcus</i> <i>Micrococcus</i> <i>Corynebacterium</i>

Los resultados coinciden con estudios recientes en mercados latinoamericanos, que revelan niveles significativos de contaminación microbiana en ambientes de manipulación de alimentos. Por ejemplo, se reportó la prevalencia de microorganismos patógenos en mercados de abastecimiento en Potosí, Bolivia, destacando los riesgos para la salud pública derivados de deficiencias en el manejo y limpieza adecuados [12]. De igual forma, en otro estudio se resalta la necesidad de vigilancia microbiológica continua en productos cárnicos comercializados en mercados latinoamericanos, evidenciando la presencia recurrente de géneros como *Staphylococcus* y *Micrococcus*, similares a los detectados en el presente estudio [13].

C. Hongos encontrados en cada punto de muestreo.

La Tabla IV muestra los hongos identificados, evidenciándose una presencia recurrente de *Penicillium*, *Aspergillus niger* y *Cladosporium herbarum*.

Las zonas donde se manipulan alimentos (P1–P4) presentan una mayor diversidad y recurrencia fúngica, podría deberse a la acumulación de materia orgánica, la manipulación directa de productos perecibles y las condiciones microambientales como la humedad y temperatura que favorecen el crecimiento de esporas. En cambio, las áreas de entrada y salida (P5–P6) muestran una menor diversidad, lo que refleja una contaminación ambiental general posiblemente originada por el flujo constante de personas y el ingreso de partículas desde el exterior.

TABLA IV
HONGOS REGISTRADOS DE CADA PUNTO

Punto	Área	Nombres
P1	Carnes	<i>Penicillium</i> <i>Cladosporium herbarum</i> <i>Aspergillus niger</i>
P2	Comida	<i>Penicillium</i> <i>Cladosporium herbarum</i> <i>Aspergillus niger</i>
P3	Pescados	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus niger</i>
P4	Verduras	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus niger</i>
P5	Entrada	<i>Penicillium</i>
P6	Salida	<i>Cladosporium herbarum</i> <i>Aspergillus niger</i>

Lo observado guarda relación con lo reportado por Chuquilín et al. [14], quienes evidencian que, en ambientes con alta actividad humana y condiciones ambientales favorables, como humedad y presencia de materia orgánica, se incrementa la concentración de microorganismos en el aire. Aunque su estudio se centra en contaminantes atmosféricos, se resalta que factores como la ventilación y la dinámica de los espacios influyen directamente en la calidad del aire interior, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente

estudio. En ese sentido, la presencia de géneros fúngicos como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium*, en zonas de manipulación de alimentos puede estar asociada a dichas condiciones ambientales, así como al flujo constante de personas y la acumulación de residuos orgánicos, lo que favorece su proliferación y dispersión en el aire.

Del mismo modo, los hallazgos concuerdan con una investigación donde se evaluó la calidad microbiológica del aire en el Mercado Modelo de Tingo María, encontrando la presencia de *Aspergillus* y *Penicillium* como géneros predominantes en ambientes internos, especialmente en el área de carnes [11]. Concluyó que, debido a que la mayoría de los sectores superan significativamente los límites permisibles de 800 UFC/m³ establecidos por la norma UNE 100012, existe una situación de contaminación crítica en el aire del mercado. Estos niveles elevados son consecuencia directa de la escasa ventilación y del manejo inadecuado de los productos. Estas condiciones explican la presencia recurrente de microorganismos como *Penicillium* y *Aspergillus niger* en distintas zonas, lo cual evidencia una deficiente renovación del aire y falta de protocolos rigurosos de limpieza en las superficies.

D. Clasificación taxonómica de las bacterias encontradas.

En la Tabla V se muestra la clasificación taxonómica de las bacterias aisladas. Entre los géneros más representativos se identificaron *Streptococcus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Micrococcus sp.*, *Legionella pneumophila* y *Corynebacterium sp.*, los cuales son comunes en ambientes interiores con alta carga microbiana.

TABLA V
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE BACTERIAS

Nombre	Género	Orden
<i>Streptococcus</i>	<i>Streptococcus</i>	<i>Lactobacillales</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas</i> Migula	<i>Pseudomonadales</i>
<i>Micrococcus</i>	<i>Micrococcus</i>	<i>Micrococcales</i>
<i>Staphylococcus</i>	<i>Staphylococcus</i>	<i>Bacillales</i>
<i>Corynebacterium</i>	<i>Corynebacterium</i>	<i>Mycobacteriales</i>

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por [15], quienes determinaron que la concentración de bacterias aerotransportadas en instalaciones públicas urbanas está directamente relacionada con la densidad de usuarios y los niveles de CO₂, destacando a los géneros *Klebsiella* y *Staphylococcus* como los más abundantes en ambientes cerrados. Esto sugiere que el incremento de la carga microbiana en espacios interiores puede deberse al contacto humano constante y a las condiciones ambientales que facilitan la proliferación de bacterias oportunistas.

E. Clasificación taxonómica de las bacterias encontradas

En la Tabla VI se presenta la clasificación taxonómica de los principales géneros fúngicos identificados, entre los que destacan *Penicillium*, *Aspergillus* y *Cladosporium*.

TABLA VI
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE HONGOS

Nombre	Género	Orden
<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Eurotiales</i>
<i>Cladosporium</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Capnodiales</i>
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Eurotiales</i>

Según [16], estos hongos son comunes en espacios con alta humedad y escasa ventilación, donde pueden desarrollarse sobre superficies orgánicas y dispersarse fácilmente en el aire. Además, su presencia tiene relevancia sanitaria, ya que algunas especies de *Aspergillus* y *Penicillium* pueden producir micotoxinas o generar alergias respiratorias en personas expuestas de manera continua.

IV. CONCLUSIONES

Se evaluó la calidad microbiológica del aire interior en el Mercado San Sebastián de Cajamarca, determinando las concentraciones de bacterias mesófilas aerobias y hongos aerotransportados en diferentes zonas estratégicas. Los resultados obtenidos, calculados en UFC/m³, muestran una variabilidad crítica en la carga microbiana que compromete los estándares de salubridad del establecimiento. Las áreas con mayor exposición de productos frescos y presencia de materia orgánica registraron los niveles más alarmantes: el sector de Pescados presentó la mayor carga fúngica, alcanzando aproximadamente 4800 UFC/m³, mientras que el sector de Verduras registró el pico más alto de bacterias cerca de 4600 UFC/m³. Dicha tendencia se atribuye a la naturaleza perecedera de los insumos y a la manipulación constante de productos con alta actividad de agua, factores que facilitan la aerosolización de microorganismos. En contraste, las zonas de Comida preparada y Carnes presentaron valores relativamente menores, lo que sugiere un mejor control de residuos o la influencia de procesos térmicos que limitan la supervivencia microbiana.

A nivel taxonómico, la caracterización de las especies aerotransportadas corrobora la fuerte sectorización microbiológica del mercado. Se identificaron hongos y bacterias asociados a la contaminación microbiológica del aire, destacando géneros como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Staphylococcus spp.* y *Pseudomonas spp.*, directamente relacionados con la acumulación y manipulación de alimentos. La distribución de esta carga bacteriana, sumada a la presencia de *Micrococcus* y *Streptococcus* en las áreas de trabajo y accesos, refleja el impacto del contacto humano, el flujo peatonal constante y las prácticas de higiene. Por su parte, la dominancia fúngica en la zona de verduras sirve como un

bioindicador de la resuspensión de polvo y los procesos de descomposición vegetal. Asimismo, la presencia de una elevada carga en las áreas de alimentos frescos de origen animal (carnes y pescados) frente a la notable reducción de contaminantes en la zona de comida, evidencia que la acumulación de materia orgánica y la humedad constante son determinantes para la aerosolización microbiológica. De manera general, esta heterogeneidad refleja que la calidad del aire interior no es uniforme, sino que está condicionada por las deficiencias de ventilación y el manejo operativo particular de cada sector.

En relación con los estándares internacionales de calidad del aire interior, los resultados obtenidos exceden significativamente los límites de referencia establecidos por la norma UNE 100012[5], la cual fija un máximo de 800 UFC/m³. Las áreas de pescados y verduras no solo se aproximan, sino que superan este umbral hasta en un 500%, registrando valores críticos que comprometen la inocuidad ambiental del recinto. Esto indica que el aire interior del mercado no puede considerarse aceptable desde el punto de vista microbiológico en la mayoría de sus sectores. La magnitud de las concentraciones registradas sugiere un riesgo sanitario latente que requiere acciones correctivas inmediatas, como la implementación de sistemas de extracción forzada y programas de desinfección química. En conclusión, la calidad microbiológica del aire en el Mercado San Sebastián es deficiente, presentando focos de contaminación severa que deben ser intervenidos mediante una reestructuración de la ventilación natural y un monitoreo continuo para proteger la salud de los comerciantes y consumidores.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Privada del Norte (UPN) por el respaldo académico brindado para el desarrollo de esta investigación. Asimismo, se extiende un agradecimiento especial a la M.Sc. Carlita Izquierdo Ramírez por su valiosa asistencia y orientación técnica durante el desarrollo del presente, así como a la administración del Mercado San Sebastián por las facilidades brindadas durante el muestreo.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2009). WHO guidelines for indoor air quality: Dampness and mould. Oficina Regional para Europa de la OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789289041683>
- [2] Gómez, D., García, D., Lache, J. y Cuéllar, L. (2021). Análisis microbiológico de contaminantes atmosféricos en la plaza de mercado del sur de la ciudad de Tunja, Boyacá. Cuaderno Activa, 13(1), 25-40. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoaactiva/article/view/749>
- [3] Morawska, L., Allen, J., Bahnfleth, W., Bluyssen, P. M., Boerstra, A., Buonanno, G., Cao, J., Dancer, S. J., Floto, A., Franchimon, F., Greenhalgh, T., Haworth, C., Hogeling, J., Ison, C., Jimenez, J. L., Kurnitski, J., Li, Y., Loomans, M., Marks, G., Marr, L. C., ... Yao, M. (2021). A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. Science (New York, N.Y.), 372(6543), 689–691. <https://doi.org/10.1126/science.abg2025>
- [4] MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú). (2019). Estrategia Nacional de Diversidad Biológica del Perú 2019–2030. Lima: MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/diversidadbiologica.pdf>
- [5] Higiene Ambiental. (2006). Norma UNE 100012 de Higienización de sistemas de climatización. <https://higieneambiental.com/calidad-de-aire-interior/norma-une-100012-de-higienizacion-de-sistemas-de-climatizacion>
- [6] Pastor, P., Cruceta, G., Vidal, J. y Beltrán, B. (2021). NORMA UNE 171330 Calidad ambiental en interiores. FEDECAI. <https://dgras.es/wp-content/uploads/2023/11/UNE-171330.pdf#page=21.81>
- [7] Gómez, L. (2025). Determinación microbiana por factores ambientales y su impacto en la salud estudiantil en la biblioteca de la UNJBG. Ciencia Y Educación, 6(7.1), 166 - 173. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17979017>
- [8] Smith, A. y Hussey, M. (2005). Gram Stain Protocols. American Society for Microbiology. <https://asm.org/protocols/gram-stain-protocols>
- [9] Hardy Diagnostics. (s.f.). Methylene Blue, Löffler's. Instructions for Use. <https://hardydiagnostics.com/media/assets/product/documents/MethyleneBlueLoefflers.pdf>
- [10] Camones, R. (2023). Calidad microbiológica del aire en el interior del mercado modelo privado de Huánuco y del mercado de Paucarbamba, Huánuco – 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/6c1c3481-0dba-406f-8d9b-0ac29ba077d5>
- [11] Cavero, J. (2024). Calidad microbiológica del aire en los ambientes internos del primer nivel del mercado modelo de Tingo María, 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2771>
- [12] Vera, R. C., Nina, F. R., Canaviri, E., Rodríguez, J., & Orellana, L. (2024). Análisis microbiológico de la basura generada en los principales mercados de abastecimiento de la ciudad de Potosí. Revista Veritas de Difusión Científica, 5(3), 1303–1319. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i3.282>
- [13] Guachilema, J. A. P., et al. (2023). Estudio microbiológico de carnes molidas comercializadas en mercados latinoamericanos: vigilancia y riesgos sanitarios. Journal of Food Safety and Hygiene, 12(2), 98–112.
- [14] Chuquilín Vallejos, D., Rojas Palomino, N., Sánchez Peña, M., y Flores Cerna, J. (2021). Calidad microbiológica del aire interior del mercado central de Cajamarca - Perú. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions (LACCEI). <https://doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.335>
- [15] Lee, H., Lee, B. G., Kim, Y. J., Shim, J. E., & Yeo, M.-K. (2024). Assessment of airborne bacteria in the indoor of public-use facilities concentrated on influencing factors and opportunistic pathogenic bacteria. Air Quality, Atmosphere & Health, 17, 1725–1738. <https://doi.org/10.1007/s11869-024-01540-3>
- [16] Chanda, A., Omebeyinje, H., Adeluyi, A., Mitra, C., Chakraborty, P., Gande, G. M., Patel, N., Verghese, B., Farrance, C. E., Hull, M., Basu, P., Lee, K., Adhikari, A., Adivar, B., Horney, J. A. (2021). El aumento de la prevalencia de especies de Aspergillus y Penicillium en interiores está asociado con inundaciones en interiores y la proximidad a la costa: un estudio de caso de 28 edificios con moho. Environmental Science: Processes & Impacts, 23(11), 1579–1591. <https://doi.org/10.1039/D1EM00202C>