



UNIVERSIDAD
Popular del cesar



CONTAMINACIÓN MICROBIANA EN AGUAS RESIDUALES ESTANCADAS EN EL MERCADO PÚBLICO DE VALLEDUPAR Y SU IMPACTO EN SALUD PÚBLICA

BLEIDYS EGLEYS FUENTES MOSCOTE

JORGE MANUEL CUELLO BERKELEY

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA

2026

**CONTAMINACIÓN MICROBIANA EN AGUAS RESIDUALES ESTANCADAS EN EL
MERCADO PÚBLICO DE VALLEDUPAR Y SU IMPACTO EN SALUD PÚBLICA**

BLEIDYS EGLEYS FUENTES MOSCOTE

JORGE MANUEL CUELLO BERKELEY

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito parcial para optar al título de

MICROBIÓLOGO

DIRECTORA

TORCOROMA LOBO RINCÓN

Microbióloga, Magíster en Gerencia de Proyectos de Investigación y Desarrollo

CODIRECTOR

ABID CAÑATE GONZÁLEZ

Zootecnista, Especialista en Sanidad Animal, Magíster en Desarrollo sostenible y Medio ambiente

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA

2026

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Valledupar, 16 de Abril de 2026

DEDICATORIA

En primer lugar, queremos dedicar este logro a nuestras familias, sobre todo a nuestros padres, ya que sin el esfuerzo y el apoyo incondicional que nos brindaron durante todo este viaje no podríamos haber llegado tan lejos. Todo lo que nos enseñaron e inculcaron como la perseverancia son pilares fundamentales en nuestra vida.

En segundo lugar, queremos dedicar este logro a nuestros amigos porque gracias al compañerismo, risas, anécdotas y todos los buenos momentos que pasamos juntos nos ayudaron a disfrutar de este camino.

Y sobre todo queremos dedicar este logro a Dios, por brindarnos sabiduría y entendimiento para culminar con esta travesía llena de obstáculos y aprendizajes que nos enseñaron a ser mejores en todos los aspectos de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Universidad Popular del Cesar y a nuestros docentes del programa de microbiología por haber hecho parte fundamental en nuestra formación académica. Su entrega y compromiso han sido esenciales para convertirnos en los profesionales que queremos llegar a ser.

Quisiéramos expresar nuestra gratitud con nuestra directora y codirector de tesis, Torcoroma Lobo Rincón y Abid Cañate González, ya que sin sus conocimientos, experiencia y consejos no hubiera sido posible terminar satisfactoriamente este trabajo.

Finalmente, agradecer a nuestras familias, amigos y compañeros por haber aportado su granito de arena y apoyo en cada paso de la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
SUMMARY	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2.1. Planteamiento del problema	13
2.2. Formulación del problema.....	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. OBJETIVOS	21
4.1. Objetivo general.....	21
4.2. Objetivos específicos	21
5. MARCO TEÓRICO.....	22
5.1. Marco conceptual.....	22
5.1.1. Mercado.....	22
5.1.2. Términos sanitarios	22
5.1.3. Términos microbiológicos	23
5.1.4. Términos normativos	24
5.1.5. Bacterias comúnmente encontradas en el agua estancada residual.....	24
5.1.6. Impacto de aguas contaminadas en salud humana.....	25
5.1.7. Métodos para identificación de coliformes totales y Escherichia coli.....	25
5.2. Antecedentes	27
5.3. Marco legal	29
6. METODOLOGIA.....	31
6.1. Localización o área de estudio.....	31
6.2. Tipo de estudio y línea de investigación	32
6.3. Método de muestreo	32

6.4. Diseño metodológico	33
6.4.1. Fase 1. Identificación microbiana	33
6.4.2. Fase 2. Análisis estadístico descriptivo e inferencial de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> por zonas de muestreo	35
6.4.3. Fase 3. Apropiación social del conocimiento (Socialización y sensibilización)	36
6.5. Control de calidad	37
6.6. Análisis estadístico	37
7. RESULTADOS	40
7.1. Identificación de bacterias coliformes y <i>Escherichia coli</i> en aguas residuales estancadas.....	40
7.1.1. Identificación Confirmatoria de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>	41
7.1.2. Recuento de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>	43
7.2. Análisis estadístico de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> en aguas residuales estancadas.....	46
7.2.1. Análisis estadístico descriptivo de coliformes totales por zona de muestreo	46
7.2.2. Análisis estadístico inferencial de coliformes totales por zona de muestreo	48
7.3. Apropiación social del conocimiento, acorde a la política pública de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCIENCIAS, 2021)	49
8. DISCUSIÓN	51
9. CONCLUSIÓN	57
10. RECOMENDACIONES	59
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	68

RESUMEN

Las aguas residuales estancadas en zonas urbanas representan un riesgo para la salud pública y el medio ambiente, debido a su origen antrópico y a la presencia de contaminantes microbianos como virus, bacterias y hongos. El objetivo principal de este estudio fue determinar la presencia de bacterias coliformes en las aguas residuales estancadas del mercado público de la ciudad de Valledupar y su importancia en la salud pública. Para ello se seleccionaron tres zonas del mercado: Zona 1 (vegetales y frutas), Zona 2 (productos de origen animal) y Zona 3 (productos varios) y se recolectaron 15 muestras de agua residual. Para el análisis se realizaron siembras directas, tinción Gram, pruebas bioquímicas y la técnica de filtración por membrana para el recuento de bacterias coliformes; a su vez se calculó la media, mediana, desviación estándar y se realizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) de una vía para establecer si existen diferencias significativas, y se desarrolló un plan de apropiación social del conocimiento para comunicar los resultados de forma sencilla a la comunidad. Todas las muestras analizadas presentaron crecimiento de coliformes totales; sin embargo, *Escherichia coli* fue detectada en una de las muestras evaluadas. La prueba estadística no encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las zonas. El estudio logró constatar la presencia de microorganismos contaminantes en el agua estancada del mercado público de la ciudad, y confirmó que la presencia de estos grupos microbianos en dicho lugar conlleva un potencial riesgo para la salud de las personas.

Palabras clave: agua residual estancada, contaminación, coliformes totales, *Escherichia coli*, mercado público.

SUMMARY

Stagnant wastewater in urban areas poses a risk to public health and the environment due to its anthropogenic origin and the presence of microbial contaminants such as viruses, bacteria, and fungi. The main objective of this study was to determine the presence of coliform bacteria in stagnant wastewater in the public market of the city of Valledupar and its importance in public health. To this end, three areas of the market were selected: Area 1 (vegetables and fruits), Area 2 (animal products), and Area 3 (miscellaneous products), and 15 wastewater samples were collected. For the analysis, direct cultures, Gram staining, biochemical tests, and membrane filtration were performed to count coliform bacteria. The mean, median, and standard deviation were calculated, and a one-way analysis of variance (ANOVA) test was performed to establish whether there were significant differences. A plan for the social appropriation of knowledge was developed to communicate the results to the community in a simple manner. All samples analyzed showed growth of total coliforms; however, *Escherichia coli* was detected in one of the samples evaluated. The statistical test found no significant difference ($p < 0.05$) between the areas. The study confirmed the presence of contaminating microorganisms in the stagnant water of the city's public market and confirmed that the presence of these microbial groups in that location poses a potential risk to human health.

Keywords: stagnant wastewater, pollution, total coliforms, *Escherichia coli*, public market.

1. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de aguas residuales, aquellas que permanecen estancadas en zonas urbanas representan una amenaza creciente tanto para la población como para el entorno, debido a su origen y a la carga de contaminantes microbiológicos que pueden albergar. En el contexto de los mercados públicos, esta problemática adquiere especial relevancia, ya que una inadecuada gestión ambiental favorece situaciones como el desperdicio de agua y el manejo ineficiente de vertimientos, lo que contribuye a la acumulación de aguas residuales y al aumento del riesgo sanitario (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

En este sentido, el agua residual se encuentra una amplia diversidad de microorganismos, bacterias, virus, hongos, algas y parásitos, los cuales son indicadores importantes de la calidad del agua. En este contexto, aunque la presencia de microorganismos en aguas residuales es amplia, su caracterización completa es metodológicamente compleja, por su alta diversidad, la demanda de recursos y las limitaciones técnicas para su detección e identificación. Por consiguiente, la evaluación de la calidad microbiológica del agua se basa en el uso de microorganismos indicadores (Cruz, 2008).

Las aguas residuales contienen microorganismos potencialmente patógenos, la relevancia de esta investigación radica en caracterizar su carga microbiológica, estimar los niveles de contaminación y evaluar los riesgos específicos para la salud pública en

contextos particulares. En este estudio resulta fundamental cuantificar estos microorganismos y analizar su distribución en escenarios reales de exposición.

Este trabajo tiene como objetivo determinar la presencia de bacterias coliformes en aguas residuales estancadas del mercado público de Valledupar y evaluar el riesgo potencial para la salud pública. Este estudio surge de la necesidad de aportar evidencia científica sobre un problema cotidiano que, aunque a menudo es subestimado, puede incidir significativamente en el bienestar de la población.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Planteamiento del problema

Con el transcurso del tiempo, los cuerpos de agua residual estancada en zonas urbanas podrían convertirse en problemas de contaminación ambiental y representar amenazas para la salud pública. Dichas aguas, sin flujo o con poca circulación provenientes de escorrentía urbana, de vertimientos de actividades humanas o de ineficientes sistemas de drenaje y alcantarillado; se convierten en una fuente de diversos contaminantes físicos, químicos y microbiológicos (Instituto del agua, 2024).

El porcentaje de aguas residuales que se consideran sin tratamiento es alto, tanto a nivel nacional como global. Las aguas residuales derivadas de la actividad agrícola, de las actividades de producción y de los espacios urbanizados son uno de los principales motivos del problema. Globalmente, el 80 % de las aguas no son tratadas, una cifra que comprende también a Latinoamérica (entre 70 y 80 %). Esta situación representa una de las causas fundamentales de impurificación del agua y está asociado tanto con la salud humana como con el medio ambiente, debido a que se calcula que las aguas residuales a nivel mundial entran en los cuerpos de agua sin haber sido depuradas (WWAP, 2017).

Los países desarrollados tratan hasta un 70 % de las aguas residuales que estos mismos producen, este dato disminuye hasta 38 % en los países emergentes y un 8 % en países más vulnerados, conforme con lo establecido por la ONU y la Unesco. Todos los países evidencian indicios preocupantes en correlación con la condición del agua. La calidad

deficiente usualmente va relacionada con un proceso inadecuado de las aguas residuales o con las escorrentías agrícolas e industriales (PNUMA, 2021).

En el departamento del Cesar, y más precisamente en la ciudad de Valledupar, se desconoce el porcentaje y magnitud de la problemática que rodea a las aguas residuales que permanecen estancadas en distintas zonas de la ciudad. Esta situación se agrava en lugares como el mercado público donde es primordial mantener la inocuidad de los alimentos e instalaciones adecuadas para su almacenamiento y venta. Además, se requiere un ambiente sano con óptimas condiciones sanitarias y libre de posibles focos de contaminación biológica, física y química (Quesada, 2017).

El mercado público de Valledupar representa un espacio para el comercio y el suministro de alimentos en la ciudad, por lo que se convierte en un punto de exposición frecuente para la población. Esto se debe a que, tanto dentro como en los alrededores del mercado, es común observar acumulaciones de aguas residuales, producto del inadecuado manejo de residuos líquidos, las lluvias y las deficiencias en el sistema de drenaje. Estas condiciones favorecen la proliferación de microorganismos como bacterias patógenas (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp., entre otros); las cuales representan un riesgo para la salud de los comerciantes y consumidores. La constante exposición a estas aguas contaminadas aumenta la probabilidad de aparición de enfermedades, tales como diarreas, infecciones de la piel, entre otras (Organización Acción Contra el Hambre, 2022).

Por lo cual, es necesario determinar la presencia de coliformes totales en las aguas residuales estancadas del mercado público de Valledupar, así como su impacto en la salud de la comunidad, debido a que existen pocos estudios científicos que investiguen la carga microbiana presente en estas aguas. Esta investigación permitirá generar evidencia que fundamente medidas correctivas por parte de los reguladores sanitarios y ambientales, y facilitaría a la optimización de la salubridad en el lugar.

2.2. Formulación del problema

¿Cuál es la carga microbiana de coliformes totales y *Escherichia coli* presente en aguas residuales estancadas del mercado público de Valledupar y que riesgo representa para la salud pública?

3. JUSTIFICACIÓN

En el mercado público de Valledupar se evidencian acumulaciones de aguas residuales estancadas en diferentes zonas del establecimiento. Situación que sugiere deficiencias en el sistema de drenaje y en la conducción de los vertimientos generados durante las actividades comerciales. Estas acumulaciones estarían asociadas, en parte, a las condiciones estructurales del suelo y a la impermeabilización de las superficies, que dificultan el adecuado escurrimiento del agua en el lavado de alimentos y en otras actividades, así como del flujo superficial producto de las lluvias.

De acuerdo con lo estipulado en el Decreto 3930 de 2010 y en la Resolución 0631 de 2015, los generadores de vertimientos comerciales deben garantizar un manejo adecuado de las aguas residuales, lo que incluye su recolección, conducción y disposición a través de sistemas autorizados. La presencia persistente de las aguas residuales estancadas en el mercado sugiere el incumplimiento parcial de estas disposiciones. Por lo anterior se justifica la necesidad de evaluar su calidad microbiológica y el posible impacto en la salud pública.

Las aguas residuales estancadas en el mercado contienen materia orgánica e inorgánica, como basuras, grasas, restos de alimentos y desechos animales. Estos contaminantes provienen en su mayoría del uso del agua para actividades de comercialización de alimentos, también por las personas, la presencia de animales y de la escorrentía superficial generada por las lluvias que fluye por la superficie trayendo impurezas. Asimismo, tienden a contener una variedad de microorganismos capaces de

causar enfermedades, convirtiéndose en focos de infección dentro de las inmediaciones y espacios del mercado (Muray, 2024).

El impacto de aguas residuales no solo se evidencia de forma ambiental en el deterioro de cuerpos hídricos, sino que también incide profundamente en la salud pública, la biodiversidad, la economía regional y la calidad de vida de las comunidades. Esta problemática, presente en zonas rurales y urbanas de Colombia, exige soluciones que trasciendan la mitigación y promuevan el desarrollo integral (GENSSA, 2025).

A partir de lo anterior, se resalta la importancia de realizar este estudio por su impacto en la salud pública, dado a que la exposición a aguas residuales contaminadas representan un factor de riesgo reconocido para la transmisión de enfermedades de origen hídrico, Según la OMS, aproximadamente 1,4 millones de personas pierden la vida anualmente a nivel mundial debido a enfermedades relacionadas con la escasez de agua segura, saneamiento y prácticas de higiene deficientes, entre ellas enfermedades diarreicas, hepatitis A y E, infecciones parasitarias y gastroenteritis (OMS, 2024;W HO, 2023).

En este contexto, el mercado público de Valledupar, al ser un espacio de alta influencia de población local, provenientes de municipios y corregimientos cercanos, representa un escenario potencial de exposición colectiva. La presencia de aguas residuales estancadas, sumada a prácticas sanitarias insuficientes y deficiencias en la gestión de residuos, incrementa el riesgo de afectación a la salud pública, lo que justifica el interés

de evaluar la contaminación microbiana para la prevención de enfermedades y la toma de decisiones sanitarias (Bleotu et al., 2024; UNESCO, 2021).

En términos de impacto a la salud en base al mercado, las aguas residuales pueden traer efectos inmediatos a comerciantes y consumidores, tales como infecciones dérmicas, además de la propagación de vectores (mosquitos) y la degradación en la calidad de vida. A esto se le suma la ausencia de prácticas inocuas y la escasez de medidas sanitarias, que también se relacionan con el riesgo para la salud de las personas, las cuales se exhiben a dicha agua contaminada (Martínez, 2025).

Desde una perspectiva ambiental, las aguas residuales suelen albergar una gran variedad de sustancias contaminantes, entre ellas metales pesados como plomo, níquel y hierro, productos químicos como pesticidas, compuestos orgánicos (proteínas, carbohidratos, grasas y aceites), así mismo, contienen gases como ácido sulfhídrico y anhídrido carbónico, de los cuales existe evidencia científica al respecto (Bitton G., 2005). Estos contaminantes pueden afectar los suelos, las aguas superficiales y subterráneas, generando impactos adversos sobre los ecosistemas, la fauna silvestre y la salud humana (Instituto del agua, 2024).

En este sentido, la presente investigación contribuye de manera positiva al ámbito ambiental al generar información científica que permite visibilizar la problemática asociada al manejo inapropiado de las aguas residuales estancadas en el mercado público de Valledupar. Los resultados pueden servir como insumo para que la

administración del mercado y las autoridades competentes adopten medidas orientadas al mejoramiento de la infraestructura de drenaje y al manejo eficaz de los vertimientos. Por consiguiente, la socialización de los resultados con comerciantes y consumidores promueve la conciencia ambiental y la corresponsabilidad ciudadana, lo que puede favorecer la reducción progresiva del deterioro ambiental en el entorno del mercado.

Adicionalmente, esta investigación se articula con el Plan Municipal de Desarrollo de “Valledupar, un municipio equitativo y solidario” (2024-2027), específicamente el eje transformador 2: *Infraestructura para un desarrollo sostenible*, cuyo propósito es garantizar la cobertura, calidad y eficiencia de los servicios públicos, con énfasis en el acceso al agua potable y al saneamiento básico. En particular, el habilitador “Eficiencia, accesibilidad y calidad de los servicios públicos”, contempla el mejoramiento y el mantenimiento de los sistemas de alcantarillado y drenaje pluvial. En este marco, la presente investigación aportará evidencia científica relevante para identificar deficiencias en el manejo de las aguas residuales y apoyar al cumplimiento de las metas municipales orientadas a la protección ambiental y la salud pública.

De esta manera, los resultados del presente trabajo serán de apoyo para las autoridades correspondientes, ya que permitirán identificar los microorganismos presentes en las aguas residuales estancadas del mercado, aportando información relevante sobre el nivel de contaminación existente. Así mismo, estos hallazgos servirán como base para investigaciones posteriores tanto en el ámbito microbiológico como ambiental, considerando la escasez de estudios relacionados con esta problemática. Finalmente, la

información generada contribuirá a la formulación e implementación de acciones por parte de los gobiernos locales y/o regionales, orientadas al fortalecimiento de las políticas sanitarias y a la mitigación de riesgos para la salud pública.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Determinar la presencia de bacterias coliformes en aguas residuales estancadas del mercado público de Valledupar y su impacto en la salud pública, con el fin de generar conciencia y proponer estrategias de control.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar coliformes totales y *Escherichia coli* en las aguas residuales estancadas del mercado público de Valledupar, utilizando técnicas de detección y recuento microbiano.
- Establecer si existen diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de coliformes totales y *Escherichia coli* entre las zonas de muestreo.
- Implementar la apropiación social del conocimiento de la política pública del Ministerio de Ciencia, Innovación y Tecnología (MINCIENCIAS, 2021), mediante educación comunitaria, para la socialización de los resultados.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Marco conceptual

5.1.1. Mercado

El mercado es un espacio donde se fusiona el intercambio comercial y el suministro de artículos, principalmente de productos de origen agrícola, para las poblaciones urbanas y rurales (DANE, 2015).

5.1.2. Términos sanitarios

5.1.2.1. Agua. Es un compuesto químico constituido por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Es la sustancia más abundante en la Tierra y se caracteriza por presentarse de manera natural en los tres estados físicos: sólido, líquido y gaseoso (Carbajal y González, 2012).

5.1.2.2. Agua residual. Son aguas que ya han sido utilizadas en entornos urbanos, industriales y agrícolas, así como las masas de aguas contaminadas con las anteriores. Es decir, las aguas residuales son aguas con una enorme cantidad de residuos (Arriols, 2024).

5.1.2.3. Agua estancada. Es un tipo de agua que se encuentra en un depósito natural o artificial, que no fluye ni cambia de volumen, y que puede contener diferentes niveles de contaminación y eutrofización (Goldman, 1965). Esta agua se acumula y permanece quieta en áreas urbanas, como en charcas, pozos, o incluso en sistemas de tuberías, debido a problemas de drenaje o infraestructura deficiente.

5.1.2.4. Contaminación. Presencia o cúmulo de sustancias perjudiciales en el entorno, tiene un impacto negativo tanto en el entorno natural como en la calidad de vida y la salud de los seres vivos (Rhoton, 2023).

5.1.3. Términos microbiológicos

5.1.3.1. Microorganismos. Son los seres más antiguos y abundantes del planeta. Habitan en todos los ecosistemas, además, desempeñan un papel importante en los mismos al interrelacionarse con las plantas y los animales (Montaño, 2010).

5.1.3.2. Bacterias. Una bacteria es un microorganismo que puede causar enfermedades graves. Las bacterias pueden ser clasificadas en función de su capacidad para causar enfermedades y de su capacidad para crecer en cultivo (Lister, 1867).

5.1.3.3. Carga microbiana. La carga microbiana corresponde al número y la diversidad microbiana presente como contaminantes en un objeto o en un organismo. Su cuantificación se expresa comúnmente en unidades formadoras de colonias (UFC) (EUROLAB, 2024).

5.1.3.4. Contaminación microbiológica del agua. La contaminación microbiológica del agua se refiere a la presencia de agentes infecciosos, que pueden causar problemas al ser consumidos por humanos o animales. Estos microorganismos contaminan el agua a través de fuentes como aguas residuales no tratadas, desechos agrícolas o industriales, y sistemas de distribución defectuosos (TNA, 2024).

5.1.4. Términos normativos

5.1.4.1. Salud pública. La salud pública constituye el campo disciplinar encargado de proteger, promover y mejorar las condiciones de salud de la población. Abarca acciones orientadas a la prevención, control y erradicación de enfermedades, así como estrategias de saneamiento y vigilancia sanitaria (Equipo editorial, Etecé 2021).

5.1.4.2. Prevención. La OMS describe la prevención como el procedimiento que implica la detección y eliminación o reducción del riesgo de enfermedades y lesiones, mediante la detección de situaciones de peligro y el fomento de hábitos saludables (Hahn, R. 2012).

5.1.4.3 Control. El control de enfermedades se refiere al proceso de reducir o eliminar la propagación de enfermedades mediante la aplicación de estrategias preventivas y terapéuticas. Es un concepto que une a la medicina, la epidemiología y la salud pública para trabajar en colaboración para evitar y regular la transmisión de enfermedades (WHO, 2019).

5.1.5. Bacterias comúnmente encontradas en el agua estancada residual

5.1.5.1. Bacterias coliformes. El grupo de coliformes totales incluye la totalidad de bacterias coliformes, dentro de las cuales se encuentran los coliformes termo tolerantes, anteriormente conocidos como coliformes fecales, considerados un subgrupo específico de los coliformes totales, donde hay géneros patógenos para el ser humano, y otros inofensivos. Estas bacterias son útiles como indicadores de contaminación de las

aguas. Entre más coliformes hay en el agua, mayor es la contaminación (Lifeder. 2023; Yates. 2018).

5.1.5.2. *Escherichia coli*. Es una bacteria que consigue generar infecciones y provocar sintomatologías como diarrea acuosa o con sangre, dolencias y ardor al orinar. Esta bacteria vive naturalmente en el intestino sin causar enfermedad, sin embargo, puede ser transmitida al ingerir alimentos o agua contaminados (Mueller, M. 2023).

5.1.6. *Impacto de aguas contaminadas en salud humana*

La carencia de accesos a suministros apropiados de agua expone a la comunidad a serios riesgos sanitarios. Cuando estos servicios son ineficientes, facilitan la transmisión de diversas enfermedades tales como el cólera, y demás afecciones de origen infeccioso. A su vez, en muchas zonas del mundo, ciertos insectos están estrechamente ligados con el agua contaminada y actúan como vectores de enfermedades. A esto se suma la mala gestión de las aguas utilizadas para distintas actividades, que ocasionan la contaminación biológica y química de fuentes de agua potable. Como consecuencia, cientos de millones de personas consumen agua no segura, lo que agrava aún más los riesgos sanitarios (Organización Mundial de la Salud, 2023).

5.1.7. *Métodos para identificación de coliformes totales y Escherichia coli*

5.1.7.1. Siembra en medio de cultivo. La inoculación consiste en la transferencia de una porción de muestra, denominada inóculo, a un medio de cultivo adecuado, con el

propósito de favorecer el aumento y la multiplicación de los microorganismos presentes (Risso, 2016).

5.1.7.2. Filtración por membrana. Es un método analítico que cuantifica la existencia y concentración microbiana en muestras de agua. Consiste en filtrar una cantidad de agua por medio de una membrana con poros pequeños (0.45 μm), reteniendo así las bacterias y otros microorganismos. Luego, la membrana se deposita en un agar para que los microorganismos retenidos puedan crecer y ser contados (APHA, 1992).

5.2. Antecedentes

En antecedentes importantes a nivel internacional, un estudio realizado en la India por L. Velmurugan y K. Pandian (2023) tuvo como fin principal evaluar la calidad microbiana de aguas grises y efluentes industriales alimentarios (molienda húmeda y encurtidos), mediante una Unidad Formadora de Colonias (UFC), su aislamiento y la identificación de bacterias y hongos. Los efluentes de la industria de encurtidos sin tratar se reportaron con una población bacteriana significativamente mayor a los demás tipos muestras, mientras que las muestras de aguas grises estudiadas presentaron un número muy bajo de colonias bacterianas, a su vez las muestras de efluentes de la industria de molienda presentaron un número moderado de bacterias. Algunas de las bacterias con mayor prevalencia encontradas fueron: *E. coli*, *Enterobacter* sp, *Klebsiella* sp y *Citrobacter* sp.

La investigación realizada por Naranjo Santa K. (2014), en México, tuvo como objetivo caracterizar mediante variables fisicoquímicas y microbiológicas las aguas residuales y determinar la carga microbiana de las mismas, del taller de Tecnología de Cárnicos de la Universidad de Huejotzingo, en esta investigación se logró evidenciar la aparición tanto de coliformes totales como de coliformes fecales.

A nivel nacional, Venegas, C., et al. (2014) elaboraron un trabajo en la ciudad de Bogotá que tuvo como objetivo determinar la calidad microbiológica del agua usada para consumo humano y el agua residual, además, de su conexión con la salud de la población de dicho espacio, en el cual observaron concentraciones de *E. coli* y otros microorganismos en las muestras de agua residual que analizaron, por lo que concluyen

que la alta concentración de microorganismos en el agua residual obliga a la construcción de redes de conducción que aislen y transporten los contaminantes a sitios adecuados de tratamiento y alejados de la población.

Por último, Pérez Rodríguez, I. M., (2020) realizó un estudio que tuvo como principal enfoque la acumulación de agua, que genera el aumento de animales trasmisores y de microorganismos, por lo cual se planteó como objetivo analizar la presencia de bacterias coliformes en el canal de aguas lluvias ubicado en la Sede Vivero de la Universidad Distrital, Bogotá, y establecer el género predominante según el recuento en unidades formadoras de colonias (UFC). Pérez identificó la presencia de bacterias coliformes en el canal de aguas de lluvias y Los resultados en agar Chromocult presentaron crecimiento que se asemejan bajo la teoría a *Citrobacter freundii*, *Enterobacter aerogenes* y *Klebsiella pneumoniae* y finalmente, el microorganismo identificado mediante pruebas bioquímicas fue *Citrobacter freundii*.

5.3. Marco legal

- **Ley 9 de 1979. Código Sanitario Nacional.** “Establece las normas para la preservación, conservación y mejoramiento de la salud humana, regulando las condiciones sanitarias del ambiente, del agua y de los establecimientos que puedan representar un riesgo para la salud pública”. La ley proporciona el fundamento sanitario para el análisis de situaciones ambientales que, por un manejo inadecuado, puedan comprometer la salubridad y el bienestar de la población.
- **Decreto 3930 de 2010.** “Establece el uso del recurso hídrico, el manejo de los vertimientos al agua, así como al suelo y a los alcantarillados”. El decreto dispone que los generadores deben asegurar la adecuada conducción, manejo y disposición de las aguas usadas hacia sistemas autorizados, con el fin de evitar su acumulación, estancamiento o liberación inadecuada, contribuyendo así a la protección del recurso hídrico y a la mitigación de riesgos ambientales y sanitarios.
- **Decreto 2811 de 1974. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.** Establece el fundamento jurídico para la gestión sostenible del recurso hídrico en Colombia, al establecer el compromiso de prevenir y controlar la contaminación ambiental como un interés público. En este marco, el uso inadecuado de las aguas residuales y su estancamiento representa una forma de infección que puede afectar tanto el ambiente como la salud humana.

- **Resolución 2674 de 2013.** “Dispone los requisitos sanitarios que deben realizar los establecimientos que ejercen actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y materias primas de alimentos”. Esta orden contempla condiciones higiénico-sanitarias orientadas a prevenir la contaminación en espacios donde se manipulan alimentos, incluyendo disposiciones relacionadas con el drenaje y manejo de aguas residuales.

La Política Pública de Apropiación Social del Conocimiento, formulada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCIENCIAS), establece lineamientos para fortalecer la interacción entre la sociedad y los procesos de ciencia, tecnología e innovación.

- **Resolución 0643 de 2021.** Busca a través de una política pública que el conocimiento tecnológico y científico sea de índole accesible, participativo y útil para todos; que ayude en la solución y transformación de situaciones de interés colectivo, fortalezca las habilidades de investigación y desarrollo, y promueva una cultura centrada en la ciencia, tecnología e innovación.

6. METODOLOGIA

6.1. Localización o área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el mercado público de la ciudad de Valledupar, ubicado al oeste de la ciudad, el cual cuenta con una superficie aproximada de 24.925,38 m² y una altitud aproximada de 168 msnm, con temperaturas que fluctúan entre 24 °C y 36 °C, un clima mayoritariamente caluroso-tropical y precipitaciones promediadas de 2169 mm anuales.

Figura 1

Vista satelital del mercado público de Valledupar.



Nota. Tomado de Google Maps.

6.2. Tipo de estudio y línea de investigación

El presente estudio es de tipo descriptivo de corte transversal y se encuentra dentro de la línea de investigación de bioindicadores con enfoque en epidemiología y enfermedades infecciosas del programa de Microbiología de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Popular del Cesar.

6.3. Método de muestreo

Para el muestreo se seleccionaron tres zonas del mercado público mediante un muestreo intencional, teniendo en cuenta su alta afluencia de personas, el tipo de productos comercializados y la probabilidad de acumulación de aguas residuales estancadas. Las zonas seleccionadas fueron: Z1 (vegetales y frutas), Z2 (productos de origen animal y Z3 (productos varios) (ver Anexo A).

El procedimiento se realizó con base en la NTC-ISO 5667-10:2022 *Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Muestreo de aguas residuales*. En cada zona seleccionada se tomaron cinco muestras de 150 mL de agua residual estancada en varios puntos de acumulación, para un total de 15 muestras y volumen total agregado de 2,25 L en toda el área del mercado. Las muestras fueron recolectadas utilizando jeringas estériles de 60 mL, depositadas en frascos de vidrio estériles con capacidad de 200 mL y transportadas en una cava de icopor con bolsas de gel refrigerantes para ser procesadas y analizadas en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Popular del Cesar.

6.4. Diseño metodológico

El estudio se realizó bajo tres fases:

6.4.1. Fase 1. Identificación microbiana

Se evaluó la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* en las aguas residuales estancadas mediante dos técnicas:

Siembra en medios de cultivo:

Se realizaron siembras directas de cada una de las 15 muestras utilizando asas estériles, inoculadas en cajas de Petri con medio cromogénico, puesto que este medio permite la identificación simultánea de bacterias coliformes y *Escherichia coli*, al otorgar a las colonias una coloración característica para cada una, producto de reacciones enzimáticas específicas. Las colonias color salmón-rojo correspondientes a coliformes totales, las colonias azul-violeta presuntivas como *E. coli* y las colonias incoloras pertenecientes a bacterias no coliformes; de acuerdo con las especificaciones del fabricante del medio.

Luego de la siembra, las cajas fueron incubadas entre 24 y 48 horas a 37 °C. Al cumplir con el período de incubación, se realizó la coloración de Gram a las colonias y se ejecutaron pruebas bioquímicas (SIM, Voges Proskauer, Rojo de Metilo y Citrato) para confirmación.

Técnica de filtración por membrana:

Para llevar a cabo el recuento de bacterias coliformes se empleó la técnica de filtración por membrana, donde se prepararon diluciones seriadas agregando 10 mL de la muestra en 90 mL de agua destilada estéril para obtener una dilución de 10^{-1} ; posteriormente se transfirieron 10 mL de esta dilución a otro beaker con 90 mL de diluyente para obtener 10^{-2} , siguiendo el proceso hasta la dilución 10^{-5} . Seguidamente se filtraron los 100 mL correspondientes a la última dilución (10^{-5}), este proceso se ejecutó para cada una de las muestras.

La filtración se elaboró con membranas de nitrocelulosa de 0,45 μm , las cuales se colocaron en placas Rodac con medio Chromocult, incubándolas en posición invertida a 35–37 °C durante 24–48 horas.

Esta técnica se realizó colocando el filtro de membrana de 0,45 micrómetros de nitrocelulosa sobre el soporte con ayuda de pinzas de acero previamente esterilizadas. Luego, se filtraron los 100 mL previamente diluidos, limpiando con agua destilada y enjuagando entre muestra y muestra.

Para determinar la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) por 100 mL utilizando diluciones seriadas para coliformes totales y *Escherichia coli*, se contaron la totalidad de las colonias desarrolladas en el medio Chromocult (rosadas y azules) para coliformes totales, y para *E. coli* se consideraron únicamente las colonias de color azul.

El cálculo se realizó según la siguiente ecuación:

$$\text{UFC/100 mL} = (N / V) \times D \times 100$$

Donde:

N = número de colonias contadas

V = volumen filtrado (mL)

D = factor de dilución utilizado

En este estudio, los recuentos se obtuvieron a partir de la dilución 10^{-5} , como fue mencionado anteriormente, por lo que los valores finales fueron corregidos aplicando el inverso del factor de dilución (10^5), para expresar la concentración bacteriana como UFC/100 mL de la muestra original.

6.4.2. Fase 2. Análisis estadístico descriptivo e inferencial de coliformes totales y *Escherichia coli* por zonas de muestreo

Con base a los datos obtenidos de las concentraciones de coliformes totales y *Escherichia coli* (UFC/100 mL) organizados por zona de muestreo, se realizó un análisis estadístico descriptivo, para el cual, se calculó la media, mediana y desviación estándar, además, se graficó un diagrama de cajas (boxplot); con el fin de caracterizar la distribución y variabilidad de los datos.

La **media** se calculó sumando los datos de UFC/100 mL obtenidos y dividiendo entre el número total de muestras.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

La **mediana** se obtuvo al ordenar los datos de menor a mayor, determinando el valor central de cada zona respetivamente.

Y por último la **desviación estándar**, se calculó sumando las diferencias al cuadro de cada dato, dividiendo esta suma por el número total de datos menos uno y luego sacando la raíz.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Posteriormente, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos. Se utilizó el ANOVA de un factor (Análisis de varianza) en el análisis estadístico inferencial, para establecer si existen diferencias significativas en la concentración de las bacterias analizadas entre las zonas. Basado en lo empleado por otras investigaciones (Him Fábrega et al., 2022).

6.4.3. Fase 3. Apropiación social del conocimiento (Socialización y sensibilización)

Finalmente, se realizó el Plan de apropiación social del conocimiento acorde a la política pública del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCIENCIAS-2021), desarrollando una jornada de educación comunitaria, dirigida a los comerciantes y consumidores del mercado donde se socializó los hallazgos del estudio mediante el uso de infografías, acompañadas de recomendaciones prácticas para prevenir riesgos

sanitarios asociados al contacto con aguas estancadas contaminadas, logrando la sensibilización de la comunidad presente en el mercado público de Valledupar.

6.5. Control de calidad

Para evitar la contaminación cruzada durante la investigación y la confiabilidad de los resultados, se rotularon adecuadamente cada muestra desde el momento de la recolección, evitando errores en su trazabilidad.

Dentro del laboratorio, se priorizó la correcta limpieza y desinfección del área de procedimiento, así como los equipos y materiales utilizados, cumpliendo con los principios de bioseguridad.

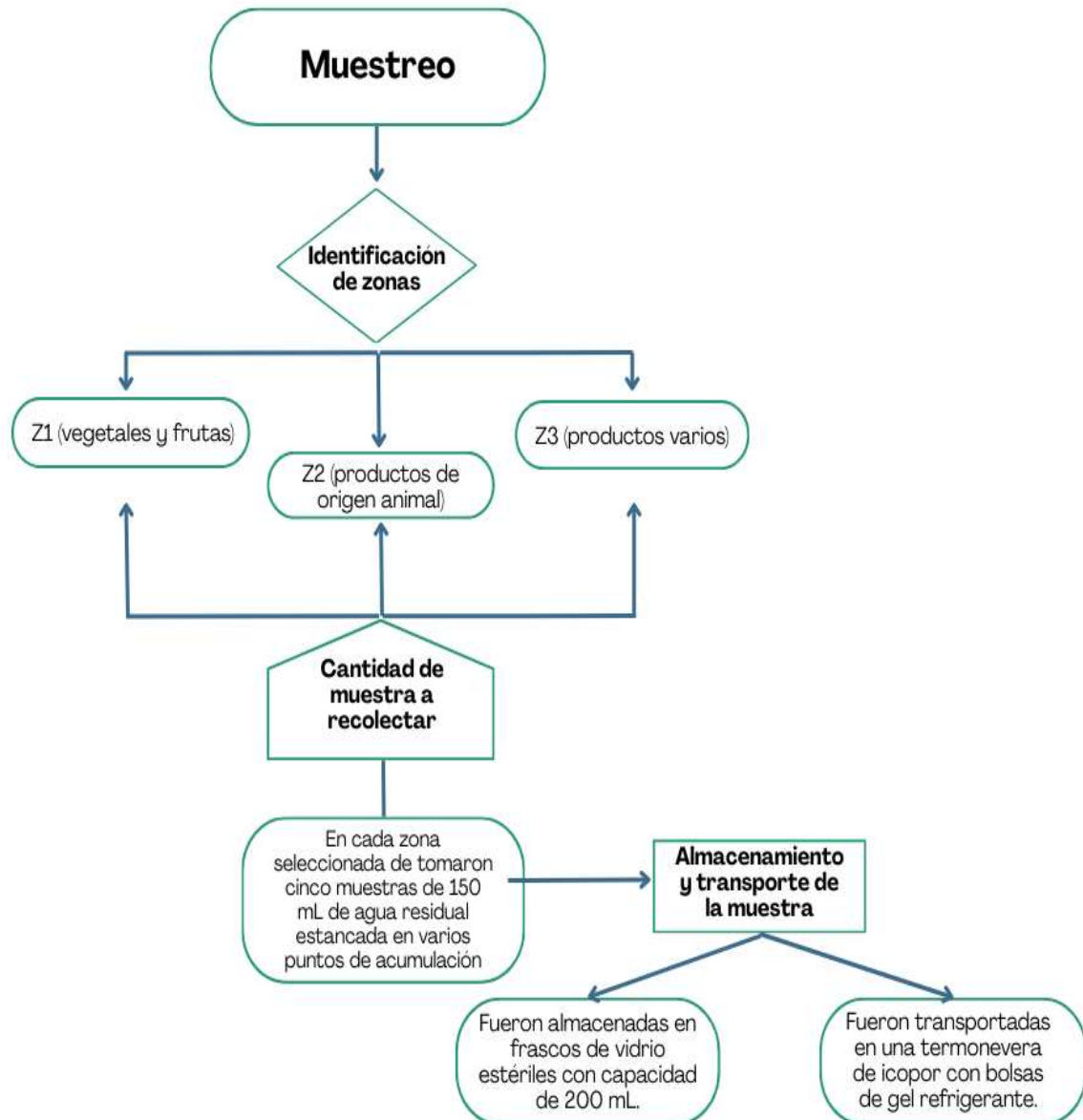
Así mismo, en cada uno de los procedimientos se realizaron controles positivos utilizando una cepa de *Escherichia coli* ATCC 25922 y controles negativos (medios estériles), validando la precisión de los procedimientos ejecutados en la investigación.

6.6. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por medio un enfoque estadístico descriptivo e inferencial, utilizando el programa Microsoft Excel y el software estadístico: IBM SPSS. La diferencia entre las bacterias en el agua residual estancada y las zonas de muestreo dentro del mercado, se analizaron gracias al ANOVA de un factor (Análisis de varianza); el cual se empleó tras verificar los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk.

Figura 2

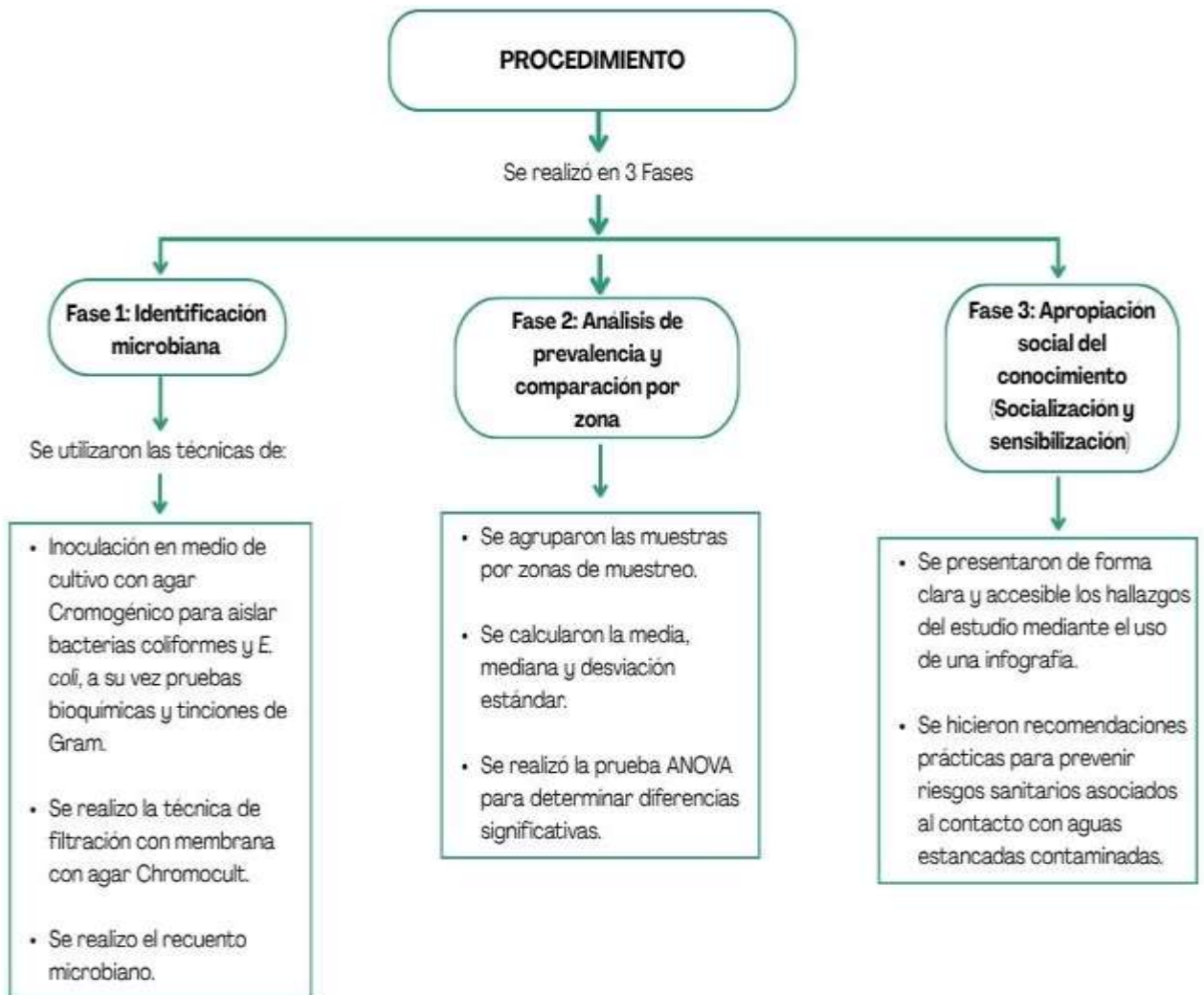
Diagrama de recolección, almacenamiento y transporte de las muestras.



Nota. Elaboración propia.

Figura 3

Diagrama de las fases metodológicas.



Nota. Elaboración propia.

7. RESULTADOS

7.1. Identificación de bacterias coliformes y *Escherichia coli* en aguas residuales estancadas

Se analizó un total de 15 muestras de agua residual estancada, recolectadas de tres zonas del mercado público de Valledupar, Cesar. En el total de las muestras se registró crecimiento microbiano en las cajas de Petri con medio cromogénico, lo que evidencia la presencia de bacterias indicadoras de contaminación.

El 100 % de las muestras resultó positivo para coliformes totales, determinado por la observación de colonias de color salmón-rojizas. Así mismo, se observaron colonias de color azul compatibles con *Escherichia coli* en 13 de las 15 muestras analizadas (86,7 %), de acuerdo con las características cromogénicas del medio utilizado, el cual permite su diferenciación mediante la actividad enzimática específica (ver Anexo E).

Esta identificación se considera presuntiva, ya que la coloración característica del medio permite inferir la presencia de *E. coli* pero no constituye confirmación definitiva, la cual requiere de pruebas adicionales.

En cuanto a la distribución por zonas de muestreo, la zona 2 (productos de origen animal), presentó el mayor número de muestras con colonias presuntivas para *Escherichia coli*. En contraste, las zonas 1 (vegetales y frutas) y 3 (productos varios) mostraron una menor cantidad de colonias compatibles con esta bacteria. Estos

resultados evidencian diferencias en la carga bacteriana entre las distintas áreas evaluadas del mercado público.

7.1.1. Identificación Confirmatoria de coliformes totales y *Escherichia coli*

Con el fin de confirmar la identificación presuntiva obtenida en el medio cromogénico, se realizaron tinción de Gram y pruebas bioquímicas a colonias seleccionadas de manera intencional y representativa. En total, se analizaron 15 colonias, una por cada muestra, seleccionadas de acuerdo con las características cromogénicas observadas y la ficha técnica del medio.

Las colonias seleccionadas correspondieron a los diferentes tipos de coloración observados: azul-violeta, compatibles con *Escherichia coli*; salmón-rojo, correspondientes a otros coliformes totales e incoloras, asociadas a bacterias no coliformes. Esta estrategia permitió confirmar las características morfológicas y bioquímicas de los aislamientos representativos, considerando la similitud fenotípica observada entre las colonias.

La tinción de Gram y la observación microscópica evidenciaron la presencia de bacilos rectos, no esporulados y teñidos de color rosado, características compatibles con bacterias Gram negativas (ver Anexo F).

En la realización de las pruebas bioquímicas (SIM, VP, MR y Citrato), las colonias de color azul seleccionadas en cada una de las zonas de muestreo presentaron perfiles bioquímicos compatibles con *Escherichia coli* (ver Anexo G). Por su parte, las colonias

de color salmón mostraron resultados bioquímicos diferentes a *E. coli*, correspondientes a otras bacterias del grupo de coliformes totales. Finalmente, las colonias incoloras evidenciaron perfiles bioquímicos asociados a bacterias no coliformes.

La Tabla 1 muestra los resultados de las pruebas bioquímicas en las 15 muestras analizadas. Se identificaron tres de casos de *Escherichia coli*, resultado coherente con la detección presuntiva observada en 13 de las 15 muestras mediante el medio cromogénico.

Tabla 1

Pruebas bioquímicas e identificación bacteriana en muestras de aguas residuales estancadas (n=15) por zona de muestreo.

Zona	Muestra	Pruebas bioquímicas						Bacteria identificada
		Citrato	Rojo de metilo	Voges-Proskauer	H ₂ S	Indol	Motilidad	
	1	+	-	+	-	-	-	<i>Klebsiella</i> spp.
	2	+	-	+	-	-	-	<i>Klebsiella</i> spp.
Zona 1	3	-	+	-	-	+	+	<i>Escherichia coli</i>
	4	+	+	-	+	-	+	<i>Salmonella</i> spp
	5	+	-	-	-	-	+	<i>Pseudomonas</i> spp

Zona 2	1	+	-	-	-	-	+	<i>Pseudomonas spp</i>
	2	+	-	+	-	-	-	<i>Klebsiella spp.</i>
	3	+	-	-	-	-	+	<i>Pseudomonas spp</i>
	4	-	+	-	-	+	+	<i>Escherichia coli</i>
	5	+	-	-	-	-	+	<i>Pseudomonas spp</i>
Zona 3	1	+	+	-	+	-	+	<i>Salmonella spp</i>
	2	+	-	-	-	-	+	<i>Pseudomonas spp</i>
	3	-	+	-	-	+	+	<i>Escherichia coli</i>
	4	+	+	-	+	-	+	<i>Salmonella spp</i>
	5	+	-	+	-	-	-	<i>Klebsiella spp.</i>

Nota. Los signos (+) indican una positividad en la prueba bioquímica, mientras que los signos (-) indican una negatividad. La producción del sulfuro de hidrógeno (H₂S) fue evaluada utilizando el medio SIM, de acuerdo con procesamientos microbiológicos convencionales.

La tabla 1 muestra la identificación de colonias de bacterias Gram negativas pertenecientes a los géneros *Escherichia*, *Klebsiella spp.*, *Pseudomonas spp.*, y *Salmonella spp.*, a partir de las pruebas bioquímicas analizadas. Estos resultados evidencian diversidad microbiológica con relevancia en salud pública.

7.1.2. Recuento de coliformes totales y *Escherichia coli*

El análisis de coliformes totales y *Escherichia coli*, realizado mediante la técnica de filtración por membrana, evidenció una alta concentración microbiana de coliformes totales en las tres zonas de muestreo. En la zona 1 (vegetales y frutas), los conteos de colonias oscilaron entre 31 y 115; en la zona 2 (productos de origen animal), entre 25 y

50; mientras que en la zona 3 (productos varios) los conteos variaron entre 22 y 32 (ver Anexo H).

En relación con *Escherichia coli*, la mayoría de las muestras no presentó crecimiento, registrándose valores por debajo del límite de detección (< 1 UFC/100 mL). No obstante, se detectó una muestra de la zona 1 con un conteo de 2 colonias compatibles con *Escherichia coli* (ver Anexo H). Esto sugiere que el microorganismo puede estar presente en concentraciones muy bajas, que pueden ser no detectadas mediante el recuento cuantitativo.

A partir del conteo de colonias, se realizó la aplicación de la fórmula ($\text{UFC}/100 \text{ mL} = (\text{N} / \text{V}) \times \text{D} \times 100$), que incluye la corrección mediante el inverso del factor de dilución; obteniendo los recuentos de coliformes totales y *Escherichia coli* de las 15 muestras analizadas, correspondientes a las tres zonas de muestreo, expresados en UFC/100 mL (ver Tabla 2).

Tabla 2

Recuento de coliformes totales y Escherichia coli (UFC/100 mL) en aguas residuales estancadas del mercado público de Valledupar, según zona de muestreo.

Zona	Muestra	UFC Coliformes totales (UFC/100mL)	UFC <i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)
1	1	$5,7 \times 10^6$	<1
1	2	$6,1 \times 10^6$	2×10^5
1	3	$1,15 \times 10^7$	<1
1	4	$2,7 \times 10^6$	<1
1	5	$3,1 \times 10^6$	<1
2	1	$2,5 \times 10^6$	<1
2	2	$2,7 \times 10^6$	<1
2	3	$5,0 \times 10^6$	<1
2	4	$3,7 \times 10^6$	<1
2	5	$2,8 \times 10^6$	<1
3	1	$2,2 \times 10^6$	<1
3	2	$2,6 \times 10^6$	<1
3	3	$2,2 \times 10^6$	<1
3	4	$3,2 \times 10^6$	<1
3	5	$3,0 \times 10^6$	<1

Nota. Los valores se expresan como unidades formadoras de colonias por 100 mL (UFC/100 mL). El símbolo "< 1" indica concentraciones por debajo del límite de detección del método.

En la Tabla 2, se observan recuentos altos de coliformes totales en todas las muestras, con valores entre 10^6 y 10^7 UFC/100 mL, lo que evidencia contaminación microbiológica generalizada en las tres zonas evaluadas. En contraste, *Escherichia coli*, se detectó en bajas concentraciones, registrándose valores por debajo del límite de detección en la mayoría de las muestras y únicamente un caso presentó un valor cuantificable de 2×10^5 UFC/100 mL. Estos resultados evidencian condiciones sanitarias deficientes y un potencial de riesgo para la salud pública, por la cercanía a las áreas de expendio de

alimentos. La detección puntual de *E. coli* sugiere una contaminación fecal reciente y localizada.

7.2. Análisis estadístico de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas residuales estancadas

Dado que los recuentos de *Escherichia coli* mediante filtración por membrana fueron inferiores al límite de detección (<1 UFC/100 mL) en 14 de las 15 muestras analizadas, no fue posible realizar análisis estadísticos descriptivos ni diferenciales para esta bacteria. En consecuencia, el análisis estadístico se efectuó únicamente para los coliformes totales, que presentaron recuentos cuantificables en todas las muestras.

7.2.1. Análisis estadístico descriptivo de coliformes totales por zona de muestreo

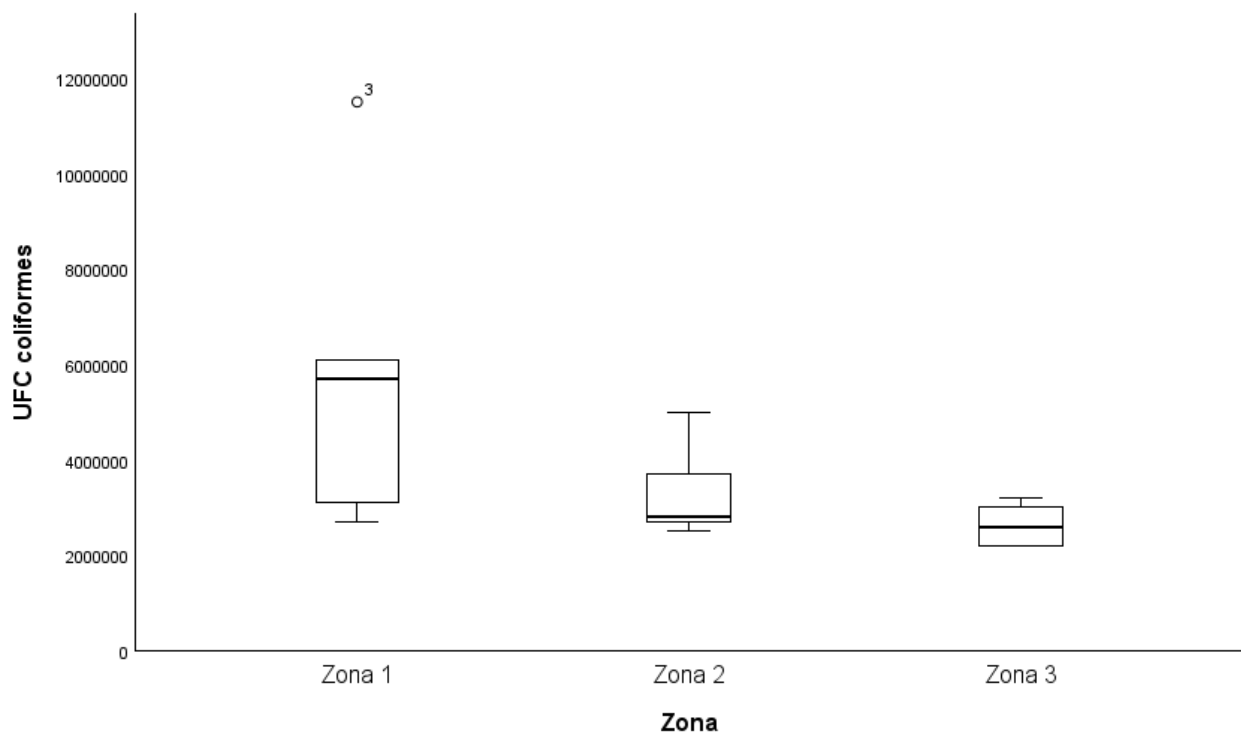
Se calcularon la media, mediana y desviación estándar de las concentraciones (UFC/100 mL) de coliformes totales en las aguas residuales estancadas, correspondientes a cada una de las tres zonas de muestreo del mercado público, con el fin de describir el comportamiento y la variabilidad de los datos obtenidos.

La zona 1 (vegetales y frutas) presentó la mayor media ($5,82 \times 10^6$ UFC/100 mL) y mediana ($5,7 \times 10^6$ UFC/100 mL), así como la desviación estándar más alta ($3,52 \times 10^6$ UFC/100 mL), lo que indica una mayor dispersión de los recuentos de coliformes totales en esta zona. En la zona 2 (productos de origen animal), la media y mediana fueron de ($3,34 \times 10^6$ UFC/100 mL y $2,8 \times 10^6$ UFC/100 mL), respectivamente, con una desviación estándar de ($1,04 \times 10^6$ UFC/100 mL), lo que sugiere una variabilidad intermedia en

comparación con las otras zonas. Por su parte, la zona 3 (productos varios) presentó los valores más bajos de media y mediana ($2,64 \times 10^6$ UFC/100 mL y $2,6 \times 10^6$ UFC/100 mL), así como la menor variabilidad, reflejada en una desviación estándar de $0,46 \times 10^6$ UFC/100 mL.

Figura 4

Diagrama de cajas (boxplot) de los recuentos de coliformes totales (UFC/100 mL) según zona de muestreo en aguas residuales estancadas.



Nota. Las cajas representan el rango intercuartílico (Q1–Q3), la línea central corresponde a la mediana, los bigotes indican los valores mínimo y máximo, y los puntos representan valores atípicos.

La Figura 4 muestra diferencias en la distribución de los recuentos de coliformes totales entre las zonas de muestreo. La zona 1 presentó las mayores medianas y una mayor dispersión de los datos, lo que evidencia una mayor variabilidad. En contraste, las zonas 2 y 3 mostraron concentraciones menores, siendo la zona 3 la que presentó una distribución más homogénea y los valores más bajos.

Con base en los recuentos individuales y en los estadísticos descriptivos, la zona 1 (vegetales y frutas) presentó la mayor carga de coliformes totales, seguida de la zona 2 (productos de origen animal), mientras que la zona 3 (productos varios) registró la menor carga bacteriana.

7.2.2. Análisis estadístico inferencial de coliformes totales por zona de muestreo

Con la finalidad de estimar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los recuentos de coliformes totales entre las zonas de muestreo, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de los datos. Los resultados evidenciaron que las tres zonas presentaron distribución normal ($p > 0,05$): zona 1 ($W= 0,873$; $p= 0,279$), zona 2 ($W= 0,844$; $p= 0,075$) y zona 3 ($W= 0,884$; $p= 0,329$) (ver Anexo I). En consecuencia, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Los resultados se presentan en la Tabla 3 de manera detalla en el Anexo J.

Tabla 3

Prueba de Análisis de varianza (ANOVA) de una vía para coliformes totales por zona de muestreo.

Variable	F	gl	p-valor
Coliformes totales (UFC/100mL)	3,068	2	0,084

Nota. F corresponde al estadístico del análisis de varianza (ANOVA); gl indica los grados de libertad y p representa el nivel de significancia estadística ($p < 0.05$).

Como se observa en la Tabla 3, el análisis descriptivo mostró una mayor carga de coliformes totales en la zona 1 (frutas y verduras) en comparación con las zonas 2 (productos de origen animal) y 3 (productos varios); sin embargo, el análisis de varianza (ANOVA) de una vía indicó que estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p = 0,084$).

7.3. Apropiación social del conocimiento, acorde a la política pública de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCIENCIAS, 2021)

Se llevo a cabo un proceso de apropiación social del conocimiento, en concordancia con la política pública de Ciencia, Tecnología e Innovación de MINCIENCIAS (2021), mediante el desarrollo de una jornada de educación comunitaria dirigida a los comerciantes del mercado público de la ciudad de Valledupar. En esta actividad se socializaron los resultados de la investigación relacionados la calidad microbiológica de

las aguas residuales estancadas, empleando infografías prácticas y didácticas (ver Anexo K) y un lenguaje sencillo, integrando un enfoque One Health que articula la salud humana, animal y ambiental.

Durante la jornada, comerciantes y consumidores fueron sensibilizados sobre los riesgos sanitarios asociados al contacto con aguas residuales contaminadas, generando un espacio de reflexión y diálogo. Así mismo, se brindaron recomendaciones prácticas orientadas al mejoramiento de las condiciones higiénico-sanitarias y la prevención de infecciones de origen hídrico. Se resalta la participación de la comunidad del mercado, logrando impactar aproximadamente 20 personas de las tres zonas de muestreo, lo que evidencia una adecuada articulación entre la comunidad académica, científica y el bienestar social.

8. DISCUSIÓN

Las aguas residuales manejadas de forma inadecuada constituyen un importante riesgo para la salud pública, principalmente en entornos de alta circulación de personas como los mercados públicos. En el mercado público de Valledupar, el estancamiento de estas aguas y su contaminación microbiana representan una situación relevante, al comprometer la salubridad de los productos comercializados y la salud de comerciantes y consumidores. En este contexto, el presente estudio evidenció la presencia de bacterias indicadoras de contaminación, resaltando la necesidad de adoptar estrategias de control y saneamiento ambiental.

En relación con los hallazgos microbiológicos, se corroboró la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* en las aguas residuales estancadas del mercado. La detección de estos microorganismos se asocia con la acumulación de residuos orgánicos propios de la actividad comercial, así como con prácticas como el lavado de productos, el deficiente funcionamiento de los sistemas de drenaje y las condiciones de la infraestructura. Sumado a esto, la presencia de animales en el entorno del mercado favorece la incorporación de materia fecal, incrementando la carga microbiana de estas aguas.

Adicionalmente, durante el proceso de identificación se evidenció la presencia de otras bacterias diferentes a las del grupo de estudio, como *Salmonella* spp y *Pseudomonas* spp., lo que sugiere una mayor diversidad microbiana en las aguas residuales

estancadas. Aunque estos microorganismos no formaron parte del objetivo principal de la investigación, su detección indica que factores como la acumulación de materia orgánica, previamente mencionados, favorecen la proliferación bacteriana en este tipo de ambientes.

Por otra parte, los recuentos obtenidos evidenciaron una alta concentración de bacterias coliformes en las zonas estudiadas. En contraste, *Escherichia coli* no fue detectada en la mayoría de las muestras, registrándose valores por debajo del límite de detección (<1 UFC/100 mL). Este comportamiento sugiere una carga microbiana asociada principalmente a condiciones sanitarias deficientes y a la elevada presencia de materia orgánica, más que una contaminación fecal cuantificable mediante el método empleado. Esta situación fue más evidente en la zona 1 (frutas y verduras), la cual presentó las mayores concentraciones bacterianas, posiblemente debido a la mayor acumulación de residuos orgánicos generados por el alto flujo de actividad comercial y al estancamiento de agua favorecido por deficiencias en la infraestructura del suelo y los sistemas de drenaje.

Resultados semejantes fueron reportados por Radha et al., (2022), quienes aislaron e identificaron diversas bacterias patógenas, entre ellas *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, y *Pseudomonas aeruginosa*, en aguas estancadas de dos zonas residenciales de Thanjavur, India. En dicho estudio, *Escherichia coli* fue uno de los microorganismos predominantes, lo que sugiere que la contaminación fecal en aguas

estancadas representa un problema recurrente en distintos entornos. Este resultado difiere del obtenido en la presente investigación. Aunque, *Escherichia coli* no fue cuantificable en la mayoría de las muestras, su presencia sugiere contaminación fecal puntual y riesgo potencial para la salud pública.

Por otro lado, Qenehelo (2015) evaluó la contaminación microbiana en aguas grises estancadas en Khayelitsha, Sudáfrica, reportando alta presencia de coliformes fecales y *Escherichia coli* ($1,8 \times 10^6$ microorganismos/100 m³). En contraste, en el presente estudio, *E. coli* fue indetectable en la mayoría de las muestras (<1 UFC/100 mL), registrándose un único recuento de 2×10^5 UFC/100 mL. Si bien las unidades y métodos de conteo difieren, haciendo que la comparación numérica directa no sea posible, ambos estudios son comparables cualitativamente, ya que evalúan la presencia de microorganismos indicadores en aguas estancadas. La menor contaminación observada en nuestro contexto podría explicarse por diferencias en las condiciones ambientales, el tipo de residuos, las dinámicas de estancamiento del agua y el método de conteo utilizado. Aun así, ambos estudios coinciden en la presencia significativa de coliformes totales, evidenciando condiciones sanitarias deficientes y el riesgo potencial para la salud pública.

En relación con el análisis de las estadísticas descriptivas y la aplicación de la prueba ANOVA para los recuentos de bacterias coliformes, la media y la mediana, presentaron valores muy similares en las tres zonas de muestreo, lo que sugiere una distribución

relativamente homogénea de la contaminación microbiana y la ausencia de valores atípicos relevantes. No obstante, la desviación estándar mostró diferencias en la variabilidad de los recuentos, siendo mayor en la zona 1, lo que indica una distribución más heterogénea dentro de esta área y la posible presencia de focos puntuales de contaminación. En contraste, las zonas 2 y 3 presentaron una menor variabilidad, reflejando un comportamiento microbiológico más estable.

En concordancia con estos resultados, la prueba de análisis de varianza (ANOVA) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de coliformes totales entre las zonas evaluadas ($p > 0,05$), lo que indica que, pese a la variabilidad observada dentro de algunas zonas, la contaminación microbiana presenta una distribución relativamente uniforme en el área del mercado.

En cuanto a la jornada de educación comunitaria dirigida a comerciantes y consumidores del mercado público de Valledupar, esta se desarrolló con el propósito de involucrar a la población en procesos de apropiación social del conocimiento en ciencia y tecnología, con base en los resultados obtenidos sobre la contaminación microbiana de las aguas residuales estancadas y sus implicaciones en salud pública.

Durante la actividad, se orientó a los participantes sobre conceptos y prácticas clave para mitigar los efectos asociados a esta problemática, promoviendo un mayor compromiso social. La adaptación del lenguaje científico a una comunicación sencilla y contextualizada facilitó la comprensión de los resultados, mientras que el uso de

infografías como herramienta visual permitió generar espacios de reflexión sobre los riesgos sanitarios presentes en el mercado. De esta manera, se favoreció la apropiación social del conocimiento, permitiendo que la comunidad comprendiera e interpretará los hallazgos del estudio (Gualteros et al.,2024).

Desde una perspectiva de salud pública, la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*, así como los niveles de contaminación observados y su distribución entre las zonas evaluadas, representan un riesgo potencial para comerciantes, trabajadores y usuarios del mercado. La exposición directa o indirecta a estas aguas residuales contaminadas podría favorecer la proliferación de bacterias, virus, parásitos y hongos, así como de contaminantes químicos, incrementando la probabilidad de transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras infecciones, especialmente en contextos con deficiencias en las medidas de saneamiento.

Estos hallazgos resaltan la importancia de establecer estrategias adecuadas de manejo de aguas residuales, orientadas a mejorar su captación y conducción hacia los sistemas de alcantarillado, así como a fortalecer la gestión de residuos orgánicos y la vigilancia sanitaria en este tipo de entornos.

La investigación realizada contribuye a ampliar la comprensión del papel de las bacterias coliformes como indicadores de contaminación microbiana reciente en diferentes tipos de aguas, independientemente del contexto. *Escherichia coli*, como miembro representativo de conocido grupo, se encuentra ampliamente asociada a aguas

contaminadas (Some et al., 2021), lo que refuerza el enfoque teórico que vincula la contaminación hídrica con enfermedades transmitidas o relacionadas con el agua, tales como el cólera, la fiebre tifoidea, la hepatitis A y E, las enfermedades diarreicas, la poliomielitis y el dengue (Araque Arellano, 2022).

A pesar de los hallazgos obtenidos, la presente investigación presenta algunas limitaciones, entre ellas el tamaño reducido de la muestra, lo cual puede afectar la generalización de los resultados . Así mismo, el análisis se centró únicamente en dos parámetros microbiológicos (coliformes totales y *Escherichia coli*).

En futuras investigaciones se recomienda ampliar el número de muestras e incluir otros grupos bacterianos de interés sanitario y evaluar adicionalmente el agua utilizada en las actividades comerciales u otros tipos de muestras relevantes del entorno del mercado, con el fin de profundizar en el análisis de esta problemática.

9. CONCLUSIÓN

Se concluye que las aguas residuales estancadas del mercado público de Valledupar presentan contaminación microbiana, lo que se evidencia por la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*. Esto refleja deficiencias en el manejo sanitario y representa un riesgo potencial para la salud pública debido a la exposición directa o indirecta de comerciantes y usuarios, la posible contaminación cruzada de alimentos y la transmisión de enfermedades de origen hídrico en el entorno del mercado.

Como resultado de la investigación, se dio cumplimiento a los objetivos planteados, se identificaron coliformes totales y *Escherichia coli* en las aguas residuales estancadas del mercado público de Valledupar, mediante técnicas microbiológicas convencionales, lo que confirma la presencia de contaminación microbiológica asociada a condiciones sanitarias deficientes.

En segundo lugar, el recuento de coliformes totales fue elevado en todas las zonas de muestreo, mientras que *Escherichia coli* se detectó de manera limitada, sin evidenciar diferencias significativas entre las zonas evaluadas. Esto indica una contaminación microbiológica distribuida de forma relativamente homogénea, asociada al estancamiento de las aguas residuales y a las actividades propias del mercado.

En tercer lugar, la implementación de actividades de apropiación social del conocimiento permitió socializar los resultados de la investigación y sensibilizar a comerciantes y

usuarios sobre los riesgos sanitarios asociados y la adopción de prácticas preventiva en el entorno. Esto contribuyó al fortalecimiento de la educación comunitaria en coherencia con la política pública de MINCIENCIAS y la promoción de prácticas preventivas bajo un enfoque One Health.

En este sentido, aunque el impacto en salud pública no fue medido de manera directa, puede inferirse indirectamente a partir de la elevada carga microbiológica, la presencia de microorganismos indicadores y condiciones ambientales observadas. Estos factores configuran escenarios de riesgo que pueden favorecer la transmisión de enfermedades, especialmente en un entorno de alta interacción humana como el mercado público.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la administración del mercado y a los organismos sanitarios competentes reforzar y mejorar el sistema de drenaje y el manejo de aguas residuales, con el fin de prevenir su estancamiento y reducir el riesgo de contaminación microbiana en las diferentes áreas del mercado.
- Se recomienda a la administración y comerciantes del mercado implementar y fortalecer las prácticas de limpieza y saneamiento en las áreas de trabajo, promoviendo el uso adecuado del agua y evitando la acumulación de líquidos en el suelo.
- Se sugiere continuar y ampliar las investigaciones relacionadas con la contaminación microbiológica en aguas residuales del mercado público y de otros espacios urbanos. Asimismo, se recomienda incluir el análisis de otros grupos de microorganismos y la implementación de otras técnicas complementarias de mayor sensibilidad, con el fin de fortalecer la vigilancia sanitaria y la toma de decisiones en salud pública.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Valledupar. (2024). Plan de Desarrollo Municipal.
<https://drive.google.com/file/d/1mwNgpR2tKyngwSnunhEQ3L1gqAhhAm3G/view>
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. American Public Health Association-American Water Works Association-Water Pollution Control Federation. Ediciones Díaz Santos, S.A. 17^a Ed. Madrid. España.
- Araque Arellano, M. (2022). Epidemiología hídrica y prevención de enfermedades de transmisión hídrica. En Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable (pp. 91–111). Editorial Abya-Yala.
- Arriols E. (2024). Qué son las aguas residuales y como se clasifican.
<https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Bitton G. (2005) Wastewater Microbiology. USA: Wiley-Liss, Inc.; 765 p.
- Bleotu, C., Matei, L., Dragu, L. D., Necula, L. G., Pitica, I. M., Chivu-Economescu, M., & Diaconu, C. C. (2024). Viruses in wastewater-A concern for public health and the environment. *Microorganisms*, 12(7), 1430.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms12071430>
- Carbajal Azcona Ángeles y González Fernández María. (2012). CAPÍTULO 3 Propiedades y funciones biológicas del agua. Departamento de Nutrición,

Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid.

<https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>

Congreso de la República de Colombia. (1979). *Ley 9 de 1979 por la cual se dictan medidas sanitarias.*

Cruz, M. C., Gil, J. F., Gómez, S., & Rajal, V. B. (2008). *Diagnóstico de la calidad microbiológica del agua superficial en una zona semi-rural de la Provincia de Salta.*

Web

DANE. (2015). Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Metodología General Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario Componente Abastecimiento de Alimentos – SIPSA_A.

Equipo editorial, Etecé (2021). Salud pública. Enciclopedia Concepto. Recuperado el 28 de marzo de 2025 de <https://concepto.de/salud-publica/>.

EUROLAB. Determinación de la carga microbiana (2024). <https://www.eurolab.net/es/testler/gida-testleri/mikrobiyal-yukun-belirlenmesi/>

GENSSA SAS. (2025). GENSSA, Innovación Tecnológica, Normativa Ambiental en Colombia, Sostenibilidad Hídrica, Tratamiento de Aguas

Goldman, C. R. (1965). *The Biology of Freshwater Fish.* University of California Press. Gualteros, V. A., Rodríguez Morales, D., & Sánchez Mora, R. M. (2024).

Apropiación social del conocimiento como contribución a la salud humana y ambiental en la vereda Naranjal de Quetame, Cundinamarca. *Biociencias (UNAD)*, 7(1), 109-130

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/view/8576/7206>

Gualteros, V. A., Rodríguez Morales, D., & Sánchez Mora, R. M. (2024). Apropiación social del conocimiento como contribución a la salud humana y ambiental en la vereda Naranjal de Quetame, Cundinamarca. *Biociencias (UNAD)*, 7(1), 109-130

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/view/8576/7206>

Hahn, R. (2012). *Prevention and Treatment of Disease*. New York

Him Fábrega, J. J., Núñez, K., & González, A. (2022). CONTAMINACIÓN POR COLIFORMES Y EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA EN LAS CERCANÍAS DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MARIATO, VERAGUAS, PANAMÁ. *Revista Colegiada de Ciencia*, 3(2), 90–101.

<https://portal.amelica.org/ameli/journal/334/3342999006/>

Instituto del Agua (2024). *Aguas Residuales: Impacto y Consecuencias en el Medio Ambiente*. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/como-afectan-al-medio-ambiente-las-aguas-residualesaguas-residuales/>

Instituto del Agua (2024). *Aguas Residuales Urbanas: Ejemplos e Impacto en Nuestras Ciudades*. Instituto del Agua. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/aguas-residuales-urbanas-ejemplosaguas-residuales/>

Jorge D. Lemus, con la colaboración de Clóvis H. Tigre, Patricia L. Ruiz y Norberto Dachs. (1996). Manual de vigilancia epidemiológica. Washington, D.C. : OPS, xii, 77 p. - (HSP/UNI/Manuales Operativos PALTEX Volumen IV / No. 10)

Lifeder. (2023). Coliformes. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/coliformes/>.

Lister, J. (1867). On the antiseptic principle of the practice of surgery. The Lancet.

Martínez, C. P. J. (2025). *Análisis del impacto por contaminación*.
<https://share.google/3scsGFddxKcpEByAb>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). *Decreto 3930 de 2010*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Guía para la gestión sostenible en plazas de mercado y centrales de abasto. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/PLAZAS-DE-MERCADO-Y-CENTRALES-DE-ABASTO.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *Resolución 2674 de 2013*.

Montaño N, Sandoval A. Camargo S, Sánchez J. (2010). Los microorganismos: pequeños gigantes. Elementos: Ciencia y cultura, Vol. 17, Núm. 77, pp. 15-23

MUELLER, M.; TAINTER, C. R. IN: STATPEARLS [INTERNET]. TREASURE ISLAND (FL): STATPEARLS PUBLISHING. *Escherichia coli Infection*. 2023.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK564298/>

Muray, K. (2024). Les Eaux Stagnantes Constituent Une des Occasions d'Exposition au Plomb et aux Coliformes à Kinshasa, République Démocratique du Congo. *European scientific journal*, 20(6), 56.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p56>

Naranjo Santa, K. (2014). Caracterización Físicoquímica y microbiológica según la normatividad Mexicana NOM-002-SeMARNAT- 1996 de las aguas residuales provenientes del taller de tecnología de cárnicos del área de procesos alimentarios de la Universidad Tecnológica de Huejotzingo. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/4606>

NTC-ISO 5667-10:2022 *Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Muestro de aguas residuales.*

Organización Acción Contra el Hambre. (2022). *Enfermedades por agua contaminada: La dura realidad de los países más pobres.* Acción contra el Hambre.

<https://accioncontraelhambre.org/es/actualidad/enfermedades-agua-contaminada-la-dura-realidad-los-paises-mas-pobres>

Organización Mundial de la Salud OMS. (2023). Agua para consumo humano.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.

Organización Mundial de la Salud. (2024). *Saneamiento.* Who.int.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

Pérez Rodríguez, I. M. (2020). IDENTIFICACIÓN DE COLIFORMES EN EL CANAL DE AGUAS LLUVIAS DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL, SEDE VIVERO. *Boletín Semillas Ambientales*, 14(1), 52–74.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/16923>

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2019) Global Environment Outlook 6: Healthy Planet, Healthy People. Nairobi, PNUMA. www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6.

Presidencia de la República de Colombia. (1974). *Decreto 2811 de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables*.

Genehelo Alice Leuta. (2015). MICROBIAL POLLUTANTS IN STAGNANT WATER IN RR SECTION, KHAYELITSHA, WESTERN CAPE, SOUTH AFRICA. Cape Peninsula University of Technology. <https://core.ac.uk/download/pdf/148364752.pdf>

Quesada, J. L. F. (2017). *Formulación del plan de manejo ambiental para la plaza de mercado plaza guarín en la ciudad de Bucaramanga Santander*. edu.co. recuperado el 5 de mayo de 2025, de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18131/80933286.pdf;jsessionid=B413F17F14C6F93EE6FA13AF2E4B6059?sequence=5>

Radha, Department of Zoology, Kunthavai Naacchiyaar College, Thanjavur, Tamil Nadu, India, Kavitha, Anjanapriya, & Department of Microbiology, PKN College of Arts

- and Science, Madurai, Tamil Nadu, India. (2022). Isolation of pathogenic bacteria from stagnant wastewater around residential buildings. *International Journal of Zoology and Applied Biosciences*, 7(6S), 46–51.
<https://doi.org/10.55126/ijzab.2022.v07.i06.sp008>
- Rhoton, Stephen (2023). "Contaminación". En: Significados.com. Disponible en: <https://www.significados.com/contaminacion/>
- Risso, M. S. F. (2016). *Sembrar muestras para cultivo*. Uchile.cl. Recuperado el 4 de mayo de 2025, de <https://sintesis.med.uchile.cl/condiciones-clinicas/enfermedades-infecciosas/enfermedades-infecciosas-procedimientos-diagnosticos-y-terapeuticos/11548-sembrar-muestras-para-cultivo>
- Some, S., Mondal, R., Mitra, D., Jain, D., Verma, D., & Das, S. (2021). Microbial pollution of water with special reference to coliform bacteria and their nexus with environment. *Energy Nexus*, 1(100008), 100008.
<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100008>
- TNA (2024) ¿Qué es la contaminación microbiológica en el agua y cómo prevenirla? <https://aguanatural.com/blog/que-es-la-contaminacion-microbiologica-en-el-agua/>
- UNESCO (2021). El valor del agua, Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídrico. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, Francia. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890>

- Velmurugan, L., Pandian, K.D. (2023). Microbial Populations Occurrence in the Domestic Wastewater and Food Industry Effluents. *Research Journal of Microbiology*, 18(1), 46-56. <https://doi.org/10.3923/rjm.2023.46.56>
- Venegas, C., Mercado, M., & Campos, M. C. (2014). Evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo y del agua residual en una población de Bogotá (Colombia). *Biosalud*, 13(2), 24-35.
- WHO. (2019). Control de Enfermedades: Un enfoque holístico
- World Health Organization. (2023). *Burden of disease attributable to unsafe drinking-water, sanitation and hygiene: 2019 update*. Who.int; World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240075610>
- WWAP (Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos). (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: el recurso no explotado. París, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647.
- Yates, M. V. (2018). Drinking water microbiology. En *Reference Module in Biomedical Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.66123-8>

ANEXOS

Anexo A

Caracterización Visual del Mercado Público de Valledupar

1. Datos Generales

Descripción General del Entorno	Espacio amplio, zonas abiertas y cerradas, flujo alto de personas distribuidas por toda el área, flujo medio de vehículos, tipos de suelos mixtos (concreto, baldosa, etc), algunas estructuras mal cuidadas, condiciones de limpieza regulares.
--	--

2. Zonas o Áreas Observadas

Zona	Actividad principal	Observaciones relevantes
Zona 1: Verduras y frutas	Comercialización de productos frescos.	Gran cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos acumulados en el suelo, agua estancada, algunos espacios no tienen drenaje cercano, rejillas en mal estado, moscas, olores fuertes, presencia de animales (perros y gatos), suelos en mal estado.
Zona 2: Productos de origen animal	Venta de carnes rojas y blancas, pescados, entre otros.	Llave común para abastecerse, estancamiento de agua, algunas rejillas de drenaje en mal estado, residuos acumulados, residuos líquidos acumulados diferentes al agua, presencia de animales (perros y gatos), moscas, baños cerca, olores fuertes, suelos en mal estado.
Zona 3: Productos varios	Venta de abarrotes, artículos domésticos u otros productos.	Espacio de recolección de agua, agua estancada, rejillas en mal estado, presencia de residuos en el suelo, presencia de animales (perros y gatos), moscas, olores fuertes, suelos en mal estado.

3. Condiciones Ambientales y Sanitarias

Aspecto observado	Descripción	Nivel de afectación (Bajo / Medio / Alto)
Limpieza general	Presencia de residuos y algunas superficies sucias.	Medio
Olores	Olores fuertes asociados a los productos expendidos en el lugar.	Bajo
Presencia de animales	Presencia de insectos y animales domésticos en el del área.	Medio
Iluminación	Buena iluminación natural y artificial.	Bajo
Ventilación	Ventilación natural.	Bajo
Drenaje	Rejillas obstruidas y acumulación de agua residual.	Alto
Abastecimiento de agua	Presencia de llaves o puntos de suministro compartido por los vendedores.	Alto

Anexo B

Muestras recolectadas de cada zona.



Muestras de Z1



Muestras de Z2



Muestras de Z3

Anexo C

Realización de siembra en medio de cultivo cromogénico.



Anexo D

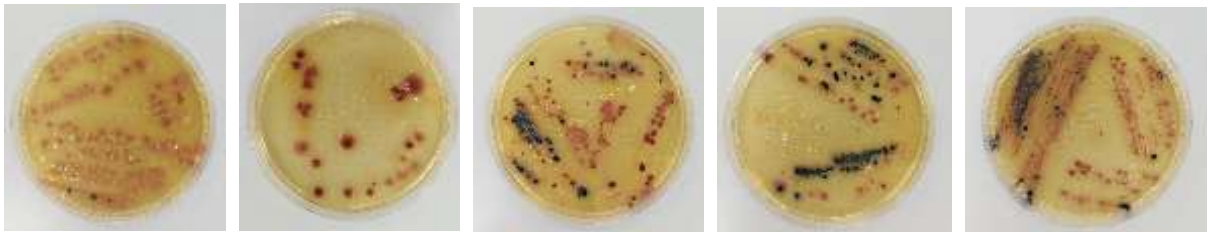
Realización técnica de filtración por membrana.



Anexo E

Colonias de Escherichia coli (color azul) y de otras coliformes (color salmón) en medio cromogénico.

ZONA 1



ZONA 2

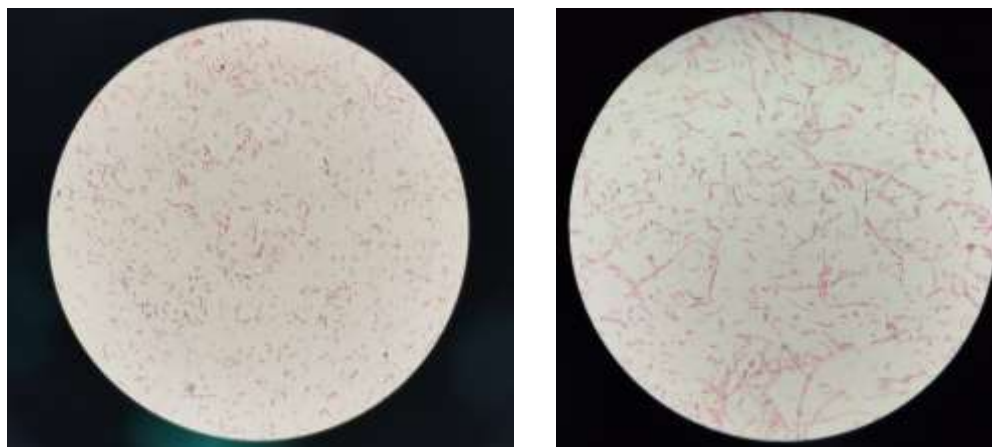


ZONA 3



Anexo F

Tinción de Gram: bacilos Gram negativos.



Anexo G

Resultados de pruebas bioquímicas.



Anexo H

Colonias en las membranas de filtración.

a. Zona 1



b. Zona 2



c. Zona 3



Anexo I

Tabla de resultados de SPSS – prueba de Shapiro-Wilk

Pruebas de normalidad

	Zona	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
UFC coliformes	Zona 1	,268	5	,200*	,873	5	,279
	Zona 2	,299	5	,165	,844	5	,175
	Zona 3	,233	5	,200*	,884	5	,329

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Anexo J

Tabla de resultados de SPSS – Análisis de varianza (ANOVA) de una vía

ANOVA

UFC coliformes

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2,792E+13	2	1,396E+13	3,068	,084
Dentro de grupos	5,461E+13	12	4,551E+12		
Total	8,253E+13	14			

Anexo K

Infografía utilizada para la jornada de socialización en el mercado público.



Anexo L

Socialización de los resultados a comerciantes y consumidores del mercado público.



Anexo M

Situación del mercado público.

