

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS:

**Efecto de la radiación solar sobre coliformes y bacterias
heterotróficas mesófilas viables, según condiciones de
exposición. Ayacucho y Quinua, 2022**

Para optar el título profesional de:
BIÓLOGO, ESPECIALIDAD: MICROBIOLOGÍA

PRESENTADO POR:
Bach. Gedion CRUZ TORRES

ASESOR:
Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ

AYACUCHO - PERÚ

2025

A mis padres y hermanos que, con su ayuda incondicional, me apoyaron a lograr mi meta.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, casa de estudios formadora de profesionales que siguen el objetivo común de servir al pueblo.

A la Facultad de Ciencias Biológicas y a la Escuela Profesional de Biología por haberme albergado y guiado durante mi formación profesional, así como a sus docentes, por todos los conocimientos brindados.

A la Obsta. LLazca Ricaldi, Betty; gerente de la Asociación de Comunidad Local de Administración de Salud (ACLAS) Quinoa, por haberme brindado la autorización para realizar mi trabajo de investigación.

Al Mg. Delgadillo Coronado, Pedro Mauricio; por la constancia y dedicación que tuvo conmigo para realizar el presente trabajo de investigación.

A mi asesor Dr. Chuchón Martínez, Saúl Alonso; por la orientación académica en el presente trabajo de investigación, por su valioso apoyo y dedicación prestada.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	6
2.2.1. Agua	6
2.2.2. Turbidez	7
2.2.3. Parámetros microbiológicos	7
2.2.4. Coliformes totales	7
2.2.5. Coliformes termotolerantes	7
2.2.6. <i>Escherichia coli</i>	7
2.2.7. Radiación ultravioleta	8
2.2.8. Radiación UV-A (320-400nm)	8
2.2.9. Radiación UV-B (290-320 nm)	8
2.2.10. Radiación UV-C (200-290 nm)	8
2.2.11. Rayos infrarrojos	8
2.3. Bases teóricas	8
2.3.1. Agua	8
2.3.2. Altitud	11
2.3.3. Luz ultravioleta	11
2.3.4. Tipos de la radiación ultravioleta	12
2.3.5. Efectos de la temperatura	14
2.3.6. Efectos biológicos de la radiación	14
2.3.7. Mecanismo de desinfección UV	14
2.3.8. Efecto del pintado de los frascos	16
2.3.9. El uso repetitivo de botellas (PET) en el método SODIS	16
2.3.10. Daños potenciales de los envases PET en SODIS	16

2.3.11. Migración de compuestos químicos	16
2.3.12. Uso de botellas de vidrio en el método SODIS	17
2.3.13. Resistencia a la degradación por radiación UV	17
2.3.14. Sistema de desinfección solar	17
2.3.15. Colector solar	17
2.3.16. Efecto de los colores	17
2.3.17. Parámetros microbiológicos	18
2.3.18. Bacterias coliformes	18
2.3.19. Taxonomía de las bacterias coliformes	18
2.3.20. Bacterias que integran el grupo coliformes	19
2.3.21. Coliformes totales	19
2.3.22. Coliformes termotolerantes	19
2.3.23. <i>Escherichia coli</i>	20
2.3.24. Bacterias heterotróficas mesófilas viables	20
2.4. Marco legal	20
2.4.1. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA	20
2.4.2. Límites máximos permisibles de los parámetros microbiológicos	21
2.4.3. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica	21
III. MATERIALES Y METODOS	22
3.1. Ubicación de la zona de estudio	22
3.2. Material de estudio	22
3.2.1. Construcción y pintado de la estructura de soporte de botellas	23
3.2.2. Acondicionamiento de botellas	23
3.2.3. Variable independiente	24
3.2.4. Variable dependiente	24
3.2.5. Unidad de análisis	24
3.2.6. Tratamiento para la ciudad de Ayacucho	24
3.2.7. Tratamiento para la localidad de Quinua	24
3.2.8. Tiempo de exposición a radiación solar	25
3.2.9. Parámetros microbiológicos evaluados	25
3.2.10. Técnicas microbiológicas para la numeración de coliformes	25
3.3. Análisis estadístico	26
IV. RESULTADOS	27
V. DISCUSIÓN	39

VI.	CONCLUSIONES	49
VII.	RECOMENDACIONES	51
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
	ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Indicadores de la calidad de agua establecidos por la Organización Mundial de la Salud.	9
Tabla 2. Taxonomía de bacterias coliformes.	18
Tabla 3. Géneros de bacterias que integran al grupo coliformes.	19
Tabla 4. Límites máximos permisibles (LMP) microbiológico establecidos según D.S. N° 031-2010-SA.	21
Tabla 5. Límites máximos permisibles (LMP) organolépticos establecidos por el D.S. N° 031-2010-SA.	21

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Espectro electromagnético de la radiación de la luz.	14
Figura 2. Dimerización de timina en ADN expuestas a irradiados con luz UV.	15
Figura 3. Comparación del espectro de longitud de onda (nm) de rayos UV en la inactivación de <i>Escherichia coli</i> y la absorción por ADN del espectro.	15
Figura 4. Estructura de lámina de zinc (calamina) para soporte de botellas destinadas a la exposición solar.	23
Figura 5. Características de las botellas que contienen agua para exposición a rayos solares.	23
Figura 6. Botellas colocadas sobre el soporte de lámina de zinc (calamina) para exposición a la radiación solar.	25
Figura 7. Efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de exposición y tiempo de frascos con agua, sobre la viabilidad de bacterias heterótrofas mesófilas viables, Ayacucho – Quinua, 2024.	28
Figura 8. Porcentaje de remoción del número de bacterias heterótrofas mesófilos viables por efecto de la radiación solar en diferentes condiciones de exposición, Ayacucho – Quinua, 2024.	29
Figura 9. Comparación estadística del porcentaje de remoción de bacterias heterótrofas mesófilas viables por efecto de la radiación solar, bajo diferentes condiciones de exposición de frascos con agua, Ayacucho – Quinua, 2024.	30
Figura 10. Efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de exposición y tiempo de frascos con agua, sobre la viabilidad de coliformes totales, Ayacucho – Quinua, 2024.	31
Figura 11. Porcentaje de remoción del número de coliformes totales por efecto de la radiación solar en diferentes condiciones de exposición, Ayacucho – Quinua, 2024.	32
Figura 12. Comparación estadística del porcentaje de remoción de coliformes totales por efecto de la radiación solar, bajo diferentes condiciones de exposición de frascos con agua, Ayacucho – Quinua, 2024.	33

- Figura 13.** Comparación de resultados de la remoción de coliformes totales 34
por efecto de la radiación solar, por seis horas y en diferentes
condiciones de exposición en los límites máximos permisibles
según el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Ayacucho – Quinua,
2024.
- Figura 14.** Efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de 35
exposición y tiempo de frascos con agua, sobre la viabilidad de
coliformes fecales, Ayacucho – Quinua, 2024.
- Figura 15.** Porcentaje de remoción del número de coliformes fecales por 36
efecto de la radiación solar en diferentes condiciones de
exposición, Ayacucho – Quinua, 2024.
- Figura 16.** Comparación estadística del porcentaje de remoción de 37
coliformes fecales por efecto de la radiación solar, bajo diferentes
condiciones de exposición de frascos con agua, Ayacucho –
Quinua, 2024.
- Figura 17.** Comparación de resultados de la remoción de coliformes fecales 38
por efecto de la radiación solar, por seis horas y en diferentes
condiciones de exposición en los límites máximos permisibles
según el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Ayacucho – Quinua,
2024.

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Estructura de lámina de zinc (calamina) para soporte de botellas destinadas a la exposición solar, Ayacucho – Quinua, 2023.	59
Anexo 2. Llenado de las botellas de vidrio de capacidad de dos litros con material de estudio, Ayacucho - Quinua, 2023.	60
Anexo 3. Botellas colocadas sobre el soporte de lámina de zinc (calamina) para exposición a la radiación solar, Ayacucho – Quinua, 2023.	60
Anexo 4. Una vez transcurridas las dos, cuatro y seis horas, se extraen al azar 3 botellas de cada plataforma, Ayacucho – Quinua, 2023.	61
Anexo 5. Numeración de bacterias por la técnica de filtro de membrana, Ayacucho – Quinua, 2023.	61
Anexo 6. Crecimiento de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento "0", Ayacucho – Quinua, 2023.	62
Anexo 7. Crecimiento de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento "1", Ayacucho – Quinua, 2023.	63
Anexo 8. Crecimiento de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento "2", Ayacucho – Quinua, 2023.	64
Anexo 9. Crecimiento de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento "3", Ayacucho – Quinua, 2023.	65
Anexo 10. Datos de los tratamientos con radiación solar en distintos tiempos y con tres repeticiones, Ayacucho – Quinua, 2023.	66
Anexo 11. Autorización por parte del establecimiento del Centro de Salud Quinua para la investigación de "Efecto de la radiación solar sobre coliformes y Bacterias Heterotróficas Mesófilas Viables, según condiciones de exposición. Ayacucho y Quinua, 2022.	67
Anexo 11. Matriz de consistencia.	68

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la radiación solar sobre bacterias heterótrofas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en aguas, según las condiciones de exposición de frascos. Se utilizó agua captada de los grifos del Laboratorio de Microbiología y del Centro de Salud de Quinua, recolectada 48 horas antes y almacenada en dos recipientes de 47 litros. A cada recipiente se añadió un litro de agua contaminada proveniente del río Alameda, la cual contenía coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas mesófilas viables. Posteriormente, el agua se envasó en botellas de vidrio de dos litros. En total, se utilizaron 48 botellas, de las cuales 12 fueron pintadas de negro. Estas botellas se colocaron con la base negra orientada hacia abajo y la parte transparente expuesta a la radiación solar, mientras que las restantes no sufrieron modificaciones. Además, se construyeron tres estructuras de soporte de calamina para colocar las botellas durante el experimento: una calamina pintada de negro y dos sin modificaciones. Tras dos, cuatro y seis horas de exposición solar, se enumeraron el número de coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas mesófilas viables mediante el método de filtración por membrana, filtrando 30 ml de agua por botella. Como medios de cultivo, se emplearon agar m-FC, agar Endo y agar Plate Count respectivamente. Los resultados de la radiación solar en la ciudad de Ayacucho y la localidad de Quinua, comparando la eficacia de botellas y soportes pintados y sin pintar en la remoción de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales. Las botellas y soportes pintados de negro mostraron la mayor eficiencia, logrando remociones de 97,5 % en la localidad de Quinua y del 98,5 % en la ciudad de Ayacucho para bacterias heterótrofas mesófilos viables, 100 % para coliformes totales y 100 % para coliformes fecales en ambas localidades. Los frascos sin pintar fueron menos efectivos, con remociones de 92,9 % en la localidad de Quinua y del 99,19 % en la ciudad de Ayacucho. Los controles sin tratamiento alcanzaron remociones bajas, entre 10,6 % y 31,6 % en ambas localidades. Los resultados destacan que el uso de frascos pintados optimiza significativamente la desinfección solar, siendo una estrategia efectiva para mejorar la calidad del agua en entornos con recursos limitados.

Palabras claves: coliformes totales, remoción, filtro de membrana, agar Plate Count, radiación solar.

I. INTRODUCCIÓN

En 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) indicó que más de 159 millones de personas en el mundo utilizaban agua sin ningún proceso de purificación (UNESCO, 2019). Por ello, durante la Asamblea General de las Naciones Unidas, se estableció la agenda de desarrollo sostenible con el propósito de mejorar las condiciones de vida de comunidades vulnerables (ONU, 2015). Ese mismo año, el 20 % de los habitantes de áreas rurales de América Latina y el Caribe dependían de fuentes de agua como ríos, lagunas y pozos, cuya calidad no estaba asegurada (Mejía *et al.*, 2016). El consumo del agua no tratada implica la exposición a microorganismos como mesófilas viables, coliformes fecales (CF), coliformes totales (CT), *Enterococcus faecalis* y *Escherichia coli*, los cuales se relacionan con trastornos gastrointestinales, enfermedades diarreicas agudas (EDAs) y fallecimiento en niños menores de 5 años (Feria *et al.*, 2020).

En este contexto, la desinfección solar, conocida como SODIS (por su acrónimo en inglés, *Solar Water Disinfection*), se presenta como una tecnología prometedora que aprovecha la energía solar para disminuir la carga microbiana en general. Este método se fundamenta en exponer el agua no apta al consumo a la radiación solar, específicamente a la luz ultravioleta (UV) y al calor, que actúan de manera sinérgica para inactivar bacterias, virus y parásitos. La simplicidad y el bajo costo de esta técnica la convierten como una solución práctica para poblaciones sin acceso a métodos tradicionales de tratamiento de agua.

El principio fundamental de la desinfección solar radica en la capacidad de la radiación UV-A (320-400 nm) para dañar el material genético de los microorganismos, impidiendo su reproducción y provocando su muerte. Asimismo, el alza en la temperatura del agua durante la exposición solar potencia este efecto, especialmente cuando se alcanzan temperaturas superiores a 45°C. Este enfoque

no exige el empleo de sustancias químicas ni de infraestructuras complejas, lo que lo hace accesible y respetuoso con el medio ambiente.

Teniendo en cuenta investigaciones anteriores que demuestran la eficacia de la desinfección del agua a través de la radiación solar, se realiza esta investigación, dado que en nuestra región persiste una limitada información sobre esta técnica emergente de desinfección solar. Los objetivos que se trazaron fueron:

Objetivo general

Evaluar el efecto de la radiación solar sobre bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en aguas, según las condiciones de exposición de frascos. Ayacucho y Quinua, 2022.

Objetivos específicos

1. Determinar la viabilidad de bacterias heterótrofas mesófilas viables en agua sometidas a radiación solar en diversas condiciones, botellas pintadas y sin pintar.
2. Determinar la viabilidad de bacterias coliformes totales en agua sometidas a radiación solar en diversas condiciones, calaminas pintadas y sin pintar.
3. Determinar la viabilidad de bacterias coliformes fecales en agua sometidas a radiación solar en diversas condiciones.
4. Determinar la viabilidad de las bacterias coliformes fecales y coliformes totales sometidas a radiación solar a diferentes altitudes.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Gizaw *et al.*, (2020), analizaron la efectividad de la desinfección solar para disminuir la presencia de coliformes totales y fecales en aguas superficiales de Etiopía. Sus hallazgos revelaron que la exposición del agua a la radiación solar durante 6 horas en botellas de tereftalato de polietileno (PET) logró una disminución del 98,5 % la concentración de coliformes totales y entre un 98-99 % de coliformes fecales. Los autores destacaron que la eficacia del método depende de la intensidad que genera la radiación solar y la transparencia del agua, resaltando la importancia de aplicar pretratamientos en aguas con turbidez.

Mwangi (2015) desarrolló un estudio denominado “Eficacia de la desinfección solar (SODIS) para reducir los coliformes totales en las zonas rurales de Kenia”, en el cual evaluó la eficacia de SODIS en aguas contaminadas con coliformes totales. Los resultados mostraron una reducción del 99 % en la cantidad de coliformes totales tras 6 horas de exposición solar. Este estudio resaltó que la efectividad del método está fuertemente ligada entre el grado de radiación solar y la transparencia del agua.

Tekle (2017), realizó una investigación comparativa titulada “Análisis comparativo de SODIS y ebullición para la desinfección del agua en zonas rurales de Etiopía”. Este trabajo contrastó la eficiencia de SODIS con otros métodos de desinfección, como la ebullición, en la reducción de coliformes totales y fecales. Los resultados indicaron que SODIS fue más efectivo que la ebullición en áreas con alta radiación solar, logrando una reducción del 98 % en coliformes fecales. Sin embargo, el estudio también señaló que la eficacia de SODIS disminuye en días nublados, lo que sugiere la necesidad de combinar este método con otras técnicas en regiones con climas menos favorables.

Ubomba-Jaswa *et al.*, (2019), investigaron la eficacia de la radiación solar en la eliminación de mesófilos viables y coliformes fecales en aguas superficiales en

Sudáfrica. Los resultados mostraron que la exposición solar durante 6 horas en botellas de PET redujo la concentración de mesófilos viables en un 99,4 % y la de coliformes fecales en un 99,7 %. Los autores también exploraron el uso de botellas con recubrimientos reflectantes para mejorar la eficacia del proceso, lo que resultó en una mayor reducción de la carga bacteriana en comparación con las botellas estándar.

Rahman (2020), analizó la eficacia de la radiación solar en la inactivación de coliformes totales y fecales en aguas contaminadas de ríos en Bangladesh. Los hallazgos mostraron que 5 horas de exposición solar en botellas de PET redujeron la concentración de coliformes totales en un 99,5 % y la de coliformes fecales en un 99,8 %. La investigación también incluyó un análisis económico, destacando que la técnica es altamente rentable para comunidades rurales con limitados recursos económicos. La tesis recomendó la implementación de programas de capacitación para garantizar la correcta aplicación del método.

Papadopoulos (2023), analizó la eficacia de la desinfección solar para la eliminación de coliformes totales y mesófilos viables en aguas de pozos en Grecia. Los resultados mostraron que la exposición solar durante 4 horas en botellas de PET bajó la concentración de coliformes totales en un 99,2 % y la de mesófilos viables en un 99,0 %. El estudio también evaluó un análisis de la influencia de la temperatura ambiente, concluyendo que temperaturas superiores a 35°C potenciaban significativamente la eficacia del proceso. La tesis recomendó la implementación de la técnica en regiones con climas cálidos y soleados.

Giannakis *et al.*, (2022), realizaron un estudio en Grecia para analizar la capacidad de la radiación solar en la eliminación de coliformes totales y mesófilos viables en aguas residuales tratadas. Los resultados mostraron que la exposición solar durante 4 horas en botellas de PET redujo la concentración de coliformes totales en un 99,3 % y la de mesófilos viables en un 99,1 %. Los autores destacaron que la técnica podría ser una opción viable para el tratamiento complementario de aguas residuales en pequeñas comunidades, especialmente en regiones con alta radiación solar.

Meierhofer *et al.*, (2021) examinaron más de 70 estudios sobre la desinfección solar realizados en diferentes partes del mundo. Concluyeron que la técnica es muy eficiente para eliminar coliformes totales, coliformes fecales y mesófilos viables, con tasas de reducción que exceden el 99 % en condiciones óptimas. Sin embargo, señalaron que la efectividad del método puede variar debido a variables

como el grado de la radiación solar, temperatura ambiente, turbidez del agua y el tipo de recipiente utilizado. Además, enfatizaron la necesidad de educar y capacitar a las comunidades para garantizar la correcta implementación de la técnica.

Islam *et al.*, (2020) llevaron a cabo un análisis en Bangladesh para evaluar la eficacia de la radiación solar en la inactivación de coliformes totales y fecales en aguas contaminadas. Los datos obtenidos mostraron que 5 horas de exposición solar en botellas de PET disminuyeron la concentración de coliformes totales en un 99,9 % y la de coliformes fecales en un 99,8 %. Los autores destacaron que la técnica era especialmente útil en áreas rurales con acceso limitado a sistemas convencionales de tratamiento de agua, aunque advirtieron que la presencia de materia orgánica y los sólidos suspendidos podía disminuir su eficacia.

Cordero (2019), en el informe de investigación titulado “Evaluación de la desinfección solar de agua en la comunidad rural de San Pedro, Guatemala, para la eliminación de coliformes fecales”, manifiesta que se recolectaron muestras de agua de fuentes naturales, sometidas a tratamientos por exposición solar en botellas PET. Se analizaron los niveles de coliformes totales y fecales antes y después del proceso. Los datos revelaron que, tras ocho horas de exposición, los coliformes totales se redujeron en un 99,5 % y los coliformes fecales fueron eliminados en un 90 %. La investigación recomendó la adopción de SODIS como una alternativa económica y de fácil aplicación para comunidades con acceso limitado a infraestructuras de potabilización convencionales.

García-Gil *et al.*, (2021), realizaron una evaluación en comunidades rurales de México para evaluar la efectividad de la radiación solar en la eliminación de coliformes fecales y mesófilos viables. El estudio demostró que la exposición solar durante 8 horas en botellas de PET redujo significativamente la carga bacteriana, alcanzando una reducción del 99 %-99,5 % en coliformes fecales y del 98 %-99 % en mesófilos viables. Los autores también señalaron que la técnica era más efectiva en días soleados con alta radiación UV, lo que sugiere que las condiciones climáticas son un factor crítico para su éxito.

Herrera (2022), en el trabajo de investigación titulado “Uso de sistemas de desinfección solar con reflectores parabólicos para la eliminación de coliformes totales en fuentes de agua contaminadas de Costa Rica”. Esta investigación evaluó la eficacia de sistemas de desinfección solar mejorados con reflectores parabólicos en la eliminación de coliformes totales en aguas contaminadas. Se

utilizaron distintas configuraciones de reflectores para aumentar la concentración de radiación UV sobre el agua en botellas PET. Los resultados mostraron que el tiempo de desinfección se redujo a menos de cuatro horas, logrando la eliminación del 99,9 % de coliformes totales y del 100 % de coliformes fecales. Concluyendo que el uso de reflectores solares constituye una opción práctica para potenciar el método SODIS en condiciones de baja radiación solar.

Gómez (2018), realizó una investigación titulada “Efectividad del método SODIS en la reducción de coliformes totales en comunidades rurales de Perú”, en la cual evaluó la aplicación de SODIS en comunidades con elevada contaminación de microorganismos en el agua. Los datos mostraron una reducción del 95 % en coliformes totales después de 6 horas de exposición solar. Este estudio destacó la importancia de la educación comunitaria para la correcta implementación del método, ya que la eficacia de SODIS depende en gran medida de seguir los protocolos adecuados, como el uso de botellas transparentes y la exposición al sol durante el tiempo recomendado.

Criollo (2024), en su investigación titulada “Eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de coliformes totales y termotolerantes del agua superficial de la Quebrada Saldaña a escala laboratorio de Tingo María”, tuvo como objetivo determinar la eficacia de un sistema solar para la desinfección de coliformes totales y termotolerantes en agua de escorrentía de la Quebrada Saldaña. Realizando pruebas en condiciones de laboratorio, utilizando botellas de PET transparentes y de fondo negro para determinar su eficacia en la inactivación bacteriana. Los resultados indicaron que después de seis horas de exposición solar, los niveles de coliformes totales se redujeron en un 98,46 %, mientras que los coliformes termotolerantes (una subcategoría de coliformes fecales) fueron eliminados en un 100 %. Se observó que el uso de botellas con fondo negro mejoró la eficiencia del sistema al incrementar la temperatura del agua, favoreciendo la eliminación de microorganismos. La investigación concluyó que el método SODIS representa una solución viable en la purificación de agua en comunidades con acceso limitado a sistemas de cloración.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Agua

El agua se presenta como una molécula caracterizada por su polaridad, formada por la unión de dos átomos de hidrógeno con un átomo de oxígeno a través de enlaces de tipo covalente. Esta composición química le otorga la denominación

de "solvente universal", lo que implica su excepcional habilidad para disolver y mezclar una extensa gama de sustancias. Dicha cualidad la posiciona como un elemento indispensable que facilita y sustenta las diversas reacciones químicas esenciales tanto en los seres vivos como en ecosistemas naturales (USGS, 2023).

2.2.2. Turbidez

La turbidez se define como una cualidad óptica inherente al agua, la cual refleja la existencia de partículas suspendidas en su composición como arcilla, limo, materia orgánica en descomposición, microorganismos y otros tipos de sólidos en suspensión. Estas partículas dispersan y absorben la luz, mostrando un aspecto nublado u opaco. Cuantificado mediante unidades de turbidez nefelométrica (NTU), constituyendo un indicador fundamental para la valoración de la calidad del agua. Niveles elevados suelen ser señal de contaminación potencial y pueden interferir la eficiencia del tratamiento y purificación del agua (APHA, 2017).

2.2.3. Parámetros microbiológicos

Estos se refieren a un conjunto de microorganismos que sirven como marcadores de contaminación y, en algunos casos, como agentes patógenos capaces de afectar la salud humana, los cuales son objeto de análisis específico en el agua destinada al consumo humano (MINSA, 2010).

2.2.4. Coliformes totales

Se clasifican como un grupo de bacterias que poseen la distintiva característica de ser Gram negativas, presentando una morfología de tipo bacilar. Esta propiedad les permite llevar a cabo la fermentación de la lactosa cuando se encuentran a una temperatura entre 35 a 37 °C, esto hace que se produzcan tanto ácido y gas (CO₂) en un periodo de hasta 48 horas (Carrillo y Lozano, 2008).

2.2.5. Coliformes termotolerantes

Estos microorganismos forman parte de la categoría de coliformes totales, diferenciándose por su capacidad de producir indol de manera positiva. Además, exhiben un crecimiento óptimo a temperaturas que pueden alcanzar hasta los 45°C, lo que los posiciona como uno de los indicadores más confiables y efectivos para evaluar los niveles de higiene presentes tanto en el agua como en los alimentos destinados al consumo (Carrillo y Lozano, 2008).

2.2.6. *Escherichia coli*

Esta bacteria se identifica como un organismo Gram negativo que presenta un metabolismo anaeróbico, siendo comúnmente hallada en el tracto intestinal de los humanos y el de otros animales clasificados como homeotermos, es decir que mantienen una temperatura corporal constante (Carrillo y Lozano, 2008).

2.2.7. Radiación ultravioleta

Se manifiesta como una forma específica de energía electromagnética, ubicada en el espectro electromagnético entre la luz visible y los rayos X. Sus longitudes de onda abarcan un intervalo entre los 10 nanómetros (nm) hasta los 400 nm, constituyendo una banda de energía con propiedades particulares (CDC, 2020).

2.2.8. Radiación UV-A (320-400nm)

Esta categoría de radiación ultravioleta, representa la forma de radiación que se encuentra más próxima a la región de la luz visible dentro del espectro electromagnético. Se estima que aproximadamente el 95% de la radiación UV que logra penetrar y llegar hasta la superficie de la Tierra corresponde a esta subclasificación de UV-A (CDC, 2020).

2.2.9. Radiación UV-B (290-320 nm)

Es la principal causa de las quemaduras solares que afectan la piel, al mismo tiempo que induce daños al ADN, presente en las células cutáneas. Esta acción incrementa el riesgo de desarrollar diversas clases de cáncer a la piel, incluyendo el melanoma, una de las formas más peligrosas de esta enfermedad (CDC, 2020).

2.2.10. Radiación UV-C (200-290 nm)

Se caracteriza por ser la forma más intensa y perjudicial dentro del rango de la radiación ultravioleta. Sin embargo, su impacto se ve limitado debido a que es absorbida casi en su totalidad, por la capa de ozono y por las diversas capas de la atmósfera terrestre, impidiendo así que llegue a la superficie (CDC, 2020).

2.2.11. Rayos infrarrojos

Denominados radiación infrarroja (IR), constituyen un tipo específico de radiación electromagnética que se distingue por sus longitudes de onda más extensas en comparación con la luz visible, pero notablemente más cortas que las microondas. Este tipo de radiación se encuentra dentro de un intervalo desde los 700 nm hasta un máximo de 1 milímetro (mm) en su rango de longitud de onda (NASA, n.d.).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Agua

El agua constituye un recurso indispensable para la vida humana, la salud básica y la supervivencia, además de sustentar la producción de alimentos y las actividades económicas. Ocupa el 75 % de la tierra, de este total el 97,5 % es salina y tan solo el 2,5 % dulce, con las capas de hielo y glaciares reteniendo el 74 % de esta agua dulce. La gran parte restante se aloja en subsuelos o como humedad terrestre, mientras que solo el 0,3 % está en ríos y lagos, y entre 1 % y

4 % existe como vapor atmosférico. Para el uso humano, se aprovecha menos del 1 % del agua dulce superficial y subterránea disponible en el planeta (Pacori, 2018).

a) Calidad del agua

La calidad del agua se determina por un conjunto de propiedades variables, tanto fisicoquímicas como microbiológicas (tabla 1), que a la vez son definidas por rangos de aceptación o rechazo. La calidad fisicoquímica depende de la identificación de compuestos químicos específicos que puedan impactar la salud, mientras que su evaluación analiza la naturaleza física, química y biológica en relación con la calidad natural y los efectos en la salud humana y acuática. Factores como las actividades humanas, principales fuentes de contaminación, influyen significativamente en esta calidad esencial para el consumo de agua (Calsin, 2016).

Tabla 1. Indicadores de la calidad de agua establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2008).

Categorías de calidad	Descripción
Parámetros físicos	Partículas en suspensión, nivel de turbidez, tonalidad, olor, gusto y grado térmico.
Componentes químicos	Contenidos de aceites y grasas, capacidad conductiva, nivel alcalino, cloruros, dureza, pH, sodio y sulfatos.
Elementos biológicos	Presencia de algas, microorganismos (incluyendo coliformes), conteos heterotróficos, protozoos, virus y parásitos patógenos.

b) Agua para consumo humano

El agua destinada al consumo humano se caracteriza por ser apta para beber y para usos domésticos habituales, como el aseo personal. La normativa de la calidad de agua para consumo humano D.S. 031-2010-SA la describe como “toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad establecidos”. El suministro de agua consiste en proveer, de manera personal o comunal, el recurso necesario para las exigencias de una localidad, protegiendo la salud mediante etapas como captación, conducción, tratamiento, almacenamiento, distribución y consumo. Este proceso asegura un suministro constante y contribuye a la prevención de enfermedades (DIGESA, 2010).

c) Calidad fisicoquímica del agua

De acuerdo a la OMS, la mayoría de los compuestos químicos representan un riesgo notable para la salubridad de la población solo cuando su presencia

persiste de manera prolongada en el agua; por el contrario, algunos pueden llegar a resultar riesgoso tras varias exposiciones consecutivas en un lapso breve. Es fundamental considerar que no toda sustancia química, con valores de referencia específicos, están presentes simultáneamente en una sola red de suministro, ya que cada uno es distintivo y depende del origen y la distribución de la fuente hídrica. De forma similar, en ciertos lugares se identifican parámetros propios de la fuente local que no se incluyen en las normas establecidas. Asimismo, en algunos casos se han establecido valores de referencia temporal para contaminantes con datos inciertos o cuando resulta impracticable reducir su concentración a los niveles calculados. Existe una amplia variedad de parámetros químicos que influyen en la calidad del agua, aunque solo unas pocas sustancias han demostrado causar daños significativos a la salud humana por exposiciones excesivas, como fluoruro, arsénico, nitrato y plomo (OMS, 2008).

d) Potencial de hidrógeno

Conocido como pH, en el agua sirve como un indicador exacto para determinar su nivel de acidez o su carácter alcalino. Un valor de pH menor a 7 indica de manera evidente una tendencia pronunciada hacia condiciones ácidas, mientras que un nivel superior a 7 apunta a una inclinación hacia un entorno básico. En su mayoría, las aguas de origen natural muestran un rango de pH que varía entre 4 y 9, aunque algunas de estas aguas tienden a ser ligeramente alcalinas debido a la existencia natural de carbonatos y bicarbonatos. Asimismo, un pH bajo facilita que sustancias tóxicas y compuestos se tornen más accesibles y susceptibles de ser incorporados por organismos y vegetación acuática (Zegarra, 2016).

e) Temperatura

Este factor se reconoce como uno de los aspectos más determinantes para evaluar la idoneidad del agua, conforme lo indica la OMS (2004), pues las elevadas temperaturas pueden propiciar un incremento notable en la proliferación de microorganismos. Asimismo, contribuye a agravar problemas asociados con el gusto, el aroma, el color y la corrosión presentes en el recurso hídrico. Por su parte, la Dirección General de Salud Ambiental resalta que este elemento ejerce un impacto significativo sobre variables como el pH, la escasez de oxígeno, la conductividad eléctrica y otros parámetros fisicoquímicos complementarios. Además, tiene la capacidad de influir en la ralentización o aceleración de procesos biológicos, así como en reacciones químicas de importancia relevante. Así se pone de manifiesto la importancia crucial de este criterio como un referente esencial para la evaluación de la calidad del agua (DIGESA, 2010).

f) Turbidez

La turbidez mide la capacidad efectiva de paso de luz a través del agua, sirviendo como un indicador útil para determinar la calidad del agua en función de la presencia de material coloidal y residuos suspendidos. Generalmente, no existe una relación directa entre los niveles de turbidez y la cantidad de partículas sólidas en suspensión (Pérez y Wilches, 2014).

2.3.2. Altitud

La altitud influye significativamente en la radiación ultravioleta (UV). A mayor altitud, la intensidad de la radiación UV aumenta debido a que la atmósfera se vuelve más delgada, lo que reduce la capacidad de absorción y dispersión de los rayos UV (OMS, 2022). Según diversos estudios especializados, por cada 1 000 metros de elevación en la altitud, la intensidad de la radiación UV puede aumentar entre un 10 % y un 12 % aproximadamente (Diffey, 1991). Este fenómeno particular expone a las personas en regiones elevadas a mayores riesgos de daños cutáneos serios, como quemaduras solares y cáncer de piel, por lo que se aconseja emplear medidas de protección efectivas, incluyendo bloqueador solar, gafas de sol y ropa protectora adecuada (OMS, 2022).

2.3.3. Luz ultravioleta

Denominada comúnmente como UV, esta tecnología se ha establecido como una alternativa sólida y en aumento de popularidad en comparación con el uso de sustancias químicas para purificar agua potable, residual e industrial bajo diversas circunstancias. Las técnicas de desinfección mediante UV se pueden adaptar a una amplia gama de usos, siempre que se considere cuidadosamente la composición particular del agua a tratar y los fines específicos de la purificación establecidos. En la actualidad, las lámparas de mercurio de presión media, que generan radiación ultravioleta, son utilizadas de forma extensa con potencias que oscilan entre 20 vatios (W) y 20 kilovatios (KW), operando aproximadamente a una longitud de onda de 260 nanómetros (Beck *et al.*, 2015).

La acción germicida de esta radiación está vinculada a la energía intrínseca de su longitud de onda o frecuencia, permitiendo provocar alteraciones fotoquímicas notables en los componentes nucleicos de los microorganismos (Osorio *et al.*, 2011). Numerosos estudios han explorado la efectividad de la radiación ultravioleta para neutralizar patógenos en el tratamiento de agua, y varias de estas investigaciones señalan que una longitud de onda próxima a 265 nanómetros proporciona un impacto de neutralización más destacado sobre los organismos en relación con otras longitudes de onda (Omuga *et al.*, 2018).

2.3.4. Tipos de la radiación ultravioleta

a) Efectos de la radiación UV – A

Esta radiación genera un impacto mortal sobre los patógenos presentes en el agua, dado que dichos microorganismos suelen habilitar el tracto digestivo del ser humano, lo que los hacen más susceptible a esta radiación específica. La luz UV – A interviene en el ADN directamente, así como también en la enzima de la célula viva, provocando un cambio en la composición molecular y como consecuencia ocasiona el fin de la vida celular (SODIS, 2005).

Esta radiación además interactúa con el contenido de oxígeno disuelto en el agua, produciendo peróxidos de hidrógeno y radicales libres de oxígeno, lo que resulta en una intervención sobre las estructuras celulares que termina causando la muerte de los patógenos (SODIS, 2005).

La radiación UV-A constituye aproximadamente el 95 % de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Esto ocurre porque la UV-A posee una longitud de onda extensa (315-400 nm), permitiéndole atravesar la atmósfera terrestre con mayor facilidad en comparación con otros tipos de radiación UV. A diferencia de la UV-B y la UV-C, la UV-A no es absorbida de manera significativa por la capa de ozono, lo que justifica su alta presencia en la superficie terrestre (Diffey, 2002).

b) Daños que produce la radiación UV-A en la piel

La radiación UV-A penetra profundamente en las capas de la piel, afectando la dermis y generando diversos efectos perjudiciales.

- **Foto envejecimiento.** Arrugas y pérdida de elasticidad debido al daño a las fibras de colágeno.
- **Manchas oscuras y decoloración.** Hiperpigmentación inducida específicamente por la radiación UV-A.
- **Daño en el ADN.** Puede producir radicales libres, incrementando el riesgo elevado de cáncer de piel.
- **Supresión del sistema inmunológico.** Reduce la capacidad del sistema inmunitario para combatir células dañadas (Narayanan *et al.*, 2010).

c) Efectos de la radiación UV – B

Los rayos UV-B constituyen un tipo específico de radiación ultravioleta con longitudes de onda que varían entre 280 y 315 nanómetros (nm). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), estos rayos son parcialmente absorbidos por la capa de ozono en la atmósfera, aunque una porción considerable logra alcanzar la superficie terrestre. Los rayos UV-B son reconocidos por sus efectos biológicos notables, como la inducción de eritema

(enrojecimiento de la piel), daño al ADN y su contribución al desarrollo de cáncer de piel. No obstante, también cumplen un papel esencial en la síntesis de vitamina D en la piel humana (OMS, 2022).

La radiación UV-B representa aproximadamente el 5 % de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Esto se explica porque la UV-B tiene una longitud de onda intermedia (280-315 nm), lo que provoca que sea parcialmente absorbida por la capa de ozono en la estratosfera. La cantidad de UV-B que llega a la superficie terrestre depende de factores como la época del año, la hora del día, la latitud y la densidad de la capa de ozono (Diffey, 2002).

d) Daños que produce la radiación UV-B en la piel

La radiación UV-B resulta más energética y dañina que la UV-A, causando.

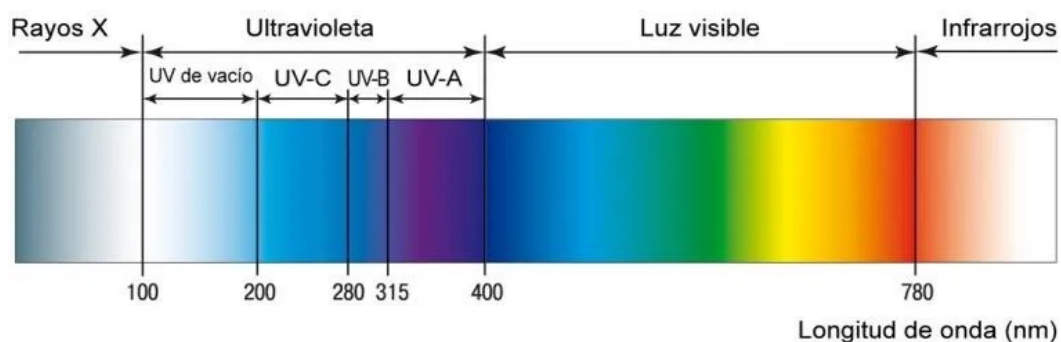
- **Quemaduras solares.** La radiación UV-B se identifica como la principal causa de las quemaduras solares agudas en la piel.
- **Daño al ADN.** Causa mutaciones en las células cutáneas, elevando significativamente el riesgo de cáncer, incluido el melanoma.
- **Cáncer de piel.** UV-B actúa como un factor clave en el desarrollo de cánceres como el carcinoma de células basales y el carcinoma de células escamosas.
- **Foto envejecimiento.** Aunque en menor medida que UV-A, también contribuye al envejecimiento prematuro de la piel (Narayanan *et al.*, 2010).

e) Efectos de la radiación UV – C

Los rayos UV-C constituyen un tipo específico de radiación ultravioleta con longitudes de onda que varían entre 100 y 280 nm. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), estos rayos poseen alta energía y capacidad para dañar el ADN de microorganismos, resultando efectivo en la desinfección de superficies, agua y aire. No obstante, los rayos UV-C son casi totalmente absorbidos por la capa de ozono y la atmósfera terrestre, por lo que no llegan de forma significativa a la superficie de la Tierra de manera natural (OMS, 2022).

La radiación UV-C representa prácticamente el 0 % de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Esto ocurre porque la UV-C tiene una longitud de onda corta (200-280 nm), lo que la hace altamente energética y completamente absorbida por la capa de ozono en la estratosfera. Por consiguiente, bajo condiciones naturales, la UV-C no alcanza la superficie terrestre (Madronich *et al.*, 1998).

Figura 1. Espectro electromagnético de la radiación de la luz.



Fuente: <https://avanzar.net/uv-c>

2.3.5. Efectos de la temperatura

La radiación caracterizada por su naturaleza de onda larga, conocida también como infrarroja, permanece invisible para el ojo humano a simple vista, aunque podemos percibirla mediante el calor que genera, con una longitud de onda que no exceda los 700 nm. Asimismo, el agua capta esta radiación infrarroja, provocando de este modo un calentamiento gradual del recurso (SODIS, 2005).

2.3.6. Efectos biológicos de la radiación

En 1991, expertos del Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática (EAWAG) y del Departamento de Saneamiento, Agua y Residuos Sólidos para el Desarrollo (SANDEC) identificaron una interacción eficaz entre la temperatura del agua y la radiación UV-A, promoviendo la neutralización de microorganismos patógenos presentes en el líquido (SODIS, 2005).

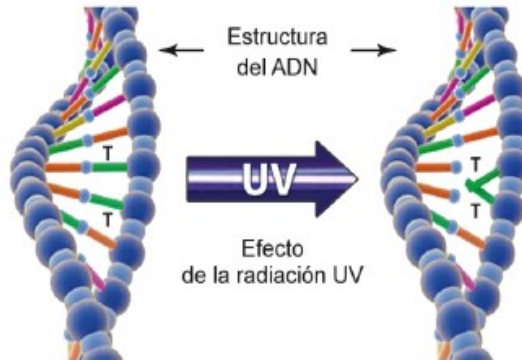
La luz ultravioleta es captada por el ADN de estos microorganismos, situado en los nucleoides celulares, alterando la secuencia de aminoácidos en las proteínas, lo que frena su metabolismo y perturba su capacidad reproductiva, lo que lleva a una desactivación de su actividad microbiana y características patológicas iniciales. La aplicación de la radiación UV-A ofrece ventajas notables, ya que suprime la dependencia de agentes químicos durante el proceso de desinfección (Fontal, 2005).

2.3.7. Mecanismo de desinfección UV

Los microorganismos son inactivados por la luz UV debido al daño fotoquímico que afecta sus ácidos nucleicos esenciales. La radiación UV es captada por los nucleótidos, que son los componentes fundamentales del ADN y ARN de la célula, dependiendo de la longitud de onda, con picos de absorción cerca de 200 y 260 nm (Sonntag y Schuchmann, 1992). La luz UV absorbida fomenta la creación de enlaces entre nucleótidos cercanos, dando lugar a la formación de moléculas dobles conocidas como dímeros (Jagger, 1967). Aunque los dímeros de timina-

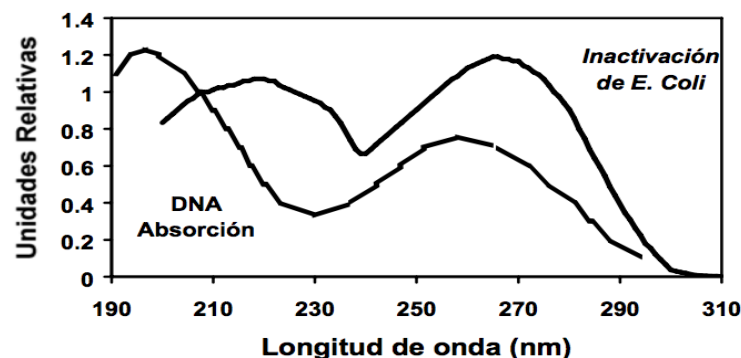
timina son los más frecuentes, también se forman dímeros de citosina-citosina, citosina-timina y dimerización del uracilo. La acumulación de un número adecuado de dímeros dentro de un microorganismo impide que replique su ADN y ARN, bloqueando así su capacidad de reproducción.

Figura 2. Dimerización de timina en ADN expuestas a irradiados con luz UV.



Fuente: Lit, tecnología ultravioleta (2017)

Figura 3. Comparación del espectro de longitud de onda (nm) de rayos UV en la inactivación de *Escherichia coli* y la absorción por ADN del espectro.



Fuente: Wrigt y Cairns (2000).

Sin embargo, se observa un potencial de reactivación, debido a que el material genético del ADN es susceptible de ser corregido por proteínas especializadas (Yajima *et al.*, 1995) al exponer las células deterioradas a ondas lumínicas que superan los 330 nanómetros (Liltved y Landfald, 2000). La disociación del ácido nucleico puede promoverse mediante el estímulo de la enzima fotoliasa, encargada de romper los dímeros (incluyendo tiaminas y otras pirimidinas) que surgen como resultado de la exposición a radiación (Stevens *et al.*, 1998). Resulta relevante indicar que un entorno sin luz puede evitar la reactivación fotoinducida de muestras procesadas con UV o favorecer la recuperación de células dañadas. Tales células reactivadas por luz podrían adquirir mayor resistencia a la radiación ultravioleta si se somete a un tratamiento adicional con UV (Sastry, *et al.*, 2000).

2.3.8. Efecto del pintado de los frascos

El método SODIS (Desinfección Solar del Agua) es una técnica que utiliza la radiación solar para desinfectar agua, principalmente mediante el uso de botellas de plástico transparente. Sin embargo, el uso de frascos de vidrio en este método ha sido menos estudiado. A diferencia del tereftalato de polietileno (PET), el vidrio puede filtrar parte de la radiación ultravioleta (UV) necesaria para la inactivación de patógenos, lo que reduce su eficacia en comparación con los envases de plástico (Wegelin *et al.*, 1994). Además, el vidrio es más pesado y frágil, lo que limita su practicidad en contextos donde el método SODIS es más utilizado, como en comunidades rurales o en situaciones de emergencia (Meierhofer & Landolt, 2009). Aunque el vidrio es más duradero y no se raya con facilidad, su menor eficiencia en la transmisión de rayos UV lo hace menos adecuado para este método de desinfección.

2.3.9. El uso repetitivo de botellas (PET) en el método SODIS

Método SODIS (Desinfección Solar del Agua) es ampliamente reconocido por su eficacia y practicidad. Sin embargo, existen preocupaciones emergentes sobre los posibles daños asociados con la liberación de nano plásticos y otros compuestos químicos durante su uso repetido y exposición a condiciones ambientales extremas, como la radiación solar (Lehner *et al.*, 2019).

2.3.10. Daños potenciales de los envases PET en SODIS

Liberación de nano plásticos. La exposición prolongada a la radiación solar y al calor puede degradar las botellas de tereftalato de polietileno (PET), liberando nano plásticos (partículas de plástico menores a 100 nm) en el agua. Estos nano plásticos pueden ser ingeridos y representar un riesgo para la salud humana, ya que se ha demostrado que pueden acumularse en tejidos y causar inflamación, estrés oxidativo y daño celular (Lehner *et al.*, 2019).

2.3.11. Migración de compuestos químicos

- **Antimonio.** El antimonio es un metaloide utilizado como catalizador en la producción de PET. Con el tiempo y la exposición al calor, puede migrar desde la botella al agua. La ingesta de antimonio se ha asociado con efectos tóxicos en el sistema gastrointestinal, el hígado y los riñones (Westerhoff *et al.*, 2008).
- **Ftalatos.** Aunque los ftalatos no se utilizan directamente en la fabricación de PET, pueden estar presentes como contaminantes. Estos compuestos son disruptores endocrinos y pueden interferir con el sistema hormonal, afectando el desarrollo y la reproducción (Hansen *et al.*, 2010).

2.3.12. Uso de botellas de vidrio en el método SODIS

Estabilidad química. El vidrio es químicamente inerte y no libera compuestos tóxicos, como antimonio o ftalatos, incluso después de múltiples usos y exposición a altas temperaturas. Esto lo hace más seguro para la salud humana en comparación con el PET (Westerhoff *et al.*, 2008).

2.3.13. Resistencia a la degradación por radiación UV

El vidrio no se degrada con la exposición prolongada a la radiación solar, lo que garantiza una mayor durabilidad y mantiene su transparencia a lo largo del tiempo. Esto es crucial para la eficacia del método SODIS, ya que la transparencia del material es esencial para permitir la penetración de la radiación UV-A (Ubomba-Jaswa *et al.*, 2010).

No liberación de nano plásticos. A diferencia del PET, el vidrio no libera nano plásticos ni micro plásticos, lo que elimina el riesgo de contaminación del agua con estas partículas y sus posibles efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente (Lehner *et al.*, 2019).

2.3.14. Sistema de desinfección solar

Este método aprovecha la energía solar con el propósito de eliminar la presencia de microorganismos patógenos en el agua que generan enfermedades, este método favorece la calidad de este recurso, la cual es utilizada para el consumo del ser humano. El microbiota perteneciente a los patógenos es susceptible al producto generado por la energía solar como; la luz UV – A (una longitud onda de 320 – 400 nm) y el aumento notable del nivel de temperatura del agua debido al calor aportado, por lo que SODIS emplea la radiación UV-A junto con la temperatura para realizar la desinfección efectiva del agua (SODIS, 2005).

2.3.15. Colector solar

Se trata de un dispositivo diseñado para acumular y absorber eficientemente la radiación solar. Transforma la energía solar en energía eléctrica o calorífica, contando con dos tipos principales: colector concentrador y colector plano (Nandwani, 2005).

2.3.16. Efecto de los colores

La radiación luminosa infrarroja es captada por un objeto, variando su absorción según el color que este presenta. Los objetos de color blanco apenas logran absorber una mínima cantidad de radiación, a diferencia del color negro que captura casi toda la radiación luminosa disponible. Por otro lado, los colores oscuros no reflejan luz significativa, mientras que los colores claros devuelven una

gran proporción de luz. De acuerdo con la ley de la conservación de energía, esta no se pierde, sino que se transforma; así, en los colores oscuros la energía se convierte en calor, mientras que, en tonos claros como el blanco, se refleja el 100 % de la luz incidente sin absorber nada (Astudillo, 2009).

2.3.17. Parámetros microbiológicos

Este concepto alude a la existencia de microorganismos dañinos de diversos tipos, como bacterias, virus, protozoos y otros organismos que propagan enfermedades tales como cólera, tifus, gastroenteritis, hepatitis, entre otros (Mandujano, 2012). Los microorganismos acceden al agua a través de heces y restos orgánicos provenientes de personas y animales. Por ello, un indicador confiable para evaluar la salubridad del agua, en relación con estos microorganismos, es el conteo de bacterias coliformes presentes en el recurso hídrico (Mandujano, 2012).

2.3.18. Bacterias coliformes

La denominación genérica coliformes engloba a un conjunto de especies bacterianas que comparten ciertas características bioquímicas comunes y poseen una importancia significativa como indicadores de contaminación en agua y comida. El término coliformes alude a "con forma de coli", haciendo referencia a la bacteria principal del grupo, *Escherichia coli*, identificada por Theodor Escherich el bacteriólogo alemán, en 1885. Este conjunto incluye a todas las bacterias entéricas que se distinguen por características bioquímicas específicas: ser aerobias o anaerobias facultativas, presentarse como bacilos Gram negativos y no formar esporas (CEPIS, 1983).

2.3.19. Taxonomía de las bacterias coliformes

Tabla 2. Taxonomía de bacterias coliformes.

Bacterias coliformes	
taxonomía	
Dominio:	Bacteria
Filo:	Proteobacteria
Clase:	Gamma Proteobacteria
Orden:	Enterobacterales
Familia:	Enterobacteriaceae
Géneros	
• <i>Escherichia</i> • <i>Klebsiella</i> • <i>Enterobacter</i> • <i>Citrobacter</i>	

Fuente: CEPIS (1983)

2.3.20. Bacterias que integran el grupo coliformes

Constituyen un conjunto de microorganismos empleados como indicadores clave de contaminación fecal en el agua y los alimentos. Estas bacterias se identifican como Gram negativas, con forma de bacilo (alargada), no forman esporas y son facultativamente anaerobias. Poseen la habilidad de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a temperaturas de 35-37 °C durante un intervalo de 24 a 48 horas (Edberg *et al.*, 2000).

Tabla 3. Géneros de bacterias que integran al grupo coliformes.

Géneros coliformes	Origen principal
<i>Escherichia</i>	Excreción humano y animal
<i>Klebsiella</i>	Excreción, medioambiente
<i>Enterobacter</i>	Excreción, medioambiente
<i>Citrobacter</i>	Entornos ambientales

Fuente: CEPIS (1983)

En la mayoría de las aguas, el género predominante es *Escherichia*, aunque ciertos tipos de bacterias de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* también exhiben tolerancia térmica. *Escherichia coli* se diferencia de otros coliformes termotolerantes debido a su habilidad para generar indol mediante el triptófano o producir la enzima β -glucuronidasa. Esta bacteria se encuentra en niveles elevados en las excreciones humanas y animales, rara vez aparece sin contaminación fecal, aunque existen evidencias de su crecimiento en terrenos tropicales (DIGESA, 2014).

2.3.21. Coliformes totales

Estas bacterias se distinguen por su capacidad de fermentar lactosa con producción de gas y ácido a temperaturas de incubación entre 35-37 °C. Aunque los coliformes totales no son necesariamente patógenos, su presencia en el agua, alimentos y otros entornos sirve como un indicador fiable de contaminación microbiológica y posibles deficiencias en los procesos de saneamiento. Se utilizan ampliamente en el monitoreo de la calidad del agua potable, aguas residuales y alimentos, sugiriendo la potencial existencia de microorganismos patógenos de origen fecal (Tortora *et al.*, 2022).

2.3.22. Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes reciben esta denominación porque resisten temperaturas de hasta 45 °C, abarcando un número muy limitado de microorganismos que actúan como indicadores de calidad según su origen. Principalmente están representados por *Escherichia coli*, aunque de manera

menos frecuente se hallan especies como *Klebsiella pneumoniae* y *Citrobacter freundii*. Estas últimas pertenecen a los coliformes termotolerantes, aunque su procedencia suele ser ambiental en agua, vegetación y suelos, solo de vez en cuando integran el microbiota habitual. Por ello, varios investigadores sugieren reemplazar el término coliformes fecales, frecuentemente usado, por coliformes termotolerantes (Ramos, 2016).

2.3.23. *Escherichia coli*

La *Escherichia coli* provoca gastroenteritis en seres humanos y animales, siendo particularmente grave en neonatos y niños de menos de 5 años. Los síntomas incluyen abundantes diarreas líquidas con escasa mucosidad, náuseas y deshidratación. Esta afección no genera fiebre y rara vez resulta grave en adultos. Una cloración adecuada del agua elimina eficazmente esta bacteria. Se localiza de forma natural en el intestino de humanos y animales, y su presencia en los alimentos señala contaminación fecal. No obstante, *Escherichia coli* está ampliamente distribuida en la naturaleza, aunque la mayoría de sus cepas probablemente provienen de heces, su presencia en pequeñas cantidades no siempre indica contaminación en los alimentos (Gutiérrez, 2018).

2.3.24. Bacterias heterotróficas mesófilas viables

Están presentes en todos los cuerpos de agua y constituyen un conjunto de bacterias ambientales de gran distribución, funcionando como indicadores de la efectividad de los procesos de tratamiento, en particular en la desinfección. Se comportan como simples indicadores cualitativos que miden la densidad de bacterias viables heterótrofas, aerobias y anaerobias facultativas en el agua, las cuales pueden desarrollarse bajo condiciones particulares de nutrición, temperatura y tiempo de incubación de 35-37 °C durante 48 horas (Aurazo, 2004).

La contabilización en placas de bacterias heterótrofas muestra una variedad considerable de microorganismos, en especial bacterias que representan la calidad microbiana del agua. Se ha corroborado que el recuento total es uno de los indicadores más fiables y precisos para medir el éxito o el fracaso de la desinfección (Aurazo, 2004).

2.4. Marco legal

2.4.1. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA

Define de forma exhaustiva los límites máximos permitidos para parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, y químicos orgánicos e inorgánicos.

2.4.2. Límites máximos permisibles de los parámetros microbiológicos

Tabla 4. Límites máximos permisibles (LMP) microbiológico establecidos según D.S. N° 031-2010-SA.

Indicadores microbiológicos	Unidad de medida	LMP
1. Bacterias coliformes totales	UFC/100 ml a 35°C	0 (*)
2. Presencia de <i>Escherichia coli</i>	UFC/100 ml a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias coliformes termotolerantes o fecales	UFC/100 ml a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias heterotróficas	UFC/ml a 35°C	500
5. Huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos	N° org/L	0
6. Virus	UFC/ml	0
7. Organismos libres, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

Fuente: DIGESA (2010)

2.4.3. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Tabla 5. Límites máximos permisibles (LMP) organolépticos establecidos por el D.S. N° 031-2010-SA.

Características organolépticas	Unidad de medida	LMP
Percepción de olor	-	Aceptable
Sensación de sabor	-	Aceptable
Intensidad de coloración	UCV escala Pt/Co	15
Grado de turbidez	UNT	5
Rango de pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Capacidad conductiva a 25 °C	µmho/cm	1500
Contenido de sólidos totales disueltos	MgL ⁻¹	1000
Concentración de cloruros	mgCl ⁻¹ L ⁻¹	250
Concentración de sulfatos	mgSO ₄ ⁻² L ⁻¹	250
Dureza total	mgCaCO ₃ L ⁻¹	500
Amoniaco	mgNH ₃ L ⁻¹	1.5
Hierro	mgFeL ⁻¹	0.3
Magnesio	mgMnL ⁻¹	0.4
Aluminio	mgAlL ⁻¹	0.2
Cobre	mgCuL ⁻¹	2.0
Zinc	mgZnL ⁻¹	3.0
Sodio	mgNaL ⁻¹	200

Fuente: DIGESA (2010)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La investigación se realizó en dos lugares a diferentes altitudes.

- **Ayacucho, Ciudad Universitaria**

Coordenadas 13°08'43"S 74°13'16"O, con una altitud: 2 788 m.s.n.m.

- **En el patio del Centro de Salud de Quinua:**

Coordenadas 13°02'56"S 74°08'22"O, con una altitud: 3 275 m.s.n.m.

Los análisis microbiológicos se llevaron a cabo en el laboratorio de la universidad y el Centro de Salud de Quinua.

- Ayacucho es una región ubicada en la sierra sur-central del Perú. La ciudad de Huamanga, capital de la provincia de Huamanga y del departamento de Ayacucho, se encuentra a una altitud de aproximadamente 2 760 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son 13°08'43"S latitud y 74°13'16"O longitud (IGN, 2023).
- Quinua es un distrito ubicado en la provincia de Huamanga, región de Ayacucho, Perú. Se encuentra a una altitud de aproximadamente 3 275 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son 13°02'56"S latitud y 74°08'22"O longitud (IGN, 2023).

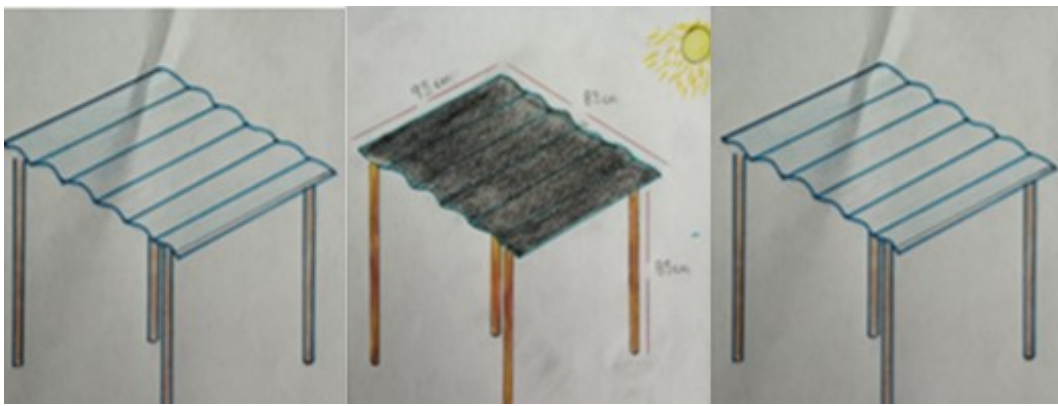
3.2. Material de estudio

El agua sometida a desinfección solar en la presente investigación consistió en agua captada en los grifos del Laboratorio de Microbiología y del Centro de Salud de Quinua. Esta agua se mantuvo en dos recipientes con una capacidad de 47 litros cada uno y se dejó en reposo durante 48 horas para disipar el cloro residual que podría contener. Posteriormente, se añadió a cada recipiente un litro de agua contaminada proveniente del río Alameda, la cual contenía coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas mesófilas viables. Finalmente, el agua se envasó en botellas de vidrio de dos litros cada uno.

3.2.1. Construcción y pintado de la estructura de soporte de botellas

Para construir la estructura base donde se colocaron las botellas durante el experimento, se utilizaron tres láminas de zinc (calamina) madera y clavos de dos pulgadas. El resultado final fue una plataforma de 95 centímetros de largo por 83 centímetros de ancho a una altura de 85 centímetros, con una inclinación de 45 grados. Cada plataforma tiene características diferentes en cuanto a su presentación, una lámina de zinc fue pintada de negro, mientras que las otras dos no sufrieron ningún cambio.

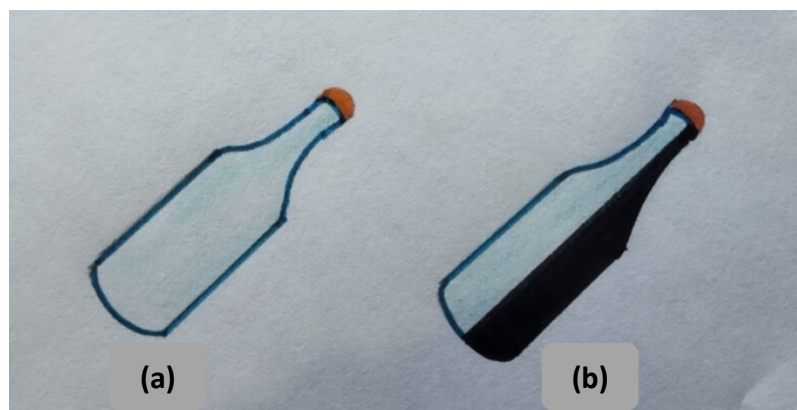
Figura 4. Estructura de lámina de zinc (calamina) para soporte de botellas destinadas a la exposición solar.



3.2.2. Acondicionamiento de botellas

Se trabajó con 48 botellas de vidrio de dos litros de capacidad cada una. De estas, 12 botellas fueron pintadas de negro, como se observa en la imagen (b), mientras que las restantes no sufrieron ningún cambio. Las botellas pintadas se colocaron con la base negra hacia abajo y la parte transparente expuesta a la radiación solar. A cada botella se añadieron dos litros de agua del material de estudio, la cual contenía coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas mesófilas viables. Posteriormente, todas las botellas fueron expuestas a la radiación solar.

Figura 5. Características de las botellas que contienen agua para exposición a rayos solares.



3.2.3. Variable independiente

- Condiciones de exposición a rayos solares.
- Tiempo de exposición a la radiación solar.
- Características de los frascos.

Indicadores:

- Horas.
- Botellas pintadas de negro y botellas sin pintar.
- Calamina pintada de negro y sin pintar.

3.2.4. Variable dependiente

- Efecto de la radiación solar.

Indicadores:

- Bacterias heterotróficas mesófilas viables (UFC/ml).
- Coliformes totales (UFC/100ml).
- Coliformes fecales (UFC/100ml).
- Ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.).
- Localidad de Quinua (3 275m.s.n.m.).

3.2.5. Unidad de análisis

- Agua en botellas de vidrio.

3.2.6. Tratamiento para la ciudad de Ayacucho

- **Tratamiento uno (control, a las cero horas):** las muestras no fueron expuestas a la radiación solar.
- **Tratamiento dos (a las dos horas):** botellas pintadas, soporte sin pintar, expuestos a radiación solar.
- **Tratamiento tres (a las cuatro horas):** botellas sin pintar, soporte pintado, expuestos a radiación solar.
- **Tratamiento cuatro (a las seis horas):** botellas sin pintar, soporte sin pintar, expuestos a radiación solar.

3.2.7. Tratamiento para la localidad de Quinua

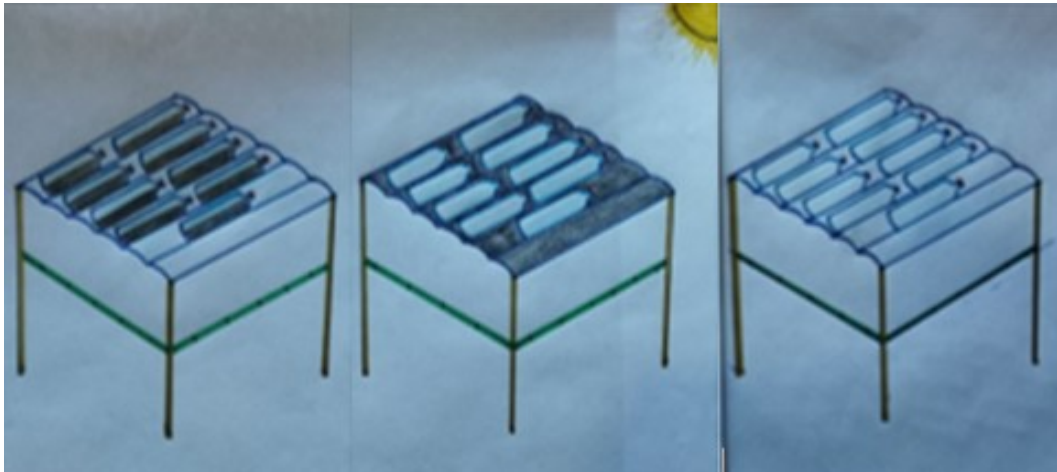
- **Tratamiento uno (control, a las cero horas):** las muestras no fueron expuestas a la radiación solar.
- **Tratamiento dos (a las dos horas):** botellas pintadas, soporte sin pintar, expuestos a radiación solar.
- **Tratamiento tres (a las cuatro horas):** botellas sin pintar, soporte pintado, expuestos a radiación solar.
- **Tratamiento cuatro (a las seis horas):** botellas sin pintar, soporte sin pintar, expuestos a radiación solar.

En todos los tratamientos, con tres repeticiones, las muestras o lecturas se realizaron cada dos horas a partir de las cero horas hasta las seis horas. Por lo tanto, en cada tratamiento se expusieron 12 botellas. Para cada lectura, se retiraron tres botellas expuestas al azar de cada plataforma.

3.2.8. Tiempo de exposición a radiación solar

El tiempo de exposición a radiación solar, se hicieron en seis horas en total.

Figura 6. Botellas colocadas sobre el soporte de lámina de zinc (calamina) para exposición a la radiación solar.



Las evaluaciones se hicieron a:

- **Tiempo cero (9:00 am):** las muestras no sufrieron ningún tipo de cambio; todas eran iguales en su estado inicial.
- **Tiempo dos (11:00 am):** se retiraron tres botellas al azar de cada plataforma.
- **Tiempo cuatro (1:00 pm):** se retiraron tres botellas al azar de cada plataforma.
- **Tiempo seis (3:00 pm):** se recogieron las últimas tres botellas de cada plataforma y se llevaron al laboratorio para su respectiva siembra.

Se realizaron cuatro observaciones en diferentes momentos. Cada evaluación consistió en tres repeticiones, incluyendo un control que no estuvo expuesto a la radiación solar.

3.2.9. Parámetros microbiológicos evaluados

- Bacterias heterotróficas mesófilas viables (UFC/ml).
- Coliformes totales (UFC/100 ml).
- Coliformes fecales (UFC/100 ml).

3.2.10. Técnicas microbiológicas para la numeración de coliformes

La técnica de análisis microbiológico utilizada fue de filtración por membrana.

De cada Botella se tomaron 30 ml, los cuales fueron sometidos a filtración por membrana de 0.45 micrómetros. El filtro, retirado del equipo de filtración, se colocó sobre placas que contenían agar m-Endo, agar m-FC y agar Plate Count. Estas placas fueron incubadas a 37 °C para coliformes totales y bacterias heterotróficas mesófilas viables, y a 44,5 °C para coliformes termotolerantes. Transcurrido el tiempo, se enumeraron las colonias características resultantes y se calcularon:

- Unidades formadoras de colonia (UFC) por 100 ml para coliformes totales y coliformes fecales.
- Unidades formadoras de colonia UFC por mililitro en el caso de bacterias heterotróficas mesófilas viables (Rose *et al.*, 1975).

3.3. Análisis estadístico

El ordenamiento, análisis y presentación de los datos recolectados se realizaron en el programa estadístico RStudio, donde se aplicó la prueba de Duncan para la comparación de medias múltiples y se elaboraron gráficos de barras.

IV. RESULTADOS

Figura 7. Efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de exposición y tiempo de frascos con agua, sobre la viabilidad de bacterias heterótrofas mesófilas viables, Ayacucho – Quinua, 2024.

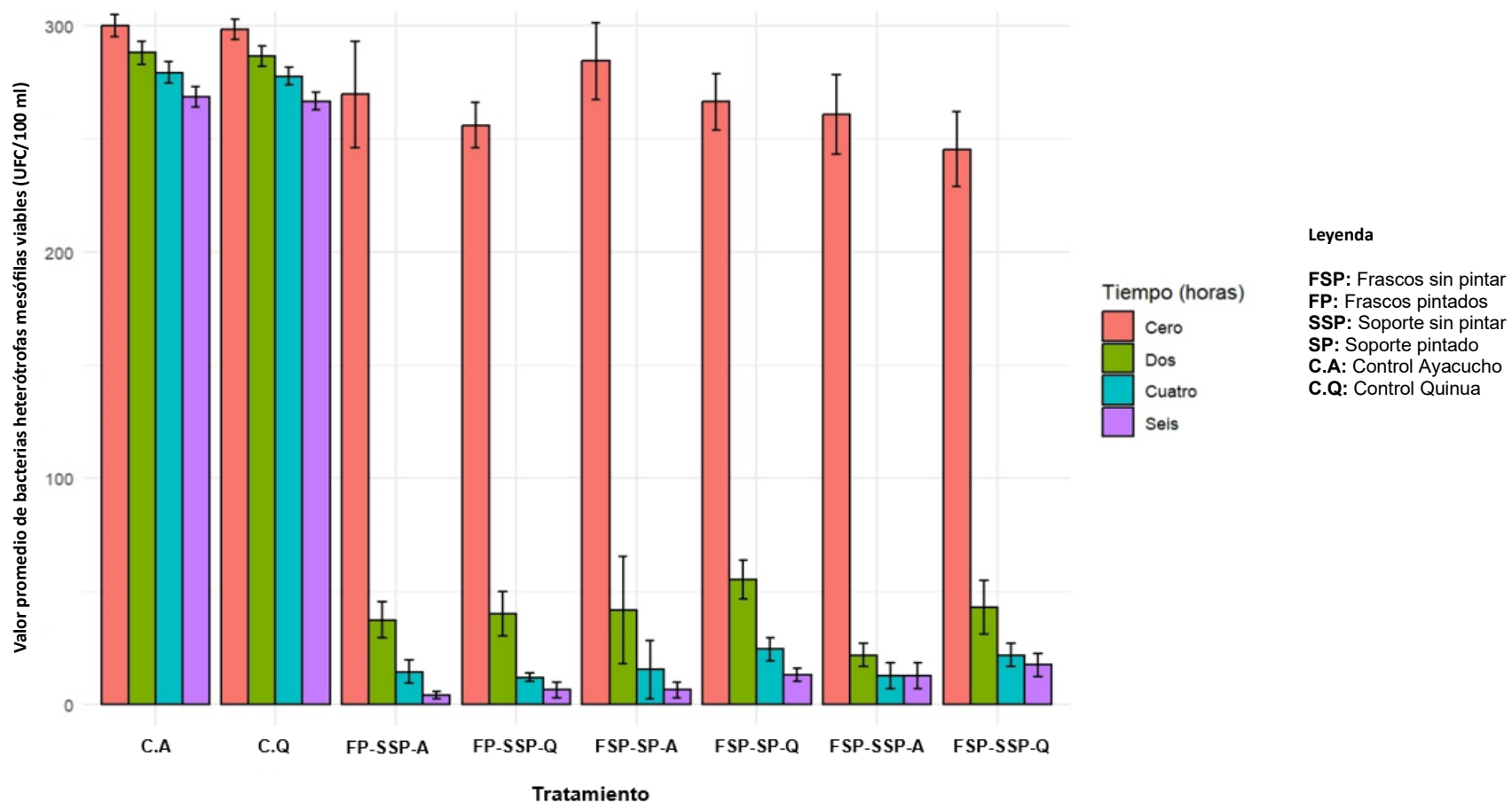


Figura 8. Porcentaje de remoción del número de bacterias heterótrofas mesófilas viables por efecto de la radiación solar en diferentes condiciones de exposición, Ayacucho – Quinua, 2024.

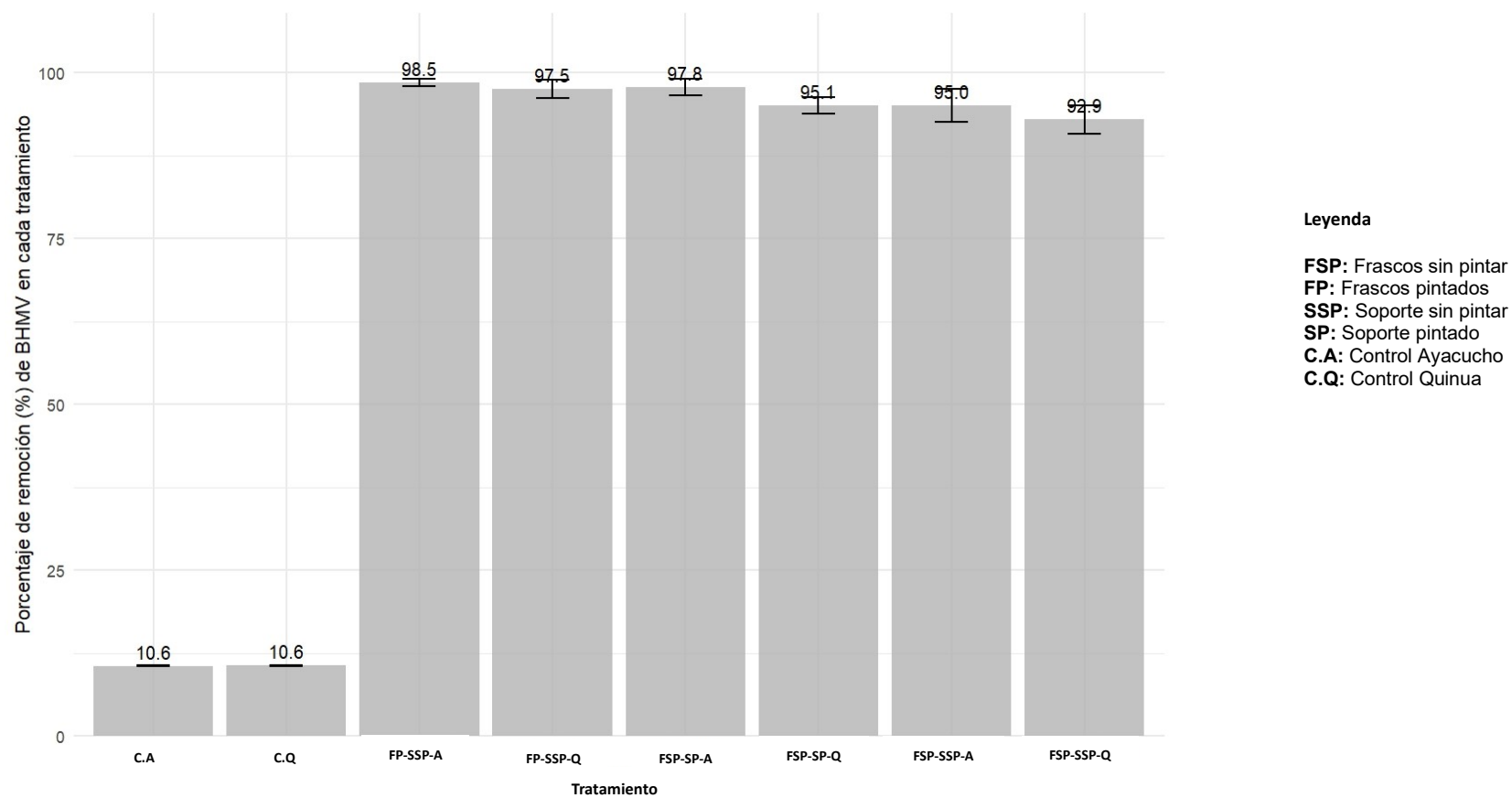


Figura 9. Comparación estadística del porcentaje de remoción de bacterias heterótrofas mesófilas viables por efecto de la radiación solar, bajo diferentes condiciones de exposición de frascos con agua, Ayacucho – Quinua, 2024.

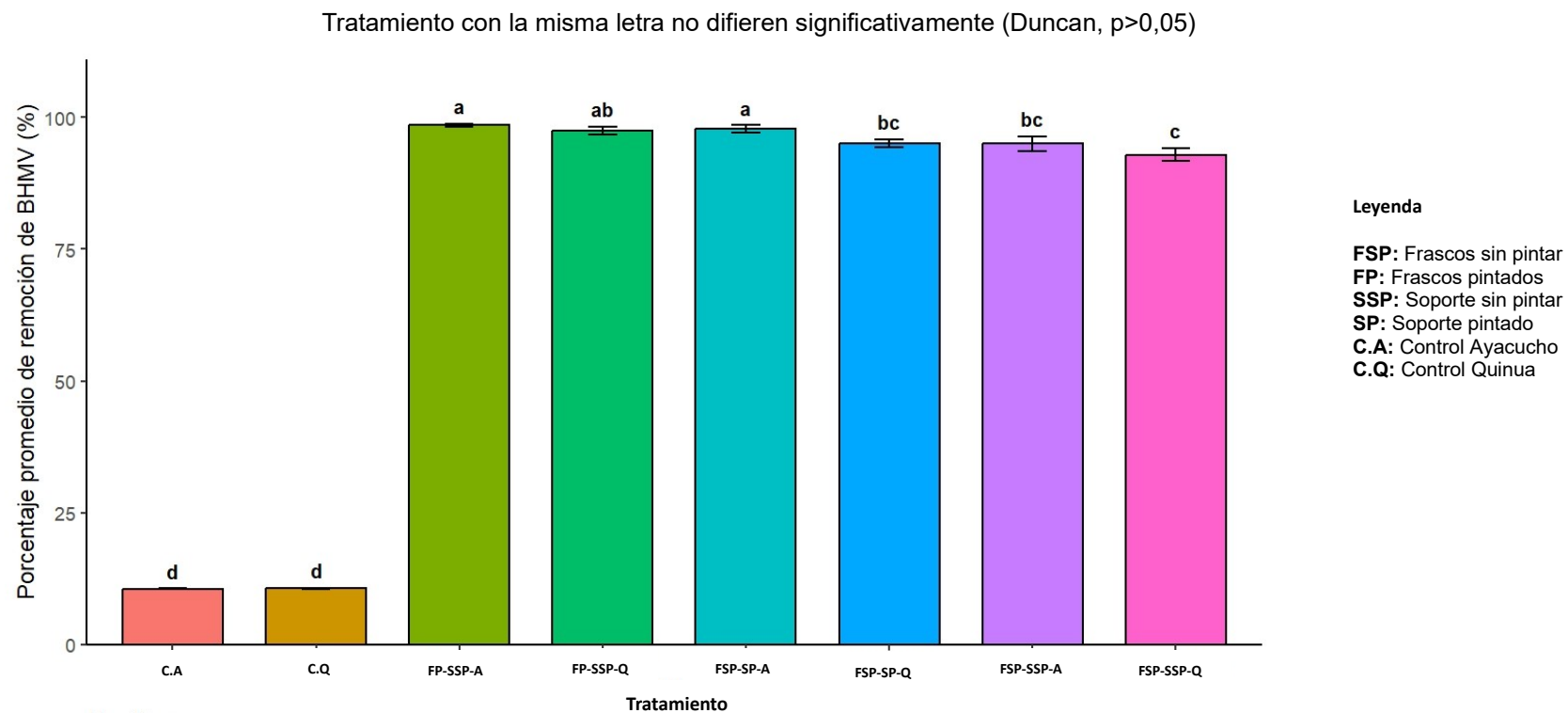


Figura 10. Efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de exposición y tiempo de frascos con agua, sobre la viabilidad de coliformes totales, Ayacucho – Quinua, 2024.

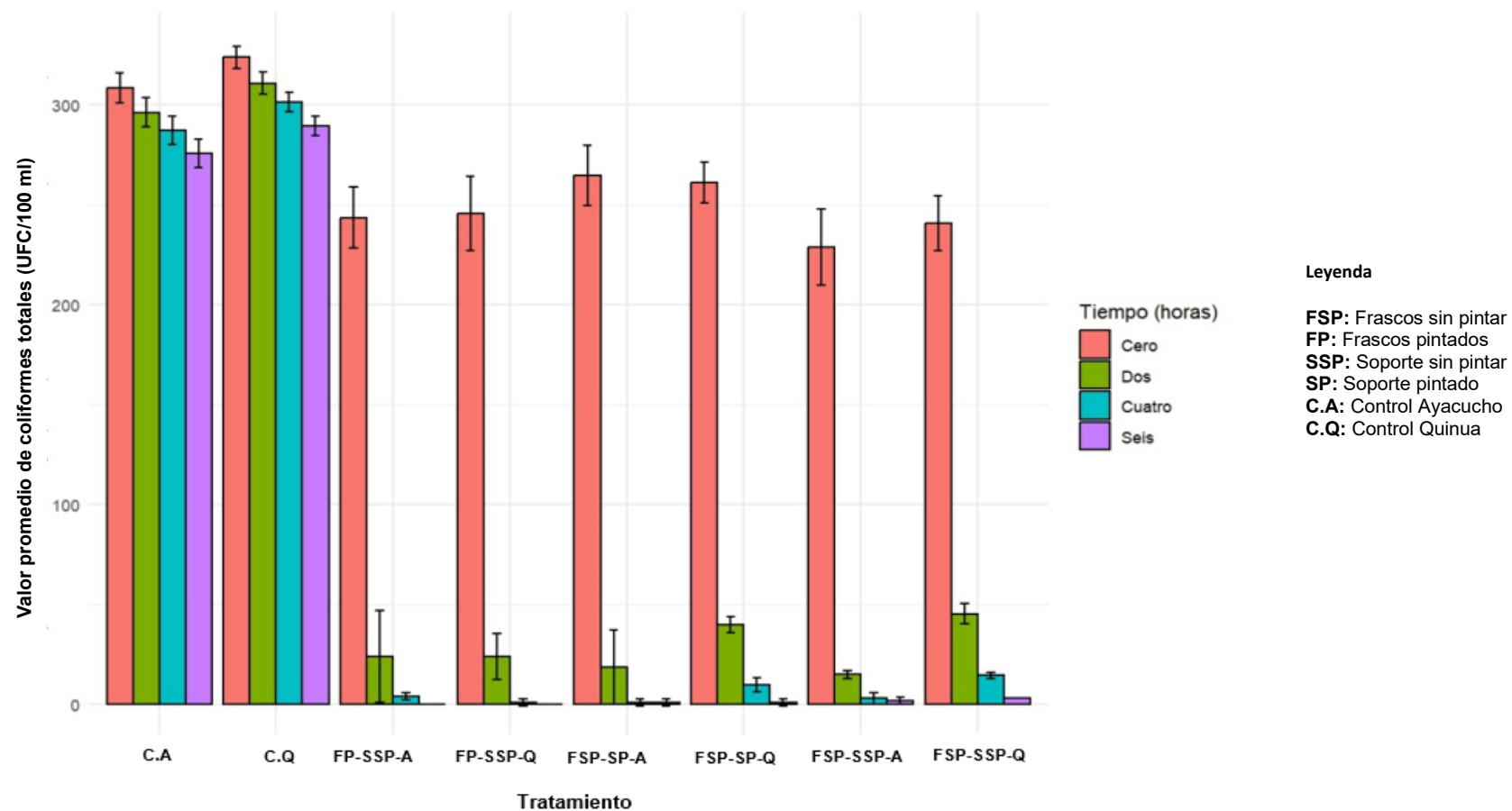


Figura 11. Porcentaje de remoción del número de coliformes totales por efecto de la radiación solar en diferentes condiciones de exposición, Ayacucho – Quinua, 2024.

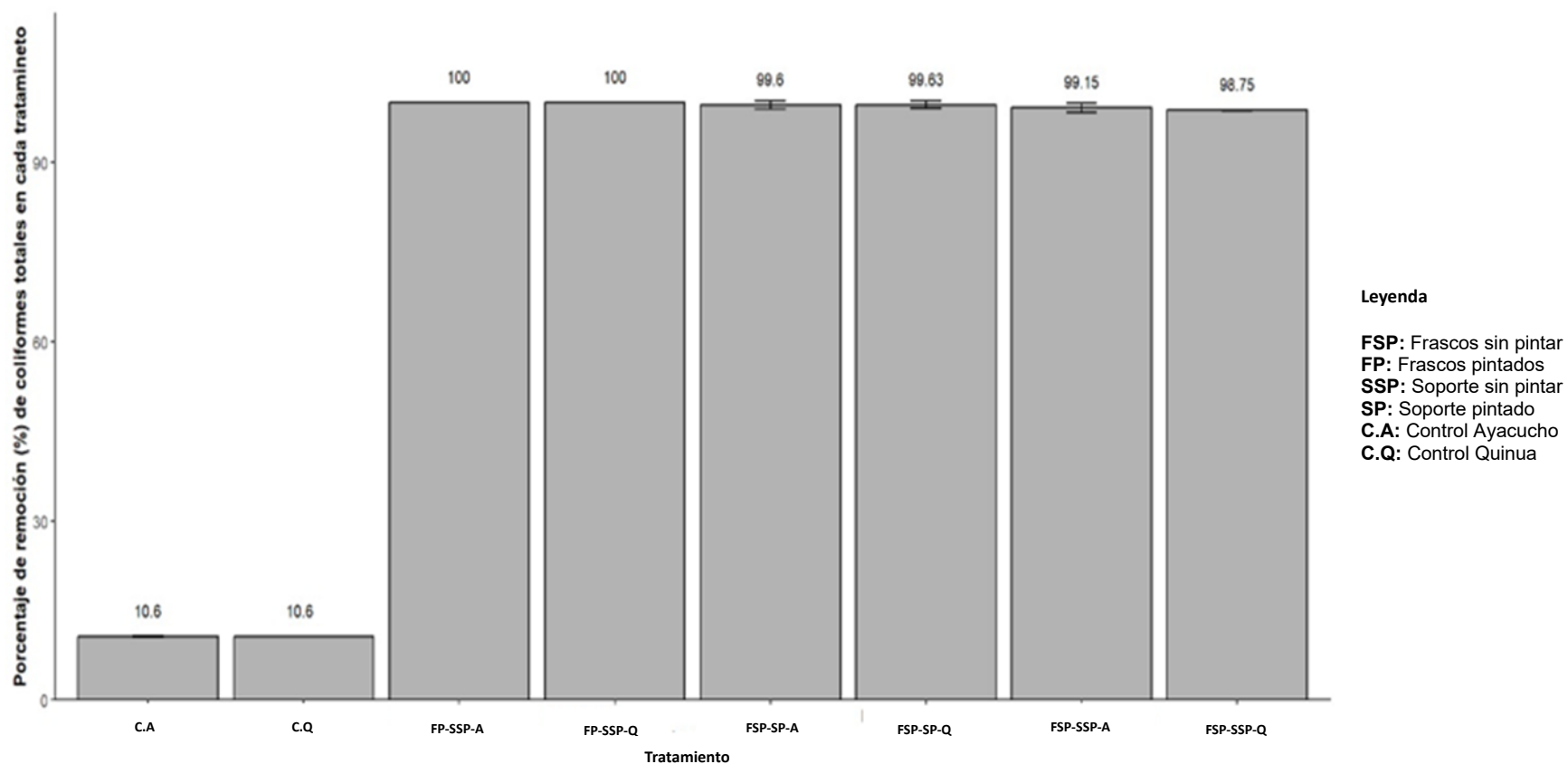


Figura 12. Comparación estadística del porcentaje de remoción de coliformes totales por efecto de la radiación solar, bajo diferentes condiciones de exposición de frascos con agua, Ayacucho – Quinua, 2024.

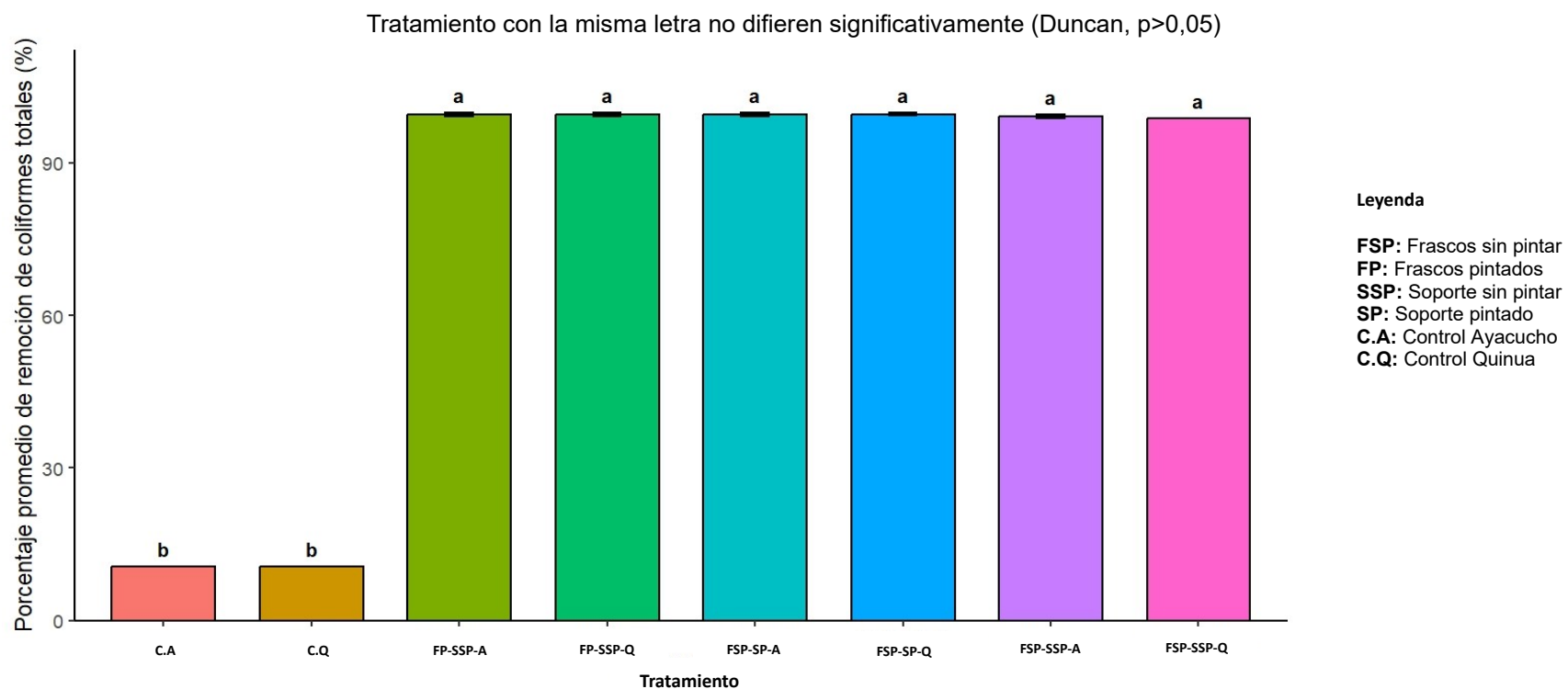


Figura 13. Comparación de resultados de la remoción de coliformes totales por efecto de la radiación solar, por seis horas y en diferentes condiciones de exposición en los límites máximos permisibles según el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Ayacucho – Quinua, 2024.

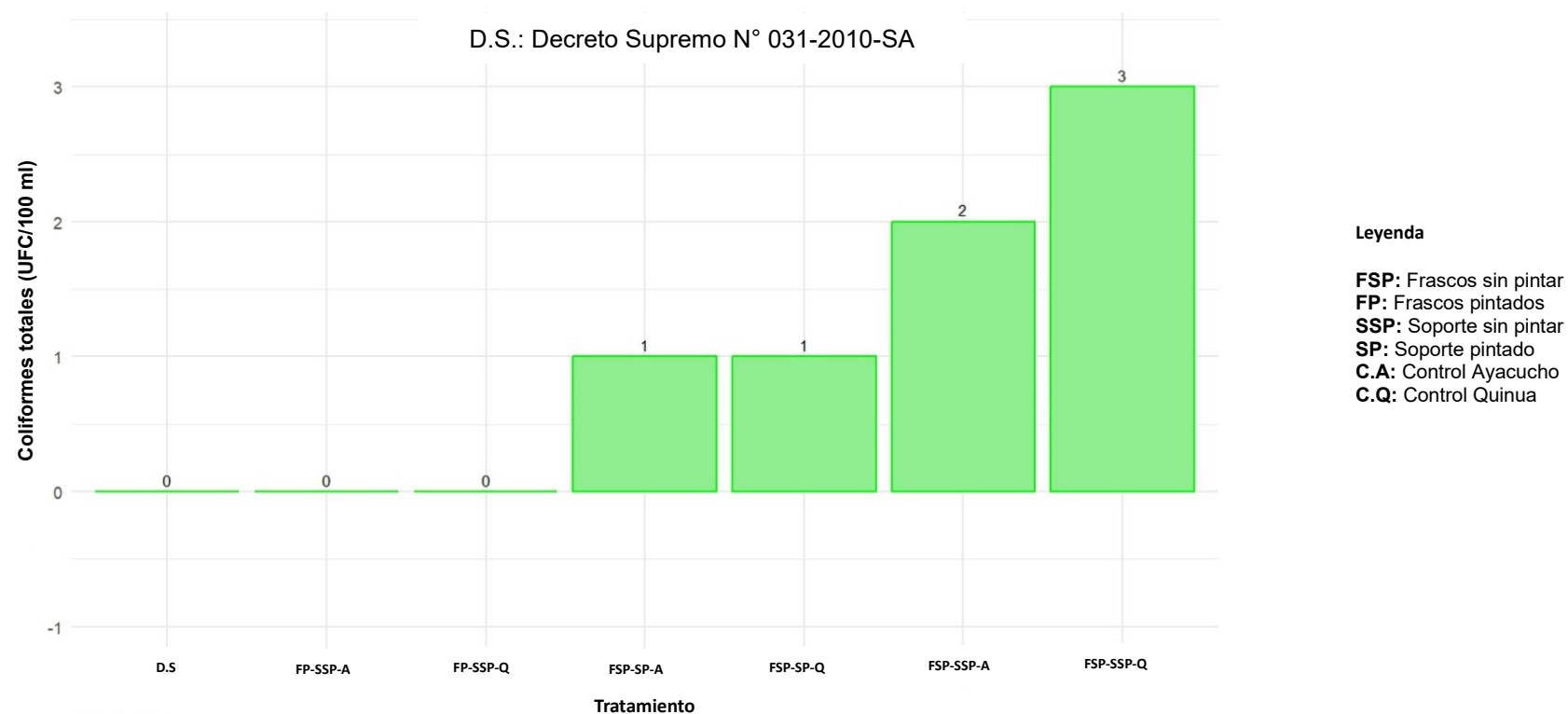


Figura 14. Efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de exposición y tiempo de frascos con agua, sobre la viabilidad de coliformes fecales, Ayacucho – Quinua, 2024.

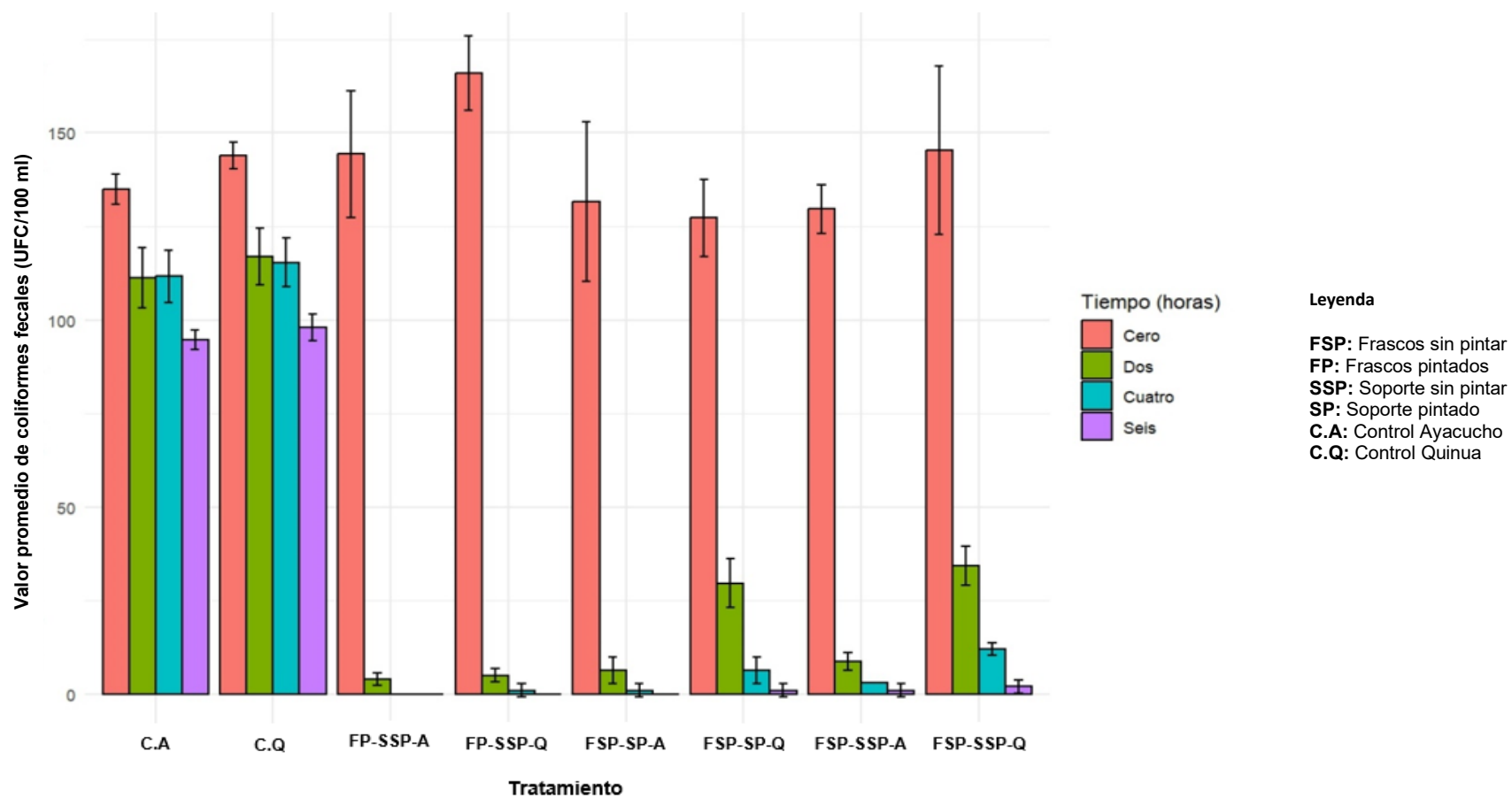


Figura 15. Porcentaje de remoción del número de coliformes fecales por efecto de la radiación solar en diferentes condiciones de exposición, Ayacucho – Quinua, 2024.

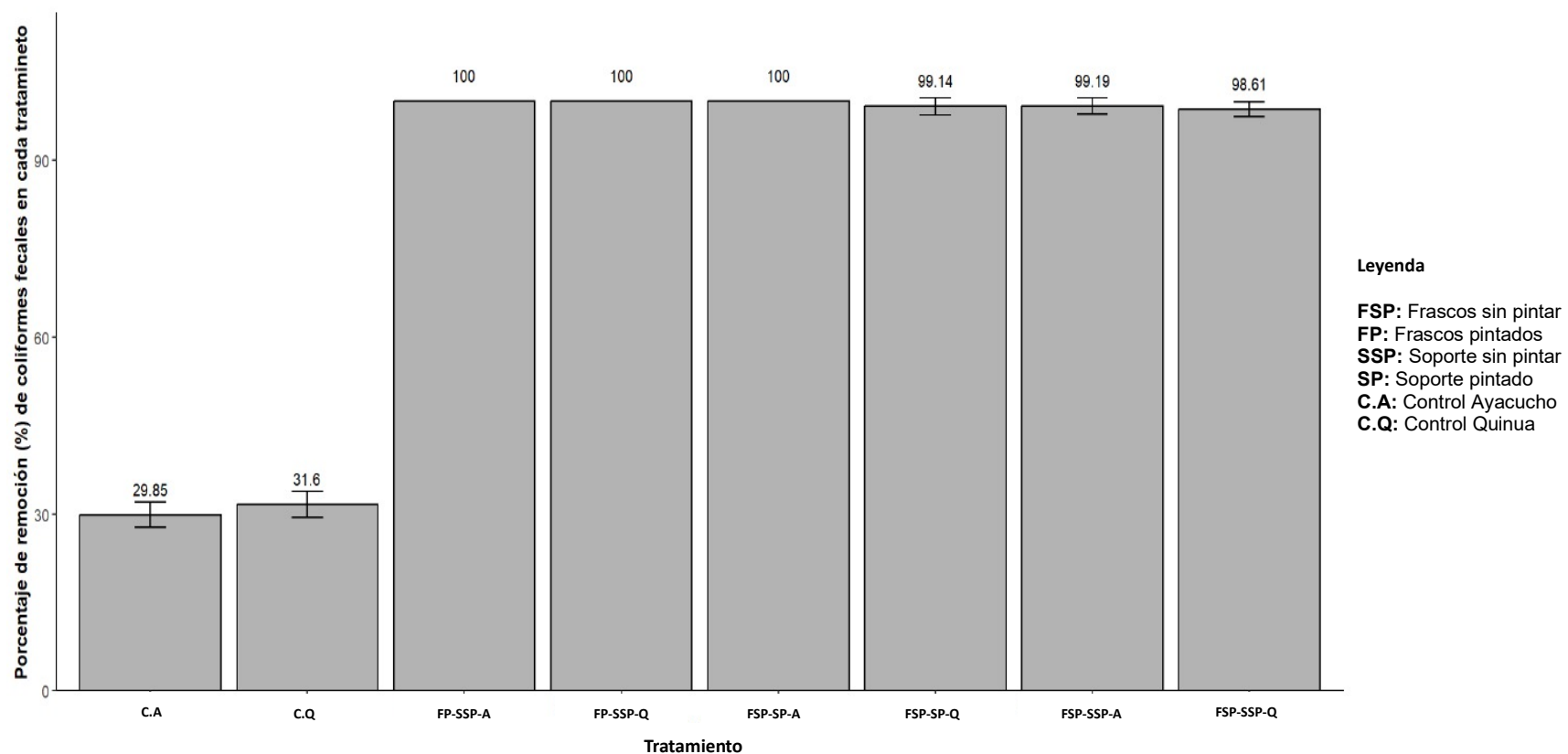


Figura 16. Comparación estadística del porcentaje de remoción de coliformes fecales por efecto de la radiación solar, bajo diferentes condiciones de exposición de frascos con agua, Ayacucho – Quinua, 2024.

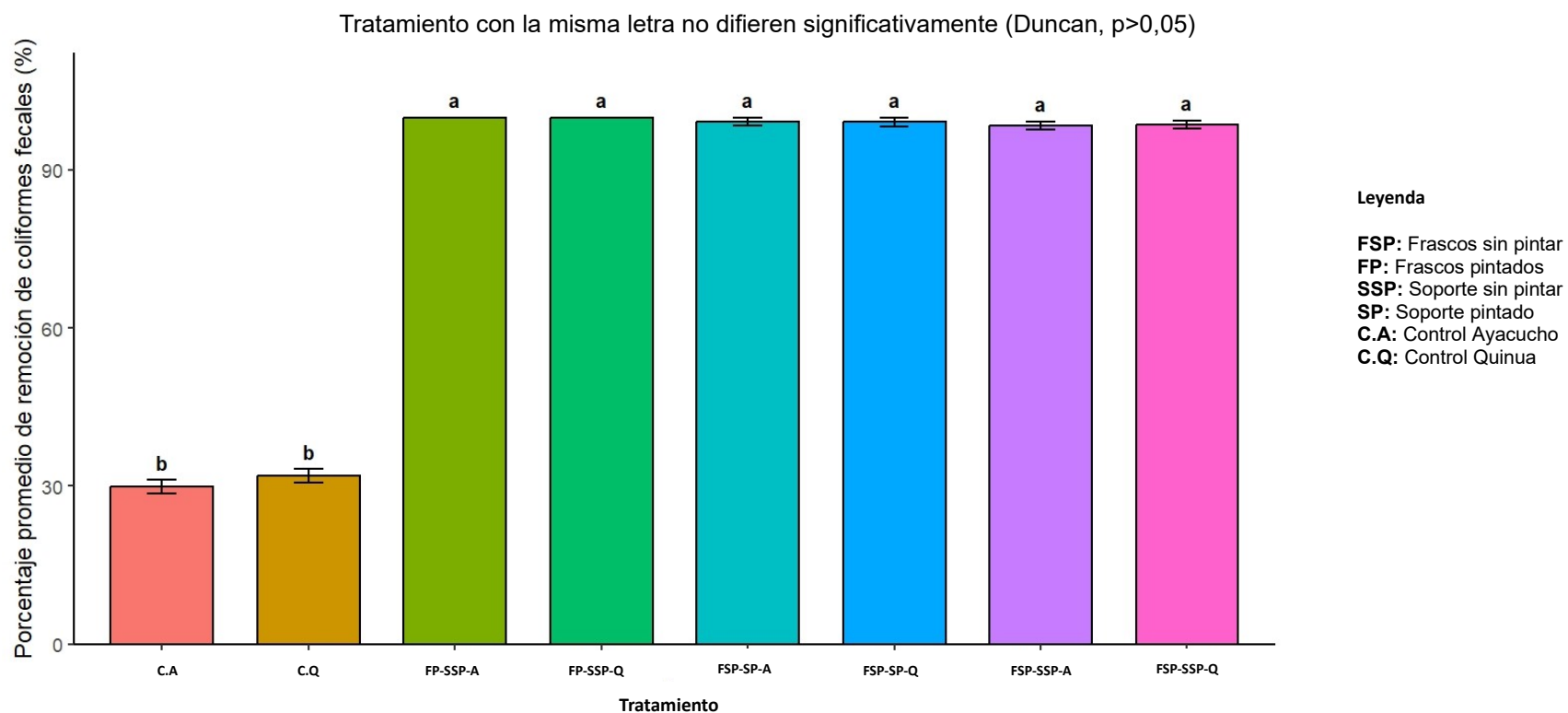
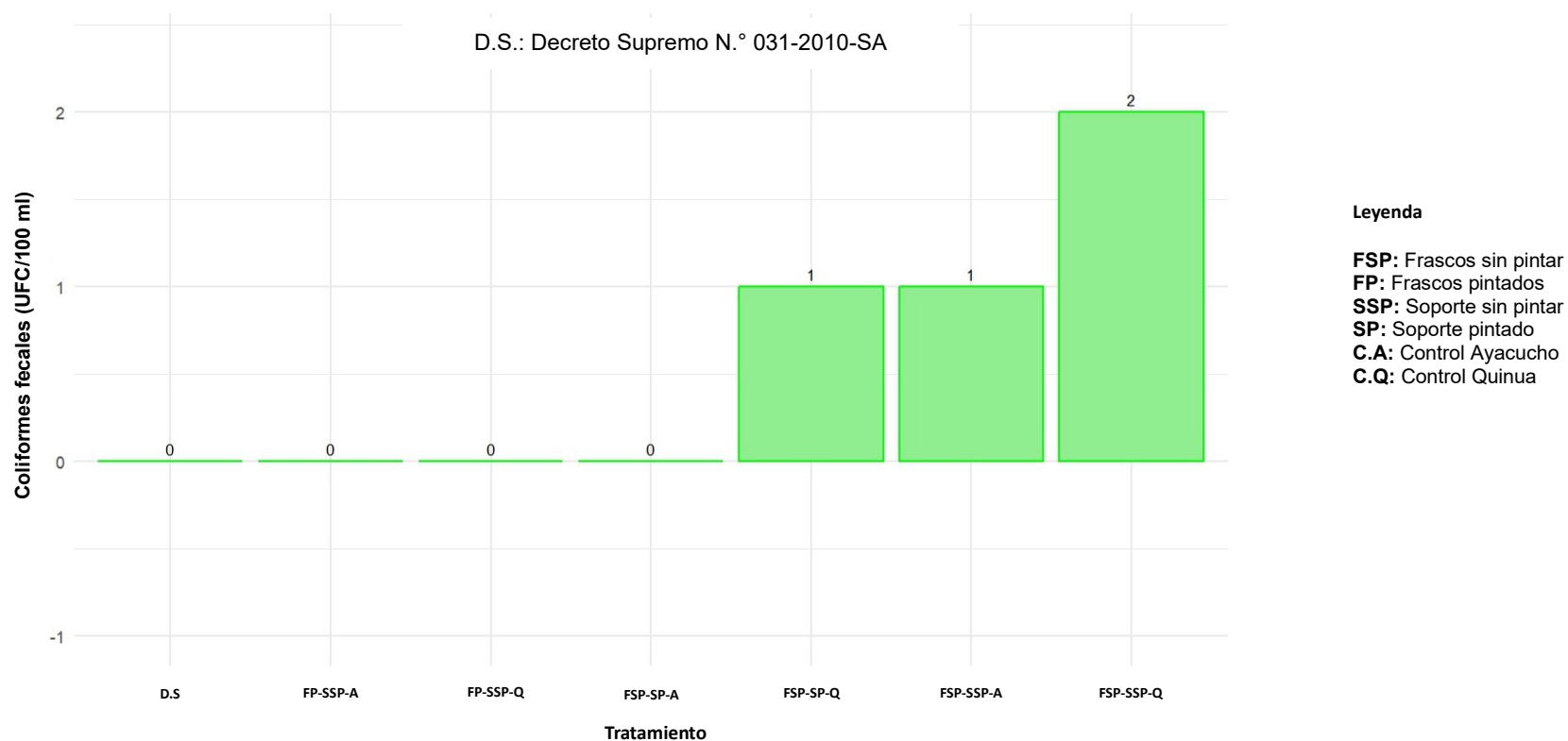


Figura 17. Comparación de resultados de la remoción de coliformes fecales por efecto de la radiación solar, por seis horas y en diferentes condiciones de exposición en los límites máximos permisibles según el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Ayacucho – Quinua, 2024.



V. DISCUSIÓN

En la figura 7 se muestran los valores del efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de exposición y tiempo, sobre la viabilidad de bacterias heterótrofas mesófilas viables. El gráfico revela una reducción significativa en los conteos de bacterias heterótrofas mesófilas viables conforme aumenta el tiempo de exposición. Al inicio (cero horas), los controles para la ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.) y la localidad de Quinua (3 275 m.s.n.m.) presentan valores cercanos a 300 UFC/100 ml; mientras que, tras seis horas de exposición, tratamientos como las botellas pintadas reducen los conteos a niveles significativamente más bajos. Los resultados indican una tendencia general hacia la reducción progresiva de la carga microbiana conforme se incrementa el tiempo de exposición solar, con remociones significativamente mayores a las cuatro y seis horas, especialmente en los tratamientos con botellas pintadas y soporte sin pintar. Según McGuigan *et al.*, (2012), el proceso de desinfección solar (SODIS) funciona mediante la combinación de radiación UV-A y el aumento de temperatura (efecto térmico), los cuales actúan sinérgicamente para dañar el ADN de los microorganismos, interrumpir sus funciones metabólicas y reducir su viabilidad. Esta explicación concuerda con la notable disminución de los recuentos de mesófilos en tratamientos donde se maximiza la captación de energía solar, como sucede con el uso de botellas pintadas, que absorben más calor, y soportes sin pintar, que reflejan menos luz, permitiendo una mayor acumulación de temperatura en el sistema. Asimismo, García-García *et al.*, (2023) demostraron que el uso de superficies pintadas en recipientes SODIS mejora la inactivación de mesófilos viables al aumentar la absorción de radiación UV, lo que respalda la eficacia de los tratamientos pintados observada en este estudio.

En la figura 8 se muestran los valores del porcentaje de remoción del número de bacterias heterotróficas mesófilas viables por efecto de la radiación solar en

diferentes condiciones de exposición. Se observó que los tratamientos con botellas y soportes pintados alcanzaron la mayor eficiencia a una altitud de 2 788 m. s. n. m., en la ciudad de Ayacucho, con valores de 98,5 % y 97,8 %, respectivamente. En la localidad de Quinua (3 275 m. s. n. m.), se registraron porcentajes ligeramente inferiores, de 97,5 % y 95,1 %. Por otro lado, los tratamientos con botellas y soportes sin pintar mostraron menor eficiencia en la remoción, con valores de 95,0 % en la ciudad de Ayacucho y 92,9 % en la localidad de Quinua, tras seis horas de exposición. Esta remoción, según (Ubomba-Jaswa *et al.*, 2019), se atribuye principalmente a la acción de la radiación solar UV-A y el aumento de la temperatura, lo que permite concluir que el método aplicado logra una reducción significativa de bacterias heterótrofas mesófilas viables, con un rango de efectividad entre 92,9 % y 98,5 %, muy por encima del promedio observado en los tratamientos control (10,6 %), los cuales no fueron expuestos a radiación solar directa. Estos resultados confirman la eficiencia de la radiación solar para reducir a este grupo microbiano presentes en el agua. En el caso específico de la ciudad de Ayacucho, se evidenció una mayor remoción cuando se emplearon botellas y soportes pintados, lo que sugiere que el pintado de ambos elementos mejora la eficiencia del proceso, posiblemente al incrementar la absorción y reflexión de la radiación solar. En cambio, en la localidad de Quinua, donde también se observaron altos niveles de remoción, estos fueron ligeramente inferiores numéricamente, lo cual podría deberse a diferencias en las condiciones climáticas o en la intensidad de radiación solar entre ambas localidades. Los valores obtenidos en los tratamientos control (10,6 % en ambas localidades) reflejan una remoción mínima, atribuible únicamente a factores ambientales como muerte natural o la exposición indirecta a la luz. Esto respalda la conclusión de que, sin el efecto de la radiación solar, la inactivación bacteriana es muy limitada. En conjunto, la figura ocho pone de manifiesto la eficiencia del método SODIS (desinfección solar) para eliminar bacterias heterótrofas mesófilas viables, un parámetro crucial en la evaluación microbiológica de la calidad del agua. Los tratamientos que emplean botellas y soportes pintados durante la exposición solar alcanzan niveles de remoción elevados, reafirmando el potencial del SODIS como una alternativa sostenible y eficaz para comunidades con acceso restringido a tecnologías de tratamiento de agua convencionales. En este experimento de radiación solar, las botellas utilizadas fueron pintados de negro solo en la mitad, a diferencia de lo reportado en la literatura revisada, donde se pintaron toda la

botella (Ubomba-Jaswa *et al.*, 2019). Esta diferencia es significativa, ya que la botella pintada solo en la mitad mejora la eficiencia del proceso: la parte transparente permite el paso de los rayos UV-A, esenciales para la desinfección, mientras que la parte negra contribuye a una mayor absorción de calor, favoreciendo la termo-inactivación de las bacterias (Ubomba-Jaswa *et al.*, 2019). En comparación, las botellas completamente pintadas solo absorben la radiación solar, lo que incrementa la temperatura del agua, pero limita el paso de los rayos UV-A. El número de bacterias heterotróficas mesófilas viables al final del tratamiento estaría dentro de los rangos de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la norma del Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. Comparando con la literatura, García-Gil *et al.*, (2021) reportaron remociones de mesófilos viables de 98-99 % en comunidades rurales de México, valores cercanos a los de este estudio. Los autores destacan que la eficacia de SODIS puede disminuir en aguas con alta turbidez (>30 NTU), ya que reduce la penetración de UV-A y baja la remoción a un 90 %. Meierhofer *et al.*, (2021) indican que SODIS logra remociones de patógenos (incluidos mesófilos viables) de 99 % bajo condiciones óptimas (radiación solar >500 W/m², 6-8 horas). Los valores de la figura ocho (98,5 %-97,8 %) se sitúan en el rango inferior, lo que podría indicar que factores como la calidad del agua (materia orgánica, turbidez) afectaron la eficacia. Según García-Gil *et al.*, (2022), la radiación solar, especialmente la radiación UV-A, tiene un efecto germicida significativo en microorganismos presentes en el agua, lo que se ve potenciado por el uso de botellas de vidrio pintadas de colores oscuros, como el negro, que aumentan la absorción de calor y radiación. Según García-Gil *et al.*, (2022) sus resultados coinciden con los de Vivar *et al.*, (2020), quienes demostraron que las botellas pintadas de negro logran una mayor reducción de bacterias heterotróficas mesófilas viables en comparación con botellas transparentes, debido a la mayor temperatura alcanzada en el interior del recipiente. Por otro lado, estudios como el de McGuigan *et al.*, (2021) destacan que, aunque las botellas sin pintar permiten el paso directo de la radiación UV-A, su eficacia en la reducción de bacterias heterótrofos mesófilos viables es menor en comparación con las botellas pintadas de negro, especialmente en condiciones de baja intensidad solar. Esto se debe a que la pintura oscura no solo aumenta la temperatura del agua, sino que también reduce la reflexión de la luz, maximizando la exposición de los microorganismos a la radiación UV-A. Sin embargo, Joyce *et al.*, (2023) advierten que la eficacia del método SODIS puede variar según factores

como la turbidez del agua, la intensidad solar y el material de las botellas. En este sentido, las botellas de vidrio pintadas ofrecen una ventaja adicional al mantener una temperatura más estable y prolongada, lo que contribuye a la inactivación térmica de las bacterias heterotróficas mesófilas viables. No obstante, en condiciones de alta intensidad solar, las botellas sin pintar también pueden ser efectivas, aunque requieren un tiempo de exposición más prolongado para alcanzar resultados similares.

En la figura 10 se muestran los valores del efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de exposición y tiempo, sobre la viabilidad de coliformes totales. El gráfico evidencia una reducción significativa en los conteos de coliformes totales a medida que aumenta el tiempo de exposición. En el tiempo inicial (cero horas), los controles para la ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.) y la localidad de Quinua (3 275 m.s.n.m.) presentan valores superiores a 300 UFC/100 ml; mientras que, tras seis horas de exposición, tratamientos como las botellas pintadas reducen los conteos a niveles mucho más bajos. Esta tendencia indica que la radiación solar, optimizada mediante el uso de botellas y soportes pintados, es altamente efectiva para la inactivación de coliformes totales. En la literatura revisada, Ubomba-Jaswa *et al.*, (2022) reportaron que el método SODIS (Desinfección Solar) puede inactivar coliformes totales en más del 99.9 % tras seis horas de exposición a radiación solar, resultado consistente con los valores cercanos a cero observados en las botellas pintadas. Asimismo, García-García *et al.*, (2023) demostraron que el uso de superficies pintadas en recipientes SODIS mejora la inactivación de coliformes totales hasta un 99.98 %, gracias a una mayor absorción de radiación UV, lo que respalda la eficacia de los tratamientos pintados observada en este estudio.

En la figura 11 se presentan los valores del porcentaje de remoción del número de coliformes totales por efecto de la radiación solar en diferentes condiciones de exposición. Se observó que los tratamientos con botellas pintadas, a una altitud de 2 788 m. s. n. m. en la ciudad de Ayacucho y 3 275 m. s. n. m. en la localidad de Quinua, alcanzaron una remoción máxima del 100 %. Por otro lado, los tratamientos con soportes pintados mostraron una remoción del 99,6 % en la ciudad de Ayacucho y del 99,63 % en la localidad de Quinua. Las botellas y soportes sin pintar presentaron una menor remoción, con porcentajes de 99,15 % en la ciudad de Ayacucho y 98,75 % en la localidad de Quinua tras seis horas de exposición. Estos resultados confirman que la radiación solar es el factor

determinante en la remoción de coliformes totales. La gráfica evidencia una marcada diferencia entre los tratamientos con radiación solar y los controles sin exposición solar. Los controles en ambas localidades mostraron una remoción mínima del 10,6 %, lo que indica que, sin radiación solar, la reducción de coliformes totales es insignificante. En contraste, todos los tratamientos con radiación solar superaron el 98,75 % de remoción. Las botellas y soportes pintados en la ciudad de Ayacucho y la localidad de Quinua alcanzaron los valores más altos, demostrando que la combinación de botellas pintadas y radiación solar optimiza la eficacia del método. Comparaciones con estudios previos muestran resultados consistentes. Gizaw *et al.*, (2020) reportaron una remoción de coliformes totales del 98,5 % tras seis horas de exposición solar en botellas PET transparentes. En este estudio, las botellas pintadas en la ciudad de Ayacucho y la localidad de Quinua, con un 100 % de remoción, superan este valor, mientras que las botellas y soportes sin pintar en la localidad de Quinua (98,75 %) son comparables, lo que valida la efectividad del método SODIS en las condiciones experimentales. Mwangi (2015) encontró una remoción del 99 % de coliformes totales en Kenia tras seis horas de exposición solar, un valor inferior al obtenido con las botellas pintadas en la ciudad de Ayacucho y la localidad de Quinua (100 %). Sin embargo, Mwangi (2015) destacó que factores como la turbidez del agua pueden reducir la eficacia. Islam *et al.*, (2020) reportaron una remoción del 99,9 % de coliformes totales bajo condiciones óptimas de radiación solar ($>500 \text{ W/m}^2$). Los valores de las botellas pintadas en este estudio (100 %) son superiores, probablemente debido a la alta radiación solar en las localidades evaluadas. Criollo (2024) evaluó la desinfección solar en agua superficial en Perú, logrando una remoción del 98,46 % de coliformes totales en seis horas. Los tratamientos con botellas pintadas en este estudio (100 %) superan este valor, lo que podría atribuirse a diferencias en las condiciones experimentales, como la intensidad de la radiación solar o la transparencia de los recipientes. Meierhofer *et al.*, (2021) indican que el método SODIS logra remociones de hasta el 99,9 %, dependiendo de factores como la temperatura del agua ($>50 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y la radiación solar. Los resultados de este estudio (100 %) son superiores, lo que confirma la consistencia del método. Asimismo, Vivar *et al.*, (2020) señalan que el material de las botellas influye en la transmisión de la radiación UV, lo que afecta directamente la inactivación de coliformes totales. En su estudio, las botellas de PET mostraron mayor transmisión de UV en comparación con las de vidrio, lo que podría favorecer

la desinfección. Sin embargo, en este estudio, las botellas de vidrio pintadas demostraron ser igualmente efectivas, posiblemente debido a la combinación de retención de calor y exposición a la radiación UV.

En la figura 13 se muestran los valores de la remoción de coliformes totales por efecto de la radiación solar, durante seis horas y en diferentes condiciones de exposición, en relación con los límites máximos permisibles según el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, Ayacucho – Quinua, 2024. Los tratamientos con botellas pintadas y soportes sin pintar, tanto en la ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.) y la localidad de Quinua (3 275 m.s.n.m.), mostraron una remoción completa de coliformes totales, alcanzando 0 UFC/100 ml y cumpliendo con los niveles exigidos por la normativa sanitaria. Esta eliminación total puede atribuirse a una mayor eficiencia en la transmisión de la radiación solar, así como a condiciones ambientales óptimas. Según Sánchez-Tizapa *et al.* (2019), la altitud y la duración de la exposición son variables críticas en la eficacia del proceso, ya que niveles más altos de irradiación UV en zonas andinas incrementan significativamente la inactivación bacteriana, siempre que no existan obstrucciones físicas al paso de la luz. Por otro lado, los tratamientos con botellas sin pintar y soportes pintados lograron remociones parciales (1 UFC/100 ml), lo que evidencia que pequeñas modificaciones en los componentes físicos del sistema, como el tipo de soporte, pueden afectar la efectividad del tratamiento. Esto concuerda con lo reportado por Lalucat *et al.*, (2020), quienes señalan que la geometría, la reflectancia y el color del soporte influyen en la distribución de la radiación solar incidente, pudiendo amplificar o reducir la dosis total absorbida por el sistema.

En la figura 14 se muestran los valores del efecto de la radiación solar, en diferentes condiciones de exposición y tiempo, sobre la viabilidad de coliformes fecales. El gráfico revela una reducción significativa en los contenidos de coliformes fecales conforme aumenta el tiempo de exposición. En el tiempo inicial (cero horas), los controles tanto para la ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.) como para la localidad de Quinua (3 275 m.s.n.m.) registran valores cercanos a 150 UFC/100 ml. Sin embargo, después de seis horas de exposición, los tratamientos con botellas pintadas lograron reducir los conteos a niveles considerablemente más bajos. Esta tendencia indica que la radiación solar, optimizada mediante el uso de botellas pintadas, es altamente efectiva para la inactivación de coliformes fecales. En comparación con la literatura, McGuigan *et al.*, (2012) reportaron que

el método SODIS (*Solar Disinfection*) puede inactivar coliformes fecales en más del 99.9 % tras seis horas de exposición a radiación solar intensa ($>550 \text{ W/m}^2$) y con baja turbidez ($<15 \text{ NTU}$), un resultado consistente con los valores observados en las botellas pintadas. Polo-López *et al.*, (2019) refuerzan estos hallazgos al demostrar que el uso de botellas pintadas de negro incrementa la eficacia contra coliformes fecales hasta un 99,99 %, debido a una mayor absorción de radiación ultravioleta, lo que confirma la superioridad de los tratamientos con pintura. No obstante, los autores destacan que dicha eficacia depende de la intensidad de la radiación solar y de las condiciones del agua.

En la figura 15 se muestran los valores del porcentaje de remoción del número de coliformes fecales por efecto de la radiación solar en diferentes condiciones de exposición. Los tratamientos con botellas pintadas alcanzaron la mayor eficiencia, con una remoción del 100 % a una altitud de 2 788 m. s. n. m. en la ciudad de Ayacucho y de 3 275 m. s. n. m. en la localidad de Quinua. Los soportes pintados lograron una remoción del 100 % únicamente en la ciudad de Ayacucho, mientras que en la localidad de Quinua alcanzaron el 99,14 %. En contraste, los tratamientos con botellas y soportes sin pintar mostraron menor eficiencia, con valores de remoción del 99,19 % en la ciudad de Ayacucho y del 98,61 % en la localidad de Quinua tras seis horas de exposición. Esta remoción se atribuye al efecto combinado de la radiación UV-A y el aumento de temperatura inducido por los materiales utilizados. Estos resultados confirman que el método de desinfección solar (SODIS) logra una eliminación significativa de coliformes fecales, alcanzando el 100 % en las botellas pintadas en ambas localidades y en los soportes pintados en la ciudad de Ayacucho, superando ampliamente los controles sin exposición solar, que registraron una remoción de solo el 29,85 % en la ciudad de Ayacucho y el 31,6 % en la localidad de Quinua. Esto valida la utilidad práctica del método SODIS para la desinfección del agua. Las botellas y soportes pintados mostraron la mayor eficiencia, lo que indica que pintar estos materiales optimiza el proceso al concentrar mejor la radiación solar. Las diferencias observadas podrían atribuirse a factores ambientales como la intensidad de la radiación solar, la altitud, la temperatura ambiental y la turbidez del agua, que influyen directamente en la eficacia del método. Comparaciones con estudios previos respaldan estos hallazgos. Cordero (2019) reportó una remoción del 90 % de coliformes fecales en Guatemala usando botellas PET convencionales, mientras que Criollo (2024) alcanzó el 100 % en condiciones de

laboratorio en Perú. Los resultados de este estudio (100 % en botellas pintadas) coinciden con los de Criollo (2024) y sugieren que el uso de botellas pintadas incrementa la absorción de radiación solar y la temperatura, mejorando la inactivación microbiana. Esto es consistente con el hallazgo de Criollo (2024) de que temperaturas superiores a 45 °C potencian la desinfección. Los controles en la ciudad de Ayacucho y la localidad de Quinua, con remociones del 29,85 % y 31,6 %, respectivamente, reflejan una reducción bacteriana mínima, atribuible a procesos naturales como la incidencia esporádica de luz indirecta. Esto reafirma que, sin desinfección solar activa, la reducción de patógenos es insignificante. Por su parte, Herrera (2022) y Ubomba-Jaswa *et al.*, (2010) evaluaron sistemas SODIS mejorados con reflectores parabólicos y colectores parabólicos compuestos (CPC), logrando remociones del 100 % en 4 y 3 horas, respectivamente. La figura 15 muestra resultados similares (100 % en botellas pintadas en ambas localidades y soportes pintados en la ciudad de Ayacucho) a las 6 horas, pero con un sistema más simple. Esto sugiere que pintar las botellas y soportes es una alternativa viable a los sistemas CPC, que pueden ser más costosos y complejos, como señaló Herrera (2022). Sin embargo, los tiempos de exposición en este estudio (6 horas) son mayores que los reportados con CPC (3-4 horas), probablemente debido a una menor concentración de radiación UV. García-Gil *et al.*, (2021) reportaron remociones del 99-99,5 % en México, y Gizaw *et al.*, (2020) alcanzaron un 98-99 % en Etiopía, ambos usando SODIS convencional. La figura 15 muestra que los tratamientos en la ciudad de Ayacucho como en la localidad de Quinua (100 %) son más efectivos, probablemente debido al uso de botellas y soportes pintados que incrementan la temperatura y la radiación absorbida. Meierhofer *et al.*, (2021), en una revisión de más de 70 estudios, encontraron que las tasas de reducción de coliformes fecales superan el 99 % en la mayoría de los casos, pero resaltaron que factores como la intensidad de la radiación solar, la temperatura ambiente y la turbidez del agua influyen significativamente en los resultados.

En la figura 17 se muestran los valores de la remoción de coliformes fecales por efecto de la radiación solar, durante seis horas y en diferentes condiciones de exposición, en relación con los límites máximos permisibles según el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, Ayacucho – Quinua, 2024. Los tratamientos que emplearon botellas y soportes pintados en la ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.), así como el uso de botellas pintadas en la localidad de Quinua (3 275

m.s.n.m.), lograron eliminar completamente los coliformes fecales, alcanzando una concentración de 0 UFC/100 ml y cumpliendo con los estándares microbiológicos exigidos para agua destinada al consumo humano. Estos resultados evidencian la efectividad del método SODIS cuando se aplican condiciones óptimas de radiación solar y un tiempo de exposición adecuado. De acuerdo con Berney *et al.*, (2018), la combinación de radiación UV-A y temperaturas superiores a los 45 °C provoca daños estructurales irreversibles en el ADN bacteriano, lo que conduce a una inactivación eficiente de los microorganismos. Sin embargo, en la localidad Quinua, el tratamiento con soporte pintado presentó una leve presencia de coliformes fecales (1 UFC/100 ml), mientras que los tratamientos con botellas y soportes sin pintar mostraron una carga microbiana mayor (2 UFC/100 ml). En este contexto, Alvarado-Tapia *et al.*, (2019) destacan la importancia de una exposición uniforme a la radiación solar, ya que la presencia de sombras o el empleo de materiales con baja reflectancia puede reducir la eficacia germicida sobre los microorganismos.

El método SODIS (Desinfección Solar del Agua) es una técnica efectiva para purificar el agua en comunidades con recursos limitados. Tradicionalmente, se emplean botellas de PET debido a su disponibilidad y bajo costo. Sin embargo, estudios recientes indican que las botellas de vidrio podrían ser más eficientes y duraderas para este propósito. Una de las principales ventajas de las botellas de vidrio sobre las de PET es su mayor resistencia a la degradación por la radiación ultravioleta (UV). Según Ubomba-Jaswa *et al.*, (2019), las botellas de PET pueden sufrir degradación con el tiempo debido a la exposición prolongada a la radiación solar, lo que puede reducir su transparencia y, por ende, su eficacia en la transmisión de la radiación UV. En contraste, el vidrio es un material más estable y menos susceptible a la degradación, lo que garantiza una transmisión óptima de la radiación UV durante un período más prolongado. Además, las botellas de vidrio pueden ser pintadas o tratadas para mejorar su eficiencia en la desinfección solar. Por ejemplo, Ubomba-Jaswa *et al.*, (2019) demostraron que las botellas de vidrio pintadas de negro aumentan la absorción de radiación solar, lo que eleva la temperatura del agua y acelera la inactivación de microorganismos. Este efecto térmico es particularmente importante en la eliminación de bacterias termotolerantes, como *Escherichia coli*, que son más sensibles a las altas temperaturas. En comparación, las botellas de PET pintadas de negro pueden presentar problemas de durabilidad y liberación de sustancias químicas, lo que no

ocurre con el vidrio. El método SODIS es una técnica utilizada para desinfectar el agua en comunidades con recursos limitados. Si bien las botellas de PET son las más comunes por su disponibilidad y bajo costo, estudios recientes han señalado posibles riesgos de toxicidad en comparación con las botellas de vidrio. Una de las principales preocupaciones con las botellas de PET es la posible liberación de sustancias químicas, como el antimonio y los ftalatos, durante la exposición prolongada a la radiación solar y al calor. Según Ubomba-Jaswa *et al.*, (2019), el antimonio, un catalizador utilizado en la producción de PET, puede migrar al agua almacenada, especialmente a temperaturas elevadas. Estudios como los de Chapa-Martínez *et al.*, (2016) han demostrado que la concentración de antimonio en el agua almacenada en botellas de PET puede superar los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) cuando se expone a altas temperaturas, lo que representa un riesgo potencial para la salud. Además, los ftalatos, que son compuestos químicos utilizados para aumentar la flexibilidad del plástico, también pueden liberarse en el agua almacenada en botellas de PET. Según Diamanti-Kandarakis *et al.*, (2023), la exposición a ftalatos se ha asociado con efectos adversos para la salud, incluyendo alteraciones endocrinas y problemas reproductivos. Aunque las concentraciones de ftalatos liberados pueden ser bajas, su acumulación a largo plazo podría representar un riesgo significativo para la salud, especialmente en comunidades que dependen del método SODIS como principal fuente de agua potable. En contraste, las botellas de vidrio no presentan estos riesgos de toxicidad. El vidrio es un material inerte que no libera sustancias químicas en el agua, incluso cuando se expone a altas temperaturas y radiación solar. Según McGuigan *et al.*, (2023), esta característica hace que las botellas de vidrio sean una opción más segura para el almacenamiento y desinfección del agua, especialmente en condiciones de alta exposición solar.

VI. CONCLUSIONES

1. El agua tratada con radiación solar mostró una mayor eficacia en la remoción de bacterias heterotróficas mesófilas viables al emplear frascos y soportes pintados, alcanzando tasas de 98,5 % a 97,8 % en la ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.) y de 97,5 % a 95,1 % en la localidad de Quinua (3 275 m.s.n.m.). En los frascos sin pintar se obtuvo una menor remoción: 95,0 % en la ciudad de Ayacucho y 92,9 % en la localidad de Quinua. Los controles alcanzaron solo un 10,6 % de remoción en ambas localidades. Estadísticamente, hay una diferencia significativa entre los tratamientos con el control, según la prueba de Duncan.
2. El tratamiento más eficiente para la remoción de coliformes totales en agua expuesta a radiación solar fue el uso de botellas pintadas, que alcanzó una remoción del 100 % tanto en la ciudad de Ayacucho (2 788 m. s. n. m.) como en la localidad de Quinua (3 275 m. s. n. m.). Los soportes pintados lograron una eficiencia del 99,6 % en la ciudad de Ayacucho y del 99,63 % en la localidad de Quinua. Las botellas y soportes sin pintar presentaron una remoción del 99,15 % en la ciudad de Ayacucho y del 98,75 % en la localidad de Quinua. En contraste, los controles sin exposición solar alcanzaron solo un 10,6 % de remoción en ambas localidades. La prueba de Duncan reveló una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos y los controles.
3. Las botellas pintadas de negro lograron una remoción del 100 % de coliformes fecales en agua expuesta a radiación solar, tanto en la ciudad de Ayacucho (2 788 m. s. n. m.) como en la localidad de Quinua (3 275 m. s. n. m.). Los soportes pintados alcanzaron una remoción del 100 % únicamente en la ciudad de Ayacucho, mientras que en la localidad de Quinua lograron un 99,14 %. Las botellas sin pintar presentaron valores de remoción del 99,19 % en la ciudad de Ayacucho y del 98,61 % en la localidad de Quinua. En

contraste, los controles sin exposición solar registraron una remoción del 29,85 % en la ciudad de Ayacucho y del 31,6 % en la localidad de Quinua. La prueba de Duncan reveló una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos y los controles.

4. La exposición de frascos con agua a la radiación solar, a diferentes altitudes (Ayacucho: 2 760 m.s.n.m. – Quinua: 3 275 m.s.n.m.), no mostraron diferencias significativas en la capacidad de desinfección.
5. Bajo las condiciones de exposición a radiación solar en la ciudad de Ayacucho y la localidad de Quinua, el uso de frascos pintados permitió reducir la carga microbiana en el agua hasta alcanzar concentraciones dentro de los límites normativos establecidos según el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA.

VII. RECOMENDACIONES

- Analizar en futuros estudios si la humedad ambiental influye en el sistema de tratamiento utilizando el método de radiación solar, asegurando de esta manera que no sea un atributo que perjudique los resultados del estudio.
- Realizar investigaciones en relación a métodos alternativos para la desinfección de agua que puedan combinarse con el método de radiación solar en las épocas lluviosas o de baja radiación UV.
- Realizar futuras investigaciones para establecer si el volumen del agua utilizada en el tratamiento afecta los resultados del procedimiento, además de si la inclinación de las botellas es un rasgo que altere los resultados.
- Promover el método de desinfección solar como un método alternativo en condiciones de desastres a nivel nacional que permita a la población obtener agua sanitariamente segura.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado-Tapia, R., Espinosa-González, A. y Ramírez-Sánchez, M. (2019). Influencia del color de los frascos y la reflectancia del soporte en la eficiencia de la desinfección solar del agua en entornos rurales. *Solar Energy*, 190, 450–457. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.025>
- APHA. (2017). Asociación Estadounidense de Salud Pública. Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales (23.^a ed.). *American Water Works Association*.
- Astudillo, F. (2009). Los materiales de construcción y su aporte al mejoramiento del confort térmico en viviendas periféricas de la ciudad de Loja. (Tesis de grado de arquitecto). <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1039/3/UTPL>
- Aurazo de Zumaeta, M. (2004). Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida. Lima.
- Beck, S. E., Wright, H. B., Hargy, T. M., Larason, T. C. y Linden, K. G. (2015). Espectros de acción para la validación de la desinfección de patógenos en sistemas ultravioleta (UV) de presión media. *Investigación del agua*, 27-37.
- Berney, M., Weilenmann, H. U. y Egli, T. (2018). Mecanismos de la desinfección solar y el papel del oxígeno en la foto inactivación de bacterias fecales. *Water Research*, 143, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.055>
- Calsin, K. (2016). Calidad Física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Tarapachi III de la ciudad de Juliaca, Puno 2016. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Carrillo, E. y Lozano, A. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. [Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Microbióloga Industrial]. Facultad de Ciencias. Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8205>.
- CDC. (2020). Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. Radiación ultravioleta (UV). Recuperado de <https://www.cdc.gov>
- CEPIS. (1983). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Guía para la evaluación de laboratorios bacteriológicos de análisis de agua.
- Chapa-Martínez, C. A., Hinojosa-Reyes, L., Hernández-Ramírez, A., Ruiz-Ruiz, E., Maya-Treviño, L., & Guzmán-Mar, J. L. (2016). Una evaluación de la migración de antimonio del plástico de tereftalato de polietileno (PET) utilizado para agua potable embotellada. *Science of The Total Environment*, 565, 511-518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.184>
- Cordero López, F. J. (2019). Evaluación de la desinfección solar de agua en la comunidad rural de San Pedro, Guatemala, para la eliminación de coliformes fecales. Universidad del Valle de Guatemala.

- Criollo Isidro, H. K. (2024). Eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de coliformes totales y termotolerantes del agua superficial de la Quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Diamanti-Kandarakis, E., Bourguignon, J. P., Giudice, L. C., Hauser, R., Prins, G. S., Soto, A. M., Zoeller, R. T., & Gore, A. C. (2023). Sustancias químicas disruptivas endocrinas: Una actualización sobre los riesgos para la salud humana y la exposición ambiental. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 11(2), 132-150. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(22\)00331-9](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(22)00331-9)
- Diffey, B. L. (1991). Efectos de la radiación ultravioleta solar en sistemas biológicos. *Physics in Medicine & Biology*, 36(3), 299-328. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/36/3/001>
- Diffey, B. L. (2002). Fuentes y medición de la radiación ultravioleta. *Methods*, 28(1), 4-13. [https://doi.org/10.1016/S1046-2023\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/S1046-2023(02)00204-9)
- DIGESA. (2010). Dirección General de Salud Ambiental. calidad de agua de consumo humano. lima. 2010; disponible en: http://www.digesa.sld.pe/depa/informes_tecnicos/grupo%20de%20uso%201.pdf
- DIGESA. (2014). Dirección General de Salud Ambiental. Vigilancia de la calidad de agua de consumo humano, 2014. Ayacucho; 2014.
- Edberg, S. C., Rice, E. W., Karlin, R. J., & Allen, M. J. (2000). *Escherichia coli*: El mejor indicador biológico de agua potable para la protección de la salud pública. *Journal of Applied Microbiology*, 88(S1), 106S-116S.
- Feria, J., Álvarez, R., & Rodríguez, J. (2020). Desinfección de agua cruda con radiación solar (SODIS) para la remoción de coliformes totales. *Revistas Espacios*, 41(38), 82–90.
- Fontal, B. (2005). El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones. Venezuela: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química
- García-García, A., Fernández-Ibáñez, P., & Polo-López, MI (2023). Avances en la desinfección solar del agua con materiales fotocatalíticos mejorados. *Investigación del agua*, 230, 119456. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119456>
- García-Gil, Á., García-Muñoz, R. A., Martínez-García, A., Polo-López, M. I., Wasihun, A. G., Teferi, M., Asmelash, T., Conroy, R., McGuigan, K. G., & Marugán, J. (2022). Desinfección solar de agua en contenedores de gran volumen: Del laboratorio al campo. Un estudio de caso en Tigray, *Etiopía. Scientific Reports*, 12(1), 18933.
- García-Gil, A., Martínez-Cornejo, V., & Pérez-Vega, S. (2021). Eficacia de la desinfección solar en comunidades rurales de México: Reducción de coliformes fecales y mesófilos viables. *Revista Internacional de Sostenibilidad Ambiental*, 15(3), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.risa.2021.03.002>
- Giannakis, S., Darakas, E., y Escalas-Cañellas, A. (2022). Desinfección solar de aguas residuales tratadas: Un enfoque sostenible para pequeñas comunidades en Grecia. *Journal of Environmental Management*, 305, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114123>

- Gizaw, Z., Gebrehiwot, M., y Teka, A. (2020). Desinfección solar del agua potable en zonas rurales de Etiopía: Efectividad contra bacterias coliformes. *Journal of Water and Health*, 18(4), 567-576. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.123>
- Gómez, M. L. (2018). Efectividad del método SODIS en la reducción de coliformes totales en comunidades rurales de Perú (Tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Gutiérrez, M. (2018). La evaluación del agua subterránea ha sido una tarea que ha adquirido gran importancia en las últimas décadas en nuestro país, como consecuencia del incremento de la demanda por el recurso. De los estudios realizados, el INRENA calcula que en ocho valles. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Hansen, E., Nilsson, N. H., Lithner, D., & Lassen, C. (2010). Sustancias peligrosas en materiales plásticos. Agencia de Protección Ambiental de Dinamarca.
- Herrera Méndez, J. P. (2022). Uso de sistemas de desinfección solar con reflectores parabólicos para la eliminación de coliformes totales en fuentes de agua contaminadas. Universidad de Costa Rica.
- IGN. (2023). Instituto Geográfico Nacional del Perú. Coordenadas geográficas de Quinua, Ayacucho. Recuperado de [URL del sitio oficial, si está disponible].
- Islam, M. S., Mahmud, Z. H., e islam, M. T. (2020). Desinfección solar del agua potable en Bangladesh: Una solución práctica para áreas rurales. *Journal of Applied Microbiology*, 129(5), 1234-1245. <https://doi.org/10.1111/jam.14789>
- Jagger, J. (1967). Introducción a la investigación en fotobiología ultravioleta. Acantilados de Englewood, Nueva Jersey: *Prentice-Hall Inc.*
- Joyce, T. M., McGuigan, K. G., Conroy, R. M., Gillespie, J. B., & Elmore-Meegan, M. (2023). Desinfección solar de agua (SODIS): Una revisión global de la implementación y eficacia a nivel doméstico. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 9(3), 543-565.
- Lalucat, J., Martínez, M. y Soler, J. (2020). Impacto de las características de los frascos y los materiales de soporte en la eficacia de la desinfección solar del agua. *Journal of Environmental Management*, 265, 110515. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110515>
- Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2019). Aparición de nano plásticos en el medio ambiente y posible impacto en la salud humana. *Environmental Science & Technology*, 53(4), 1748-1765. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512>
- Lilved, H., Landfald, B. (2000). Efectos de la luz de alta intensidad sobre bacterias patógenas de peces irradiadas y no irradiadas con ultravioleta. *Investigación del agua*. 34(2): 481-486.
- Madronich, S., McKenzie, R. L., Björn, L. O., & Caldwell, M. M. (1998). Cambios en la radiación ultravioleta biológicamente activa que alcanza la superficie terrestre. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 46(1-3), 5-19. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(98\)00182-1](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(98)00182-1)
- Mandujano, M. A. (2012). Biología, Ecología e Investigación Sobre el Langostino de Río *Macrobrachium carcinus*. *Linnaeus, Palibrio*.

- McGuigan, K. G., Conroy, R. M., Mosler, H. J., du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E. y Fernández-Ibáñez, P. (2012). Desinfección solar de agua (SODIS): Una revisión desde el laboratorio hasta la implementación práctica. *Revista de Materiales Peligrosos*, 235, 29-46. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.02.053>
- McGuigan, K. G., Joyce, T. M., Conroy, R. M., Gillespie, J. B., & Elmore-Meegan, M. (2021). Desinfección solar de agua (SODIS): Una revisión desde el laboratorio hasta el tejado. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 126127. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126127>
- Meierhofer, R., & Landolt, G. (2009). Factores que apoyan el uso sostenido de la desinfección solar del agua: Experiencias de un programa global de promoción y difusión. SANDEC/EAWAG. Recuperado de <https://www.sodis.ch>
- Meierhofer, R., Wegelin, M., y Canonica, S. (2021). Desinfección solar del agua: Una revisión de la evidencia y direcciones futuras. *Environmental Science & Technology*, 55(12), 7896-7908. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01234>
- Mejía, A., Castillo, O., & Vera, R. (2016). Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina. In *Agua para el desarrollo*.
- MINSA. (2010). Ministerio de Salud del Perú. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Perú.
- Mwangi, J. K. (2015). Efectividad de la desinfección solar (SODIS) en la reducción de coliformes totales en zonas rurales de Kenia (Tesis de maestría). Universidad de Nairobi, Nairobi, Kenia.
- Nandwani, S. (2005). Energía Solar conceptos básicos y su utilización. Laboratorio de Energía Solar. Departamento de Física, Universidad Nacional; Heredia, Costa Rica. http://www.solartronic.com/download/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf
- Narayanan, D. L., Saladi, R. N., & Fox, J. L. (2010). Revisión: Radiación ultravioleta y cáncer de piel. *International Journal of Dermatology*, 49(9), 978-986.
- NASA. (s.f.). Ondas infrarrojas. Recuperado de <https://www.nasa.gov>
- Oguma, K., Kita, R., Sakai, H., Murakami, M. y Takizawa, S. (2018). Aplicación de diodos emisores de luz UV a sistemas de desinfección de agua por lotes y de flujo continuo. Desalinización.
- OMS. (2008). Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud. [Internet]. [citado el 5 junio de 2022]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://emergencymanual.who.int/sites/g/files/tmzbd1956/files/2022-11/9789243549958-spa.pdf>
- OMS. (2022). Organización Mundial de la Salud. Índice UV solar global: Una guía práctica. Recuperado de <https://www.who.int>
- ONU. (2015). Organización de las Naciones Unidas. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Asamblea General, 15900, 40.

- Osorio Robles, F., Torres Rojo, J. C., y Sánchez Bas, M. (2011). Tratamiento de Aguas para la Eliminación de Microorganismos y Agentes Contaminantes. España: Diaz de Santos.
- Pacori, K. (2018). "Calidad Fisicoquímico y Bacteriológica del Agua en la zona de captación de la Comunidad Hercca, sicuani-Canchis-Cusco". (Tesis de Grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Papadopoulos, A. (2023). Desinfección solar del agua de pozo: Eficiencia y aplicaciones prácticas en zonas rurales de Grecia (Tesis de maestría). Universidad de Atenas, Grecia.
- Pérez Niño, A. K., & Wilches Martínez, T. del C. (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Turbaco – Bolívar, Caribe colombiano [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Bolívar]. Repositorio UTB. <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0067155.pdf>
- Polo-López, MI, Fernández-Ibáñez, P., y Garcia-Fernandez, I. (2019). Desinfección solar mejorada del agua mediante materiales fotocatalíticos: Avances y desafíos recientes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 240, 287-301. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.08.052>
- Rahman, M. S. (2020). Desinfección solar del agua como solución de bajo costo para comunidades rurales en Bangladesh (Tesis de maestría). Universidad de Dhaka, Bangladesh.
- Ramos, A. (2016). "Evaluación Microbiológica y Físico-Química de la Calidad del Agua para Consumo Humano de La Junta Administradora de Agua Potable Galten – Guilbut Ubicada en El Cantón Chambo". (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador.
- Rose, R. E., Geldreich, E. E. y Litsky, W. (1975). Método mejorado de filtración por membrana para el análisis de coliformes fecales. *Microbiología Aplicada*, 29(4), 532-536. <https://doi.org/10.1128/am.29.4.532-536.1975>
- Sánchez-Tizapa, R., López-Meza, A. R., & Luna-Pabello, V. M. (2019). Evaluación de la eficiencia del proceso SODIS en comunidades rurales de alta montaña. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 245–253. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.09>
- Sastry, S. K., Datta, A. K., Worobo, R. W. (2000). Luz ultravioleta. *Revista de ciencia de los alimentos. Suplemento: Cinética de inactivación microbiana para tecnologías alternativas de procesamiento de suelos*. 65(58):90-92.
- SODIS. (2005). Guía de aplicación de desinfección Solar del Agua. Fundación SODIS, América Latina, y Martín Zevallos. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/eawag_sodis_desinfeccion_solar_del_agua_2005.pdf
- Sonntag, C.; Schuchmann, H-P. (1992). Desinfección UV del agua potable y formación de subproductos: algunas consideraciones básicas. *J Agua SRT–Aqua*, vol. 41(2):67-74.
- Stevens, C., Kanh, V. A., Lu, Y. J., Wilson, C. L., Pusey, P. L., Kabwe, M. K., Igwegbe, E. C., Chalutz, E., Droby, S. (1998). Los efectos germicidas y herméticos de la luz UV-C sobre la reducción de la podredumbre parda y la microflora de levaduras de los melocotones. *Protección de cultivos*. 17(1): 75-84

- Tekle, A. (2017). Análisis comparativo de SODIS y la ebullición para la desinfección del agua en zonas rurales de Etiopía (Tesis de maestría). Universidad de Addis Ababa, Addis Abeba, Etiopía.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2022). Microbiología: Una introducción (13ª ed.). Pearson.
- Ubomba-Jaswa, E., Fernández-Ibáñez, P. y McGuigan, K. G. (2022). Desinfección solar de agua: Avances recientes y aplicaciones de campo. *Ciencia y Tecnología Ambiental*, 56(12), 7890-7902. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c08734>
- Ubomba-Jaswa, E., Fernández-Ibáñez, P., Navntoft, C., Polo-López, M. I., & McGuigan, K. G. (2010). Investigación de la eficiencia de inactivación microbiana de un reactor de desinfección solar (SODIS) de 25 L mejorado con un colector parabólico compuesto (CPC) para uso doméstico. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85(8), 1028-1037. <https://doi.org/10.1002/jctb.2387>
- Ubomba-Jaswa, E., Fernández-Ibáñez, P., y McGuigan, K. G. (2019). Mejora de la desinfección solar con recubrimientos reflectantes: Un estudio de caso en Sudáfrica. *Water Research*, 165, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114123>
- UNESCO. (2019). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. En *El sabio aprendizaje de Liu Zhi* (Vol. 1).
- USGS. (2023). Servicio Geológico de los Estados Unidos. ¿Qué es el agua? Recuperado de <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/what-water>
- Vivar, M., Pichel, N., Fuentes, M., & Martínez, O. (2020). Desinfección solar (SODIS) de *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. y *Salmonella* spp.: Impacto de cielos parcialmente nublados y tipo de contenedor. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(9), 2473-2483. <https://doi.org/10.1039/D0EW00382A>
- Wegelin, M., Canonica, S., Mechsner, K., Fleischmann, T., Pesaro, F., & Metzler, A. (1994). Desinfección solar del agua: Alcance del proceso y análisis de experimentos de radiación. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 43(4), 154-169. <https://doi.org/10.2166/aqua.1994.0003>
- Westerhoff, P., Prapaipong, P., Shock, E., & Hillaireau, A. (2008). Lixiviación de antimonio del tereftalato de polietileno (PET) utilizado en botellas de agua potable. *Water Research*, 42(3), 551-556. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.048>
- Yajima, H., Takao, M., Yasuhira, S., Zhao, J. H., Ishii, C., Inoue, H., Yasui, A. (1995). Un gen eucariota que codifica una endonucleasa que repara específicamente el daño del ADN por la luz ultravioleta. *La revista EMBO*. 14(10): 2393-2399.
- Zegarra Chávez D. (2016) Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del manantial Huañambra en José Gálvez-Celendín [tesis]. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

ANEXOS

Anexo 1. Estructura de lámina de zinc (calamina) para soporte de botellas destinadas a la exposición solar, Ayacucho – Quinua, 2023.



Anexo 2. Llenado de las botellas de vidrio de capacidad de dos litros con material de estudio, Ayacucho - Quinoa, 2023.



Anexo 3. Botellas colocadas sobre el soporte de lámina de zinc (calamina) para exposición a la radiación solar, Ayacucho – Quinoa, 2023.



Ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.)



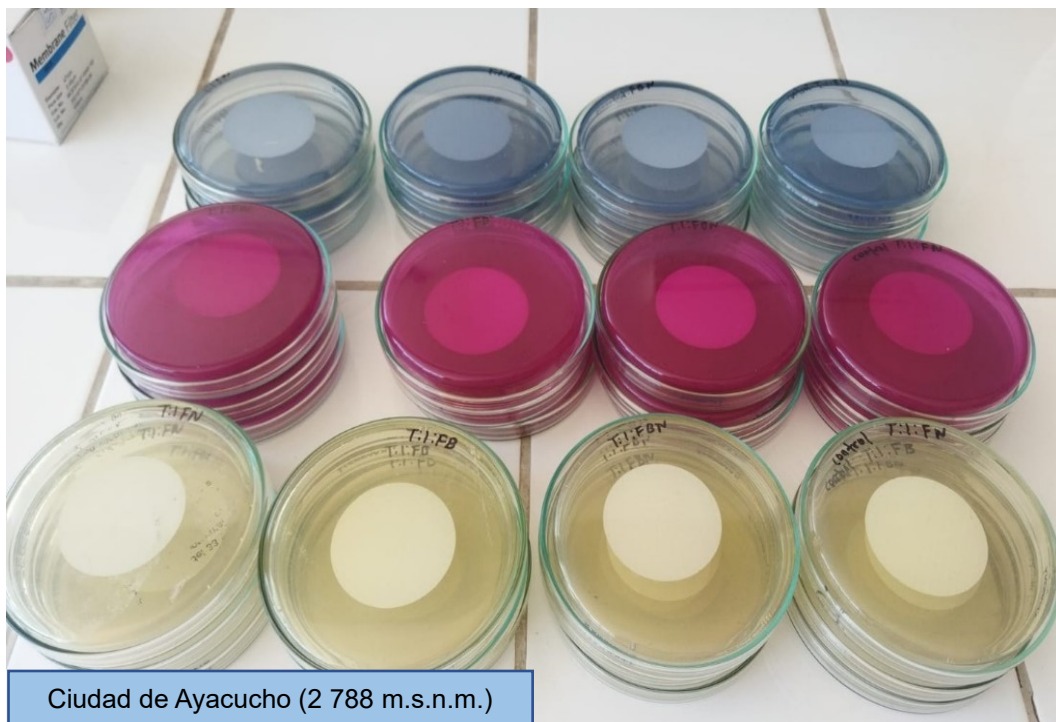
Ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.)

Anexo 4. Una vez transcurridas las dos, cuatro y seis horas, se extraen al azar 3 botellas de cada plataforma, Ayacucho – Quinua, 2023.



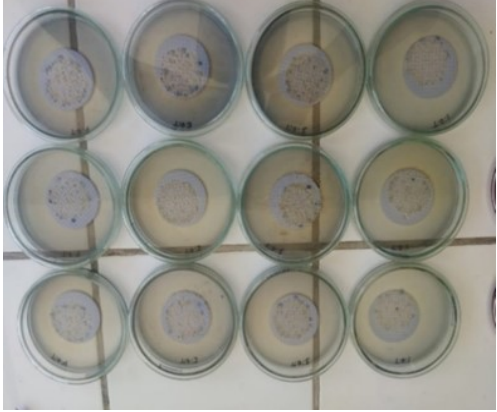
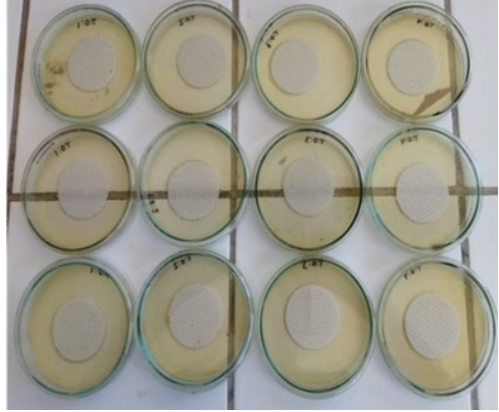
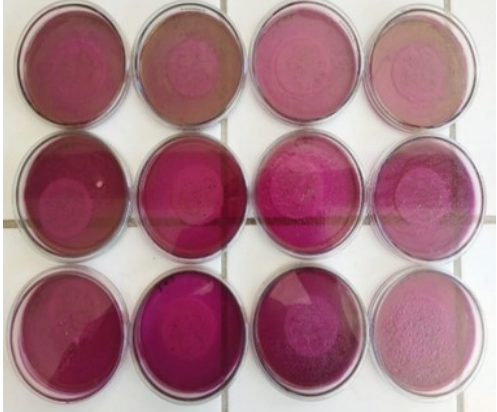
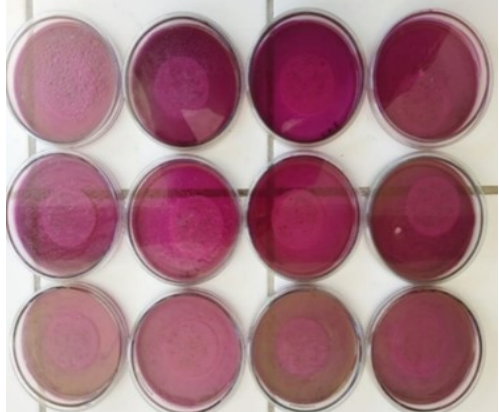
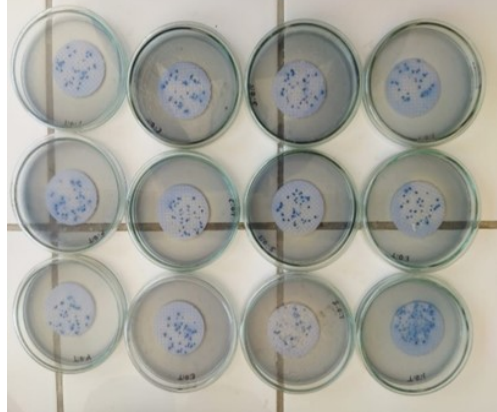
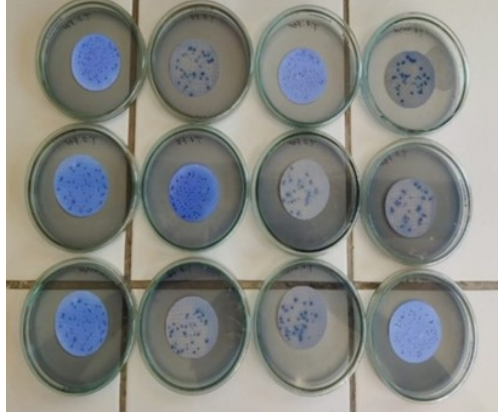
Ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.)

Anexo 5. Numeración de bacterias por la técnica de filtro de membrana, Ayacucho – Quinua, 2023.

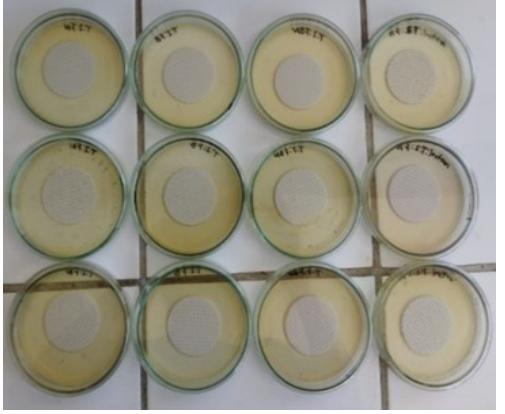
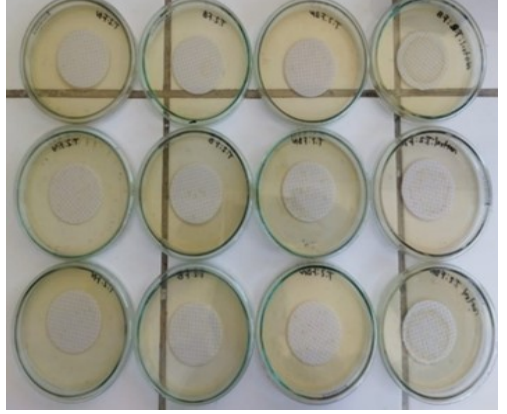
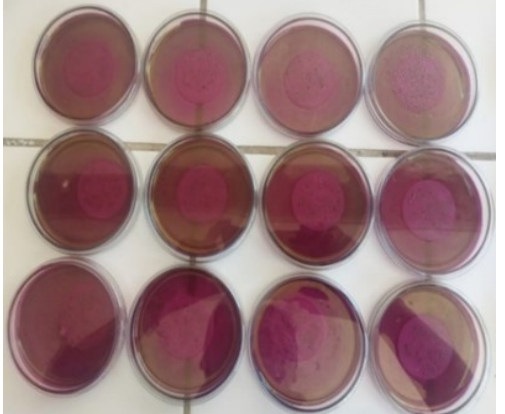
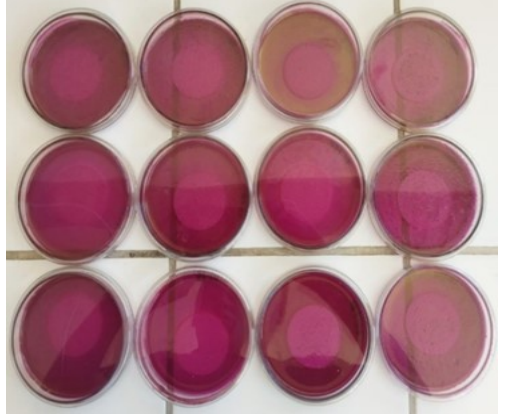
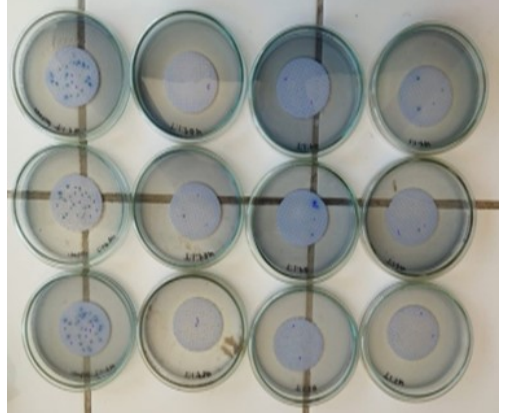
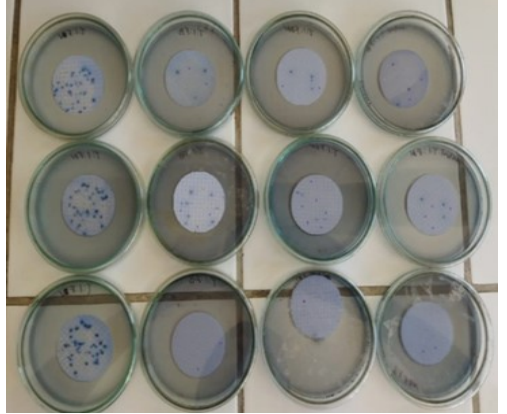


Ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.)

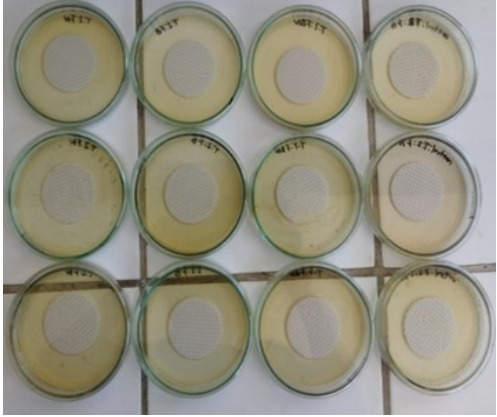
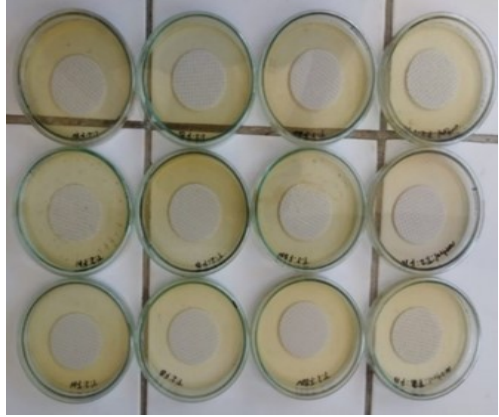
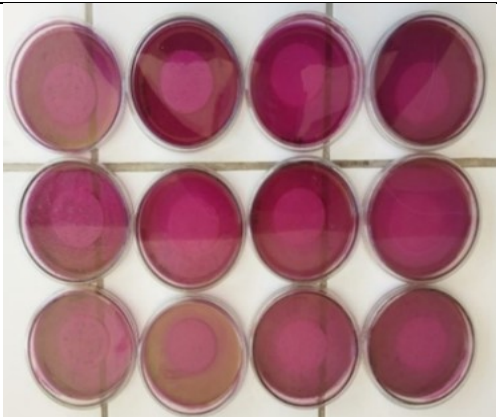
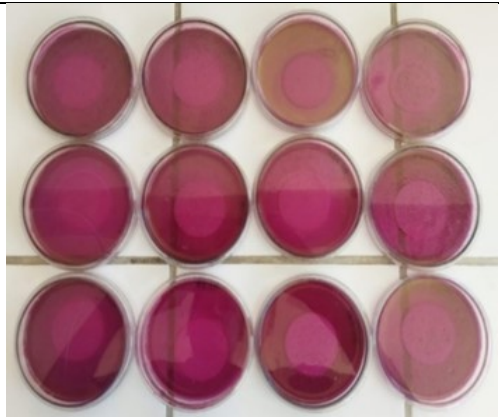
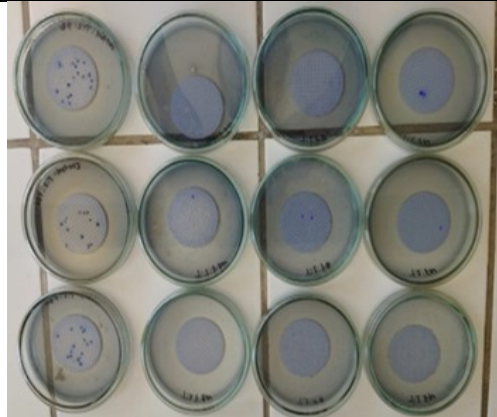
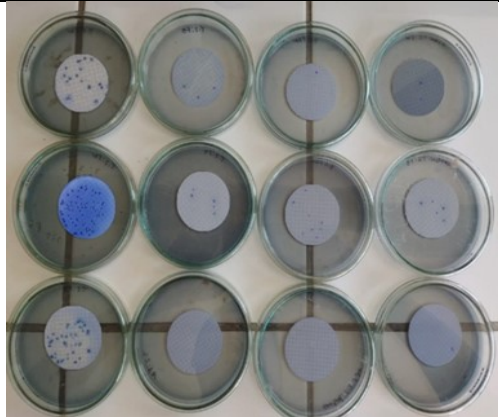
Anexo 6. Crecimiento de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento "0", Ayacucho – Quinua, 2023.

Laboratorio de Microbiología Ambiental	Centro de Salud de Quinua
	
Bacterias heterótrofas mesófilos viables	Bacterias heterótrofas mesófilos viables
	
Coliformes totales	Coliformes totales
	
Coliformes fecales	Coliformes fecales

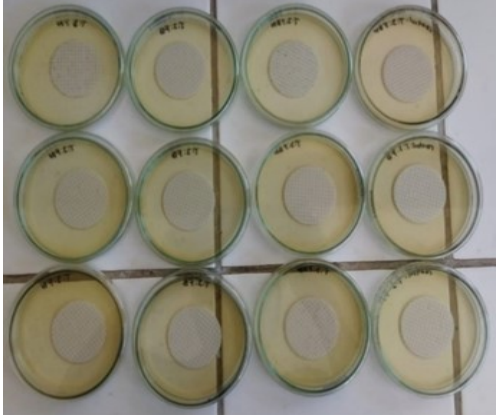
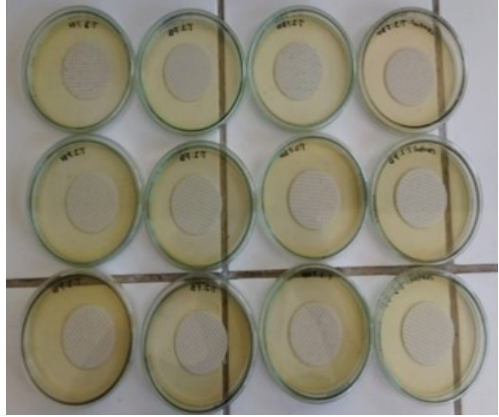
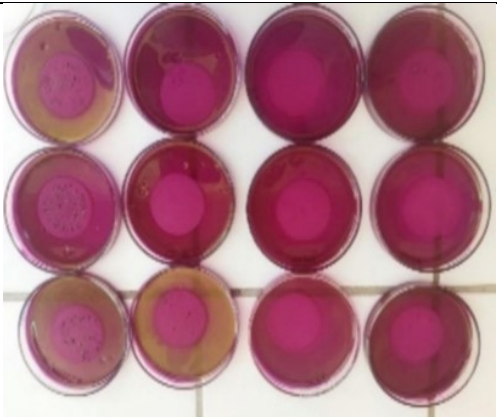
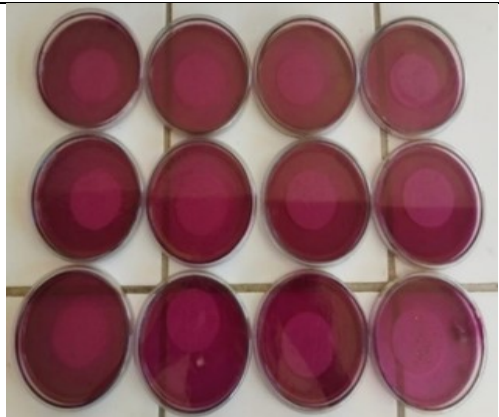
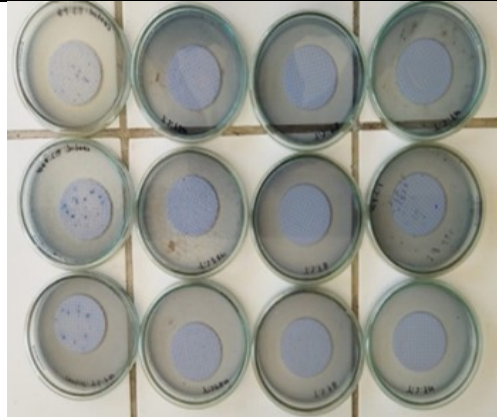
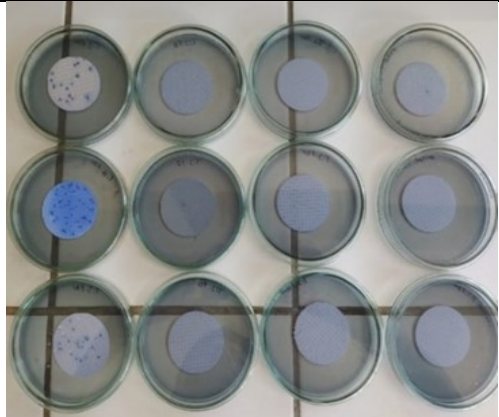
Anexo 7. Crecimiento de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento "1", Ayacucho – Quinua, 2023.

Laboratorio de Microbiología Ambiental	Centro de Salud de Quinua
	
Bacterias heterótrofas mesófilos viables	Bacterias heterótrofas mesófilos viables
	
Coliformes totales	Coliformes totales
	
Coliformes fecales	Coliformes fecales

Anexo 8. Crecimiento de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento "2", Ayacucho – Quinua, 2023.

Laboratorio de Microbiología Ambiental	Centro de Salud de Quinua
	
Bacterias heterótrofas mesófilos viables	Bacterias heterótrofas mesófilos viables
	
Coliformes totales	Coliformes totales
	
Coliformes fecales	Coliformes fecales

Anexo 9. Crecimiento de bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento "3", Ayacucho – Quinua, 2023.

Laboratorio de Microbiología Ambiental	Centro de Salud de Quinua
	
Bacterias heterótrofas mesófilos viables	Bacterias heterótrofas mesófilos viables
	
Coliformes totales	Coliformes totales
	
Coliformes fecales	Coliformes fecales

Anexo 10. Datos de los tratamientos con radiación solar en distintos tiempos y con tres repeticiones, Ayacucho – Quinua, 2023.

tratamiento	Bacterias heterotróficas mesófilas viables /ml															
	Exposición en (horas)															
	Tiempo "0"				Tiempo "1"				Tiempo "2"				Tiempo "3"			
	Repetición				Repetición				Repetición				Repetición			
	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$
FSP-SP.A	270	280	303	284	63	46	16	42	10	30	6	15	3	10	6	6
FSP-SSP.A	280	256	246	261	23	26	16	22	6	16	16	13	6	16	16	13
FP-SSP.A	270	246	293	270	46	36	30	37	13	10	20	14	3	3	6	4
FSP-SP.Q	256	263	280	266	56	63	46	55	30	23	20	24	16	10	13	13
FSP-SSP.Q	230	263	243	245	30	46	53	43	16	23	26	22	13	16	23	17
FP-SSP.Q	246	266	256	256	40	30	50	40	13	10	13	12	6	3	10	6
C.A	300	295	305	300	288	283	293	288	279	275	284	279	268	264	273	268
C.Q	298	303	294	298	286	291	282	286	277	282	274	278	266	271	263	267

tratamiento	Coliformes totales /100ml															
	Exposición en (horas)															
	Tiempo "0"				Tiempo "1"				Tiempo "2"				Tiempo "3"			
	Repetición				Repetición				Repetición				Repetición			
	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$
FSP-SP.A	263	250	280	264	36	17	10	17	0	0	3	1	0	3	0	1
FSP-SSP.A	250	213	223	229	24	13	11	6	3	6	0	3	3	0	3	2
FP-SSP.A	260	240	230	243	50	16	13	26	3	3	6	4	0	0	0	0
FSP-SP.Q	263	270	250	261	16	26	40	27	10	6	13	9	0	3	0	1
FSP-SSP.Q	236	230	256	241	46	40	50	45	10	6	10	8	3	3	3	3
FP-SSP.Q	240	230	266	245	36	23	13	24	0	3	0	1	0	0	0	0
C.A	300	310	315	308	288	298	302	296	279	289	293	287	268	277	282	275
C.Q	320	321	330	324	307	308	317	310	298	299	307	301	286	287	295	289

tratamiento	Coliformes fecales /100ml															
	Exposición en (horas)															
	Tiempo "0"				Tiempo "1"				Tiempo "2"				Tiempo "3"			
	Repetición				Repetición				Repetición				Repetición			
	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$
FSP-SP.A	156	123	116	132	10	3	6	6	3	0	0	1	0	0	0	0
FSP-SSP.A	136	123	130	130	6	10	10	9	3	3	3	3	0	3	0	1
FP-SSP.A	163	140	130	144	3	6	3	4	0	0	0	1	0	0	0	0
FSP-SP.Q	130	136	116	127	30	36	23	30	3	10	6	10	0	0	3	1
FSP-SSP.Q	126	140	170	145	40	30	33	34	13	10	13	12	3	0	3	2
FP-SSP.Q	166	176	156	166	6	6	3	5	0	0	3	1	0	0	0	0
C.A	139	131	135	135	120	104	110	111	111	119	105	112	97	95	92	95
C.Q	145	140	147	144	125	110	116	117	115	122	109	115	102	95	97	98

Anexo 11. Autorización por parte del establecimiento del Centro de Salud Quinua para la investigación de “Efecto de la radiación solar sobre coliformes y Bacterias Heterotróficas Mesófilas Viables, según condiciones de exposición. Ayacucho y Quinua, 2022.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

Quinua 24 de Setiembre del 2023

PROVEIDO N° 004-2023-GRA/GG-GRDS-DRSA-RED HGA-GACLASQ

A : Gedión Cruz Torres
DE : Obsta. Betty LLacza Ricaldi
Gerente de la Aclás Quinua
ASUNTO : Autorización para el Trabajo de investigación en Quinua.

Visto la petición de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad San Cristóbal de Huamanga a los 24 días del mes de setiembre, da la respuesta al Sr. Gedión Cruz Torres, autorizando la ejecución del Trabajo de investigación titulado “ EFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE COLIFORMES BACTERIAS HETEROTRÓFICAS MESÓFILAS VIABLES , SEGÚN CONDICIONES DE EXPOSICIÓN. AYACUCHO Y QUINUA- 2022

Es cuanto comunico para su conocimiento.

Atentamente



Anexo 12. Matriz de consistencia.

Título: Efecto de la radiación solar sobre coliformes y bacterias heterotróficas mesófilas viables, según condiciones de exposición. Ayacucho y Quinua, 2022.

Autor: Bach. CRUZ TORRES, Gedion

Asesor: Dr. CHUCHÓN MARTÍNEZ, Saúl Alonso

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿En qué medida la condición de exposición de frascos puede alterar el efecto antimicrobiano de la radiación solar en aguas?	Objetivo general Evaluar el efecto de la radiación solar sobre bacterias heterotróficas mesófilas viables, coliformes totales y coliformes fecales en aguas, según las condiciones de exposición de frascos. Ayacucho y Quinua, 2022. Objetivos específicos • Determinar la viabilidad de bacterias heterotróficas mesófilas viables en agua sometidas a radiación solar en diversas condiciones, frascos pintados y sin pintar. • Determinar la viabilidad de bacterias coliformes totales en agua sometidas a radiación solar en diversas condiciones, calamina pintada y sin pintar. • Determinar la viabilidad de bacterias coliformes fecales en agua sometidas a radiación solar en diversas condiciones. • Determinar la viabilidad de las bacterias coliformes fecales y coliformes totales sometidas a radiación solar a diferentes altitudes.	• Marco teórico • Antecedentes • Marco conceptual • Fundamento teórico • Agua • Altitud • Luz ultravioleta • Efecto de la temperatura • Mecanismo de desinfección UV • Efecto de los frascos • Efecto de los colores • Parámetros microbiológicos • Bacterias coliformes • Taxonomía • Coliformes totales • Coliformes termotolerantes • <i>Escherichia coli</i> • Mesófilos viables • Marco legal	La condición de exposición de frascos altera el efecto antimicrobiano de la radiación solar en aguas.	Variable independiente • Condiciones de exposición a rayos solares. • Tiempo de exposición a la radiación solar. • Características de los frascos. Indicadores: • Horas. • Botellas pintadas de negro y botellas sin pintar. • Calamina pintada de negro y sin pintar. variable dependiente • Efecto de la radiación solar Indicadores: • Bacterias heterotróficas mesófilas viables (UFC/ml) • Coliformes totales (UFC/100ml) • Coliformes fecales (UFC/100ml) • Ciudad de Ayacucho (2 788 m.s.n.m.). • Localidad de Quinua (3 275 m.s.n.m.).	Tipo de Investigación: Experimental Población: No existe población solo unidad de muestra. Muestra: No existe muestra Sólo existe muestra biológica.

**UNSCH**FACULTAD DE
CIENCIAS BIOLÓGICAS

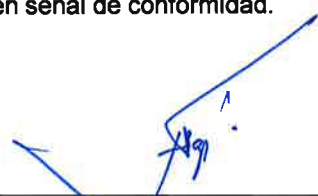
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. Gedion CRUZ TORRES
RESOLUCIÓN DECANAL N° 214-2025-UNSCH-FCB-D

En la ciudad de Ayacucho, siendo las cuatro de la tarde del día viernes once de julio del año dos mil veinticinco; se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, participando como presidente el Dr. Saturnino Martín TENORIO BAUTISTA, el Dr. Homero ANGO AGUILAR (miembro – jurado), el Dr. Víctor Luis CÁRDENAS LÓPEZ. El Mg. Rilder Nemesio GASTELÚ QUISPE (miembro – jurado), el Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ (miembro – asesor), actuando como secretario docente el Mg. Luis Uriel MOSCOSO GARCÍA; para presenciar la sustentación de tesis titulada: **Efecto de la radiación solar sobre coliformes y bacterias heterotróficas mesófilas viables, según condiciones de exposición. Ayacucho y Quinua, 2022**, presentado por el Bach. Gedion CRUZ TORRES; el presidente luego de verificar la documentación presentada, indicó al secretario docente dar lectura a la documentación generada que refrenda el presente acto académico, luego de ello dispuso el inicio del acto de sustentación, indicando al sustentante que dispone de cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece en el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Culminada la exposición, el presidente invitó a cada uno de los Miembros del Jurado a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas a la sustentante. Culminada esta etapa, el presidente invitó al sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones; cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

Miembros del jurado evaluador	Exposición	Respuesta/preguntas	Promedio
Dr. Homero ANGO AGUILAR	17	17	17
Dr. Víctor Luis CÁRDENAS LÓPEZ	18	18	18
Mg. Rilder Nemesio GASTELÚ QUISPE	17	17	17
PROMEDIO			17

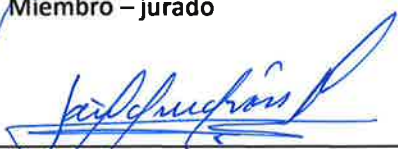
El sustentante alcanzó el promedio de 17 aprobatorio. Acto seguido, el presidente autorizó el ingreso del sustentante y el público al Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga dando a conocer los resultados e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo las seis con veinte minutos; firmando al pie del presente en señal de conformidad.


Dr. Saturnino Martín TENORIO BAUTISTA
Presidente


Dr. Homero ANGO AGUILAR
Miembro - jurado


Dr. Víctor Luis CÁRDENAS LÓPEZ
Miembro – jurado


Mg. Rilder Nemesio GASTELÚ QUISPE
Miembro – jurado


Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ
Miembro - asesor


Mg. Luis Uriel MOSCOSO GARCÍA
Secretario docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA - ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

Nº 037-2025-FCB-D

Yo, FIDEL RODOLFO MUJICA LENGUA, Director de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **Efecto de la radiación solar sobre coliformes y bacterias heterotróficas mesófilas viables, según condiciones de exposición. Ayacucho y Quinua, 2022**, por GEDION CRUZ TORRES; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 10%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU.

En consecuencia, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 31 de julio de 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Escuela Profesional de Biología
Dr. Fidel R. Mujica Lengua
DIRECTOR

Efecto de la radiación solar sobre coliformes y bacterias heterotróficas mesófilas viables, según condiciones de exposición. Ayacucho y Quinua, 2022

por GEDION CRUZ TORRES

Fecha de entrega: 30-jul-2025 09:35a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2722831526

Nombre del archivo: CRUZ_TORRES_-_Gedion_-_pregrado_-_2025_TURNITIN_PDF.pdf (1.35M)

Total de palabras: 14044

Total de caracteres: 74599

Efecto de la radiación solar sobre coliformes y bacterias heterotróficas mesófilas viables, según condiciones de exposición. Ayacucho y Quinua, 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

4

bdigital.uncu.edu.ar

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

1%

6

idoc.pub

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1%

9

B Viñegla, F López-Figueroa. "Effect of solar
and artificial UV radiation on photosynthetic
performance and carbonic anhydrase activity
in intertidal macroalgae from southern
Spain", Ciencias Marinas, 2009

Publicación

<1%

10 O. A. Cabrera, L. P. Traversa, N. F. Ortega. <1 %
"Effect of crushed sand on mortar and
concrete rheology", Materiales de
Construcción, 2011
Publicación

11 www.leisa-al.org.pe <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo