

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Maestría en Producción y Salud Animal



Evaluación microbiológica del proceso de desinfección del microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido mediante el uso de ozono, La Joya, Arequipa - 2024

Tesis presentada por el Bachiller

Urquiza Del Aguila, David

ORCID: 0009-0004-9116-842X

para optar el Grado Académico de Maestro en Producción y Salud Animal

Asesor:

Dr. Fernández Fernández, Fernando Alberto

ORCID: 0000-0001-6910-157X

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 12 de Diciembre del 2024

Dictamen: 012352-C-EPG-2024

Visto el borrador del expediente 012352, presentado por:

2014006471 - URQUIZO DEL AGUILA DAVID

Titulado:

EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL MICROCLIMA DE GALPONES PARA LA RECEPCIÓN DEL POLLO RECIÉN NACIDO MEDIANTE EL USO DE OZONO, LA JOYA, AREQUIPA - 2024

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29201360 - VILLANUEVA SALAS JOSE ANTONIO
DICTAMINADOR**



**29671872 - VASQUEZ PEREZ CARLOS SANTIAGO
DICTAMINADOR**



**29520758 - VELAZCO GUTIERREZ RUBEN ROBERTO
DICTAMINADOR**



Evaluación microbiológica del proceso de desinfección del microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido mediante el uso de ozono, La Joya, Arequipa - 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	3%
2	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi esposa e hijos, quienes han sido mi pilar de apoyo y motivación en cada paso de este camino académico. Su amor y aliento incondicional han sido esenciales para alcanzar esta meta.

A mis padres, por inculcarme los valores del esfuerzo y la perseverancia, y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, por su constante apoyo y por ser una fuente de inspiración.



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a mis asesores de tesis, cuyos conocimientos, paciencia y orientación constante han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Su compromiso y dedicación han sido una fuente constante de inspiración.

A mis profesores y mentores, quienes me han proporcionado las herramientas y conocimientos necesarios para alcanzar mis metas académicas. Su enseñanza y apoyo han sido invaluable.

Finalmente, a mi familia, por su amor incondicional, comprensión y apoyo a lo largo de este proceso. Su confianza en mí ha sido una fuente constante de motivación.

Urquiza Del Águila, David

RESUMEN

El presente estudio se enfocó en determinar la variación de organismos microbiológicos en el microclima de galpones para la recepción de pollos recién nacidos tras la aplicación del proceso de desinfección con ozono. Utilizando el método de recolección de datos SAS e hisopado, se evaluaron las concentraciones iniciales y finales de Mesófilos Aerobios Totales, *Escherichia coli*, Coliformes Totales, Enterobacterias, y Hongos y levaduras. Los análisis estadísticos revelaron que los datos no paramétricos fueron significativos según la prueba de Shapiro-Wilk ($p = 0.000$), y la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas mostró una significancia ($p = 0.025$), indicando que el proceso de desinfección con ozono resultó en una notable reducción de microorganismos en UFC/cm³. En conclusión, se evidenció la efectividad del ozono en la reducción significativa de Mesófilos Aerobios Totales (44.89%), *Escherichia coli* (28.30%), Coliformes Totales (96.01%), Enterobacterias (89.01%), y Hongos y levaduras (79.21%) en los galpones avícolas, destacando su importancia para mejorar las condiciones sanitarias y la bioseguridad en la industria avícola.

Palabras clave:

Desinfección con ozono, galpones avícolas, mesófilos aerobios totales, *Escherichia coli*, coliformes totales, enterobacterias, hongos y levaduras.

ABSTRACT

The present study focused on determining the variation of microbiological organisms in the microclimate of sheds for the reception of newborn chickens after the application of the ozone disinfection process. Using the SAS and swab data collection method, the initial and final concentrations of Total Aerobic Mesophiles, *Escherichia coli*, Total Coliforms, Enterobacteriaceae, and Fungi and yeasts were evaluated. Statistical analyzes revealed that the non-parametric data were significant according to the Shapiro-Wilk test ($p = 0.000$), and the Wilcoxon test for related samples showed significance ($p = 0.025$), indicating that the ozone disinfection process was in a notable reduction of microorganisms in CFU/cm³. In conclusion, the effectiveness of ozone was demonstrated in the significant reduction of Total Aerobic Mesophiles (44.89%), *Escherichia coli* (28.30%), Total Coliforms (96.01%), Enterobacteriaceae (89.01%), and Fungi and yeasts (79.21%) in poultry sheds, highlighting its importance to improve sanitary conditions and biosecurity in the poultry industry.

Keywords:

Disinfection with ozone, poultry houses, total aerobic mesophiles, *Escherichia coli*, total coliforms, enterobacteria, fungi and yeasts.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS.....	5
OBJETIVOS	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	7
1.1. Proceso de desinfección.....	7
1.2. Ozono.....	20
1.2.1. Métodos de producción de ozono	24
1.2.2. Productos de desecho provocados por el uso del desinfectante	26
1.2.3. Ventajas y Desventajas de la utilización de ozono.....	27
1.2.4. Estándares de calidad ambiental (ECA) del aire en Perú	28
1.3. Microorganismo	29
1.3.1. Mesófilos totales.....	29
1.3.2. Escherichia coli	30
1.3.3. Coliformes totales.....	32
1.3.4. Enterobacterias	33
1.3.5. Hongos y levaduras	35
1.4. Instrumentos de recuento de bacterias	36
1.4.1. Surface air System.....	36
1.4.2. Placas Petri	37
1.5. Medios de cultivo	38
1.5.1. Agar nutritivo	38
1.5.2. Agar Chromocult.....	39
1.5.3. Agar Sabouraud.....	39
1.6. Análisis de antecedentes investigativos.....	40
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	46
2.1. Técnicas, instrumentos y materiales de verificación.....	46
2.1.1. Técnica	46
2.1.2. Instrumentos	46

2.1.3.	Material biológico	46
2.1.4.	Material de campo	46
2.1.5.	Material de laboratorio	46
2.1.6.	Equipos y maquinaria	47
2.1.7.	Otros materiales.....	47
2.2.	Metodología	47
2.2.1.	Antes de la aplicación del ozono	48
2.2.2.	Durante la aplicación de ozono.....	49
2.2.3.	Después de la aplicación de ozono	50
2.3.	Campo de verificación.....	50
2.3.1.	Ubicación espacial.....	50
2.3.2.	Ubicación temporal	50
2.3.3.	Unidades de estudio.....	51
2.3.4.	Muestreo.....	51
2.3.5.	Procedimiento del muestreo	51
2.4.	Métodos de evaluación.....	52
2.5.	Estrategia de recolección de datos.....	53
CAPÍTULO III RESULTADOS		54
3.1.	Resultados y discusión	54
3.1.1	Microorganismo: Mesófilos Aerobios Totales.....	54
1.6.1.	Microorganismo: Escherichia Coli	59
1.6.2.	Microorganismo: Coliformes totales	63
1.6.3.	Microorganismo: Enterobacterias	68
1.6.4.	Microorganismo: Hongos y Levaduras.....	73
1.6.5.	Resultados inferenciales	78
1.6.5.1.	Prueba de normalidad	78
1.6.5.2.	Prueba de hipótesis general.....	78
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES		82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estándares de calidad ambiental en el aire	28
Tabla 2. Promedio general de UFC por cm ³ en Mesófilos Aerobios Totales, Antes y Después de la Desinfección con Ozono	54
Tabla 3. Recuento de UFC microorganismo Mesófilos Aerobios Totales	55
Tabla 4. Promedio general de UFC por cm ³ en Escherichia Coli, Antes y Después de la Desinfección con Ozono.....	59
Tabla 5. Recuento de UFC microorganismo Escherichia coli antes y posterior desinfección con Ozono	60
Tabla 6. Promedio general de UFC por cm ³ en Coliformes totales, antes y después de la desinfección con Ozono.....	63
Tabla 7. Recuento de UFC del microorganismo Coliformes totales antes y posterior a la desinfección con Ozono.....	64
Tabla 8. Promedio general de UFC por cm ³ en Enterobacterias, antes y después de la desinfección con Ozono.....	68
Tabla 9. Recuento de UFC por cm ³ del microorganismo Enterobacterias antes y posterior a la desinfección con Ozono.....	69
Tabla 10. Promedio general de UFC por cm ³ en Hongos y Levaduras, antes y después de la desinfección con Ozono.....	73
Tabla 11. Recuento de UFC por cm ³ del microorganismo Hongos y levaduras antes y posterior a la desinfección con Ozono.....	74
Tabla 12. Prueba de normalidad.....	78
Tabla 13. Prueba estadística de muestras emparejadas de Wilcoxon	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Microclima	48
Figura 2. Dispositivo de toma de muestra	48
Figura 3. Área de recepción del pollo BB	51
Figura 4. Promedio general UFC por cm ³ en Mesófilos Aerobios Totales, metodología SAS.....	56
Figura 5. Promedio general UFC por cm ³ en Mesófilos Aerobios Totales, metodología de hisopado.....	57
Figura 6. Promedio general UFC por cm ³ de Escherichia Coli, metodología SAS.....	61
Figura 7. Promedio general UFC por cm ³ de Coliformes Totales, metodología SAS.....	65
Figura 8. Promedio general UFC por cm ³ de Coliformes Totales, metodología de Hisopado	66
Figura 9. Promedio general UFC por cm ³ de Enterobacterias, metodología SAS	70
Figura 10. Promedio general UFC por cm ³ de Enterobacterias, metodología de Hisopado	71
Figura 11. Promedio general UFC por cm ³ de Hongos y levaduras, metodología SAS.....	75
Figura 12. Promedio general UFC por cm ³ de Hongos y Levaduras, metodología de Hisopado.....	76

INTRODUCCIÓN

Los galpones avícolas desarrollan productos contaminantes gaseosos caracterizados como volátiles y de mal olor, así mismo, la industria produce contaminación para el factor aire, agua y suelo del medio ambiente. La calidad del aire en los productores avícolas ha sido una de las principales preocupaciones en la avicultura debido a que la reunión de miles de aves es fuente de contaminación microbiana que afecta la calidad del aire de los productos y las áreas circundantes (1). En este aspecto la limpieza y desinfección de las naves de producción animal se ha convertido en una medida para controlar la carga de bacterias y virus debido a que es clave la gestión de la higiene para la producción (2).

En el sector industrial de productos agrarios y avícolas, la avicultura tiene una fuerte participación en la producción agropecuaria, que en los últimos años se ha definido como actividad industrial de crecimiento para la economía nacional, en donde se ha visto contrapuesta a diversos retos dado que el sector comercial de origen animal es una actividad con altos estándares técnicos y estrictos requerimientos de inocuidad (3).

Las granjas avícolas contienen potenciales patógenos contaminantes y diversos estudios estiman que la cantidad de microorganismos puede aumentar a una gran distancia de las granjas, en Reino Unido se logra registrar hasta 3.6×10^3 UFC m^{-3} de hongos y bacterias, en gallineros de China la cantidad oscila entre 7×10^3 UFC m^{-3} y $10^4 \times 10^5$ UFC m^{-3} en Croacia y Polonia; existe una gran cantidad de patógenos de los cuales los de mayor efecto en la productividad y economía de las granjas son la E. Coli patogénica aviar y el virus ILT (1).

En la actualidad existe una amplia preocupación por la inocuidad de los alimentos, en donde los esquemas temáticos de higiene y toxicología alimentaria han ido ganando relevancia en el proceso de producción y abastecimiento de alimentos. Por consiguiente, existen diferentes sistemas que miden y determinan la calidad de los insumos alimenticios debido a que la variedad de alimentos de origen animal y vegetal son de rápido deterioro; asimismo, se han formulado diferentes estrategias para propiciar la conservación de la sanidad de alimentos y disminuir el crecimiento microbiológico de patógenos contaminantes en todo producto de consumo humano y en su cadena productiva (4).

Por lo tanto, la eliminación de la contaminación bacteriana es un desafío y una preocupación en las naves de crianza avícola. Entre los medios para contrarrestar la proliferación

contaminante, la desinfección química es el método más común empleado en las granjas y galpones avícolas de crianza para engorde, en donde emplean diferentes mecanismos con compuestos que contienen cloro, ozono, sales de amonio y glutaraldehído (5).

Los desinfectantes comúnmente empleados en granjas avícolas se componen de hidróxido de sodio, ácido peroxiacético, cal viva y povidona yodada, según Chen et al. (6) y algunos otros como ácido peracético, alcoholes, formaldehído, mezclas de cloro, yodóforo, amonio cuaternario, etc., de acuerdo a Acsa et al. (7). No obstante, el protocolo o tratamiento de desinfección no logra eliminar todos los microorganismos a un rango aceptable y el desarrollo de la resistencia bacteriana hacia los desinfectantes es una preocupación que dificulta el control de los microorganismos (7).

El empleo de los desinfectantes adecuados, el proceso y la estrategia de desinfección deben ser los más ideales y eficaces, en vista que algunos métodos tradicionales no tienen una precisión antimicrobiana o en defecto tienen una fuerte toxicidad, baja durabilidad, o producen otros efectos que perjudican los productos avícolas. En tanto se consideró la aplicación del ozono, a causa de que tiene un mayor potencial que el cloro por su capacidad oxidativa y toxicidad para la población bacteriana hasta en concentraciones bajas como 0.01 ppm, que incluso este recurso no presentaba derivaciones negativas en el producto avícola (8).

Por su parte, el ozono (O_3) es un gas que se utiliza para desinfectar distintas áreas, superficies, materiales, ambientes interiores, alimentos y agua debido a su eficaz capacidad contra la dispersión de microorganismos (9). Este se origina cuando las moléculas de O_2 se disocian utilizando una fuente de energía para formar átomos de oxígeno, que luego chocan con moléculas de oxígeno para formar así dicho gas inestable conocido como ozono (10). El ozono como agente microbiano tiene una potencia tanto en el aire como en el agua, por lo que diversas industrias lo emplean por su flexibilidad de aplicación, actúa de forma rápida ante poblaciones microbianas produciendo una cinética de inactivación a diferencia de otros agentes oxidantes (de desinfección química), reacciona 3000 veces más rápido contra material orgánico y es más seguro que el cloro, así mismo, tiene capacidades como material blanqueador, esterilizador, limpiador y desinfectante cuya cualidad depende de la concentración y medio de aplicación (9).

La aplicación del ozono por el método líquido y gaseoso se ha caracterizado por no preservar residuos posteriores a su aplicación, resultado que es consecuencia de su alta oxidación. Las principales aplicaciones en la industria de alimentos en las que se ha desarrollado son los alimentos de origen vegetal, así mismo se desarrolló en el sector de agua potable y la esterilización de carnes (11).

La capacidad letal e inhibidora del ozono ante los microorganismos se ha desarrollado desde el siglo XIX, principalmente su efecto se produce al alterar las envolturas de los microorganismos patógenos a través de peroxidación de fosfolípidos y la interacción con proteínas (12). El ataque del ozono se genera sobre la membrana celular, envolturas celulares, citoplasma, cubierta de esporas y demás constituyentes de los microorganismos, a través de mecanismos como la producción de péptidos pequeños y la producción de peróxidos ácidos, el daño generando a la envoltura celular produce una lisis celular cuyo resultado es la muerte celular (10).

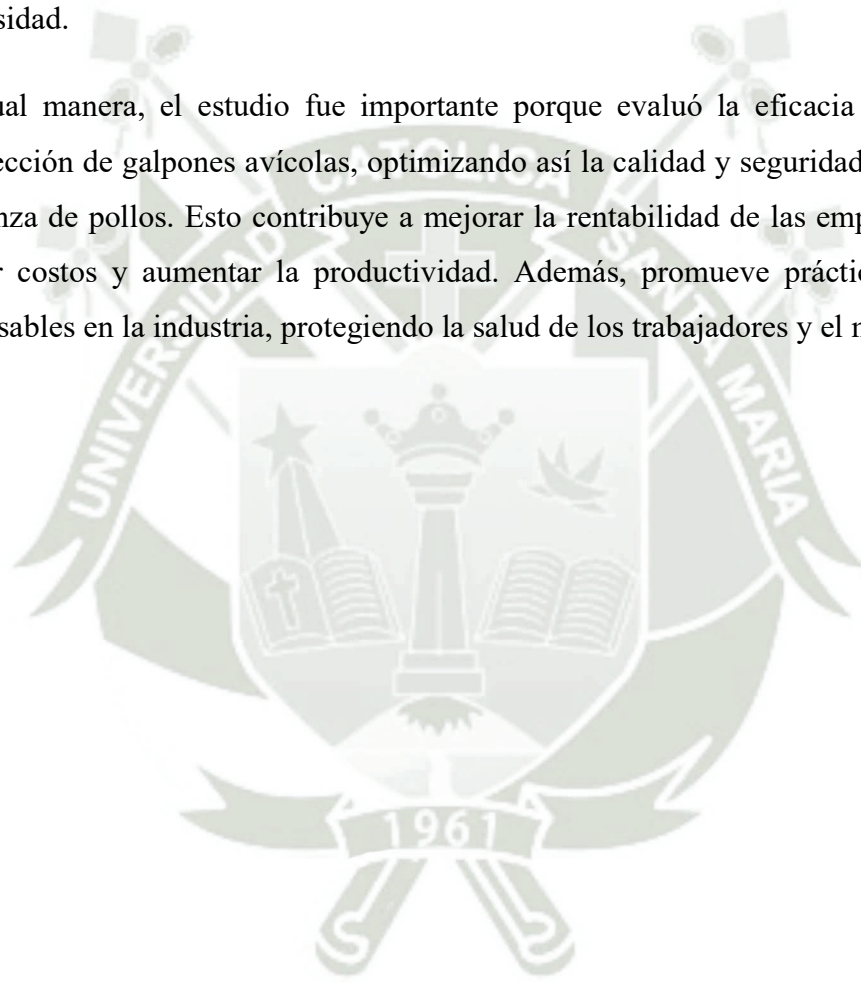
De acuerdo a prácticas ecológicas y sostenibles, el ozono es un potencial agente para la desinfección de la industria avícola debido a que se busca salvaguardar la seguridad biológica de las aves ante la amenaza de microorganismos y así mismo mejorar la producción de productos cárnicos (13). Por lo cual el proyecto plantea como pregunta general ¿cuál es la variación de organismos microbiológicos del microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido tras el proceso de desinfección con ozono?, para así determinar la variación de la cantidad de microorganismos (antes y después) de la aplicación de ozono en un galpones de recepción de pollos recién nacidos en naves avícolas de la Joya, Arequipa.

Para realizar el presente estudio, se plantearon dos variables. La variable independiente fue el proceso de desinfección con ozono, compuesto por dos dimensiones: la concentración de ozono, medida en ppm (partículas por millón), y el tiempo de exposición, medido en minutos. La variable dependiente fueron los organismos microbiológicos, conformados por cinco dimensiones: mesófilos, E. coli, coliformes totales, enterobacterias, hongos y levaduras, todos medidos en Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

Así mismo, el desarrollo de la investigación sobre la eficacia del ozono en la desinfección de galpones de pollos de engorde estuvo justificado por varios factores. Académicamente, se buscó contribuir a la educación y formación de profesionales del sector avícola, promoviendo la productividad y rentabilidad, lo que indirectamente favorecía el crecimiento

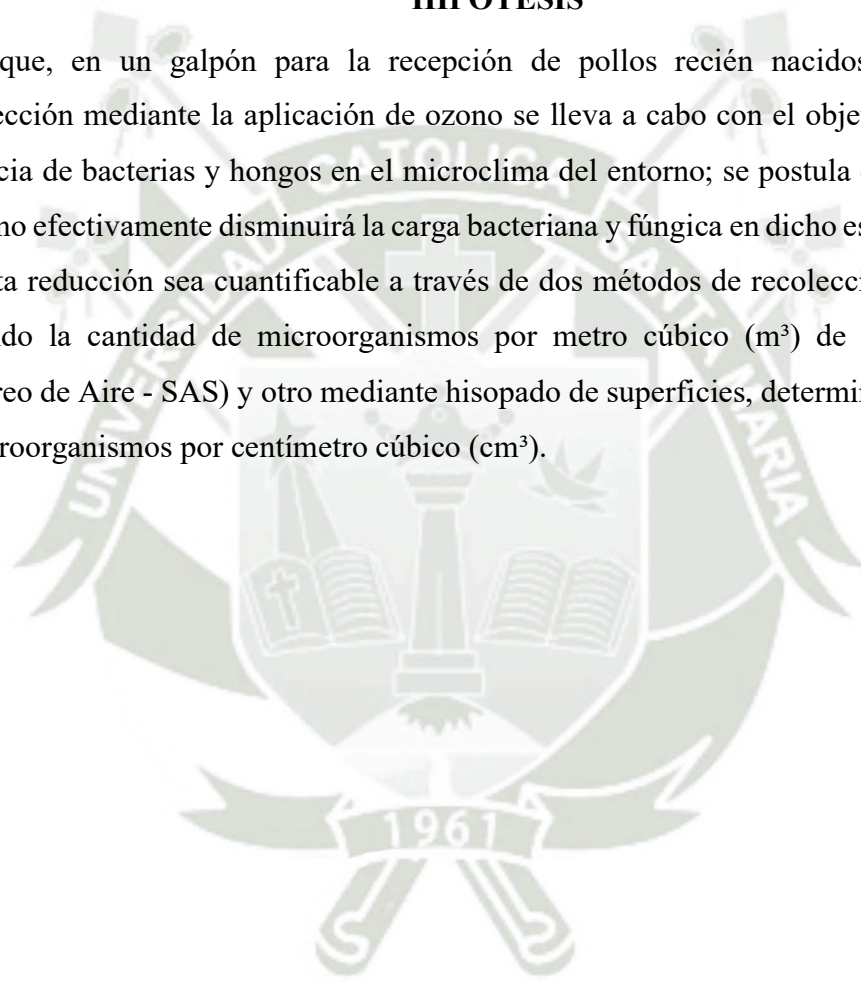
económico de la región. Económicamente, se consideró crucial garantizar condiciones de desinfección óptimas para mejorar la calidad y reducir los costos de producción, incrementando así la rentabilidad de las empresas avícolas. Socialmente, la investigación incentivaba prácticas innovadoras y responsables en la desinfección, protegiendo la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Éticamente, el estudio se diseñó para cumplir con rigurosos principios metodológicos y éticos, garantizando justicia, equidad, y respeto a la autonomía y privacidad, además de ser original y adherirse a las normas establecidas por la universidad.

De igual manera, el estudio fue importante porque evaluó la eficacia del ozono en la desinfección de galpones avícolas, optimizando así la calidad y seguridad del entorno para la crianza de pollos. Esto contribuye a mejorar la rentabilidad de las empresas avícolas al reducir costos y aumentar la productividad. Además, promueve prácticas sostenibles y responsables en la industria, protegiendo la salud de los trabajadores y el medio ambiente.



HIPÓTESIS

Dado que, en un galpón para la recepción de pollos recién nacidos, el proceso de desinfección mediante la aplicación de ozono se lleva a cabo con el objetivo de reducir la presencia de bacterias y hongos en el microclima del entorno; se postula que la utilización de ozono efectivamente disminuirá la carga bacteriana y fúngica en dicho espacio. Es posible que esta reducción sea cuantificable a través de dos métodos de recolección de datos: uno midiendo la cantidad de microorganismos por metro cúbico (m^3) de aire (Sistema de Muestreo de Aire - SAS) y otro mediante hisopado de superficies, determinando la cantidad de microorganismos por centímetro cúbico (cm^3).



OBJETIVOS

Objetivo general

OG: Determinar la variación de organismos microbiológicos del microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido tras el proceso de desinfección con ozono.

Objetivos específicos

Oe1: Determinar la cantidad de mesófilos aerobios totales, antes y después del uso de ozono en el microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido.

Oe2: Determinar la cantidad de *Escherichia coli*, antes y después del uso de ozono en el microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido.

Oe3: Determinar la cantidad de Coliformes totales, antes y después del uso de ozono en el microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido.

Oe4: Determinar la cantidad de Enterobacterias, antes y después del uso de ozono en el microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido.

Oe5: Determinar la cantidad bacteriana de Hongos y levaduras, antes y después del uso de ozono en el microclima de galpones para la recepción del pollo recién nacido.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Proceso de desinfección

Es importante que antes de ingresar una nueva población de aves al galón respectivo, el ambiente sea el adecuado y se encuentre totalmente desinfectado, por lo que es necesario implementar programas de limpieza que mitiguen todo tipo de microorganismos. Primero, es necesario llevar a cabo una limpieza profunda del galpón, retirando todo el material orgánico y la cama utilizada. Es crucial asegurarse de que no quede ningún residuo visible, lavando todas las superficies con agua y detergente. Este paso inicial es esencial porque la materia orgánica puede proteger a los microorganismos de los desinfectantes. Una vez limpio, se procede a la desinfección, eligiendo desinfectantes efectivos contra los patógenos específicos. Es importante seguir las instrucciones del fabricante en cuanto a la concentración y el tiempo de contacto del desinfectante. Se debe poner especial atención a las áreas difíciles de alcanzar, como grietas y esquinas. Después de la desinfección, se recomienda dejar secar completamente el galpón antes de introducir la nueva población de aves. Un ambiente seco asegura la eliminación de microorganismos y reduce el riesgo de enfermedades asociadas con la humedad. Además, es aconsejable implementar un programa de monitoreo continuo de la calidad del aire y de las superficies, tomando muestras periódicas para detectar la presencia de patógenos. Este monitoreo permite identificar problemas antes de que se conviertan en amenazas significativas para la salud de las aves. Finalmente, la capacitación del personal encargado de la limpieza y desinfección es fundamental. Los trabajadores deben estar bien informados sobre las mejores prácticas y procedimientos adecuados para cada etapa del proceso. La implementación constante de programas de limpieza y

desinfección protege la salud de las aves y mejora la productividad y el bienestar del establecimiento avícola (14).

Los programas de limpieza buscan purgar completamente las instalaciones de todo material orgánico y limpiar completamente la atmósfera de gérmenes. Es común encontrar deficiencias en las tecnologías de limpieza utilizadas para la desinfección de galpones; puesto que, las bacterias se encuentran en todo lugar, ya sean superficies interiores, así como en el exterior, así como en los pasillos auxiliares. Además, las técnicas de limpieza a menudo no logran alcanzar grietas y rincones difíciles, permitiendo que los patógenos sobrevivan y se reproduzcan. Para solucionar esto, es fundamental utilizar equipos de limpieza avanzados, como máquinas de vapor a alta presión y desinfectantes de amplio espectro, que puedan llegar a todas las áreas problemáticas. También es crucial seguir un protocolo estricto que incluya inspecciones regulares y la toma de muestras de superficies y aire para asegurar que los niveles de patógenos se mantengan controlados. La capacitación continua del personal en las mejores prácticas de limpieza y desinfección es esencial para garantizar la efectividad de los programas de limpieza. Con estos enfoques integrales, se puede mejorar significativamente la higiene en los galpones y reducir el riesgo de enfermedades entre las aves

En ese sentido, existen determinados pasos para llevar a cabo el procedimiento de desinfección de galpones avícolas, los cuáles abarcan (14):

a. Preparación de galpones

- El trabajo se inicia con la preparación del galpón para su lavado, para lo cual el personal deberá esperar que se retiren las aves de los galpones, así como

también el retiro de toda la pollaza. Luego se procede a retirar restos de alimentos de los comederos, retirar las tolvas, separadores, herramientas y todo equipo portátil que se haya utilizado en el proceso de crianza y trasladarlos a un área para su posterior proceso de lavado, el traslado de todo lo retirado se realizará en el camión. Una vez despejado el galpón, se revisan todas las áreas para asegurarse de que no queden residuos ocultos o material orgánico que pueda obstaculizar la limpieza. También se inspeccionan y limpian los sistemas de ventilación y las zonas de difícil acceso, como esquinas y grietas. Es crucial usar equipos de protección personal adecuados para evitar cualquier riesgo de contaminación. Tras la limpieza preliminar, se procede a la desinfección con productos específicos que sean efectivos contra los patógenos presentes. Finalmente, se deja secar completamente el galpón antes de reintroducir a las aves, asegurando así un ambiente seguro y libre de contaminantes (14).

- Asimismo, se retirará el material de cama, asegurándose que el área interna y exteriores este lo más limpia posible; para ello se realizará el barrido con escobas de paja por dentro y fuera del galpón. Una vez limpio el galpón y retirado los elementos y equipos móviles, se procederá a flamear el piso, tanto dentro del galpón como los exteriores, con el objetivo de eliminar los restos de plumas que puedan quedar. Este enfoque garantizará un entorno completamente despejado y sin agentes contaminantes, fomentando de esta manera el bienestar y la salud de las aves que residen en el galpón. También se llevará a cabo una revisión exhaustiva para asegurar que no permanezca ningún residuo o componente orgánico que pueda comprometer la pureza del entorno. Por último, se implementarán precauciones de seguridad adecuadas en todas

las etapas del proceso con el fin de salvaguardar la integridad del personal y asegurar la eficacia de las labores de limpieza (14).

- Luego del barrido del área interior y exterior del galpón y retirados los elementos y equipos móviles, se procederá a extender las cortinas internas y externas, desenvolviéndolas con cuidado y de la misma forma se procederá a sacudirlas para eliminar los restos más significativos que pueden estar pegadas a estas cortinas. Este paso adicional garantizará una limpieza aún más completa y efectiva de todo el espacio, evitando la acumulación de contaminantes que podrían afectar la salud y el bienestar de las aves alojadas en el galpón. Además, se realizará una inspección minuciosa de las cortinas para asegurar que no queden restos ni suciedad que puedan comprometer la calidad del ambiente. Finalmente, se seguirán estrictas medidas de seguridad durante todo el proceso para garantizar la integridad del personal y la eficacia de las operaciones de limpieza (14).
- Finalmente, se retirarán y alistarán las cortinas y mallas separadoras, para proceder a desdoblarlas para su posterior lavado. Este proceso se realizará con sumo cuidado, asegurándose de manipular estos elementos de forma adecuada para evitar daños. Posteriormente, se procederá a desdoblarlas para su lavado, utilizando los métodos y productos adecuados para garantizar una limpieza profunda y efectiva. Este paso es crucial para eliminar cualquier residuo o contaminante que pueda haber quedado adherido a las cortinas y mallas separadoras durante su uso. Además, se verificará minuciosamente cada elemento para detectar posibles daños o deterioro que requieran atención o reparación. Una vez lavadas y en óptimas condiciones, las cortinas y mallas separadoras estarán listas para ser nuevamente instaladas en el galpón,

contribuyendo así a mantener un ambiente limpio y saludable para las aves. Es importante seguir rigurosamente los procedimientos de seguridad durante todo el proceso, garantizando la integridad del personal y la eficacia de las operaciones de limpieza (14).

b. Lavado de galpones

- Antes de iniciar el proceso de lavado de galpón es importante contar con los equipos y materiales a utilizar como: motobombas y mangueras en perfecto estado, recipientes o tanques para la preparación de las soluciones, jarras de medición, equipos de protección para el personal encargado del proceso de limpieza (mamelucos impermeables, gorros, guantes, gafas, botas). Es crucial proveer al personal encargado de la limpieza con un conjunto completo de equipo de protección individual para asegurar su bienestar y seguridad durante el proceso. Es necesario suministrar trajes impermeables, gorros, guantes, anteojos protectores y botas duraderas para resguardarlos de los agentes químicos y prevenir cualquier contacto con sustancias dañinas. Además, se aconseja llevar a cabo una revisión previa de todos los implementos y materiales para corroborar su correcto funcionamiento y disponibilidad antes de dar inicio al lavado. Esta aproximación minuciosa garantizará la realización segura y eficiente de la limpieza, preservando tanto la salud del personal como la calidad del resultado final obtenido (14).
- El lavado se realizará en dos condiciones, una para aquellos equipos que son retirados de los galpones y otra en aquellos galpones que no se retiran los equipos y herramientas por lo que se quedan dentro del galpón, el lavado se realizará con la ayuda de la motolavadora y sus equipamientos, agua con

detergente y esponja con metal para un mejor retiro de la suciedad; de igual forma, se brindará a todos los trabajadores una cartilla, para el uso estricto y correcto de los equipos de poder. También, se entregará a todos los empleados un manual detallado que incluya indicaciones precisas sobre el uso riguroso y adecuado de los implementos de potencia. Esta medida se encargará de asegurar que el personal esté correctamente formado y posea una comprensión sólida sobre cómo utilizar los equipos de forma segura y eficiente durante el proceso de lavado. Es esencial que cada empleado esté familiarizado con los procedimientos correctos para prevenir accidentes y garantizar la efectividad del trabajo realizado. Este enfoque completo garantizará un lavado exhaustivo y seguro, manteniendo elevados estándares de limpieza en los criaderos de aves (14).

- Seguidamente se aplica por aspersión con solución detergente y con ayuda de la hidrolavadora sobre todas las superficies del galpón (techos, paredes, palos, cortinas, etc.). La forma de aplicación debe ser en zigzag de abajo hacia arriba; con esto conseguimos mayor permanencia y mejor capacidad de arrastre, ya que las capas superiores van pesando más y arrastrando de forma más eficiente. El tiempo de contacto de la solución detergente con la superficie debe ser de 5 a 10 minutos (evitar que se seque); esto asegura una acción efectiva del detergente en la eliminación de la suciedad y los residuos presentes en el galpón. Además, se debe tener especial cuidado en garantizar una aplicación uniforme en todas las áreas, para asegurar una limpieza completa y homogénea en el espacio avícola. Durante este proceso, se recomienda el uso adecuado de equipos de protección personal, como guantes y gafas de seguridad, para evitar cualquier contacto directo con la solución detergente y proteger la salud del

personal encargado de la limpieza. Este enfoque meticuloso garantiza un tratamiento efectivo de limpieza y contribuye a mantener estándares de higiene óptimos en el galpón avícola, promoviendo así la salud y el bienestar de las aves alojadas (14).

- Para el proceso de enjuague, es necesario comprender que es una actividad muy importante que favorece la eliminación de la suciedad adherida, debe realizarse de arriba hacia abajo, empezando por los techos, para facilitar la capacidad de limpieza del detergente y empezando desde el fondo del galpón hacia la entrada, evitando acumulaciones de agua que permitan la supervivencia o multiplicación de microorganismos. Además, se recomienda utilizar agua a presión durante el enjuague para garantizar una limpieza profunda y completa de todas las superficies. Esto ayudará a eliminar cualquier residuo de detergente y suciedad remanente, asegurando un ambiente limpio y sanitario para las aves alojadas en el galpón. Durante el proceso de enjuague, es esencial mantener una supervisión constante para asegurar que todas las áreas sean cubiertas de manera adecuada y que no queden residuos que puedan comprometer la higiene del espacio avícola. Este enfoque metódico y cuidadoso garantiza un proceso de enjuague efectivo y contribuye a mantener altos estándares de limpieza y bioseguridad en el galpón (14).

c. Lavado de equipos móviles y de crianza

- Este lavado se realiza paralelamente al lavado del galpón
- En esta etapa se procede a lavar los equipos y materiales (comederos, mallas de separación, cortinas, nordex y soportes) que fueron removidas del galpón, de igual forma es importante el uso de un detergente alcalino capaz de remover

los restos de grasa y proteínas adheridos a las superficies de estos equipos y cortinas; previamente se les deja remojando en los cilindros con solución de detergente y agua. Es fundamental garantizar que los equipos y materiales sean sumergidos por completo en la solución de detergente, lo que asegura una limpieza uniforme y efectiva en todas las superficies. Asimismo, es necesario prestar especial atención a las zonas de difícil acceso para asegurarse de que no queden residuos sin eliminar. Durante el proceso de inmersión, se aconseja mover ocasionalmente los equipos y cortinas para facilitar la eliminación de los residuos adheridos y maximizar la eficacia del detergente. Este enfoque meticuloso garantiza que los equipos y materiales sean exhaustivamente limpiados y desinfectados antes de ser reintegrados al galpón, asegurando así un entorno seguro y saludable para las aves (14).

- Es importante contar con una zona específica para realizar este procedimiento. Se realiza al costado de los galpones, respetando una distancia prudente para la humedad y salpicaduras generadas en este proceso; para el lavado de los equipos de crianza, se utilizarán escobillas industriales; además que todos los elementos y equipos móviles se remojan en el desinfectante para finalizar la desinfección de estos equipos. Además, como medida adicional de desinfección, todos los elementos y equipos móviles serán sumergidos en el desinfectante correspondiente. Esta etapa final del proceso garantiza una desinfección completa y rigurosa de todos los equipos, asegurando un ambiente óptimo de higiene y bioseguridad en el entorno avícola. Es esencial seguir estas prácticas meticulosas para mantener la salud y el bienestar de las aves alojadas en los galpones, así como para prevenir la propagación de enfermedades y garantizar la eficacia de las operaciones avícolas (14).

- Por otro lado, se aplica la misma estrategia de lavado en abanico, descrita en el punto anterior y se procede a lavar a presión, sobre el suelo, utilizando detergente industrial; para los sistemas de bebederos automáticos, se procederá a lavar con esponjas húmedas las mangueras y todos los elementos de este sistema. Al final se procederá a lavar los Nordex y las Patillas, con uso de esponjas húmedas y agua, sacando toda la suciedad y polvo acumulados. Esta atención meticulosa a cada detalle asegurará que todos los componentes del galpón estén completamente limpios y en óptimas condiciones para su uso continuo. Este enfoque exhaustivo en la limpieza contribuirá a mantener un ambiente higiénico y seguro para las aves alojadas en el galpón, promoviendo así su salud y bienestar (14).

d. Desinfección post-lavado de galpones

- Antes de iniciar los trabajos se inspeccionará el área para determinar los peligros existentes y las medidas de seguridad a ser requeridas. Esta inspección exhaustiva posibilitará la identificación de posibles riesgos, tales como áreas con riesgo de resbalones, objetos que puedan obstaculizar el camino o cables que estén expuestos, lo que permitirá tomar las medidas preventivas correspondientes para evitar accidentes o lesiones durante el desarrollo de las labores. Asimismo, se realizará un análisis minucioso de los equipos y herramientas a utilizar, garantizando que se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento y cumplan con los requisitos de seguridad necesarios. Se cerciorará de que todo el personal esté debidamente adiestrado y cuente con el equipo de protección personal adecuado antes de iniciar cualquier tarea. Se delimitarán de forma clara las áreas de trabajo y se indicarán de manera

adecuada, garantizando que todos los trabajadores estén al tanto de los posibles peligros y los protocolos de seguridad pertinentes (14).

- Como su nombre lo indica, desinfectar no esteriliza, esto quiere decir que baja la carga microbiana del ambiente tratado y todo lo que conlleva ello. in embargo, es importante recordar que algunos microorganismos pueden permanecer viables después de la desinfección, aunque en niveles mucho más bajos y menos peligrosos. Por lo tanto, es esencial complementar la desinfección con medidas adicionales de limpieza y control de la higiene para garantizar un ambiente seguro y saludable. Esto puede incluir la implementación de protocolos de limpieza regulares, el uso de productos desinfectantes adecuados y el mantenimiento de prácticas de higiene personal estrictas (14).

e. Barrido y rastrillado de galpón

- Luego del “descanso” del galpón, con la aplicación de los desinfectantes, al día siguiente de trabajo, se procederá a realizar el rastrillado, para retirar nuevamente la materia orgánica y residuos que aun estén presentes en el suelo, apilándolos en montículos uniformes para su posterior recojo. El proceso de rastrillado se convierte en un componente esencial de las labores de mantenimiento y limpieza en el galpón. La ejecución cuidadosa de esta tarea resultará fundamental para establecer un entorno sanitario y saludable para las aves, lo que a su vez fomentará su bienestar y eficiencia en el ambiente avícola (14).

f. Término del proceso y fumigación de galpones

- Al terminar el proceso, se realizan las últimas operaciones para finalizar la limpieza integral del galpón, este proceso se realiza al siguiente día de trabajo, luego de rastrillada y retirada la tierra del galpón; se procede a realizar el proceso de flameo del piso, por parte de personal especialista en esta tarea; el objetivo es eliminar los restos de materia orgánica y microorganismos aun existentes. Se emplea un dispositivo de flameo a alta temperatura, concebido específicamente para alcanzar cada rincón del galpón. Este aparato asegura una desinfección total, garantizando que no queden residuos que puedan poner en riesgo la higiene del lugar. Además, se lleva a cabo una inspección visual minuciosa para verificar que el procedimiento haya sido efectivo y que no queden zonas sin tratar. Finalmente, se documenta cada paso del proceso en un informe de control, asegurando la trazabilidad y la verificación del cumplimiento de las normas sanitarias establecidas. Este informe es revisado por los supervisores, quienes confirman la correcta ejecución de todas las fases de limpieza y desinfección del galpón (14).
- El flameado es el proceso en el cual con la ayuda de un lanzallamas (equipo que consta de una manguera de gas reforzada, aproximadamente 150 metros de largo, con un lanzallamas, el cual es conectado a un balón de gas o línea de gas) se elimina la mayor cantidad de plumas que existe propias de la crianza. Este proceso no solo se enfoca en las plumas visibles, sino que también elimina partículas más diminutas y residuos orgánicos adheridos al piso y las paredes. La utilización del lanzallamas requiere personal altamente capacitado para operar el equipo con seguridad y eficacia. Durante el flameado, se alcanzan temperaturas que garantizan la destrucción de microorganismos y otros agentes

patógenos. La eliminación de estos residuos es fundamental para mantener un ambiente higiénico y prevenir posibles enfermedades en futuras crías. Al concluir el flameado, se lleva a cabo una ventilación adecuada del área para dispersar cualquier residuo gaseoso que pueda haberse acumulado durante el proceso. (14).

- Para realizar el trabajo se deberá contar con el EPP específico usa protector de cuero cromo (overol, guante y zapatos) además protector auditivo y lentes de seguridad y si es necesario, máscara full face o media cara (con filtros 3m código 60926). Además de garantizar la seguridad del trabajador, el uso adecuado del EPP también contribuye a mantener la integridad de los productos y la eficiencia del proceso de trabajo. Se recomienda que todo el personal se familiarice con las instrucciones de uso del equipo de protección personal y reciba formación sobre los riesgos asociados con su tarea específica. La supervisión regular por parte de los supervisores es fundamental para asegurar el cumplimiento continuo de las normas de seguridad y el uso correcto del EPP (14).
- El proceso de fumigación de los galpones es una de las actividades fundamentales para prevenir enfermedades en el nuevo lote de aves a ingresar, por ende, es importante que la realización de dicho proceso en cada una de sus etapas pueda realizarse de la mejor manera posible. Esto requiere una cuidadosa planificación, que abarca desde la selección de los compuestos químicos idóneos hasta la coordinación del personal a cargo de llevar a cabo la fumigación. También es necesario tener en cuenta las condiciones ambientales apropiadas para garantizar la efectividad del tratamiento y reducir al mínimo cualquier peligro para la salud de las personas y los animales. Es esencial llevar

a cabo una evaluación detallada de las instalaciones antes de la fumigación, con el fin de identificar y resolver posibles puntos críticos de infestación o contaminación. Además, se deben respetar rigurosamente las normativas y los procedimientos de seguridad establecidos para manipular y aplicar los compuestos químicos de manera segura y responsable (14).

- Antes del inicio de actividades el personal deberá coordinar con el área de logística (manejo del almacén y stock) para que el personal pueda solicitar los equipos y herramientas necesarias para realizar el trabajo. La planificación anticipada es fundamental para garantizar la disponibilidad oportuna de todos los recursos necesarios, lo que contribuye a mejorar la eficacia y rendimiento del equipo. También es crucial establecer una comunicación efectiva y transparente entre el personal y el departamento de logística, con el fin de prevenir demoras o confusiones en la entrega de los equipos requeridos. Es esencial que el personal cuente con la capacitación adecuada para utilizar de manera correcta los equipos y herramientas suministrados, asegurando así su seguridad y la eficacia en la ejecución de las labores asignadas (14).
- Los trabajadores deberán realizar la inspección previa de las herramientas, equipos y EPP's en caso de encontrar alguna anomalía deberá reportar al supervisor directo y solicitar el cambio correspondiente. Esta evaluación previa resulta crucial para identificar cualquier anomalía o fallo que pueda comprometer la seguridad o efectividad de los equipos y herramientas utilizados en la labor. Asimismo, fomenta una mentalidad proactiva en cuanto a la seguridad dentro del equipo, donde cada integrante se responsabiliza de mantener un entorno laboral seguro y exento de peligros. Es fundamental que los empleados cuenten con la capacitación necesaria para detectar y valorar

posibles inconvenientes en los equipos y EPP's, además de saber comunicarse eficazmente con sus supervisores en caso de hallar alguna irregularidad (14).

1.2. Ozono

En comparación con el cloro, el ozono destruye los gérmenes unas tres mil veces más rápido, dado que ambas sustancias son oxidantes, pero sus mecanismos de acción difieren, reaccionan unas tres mil veces más rápido que el cloro. Al romper la membrana celular, el ozono destruye los gérmenes, como resultado de este procedimiento, el citoplasma de la célula se dispersa en agua, lo que también se conoce como muerte celular por lisis; los lípidos insaturados constituyen la mayor parte del citoplasma. El ozono destruye los enlaces olefinicos de la membrana citoplasmática de las bacterias, que está formada principalmente por lípidos insaturados, esta acción inicia la ruptura de la capacidad de funcionamiento de la célula y podría incluso ser suficiente para matar a las células más débiles, dependiendo de lo fuerte que sea la célula. Este ozónido ataca enzimas, grupos sulfhidrilos o aldehídos para ejercer su propio efecto desinfectante, también tiene un alto potencial de oxidación y es inestable. Todos estos acontecimientos provocan la dispersión del citoplasma, lo que mata a la bacteria. Además, este proceso desestabiliza la estructura molecular de la bacteria, comprometiendo sus funciones vitales y provocando su muerte. La acción oxidativa del ozónido también daña las membranas celulares, lo que conduce a la ruptura y liberación del contenido celular. Esto resulta en la desactivación completa de la bacteria y evita su reproducción y propagación en el entorno. Asimismo, el ozónido tiene la capacidad de penetrar en los tejidos bacterianos, llegando a áreas de difícil acceso donde otros desinfectantes pueden no ser efectivos. Esta característica aumenta su eficacia y asegura una desinfección completa y profunda, reduciendo así el riesgo de contaminación microbiológica en el ambiente tratado (15).

La molécula de la sustancia química ozono (O_3) está formado por tres átomos de oxígeno; la disociación de los dos átomos que componen el oxígeno gaseoso da lugar a la formación de tres átomos de oxígeno. Una molécula de gas oxígeno se une a cada átomo de oxígeno que se emite; en ese sentido, las moléculas de ozono (O_3) son creadas por otra molécula de oxígeno gaseoso (O_2). Este proceso de formación de ozono es un evento natural que tiene lugar en la atmósfera terrestre, principalmente en las capas más elevadas donde la radiación solar es más intensiva. La existencia de ozono en la estratosfera juega un papel vital en la salvaguarda de la vida en nuestro planeta, ya que absorbe una considerable porción de la radiación ultravioleta nociva proveniente del sol. No obstante, el ozono también puede ser producido artificialmente mediante procedimientos industriales o tecnológicos para su aplicación en distintos contextos, tales como la purificación y desinfección del agua y del aire. Este compuesto químico posee una marcada capacidad oxidativa, lo que lo transforma en un eficaz agente desinfectante y depurador de entornos. Su función desinfectante se fundamenta en la capacidad del ozono para oxidar y eliminar microorganismos, agentes patógenos y compuestos orgánicos presentes en el agua o en el aire (16).

Desde principios de siglo, se han utilizado generadores de ozono para crear artificialmente ozono O_3 , también conocido como trioxígeno, la combinación de tres moléculas erráticas de oxígeno es lo que hace que la función del ozono sea totalmente natural. La ozonoterapia, que utiliza el ozono como gas especial, es cada vez más demandada por la sociedad debido a su utilización en diversos campos en las últimas décadas, como el cambio climático provocado por la pérdida de ozono en la atmósfera, el agotamiento de la capa de ozono, el creciente interés por utilizar tratamientos ecológicos respetuosos con el medio ambiente y los resultados previstos, así como tratamientos de salud. Este incremento en la demanda ha motivado una mayor

exploración y avance en el ámbito de la ozonoterapia, lo que ha originado una amplia variedad de usos en medicina, odontología, cosmetología y bienestar. Además, la ozonoterapia se ha establecido como una alternativa eficaz y segura a los tratamientos tradicionales en muchos casos, gracias a sus propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y antioxidantes. La versatilidad del ozono como agente terapéutico ha propiciado su adopción en terapias complementarias y alternativas en todo el mundo, y su utilización sigue en aumento a medida que se descubren nuevos beneficios y aplicaciones potenciales. Esta creciente popularidad ha suscitado un renovado interés en la investigación científica sobre los mecanismos de acción del ozono y su eficacia en una diversidad de condiciones de salud, lo cual abre nuevas perspectivas para su empleo clínico y terapéutico en el futuro (16).

De acuerdo a Ziyaina y Rasco (17), el ozono tiene una gran efectividad contra una amplia variedad de microorganismos, y su uso puede mejorar la seguridad y prolongar la vida útil de los productos alimenticios sin afectar significativamente su calidad; es bien conocido que el ozono es uno de los oxidantes más potentes que se pueden utilizar en la industria alimentaria. En su forma gaseosa, es más pesado que el aire y es incoloro en concentraciones bajas, con un olor distintivo. Hay varias formas de generar ozono, pero los métodos más comunes incluyen la descarga de corona, la electrólisis del agua y los procedimientos fotoquímicos, especialmente la luz ultravioleta. También, el ozono ha sido efectivamente empleado en la purificación de agua potable y en la erradicación de fragancias indeseadas tanto en el aire como en distintas superficies. Su habilidad para descomponerse velozmente y transformarse en oxígeno lo convierte en un recurso amigable con el entorno y seguro para su empleo en una diversidad de contextos. La tecnología asociada con la producción y utilización de ozono está en constante

desarrollo, con innovaciones recientes que ofrecen perspectivas de mejorar su eficacia y adaptabilidad en el porvenir

En la industria alimentaria, el ozono es un desinfectante muy eficaz contra una variedad de microorganismos, incluyendo bacterias Gram positivas y negativas, esporas, hongos, virus y protozoos. El ozono actúa sobre los lípidos insaturados en la membrana celular, lo que provoca la liberación de componentes celulares y, en última instancia, la muerte celular. En ese sentido, el uso del ozono ha demostrado ser eficaz en el procesamiento de alimentos y superficies de contacto, materiales de envasado, agua y aire en sistemas de almacenamiento y refrigeración, así como en productos alimenticios como frutos secos y verduras frescas. Además, el ozono puede reducir la presencia de microorganismos que causan el deterioro de los alimentos, lo que puede mejorar la calidad y prolongar la vida útil de los productos alimenticios (17).

El ozono, representado como O_3 , es un oxidante casi dos veces que el cloro con un valor de 2.07 V y el cloro con planta 1.36 V, así mismo, tienen un poder oxidante más fuerte que el ácido peracético con 1.81 V, ese potencial permite que el ozono sea altamente tóxico para las bacterias incluso cuando se encuentra en concentraciones de 0.01 ppm (8). En algunos materiales el ozono es corrosivo y pierde su eficacia, por lo que depende del nivel de concentración para que sea compatible con materiales como el plástico y el acero. La capacidad oxidativa del ozono lo cataloga como una molécula tóxica (según concentración y exposición), en las personas el umbral de percepción olfativa del ozono es de 0.02 a 0.04 ppm en el aire, cuando la concentración sube a 0.1 ppm la exposición genera irritación en nariz, ojos y garganta, y a concentraciones superiores al 2.4 al 15 ppm es letal para los seres humanos (18).

Los generadores de plasma pueden producir gas ozono que tiene la capacidad de inactivar varios tipos de virus en diferentes superficies, incluso las porosas, debido a su

potente poder oxidativo. Esto se logra mediante la disociación del oxígeno molecular (O_2) a través de colisiones con el nitrógeno electrónico excitado por impactos de electrones, lo que resulta en la combinación del oxígeno atómico con el O_2 . Este método de generación de ozono mediante dispositivos de plasma ofrece una opción eficiente y adaptable para la desinfección de espacios y superficies, dado que puede llegar a lugares de difícil acceso e infiltrarse en materiales porosos donde los virus y bacterias pueden esconderse. Además, el ozono producido por estos aparatos es altamente reactivo y tiene la capacidad de eliminar los agentes patógenos presentes en el aire y en las superficies con una efectividad incomparable. La habilidad del ozono para combatir una amplia variedad de microorganismos lo convierte en un recurso invaluable en la lucha contra la propagación de enfermedades contagiosas en interiores, como hospitales, escuelas, oficinas y transporte público (19).

1.2.1. Métodos de producción de ozono

A. **Electrólisis:** La generación de ozono a partir de agua se realiza mediante un proceso electroquímico conocido como electrólisis, donde se aplica una corriente eléctrica para descomponer el agua en sus elementos fundamentales en una celda con electrodos específicos. En el ánodo, se produce oxígeno (O_2), y una parte de este oxígeno se oxida aún más para formar ozono (O_3), que se disuelve directamente en el agua, lo que facilita su uso inmediato, especialmente en la desinfección y tratamiento de agua, dado que el ozono es un desinfectante eficaz y un fuerte agente oxidante. El proceso se regula a través de factores como la intensidad de la corriente, el tipo de electrodos, el pH y la temperatura, permitiendo la generación de ozono en el lugar sin la necesidad de manejar gases comprimidos. Aunque su eficiencia es menor en comparación con otros métodos como la descarga de corona, este enfoque es útil en aplicaciones que requieren ozono disuelto en agua de manera segura y

controlada, como en hospitales, plantas de tratamiento de agua potable y en la industria alimentaria (20).

B. Producción por Luz Ultravioleta (UV): La producción de ozono mediante luz ultravioleta (UV) se basa en la capacidad de la radiación UV, con una longitud de onda de 185 nanómetros, para romper las moléculas de oxígeno (O_2) en átomos individuales (O). Estos átomos reactivos se combinan rápidamente con otras moléculas de oxígeno, formando ozono (O_3). Este método se utiliza principalmente en sistemas de purificación de aire y tratamiento de agua, donde el ozono actúa como un potente desinfectante y oxidante. La eficiencia del proceso depende de factores como la intensidad de la luz UV, la concentración de oxígeno, y el tiempo de exposición. A diferencia de otros métodos, la producción de ozono por UV es más segura y limpia, ya que no genera subproductos químicos peligrosos. Aunque la concentración de ozono generada es menor que en otros procesos, su simplicidad y seguridad lo hacen ideal para aplicaciones en purificadores de aire, tratamiento de agua potable y desinfección en piscinas y spas (20).

C. Efecto corona: La producción de ozono mediante el efecto corona es un método muy eficaz y ampliamente utilizado en entornos industriales. Este proceso implica el uso de un campo eléctrico de alta tensión para ionizar el oxígeno (O_2) en el aire o en oxígeno puro, rompiendo las moléculas en átomos de oxígeno individuales (O). Estos átomos, altamente reactivos, se combinan rápidamente con otras moléculas de oxígeno para formar ozono (O_3). La descarga de corona permite una producción continua de ozono, lo que es ideal para aplicaciones como la purificación del aire, el tratamiento de aguas y la desinfección en diversos sectores industriales. La concentración de ozono se puede ajustar controlando la intensidad del campo eléctrico y otros parámetros del sistema. Este método es preferido en el ámbito

industrial por su capacidad para generar grandes cantidades de ozono de forma económica y efectiva, ofreciendo alta pureza y flexibilidad en su uso, especialmente para desinfección y procesos de oxidación en ambientes comerciales e industriales (20).

1.2.2. Productos de desecho provocados por el uso del desinfectante

- **Subproductos Gaseosos:** Durante la generación de ozono mediante el efecto corona, un método ampliamente utilizado, se pueden formar pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos gases, como el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el óxido nítrico (NO), son subproductos que contribuyen a la contaminación atmosférica, favoreciendo la formación de smog fotoquímico y teniendo efectos negativos en el medio ambiente, como la acidificación del suelo y el impacto en el cambio climático (21).
- **Residuos Líquidos:** En aplicaciones donde se utiliza ozono para tratar agua, este reacciona con compuestos orgánicos, pesticidas y otros contaminantes, produciendo subproductos como aldehídos, ácidos orgánicos, cetonas y peróxidos. Estos subproductos pueden permanecer en el agua tratada o acumularse como desechos líquidos. Si no se gestionan correctamente, pueden presentar riesgos para la salud humana y el ecosistema debido a su naturaleza reactiva y, en algunos casos, tóxica (21).
- **Residuos Sólidos:** En la ozonización del aire, el ozono interactúa con partículas suspendidas y compuestos orgánicos volátiles (COVs), generando residuos sólidos en forma de aerosoles o partículas finas. Estos residuos pueden incluir productos de reacción como óxidos, sales y compuestos carbonosos, que pueden depositarse en superficies o mantenerse en suspensión en el aire, afectando la calidad del aire y presentando riesgos para la salud respiratoria (21).

- **Deterioro del Equipo:** El ozono, debido a su alta capacidad oxidante, puede degradar y corroer materiales como caucho, plásticos y ciertos metales. Este deterioro acelerado requiere el reemplazo o desecho de componentes del equipo, generando residuos sólidos. Los materiales dañados, especialmente aquellos que contienen metales o compuestos sintéticos, pueden necesitar una gestión especial para evitar la liberación de contaminantes o sustancias peligrosas en el medio ambiente (21).
- **Subproductos de Reacciones Químicas:** En ciertos procesos industriales, donde el ozono se utiliza para oxidar contaminantes o llevar a cabo transformaciones químicas, se generan subproductos químicos. Estos subproductos pueden ser peligrosos y requieren un manejo adecuado para evitar su liberación al medio ambiente. La naturaleza de estos subproductos varía según el tipo de contaminante oxidado y puede incluir peróxidos, ácidos inorgánicos y otros compuestos tóxicos que deben ser neutralizados o eliminados de manera segura (22).

1.2.3. Ventajas y Desventajas de la utilización de ozono

El ozono es una opción más eficiente que el cloro para desinfectar y eliminar virus y bacterias, ya que actúa rápidamente, en un lapso de entre 10 y 30 minutos, y no deja residuos peligrosos, debido a que se descompone con rapidez. Además, previene la reaparición de microorganismos tras el tratamiento, salvo aquellos protegidos por partículas en el agua residual. Como se produce dentro de la instalación, se reducen significativamente los riesgos de seguridad relacionados con su transporte. El proceso de ozonización también aumenta la cantidad de oxígeno disuelto (O.D.) en el efluente, lo que puede eliminar la necesidad de reaeración y mejorar la calidad del agua en los cuerpos receptores. No obstante, una dosificación baja podría no ser suficiente para

desactivar algunos virus, esporas o quistes. Dado que el sistema es más complejo, requiere equipos avanzados y materiales resistentes a la corrosión, como el acero inoxidable, lo que incrementa los costos de inversión y el consumo de energía. La alta reactividad y toxicidad del ozono también obligan a destruir los gases residuales para proteger a los trabajadores, y su uso no resulta económico para tratar aguas residuales con altos niveles de sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) o carbono orgánico total (COT) (22).

1.2.4. Estándares de calidad ambiental (ECA) del aire en Perú

De acuerdo al decreto supremo N°094-2017 promulgado por el MINAM (23), se regulan ciertos estándares de calidad ambiental específicos, en este caso, referentes al aire, por lo que se puede apreciar los niveles máximos de ozono (O₃) que pueden llegar a ser nocivos para la salud de los seres vivos. Dicha cantidad es:

Tabla 1:
Estándares de calidad ambiental en el aire

PARÁMETROS	PERIODO	VALOR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año
	1 hora	200	NE más de 24 veces al año
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Anual	100	Media aritmética anual
	24 horas	50	NE más de 7 veces al año
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	Anual	25	Media aritmética anual
	24 horas	100	NE más de 7 veces al año
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Anual	50	Media aritmética anual
	24 horas	2	No exceder

Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30 000	NE más de 1 vez al año
	8 horas	10 000	Media aritmética móvil
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria
			NE más de 24 veces al año
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año
	Anual	0.5	Media aritmética de los valores mensuales
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética

NE: No exceder

Nota. Adaptado de las normas de ECA establecidas por el MINAM (23)

Por lo tanto, se reconoce que el promedio máximo que puede estar un ser vivo expuesto al Ozono es de 8 horas por cada 100 microgramos por metro cúbico a condiciones estándar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), teniendo en cuenta que esta exposición no debe ser mayor a las 24 veces por año.

1.3. Microorganismo

1.3.1. Mesófilos totales

Los microorganismos mesófilos son aquellos que se desarrollan en condiciones ambientales intermedias, a temperaturas que oscilan entre los 25°C y 40°C con un crecimiento rápido a una temperatura de 37°C, una gran parte de los patógenos pertenecen al grupo de los mesófilos. Estos seres microscópicos pueden hallarse en una amplia gama de hábitats, desde el suelo hasta el organismo humano, y su habilidad de adaptación les permite florecer en condiciones ambientales cambiantes. Además, su rango de temperatura ideal para su multiplicación los convierte en particularmente prolíficos en climas templados y en interiores controlados, como en instituciones médicas y laboratorios. La existencia de estos microorganismos mesófilos en tales ambientes plantea un desafío continuo para la higiene y la salud pública, ya que varios de ellos pueden representar potenciales

agentes patógenos que provocan enfermedades tanto en seres humanos como en animales. Los mesófilos tienen grandes aplicaciones como en la biotecnología, manufactura de productos de consumo (queso, pan, vinagre, yogurt, etc.), producción de antibióticos como eritromicina, producción de ácido láctico, aplicaciones en biodegradación de contaminantes ambientales y producción de enzimas (lipasa, amilasa, asparagasa celulosa, etc.). Entre las bacterias mesófilas se encuentran la *Escherichia coli*, *Streptococcus pyroenes*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumonia*, etc. (24).

1.3.2. Escherichia coli

Esta bacteria tiene un lugar único en el mundo de la microbiología, ya que puede provocar infecciones graves tanto en seres humanos como en animales en distintas condiciones, pero también es una parte significativa del microbiota autóctono en distintos hospedadores. Su habilidad para subsistir y establecerse en una amplia diversidad de ambientes la convierte en un organismo de sumo interés para la comunidad científica, tanto en el ámbito de la salud pública como en el de la biología evolutiva. Además, su capacidad de adaptación a diversos entornos y su potencial como agente patógeno la colocan en el centro de atención de los esfuerzos de vigilancia epidemiológica y de control de infecciones en todo el mundo. A pesar de su potencialmente peligrosa naturaleza, esta bacteria también cumple funciones beneficiosas en determinados ecosistemas, como la descomposición de materia orgánica y la fijación de nitrógeno en el suelo, lo cual la posiciona como un componente esencial de los ciclos biogeoquímicos naturales. Es especialmente preocupante la posible transmisión de *Escherichia coli* virulenta y/o resistente entre animales y humanos, la cual puede ocurrir a través de diversas vías, como el contacto directo, la exposición a excreciones

animales o a través de la cadena alimentaria. Además, la *Escherichia coli* representa un importante reservorio de genes de resistencia que pueden ser la causa de fallos terapéuticos tanto en medicina humana como veterinaria (25).

La *Escherichia coli* es una bacteria que se encuentra comúnmente en el microbiota intestinal de vertebrados, actuando como un comensal y patógeno oportunista en mamíferos y aves. Aunque es la bacteria aeróbica predominante en el microbiota intestinal, es superada en número por bacterias anaerobias en una relación de 100:1-10.000:1. En humanos, tiene una prevalencia superior al 90% en las heces, con una concentración de 10⁷ a 10⁹ unidades formadoras de colonias por gramo. Las cepas de *Escherichia coli* pueden causar patologías extraintestinales como infecciones urinarias, intraabdominales, pulmonares, de la piel y los tejidos blandos, meningitis neonatal y bacteriemia. Además, pueden causar patologías intestinales como diversas formas de diarrea, incluido el síndrome hemolítico y urémico. Estas infecciones pueden ser frecuentes, tener una alta morbimortalidad y la resistencia antibiótica en *Escherichia coli* está en aumento. Actualmente, esta se encuentra en el tercer lugar de la lista de los 12 patógenos prioritarios resistentes a los antibióticos descritos por la OMS. El aumento en la incidencia de resistencia a los antibióticos en *Escherichia coli* presenta desafíos significativos para la gestión eficaz de las infecciones bacterianas en todo el mundo. La diseminación de variantes resistentes de este microorganismo compromete la efectividad de los tratamientos estándar y aumenta la carga de enfermedades en la población. Además, la resistencia a los antibióticos en *Escherichia coli* no solo impacta a los seres humanos, sino que también puede tener consecuencias adversas en la agricultura y la cría de

animales, donde este microorganismo es una causa común de enfermedades transmitidas por los alimentos (26).

1.3.3. Coliformes totales

Los coliformes totales son un grupo de bacterias presentes en el medio ambiente, incluyendo el agua, el suelo, las plantas y los intestinos de los animales y humanos, siendo un subgrupo de las enterobacterias. Usualmente son empleados como indicadores de la calidad del agua y se miden en términos de la cantidad de bacterias por unidad de volumen, aunque la mayoría de estas bacterias no son dañinas para los humanos, su presencia en el agua potable puede indicar contaminación fecal u otra forma de contaminación bacteriana. Dentro del grupo de coliformes totales se encuentra la *Escherichia coli*, la cual se encuentra en altas concentraciones de heces, ante su presencia en el agua potable se sugiere que el agua no es segura para beber sin tratamiento adicional, como la cloración o la filtración. La identificación de *Escherichia coli* en muestras de agua potable es un marcador fundamental de contaminación de origen fecal y supone un potencial peligro para la salud pública. La existencia de este microorganismo en el abastecimiento de agua potable puede indicar la presencia de contaminación bacteriana y viral, lo que incrementa el riesgo de propagación de enfermedades asociadas al agua, como gastroenteritis y afecciones intestinales agudas. Por ende, resulta vital implementar adecuadas estrategias de tratamiento para asegurar la salubridad del agua de consumo y salvaguardar la salud de la población (27).

En la mayoría de los casos, *Escherichia Coli* es el tipo de coliforme más común en el agua, aunque también pueden encontrarse otros géneros como *Citrobacter*,

Klebsiella y *Enterobacter*. De acuerdo con las directrices de la OMS, no se deben encontrar patógenos en el agua potable, como *Escherichia coli* o coliformes termotolerantes, en muestras de 100 ml de agua destinada al consumo humano. La existencia de estos microorganismos sugiere una eventual contaminación fecal del suministro de agua, lo cual podría constituir un riesgo importante para la salud pública. Además, la detección de *Escherichia coli* en el agua potable actúa como una advertencia sobre la posible presencia de otros agentes patógenos transmitidos por el agua, como virus y parásitos, que también podrían estar presentes y suponer un riesgo para la salud. Por consiguiente, resulta imprescindible llevar a cabo análisis microbiológicos periódicos del agua potable para asegurar su salubridad y salvaguardar la salud de la comunidad. La aplicación de medidas de tratamiento adecuadas, tales como la cloración y la filtración, resulta esencial para eliminar o disminuir la presencia de microorganismos nocivos y garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano (28).

1.3.4. Enterobacterias

Las enterobacterias son un grupo de bacterias de tamaño considerable, midiendo entre 1 y 3 μm de longitud parecido a un bastón, que tienen la posibilidad de crecer en ausencia de oxígeno, estos microorganismos no forman esporas y no presentan tinción acidorresistente. Entre los géneros de enterobacterias, se encuentran algunos que contienen especies que son altamente virulentas para los seres humanos, como *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Escherichia*, *Salmonella*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Shigella*, etc. (29). Una de las formas en que las enterobacterias pueden causar infecciones es como oportunista, por ejemplo, infección de vías urinarias (patógenos comunes como *Escherichia*

coli, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus* spp. y *Staphylococcus aureus*), infecciones en el torrente sanguíneo, infección del tracto respiratorio, infección gastrointestinal y traumatismos en la piel o mucosas. Estas enfermedades pueden manifestarse en personas con sistemas inmunológicos debilitados o en situaciones de salud delicadas, lo que favorece la propagación de bacterias oportunistas y la aparición de patologías. Además, la resistencia a los antibióticos de ciertas cepas de enterobacterias puede dificultar aún más el manejo y tratamiento de estos padecimientos, lo que destaca la relevancia de implementar medidas de prevención eficaces y de emplear los antimicrobianos de manera responsable (30).

Existen algunas enterobacterias que tienen resistencia a los carbapenémicos, los cuales son uno de los tipos de antibióticos betalactámicos más efectivos que se utilizan contra bacterias grampositivas y gramnegativas. Este fenómeno de resistencia plantea un desafío considerable en la terapia de infecciones bacterianas, dado que restringe las alternativas de tratamiento disponibles y podría resultar en un aumento de la letalidad y la incidencia de estas infecciones. La resistencia a los carbapenémicos puede originarse por diversos mecanismos, como la producción de enzimas carbapenémicas y la reducción de la permeabilidad de la membrana externa de la bacteria. La difusión de cepas que resisten los carbapenémicos se configura como una amenaza en ascenso para la salud pública, puesto que puede provocar la aparición de brotes de infecciones de difícil tratamiento y la transferencia de genes de resistencia entre distintas especies bacterianas (30). Los carbapenémicos tienen un espectro amplio de actividad antibacteriana, lo que los hace muy útiles en el tratamiento de diversas infecciones. Sin embargo, la resistencia a estos antibióticos ha generado una

preocupación importante en salud pública, ya que complica el tratamiento de la infección y aumenta la probabilidad de mortalidad en el paciente. Esta preocupación se ve agravada por el hecho de que los carbapenémicos son comúnmente considerados como una medida terapéutica de último recurso, lo que implica que la resistencia a estos medicamentos limita las opciones disponibles para los médicos en el tratamiento de infecciones graves. Además, la difusión de la resistencia a los carbapenémicos puede requerir el empleo de tratamientos más invasivos y onerosos, lo cual incrementa la carga financiera y operativa para los sistemas de atención médica (31).

1.3.5. Hongos y levaduras

Los hongos son organismos eucariotas que poseen una complejidad biológica superior a las bacterias, están constituidos por células eucariotas, estos se reproducen tanto sexual como asexualmente y producen esporas, a su vez pueden ser unicelulares o formar estructuras multicelulares complejas mediante la ramificación de filamentos. Los hongos obtienen nutrientes a través de la absorción, siendo organismos heterótrofos capaces de alimentarse de materia orgánica rica en energía, carbohidratos y lípidos, así mismo, no tienen la habilidad de crear tejidos; sin embargo, tienen la capacidad de adaptarse a diversos entornos. Esta adaptabilidad les permite colonizar diversos hábitats, desde ambientes terrestres como el suelo y la madera en descomposición hasta ambientes acuáticos como ríos, lagos y océanos. Los hongos desempeñan roles cruciales en los ecosistemas al descomponer la materia orgánica y liberar nutrientes esenciales para otros organismos. Además, algunos hongos forman asociaciones simbióticas beneficiosas con plantas, ayudándolas a absorber

nutrientes y agua del suelo en intercambio de compuestos orgánicos producidos por las plantas (32).

En cuanto a las levaduras pertenece a la familia de los hongos, son organismos eucariotas unicelulares, siendo sus células generalmente ovaladas, aunque también se encuentran en la naturaleza de forma cilíndrica, esférica o elíptica. Tienden a reproducirse por fisión binaria o gemación, algunas pueden ser dimórficas o bifásicas y crecen como micelio bajo condiciones ambientales especiales. Las levaduras pueden crecer en un amplio rango de pH, pero prefieren un medio ligeramente ácido con un pH entre 4.5 a 6.5. Además, compiten con la bacteria *Streptococcus bovis* por los azúcares solubles en el rumen. Las especies más estudiadas son *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces fragilis* y *Candida utilis*, que son seguras para el consumo humano (33).

1.4. Instrumentos de recuento de bacterias

1.4.1. Surface air System

Los hospitales, farmacéuticas, industrias alimentarias entre otros recintos de trabajo en general, requieren determinar el nivel de contaminación microbiana ambiental. El SAS (Surface air System) fue creado en 1980 como un instrumento para analizar muestras microbiológicas de aire portátiles, mediante este equipo se puede tomar muestras de aire para aplicaciones en muestreo activo de aire con capacidad para una o dos placas con medio de cultivo. El dispositivo es portátil, tiene una batería recargable y permite programar el tiempo de funcionamiento. La capacidad de configurar la duración de operación del SAS proporciona versatilidad a su utilización, posibilitando su ajuste de acuerdo a los requerimientos particulares de cada ocasión de muestreo. Su estructura resistente

y su sencilla manipulación lo convierten en un recurso indispensable para supervisar la pureza del aire en múltiples contextos. Esto lo hace especialmente útil en áreas como la industria farmacéutica, el control de la seguridad alimentaria y la exploración del entorno natural. Este dispositivo fue utilizado en la realización de investigaciones, analizando cultivos de hongos y bacterias, tales como medir la contaminación ambiental en quirófanos de hospitales o examinar la carga microbiológica en espacios como buses, farmacéuticas y lugares de almacenamiento de alimentos. (34).

El SAS aspira una muestra de aire a una velocidad preestablecida por un periodo de tiempo variable, luego esta es filtrada a través de una cubierta protectora con agujeros pequeños de diseño especial, seguidamente el flujo de aire resultante se dirige hacia una cápsula de Petri que contiene el medio de cultivo apropiado para el examen microbiológico deseado. Este procedimiento asegura la supervivencia de los microorganismos capturados y promueve su reproducción y expansión en ambientes controlados. Tras sembrar las muestras en el medio de cultivo correspondiente, se someten a condiciones óptimas de temperatura y humedad para fomentar el crecimiento de colonias microbianas. Este entorno propicio facilita la identificación y el análisis posteriores de los microorganismos presentes en la muestra (35).

1.4.2. Placas Petri

Las placas Petri son recipientes cilíndricos poco profundos utilizados en microbiología para cultivar microorganismos, están hechos de vidrio o plástico y tienen una tapa para proteger el medio de cultivo y prevenir la contaminación externa. Se utilizan para observar el crecimiento de microorganismos y para

aislar colonias puras de un solo tipo de microorganismo, también se pueden utilizar para probar la efectividad de agentes antimicrobianos en la inhibición del crecimiento bacteriano. Adicionalmente, las placas de cultivo son beneficiosas para separar colonias individuales de microorganismos, lo que simplifica su análisis minucioso y permite llevar a cabo experimentos de sensibilidad a los agentes antimicrobianos. Estas evaluaciones son particularmente significativas para determinar la efectividad de los compuestos antimicrobianos en la prevención del desarrollo bacteriano y la formación de colonias (36).

1.5. Medios de cultivo

1.5.1. Agar nutritivo

El agar nutritivo es un medio de cultivo polivalente que se emplea para el desarrollo de diferentes variedades de bacterias y hongos, se compone principalmente de extracto de carne y peptona, además de otros nutrientes como la glucosa, el agar y los aminoácidos. Debido a su capacidad de proporcionar un ambiente nutritivo y óptimo para el crecimiento microbiano, el agar nutritivo es una herramienta útil en el aislamiento y la identificación preliminar de microorganismos. Además de su uso en laboratorios microbiológicos, el agar nutritivo también encuentra aplicaciones en la industria alimentaria, donde se utiliza para realizar pruebas de calidad e higiene en productos alimenticios. La capacidad del agar nutritivo para soportar el crecimiento de una amplia variedad de microorganismos lo convierte en una herramienta indispensable para detectar la presencia de contaminantes microbiológicos en alimentos y bebidas. Asimismo, su versatilidad permite adaptarlo a diferentes protocolos de análisis, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de matrices alimentarias. La fiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos con agar nutritivo lo

convierten en un estándar de oro en la evaluación microbiológica de productos alimenticios, garantizando la seguridad y calidad de los mismos (37).

1.5.2. Agar Chromocult

El agar chromocult es un medio de cultivo selectivo que se utiliza para la detección de bacterias indicadoras de contaminación fecal en alimentos y agua. Este medio de cultivo contiene nutrientes específicos que favorecen el crecimiento de bacterias coliformes y *Escherichia coli*, las cuales pueden indicar la presencia de contaminación fecal en una muestra. Este medio es capaz de detectar, distinguir y contar simultáneamente las bacterias coliformes y *Escherichia coli*, presentes en el agua potable en un tiempo de 24 horas. Además de su prontitud en arrojar resultados, su habilidad para discernir entre distintos tipos de bacterias proporciona una evaluación más exhaustiva de la contaminación microbiológica del agua. La identificación de *Escherichia coli* en muestras de agua potable es particularmente importante, dado que su presencia puede señalar contaminación fecal y constituir un peligro para la salud pública. Este método de cultivo provee una solución completa para la detección rápida y confiable de contaminantes bacterianos en el suministro de agua, lo que contribuye a salvaguardar la salud de la población. Su eficacia y precisión lo convierten en un recurso esencial para los laboratorios que realizan controles de calidad del agua potable en todo el mundo (38).

1.5.3. Agar Sabouraud

El agar Sabouraud es un medio de cultivo selectivo utilizado para el crecimiento de hongos y levaduras, está compuesto por extracto de levadura y peptona, además de glucosa y agar, y tiene un pH ligeramente ácido. La capacidad del agar

Sabouraud para promover el crecimiento específico de estos microorganismos simplifica su detección y análisis. Su amplio uso se justifica por su confiabilidad y la sencillez con que se puede preparar, lo que lo hace altamente valorado en múltiples entornos de laboratorio. Además de su aplicación en estudios microbiológicos estándar, el agar Sabouraud también se emplea en la exploración de la ecología microbiana, donde se investiga la presencia y distribución de hongos y levaduras en distintos ecosistemas (39). Este medio de cultivo es útil para el aislamiento y la identificación de hongos patógenos que pueden causar infecciones en humanos y animales. Es recomendado para el aislamiento de hongos de muestras biológicas que no contienen flora bacteriana asociada. Esta cualidad lo hace un instrumento invaluable para la identificación exacta de infecciones por hongos en seres humanos y animales. Además, su utilidad se amplía al ámbito de la microbiología ecológica, donde se usa para explorar la variedad y dispersión de hongos en diversos entornos (40).

1.6. Análisis de antecedentes investigativos

Artículos

Celik et al. (11), en su artículo científico denominado como “Empleo del ozono gaseoso en alimentos de pollos de engorde y su impacto en la microbiología” cual designio se enfocó en determinar el impacto de la aplicación del ozono sobre la microbiología de los alimentos. En la metodología, para realizar el análisis microbiano se empleó agar DBRC con el objetivo de determinar y contabilizar el total de mohos y levaduras antes y después de la aplicación del ozono, el agar paso por proceso de incubación durante un periodo de 5 días a una temperatura de 25°C, el análisis de ácidos grasos se realizó por medio de extracción con hexano según Paquot, así mismo, en la estadística se trabajó la aplicación

en dos periodos de tiempo (15 min y 30 min) y dos dosis de aplicación (0,9 g/h y 5,6 g/h). **Se alcanzó como resultados que el ozono disminuyó** en un 23.33% los recuentos de *A.niger* en alimentos iniciales a 5.6 g/h y durante 30 min, **en moho-levaduras se logró disminuir en un 26.23%**. En conclusión, el estudio logró determinar que dosis y duración del ozono era efectiva en la disminución de la microbiología de los alimentos.

Megahed et al. (8), en un artículo científico nombrado como “Eficacia del ozono acuoso y mezcla como factor antimicrobiano en muslos de pollo contaminados con salmonella”, el propósito del estudio se enfocó en caracterizar la capacidad del ozono en mezcla acuosa y conjunto al ácido láctico para destruir la carga microbiana (salmonella). El proceso consistió en mejorar una muestra de 488 muslos de pollo en una mezcla de salmonella de dos cepas, se empleó el agar tríptico de soja para el análisis bacteriano, así mismo se emplearon baquetas limpias que fueron contaminadas y lavadas con ozono gaseoso en un campo estéril. **Se identificó *Bacillus E. Coli* y *Enterobacteriaceae***, la carga de *Salmonella choleraesuis* (aSTC) inicial fue de 6,94 log 10/cm², en un enfoque de remojo y pulverización el O₃ acuoso (8 ppm) se redujo a 1.6 log 10/cm² en la superficie de la piel, con la adición de ácido láctico se incrementa la disminución microbiana del ozono con carga final de 0,3 log 10 /cm² en la superficie de la piel. En consecuencia, el estudio logro determinar como el ozono provoco cambios en la carga microbiana que permitió seleccionar los aspectos aplicativos del ozono como agente antimicrobiano.

Rangel et al. (41) en el artículo “Resultados nocivos de la aplicación del ozono sobre carga bacteriana patogénica” el fundamento de la investigación se enfocó en determinar cuál era concentración ideal del ozono gaseoso para controlar cargas de bacterias grampositivas y gramnegativas. Para el desarrollo de la investigación se emplearon 4 cepas estándar (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella entérica*, *Escherichia*

coli y *Pseudomonas aeruginosa*) y una cepa clínica (*Acinetobacter baumannii*) con variaciones en la concentración de ozono y tiempos, el procedimiento fue exponer las placas inoculadas a un sistema de generación de ozono gaseoso (SANITECH O3 PURIMU), el tiempo de exposición fue de 10 y 12 horas en un ambiente cerrado. En los hallazgos, respecto al recuento de colonias no se encontró una variación como efecto de la aplicación del ozono, sin embargo, en viabilidad celular de *A. baumannii* (15%), *aeruginosa* (25%) y *E. coli* (30%) **se redujeron**. En síntesis, la viabilidad celular del material bacteriano estudiado es sensible a reducidas proporciones de ozono, no obstante, no afecta a la membrana bacteriana.

Werlang et al. (42) en un artículo académico nombrado como “Resultado del empleo del ozono gaseoso en las características microbianas de los canales de cerdo”, investigación desarrollada con el fin de determinar la eficacia del ozono en el estado gaseoso aplicado en el proceso de enfriamiento de los canales de cerdo, el método del estudio determinó un total de 40 canales para un grupo de control sin la aplicación del ozono y otros 40 canales con ozono gaseoso a una concentración de 5 ppm. Las muestras recolectadas analizaron la existencia de bacterias mesófilas de igual cantidad entre los grupos de estudio antes del enfriamiento, cuando se procedió con el enfriamiento el recuento de bacterias en los canales aplicados con ozono **se redujeron (0,4 (UFC)/cm²), respecto a la medición de *Escherichia coli* y *Listeria* sp** no se encontraron variaciones relevantes con el ozono, sin embargo, existió una menor tendencia en la medición de *Salmonella* con el tratamiento del ozono. En consecuencia, se llegó a determinar que el ozono gaseoso es efectivo como protocolo para la reducción de bacterias mesófilas aeróbicas con la excepción de *E. coli* y *Listeria* sp.

Chang et al. (43) en un artículo designado como “Estudio del impacto del ozono patógenos encontrados en los residuos lácteos líquidos” enfocado en la esterilización

desechos lácteos para ser empleados como fertilizantes, el propósito del estudio fue determinar a qué magnitud el ozono elimina los patógenos (*E. coli* O157:H7 y *S. Typhimurium* LT2) en aguas residuales de la industria del lácteo (granjas lecheras). Los cultivos empleados para la investigación se desarrollaron en caldo LB y se empleó el Difco LB Broth Miller como medio de crecimiento, para la recolección de las muestras inoculada con el patógeno se realizó en intervalos regulares analizadas en placas Petri con agar MacConkey II y agar Difco XLD. El ozono tenía un sistema continuo de tratamiento con concentraciones de 43.26, 87.40 y 132.46 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y aplicado a periodos de 0.5, 1 y 2 horas. El tratamiento logró obtener resultados favorecedores sobre la reducción de *E. coli*, que a mayor concentración (a partir de 87.40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) del ozono y tiempo de exposición la cantidad del *E. coli* se iba reduciendo, en el caso de la *S. typhimurium* se obtuvieron resultados semejantes con una reducción mayor a 1 a 2 long en la concentración. El estudio determinó que el ozono gaseoso (O_3) es un tratamiento con alto potencial para la reducción de los patógenos (*E. coli* y *S. Typhimurium*) en el estiércol líquido, así mismo se identificó que los efectos del tratamiento están sujetos al tiempo y concentración del ozono y que varía de acuerdo a la materia en que se aplica.

Tesis

Camus (44) en su investigación “Pre tratamiento con ozono para la conservación de la carne de pollo suplementada” cual diseño principal fue determinar el resultado de la aplicación del ozono en la conservación de la carne de pollo, el estudio se formuló como un diseño experimental en dos fases (una en los galpones de pollo y otra en laboratorio de la universidad), la aplicación del ozono se realizó a través de una cámara de vidrio en donde se suministraba el ozono en plasma frío, la carne se mantuvo expuesta al tratamiento en ozono gaseoso por 15 min y sumergidas a agua ionizada por 15 min de igual forma. La aplicación del ozono en los diferentes tratamientos tuvo resultados

positivos sobre el análisis microbiológico en muestras (leucocitos, hematíes, células epiteliales, gérmenes) y en cultivos (*Salmonella*, *E. Coli*, *Aerobios mesófilos* y *Staphylococcus aureus*) en un plazo de evaluación de 7 días, así mismo el ozono logra preservar las características sensoriales con mayor efecto al aplicarse agua ozonada (50 µg/ml). En conclusión, el ozono es un método germicida demostrado que preserva los caracteres sensoriales y microbiológicos.

Pasapera y Ventura (45) en una investigación titulada “Uso del agua ozonizada como antimicrobiana para el filete de trucha” desarrollada en la ciudad del Jaén, se designó como propósito principal identificar la capacidad antimicrobiana (*E. coli*, *Salmonella sp*, *Staphylococcus aureus* y *mesófilos aerobios*) del agua ozonizada en el filete de trucha. En el método aplicado se empleó 40 kg de filete y diferentes tratamientos dirigidos por el tiempo de inmersión en agua ozonizada (30, 60 y 90 segundos) y la concentración del ozono (0.5, 1.5 y 2.5 ppm), para el análisis microbiológico se consideró las recomendaciones de la NTP 041.001.2019. El análisis posterior estableció que en todos los tratamientos aplicados la presencia de *Staphylococcus aureus* y *mesófilos aerobios* se redujo con el pasar de los días, respecto a la *E. Coli* y *Salmonella sp* no se observó desarrollo de UFC. En consecuencia, el empleo de agua ozonizada es un ideal factor antimicrobiano y resalta en la reducción de *Staphylococcus aureus* en una concentración de ozono a 2.5 ppm y 30 segundos de inmersión.

Ponce (46) en su investigación titulada “Aplicación del ozono como desinfectante en una clínica veterinaria de animales pequeños para reducir la contaminación microbiológica” se formuló como diseño determinar la eficiencia de la desinfección con ozono de los ambientes de trabajo de una clínica de animales. Los ambientes analizados fueron tópico, peluquería, baño, cirugía, petshop y recepción, se recolectaron muestras de aire que captaron partículas en placa RODAC para cultivo. La recolección de las muestras y su

análisis dio como resultado que el ozono logra disminuir la cantidad de UFC microbiológico después de su aplicación, **se redujo un 71.4% de coliformes totales, 30% de enterobacterias, 73.6% de mesófilos y 65% de hongos y levaduras, respecto a la *E. Coli* no se registró en los ambientes analizados de la clínica veterinaria.** En congruencia, el ozono es eficiente como desinfectante, logra reducir el número de UFC de hongos y levaduras, coliformes. Mesófilos y enterobacterias.



CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Técnicas, instrumentos y materiales de verificación

2.1.1. Técnica

Para la recolección de datos se empleó las siguientes técnicas:

- Hisopado del microclima
- Muestreo de ambiente por m³

2.1.2. Instrumentos

- Hisopos estériles
- Agua de peptona
- Tubos de ensayo estériles
- Dispositivo estéril

2.1.3. Material biológico

- Muestra de aire (m³)
- Muestra de superficie (100 cm²)

2.1.4. Material de campo

- Caja térmica

2.1.5. Material de laboratorio

- Agar nutritivo
- Agar Chromocult
- Agar sabouraud
- Placas Petri 90mm
- Guantes estériles

- Mamelucos descartables
- Bolsas estériles
- Barbijos
- Apósitos estériles
- Alcohol 96%
- Hisopos estériles
- Peróxido de hidrógeno
- Agua de peptona

2.1.6. Equipos y maquinaria

- Equipo SAS (Surface Air System)
- Equipo de ozono
- Autoclave
- Mechero Bunsen
- Incubadora 37°C
- Baño María
- Refrigerador

2.1.7. Otros materiales

- Laptop
- Cámara fotográfica

2.2. Metodología

En el método del desarrollo experimental que ejecutó la investigación se realizó un análisis microbiológico antes y después de la aplicación del ozono.

2.2.1. Antes de la aplicación del ozono

1. Se procedió a la toma de muestras antes de la aplicación de Ozono. Para ello se determinó 6 puntos claves para la toma de muestras a través de la técnica del hisopado; dicha área abarcará 5m de ancho y 20 m de largo.

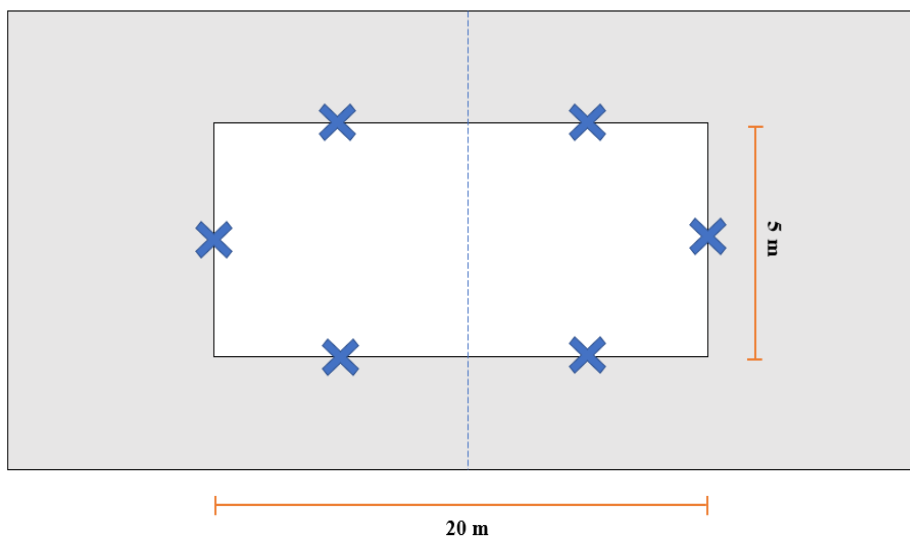


Figura 1. Microclima

2. A través de un dispositivo se tomó las muestras respectivas de la superficie del microclima, el cual será elaborado a base de INOX y debe estar totalmente desinfectado y estéril. (Ver Figura 2).

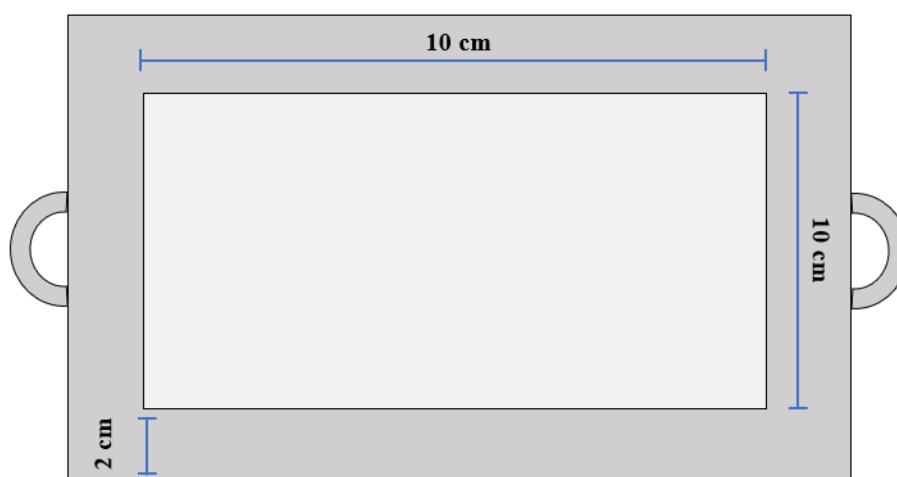


Figura 2. Dispositivo de toma de muestra

3. Las tomas de muestras del hisopado en los puntos mencionados fueron trasladarlos al laboratorio para su respectiva evaluación.
4. Seguidamente se tomó el muestreo del ambiente por m³, para ello se utilizó un equipo Surface air System. El SAS aspira una muestra de aire a una velocidad preestablecida por un periodo de tiempo variable, luego esta es filtrada a través de una cubierta protectora con agujeros pequeños de diseño especial, seguidamente el flujo de aire resultante se dirige hacia una cápsula de Petri que contiene el medio de cultivo apropiado para el examen microbiológico deseado (35).

2.2.2. Durante la aplicación de ozono

1. Todo debe estar bien cerrado, se aplicó el ozono por un periodo de 30 minutos, para ello se utilizará 2 generadores de Ozono ya que el área es de 20 m de largo x 10m de ancho = 200. El tratamiento se realizó sin personal en su interior, debido a que la dosificación de ozono es bastante elevada.
2. El proceso fue ejecutado por personal experimentado y documentado para este tipo de tratamientos. La concentración de ozono aproximada que ofrecen estos equipos oscila entre 5 y 15 ppm.
3. Esta concentración es considerada bastante elevada, por lo que su efecto es rápido y enérgico.
4. Mediante este sistema es completamente imposible tener un accidente por sobredosificación, incluso a altas concentraciones, debido a la propia inestabilidad intrínseca del ozono.
5. La efectividad del tratamiento va en relación al tiempo de exposición o dosificación, siendo más efectivo cuanto más tiempo se tenga en marcha el equipo.

6. El proceso de desinfección ambiental y de superficie que se produce es rápido y de amplio espectro, eliminando una amplia mayoría de micro contaminantes ambientales tales como bacterias, virus, esporas, mohos, etc.
7. El efecto que se aprecia con más facilidad en este tipo de tratamientos es la eliminación de olores (efecto desodorizante), debido a que una mejora sanitaria ambiental y desinfección lleva implícitamente a una reducción drástica y total de diferentes tipos de olores

2.2.3. Después de la aplicación de ozono

1. Se procedió a la toma de muestras después de la aplicación de Ozono.
2. Se procedió al muestreo con Hisopos en los 6 puntos mencionados (Ver Figura 1), para luego trasladarlos al laboratorio para su respectiva evaluación.
3. Seguidamente se tomó el muestreo del ambiente por m³, para ello se utilizó un equipo Surface air System. El SAS aspira una muestra de aire a una velocidad preestablecida por un periodo de tiempo variable, luego esta es filtrada a través de una cubierta protectora con agujeros pequeños de diseño especial, seguidamente el flujo de aire resultante se dirige hacia una cápsula de Petri que contiene el medio de cultivo apropiado para el examen microbiológico deseado (35).

2.3. Campo de verificación

2.3.1. Ubicación espacial

El presente estudio se llevó a cabo en los galpones de una granja avícola ubicada en el distrito de la Joya, departamento y provincia de Arequipa – Perú.

2.3.2. Ubicación temporal

El presente estudio se desarrolló en el mes de febrero 2024, fase experimental.

2.3.3. Unidades de estudio

La unidad de estudio es el microclima para la recepción del pollo recién nacido.



Figura 3. Área de recepción del pollo BB

2.3.4. Muestreo

El muestreo se realizó en dos oportunidades dentro del microclima de los galpones, antes y después de la desinfección con ozono.

2.3.5. Procedimiento del muestreo

Antes de iniciar el proceso de muestreo con el dispositivo SAS, fue necesario desinfectar la cubierta del aparato, esto se logró mediante la esterilización en autoclave a 21 atmósferas durante 20 minutos o limpiando la cubierta con una solución desinfectante. La cápsula de Petri se coloca en el lugar designado del dispositivo de muestreo y se recomienda utilizar guantes estériles desechables al manejar las cápsulas de Petri que ya contienen el medio de cultivo y el muestreador. Después de cada bloque de muestreo, la cubierta del muestreador debe limpiarse con una solución desinfectante y asegurarse de que esté completamente seca antes de tomar una nueva muestra (35).

El dispositivo tiene un conector de control de tiempo que se divide en unidades de 1 a 15, cada una representando un tiempo de 20 segundos; el volumen de aire

muestreado en cada unidad es de 30 litros, lo que permite realizar muestreos de 20 segundos hasta 5 minutos y con volúmenes de aire de 30 a 450 litros. El tiempo y volumen de muestreo dependen del nivel de contaminación ambiental sospechado; si la contaminación es alta, se debe aplicar un tiempo de muestreo más corto y viceversa (35).

2.4. Métodos de evaluación

- **Metodología de la experimentación**

Preparación de los medios para la siembra:

1. Agar Nutritivo Preparación: Se suspenden 20 gramos de agar nutritivo en un litro de agua estéril dentro de un recipiente, se debe colocar en autoclave por 15 minutos a 121° C. Se vierte este contenido en las placas Petri estériles enfriado a 47°C, y se deja que se solidifique en una superficie horizontal. (Ph 7.0+/-0.2).
2. Agar Chromocult Preparación: Se disuelve 26.5 gramos en un litro de agua desmineralizada, por calentamiento en el baño de agua hirviendo o en vapor fuerte, mover la mezcla regularmente para ayudarle a la dilución, no colocar la autoclave. La suspensión se coloca en placas Petri, estas presentaran un color amarillo opaco. (Ph 6.8+/-0.2)
3. Agar sabouraud Preparación: Suspender 65 g de medio deshidratado en un litro de agua destilada. Calentar agitando frecuentemente y dejar hervir durante 1 minuto para disolver completamente los ingredientes. Evitar el sobrecalentamiento. Esterilizar a 121°C durante 15 minutos. Distribuir y enfriar a temperatura ambiente antes de su utilización. (Ph 5.6 +/- 0.2).

- **VARIABLES DE RESPUESTA**

A. Variables Independientes

- Proceso de desinfección con ozono

B. Variables Dependientes

- Número de unidades formadoras de colonias (UFC) de Mesófilos aerobios totales
- Número de unidades formadoras de colonias (UFC) de *Escherichia coli*.
- Número de unidades formadoras de colonias (UFC) de Coliformes totales.
- Número de unidades formadoras de colonias (UFC) de Enterobacterias.
- Número de unidades formadoras de colonias (UFC) de Hongos y levaduras.

2.5. Estrategia de recolección de datos

La recopilación de la información se realizará de la siguiente manera:

- En el campo: Evaluación de los diferentes ambientes, antes y después del uso de ozono.
- En la biblioteca: libros relacionados al tema.
- En otros ambientes generadores de la información científica: internet, páginas web.

CAPÍTULO III RESULTADOS

3.1. Resultados y discusión

3.1.1 Microorganismo: Mesófilos Aerobios Totales

Tabla 2. Promedio general de UFC por cm³ en Mesófilos Aerobios Totales, Antes y Después de la Desinfección con Ozono

MICROORGANISMOS	ANTES (SIN OZONO)	%	DESPUÉS (CON OZONO)	% DE DISMINUCIÓN DE COLONIAS
MESÓFILOS AEROBIOS TOTALES	1,662.86	100%	916.43	44.89%
WILCOXON			SIG= 0.001	

Nota. Promedio de microorganismos mesófilos aerobios totales antes y posterior a la aplicación de ozono.

Como puede visualizarse en la Tabla 2, se plasmó el promedio general de unidades formadoras de colonias (UFC). Antes de la aplicación del ozono, se determinó un promedio general de 1,662.86 UFC/cm³ en los distintos ambientes. Tras la aplicación del ozono, se observó una concentración de 916.43 UFC/cm³, lo que representó una disminución del 44.89% con respecto al valor inicial de concentración de mesófilos aerobios totales.

Asimismo, el análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon arrojó una significancia bilateral de 0.001, menor al 5% del nivel de significancia. Esto reflejó que se rechazaba la hipótesis nula y se aceptaba la hipótesis alterna, es decir, la utilización de ozono disminuyó efectivamente la carga de mesófilos aerobios totales en los espacios de los galpones destinados a la recepción de pollo recién nacido.

Tabla 3. Recuento de UFC microorganismo Mesófilos Aerobios Totales

MÉTODO - MUESTRA	UFC ANTES (SIN OZONO)	UFC DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN DE UFC
SAS HEMBRA	0.00128	0.00100	21.88%
SAS MACHO	0.00126	0.00116	7.64%
HISOPADO - CORTINA 1 MACHO	1,912	1,128	41.00%
HISOPADO - CORTINA 2 MACHO	1,280	1,020	20.31%
HISOPADO - CORTINA 3 MACHO	1,070	1,033	3.46%
HISOPADO - CORTINA 4 MACHO	1,180	1,034	12.37%
HISOPADO - CORTINA 5 MACHO	1,312	1,000	23.78%
HISOPADO - CORTINA 6 MACHO	1,896	1,066	43.78%
HISOPADO - CORTINA 1 HEMBRA	1,105	1,015	8.14%
HISOPADO - CORTINA 2 HEMBRA	2,033	1,198	41.07%
HISOPADO - CORTINA 3 HEMBRA	2,538	1,040	59.02%
HISOPADO - CORTINA 4 HEMBRA	2,744	1,216	55.69%
HISOPADO - CORTINA 5 HEMBRA	4,098	1,060	74.13%
HISOPADO - CORTINA 6 HEMBRA	2,112	1,020	51.70%

Nota. Conteo de UFC/cm³ de microorganismos Mesófilos Aerobios Totales de acuerdo con el método de recolección, zona de recepción del pollo recién nacido y de acuerdo con el sexo de la muestra.

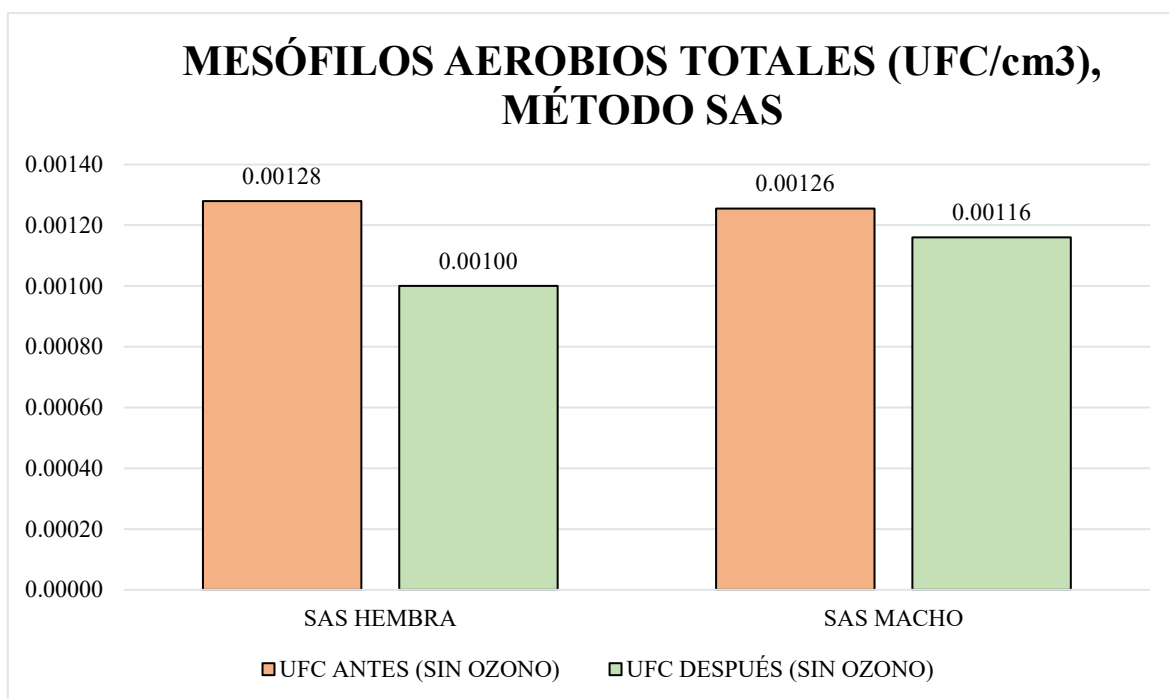


Figura 4. Promedio general UFC por cm³ en Mesófilos Aerobios Totales, metodología SAS

De acuerdo con la Figura 4 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono, la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) de los microorganismos denominados mesófilos aerobios totales, obtenida mediante la metodología de recolección SAS, fue de 0.00128 UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos hembra, y de 0.0126 UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos macho. Tras la aplicación del ozono, se observó una disminución del 21.88% en la concentración de mesófilos aerobios totales en la muestra de pollos hembra, reduciéndose a 0.001 UFC/cm³, y una disminución del 7.64% en la muestra de pollos macho, reduciéndose a 0.00116 UFC/cm³.

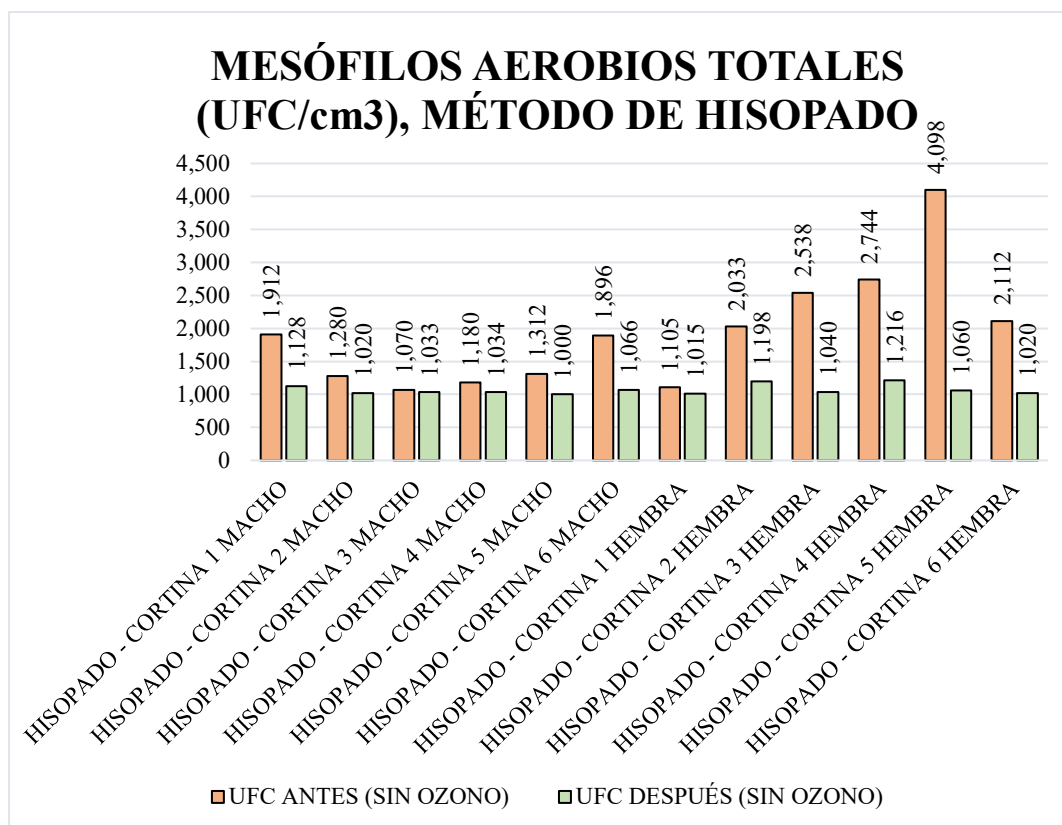


Figura 5. Promedio general UFC por cm³ en Mesófilos Aerobios Totales, metodología de hisopado

De acuerdo con la Figura 5 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) de los microorganismos denominados mesófilos aerobios totales, obtenida mediante la metodología de recolección Hisopado, fue de 1,441.67UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos macho, y de 2,438.33UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos hembra. Tras la aplicación del ozono, se observó una disminución del 55.24% en la concentración de mesófilos aerobios totales en la muestra de pollos hembra, reduciéndose a 1,091.50UFC/cm³, y una disminución del 27.39% en la muestra de pollos macho, reduciéndose a 1,046.83UFC/cm³.

En resumen, se determinó mediante el método SAS e hisopado una concentración inicial promedio de 1,662.86 UFC/cm³ y una concentración final, posterior a la desinfección con ozono, de 916.43 UFC/cm³, lo que se tradujo en una disminución del 44.89%. Estos resultados en cuanto a la concentración inicial y posterior de Mesófilos Aerobios Totales en UFC/cm³ se asemejaron a los reportados por Ponce (46), quien encontró que la aplicación de ozono redujo la concentración de estos microorganismos en un 73.6%.

Aunque la reducción observada en este estudio fue menor, con una disminución del 44.89%, ambos estudios coinciden en la efectividad del ozono para disminuir significativamente la carga de Mesófilos Aerobios Totales. Esta similitud destacaba la capacidad del ozono como agente antimicrobiano, aunque las diferencias en los porcentajes de reducción podrían atribuirse a factores como las condiciones experimentales, la dosis de ozono aplicada y la duración de la exposición.

Además, cabe mencionar que las características intrínsecas de las muestras, como su composición y la presencia de otros microorganismos, podrían haber influido en la eficacia del ozono. A pesar de estas variaciones, la comparación de ambos estudios subrayaba la robustez del ozono en la reducción de Mesófilos Aerobios Totales, consolidando su potencial en aplicaciones de desinfección.

1.6.1. Microorganismo: Escherichia Coli

Tabla 4. Promedio general de UFC por cm³ en Escherichia Coli, Antes y Después de la Desinfección con Ozono

MICROORGANISMOS	ANTES (SIN OZONO)	%	DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN
ESCHERICHIA COLI	0.00003	100%	0.00002	28.30%
WILCOXON			SIG= 0.18	

Nota. Promedio de microorganismos Escherichia Coli antes y posterior a la aplicación de ozono.

Como puede visualizarse en la Microorganismo: **Escherichia Coli**

Tabla 4, se plasmó el promedio general de unidades formadoras de colonias (UFC). Antes de la aplicación del ozono, se determinó un promedio general de 0.00003 UFC/cm³ en los distintos ambientes. Tras la aplicación del ozono, se observó una concentración de 0.00002 UFC/cm³, lo que representó una disminución del 28.30% con respecto al valor inicial de concentración de Escherichia coli.

Sin embargo, el análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon arrojó una significancia bilateral de 0.18, mayor al 5% del nivel de significancia. Esto reflejó que se aceptará la hipótesis nula y por lo tanto el rechazo de la hipótesis alterna, es decir, la utilización de ozono no disminuyó efectivamente la carga de Escherichia Coli en los espacios de los galpones destinados a la recepción de pollo recién nacidos, esto puede deberse a que mediante el método de hisopado, no arrojó valores positivos para este microorganismo, demostrando una ausencia del patógeno en las muestras recogidas de las cortinas del galpón tanto de hembras como machos.

Tabla 5. Recuento de UFC microorganismo *Escherichia coli* antes y posterior desinfección con Ozono

MÉTODO - MUESTRA	UFC ANTES (SIN OZONO)	UFC DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN DE UFC
SAS HEMBRA	0.00019	0.00014	27.66%
SAS MACHO	0.00024	0.00017	28.81%
HISOPADO - CORTINA			
1 MACHO	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
2 MACHO	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
3 MACHO	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
4 MACHO	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
5 MACHO	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
6 MACHO	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
1 HEMBRA	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
2 HEMBRA	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
3 HEMBRA	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
4 HEMBRA	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
5 HEMBRA	0	0	-
HISOPADO - CORTINA			
6 HEMBRA	0	0	-

Nota. Conteo de UFC del microorganismo *Escherichia coli* Totales de acuerdo con el método de recolección, zona de recepción del pollo recién nacido y de acuerdo con el sexo de la muestra.

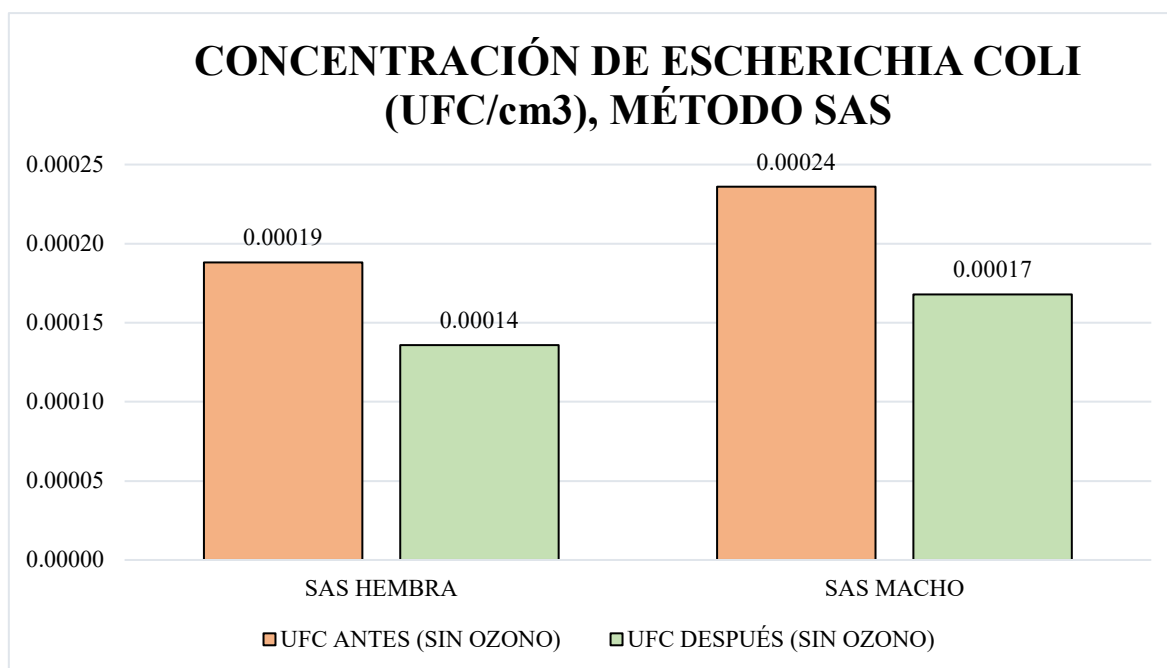


Figura 6. Promedio general UFC por cm³ de *Escherichia Coli*, metodología SAS

De acuerdo con la Figura 6 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono, la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) del microorganismo denominado *Escherichia coli*, obtenida mediante la metodología de recolección SAS, fue de 0.00019UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos hembra, y de 0.00024UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos macho. Tras la aplicación del ozono, se observó una disminución del 27.66% en la concentración del microorganismo *Escherichia Coli* en la muestra de pollos hembra, reduciéndose a 0.00014UFC/cm³, y una disminución del 28.81% en la muestra de pollos macho, reduciéndose a 0.00017UFC/cm³.

Sin embargo, mediante la metodología de recolección del hisopado no se pudo detectar la concentración del microorganismo denominado *Escherichia Coli*, por lo que tampoco se pudo determinar la concentración de UFC antes y después de la aplicación de Ozono mediante esta metodología.

En resumen, se determinó mediante el método SAS y el hisopado una concentración inicial promedio de 0.00003 UFC/cm³ y una concentración final, posterior a la desinfección con ozono, de 0.00002 UFC/cm³, lo que se tradujo en una disminución del 28.30%. Estos resultados, tanto de la concentración inicial como de la concentración final de *Escherichia coli* en UFC/cm³, mostraron una notable similitud con los reportados por otros autores en estudios previos.

Por un lado, Rangel et al. (41) observaron en su investigación una disminución del 30% en la concentración de microorganismos tras la aplicación de ozono. Este resultado coincide estrechamente con la disminución del 28.30% observada en este estudio, lo que sugiere una eficacia consistente del ozono como agente desinfectante en la reducción de *Escherichia coli*.

Por otro lado, Werlang et al. (42) reportaron que la concentración final de *Escherichia coli*, producto de la desinfección con ozono gaseoso, fue de 0.4 UFC/cm³. Aunque no se enfocó en la determinación del porcentaje de variación, los resultados obtenidos por el autor, también demostraron una reducción significativa en la carga microbiana tras el tratamiento con ozono. Esto refuerza la evidencia de la efectividad del ozono en la desinfección de diversas superficies y tipos de microorganismos.

En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio, con una disminución del 28.30% en la concentración de *Escherichia coli*, se alinean con las observaciones de Rangel et al. y Werlang et al., lo que subraya la consistencia y eficacia del ozono como método de desinfección en diferentes contextos y para diversos tipos de microorganismos.

1.6.2. Microorganismo: Coliformes totales

Tabla 6. Promedio general de UFC por cm³ en Coliformes totales, antes y después de la desinfección con Ozono

MICROORGANISMOS	ANTES (SIN OZONO)	%	DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN
Coliformes totales	414.00	100%	16.50	96.01%
WILCOXON		SIG = 0.003		

Nota. Promedio de microorganismos Coliformes totales antes y posterior a la aplicación de ozono.

Como puede visualizarse en la Microorganismo: **Coliformes totales**

Tabla 6, se plasmó el promedio general de unidades formadoras de colonias (UFC/cm³) correspondiente al microorganismo denominado Coliformes totales. Antes de la aplicación del ozono, se determinó un promedio general de 414UFC/cm³ en los distintos ambientes. Tras la aplicación del ozono, se observó una concentración de 16.50UFC/cm³, lo que representó una disminución del 96.01% con respecto al valor inicial de concentración de Coliformes totales.

Asimismo, el análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon arrojó una significancia bilateral de 0.003, menor al 5% del nivel de significancia. Esto reflejó que se rechazaba la hipótesis nula y se aceptaba la hipótesis alterna, es decir, la utilización de ozono disminuyó efectivamente la carga de Coliformes totales en los espacios de los galpones destinados a la recepción de pollo recién nacido.

Tabla 7. Recuento de UFC del microorganismo Coliformes totales antes y posterior a la desinfección con Ozono

MUESTRAS	ANTES (SIN OZONO)	DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN
SAS HEMBRA	0.00037	0.00021	43.24%
SAS MACHO	0.00034	0.00023	32.25%
HISOPADO - CORTINA 1 MACHO	80	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 2 MACHO	672	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 3 MACHO	0	0	-
HISOPADO - CORTINA 4 MACHO	0	0	-
HISOPADO - CORTINA 5 MACHO	140	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 6 MACHO	768	11	98.57%
HISOPADO - CORTINA 1 HEMBRA	72	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 2 HEMBRA	1,000	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 3 HEMBRA	0	0	-
HISOPADO - CORTINA 4 HEMBRA	320	44	86.25%
HISOPADO - CORTINA 5 HEMBRA	1,744	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 6 HEMBRA	1,000	176.00	82.40%

Nota. Recuento de unidades formadoras de colonias del microorganismo Coliformes totales antes y después de la aplicación de ozono mediante las metodologías de recolección de datos SAS e hisopado, de acuerdo con la zona de muestreo, así como el sexo de la muestra (macho o hembra).

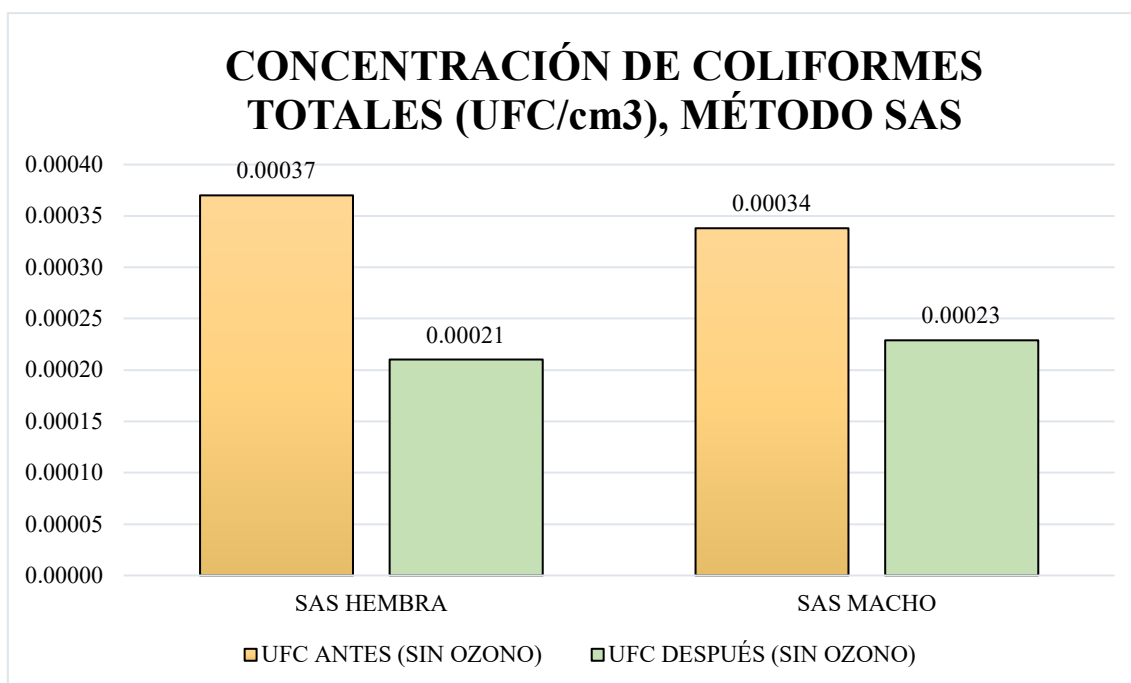


Figura 7. Promedio general UFC por cm³ de Coliformes Totales, metodología SAS

De acuerdo con la Figura 7 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono, la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) del microorganismo denominado Coliformes totales, obtenida mediante la metodología de recolección SAS, fue de 0.00037UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos hembra, y de 0.00021UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos macho. Tras la aplicación del ozono, se observó una disminución del 43.24% en la concentración del microorganismo Coliformes totales en la muestra de pollos hembra, reduciéndose a 0.00021UFC/cm³, y una disminución del 32.25% en la muestra de pollos macho, reduciéndose a 0.00023UFC/cm³.

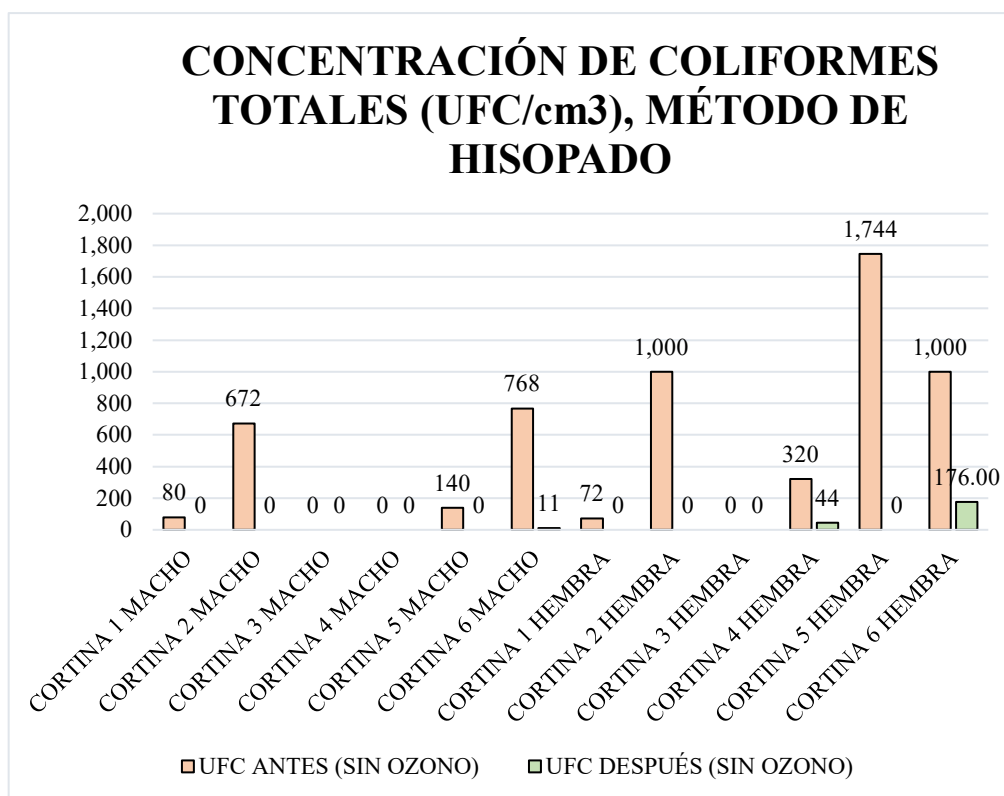


Figura 8. Promedio general UFC por cm³ de Coliformes Totales, metodología de Hisopado

De acuerdo con la Figura 8 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono, la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) del microorganismo denominado Coliformes totales, obtenida mediante la metodología de recolección de hisopado, fue en promedio de 276.67UFC/cm³ con respecto a la muestra de pollos macho; mientras que, se determinó un valor promedio 689.33UFC/cm³. Siendo que, producto de la aplicación del ozono el promedio de la muestra concerniente a los pollos machos, disminuyó a un promedio de concentración de 1.83UFC/cm³, lo que se tradujo en una disminución de 99.34 puntos porcentuales; mientras que el promedio de concentración posterior a la aplicación de ozono para la muestra comprendida por pollos hembra fue de 36.67UFC/m³, equivalente a una disminución de 94.68%.

En resumen, se determinó mediante el método SAS e hisopado una concentración inicial promedio de 414UFC/cm³ y una concentración final, posterior a la desinfección con ozono, de 16.50 UFC/cm³, lo que se tradujo en una disminución del 96.01%. Estos resultados en cuanto a la concentración inicial y posterior de Coliformes totales en UFC/cm³ se asemejaron a los reportados por Ponce (46), quien encontró que la aplicación de ozono redujo la concentración de estos microorganismos en un 71.4%.

Aunque la reducción observada en el estudio de Ponce fue menor, ambos estudios coinciden en la efectividad del ozono para disminuir significativamente la carga de Coliformes totales. Esta similitud destacaba la capacidad del ozono como agente antimicrobiano, aunque las diferencias en los porcentajes de reducción podrían atribuirse a factores como las condiciones experimentales, la dosis de ozono aplicada y la duración de la exposición.

Además, cabe mencionar que las características intrínsecas de las muestras, como su composición y la presencia de otros microorganismos, podrían haber influido en la eficacia del ozono. A pesar de estas variaciones, la comparación de ambos estudios subrayaba la robustez del ozono en la reducción de Coliformes totales, consolidando su potencial en aplicaciones de desinfección.

1.6.3. Microorganismo: Enterobacterias

Tabla 8. Promedio general de UFC por cm³ en Enterobacterias, antes y después de la desinfección con Ozono

MICROORGANISMOS	ANTES (SIN OZONO)	%	DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN
ENTEROBACTERIAS	1,008.79	100%	101.79	89.91%
WILCOXON		SIG= 0.001		

Nota. Promedio de microorganismos Enterobacterias antes y posterior a la aplicación de ozono.

Como puede visualizarse en la Tabla 8, se plasmó el promedio general de unidades formadoras de colonias (UFC/cm³) correspondiente al microorganismo denominado Enterobacterias. Antes de la aplicación del ozono, se determinó un promedio general de 1,008.79UFC/cm³ en los distintos ambientes. Tras la aplicación del ozono, se observó una concentración de 101.79UFC/cm³, lo que representó una disminución del 89.91% con respecto al valor inicial de concentración de Enterobacterias.

Asimismo, el análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon arrojó una significancia bilateral de 0.001, menor al 5% del nivel de significancia. Esto reflejó que se rechazaba la hipótesis nula y se aceptaba la hipótesis alterna, es decir, la utilización de ozono disminuyó efectivamente la carga de Enterobacterias en los espacios de los galpones destinados a la recepción de pollo recién nacido.

Tabla 9. Recuento de UFC por cm³ del microorganismo *Enterobacterias* antes y posterior a la desinfección con Ozono

MUESTRAS	ANTES (SIN OZONO)	DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN
SAS HEMBRA	0.0006	0.0003	49.05%
SAS MACHO	0.0005	0.0003	28.35%
HISOPADO - CORTINA 1 MACHO	368	5	98.64%
HISOPADO - CORTINA 2 MACHO	816	7	99.14%
HISOPADO - CORTINA 3 MACHO	1	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 4 MACHO	6	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 5 MACHO	700	17	97.57%
HISOPADO - CORTINA 6 MACHO	978	13	98.67%
HISOPADO - CORTINA 1 HEMBRA	250	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 2 HEMBRA	2,000	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 3 HEMBRA	1,664	3	99.82%
HISOPADO - CORTINA 4 HEMBRA	1,712	68	96.03%
HISOPADO - CORTINA 5 HEMBRA	3,628	0	100.00%
HISOPADO - CORTINA 6 HEMBRA	2,000	1,312	34.40%

Nota. Recuento de unidades formadoras de colonias del microorganismo *Enterobacterias* antes y después de la aplicación de ozono mediante las metodologías de recolección de datos SAS e hisopado, de acuerdo con la zona de muestreo, así como el sexo de la muestra (macho o hembra).

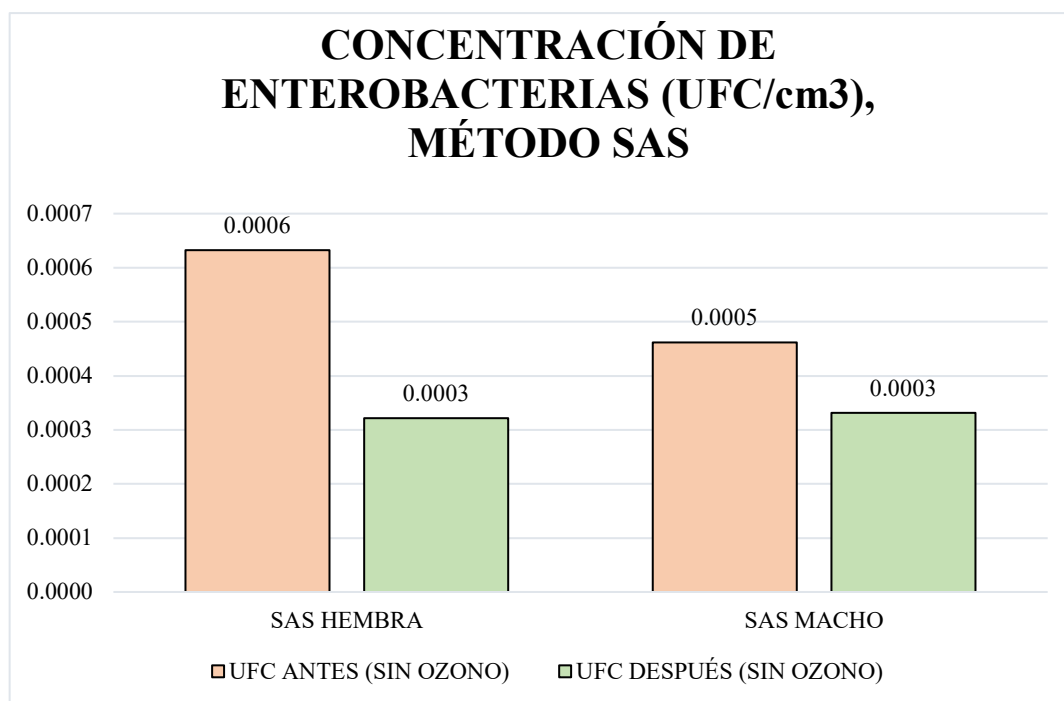


Figura 9. Promedio general UFC por cm³ de Enterobacterias, metodología SAS

De acuerdo con la Figura 9 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono, la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) del microorganismo denominado Enterobacterias, obtenida mediante la metodología de recolección SAS, fue de 0.00067UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos hembra, y de 0.0005UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos macho. Tras la aplicación del ozono, se registró una concentración de 0.0003UFC/cm³ en la muestra correspondiente a los pollos hembra, lo que significó una disminución de 49.05% en cuanto a la concentración de este microorganismo; mientras que en la muestra concerniente a los pollos macho se registró una concentración de 0.0003UFC/cm³, lo que significó una disminución de 28.35%.

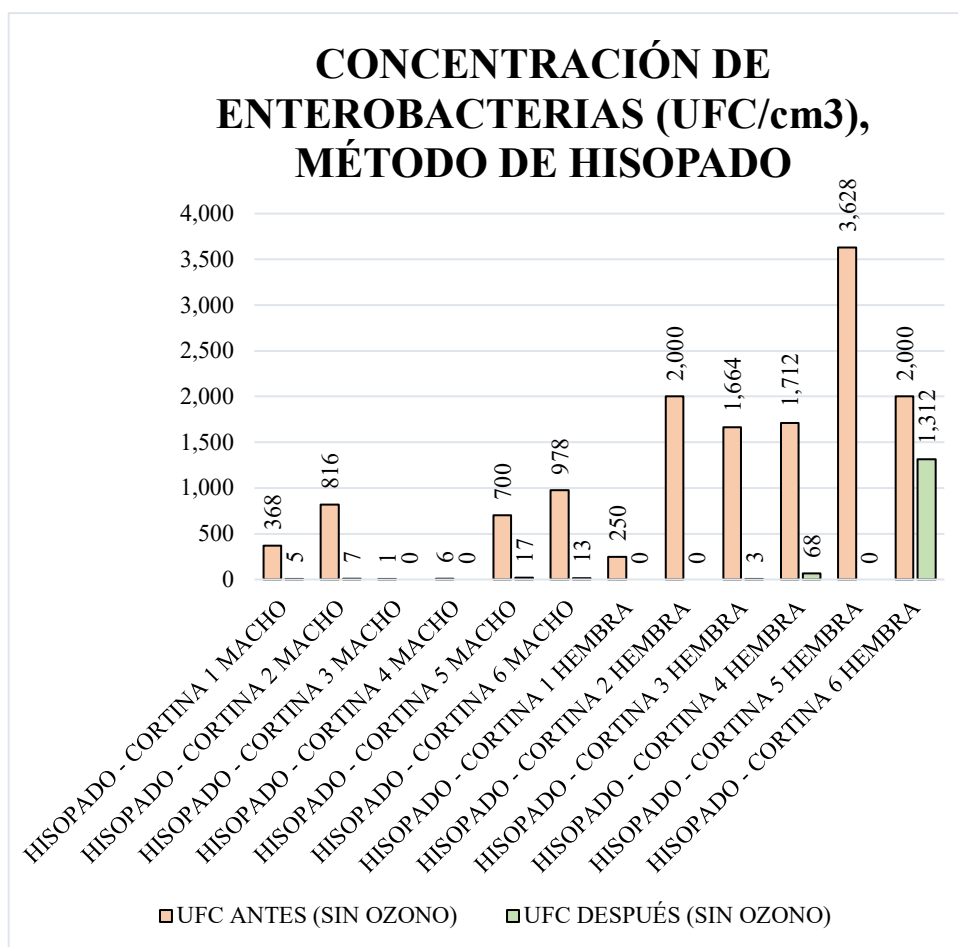


Figura 10. Promedio general UFC por cm³ de Enterobacterias, metodología de Hisopado

De acuerdo con la Figura 10 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono, la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) del microorganismo denominado Coliformes totales, obtenida mediante la metodología de recolección de hisopado, fue en promedio de 478.17UFC/cm³ con respecto a la muestra de pollos macho; mientras que, se determinó un valor promedio 1,875.67UFC/cm³ correspondiente a la muestra de pollos hembra. Siendo que, producto de la aplicación del ozono el promedio de la muestra concerniente a los pollos machos, disminuyó a un promedio de concentración de 7.0UFC/cm³, lo que se tradujo en una disminución de 98.54 puntos porcentuales; mientras que el promedio de concentración posterior a la aplicación de ozono para la muestra comprendida por pollos hembra fue de 230.50UFC/m³, equivalente a una disminución de 87.71%.

En resumen, se determinó mediante el método SAS e hisopado una concentración inicial promedio de 1,008.79UFC/cm³ y una concentración final, posterior a la desinfección con ozono, de 101.79UFC/cm³, lo que se tradujo en una disminución del 89.91%. Estos resultados en cuanto a la concentración inicial y posterior de Enterobacterias en UFC/cm³ se asemejaron a los reportados por Ponce (46), quien encontró que la aplicación de ozono redujo la concentración de estos microorganismos en un 30%.

Aunque la reducción observada en el estudio de Ponce fue menor, ambos estudios coinciden en la efectividad del ozono para disminuir significativamente la carga de Enterobacterias. Esta similitud destacaba la capacidad del ozono como agente antimicrobiano, aunque las diferencias en los porcentajes de reducción podrían atribuirse a factores como las condiciones experimentales, la dosis de ozono aplicada y la duración de la exposición.

Además, cabe mencionar que las características intrínsecas de las muestras, como su composición y la presencia de otros microorganismos, podrían haber influido en la eficacia del ozono. A pesar de estas variaciones, la comparación de ambos estudios subrayaba la robustez del ozono en la reducción de Enterobacterias, consolidando su potencial en aplicaciones de desinfección.

1.6.4. Microorganismo: Hongos y Levaduras

Tabla 10. Promedio general de UFC por cm³ en Hongos y Levaduras, antes y después de la desinfección con Ozono

MICROORGANISMOS	ANTES (SIN OZONO)	%	DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN
HONGOS Y LEVADURAS	226.43	100%	47.07	79.21%
WILCOXON		SIG= 0.001		

Nota. Promedio de microorganismos Hongos y levaduras antes y posterior a la aplicación de ozono.

Como puede visualizarse en la Tabla 10, se plasmó el promedio general de unidades formadoras de colonias (UFC/cm³) correspondiente al microorganismo denominado Enterobacterias. Antes de la aplicación del ozono, se determinó un promedio general de 226.43UFC/cm³ en los distintos ambientes. Tras la aplicación del ozono, se observó una concentración de 47.07UFC/cm³, lo que representó una disminución del 79.21% con respecto al valor inicial de concentración de Enterobacterias.

Asimismo, el análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon arrojó una significancia bilateral de 0.001, menor al 5% del nivel de significancia. Esto reflejó que se rechazaba la hipótesis nula y se aceptaba la hipótesis alterna, es decir, la utilización de ozono disminuyó efectivamente la carga de Hongos y levaduras en los espacios de los galpones destinados a la recepción de pollo recién nacido.

Tabla 11. Recuento de UFC por cm³ del microorganismo Hongos y levaduras antes y posterior a la desinfección con Ozono

MUESTRAS	ANTES (SIN OZONO)	DESPUÉS (SIN OZONO)	% DE DISMINUCIÓN
SAS HEMBRA	0.00011	0.00004	62.50%
SAS MACHO	0.00014	0.00011	20.59%
HISOPADO - CORTINA 1 MACHO	1,000	544	45.60%
HISOPADO - CORTINA 2 MACHO	1,000	7	99.30%
HISOPADO - CORTINA 3 MACHO	76	15	80.26%
HISOPADO - CORTINA 4 MACHO	81	17	79.01%
HISOPADO - CORTINA 5 MACHO	186	8	95.70%
HISOPADO - CORTINA 6 MACHO	92	20	78.26%
HISOPADO - CORTINA 1 HEMBRA	324	5	98.46%
HISOPADO - CORTINA 2 HEMBRA	248	7	97.18%
HISOPADO - CORTINA 3 HEMBRA	42	8	80.95%
HISOPADO - CORTINA 4 HEMBRA	1	1	0.00%
HISOPADO - CORTINA 5 HEMBRA	100	22	78.00%
HISOPADO - CORTINA 6 HEMBRA	20	5	75.00%

Nota. Recuento de unidades formadoras de colonias del microorganismo Hongos y levaduras antes y después de la aplicación de ozono mediante las metodologías de recolección de datos SAS e hisopado, de acuerdo con la zona de muestreo, así como el sexo de la muestra (macho o hembra).

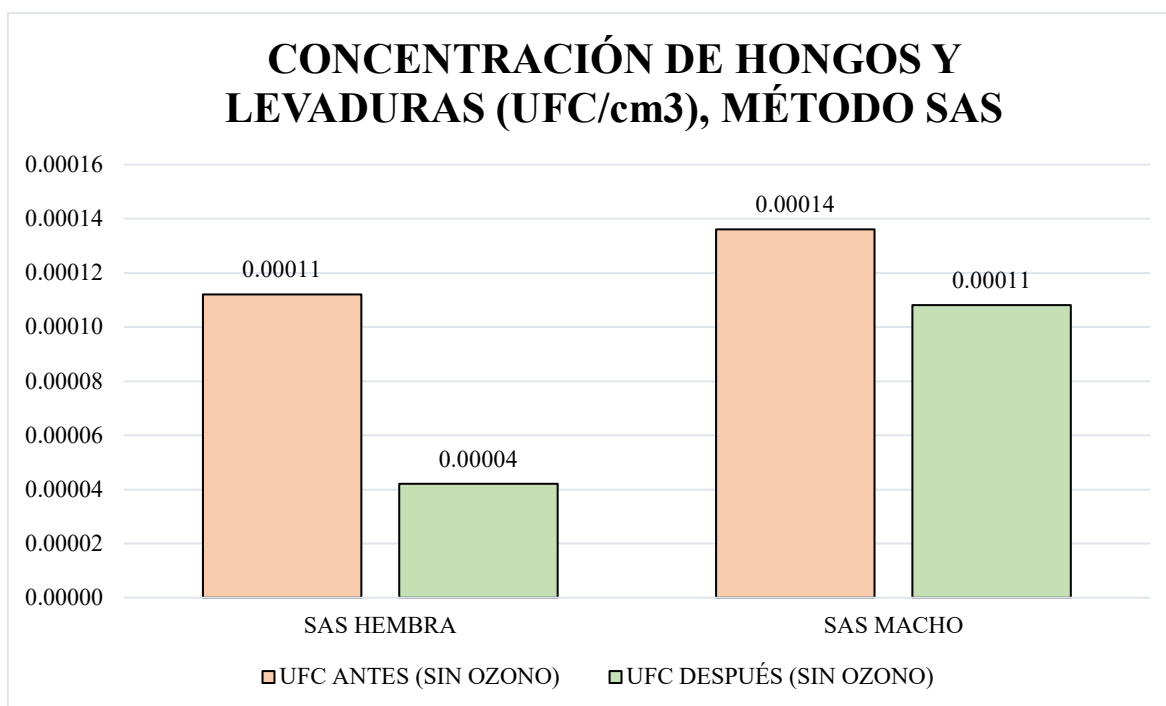


Figura 11. Promedio general UFC por cm³ de Hongos y levaduras, metodología SAS

De acuerdo con la Figura 11 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono, la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) del microorganismo denominado Enterobacterias, obtenida mediante la metodología de recolección SAS, fue de 0.00011UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos hembra, y de 0.00014UFC/cm³ en la muestra correspondiente a pollos macho. Tras la aplicación del ozono, se registró una concentración de 0.00004UFC/cm³ en la muestra correspondiente a los pollos hembra, lo que significó una disminución de 62.50% en cuanto a la concentración de este microorganismo; mientras que en la muestra concerniente a los pollos macho se registró una concentración de 0.00011UFC/cm³, lo que significó una disminución de 20.59%.

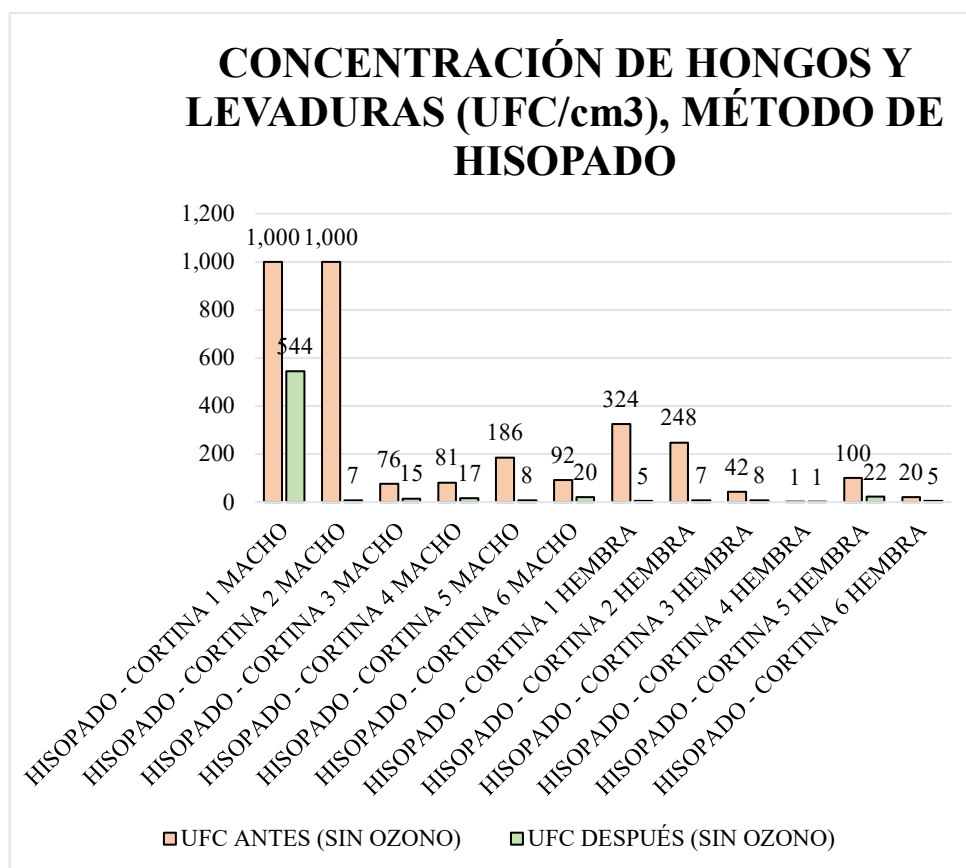


Figura 12. Promedio general UFC por cm³ de Hongos y Levaduras, metodología de Hisopado

De acuerdo con la Figura 12 se determinó que, en una fase previa a la aplicación de ozono, la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) del microorganismo denominado Coliformes totales, obtenida mediante la metodología de recolección de hisopado, fue en promedio de 405.83UFC/cm³ con respecto a la muestra de pollos macho; mientras que, se determinó un valor promedio 122.50UFC/cm³ correspondiente a la muestra de pollos hembra. Siendo que, producto de la aplicación del ozono el promedio de la muestra concerniente a los pollos machos, disminuyó a un promedio de concentración de 101.83UFC/cm³, lo que se tradujo en una disminución de 74.91 puntos porcentuales; mientras que el promedio de concentración posterior a la aplicación de ozono para la muestra comprendida por pollos hembra fue de 8UFC/m³, equivalente a una disminución de 93.47%.

En resumen, se determinó mediante el método SAS e hisopado una concentración inicial promedio de 226.43UFC/cm³ y una concentración final, posterior a la desinfección con ozono, de 47.07UFC/cm³, lo que se tradujo en una disminución del 79.21%. Estos resultados en cuanto a la concentración inicial y posterior de Hongos y levaduras en UFC/cm³ se asemejaron a los reportados por Ponce (46), quien encontró que la aplicación de ozono redujo la concentración de estos microorganismos en un 65%.

Aunque la reducción observada en el estudio de Ponce fue menor, ambos estudios coinciden en la efectividad del ozono para disminuir significativamente la carga de Hongos y levaduras. Esta similitud destacaba la capacidad del ozono como agente antimicrobiano, aunque las diferencias en los porcentajes de reducción podrían atribuirse a factores como las condiciones experimentales, la dosis de ozono aplicada y la duración de la exposición.

Además, cabe mencionar que las características intrínsecas de las muestras, como su composición y la presencia de otros microorganismos, podrían haber influido en la eficacia del ozono. A pesar de estas variaciones, la comparación de ambos estudios subrayaba la robustez del ozono en la reducción de Hongos y levaduras, consolidando su potencial en aplicaciones de desinfección

1.6.5. Resultados inferenciales

1.6.5.1. Prueba de normalidad

H0: Los datos son paramétricos

H1: Los datos no son paramétricos

Tabla 12. Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Total antes	0.276	70	0.000	0.695	70	0.000
Total después	0.257	70	0.000	0.708	70	0.000

Nota. La tabla muestra la prueba de normalidad de los datos concernientes a la concentración de microorganismos en UFC/cm³ antes y posterior a la desinfección con ozono.

Dado que se trataba de datos menores a 50 observaciones, se procedió a utilizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Siendo que, el valor de significancia bilateral obtenido fue de 0.000 para ambas variables, lo que significó rechazar la hipótesis nula. Esto indicó que los datos relativos a la concentración de UFC/cm³ no seguían una distribución normal. En consecuencia, para realizar la prueba estadística de muestras emparejadas y comprobar la hipótesis general de la investigación, se empleó la prueba de Wilcoxon.

1.6.5.2. Prueba de hipótesis general

H0: No es posible reducir la cantidad de microorganismos por cm³ mediante la desinfección con Ozono en las zonas de recepción de pollo recién nacido.

H1: Es posible reducir la cantidad de microorganismos por cm³ mediante la desinfección con Ozono en las zonas de recepción de pollo recién nacido.

Tabla 13. Prueba estadística de muestras emparejadas de Wilcoxon

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
No es posible reducir la cantidad de microorganismos en UFC/cm ³ mediante la desinfección con Ozono en las zonas de recepción de pollo recién nacido.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestra relacionadas	0.025	Rechazar la hipótesis nula

En la prueba estadística de muestras emparejadas relacionadas de Wilcoxon, se obtuvo una significancia bilateral de 0.025, siendo el nivel de significancia establecido del 5%. Dado que el valor de p (0.025) fue menor que el nivel de significancia (0.05), se rechazó la hipótesis nula. Esto indicó que existían evidencias suficientes para concluir que la desinfección con ozono redujo significativamente la cantidad de microorganismos por cm³ en las zonas de recepción de pollo recién nacido. Por lo tanto, se aceptó la hipótesis alternativa, sugiriendo que la desinfección con ozono fue efectiva en disminuir la carga microbiana en las áreas evaluadas.

CONCLUSIONES

General

En conclusión, el proceso de desinfección con ozono demostró ser efectivo para reducir la concentración de organismos microbiológicos en los galpones destinados a la recepción de pollos recién nacidos. Los resultados mostraron una disminución significativa en diversas categorías de microorganismos: 44.89% en mesófilos aerobios totales, 28.30% en *Escherichia coli*, 96.01% en coliformes totales, 89.01% en enterobacterias, y 79.21% en hongos y levaduras. Estos hallazgos subrayan la eficacia del ozono como agente desinfectante en entornos avícolas, contribuyendo a mejorar las condiciones de higiene y reducir el riesgo de infecciones microbianas.

Específicas

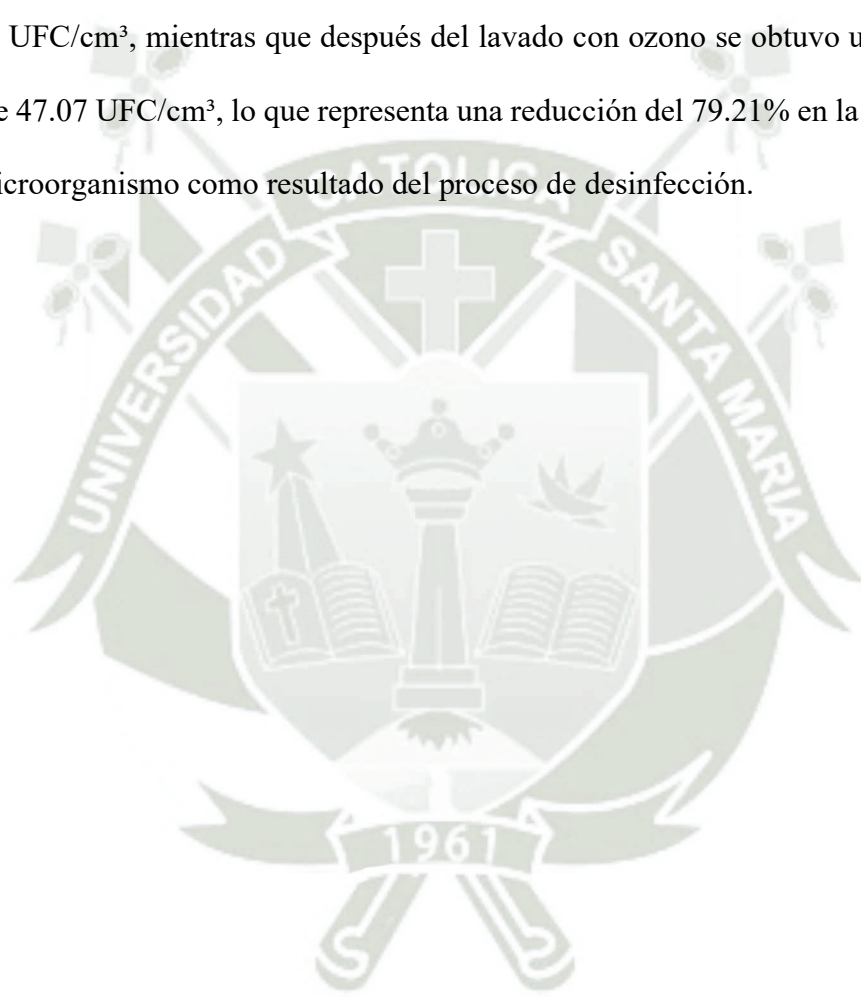
En cuanto a la concentración inicial de Mesófilos Aerobios Totales, se determinó un promedio de 1,662.86 UFC/cm³. Posteriormente, tras la aplicación del proceso de desinfección con ozono, se registró un promedio de 916.43 UFC/cm³, lo que representó una reducción del 44.89% respecto a la concentración inicial.

Por otro lado, la concentración inicial de *Escherichia coli* se estableció en un promedio de 0.00003 UFC/cm³. Tras la desinfección con ozono, esta concentración descendió a 0.00002 UFC/cm³, lo que implicó una disminución del 28.30% en comparación con la concentración inicial de este microorganismo.

En cuanto a los Coliformes totales, se determinaron concentraciones iniciales promedio de 414 UFC/cm³ y finales de 16.50 UFC/cm³, demostrando la efectividad del lavado con ozono en la reducción de su concentración en los galpones destinados a la recepción de pollos recién nacidos.

Además, la concentración inicial de Enterobacterias fue de 1,008.79 UFC/cm³. Tras el proceso de desinfección con ozono, se observó una reducción del 89.91%, alcanzando una concentración final de 101.79 UFC/cm³. Esto confirma la eficacia del ozono para disminuir la presencia de microorganismos en el ambiente de los galpones avícolas.

Finalmente, en relación con los Hongos y levaduras, se registró una concentración inicial de 226.43 UFC/cm³, mientras que después del lavado con ozono se obtuvo una concentración final de 47.07 UFC/cm³, lo que representa una reducción del 79.21% en la concentración de este microorganismo como resultado del proceso de desinfección.



RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el proceso de desinfección con ozono de manera regular, ajustando la frecuencia y duración del tratamiento según las condiciones específicas del ambiente avícola. Es crucial monitorear continuamente las concentraciones microbianas para evaluar la efectividad a largo plazo del método de desinfección.

Asimismo, es aconsejable realizar un análisis detallado de las prácticas de manejo y bioseguridad en los galpones avícolas. Además del tratamiento con ozono, considerar la implementación de medidas adicionales de control, como la limpieza regular de equipos y superficies, para mantener las concentraciones de *Escherichia coli* dentro de los límites aceptables.

Entre tanto también, se sugiere integrar el lavado con ozono como parte integral del protocolo de limpieza y desinfección en los galpones avícolas. Establecer procedimientos estandarizados y capacitar al personal en la correcta aplicación del ozono garantizará resultados consistentes y significativos en la reducción de Coliformes totales.

Asimismo, se recomienda realizar análisis periódicos de la calidad del aire y superficies en los galpones avícolas para detectar tempranamente posibles incrementos en las concentraciones de Enterobacterias. Mantener una vigilancia activa permitirá tomar acciones preventivas y correctivas oportunas, incluyendo la aplicación regular de ozono como método de desinfección.

Por último, se recomienda implementar un programa continuo de monitoreo ambiental y tratamiento con ozono es esencial para mantener bajas concentraciones de Hongos y levaduras en los galpones avícolas. Ajustar las condiciones ambientales y prácticas de

manejo según los resultados del monitoreo asegurará un ambiente saludable y productivo para los pollos recién nacidos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gržinić G, Piotrowicz A, Klimkowicz A, Górny R, Ławniczek A, Piechowicz L, et al. Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health. *Science of The Total Environment*. 2023 Febrero; 858(3): p. 28.
2. Maertens H, Van E, Millet S, Van S, Sleenckx N, Meyer E, et al. Repeated disinfectant use in broiler houses and pig nursery units does not affect disinfectant and antibiotic susceptibility in *Escherichia coli* field isolates. *BMC Vet Res*. 2020 Mayo; 16(140).
3. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Boletín estadístico mensual. Producción y comercialización de productos avícolas; 2023.
4. Gutiérrez M, Balvín E, Álvarez M, Chanco K. Conocimiento sobre higiene en la manipulación de alimentos en manipuladores de mercados de abasto del distrito de el Tambo, Huancayo, Junín. *Journal of Agri-Food Science*. 2022; 1(1): p. 77-84.
5. Bae D, Song K, Macoy D, Kim M, Lee C, Kim Y. Inactivation of Airborne Avian Pathogenic *E. coli* (APEC) via Application of a Novel High-Pressure Spraying System. *Microorganisms*. 2022 Noviembre; 10(11).
6. Chen N, Qin P, Liu Y, Yang Y, Wen H, Jia L, et al. Influence of New Compound Disinfectant From N-Dodecyl-2-(Piridin-1-Ium)Acetamide Chloride on Pathogenic Microorganisms in Poultry Houses. *Frontiers in microbiology*. 2021 Setiembre; 12(735859).
7. Acsa I, Lilly B, Philip N, Wanjiru N. Preliminary Study on Disinfectant Susceptibility/Resistance Profiles of Bacteria Isolated from Slaughtered Village Free-Range Chickens in Nairobi, Kenya. *International journal of microbiology*. 2021;(8877675): p. 7.
8. Megahed A, Aldridge B, Lowe J. Antimicrobial Efficacy of Aqueous Ozone and Ozone–Lactic Acid Blend on Salmonella-Contaminated Chicken Drumsticks Using Multiple Sequential Soaking and Spraying Approaches. *Front. Microbiol*. 2020 Diciembre; 11(593911): p. 1-11.

9. Epelle E, Macfarlane A, Cusack M, Burns A, Okolie J, Mackay W, et al. Ozone application in different industries: A review of recent developments. *Chemical Engineering Journal*. 2023 Febrero; 454-2(140188): p. 1-21.
10. Dubey P, Singh A, Yousuf O. Ozonation: an Evolving Disinfectant Technology for the Food Industry. *Food Bioprocess Technol*. 2022 Septiembre; 15: p. 2102-2113.
11. Celik O, Tirpanci G, Agma A. Gaseous ozone application on microbial properties of broiler feeds. *Italian Journal of Animal Science*. 2021 Agosto; 20(1): p. 1094-1102.
12. Grignani E, Mansi A, Cabella R, Castellano P, Tirabasso A, Sisto R, et al. Safe and Effective Use of Ozone as Air and Surface Disinfectant in the Conjunction of Covid-19. *Gases*. 2021 Diciembre; 1(1): p. 19-32.
13. Rao V. Poultry Trends. [Online].; 2023 [cited 2024 enero 17. Available from: <https://www.poultrytrends.in/ozone-the-next-big-thing-in-poultry-farming/>.
14. Extrack S.A.C. Procedimiento escrito de trabajo seguro (PETS). ; 2023.
15. Borges F, Meyer P, Jahara R, De Morais E, Antonuzzo P, Picariello F, et al. Fundamentals of the Use of Ozone Therapy in the Treatment of Aesthetic Disorders: A Review. *Journal of Biosciences and Medicines*. 2021 Diciembre; 9(12): p. 40-70.
16. Salmerón R, Tárraga L, Madrona F, Salmerón S, Tárraga P. Eficacia de la ozonoterapia en el tratamiento de la hernia de disco: Revisión Sistemática. *Journal Of Negative & No Positive Results*. 2021; 6(3): p. 588-607.
17. Ziyaina M, Rasco B. Inactivation of microbes by ozone in the food industry: A review. *African Journal of Food Science*. 2021; 15(3): p. 113-120.
18. Botondi R, Lembo M, Carboni C, Eramo V. The Use of Ozone Technology: An Eco-Friendly Method for the Sanitization of the Dairy Supply Chain. *Foods*. 2023 Febrero; 12(5): p. 1-30.
19. Lee J, Bong C, Lim W, Kee Bae P, Abafogi A, Ho Baek S, et al. Fast and Easy Disinfection of Coronavirus-Contaminated Face Masks Using Ozone Gas Produced by a Dielectric Barrier

- Discharge Plasma Generator. *Environmental Science & Tecnology Letters*. 2021; 8: p. 339-344.
20. TopOzono. TopOzono. [Online].; 2014 [cited 2024 Agosto 19. Available from: <https://topozono.com/ozono/tecnologia-para-generar-ozono/#:~:text=Existen%20distintos%20m%C3%A9todos%20para%20obtener,a%20partir%20del%20ox%C3%ADgeno%20atmosf%C3%A9rico.>
21. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Gobierno de México. [Online].; 2019 [cited 2024 Agosto 19. Available from: <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/el-ozono-como-contaminante-del-aire-y-riesgo-para-la-salud#:~:text=El%20ozono%20se%20considera%20un,disminuir%20la%20esperanza%20de%20vida.>
22. Environmental Protection Agency (EPA). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con ozono. Folleto Informativo. Washignton D.C.: EPA, Environmental Protection Agency; 1999.
23. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo n°094-2017 Perú: MINAM; 2017.
24. Bibi A, Ahmed A, Batool K, Rahman J. Isolation and Characterization of Mesophilic Bacteria from Rhizosphere of Plant Rice (*Oryza Sativa*) from Lodhran, Pakistan. *Biosci Biotech Res Asia*. 2020 Marzo; 17(1): p. 73-78.
25. Braz V, Melchior K, Moreira C. *Escherichia coli* as a Multifaceted Pathogenic and Versatile Bacterium. *Frontiers in cellular and infection microbiology*. 2020 Diciembre; 10(548492): p. 1-9.
26. Denamur E, Clermont O, Bonacorsi S, Goron D. The population genetics of pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*. 2020; 19: p. 37-54.
27. Bai V, Kit A, Kangadharan G, Gopinath R, Varadarajan P, Hao A. Experimental study on total coliform violations in the complied NH_2CL , O_3 , and UV treated municipal water supply system. *European physical journal plus*. 2022 Junio; 137(689): p. 1-18.

28. Hasan Tarek M, Hubbat J, Garner E. Microbial source tracking to elucidate the impact of land-use and physiochemical water quality on fecal contamination in a mixed land-use watershed. *Science of The Total Environment*. 2023; 872(162181): p. 18-26.
29. García D, De la Cruz M, Cabanillas L, Otiniano N, Rojas W, Salvatierra W, et al. Carbapenemase-Producing Bacteria Isolated from ICU Patients of a Peruvian Government Hospital during the COVID-19 Pandemic: A Descriptive Analysis. *Medicina*. 2023 Octubre; 50(10): p. 1-11.
30. Khadka C, Shyaula M, Syangtan G, Bista S, Tuladhar R, Singh A, et al. Extended-spectrum β -lactamases producing Enterobacteriaceae (ESBL-PE) prevalence in Nepal: A systematic review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*. 2023 Noviembre; 901.
31. Tilahun M, Kassa Y, Gedefie A, Ashagire M. Emerging Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae Infection, Its Epidemiology and Novel Treatment Options: A Review. *Infect Drug Resist*. 2021 Octubre; 14: p. 4363–4374.
32. Edwards H, Rhodes J. Accounting for the Biological Complexity of Pathogenic Fungi in Phylogenetic Dating. *Journal of fungi*. 2021 Agosto; 7(8).
33. Segal C, Romero L, Alcaraz L, López G, Martínez B, Torres N, et al. Yeasts Inhabiting Extreme Environments and Their Biotechnological Applications. *Microorganisms*. 2022 Abril; 10(4).
34. Avantor. VWR. [Online].; 2020 [cited 2024 Enero 5. Available from: https://fr.vwr.com/assetsvc/asset/fr_FR/id/25422008/contents/vwr-surface-air-system-sas-monitoring-instruments.pdf.
35. Martí Solé M. NTP 299: Método para el recuento de bacterias y hongos en aire. ; 2000.
36. Bhunia A, Singh A, Parker K, Applegate B. Petri-plate, bacteria, and laser optical scattering sensor. *Frontiers in cellular and infection microbiology*. 2022 Diciembre; 12(1087074).

37. Rini C, Saidi I, Rohmah J. Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Flour as an *Escherichia coli* and *Bacillus cereus*. *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* Wijaya Kusuma (JIKW). 2023 Marzo; 12(1).
38. Testa A. Evaluación de medios de cultivo cromogénicos para el recuento y detección de bacterias coliformes totales y *Escherichia coli* en agua mineral. , Universidad Nacional de Cuyo; 2022.
39. Bernuy M, Tabaco S, Lobo S, Vera Z, Hernández P. Estudio microbiológico de presencia de *Penicillium* spp. en muestras de tocosh. *Rev. Inv. UNW*. 2023 Agosto; 12(1).
40. Engel T, Tehupeiry M, Melchers W, Reijers M, Merkus P, Verweij P. Evaluation of a New Culture Protocol for Enhancing Fungal Detection Rates in Respiratory Samples of Cystic Fibrosis Patients. *J. Fungi*. 2020 Junio; 6(82).
41. Rangel K, Cabral F, Lechuga G, Carvalho J, Villas M, Midlej V, et al. Detrimental Effect of Ozone on Pathogenic Bacteria. *Microorganisms*. 2022 Enero; 10(40): p. 1-17.
42. Werlang G, Kich J, Lopes G, Coldebella A, Fedderm V, Cardoso M. Effect of gaseous ozone application during chilling on microbial and quality attributes of pig carcasses. *Food Sci Technol Int*. 2022 Abril; 28(4): p. 366-376.
43. Chang R, Pandey P, James P, Pandey P, Li Y, Zhang R, et al. Assessment Impacts of Ozone on *Salmonella Typhimurium* and *Escherichia coli* O157:H7 in Liquid Dairy Waste. *Appl. Sci*. 2022 Junio; 12(13): p. 1-15.
44. Camus W. Efecto del ozono como pre tratamiento para incrementar la conervación de la carne de pollo broiler suplementada con plasma porcino. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial]. Lima: Universidad Nacional de San Marcos; 2020.
45. Pasapera S, Ventura G. Efecto antimicrobiana del agua ozonizada en la industria de procesamiento de filete de *Oncorhynchus mykiss* (trucha arco iris). [Tesis para optar el título profesional de ingeniero en Industrias Alimentarias]. Jaén: Universidad Nacional de Jaén; 2023.

46. Ponce J. Eficiencia del proceso de desinfección de ambientes de la Clínica de Pequeños

Animales con el empleo de ozono (O₃), como agente desinfectante para disminuir la contaminación. [Tesis para optar el título profesional de Médico Veterinario y Zootecnista].

Arequipa: Universidad Católica Santa María; 2023.

