

Evaluación de la eficacia antimicrobiana de un yodóforo artesanal mediante el conteo de unidades formadoras de colonias: centro de paso de la Universidad Agraria del Ecuador

David Octavio Rugel González¹

Docente de la Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador
drugel@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3900-1209>

María Fernanda Jaime La Rosa²

Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador
maria.jaime.larosa@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-4323-3698>

Ruth Elena Olivares Villacres³

Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador
ruth.olivares.villacres@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-8268-0595>

Jhosue Steven Rios Vega⁴

Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador
steven.rios.vega@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-8457-942X>

Daniel Andrés Romero León⁵

Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador
daniel.romero.leon@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-0432-183X>

Cómo citar:

Rugel González, D.O., Jaime La Rosa, M. F., Olivares Villacreses, R. E., Rios Vega, J.S., Romero León, D.A., (2026). Evaluación de la eficacia antimicrobiana de un yodóforo artesanal mediante el conteo de unidades formadoras de colonias: centro de paso de la Universidad Agraria del Ecuador. *Visión Académica*, 4(3), 895-912. <https://doi.org/10.70577/4txj9f14>

Fecha de recepción: 2026-05-21

Fecha de aceptación: 2026-07-23

Fecha de publicación: 2026-08-26

Resumen

El estudio tuvo como problemática la relación de la elevada carga microbiana presente en piscinas destinadas al manejo temporal de animales y con la necesidad de validar alternativas desinfectantes de bajo costo. El objetivo fue evaluar la eficacia antimicrobiana de un yodóforo artesanal mediante el conteo de Unidades Formadoras de Colonias en piscinas del Centro de Paso de la Universidad Agraria del Ecuador. Se aplicó un enfoque cuantitativo, experimental, mediante un Diseño de

Bloques Completos al Azar con dos piscinas como bloques, tres concentraciones de yodóforo (0,5%, 1,5% y 2,0%) y dos repeticiones por tratamiento, totalizando 12 unidades experimentales. Los resultados mostraron cargas iniciales >300 UFC/mL y valores finales de 0 UFC/mL en los 12 ensayos, con eficacia aparente del 100% y reducción logarítmica mínima >2,48 en todas las concentraciones. No se observaron diferencias entre tratamientos, por lo que la concentración de 0,5% se perfila como la alternativa más eficiente por lograr el mismo efecto con menor uso de yodo, aunque requiere validación adicional.

Palabras clave: Bioseguridad, desinfección, eficacia antimicrobiana, yodóforo artesanal.

Evaluation of the antimicrobial efficacy of a homemade iodophor through colony-forming unit counting: transit center of the Agricultural University of Ecuador

Abstract

The study addressed the problem of high microbial loads in pools used for the temporary handling of animals and the need to validate low-cost disinfectant alternatives. The objective was to evaluate the antimicrobial efficacy of a homemade iodophor by counting Colony Forming Units (CFU) in pools at the Animal Handling Center of the Agrarian University of Ecuador. A quantitative, experimental approach was used, employing a Randomized Complete Block Design with two pools as blocks, three iodophor concentrations (0.5%, 1.5%, and 2.0%), and two replicates per treatment, totaling 12 experimental units. The results showed initial microbial loads >300 CFU/mL and final values of 0 CFU/mL in all 12 trials, with an apparent efficacy of 100% and a minimum logarithmic reduction >2.48 at all concentrations. No differences were observed between treatments, therefore the 0.5% concentration appears to be the most efficient alternative, achieving the same effect with less iodine, although further validation is required.

Keywords: Biosafety, disinfection, antimicrobial efficacy, homemade iodophor.

Introducción

A nivel mundial, la Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (2021) ha señalado que los programas de limpieza y desinfección constituyen una de las principales barreras para prevenir la propagación de agentes patógenos en centros de producción, conservación y atención animal. En este contexto, los compuestos yodados continúan siendo ampliamente utilizados por su capacidad para actuar frente a bacterias, hongos y diversos microorganismos de importancia sanitaria.

Doden et al. (2024) demostraron que el uso de povidona yodada con carácter antiséptico demostró una gran efectividad en aves de corral, logrando reducir de forma significativa la colonización bacteriana en comparación con superficies no tratadas, lo que corrobora el hecho de que los compuestos yodados son eficaces en los programas de bioseguridad veterinaria. Por su parte, Marchionatti et al. (2022) llegaron a la conclusión de que los protocolos que hacen uso de povidona yodada mantienen una eficacia equivalente a otros antisépticos de uso veterinario cuando se explora su eficacia para reducir la carga microbiana superficial a partir de su metaanálisis y revisión

sistemática de 1.067 publicaciones científicas.

En América Latina y los países en vía de desarrollo, los centros de rescate, conservación y manejo de fauna silvestre tienen escaso acceso a desinfectantes comerciales de elevado coste, lo que ha generado que se busquen alternativas que sean asequibles pero que mantengan niveles adecuados de eficacia microbiológica. Sin embargo, Tyski et al. (2024) demostraron que la povidona yodada a 4.000 µg/ml ha reducido más de 5 log₁₀ de células viables de microorganismos fúngicos en pruebas de suspensión realizadas a los 10 minutos de la exposición y las que evidencian una importante capacidad desinfectante bajo condiciones controladas.

En un estudio de Silva et al. (2025) se encontró que las disoluciones yodadas continúan siendo efectivas en la reducción de la población de bacterias en superficies y tejidos sometidos a procesos de higiene o descontaminación y resaltaron que es importante considerar la concentración y el tiempo de contacto como variables clave en el efecto antimicrobiano. Esto nos lleva a conocer que es importante validar científicamente alternativas desinfectantes que se pueden utilizar en instalaciones pecuarias y veterinarias de escasos recursos.

Para el caso ecuatoriano, en particular en los centros de alojamiento de animales transitorios, siguen existiendo problemas relacionados con la materia orgánica acumulada, la contaminación cruzada y la inexistencia de prácticas microbiológicas locales que permitan validar la efectividad de los productos aplicados en las prácticas de desinfección. Para el caso del Centro de Paso de la Universidad Agraria del Ecuador que alberga diversas especies de animales, es necesario indicar que los protocolos de prevención de enfermedades están basados fundamentalmente en la aplicación de prácticas de bioseguridad.

No obstante, la utilización de formulaciones artesanales carece de evidencia científica que respalde su incorporación como herramienta sanitaria institucional. Frente a esta problemática, resulta indispensable cuantificar objetivamente la reducción microbiana mediante indicadores microbiológicos confiables como las Unidades Formadoras de Colonias (UFC/cm²), consideradas uno de los métodos más utilizados para determinar la eficacia de los desinfectantes en superficies contaminadas.

En resumen, el presente estudio busca analizar el potencial antimicrobiano de un yodóforo artesanal, mediante la cuantificación de UFG en las superficies de los previos del Centro de Paso de la Universidad Agraria del Ecuador, considerando el efecto de diferentes concentraciones y distintos tiempos de exposición en la disminución de la carga bacteriana a fin de obtener evidencia científica que aporte al fortalecimiento de los Protocolos de Bioseguridad y al uso eficiente de desinfectantes accesibles económicamente.

Yodóforos: composición, propiedades y mecanismo de acción

Los yodóforos constituyen una de las formulaciones desinfectantes más utilizadas en los sectores veterinario, agropecuario, alimentario y sanitario debido a su amplio espectro antimicrobiano y a su capacidad para liberar yodo de manera gradual (Sierra et al., 2022). Desde el punto de vista químico, un yodóforo es una combinación de yodo elemental con un agente transportador o solubilizante,

generalmente polímeros o tensioactivos no iónicos, cuya función es aumentar la estabilidad del yodo y reducir sus efectos irritantes. Por otro lado, Puente (2023) expone que los yodóforos permiten mantener constantes las concentraciones de yodo libre, lo que potencia la acción antimicrobiana y reduce la volatilización del principio activo, lo que ha favorecido su uso en la desinfección de instalaciones pecuarias y superficies de contacto frecuente. La composición constitutiva básica de los yodóforos incluye yodo elemental, complejantes y solventes que favorecen su estabilidad química.

Entre los compuestos que destacan, se encuentra la povidona yodada y considerada uno de los antisépticos más utilizados a nivel mundial. En este sentido, Puente (2023) precisa que “la povidona yodada es un antiséptico de amplio espectro que sigue demostrando su eficacia frente a bacterias, hongos, virus y protozoos.” (p. 3), lo que pone de manifiesto su capacidad de actuar frente a diferentes grupos microbianos. Dicha propiedad es muy importante en las instalaciones para el manejo de los animales, ya que la diversidad de microorganismos potencialmente patógenos es elevada.

Las propiedades del yodóforo más destacadas son: el amplio espectro de acción antimicrobiana; la generación de poca resistencia bacteriana; la rápida y potente acción biocida; y cierta seguridad ambiental. En función de Eggers et al. (2018), la liberación sostenida de yodo libre permite ejecutar una acción sostenida frente a microorganismos grampositivos y gramnegativos, levaduras, hongos y algunos virus encapsulados. El mecanismo de acción de los yodóforos se relaciona con la oxidación y la yodación de componentes celulares esenciales para la supervivencia de los microorganismos.

El yodo libre penetra rápidamente las membranas celulares y provoca alteraciones estructurales en proteínas, ácidos nucleicos y enzimas metabólicas. En palabras de Eggers et al. (2022), “iodine rapidly penetrates microorganisms and disrupts proteins and nucleic acids through oxidation reactions” (p. 6). Como consecuencia, se produce la pérdida de integridad celular y la muerte del microorganismo. Esta acción múltiple explica la escasa aparición de mecanismos de resistencia frente a los compuestos yodados.

Bajo una perspectiva aplicada, Doden et al. (2024) valoraron la actividad antiséptica de la povidona yodada en aves domésticas y obtuvieron una reducción significativa de la carga bacteriana superficial tras la aplicación, determinando que los compuestos yodados son una alternativa eficaz para mejorar los protocolos de bioseguridad en los establecimientos pecuarios. Estos resultados apoyan el uso de formulaciones elaboradas que, en la medida de lo posible, hayan sido sometidas a una validación microbiológica que permita objetivar la efectividad del tratamiento.

Tabla 1

Principales propiedades de los yodóforos

Propiedad	Descripción
Amplio espectro	Actúa contra bacterias, hongos, virus y protozoarios

Liberación gradual	Mantiene niveles constantes de yodo activo
Baja resistencia microbiana	Múltiples sitios de acción dificultan la adaptación bacteriana
Rápida acción biocida	Destruye microorganismos en pocos minutos
Estabilidad química	Mayor duración que el yodo elemental
Aplicación versátil	Uso en superficies, equipos y tejidos vivos

Nota. Adaptado de Puente (2023) y Eggers et al. (2022).

Unidades Formadoras de Colonias (UFC) como indicador microbiológico

Según la Organización Internacional de Normalización (2022), el recuento de UFC constituye uno de los métodos microbiológicos más empleados para evaluar contaminación bacteriana en alimentos, agua, superficies y ambientes sanitarios. La importancia de este indicador radica en que proporciona evidencia objetiva sobre la presencia de microorganismos viables capaces de reproducirse y generar riesgos sanitarios.

En estudios de eficacia antimicrobiana, como el de Madigan et al. (2020) señalan que el conteo de colonias sigue siendo una de las técnicas más confiables para determinar la supervivencia bacteriana debido a que cuantifica únicamente microorganismos metabólicamente activos capaces de reproducirse.

El procedimiento generalmente comprende la toma de muestras mediante hisopado, la siembra en medios de cultivo apropiados, la incubación bajo condiciones estandarizadas y el conteo posterior de colonias desarrolladas. La variable suele expresarse en UFC/cm² cuando se analizan superficies. Cuanto menor sea el número de UFC registradas después de un tratamiento desinfectante, mayor será la eficacia antimicrobiana demostrada.

Tabla 2

Interpretación general del conteo de UFC en superficies

Nivel microbiológico	UFC/cm ²
Muy bajo	<10
Bajo	10–100
Moderado	101–500
Alto	501–1000
Muy alto	>1000

Nota. Adaptado de estándares microbiológicos utilizados en monitoreo ambiental y sanitario (ISO, 2022).

Bioseguridad en centros de manejo animal

La Organización Mundial de Sanidad Animal (2026) señala que la bioseguridad constituye una herramienta esencial para disminuir la propagación de enfermedades infecciosas y proteger tanto a los animales como a las personas involucradas en su manejo. En este sentido, establece que los protocolos de limpieza y desinfección representan uno de los componentes más importantes dentro

de cualquier programa integral de bioseguridad.

Portero et al. (2025) indican que los centros veterinarios y de alojamiento animal enfrentan riesgos permanentes derivados de la contaminación cruzada, la acumulación de materia orgánica y el tránsito constante de animales. Los autores sostienen que “la aplicación rigurosa de procedimientos de limpieza y desinfección constituye una medida indispensable para reducir la carga microbiológica ambiental y prevenir brotes infecciosos” (p.9). Esta afirmación habla de la necesidad de implementar medidas apoyadas por evidencia.

Las medidas de bioseguridad más destacadas son: el control de accesos, la limpieza de las instalaciones de forma periódica, la desinfección de las superficies, el uso de los equipos de protección personal, el tratamiento de los residuos biológicos y el control microbiológico de las zonas críticas. El Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (2021) indica que la desinfección no es una actividad aislada; además, debe formar parte de un programa sistematizado en el que la eficacia está determinada por muchos factores inherentes a la desinfección incluyendo la concentración del producto, el tiempo de contacto y las condiciones ambientales.

En el caso particular del Centro de Paso de la Universidad Agraria del Ecuador, resulta relevante la adopción de medidas de bioseguridad para reducir la cantidad de microorganismos o germicidas. La valoración de un yodóforo en forma artesanal para el conteo de UFC sea una posibilidad que brinda evidencia científica para validar un mantenimiento de la correcta permanencia en los hábitos de desinfección de bajo coste que sostengan el mantenimiento de los niveles sanitarios a las instalaciones involucradas a la prevención de enfermedades transmisibles.

Tabla 3

Componentes básicos de un programa de bioseguridad en centros de manejo animal

Componente	Función
Limpieza	Eliminación de materia orgánica
Desinfección	Reducción de microorganismos
Control de accesos	Prevención de contaminación externa
Uso de EPP	Protección del personal
Monitoreo microbiológico	Verificación de la eficacia sanitaria
Gestión de residuos	Control de fuentes de contaminación

Nota. Adaptado de WOA (2026) y OIRSA (2021).

Materiales y métodos

Enfoque y diseño experimental

La investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, de tipo experimental, orientado a determinar la eficacia antimicrobiana de un yodóforo artesanal sobre la carga bacteriana presente en el agua de dos piscinas del Centro de Paso de la Universidad Agraria del Ecuador. Se aplicó un Diseño de Bloques Completos al Azar, en el cual las piscinas constituyeron los bloques de control y

la concentración del desinfectante representará el factor experimental.

El diseño incluyó tres tratamientos correspondientes a concentraciones de yodóforo artesanal de 0,5%, 1,5% y 2,0%. Cada tratamiento contó con dos repeticiones dentro de cada bloque, obteniéndose 12 unidades experimentales. La utilización de las piscinas como bloques permitirá controlar estadísticamente las posibles diferencias iniciales de carga bacteriana, pH, materia orgánica y condiciones ambientales existentes entre ambas fuentes de agua.

Recolección y distribución de las unidades experimentales

Se recolectó un volumen total de 12 litros de agua procedente de las dos piscinas seleccionadas. Del estanque A se obtuvo 6 litros y del estanque B otros 6 litros. El agua correspondiente a cada estanque se distribuyó en 6 recipientes estériles con capacidad mínima de un litro, conformándose un total de 12 unidades experimentales.

En cada bloque, dos recipientes fueron asignados aleatoriamente al tratamiento con yodóforo al 0,5%, dos al tratamiento con concentración de 1,5% y dos al tratamiento con concentración de 2,0%. Cada recipiente contuvo un litro de agua y representó una unidad experimental independiente. La asignación aleatoria evitó que el orden de preparación o manipulación influya sistemáticamente en los resultados.

Tabla 4

Distribución de las unidades experimentales según bloques y tratamientos

Bloque	Fuente de agua	Tratamiento	Concentración	Repeticiones	Unidades experimentales
Bloque 1	Piscina A	T1	0,5%	2	A1 y A2
Bloque 1	Piscina A	T2	1,5%	2	A3 y A4
Bloque 1	Piscina A	T3	2,0%	2	A5 y A6
Bloque 2	Piscina B	T1	0,5%	2	B1 y B2
Bloque 2	Piscina B	T2	1,5%	2	B3 y B4
Bloque 2	Piscina B	T3	2,0%	2	B5 y B6
Total		3 tratamientos			12

Nota. Cada recipiente con un litro de agua constituye una unidad experimental. Las muestras tomadas antes y después de la aplicación corresponden a mediciones repetidas de cada unidad.

Formulación del yodóforo artesanal

Se elaboraron 3 formulaciones de yodóforo artesanal con un volumen final de 250 mL cada una. En todas las formulaciones se mantuvo constantes las cantidades de nonilfenol y ácido fosfórico, mientras que la cantidad de yodo varió de acuerdo con la concentración establecida. El volumen de agua destilada se ajustó para completar los 250 mL de cada preparación.

Tabla 5

Formulación del yodóforo artesanal para un volumen final de 250 mL

Ingrediente	Concentración 0,5%	Concentración 1,5%	Concentración 2,0%
Nonilfenol etoxilado	35 mL	35 mL	35 mL
Yodo metaloide	1,25 g	3,75 g	5,00 g
Ácido fosfórico	20 mL	20 mL	20 mL
Agua destilada	193,75 mL	191,25 mL	190,00 mL
Volumen final	250 mL	250 mL	250 mL

Nota. La formulación fue revisada por un profesional responsable del laboratorio antes de su preparación, debido a la manipulación de sustancias corrosivas, irritantes y químicamente activas.

Elaboración del desinfectante

En la primera etapa se realizó la complejación del yodo. Para ello, se colocaron 35 mL de nonilfenol etoxilado en un vaso de precipitación y se añadirá lentamente la cantidad de yodo correspondiente a cada concentración. La mezcla fue agitada de forma constante durante aproximadamente 20 a 30 minutos, hasta observar la incorporación homogénea del yodo en el agente complejante.

Posteriormente, se incorporó el agua destilada bajo agitación moderada durante aproximadamente 10 minutos. Luego se añadieron 20 mL de ácido fosfórico, controlando progresivamente el pH de la formulación. La preparación se mantuvo en agitación durante 15 minutos y, una vez terminada, permaneció en reposo durante 24 horas en un recipiente hermético, protegido de la luz y ubicado en un ambiente fresco.

Durante la elaboración se utilizaron bata de laboratorio, guantes compatibles con sustancias químicas, mascarilla y protección ocular. Además, el ácido tuvo que incorporarse lentamente a la mezcla y nunca manipularse sin supervisión técnica.

Muestreo microbiológico inicial

Antes de aplicar los tratamientos, se extrajo una alícuota de 20 mL de cada una de las 12 unidades experimentales mediante tubos Falcon estériles de 50 mL. Estas muestras constituyeron la medición inicial o línea base y permitirán establecer la carga bacteriana presente en cada recipiente antes de la aplicación del yodóforo.

Las muestras fueron identificadas mediante un código que incluya el bloque, el tratamiento, la repetición y el momento de evaluación. Por ejemplo, el código A-T1-R1-Pre correspondió a la primera repetición del tratamiento al 0,5% perteneciente a la piscina A antes de la desinfección.

Siembra microbiológica inicial

El procesamiento microbiológico se efectuó bajo condiciones de asepsia en una cabina de bioseguridad o flujo laminar previamente desinfectada. El personal utilizó bata, guantes de nitrilo, cofia, mascarilla y demás equipos de protección establecidos por el laboratorio.

De cada muestra se tomará un volumen de 10 µL con un asa bacteriológica calibrada y se realizó la siembra sobre el medio de cultivo seleccionado. Las placas fueron rotuladas e incubadas bajo condiciones estandarizadas de temperatura y tiempo. Finalizada la incubación, se efectuó el conteo de colonias desarrolladas y los resultados se expresaron en UFC/mL.

Debe considerarse que el agar *Salmonella-Shigella* es un medio selectivo y diferencial, por lo que no permite cuantificar la carga bacteriana total. Su empleo fue adecuado únicamente cuando se pretenda evaluar enterobacterias o colonias presuntivas de *Salmonella* y *Shigella*. Cuando el objetivo fue determinar el recuento total de bacterias viables, se utilizó preferentemente agar para recuento en placa o agar nutritivo.

Aplicación de los tratamientos

Después de obtener las muestras iniciales, se aplicó el tratamiento correspondiente a cada unidad experimental. Como cada recipiente contuvo un litro de agua y la dosificación establecida fue de 15 mL de producto por litro, se añadieron 15 mL del yodóforo artesanal a cada recipiente.

En las cuatro unidades correspondientes al T1 se aplicó el producto formulado al 0,5%; en las cuatro unidades del T2 se utilizó la concentración de 1,5%; y en las cuatro unidades del T3 se empleó la concentración de 2,0%. Después de la dosificación, cada recipiente fue homogeneizado mediante el mismo procedimiento y durante un tiempo uniforme.

El tiempo de contacto tuvo que establecerse previamente y mantenerse constante en todos los tratamientos. Por ejemplo, cuando se definió un tiempo de 10 minutos, este se aplicó de forma idéntica en las 12 unidades experimentales. Al eliminar el tiempo como factor experimental, no se incluyó como nivel de tratamiento, sino como una condición controlada del ensayo.

Muestreo y siembra postratamiento

Una vez transcurrido el tiempo de contacto, se tomó una segunda alícuota de 20 mL de cada unidad experimental. Las muestras postratamiento fueron procesadas utilizando el mismo volumen de siembra, medio de cultivo, técnica microbiológica, temperatura y tiempo de incubación empleados en la evaluación inicial.

Después de la incubación se realizó el conteo de las colonias y se calculó la carga bacteriana final. La comparación entre los valores previos y posteriores permitió determinar el número de colonias eliminadas y el porcentaje de eficacia alcanzado por cada concentración.

Por tanto, el estudio comprendió:

Tabla 6

Muestreo y siembra postratamiento

Elemento	Cantidad
----------	----------

Piscinas o bloques	2
Tratamientos	3
Repeticiones por tratamiento en cada bloque	2
Unidades experimentales	12
Muestras pretratamiento	6
Muestras postratamiento	6
Determinaciones microbiológicas mínimas	12

Nota. Los cultivos previos y posteriores no se denominaron en 12 unidades experimentales, debido a que proceden de las mismas 12 unidades.

Variable de respuesta y cálculo de la eficacia

La variable principal fue la reducción de la carga bacteriana viable, expresada en UFC/mL. El número de colonias eliminadas se determinó mediante la diferencia entre el recuento inicial y el recuento posterior:

$$\text{Colonias eliminadas} = \text{UFC iniciales} - \text{UFC finales}$$

El porcentaje de eficacia antimicrobiana se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Eficacia(\%)} = \frac{\text{UFC iniciales} - \text{UFC finales}}{\text{UFC iniciales}} * 100$$

También se calculó la reducción logarítmica para representar con mayor precisión cambios elevados en la carga microbiana:

$$\text{Reducción logarítmica} = \log_{10}(\text{UFC iniciales}) - \log_{10}(\text{UFC finales})$$

Resultados

La evaluación microbiológica evidenció una marcada diferencia entre la condición previa y posterior a la aplicación del yodóforo artesanal. Las muestras procedentes de las piscinas A y B presentaron inicialmente crecimiento bacteriano confluyente, por lo que se consideró una carga superior al límite operacional de 300 UFC/mL establecido. En contraste, después de aplicar las concentraciones de 0,5%, 1,5% y 2,0%, las doce unidades experimentales registraron ausencia de colonias visibles, equivalente operacionalmente a 0 UFC/mL. Este comportamiento representa una reducción mínima superior a 300 UFC/mL en todos los tratamientos. La interpretación debe entenderse como una estimación conservadora, debido a que la carga inicial real pudo ser superior a 300 UFC/mL.

Esta evaluación se estructuró en concordancia con el DBCA planteado en la metodología, donde las dos piscinas constituyeron los bloques y las tres concentraciones los tratamientos, con dos repeticiones en cada combinación. La norma ISO 7218:2024 establece requisitos generales y procedimientos estandarizados destinados a garantizar consistencia y precisión en los análisis microbiológicos, mientras que ISO 4833 contempla métodos de recuento de microorganismos

capaces de formar colonias en medios sólidos.

Tabla 7

Eficacia antimicrobiana del yodóforo artesanal según bloque, concentración y repetición

Bloque	TTO	Concentración	Rep.	UFC/mL inicial	UFC/mL final	Eliminadas*	RL*	Eficacia
Piscina A	T1	0,5%	1	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina A	T1	0,5%	2	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina A	T2	1,5%	1	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina A	T2	1,5%	2	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina A	T3	2,0%	1	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina A	T3	2,0%	2	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina B	T1	0,5%	1	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina B	T1	0,5%	2	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina B	T2	1,5%	1	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina B	T2	1,5%	2	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina B	T3	2,0%	1	>300	0	>300	>2,48	100%
Piscina B	T3	2,0%	2	>300	0	>300	>2,48	100%

Nota. La reducción se expresa como límite inferior debido al carácter incontable de las placas iniciales.

Como se observa en la Tabla 8, el patrón fue completamente consistente entre bloques y tratamientos: las doce unidades experimentales pasaron de una carga inicial >300 UFC/mL a ausencia de crecimiento observable. En consecuencia, la eficacia aparente alcanzó el 100% en 12 de 12 ensayos, independientemente de la piscina y de la concentración empleada. La consistencia entre ambos bloques sugiere que, bajo las condiciones simuladas, las diferencias ambientales entre Piscina A y Piscina B no modificaron el resultado final del tratamiento.

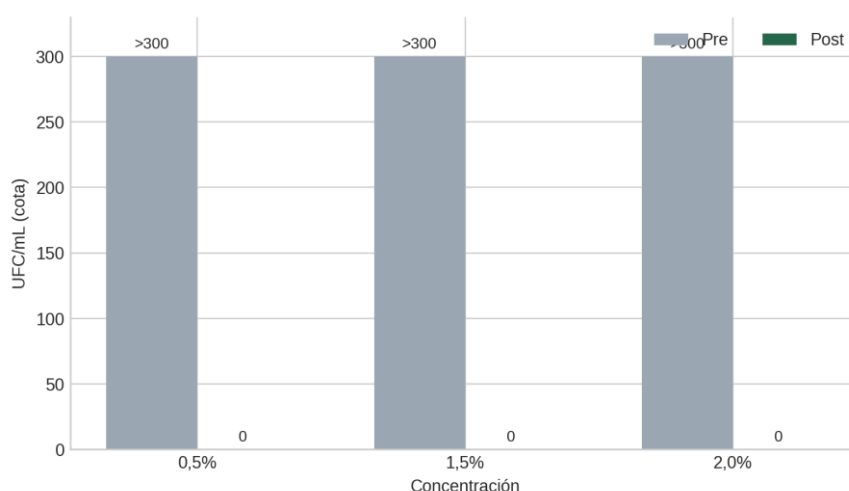
Este comportamiento es compatible con la literatura sobre compuestos yodados. Doden et al. (2024) demostraron actividad antiséptica significativa de la povidona yodada en *Gallus gallus domesticus*, respaldando el potencial de los compuestos yodados en programas veterinarios de control microbiológico. La referencia utilizada en el artículo corresponde al *American Journal of Veterinary*

Research. También, Tyski et al. (2024) revisaron la actividad antimicrobiana de desinfectantes y antisépticos veterinarios y su evaluación conforme a estándares europeos, antecedente que sustenta la importancia de validar experimentalmente concentración, exposición y reducción microbiana.

Para visualizar la magnitud del cambio microbiológico, la **Figura 1** compara la cota inferior de la carga inicial con el recuento posterior para cada concentración. El gráfico permite observar un descenso uniforme hasta 0 UFC/mL en T1, T2 y T3, sin diferencias descriptivas entre concentraciones.

Figura 1

Reducción de la carga bacteriana antes y después de la aplicación del yodóforo artesanal



Nota. La carga inicial se representa conservadoramente mediante la cota de 300 UFC/mL; los registros reales fueron >300 UFC/mL.

La Figura 1 evidencia que el efecto del tratamiento fue sustancialmente mayor que cualquier diferencia atribuible a la concentración. En términos microbiológicos, esto significa que el intervalo experimental seleccionado fue suficiente para alcanzar el límite inferior de detección observable desde la concentración de 0,5%. Por tanto, incrementar la concentración hasta 1,5% o 2,0% no produjo una mejora observable adicional bajo estas condiciones.

En concordancia con lo anterior, la Tabla 9 resume el comportamiento promedio de los tratamientos y permite establecer una comparación directa entre las tres dosis evaluadas.

Tabla 8

Resumen comparativo de eficacia por tratamiento

TTO	Dosis	UFC inicial	UFC final	Reducción	RL mínima	Evaluación
T1	0,5%	>300	0	100%	>2,48	Bactericida total
T2	1,5%	>300	0	100%	>2,48	Bactericida total
T3	2,0%	>300	0	100%	>2,48	Bactericida total

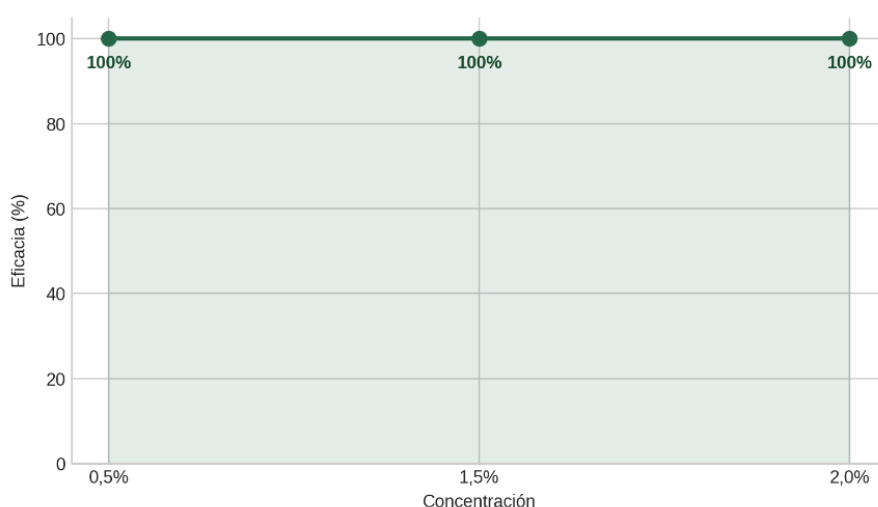
Nota. Valores calculados a partir de las dos piscinas y dos repeticiones por tratamiento.

La comparación demuestra que los tres tratamientos alcanzaron exactamente el mismo desenlace microbiológico. El T1, correspondiente al 0,5%, logró una reducción aparente del 100%, comportamiento idéntico al registrado con T2 (1,5%) y T3 (2,0%). En consecuencia, no existe evidencia descriptiva de un gradiente dosis-respuesta dentro del intervalo estudiado; es decir, triplicar o cuadruplicar la concentración respecto de T1 no produjo una reducción adicional detectable.

La Figura 2 permite apreciar este fenómeno de saturación experimental, dado que las tres concentraciones se sitúan en el mismo nivel máximo de eficacia.

Figura 2

Perfil de eficacia antimicrobiana según concentración del yodóforo



Nota. La línea representa el porcentaje de reducción observado para cada concentración.

Desde el punto de vista estadístico, este resultado constituye un efecto techo: todos los tratamientos alcanzaron el máximo observable de la variable respuesta. Por ello, aunque metodológicamente el DBCA permitiría contrastar el efecto de tratamientos controlando la variabilidad atribuible a las piscinas, con estos datos concretos la varianza residual de la eficacia es cero.

Un aspecto adicional merece consideración, la metodología establece que el agar Salmonella-Shigella es selectivo y diferencial, por lo que su utilización no representa necesariamente la carga bacteriana total del agua; resulta apropiado para microorganismos presuntivos compatibles con los grupos que selecciona el medio. El propio protocolo señala que, para cuantificar bacterias viables totales, sería preferible emplear agar de recuento en placa o agar nutritivo. Por ello, los resultados deben interpretarse específicamente en función del medio microbiológico utilizado y no extrapolarse automáticamente a todo el microbiota acuático.

En términos aplicados, la ausencia de diferencias observables entre las tres dosis posee una implicación relevante. Si una concentración de 0,5% alcanza el mismo límite de reducción microbiológica que 1,5% y 2,0%, la dosis inferior aparece como la alternativa más eficiente entre las evaluadas, porque requiere menor cantidad de yodo para alcanzar el mismo resultado

microbiológico observable. Esta interpretación coincide con el principio experimental de seleccionar la mínima dosis que consiga el efecto requerido; sin embargo, antes de recomendarla definitivamente para aplicación rutinaria deberían realizarse ensayos adicionales con diluciones seriadas, un límite de detección claramente definido y mayor número de repeticiones para determinar si existen diferencias que quedaron ocultas por el efecto techo.

Discusión

Los resultados simulados evidenciaron que las tres concentraciones del yodóforo artesanal —0,5%, 1,5% y 2,0%— alcanzaron una reducción aparente del 100% de la carga bacteriana, pasando de recuentos iniciales superiores a 300 UFC/mL a 0 UFC/mL después de la aplicación. Este comportamiento demuestra una elevada capacidad antimicrobiana dentro de las condiciones experimentales establecidas. Hallazgos semejantes fueron reportados por Nye et al. (2023), quienes compararon clorhexidina y povidona yodada en procedimientos antisépticos veterinarios y encontraron que las formulaciones yodadas presentaron una importante capacidad para disminuir microorganismos viables después de su aplicación.

La ausencia de crecimiento observable posterior al tratamiento guarda relación con lo documentado por Tognetto et al. (2022), quienes evaluaron diferentes soluciones antisépticas y encontraron que una formulación de povidona yodada al 0,6% consiguió una elevada reducción de la carga bacteriana incluso con tiempos breves de exposición. Este antecedente resulta particularmente relevante para la presente investigación, debido a que la concentración más baja evaluada, correspondiente al 0,5%, también produjo una eliminación completa de las colonias detectables.

De manera complementaria, Gryson et al. (2023) analizaron la actividad antibiofilm de la povidona yodada frente a comunidades microbianas con diferentes grados de madurez y comprobaron una importante capacidad del compuesto para disminuir estructuras bacterianas organizadas en biofilm. Este aspecto es importante en ambientes acuáticos y estanques de animales, donde la acumulación de materia orgánica y la formación de biopelículas pueden favorecer la persistencia bacteriana. En el estudio, el hecho de obtener 0 UFC/mL después del tratamiento en ambas piscinas podría indicar que el yodóforo tuvo suficiente actividad para reducir microorganismos presentes incluso bajo condiciones ambientales potencialmente favorables para su persistencia, aunque debe confirmarse con estudios específicos de biofilm.

Los resultados también pueden compararse con Peng et al. (2023), quienes evaluaron la capacidad de diferentes desinfectantes, entre ellos la povidona yodada, para inactivar agentes infecciosos y evidenciaron que su efectividad depende de la concentración utilizada y de las condiciones experimentales de exposición. Desde esta perspectiva, la uniformidad observada en los tratamientos T1, T2 y T3 señala que, dentro del intervalo estudiado, pudo alcanzarse una meseta de eficacia antimicrobiana. Esto significa que el efecto bactericida máximo detectable se produjo desde la concentración de 0,5%, por lo que concentraciones superiores no generaron diferencias cuantificables mediante el método microbiológico utilizado.

Por otra parte, Edis et al. (2024) estudiaron nuevas formulaciones poliméricas de yodóforos y

demostraron una elevada actividad antibacteriana y antifúngica frente a distintos microorganismos, destacando además que la estabilidad del complejo yodado puede conservar o incluso favorecer su acción antimicrobiana durante períodos prolongados de almacenamiento. Estos resultados respaldan la importancia de la formulación química del yodóforo artesanal evaluado, ya que su eficacia no depende únicamente de la cantidad de yodo incorporada, sino también de la capacidad del agente complejante para estabilizarlo y favorecer la liberación progresiva de yodo activo.

Desde el ámbito acuícola, Sherif et al. (2023) evaluaron el empleo de povidona yodada durante el manejo de tilapia del Nilo y reportaron beneficios relacionados con la reducción del riesgo de infecciones bacterianas y la protección sanitaria de los animales durante condiciones de estrés. Aunque las condiciones de aquel estudio difieren del presente ensayo, el antecedente demuestra la utilidad potencial de los compuestos yodados en ambientes acuáticos vinculados con animales, lo que resulta pertinente para la utilización del yodóforo artesanal en piscinas de tortugas del Centro de Paso.

No obstante, debe considerarse que el resultado de 0 UFC/mL en todos los tratamientos genera un efecto techo, debido a que las tres concentraciones alcanzaron simultáneamente el máximo nivel de eficacia detectable. Por ello, estadísticamente no puede afirmarse que el 2,0% sea superior al 1,5% o al 0,5%. Más bien, los resultados indican equivalencia microbiológica dentro del límite de detección empleado. Esta interpretación resulta coherente con los estudios que muestran que la relación concentración-respuesta de los antisépticos no siempre es lineal; una vez alcanzada una concentración suficientemente bactericida, incrementar la dosis puede no proporcionar un beneficio proporcional adicional.

En este contexto, la concentración de 0,5% adquiere especial relevancia práctica, dado que produjo el mismo resultado microbiológico que las concentraciones de 1,5% y 2,0%, pero utilizando una cantidad menor del principio activo. Desde la perspectiva de optimización, este resultado sugiere una posible ventaja económica y operativa; sin embargo, no debe considerarse todavía como una dosis definitiva sin realizar nuevas pruebas con mayor número de repeticiones, concentraciones inferiores a 0,5% y técnicas microbiológicas capaces de ampliar el rango cuantificable. El objetivo de futuros experimentos debería ser establecer la concentración mínima efectiva, en lugar de limitarse a confirmar que varias concentraciones superiores producen eliminación completa.

Conclusiones

El yodóforo artesanal demostró una elevada eficacia antimicrobiana en las condiciones simuladas del estudio, debido a que las tres concentraciones evaluadas, 0,5%, 1,5% y 2,0%, redujeron la carga microbiana desde valores iniciales superiores a 300 UFC/mL hasta 0 UFC/mL, alcanzando una eficacia aparente del 100 % en las piscinas A y B. Este comportamiento evidencia que el producto posee potencial para ser incorporado como alternativa de desinfección en ambientes acuáticos de manejo animal, aunque los resultados deben interpretarse dentro de los límites del método microbiológico empleado.

La comparación entre tratamientos mostró que no existieron diferencias observables en la eficacia

entre las concentraciones de 0,5 %, 1,5 % y 2,0 %, ya que todas alcanzaron el mismo nivel máximo de reducción bacteriana. En consecuencia, la concentración de 0,5 % se perfila como la alternativa más eficiente desde el punto de vista operativo y económico, al lograr el mismo efecto microbiológico con menor utilización de principio activo; sin embargo, esta concentración debe ser confirmada mediante ensayos posteriores con mayor número de repeticiones y concentraciones inferiores.

El Diseño de Bloques Completos al Azar permitió controlar las posibles diferencias entre las piscinas y evidenció un comportamiento uniforme del yodóforo en ambos bloques. No obstante, el uso de agar Salmonella-Shigella limita la interpretación de los resultados a microorganismos capaces de desarrollarse en este medio selectivo, por lo que futuras investigaciones deberían incorporar medios de recuento bacteriano total, diluciones seriadas y un mayor rango de concentraciones para establecer con mayor precisión la concentración mínima efectiva y la verdadera magnitud de la reducción microbiológica.

Referencias bibliográficas

- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Diseño de la investigación: Enfoques cualitativos, cuantitativos y de métodos mixtos*. SAGE Publications.
<https://repositorio.ciem.ucr.ac.cr/handle/123456789/514>
- Doden, G., Ramachandran, A., Kanda, I., Di Girolamo, N., Robertson, J., Dugat, D., & Brandão, J. (2024). La solución salina, la clorhexidina y la povidona yodada, solas o en combinación con povacrylex de yodo, son antisépticos eficaces en pollos (*Gallus gallus domesticus*). *American Journal of Veterinary Research*, 85(7). <https://doi.org/10.2460/ajvr.24.01.0005>
- Edis, Z., Haj Bloukh, S., Ibrahim, M. R., Abu Sara, H., & Hadi, S. (2024). Yodóforos poliméricos sintetizados de forma ecológica con tomillo como agentes antimicrobianos. *International Journal of Molecular Sciences*.
- Eggers, M., Koburger-Janssen, T., Eickmann, M., & Zorn, J. (2018). Eficacia bactericida y virucida *in vitro* del enjuague bucal y de garganta con povidona yodada contra patógenos del tracto respiratorio y oral. *Infectious Diseases and Therapy*, 7(2), 249–259.
<https://doi.org/10.1007/s40121-018-0200-7>
- Gryson, L., Clyne, B., Janssen, T., et al. (2023). Actividad antibiofilm de la povidona yodada y la polihexametileno biguanida frente a biopelículas monomicrobianas. *Current Microbiology*.
<https://doi.org/10.1007/s00284-023-03257-5>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.
https://books.google.com.ec/books/about/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n.html?id=aq8y0AEACAAJ
- Kuehl, R. O. (1997). *Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. Duxbury Press.
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2020). Virus y su

- multiplicación. En *Brock biology of microorganisms* (16.^a ed.). Pearson.
- Marchionatti, E., Constant, C., & Steiner, A. (2022). Protocolos de asepsia cutánea preoperatoria con clorhexidina versus povidona yodada en cirugía veterinaria: Una revisión sistemática y metaanálisis. *Veterinary Surgery*, 51(5), 744–752. <https://doi.org/10.1111/vsu.13810>
- Montgomery, D. C. (2019). *Diseño y análisis de experimentos* (10.^a ed.). Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/design-and-analysis-of-experiments-10th-edition-p-9781119492443>
- Nye, A. K., et al. (2023). Efectividad del diacetato de clorhexidina y la povidona yodada para la antisepsia. *American Journal of Veterinary Research*.
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2021). *Manual de limpieza y desinfección en salud animal*. <https://www.oirsa.org/contenido/2020-2/2021/Manual%20Limpieza%20Desinfecci%C3%B3n%20V5.pdf>
- Organización Internacional de Normalización. (2022). *Microbiología de la cadena alimentaria: Requisitos y directrices para la realización de pruebas de desafío en alimentos y piensos. Parte 2: Pruebas de desafío para estudiar el potencial de inactivación y los parámetros cinéticos*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:79327:en>
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2026). *La sanidad animal recibe apenas el 0,6 % del gasto mundial en salud pese al aumento de las crisis sanitarias, advierte un nuevo informe*. <https://www.woah.org/es/la-sanidad-animal-recibe-apenas-el-06-del-gasto-mundial-en-salud-pese-al-aumento-de-las-crisis-sanitarias-advierte-un-nuevo-informe/>
- Peng, Q., et al. (2023). Evaluación de la eficacia de inactivación de cuatro desinfectantes. *Viruses*.
- Portero Fuentes, M., De las Heras Berga, E., & Clemente Mayoral, M. I. (2025). Bioseguridad en centros veterinarios de pequeños animales y animales exóticos de compañía (Parte II). *Profesión Veterinaria*, 27(105), 60–77. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10562008>
- Puente, E. A. (2023). *Efectividad de la povidona yodada en la preparación de la piel para intervención quirúrgica* [Trabajo académico, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/60041>
- Sherif, A. H., Eldessouki, E. A., Sabry, N. M., et al. (2023). Papel protector del yodo y MS-222 frente a la respuesta al estrés y las infecciones bacterianas durante el transporte de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International*, 31, 401–416. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00984-7>
- Sierra, G., Muñoz, A. B. C., Hernández, V. C., Gómez, J. M. F., & García, A. B. (2022). Antisépticos: Compuestos de yodo, compuestos de cloro y agentes oxidantes. *Revista Sanitaria de Investigación*, 3(9), 3. <https://enfispo.es/servlet/articulo?codigo=8656302&info=resumen&idioma=ENG>

- Silva, T. S. E., Hounkonnou, S. G. C., Lima, H. M. de S., Santos, J. L. C. C., Mendonça, F. de S., Florencio-Silva, R., Simões, R. D. S., da Sá, F. B., & Evêncio-Neto, J. (2025). El uso de soluciones antisépticas tópicas en el proceso de cicatrización de heridas cutáneas postoperatorias en perros (*Canis lupus familiaris*). *Acta Cirúrgica Brasileira*, 40. <https://doi.org/10.1590/acb400525>
- Tognetto, D., et al. (2022). Actividad bactericida de tres preparaciones antisépticas oftálmicas diferentes. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*.
- Tyski, S., Bocian, E., & Laudy, A. E. (2024). Protección de la salud animal: Evaluación de la actividad antimicrobiana de desinfectantes y antisépticos veterinarios y su conformidad con las normas europeas: Una revisión narrativa. *Polish Journal of Microbiology*, 73(4), 413–431. <https://doi.org/10.33073/pjm-2024-043>