

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

MEJORA Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE LAVADO CON AGUA OZONIZADA PARA LA DESINFECCIÓN DE MASA VEGETAL

IMPROVEMENT AND EVALUATION OF AN OZONATED WATER WASHING SYSTEM FOR THE DISINFECTION OF VEGETABLE MASS

Eliet Veliz^a (0000-0003-3253-4632)
Mayra Bataller^a (0000-0001-7619-7880)
Tania Ortiz^a (0009-0005-6524-8925)
Grether Barreras^a (0000-0003-1853-4812)
Rosabel Fernández^a (0000-0001-5088-0390)
Lisbet Avello^b (0000-0002-3516-6866)

^a Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ave. 25 CP 6412, Playa. La Habana, Cuba.

^b Ministerio de la Agricultura, Plaza, La Habana, Cuba.

^{a,*} mayra.bataller@cnic.cu

Recibido: 17 de octubre de 2025;

Aceptado: 19 de diciembre de 2025;

RESUMEN

El empleo de plantas medicinales, como productos naturales, tiene una alta demanda e impacto en la salud de la población a nivel internacional. El Centro Nacional de Investigaciones Científicas dispone de una planta de producción de cápsulas de polvo de pseudotallos de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y polvo de hojas y tallos de anamú (*Petiveria alliacea* L.). Las cápsulas de ambos productos se comercializan como suplemento nutricional (producto natural). La detección de contaminación microbiológica en lotes del producto final comenzó a afectar la comercialización, al no cumplir con los requerimientos. Esto conllevó a realizar una evaluación para la mejora del sistema existente de lavado de la masa vegetal, materia prima, con agua ozonizada (agua potable con ozono disuelto). Se realizó un estudio en tres etapas: Diagnóstico de la instalación, mejora y puesta en marcha y evaluación de la instalación modificada. El nuevo sistema instalado de lavado de la masa vegetal con agua ozonizada permitió obtener concentraciones de ozono disuelto adecuadas para el lavado, mejor ajuste y mayor tiempo de tratamiento. Los resultados indicaron que las referidas masas vegetales, lavadas con agua ozonizada, cumplieron con los requisitos establecidos incluyendo las hojas y tallos de orégano, también evaluadas. El procedimiento operativo implementado para el proceso de lavado, tributa a la mejora continua del Sistema de Gestión de la Calidad. La extensión del empleo del ozono en el lavado para otras variedades de plantas medicinales en el CNIC, así como en otras entidades productoras resulta prometedora.

Palabras claves: Ozono, agua ozonizada, desinfección, plantas medicinales, productos naturales.

ABSTRACT

The use of medicinal plants as natural products has high demand and significant impact on public health at the international level. The National Center for Scientific Research operates a production facility for capsules containing powdered pseudostems of plantain (*Musa paradisiaca* L.) and powdered leaves and stems of anamú (*Petiveria alliacea* L.). The capsules of both products are marketed as nutritional supplements (natural products). The detection of microbiological contamination in batches of the final product began to affect commercialization due to non-compliance with regulatory requirements. This led to an evaluation aimed at improving the existing system for washing the vegetal mass—used as raw material—by applying ozonated water (potable water with dissolved ozone). A three-stage study was conducted: diagnosis of the facility, improvement and commissioning of the modified facility, and subsequent evaluation. The newly implemented system for washing vegetal mass with ozonated water allowed for achieving appropriate dissolved ozone concentrations, improved process control, and longer treatment times. The results indicated that the treated vegetal materials washed with ozonated water complied with the established microbiological requirements, which also included oregano leaves and stems. A procedure for the washing process was developed and implemented, contributing to the continuous improvement of the Quality Management System. The extension of ozone application for washing other varieties of medicinal plants at the National Center for Scientific Research, as well as in other production facilities, appears promising.

Keywords: Ozone, ozonated water, disinfection, medical plants, natural products.



INTRODUCCIÓN

El empleo de plantas medicinales, como productos naturales, tiene una alta demanda e impacto en la salud de la población. Las plantas medicinales han sido esenciales en las disciplinas de la medicina tradicional desde la antigüedad para curar y prevenir diversas enfermedades. Muchos compuestos fitoquímicos presentes en estas plantas atraen la atención de investigadores y médicos debido a su valor medicinal y terapéutico (Shafiee, et al., 2022). También por su uso ambiental y económico, podrían contribuir a disminuir el consumo de fármacos químicos y constituir una fuente renovable para la producción de medicamentos naturales (Pergola, et al., 2024).

El Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) dispone de una planta de producción de cápsulas de polvo de pseudotallos de plátano (*Mussa paradisiaca* L) y de polvo de hojas y tallos de anamú (*Petiveria alliacea* L). Está ubicada en la Agrupación-1 de la Dirección de Producción. Las cápsulas de ambos productos se comercializan como suplemento nutricional, siendo un producto natural con gran demanda de la población. Se indican fundamentalmente para la mejora del sistema inmunológico. Estos productos por su contenido de microelementos, macroelementos y oligoelementos se recomiendan como un complemento de minerales en la dieta diaria (Luna et al., 2005).

El proceso de producción de estas cápsulas consta de las etapas: lavado de la masa vegetal que procede del campo de cultivo con agua potable y con agua ozonizada (agua con ozono disuelto) por el método de chorro sobre la masa vegetal. Secado con aire caliente, molido hasta obtener un polvo fino, encapsulación y envase final. La detección en lotes de los productos finales (polvo) que no cumplieran con los requisitos microbiológicos establecidos, comenzó a afectar su comercialización. Varios lotes con contaminación microbiológica fueron rechazados por el riesgo potencial para la salud. En este sentido, como parte de la mejora continua del proceso, entre otras acciones, se decidió hacer una evaluación del sistema existente de lavado de la masa vegetal con agua ozonizada para garantizar una mejor preparación de la materia prima.

La aplicación del ozono en la Agroindustria se incrementa con resultados satisfactorios. El estudio sobre tecnologías ecológicas destaca la tecnología del ozono, que prolonga la vida útil y mantiene la calidad de los productos frescos sin emitir sustancias químicas peligrosas que afecten negativamente al material vegetal y al medio ambiente (Aslam, et al., 2019; Botondi, et al., 2021; Xue, et al., 2023; Mohammad, et al., 2025). Hong et al. (2024), proponen el agua ozonizada para el proceso de lavado y aumentar la seguridad de los productos frescos como sustituto de los desinfectantes a base de cloro, que presentan menor eficacia y el impacto ambiental negativo.

Çetinkaya et al. (2022) investigaron la eficacia del ozono gaseoso y agua ozonizada para la inactivación de patógenos fúngicos y bacterianos transmitidos por semillas de hortalizas y cereales, así como de bulbos ornamentales. Como aspecto interesante a considerar se ha explorado (Shafiee et al., 2022) el uso de ozono en plantas medicinales por su potencial para inducir compuestos especializados en las plantas. Se ha demostrado que el tratamiento con ozono estimula la producción de compuestos bioactivos como los ácidos hidroxicinámicos y los flavonoides en *Melissa officinalis* L. Esto sugiere que el ozono puede ser una herramienta útil para potenciar las propiedades terapéuticas de las plantas medicinales al promover la biosíntesis de compuestos con posibles beneficios medicinales, además de garantizar una desinfección adecuada.

Con estas premisas, los objetivos del trabajo consistieron en realizar un diagnóstico del sistema de lavado con agua ozonizada existente en la planta de producción de cápsulas de plátano y anamú, evaluar las condiciones de operación y realizar mejoras en el sistema, lograr una mayor eficiencia del lavado y desinfección de la masa vegetal, así como establecer un nuevo procedimiento de lavado con agua ozonizada para su implementación dentro del Sistema de Gestión de la Calidad.



MATERIALES Y METODOS

Etapa 1. Se realizó un diagnóstico de la instalación existente del sistema de lavado con agua ozonizada en el local de lavado de la planta.

Se estableció una estrategia de identificación de dificultades e inconvenientes para la propuesta de modificaciones y mejora. La instalación dispone de un equipo ozonizador modelo Ozoney-SL (CNIC).

Etapa 2. Modificación de la instalación y puesta en marcha

Con los resultados del diagnóstico se realizaron modificaciones a la instalación. Se instaló un flujómetro de gas para la medición y ajuste del caudal de gas Q_G (de succión del eyector). Con el flujómetro, desconectado de la línea del botellón de oxígeno, se mide la succión del eyector y posteriormente se conecta la línea de oxígeno y se fija el valor de succión, para igualar el flujo de descarga del botellón de oxígeno con el flujo de succión del eyector. Consecuentemente, se determinó el caudal del agua a ozonizar por el método de volumen entre tiempo, con empleo de una probeta graduada y un cronómetro. En las pruebas realizadas el caudal de agua (Q_L) fue ajustado con una válvula hasta lograr una relación $Q_G/Q_L = 0,1$, que está dentro del intervalo reportado (Langlais, et al., 1991).

La masa vegetal fue suministrada por la Cooperativa “Antonio Maceo” de Bauta, en el caso del plátano los pseudotallos se fragmentan en forma de lascas, y en el caso del anamú se seleccionan y fragmentan las hojas y los tallos de menor grosor. El lavado inicial fue con agua potable por el método de chorro de agua sobre la masa vegetal colocada en un fregadero. Para el lavado con agua ozonizada, se aplicó el método de lavado por inmersión de la masa vegetal en un tanque de PVC de capacidad 60 L en operación semicontinua. Se mantuvo el agua con ozono disuelto pasando a un flujo contante y la masa vegetal inmersa en el agua.

Para evaluar el perfil de concentraciones de ozono disuelto se realizaron dos experimentos para cada masa vegetal, y fueron registradas las concentraciones cada 10 min hasta 60 min, tiempo en que se detuvo la ozonización. Se determinaron las concentraciones de ozono disuelto en el agua en dos puntos: salida de la manguera del eyector (entrada al tanque) y salida del tanque lleno de agua y con una cantidad de masa vegetal inmersa, que permitiera un contacto favorable. En todos los casos se mantuvo cerrada la tapa del tanque. También, se determinó la calidad microbiológica a muestras del agua ozonizada a la salida del tanque a los 60 min de tratamiento. Métodos de ensayo: Coliformes totales, *Escherichia coli* o coliformes termotolerantes. Cada medición se realizó por triplicado (NC 827: 2017).

Etapa 3. Evaluación de la operación de la instalación modificada

Se evaluó, de manera independiente, el cumplimiento de los requerimientos de varios lotes de los productos finales (polvo) antes de encapsular. Se analizaron seis lotes de anamú y 10 de plátano obtenidos en un periodo de 2 y 6 meses, respectivamente. Además, fueron evaluados varios lotes de ambos productos finales, durante el espacio temporal del estudio con el empleo de la misma masa vegetal, como materia prima, pero lavada bajo condiciones similares a la instalación sin modificar.

En el monitoreo se midió el flujómetro el caudal de gas y se determinó la concentración de ozono disuelto en agua a la salida del tanque. Se realizó una evaluación microbiológica con los Métodos de ensayo: Conteo total de microorganismos aeróbicos (CTB), Conteo total de hongos y levaduras (CTH), Enterobacterias, *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Cada medición se realizó por triplicado (USP 40-NF35, 2017; PPO 2M.04).

Por otra parte, se seleccionaron, de manera aleatoria, tres lotes de cada producto para la determinación en paralelo de la concentración de: Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, Mn, Cd, Pb y Hg. Método de ensayo: Espectrometría de Absorción Atómica con llama de aire-acetileno (Cu, Fe, Mg, Zn, Mn, Cd, Pb), Vapor frío (Hg) (PPO 2.39). Espectrómetro de Absorción Atómica, UNICAM. Las especificaciones de calidad físico-químicas se determinaron llevando la muestra a peso constante para la humedad (%) y para las cenizas (%) sometiendo a temperatura de 800 °C, en mufla, teniendo en cuenta las normas (NC 86-04; NC 86-03).



Etapla 4. Extensión de la evaluación de la instalación para el lavado de orégano con agua ozonizada

El Grupo Nacional de Plantas Medicinales del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) solicitó al CNIC la evaluación de hojas y tallos de orégano. La masa vegetal fue suministrada por la Cooperativa “Granja América Latina” del Wajay, colectada el día anterior. Se realizaron tres experimentos. Se aplicó el siguiente esquema de tratamiento: Exp. 1 y Exp. 2 lavado con agua ozonizada por el método de inmersión durante 15 y 30 min, respectivamente, Exp. 3 lavado con agua potable por método de inmersión. Todas las masas vegetales fueron lavadas previamente con agua potable por el método de chorro.

Se seleccionaron estos tiempos de tratamiento considerando que la masa vegetal de orégano es una de las más sensibles por su textura y para no afectar las sustancias extraíbles y aceites esenciales, que la caracteriza entre otras especificaciones de calidad. Se tomaron como referencia los resultados del lavado con agua ozonizada del anamú y plátano. El cumplimiento de las especificaciones de calidad de la masa vegetal orégano se llevó a cabo en el Centro de Producción Local (CPL) correspondiente, que es la entidad regulatoria de preparados vegetales y medicamentos naturales. Este emitió un Informe de Análisis del material vegetal seco: olor, humedad (%), hojas ennegrecidas (%), tallos (%), materia inorgánica y orgánica (%), sustancias extraíbles (%) por la norma NRSP 352. 2015.

Determinación de las concentraciones de ozono disuelto en el agua

Se realizaron por el método espectrofotométrico-colorimétrico del índigo con empleo de un espectrofotómetro modelo Ultrospect III-Pharmacia (APHA, AWWA, WEF. 2017). Cada medición se realizó por triplicado.

Procesamiento de la data experimental

Las determinaciones se hicieron por triplicado. Para el procesamiento estadístico de resultados se empleó el programa Microsoft® Excel 2016 y el programa estadístico Statgraphics Centurion XV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapla 1. Diagnóstico de la instalación existente y Etapla 2- Modificación de la instalación y puesta en marcha
Con el diagnóstico realizado del sistema de lavado con agua ozonizada existente en la planta de producción de cápsulas de plátano y anamú se identificaron dificultades en su operación y eficiencia del proceso. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las acciones y resultados de las Etapas 1 y 2 del estudio. La Figura 1 muestra un esquema general del nuevo sistema de lavado con agua ozonizada instalado a partir de las modificaciones realizadas.

Tabla 1. Acciones y resultados de las Etapas 1 y 2

Etapla 1	Etapla 2
Falta de manteniendo técnico del ozonizador	Se realizó un mantenimiento técnico
Operación del equipo ozonizador para generar el gas ozono, solo con el empleo del oxígeno del aire atmosférico	Se instaló un botellón de oxígeno como fuente de alimentación (manómetro de presión y una línea de manguera). Esto permitió incrementar la concentración de ozono en el gas.
No existencia de válvula antiretorno en la línea de salida del gas ozono del ozonizador hacia el eyector.	Se conectó una válvula antiretorno. Garantiza la protección del equipo.
No control del caudal de agua (Q_L) a ozonizar y del caudal de succión de gas del eyector (Q_G)	Se ajustó el Q_L a ozonizar hasta a un valor de promedio de 10 L/min. Bajo esta condición de operación, el eyector alcanzó un Q_G de succión de 1 L/min Se logró un $Q_G/Q_L = 0,1$, valor reportado en el intervalo. Q_G y Q_L deben ser controlados.



Método de lavado por chorro sobre la masa vegetal.
Dificultades:

La masa vegetal se coloca en un fregadero, se lava con agua con ozono disuelto procedente de la salida del eyector y una manguera, a modo de chorro. Lavado no homogéneo, descomposición rápida del ozono disuelto y corto tiempo de tratamiento. Operación manual. El operario puede presionar la salida de la manguera del agua y, provocar sobrepresión en la línea y retorno de agua al equipo, con riesgo de rotura.

Método de lavado por inmersión de la masa vegetal.
Ventajas:

La masa vegetal se sumerge en un tanque. El agua con ozono disuelto entra a un tubo difusor acoplado a la tapa, que llega hasta el fondo, se dispersa y sale por la parte superior. El método favorece el contacto entre el agua ozonizada y la masa vegetal. Lavado más homogéneo, mayor tiempo de tratamiento, menor descomposición del ozono. La operación es más segura y permite un mayor control al operario.

Se percibió la presencia de ozono gaseoso en el ambiente del local de lavado. Esto provoca malestar en los operarios. Tiene que ser controlado por los requisitos de seguridad e higiene del trabajo.

En la tapa del tanque se conectó una manguera de salida del gas ozono residual hacia un destructor catalítico de ozono, ubicado en el exterior del local. No se percibió presencia de ozono gaseoso en el ambiente del local de lavado.

La concentración de ozono disuelto a la salida de la manguera acoplada al eyector no superó el valor promedio de 0,6 mg/L. Este valor resulta inferior a los valores aplicados en estudios previos (en el orden de 1 mg/L).

El agua a la salida del tanque arrojó concentraciones estables de ozono disuelto con valores promedio superiores a 1 mg/L durante 60 min de tratamiento. Resultado adecuado, según la experiencia y resultados de otros estudios.

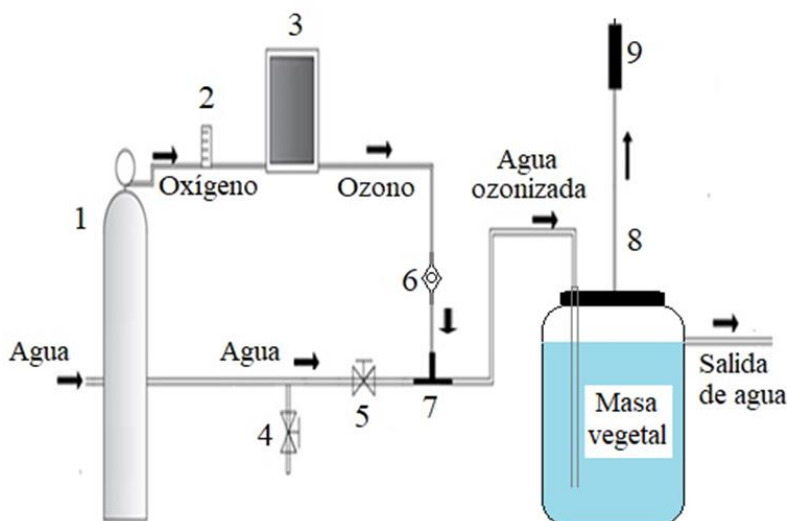


Fig. 1. Esquema general del nuevo sistema de lavado con agua ozonizada.

1-Balón de oxígeno, 2-Flujómetro de gas, 3-Equipo ozonizador, 4-Válvula para lavado con agua potable, 5- Válvula para ajuste del caudal de agua a la entrada del eyector, 6-Válvula de no retorno, 7-Eyector mezclador gas/liquido, 8-Tanque de lavado masa vegetal, 9-Destructor de ozono gaseoso residual.



Perfil de concentración de ozono disuelto

Como era previsto, el cambio de la fuente de alimentación de oxígeno permitió alcanzar concentraciones de ozono disuelto en el agua (C_{O_3L}) con valores promedio mayores de 1 mg/L, durante el lavado de ambas masas vegetales, a la entrada (tiempo: 0 min) y salida del tanque (Figura 2). Este resultado se debe al incremento de la concentración de ozono gaseoso, que permitió una mayor transferencia de masa del ozono del gas al líquido y obtener mayores concentraciones de ozono disuelto. Se recomienda la instalación de un concentrador de oxígeno como fuente de alimentación.

Por otra parte, el método de inmersión en flujo continuo con agua ozonizada también contribuyó a mantener una concentración estable de ozono disuelto en el agua dentro de un intervalo seguro. En la Figura 2 se observa que la concentración de ozono disuelto a la salida del tanque disminuyó durante los primeros 5 min de tratamiento para ambas masas vegetales. Esto se debe al incremento de la demanda de ozono disuelto por la presencia aun, en la superficie de la masa vegetal, de materia orgánica, impurezas y microorganismos. Posteriormente, la concentración incrementó hasta lograr un valor estable.

Se estableció dejar implementado para la operación de lavado de los pseudotallos de plátano, así como las hojas y tallos de anamú, un tiempo de tratamiento de 60 min. Mantener un control del caudal de agua (en el orden de 10 L/min) y el caudal de succión de gas del eyector (en el orden de 1 L/min). Además, mantener un monitoreo de la concentración de ozono disuelto a la salida del tanque, observando un valor promedio mayor de 1 mg/L. Este valor se corresponde con lo reportado en estudios previos de desinfección de productos de la Agroindustria realizados por el grupo de trabajo (Bataller, et al., 2010a, 2010b, 2012, 2023). Así como, los reportes de investigaciones de otros autores (Pandiselvam, et al., 2018, Aslam, et al., 2019, Xue, et al., 2023, Mohammad, et al., 2025).

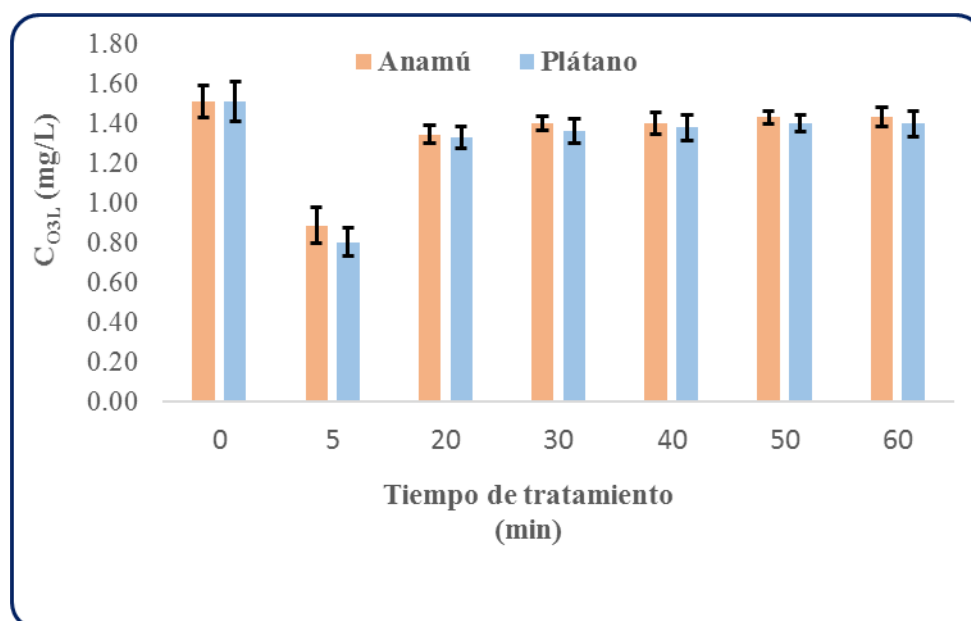


Fig. 2. Perfil de concentración de ozono disuelto a la salida del tanque de lavado

Resultados microbiológicos

Durante la puesta en marcha se muestreó y realizaron ensayos microbiológicos al agua a la salida del tanque a los 60 min de tratamiento. Los resultados mostraron la ausencia de indicadores de contaminación microbiológica en el agua. Se confirmó la ausencia de Coliformes totales, *Escherichia coli* o coliformes termotolerantes (0 UFC/100 mL), por lo que cumple con los requisitos según la NC 827: 2017.

Se puede plantear que las masas vegetales fueron desinfectadas en su superficie externa y en las zonas que estuvieron en contacto con el agua ozonizada, que se corresponden con las zonas de mayor riesgo de contaminación procedente del campo de cultivo.

Etapas 3. Evaluación de la operación de la instalación modificada

Resultados microbiológicos

Los resultados de los ensayos microbiológicos de los lotes del producto final, procedentes de la masa vegetal lavada en la instalación modificada están por debajo de los límites establecidos, y cumplen con los requisitos para el producto final según la USP 40-NF35 2017 (Tabla 2 y 3). Sin embargo, los lotes obtenidos del producto final (polvo) de plátano y anamú en el espacio temporal del estudio con el empleo de la misma masa vegetal, materia prima, pero lavada bajo condiciones similares de la instalación antes de las modificaciones, no cumplieron con los requerimientos de la microbiología.

En este sentido, se verificó que las modificaciones realizadas a la instalación, fundamentalmente la nueva fuente de alimentación de oxígeno y la configuración del método de inmersión, contribuyeron a la mejora del proceso de lavado y la calidad del producto final. Oh et al. (2025) demostraron en su estudio con muestras de ensayo inoculadas con bacterias patógenas representativas (*Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*) que el método de inmersión en flujo continuo con agua ozonizada, a baja concentración, permitió una desinfección eficaz y segura. Aplicaron un suministro continuo de agua ozonizada, de 1,8 L/min, desde la parte inferior del recipiente con reboso por la parte superior, y alcanzaron concentraciones a la salida en el orden de 1,1 mg/L. Estos autores consideran que es una alternativa prometedora respecto a los métodos convencionales, como el dispensar el agua ozonizada con una tubería de descarga (método de chorro).

De manera similar, Hong et al. (2024) compararon la eficacia antimicrobiana de diferentes métodos de ozonización comúnmente empleados en procesos de lavado como: agua preozonizada estática, agua preozonizada agitada o a flujo y el burbujeo de ozono gaseoso en el agua, el cual indicó mayor reducción de la carga microbiana. En este sentido, en el futuro se debe valorar en la planta del CNIC el diseño, instalación y evaluación de un sistema de contacto con burbujeo de ozono gaseoso en el agua de lavado de la masa vegetal.



Tabla 2. Análisis microbiológico de lotes de anamú.

Límites Máximos permisibles. USP 40-NF35 2017			
CTB: 10^4 UFC/g; CTH: 10^3 UFC/g			
Ausencia: <i>E.coli</i> , <i>Salmonella spp</i>			
Antes de la modificación		Después de la modificación	
Muestras	Resultados (UFC/g)	Muestras	Resultados (UFC/g)
011810-a	CTB: 5×10^6	011810	CTB: 3×10^3
	CTH: 7×10^5		CTH: 60
	-	011910	CTB: 7×10^3
012111-a	-	012010	CTH: 30
	-		CTB: $2,8 \times 10^3$
	-		CTH: 2×10^2
	CTB: 8×10^6	012111	CTB: 5×10^3
	CTH: 4×10^4		CTH: 6×10^2
	-	012211	CTB: $2,3 \times 10^3$
	-	012311	CTH: 4×10^2
			CTB: $2,7 \times 10^3$
			CTH: 2×10^2

Ausencia de *E.coli* y *Salmonella spp* en todos los lotes.
Microorganismos aislados: Bacilos gram positivo,
Presencia de Enterobacterias: género *Enterobacter Klebsiella Citrobacter*, Hongos filamentosos y levaduras (*C. tropicalis*)

Tabla 3. Análisis microbiológico de los lotes de plátano

Límites Máximos permisibles. USP 40-NF35 2017			
CTB: 10^4 UFC/g; CTH: 10^3 UFC/g			
Ausencia: <i>E.coli</i> , <i>Salmonella spp</i>			
Antes de la modificación		Después de la modificación	
Muestras	Resultados (UFC/g)	Muestras	Resultados (UFC/g)
011508-a	-	011407	CTB: 210
	CTB: 5×10^6		CTH: 30
	CTH: 1×10^4	011508	CTB: 5×10^3
011809-a	-		CTH: 1×10^2
	-	011608	CTB: 3×10^3
	-		CTH: 85
	-	011709	CTB: 3×10^2
	CTB: 5×10^5		CTH: 20
	CTH: 2×10^4	011809	CTB: 9×10^2
	-		CTH: 100
	-	011910	CTB: 5×10^3
	-		CTH: 30
		012111	CTB: 5×10^3
			CTH: 2×10^2



	-	012211	CTB: 3×10^3 CTH: 6×10^2
012312-a	CTB: 5×10^6 CTH: 1×10^5	012312	CTB: 3×10^3 CTH: 2×10^2
	-	012412	CTB: 2×10^3 CTH: 30

Ausencia de *E.coli* y *Salmonella spp* en todos los lotes.
Microorganismos aislados: Bacilos gram positivo,
Presencia de Enterobacterias: género *Enterobacter Klebsiella Citrobacter*, Hongos
filamentosos y levaduras (*C. tropicalis*)

Espectrometría de Absorción Atómica

En las Tablas 4 y 5 se muestran los valores de concentración de Ca, Cu, Fe, Mg, Zn y Mn de lotes evaluados. Los productos contienen macro y microelementos esenciales para el ser humano, en concentraciones que permiten su uso como suplementos de la dieta. Respecto a los contaminantes metálicos, para ambos productos, los valores fueron: Cd < 0,1; Pb < 1.0 y Hg < 0,1 µg/g. Estos resultados cumplen con las exigencias establecidas en el país, así como, con los requisitos del Registro Sanitario correspondiente, como Productos Naturales, otorgado por el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (Registros 2025: PN-2N17195/25 y PN-2R17927/25).

Tabla 4. Contenido de microelementos de lotes de polvo seco de pseudotallo de plátano

Muestra/ Elemento (mg/g)	P1-011407	P2-011508	P3-011709	Límites de contenido (mg/g)
Zn	$0,23 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,04$	0,1 – 0,23
Fe	$0,50 \pm 0,01$	$0,59 \pm 0,01$	$0,62 \pm 0,01$	0,5 - 130
Cu	$0,13 \pm 0,001$	$0,11 \pm 0,002$	$0,15 \pm 0,001$	0,1 - 3,8
Mg	$5,98 \pm 0,02$	$5,97 \pm 0,03$	$5,96 \pm 0,01$	5 - 80
Ca	$5,15 \pm 0,01$	$5,36 \pm 0,01$	$5,20 \pm 0,02$	5 -193

Tabla 5. Contenido de microelementos de lotes de polvo seco de hojas y tallos de ananás

Muestra/ Elemento (mg/g)	A1-012312	A2-012111	A3-011810	Límites de contenido (mg/g)
Zn	$4,55 \pm 0,03$	$4,41 \pm 0,03$	$4,19 \pm 0,02$	0,1 – 5,0
Mn	$0,15 \pm 0,001$	$0,14 \pm 0,001$	$0,18 \pm 0,001$	0,1 – 0,3
Fe	$0,11 \pm 0,003$	$0,11 \pm 0,006$	$0,10 \pm 0,004$	0,05 – 0,2
Cu	$0,15 \pm 0,003$	$0,17 \pm 0,001$	$0,15 \pm 0,001$	0,1 – 0,2
Mg	$1,41 \pm 0,01$	$1,45 \pm 0,01$	$1,35 \pm 0,06$	0,5 – 8,0
Ca	$9,60 \pm 0,015$	$9,69 \pm 0,031$	$9,52 \pm 0,099$	2,0 - 10,0



La Tabla 6 presenta los resultados de la determinación de las especificaciones de calidad fisico-químicas, las cuales están dentro de los intervalos permisibles (Registros 2025: PN-2N17195/25 y PN-2R17927/25).

Tabla 6. Especificaciones de calidad fisico-químicas (% m/m) de los productos

	Humedad	Humedad (max)	Cenizas	Cenizas (intervalo)
Plátano	6,8 ± 2,0	8	10,1 ± 0,9	9,2 - 10,9
Anamú	5,6 ± 1,5	6	13,5 ± 2,0	12,0 - 16,0

Etap 4. Extensión de la evaluación de la instalación para el lavado de masa vegetal de orégano

En las pruebas realizadas durante el lavado de orégano se pudo comprobar concentraciones estables de ozono disuelto, en el agua a la salida del tanque, con valores promedio de 1,23 y 1,34 mg/L durante 15 y 30 min de lavado, respectivamente. De manera visual no se observaron en las muestras de masa vegetal tratada daños fisiológicos en tallos y hojas, mantuvieron el color y olor característico del orégano al ser comparadas con las muestras lavadas con agua potable y con las muestras recepcionadas del campo de cultivo.

En la Tabla 7 se muestran los resultados de los ensayos realizados al orégano lavado bajos las tres condiciones experimentales. Estos están registrados en el Informe de Resultados de Análisis emitido por el CPL correspondiente, como entidad regulatoria. Los resultados indicaron que el orégano lavado con agua ozonizada cumple con las especificaciones de calidad y está autorizada para su uso. Se recomienda el lavado por 30 min para una mayor seguridad. Estos resultados permiten, en principio, la extensión del empleo del ozono en el lavado para otras variedades de plantas medicinales, considerando además la sensibilidad de la masa vegetal del orégano respecto a otras. Se propone el montaje de un sistema de lavado similar en la Cooperativa “Granja América Latina” del Wajay.

Tabla 7. Lavado de hojas y tallos de orégano

Análisis	Norma NRSP 352	Agua ozonizada durante 15 min	Agua ozonizada durante 30 min	Agua potable durante 30 min
Olor	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Análisis Físico-Químicos	(%)	(%)	(%)	(%)
Humedad	Max 13,01	12,50	12,43	12,61
Hojas ennegrecidas	Max 5,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Tallos	Max 15,0	≤ 10,0	≤ 10,0	≤ 10,0
Materia inorgánica	Max 1,0	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Materia organiza	Max 1,0	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Sustancias Extraíbles	Min 15,0	23,50	22,82	24,40

Aspectos generales a considerar

El nuevo sistema de lavado con ozono instalado resultó eficiente, seguro, fácil de operar, no contamina el ambiente del local y exterior. Además, permite obtener concentraciones adecuadas de ozono disuelto en el agua para el lavado de la masa vegetal estudiada. Derivado de este trabajo se elaboró un procedimiento operativo, el cual fue aprobado e implementado para la mejora continua del SGC. Constituye una referencia para el montaje de otros sistemas similares para el lavado de la masa vegetal de otras plantas medicinales, tanto en la planta del CNIC como en cooperativas o entidades agrícolas.

Se propone como otras acciones de mejora a evaluar, el empleo de un concentrador de oxígeno, como fuente de alimentación del equipo ozonizador. Acoplar una contratapa al tanque de lavado para evitar que la masa vegetal flote y obstruya la salida de agua. Bajo otras condiciones de operación, el tanque puede ser modificado para realizar el lavado de la masa vegetal, aplicando la ozonización por burbujeo del ozono gaseoso directamente en



su interior. Reusar el agua ozonizada a la salida del tanque para riego de áreas verdes y limpieza de áreas exteriores de la planta.

CONCLUSIONES

El nuevo sistema instalado de lavado de la masa vegetal con agua ozonizada permite obtener concentraciones de ozono disueltas adecuadas para una eficiente desinfección. Los resultados indicaron que la masa vegetal de plátano, anamú y orégano lavada con agua ozonizada cumplen con los requerimientos establecidos. En principio, es prometedora la extensión del empleo del ozono en el lavado para otras variedades de plantas medicinales y entidades productoras. El procedimiento operativo implementado tributa a la mejora continua en el Sistema de Gestión de la Calidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del estudio al Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Proyecto de I+D+i (624156): Desarrollo de equipos y sistemas vinculados a las aplicaciones del ozono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA, WEF. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Denver: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Aslam, R., M.S. Alam & P.A. Saeed. (2019). Sanitization potential of ozone and its roll in postharvest quality management of fruits and vegetables. Food Engineering Review. doi: 10.1007/s12319-019-09204-0.
- Mohammad, A.A., Salem, S., Amer, H. & Hussein M. (2025). Ozone as a postharvest treatment to maintain the quality characteristics of fresh-cut plants. Journal of Food Measurement and Characterization, 19:4325–4336. doi.org/10.1007/s11694-025-03255-0.
- Bataller M., Cruz S. & García M. (2010a). El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortaliza Revista CENIC Ciencias Biológicas, 41(3): 155-164.
- Bataller M., Cruz S., Fernández I, García M., Veliz E., Ramos Y. & Menéndez S. (2010b). Ozone application for postharvest disinfection of tomatoes. Ozone: Science & Engineering, 32: 361–371.
- Bataller M., González J.E., Veliz, E & Fernández L.A. (2012). Ozone applications in the post-harvest of papaya (Carica papaya L.): An alternative to amistar fungicide. Ozone: Science & Engineering, 34: 151–155.
- Bataller M., Veliz E., Pérez A., Barreras G. Villanueva M., Ortega N. & Ledea O. (2023). Effect of ozone treatments on germination and disinfection of sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) seeds. Ozone: Science & Engineering. doi.org/10.1080/01919512.2023.2192743
- Botondi R, Barone M. , Grasso C. (2021). A review into the effectiveness of ozone technology for improving the safety and preserving the quality of fresh-cut fruits and vegetables. Foods 10(4):748. doi: 10.3390/foods10040748
- Çetinkaya N., Pazarlar S. & Can Paylan I. (2022). Ozone treatment inactivates common bacteria and fungi associated with selected crop seeds and ornamental bulbs Saudi Journal of Biological Sciences. 29(12), 103480.
- Hong, H., Faye Rizzi, M., Wang D., McLandsborough L. & Lu J. (2024). A meta-analysis on the antimicrobial effectiveness of ozonated water treatments for fresh produce washing—Effect of ozonation methods. Foods 3;13(23):3906. doi: 10.3390/foods13233906.
- Langlais, B. Reckhow, D.A. & Brink, D.R., (1991). Ozone in water treatment: applications and engineering, Chelsea, MI, USA, Lewis Publishers Inc.
- Luna B., Melo M.C, Handal E., Pérez E. & Rodríguez A.C. (2005). Suplementos Minerales a partir de Anamú (Petiveria Alliacea L.) y Plátano (Mussa Paradisiaca L.) Revista CENIC Ciencias Biológicas, 36, No. Especial.
- NC 827: 2017. Agua Potable-Requisitos Sanitarios.
- NRSP 352. 2015. Norma Ramal Provisional del MINSAP.



- Oh H., Yoshima Makita Y. & Kazuhiro Ichikawa K. (2025). Evaluation of bactericidal efficacy, load, and safety of ozonated water under overflow conditions -Development of a continuous flow immersion method using low-concentration ozonated water. *Chemical Engineering and Industrial Chemistry*. doi: 10.26434/chemrxiv-2025-q79mf
- Pandiselvam, R., Subhashini S., Banuu Priya E.P., Anjineyulu H., Ramesh S.V. & Shahi S. (2018). Ozone based on food preservation: a promising technology for enhance food safety. *Ozone: Science and Engineering* 1-18. doi:10.1080/01919512.2018.1490636.
- Pergola M, De Falco E, Belliggiano A & Ievoli C. (2024). The most relevant socio-economic aspects of medicinal and aromatic plants through a literature review. *Agriculture*, 14(3):405. doi: 10.3390/agriculture14030405
- PPO 2.38E. Procedimiento de operación del equipo de Absorción Atómica.
- PPO 2M.04. Procedimiento para la determinación de límite microbiano en medicamentos.
- PPO2.39. Preparación de muestras para la determinación del contenido de metales.
- Registro Sanitario. (2025). Licencia Sanitaria PN-2N17195/25. Producto Natural: Cápsula de polvo integral de pseudotallo de plátano. Marca LEDO-PLAT.
- Registro Sanitario. (2025). Licencia Sanitaria PN-2R17927/25. Producto Natural: Cápsula de polvo integral de hojas y tallos de anamú. Marca PETI-LED.
- Rice, RG. (2007). IOA+PAD. User success report commercial application of ozone in Agri-Food. *Ozone News* 35(2): 17-21.
- Shafiee Z. & Hosseinzadeh Samani B. (2024). The effects of ozone pretreatment on the physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory properties of medicinal plants: A comprehensive review. *Future Natural Products*, 10(1). doi.org/10.34172/fnp.173
- US.FDA. (2001). Food and Drugs Administration of US. Secondary Direct Food Additives Permitted in Food for Human Consumption. *Federal Register*, 123(66), 33829-33830.
- USP 40-NF-35. (2017). U.S. Pharmacopeia National Formulary. Microbiological examination of non-sterile products.
- Xue W, Macleod J & Blaxland J. (2023). The use of ozone technology to control microorganism growth, enhance food safety and extend shelf life: a promising food decontamination technology. *Foods*, 12(4):814. doi: 10.3390/foods12040814.

CONTRIBUCIÓN AUTORAL

Eliet Veliz: Gestor de las estructuras para la realización del estudio. Ejecutor de las modificaciones de la instalación de lavado. Conceptualización, análisis de los resultados. Redacción del artículo (revisión y edición).

Mayra Bataller: Conceptualización. Responsable de la ejecución de las mediciones en las estructuras. Acumulación de datos, análisis integral de los resultados. Redacción del artículo (revisión y edición).

Tania Ortiz: Coordinación del suministro del plátano y anamú. Seguimiento del proceso desde la masa vegetal lavada hasta el producto final. Toma de muestras de varios lotes para su evaluación. Análisis de los resultados.

Grether Barreras: Ejecución de los ensayos microbiológicos, elaboración de datos, análisis de los resultados.

Rosabel Fernández: elaboración de datos, análisis de los resultados.

Lisbet Avello: Coordinación del suministro del orégano y ensayos correspondientes, análisis de los resultados.

En este artículo no existen conflicto de interes entre los autores.

