

Hongos asociados con la pudrición de la corona en frutos de banano orgánico: Fuentes de inóculo, monitoreo de conidias, e impacto del ozono en el control de la enfermedad

Fungi associated with crown rot in organic banana fruits: Inoculum sources, conidia monitoring, and impact of ozone on disease control

René Aguilar-Ancota^{1*}; Robert Rafael-Rutte²; Leydie Pasiche-Abad¹; Yuri H. Calle-Cheje³;
José A. Silupú-Masías¹; Javier Javier Alva¹; Edgar Maldonado D.¹

1 Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario s/n. Urb. Miraflores. Piura, Perú.

2 Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Facultad de Ingeniería y Gestión. Sector 3 Grupo 1A 03 (Av. Central y Av. Bolívar) Villa El Salvador C.P. 15834, Lima, Perú.

3 Universidad Católica Sedes Sapientiae, Campus km 159 Panamericana Norte – Mazo, Huaura. Lima, Perú.

* Autor correspondiente: raancota@hotmail.com (R. Aguilar-Ancota).

ORCID de los autores:

R. Aguilar-Ancota: <https://orcid.org/0000-0002-3965-6096>

L. Pasiche-Abad: <https://orcid.org/0009-0003-4683-326X>

J. A. Silupú-Masías: <https://orcid.org/0009-0001-0477-5933>

E. Maldonado Duque: <https://orcid.org/0000-0003-0030-3960>

R. Rafael-Rutte: <https://orcid.org/0000-0003-2411-0223>

Y. H. Calle-Cheje: <https://orcid.org/0000-0001-5802-1101>

J. Javier Alva: <https://orcid.org/0000-0002-4953-8165>

RESUMEN

La región Piura es la principal productora de banano orgánico en Perú, gracias a sus condiciones agroclimáticas ideales enfrenta pérdidas económicas significativas por la pudrición de corona. El objetivo fue identificar las fuentes de inóculo, monitorear cantidad de conidias en agua de proceso y evaluar el uso de ozono para manejar la enfermedad. Mediante montajes específicos a partir de tejidos necróticos se identificaron los patógenos, el monitoreo de conidios en agua fue por diluciones seriadas (UFC/ml). El gas ozono se inyectó en agua de lavado en concentraciones de 650, 800 y 900 ORP, donde las frutas fueron sumergidas y tratadas con duchas. El estudio identificó como principales fuentes de inóculo al raquis, vaina envolvente, inflorescencia, bellotas, frutos de descarte, hojas secas, ramas de mango, palma y vid. El monitoreo de conidias detectó entre $5,5 \times 10^5$ y $8,1 \times 10^5$ UFC/ml en el agua final de proceso. Los hongos aislados incluyeron *Penicillium* sp. (29%), *Aspergillus* sp. (23%), *Fusarium* sp. (21%) y *Colletotrichum* sp. (7,9%). Con el uso del ozono se redujo significativamente la severidad de la pudrición. En conclusión, el ozono demuestra ser una alternativa viable para inmersiones y duchas, recomendándose su uso en combinación con medidas de asepsia en la zona de empaque.

Palabras clave: pudrición de corona; fuentes de inóculo; ozono; severidad; conidias.

ABSTRACT

The Piura region is the main producer of organic bananas in Peru, thanks to its ideal agroclimatic conditions it faces significant economic losses due to crown rot. The objective was to identify the sources of inoculum, monitor the quantity of conidia in process water and evaluate the use of ozone to manage the disease. Pathogens were identified through specific assemblies from necrotic tissues, and monitoring of conidia in water was done by serial dilutions (CFU/ml). Ozone gas was injected into wash water at concentrations of 650, 800 and 900 ORP, where the fruits were submerged and treated with showers. The study identified the rachis, sheath, inflorescence, acorns, discarded fruits, dry leaves, mango, palm and vine branches as the main sources of inoculum. Conidia monitoring detected between 5.5×10^5 and 8.1×10^5 CFU/mL in the final process water. Isolated fungi included *Penicillium* sp. (29%), *Aspergillus* sp. (23%), *Fusarium* sp. (21%) and *Colletotrichum* sp. (7.9%). The severity of rot was significantly reduced with the use of ozone. In conclusion, ozone proves to be a viable alternative to immersions and showers, and its use is recommended in combination with aseptic measures in the packing area.

Keywords: Crown rot; inoculum sources; ozone; severity; conidias.

Recibido: 30-09-2024.

Aceptado: 25-01-2025.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El banano *Musa* spp. es un cultivo tropical, perenne, de rápido crecimiento que actualmente se cultiva en más de 150 países en el mundo, en unos 12 millones de hectáreas, con una producción anual de más de 163 millones de toneladas (t) que alimentan a millones de personas (Ayres, 2022; FAOSTAT, 2022; Kaur et al., 2020; Yan et al., 2021). Es la fruta tropical más comercializada a nivel global (Voora et al., 2020) y es muy popular en la dieta humana por su alto valor nutricional, rica en hidratos de carbono y sales minerales como magnesio, hierro y zinc, además de K, vitaminas A, B1, B2, B6 y C (Cándido et al., 2022). Además poseen una abundante variedad de componentes funcionales con propiedades que fortalecen el sistema inmunológico (Maheshwari et al., 2022).

En 2021, se informó que la producción mundial fue de 124,9 millones de toneladas, siendo la India el mayor productor con 32 millones de toneladas, seguido de China (11,6 millones de t), Indonesia (8 millones de t), Brasil (6,7 millones de t), Ecuador (6,4 millones de t) (FAO, 2023). A nivel Global las 3 principales regiones de exportadoras de banano son América Latina y el Caribe (16,5 millones de t), África (0,6 millones de t) y Asia (4,4 millones de t); mientras que los 5 principales grupos importadores de banano son: Unión Europea, EEUU, China, Federación Rusa y Japón con 5,2, 4,1, 1,8, 1,5, y 1,1 millones de t, respectivamente, que representan el 69,2% del comercio mundial de importaciones. La exportación mundial total de banano fue de unos 21,5 millones de t en 2020 (FAO, 2022). Este cultivo es de gran importancia económica y social en países en desarrollo como Perú, Ecuador, Colombia y Brasil (Donato et al., 2021; Dadransia et al., 2020). Perú cultiva alrededor de 165.466 hectáreas de banano y plátano, siendo la región amazónica responsable de alrededor del 70% de la producción nacional. El 93% de la producción de banano orgánico se concentra en la región Piura con una superficie de 9580,05 has y un rendimiento de 13,9 t/ha, seguida de Tumbes (1214,60 hectáreas), Lambayeque (3150 has) y La Libertad (192,93 has) (DRAT, 2021; MINAGRI, 2021). El cultivo de banano crea oportunidades laborales y contribuye al sustento económico de los pequeños agricultores. En Piura, el "Valle del Chira" es la principal zona productora de banano orgánico, debido a que proporciona condiciones agroclimáticas adecuadas para el crecimiento del cultivo (De Matos et al., 2019). Los principales mercados de destino son: Países Bajos con una tasa de participación del 30%, Panamá, 20% y Estados Unidos con 14% (MINAGRI, 2021).

Sin embargo, a pesar de estos impactos positivos, a nivel mundial varias enfermedades afectan la

producción y calidad de banano (Siguemoto et al., 2023; Kerbel & Madrid, 2020) como la necrosis de los haces vasculares del pseudotallo causada por *Fusarium oxysporum* y *F. verticillioides* (Aguilar-Ancota et al., 2021a), pudrición blanda en pseudotallo y rizoma causado por *Pectobacterium chrysanthemi* y *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* (Aguilar-Ancota et al., 2021b; Rafael-Rutte et al., 2022); Además, en la etapa de postcosecha se presenta una enfermedad de gran importancia económica en la comercialización de frutas como es la pudrición de la corona causada por *Lasioidiplodia theobromae*, *Colletotrichum musae* (Al-Dairi et al., 2023; da Silva-França et al., 2024; González-Jiménez et al., 2024; Triest & Hendrickx, 2016; Li et al., 2021). El desarrollo del micelio en la superficie cortada y la caída de los frutos desde la corona se presentan en fases avanzadas de la infección (Lassois et al., 2010; Sripong et al., 2020). La temperatura promedio en todos los valles de Piura es de 25 °C y los riegos se realizan cada 15 días, creando un buen ambiente para que el hongo se multiplique. Las conidias se dispersan a través de corrientes de aire y actividades agronómicas y se depositan en tinas de proceso y en otros artículos durante el corte (Cepeda et al., 2019; Chero, 2020). La pudrición de la corona afecta la calidad de la fruta, limitando así la aceptación y comercialización, provocando importantes pérdidas económicas a agricultores y comerciantes al no aparecer el producto en los supermercados de destino (Al-Dairi, et al., 2023; Chero, 2020; Kumah, et al., 2020). Existen varios métodos químicos de postcosecha destinados a controlar esta enfermedad en banano (de Souza-Pollo & de Goes, 2020; González-Jiménez et al., 2024; Morelia-Jiménez et al., 2023; Zuniega et al., 2024; Zaitoon et al., 2022, Chen et al., 2020). No obstante, al ser un producto orgánico, el uso de agroquímicos para combatir la enfermedad se encuentra limitado y prohibido. Por lo que, existe la necesidad de investigar compuestos amigables con el medio ambiente como tratamientos de postcosecha en lugar de fungicidas químicos.

En 2001, la FDA (Federal Drug Administration) aprobó al ozono como sustancia GRAS (Generally Recognized As Safe) para el contacto directo con alimentos (FDA, 2008). Baia et al. (2020) informaron que el ozono es una herramienta potencial para garantizar la calidad de los alimentos debido a su alto efecto germicida y su descomposición espontánea en oxígeno. Por consiguiente, para controlar eficazmente la enfermedad, se localizaron las fuentes de inóculo en las áreas de procesamiento, se realizó un monitoreo de las conidias fúngicas responsables y se evaluó la influencia del ozono en su manejo.

METODOLOGÍA

Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en la cooperativa ASPROSOL (Asociación de Productores Orgánicos Solidarios Manuel Bruno Suárez), ubicada en La

Matanza, de la provincia de Morropón. Su posición geográfica corresponde a las coordenadas 5° 12' 24" S y 80°14'59" W (Figura 1).

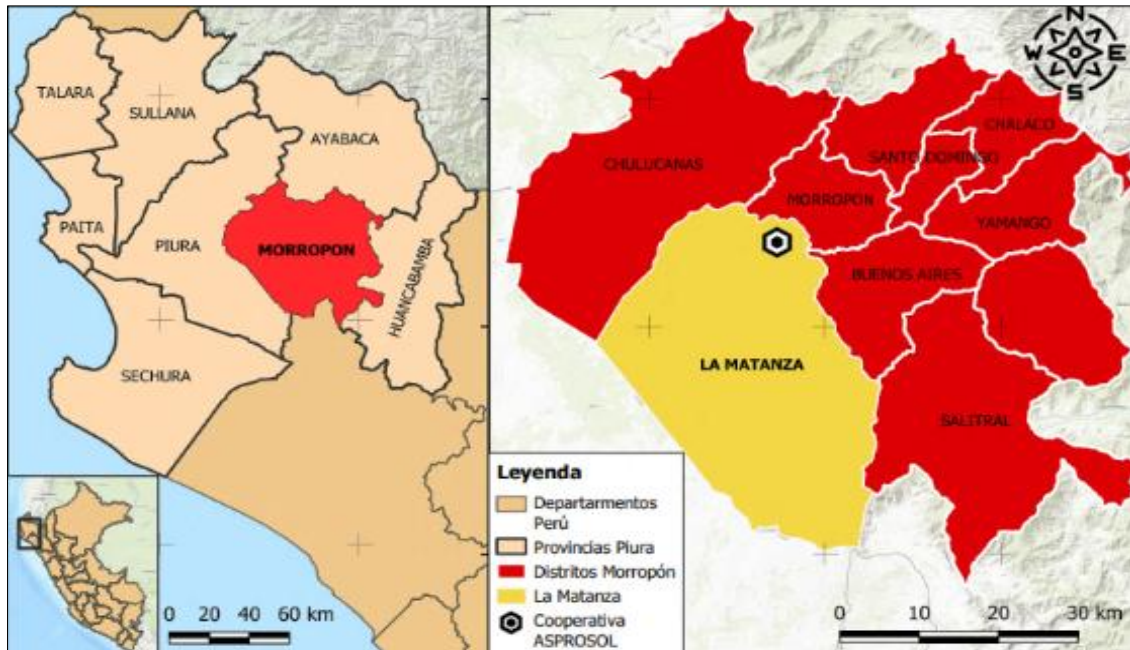


Figura 1. Localización de ASPROSOL en la provincia de Morropón.

Detección de fuentes de inóculo

Se colectaron del campo muestras de tejidos vegetales con síntomas de ligera necrosis por hongos, como: Frutos desechados, restos del deschive, vainas envolventes, partes del raquis, inflorescencias y la cucula, entre otros, se instalaron en una cámara húmeda durante 48 horas. Después, se prepararon montajes de estos tejidos para observar las características morfológicas del hongo utilizando un microscopio compuesto Kessel (40X), poniendo atención en los cuerpos vegetativas y de reproducción. La identificación de hongos se realizó a través de las claves propuesta por Barnett & Hunter (1998). También, se realizó la prueba de patogenicidad con los patógenos aislados para comprobar efectivamente su condición de patógenos.

Monitoreo de conidias en agua de proceso

Se recolectaron muestras de agua de proceso (Tabla 1) de las asociaciones bananeras de los

valles del Chira y Alto Piura. Para aislar hongos y contar colonias, se empleó el método de "Diluciones en serie". Se utilizaron seis tubos que contenían 9 mL de medio PDA al 1% de agar. Se empleó una pipeta estéril para absorber 1mL de agua de proceso (Extraída de las tinas y guardada en un matraz Erlenmeyer) para ser colocadas en el primer tubo). Para obtener una suspensión homogénea, se mezcló con un agitador magnético y luego, con otra pipeta estéril para transferir 1mL del primer tubo al segundo tubo repitiendo los mismos pasos. Se añadió 1 mL del segundo tubo al tercer tubo y así sucesivamente hasta el tubo número 6 (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6}), después, se procedió a verter cada dilución a una placa de Petri estéril y se incubaron las placas a 27 °C durante 5 a 6 días antes de identificar el aislamiento fúngico y cuantificar las colonias. Además, se realizó las pruebas de patogenicidad con los patógenos aislados para comprobar efectivamente su condición de patógenos.

Tabla 1

Muestreo de agua de tinas de proceso de banano en plantas empacadoras de los valles del Chira y Alto Piura

Distrito	Asociación	Empacadora	Características	Tiempo de muestreo
Querecotillo	APOQ	Corregidor	Tina fija con mayólica	7:20 am-2:30pm
		Montenegro	Tina móvil	7:15 am-2:30pm
		Sta. Angélica	Tina fija (1)	7:30 am-2:30pm
			Tina fija (2)	7:30 am-2:30pm
	APPFONORPE	Canaleta 2	Tina móvil, rustica	8:30 am-4:00pm
	AVACH	Corregidor	Tina fija con mayólica	7:30 am-2:45pm
Morropón	ASPROSOL	Isidro Villalta	Tina fija con mayólica	7:00 am-2:00pm
		Las pampas	Tina fija	7:30 am-2:00pm
		Carrasco	Tina móvil	7:45 am-3:00pm
		Polidoro	Tina móvil	7:00 am-2:30pm
		Prototipo	Tina móvil, malla rachel	8:00 am-2:30pm
Pueblo Nuevo Colán	Sol de Colán	Colán	Tina fija con mayólica	8.00 am-3:00pm
			Tina fija	8:00 am-2:00pm
Sullana	Cooperativa San Fernando	Fredy	Tina móvil	7:15 am-2:00pm
	CAPPO	Montenegro	Tina móvil, rustica	7:00 am-4:00pm

Tratamientos con ozono (O₃) en agua de proceso y de ducha

La unidad de tratamiento de ozono O₃ y todos sus accesorios se ubicaron en la parte lateral de la tina. El dispositivo uso un balón de oxígeno para convertir O₂ en O₃. Las tinas se llenaron con agua de pozo 3,0 m³ y se adicionaron 20 L de alumbre por hora (Preparando la solución con 12 kg/200 L de agua). Se aplicó ozono de forma homogénea, a través de tubos de hierro galvanizado de 2" de diámetro que contenía pequeños orificios por donde se aplicó O₃. Este equipo puede generar hasta 915 ORP (Oxidation Reduction Potencial). Se registró la concentración de O₃ con un medidor Redox en mv (milivoltios) por cada tratamiento y luego, se sumergió la fruta en la tina.

Se usaron bananos fisiológicamente maduros, en clusters y sumergidos en tinas de proceso que contengan agua ozonizada con una concentración de 915 ORP, 800 ORP y 650 ORP en tiempos de 1 o 5 minutos (Tabla 2).

Tabla 2

Tratamiento con concentraciones de ozono (O₃) con o sin biofungicidas para el control de la enfermedad

Tratamientos	Tiempo de inmersión (min)	Ducha con O ₃ (min)
Testigo + bf	0	No
Testigo	0	No
915 ORP + bf	5	1
915 ORP	5	1
915 ORP + bf	0	1
915 ORP	0	1
800 ORP + Cm + bf	5	1
800 ORP + Cm	5	1
800 ORP + Tp + bf	5	1
800 ORP + Tp	5	1
650 ORP + bf	1	1
650 ORP	1	1
650 ORP + bf	5	0
650 ORP	5	0
T. paradoxa	0	No
C. musae	0	No

bf: con biofungicida; Cm: *C. musae*; Tp: *T. paradoxa*.

A algunos tratamientos se les adicionó un lavado con agua ozonizada durante 1 a 2 min e inmediatamente fueron asperjados con un fungicida biológico y en otros casos no se agregó un fungicida biológico. Para cada tratamiento se utilizaron nueve clusters de fruta de banano.

Posteriormente, se envasaron en cajas de cartón con bolsas polypak. Para la trazabilidad, cada caja de 18,14 Kg y cada tratamiento se marcó con un código e incubadas en cámara de refrigeración de la cooperativa ASPROSOL por 22 días, periodo después del cual fueron evaluados.

Índice de Severidad (IS)

La severidad se evaluó a los 22 días después de la incubación (ddi) mediante los criterios propuestos por Douglas et al., (1996) (Tabla 3). Se calculó el índice de severidad con la fórmula propuesta por Mont (2002).

$$IS (\%) = \left[\frac{\sum(n)(v)}{(CM)N} \right] 100\%$$

Dónde IS (%): Índice de severidad en porcentaje; CM: Categoría mayor de evaluación; N: Totalidad de los frutos en evaluación; n: Número de frutos afectados; v: grado de severidad.

Tabla 3

Escala de severidad de la enfermedad

Grado de severidad	Características de los síntomas
0	Libre de pudrición en la corona del fruto.
1	Micelio visible en la corona.
2	Micelio cubre toda la corona con inicio de una decoloración.
3	Superficie necrótica con 40% de la corona.
4	Superficie necrótica con 80% de la corona.
5	Corona necrótica sin infección de pedicelos.
6	Corona con pudrición total, pedicelos y parte de la cáscara del fruto necrótica.

Fuente: Douglas et al. (1996).

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza (ANVA) junto con prueba estadística de comparaciones múltiples Duncan con un nivel de significancia de 0,05. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) que incluyó 16 tratamientos y 9 repeticiones. Previamente los datos recolectados fueron evaluados mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks ($\alpha \geq 0,05$). Para el análisis de datos se utilizó el software Statistical Analysis Systems 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Detección de fuentes de inóculo

En la Tabla 4 y la Figura 2, se presentan listado de estructura de tejidos vegetales que han sido identificados como fuentes de inóculo de hongos responsables de la pudrición de la corona en bananos destinados a la exportación.

Se detectaron como fuentes de inóculo: caña de guayaquil, chante o vaina envolvente, cormos, cucula o bellota, frutos rechazados, frutos dañados, hojas secas de banano, inflorescencias, raquis, detectándose a *L. theobromae*, *Curvularia* sp., *Fusarium* spp., *Excerothilum* sp. Asimismo, en la

zona bananera de Nuevo de Colán, se encontró a *Colletotrichum* spp. en frutos de descarte y de deschive, el hongo se caracterizó por presentar esporulación color salmón y/o naranja. Los resultados son similares a lo obtenido por Ploetz et al. (2003), quienes afirmaron que el hongo que causa la pudrición de la corona se presenta en campos de banano y parasita hojas muertas, inflorescencias, flores secas, brácteas y frutos. En la zona del valle de Chira, el área de procesamiento se encuentra próxima a las plantaciones de banano, donde se hallan residuos de postcosecha.

Asimismo, los productores cultivan mango ciruelo (*Spondias Dulcis*), mango (*Mangifera indica*), cocotero (*Cocos nucifera*) y en algunos casos vid (*Vitis vinifera*) a lo largo de los límites de sus campos sirviendo como fuente de inóculo.

Tabla 4

Partes vegetales considerado como fuentes de inóculo de los hongos responsables de la pudrición de la corona del banano

Estructuras vegetales como fuente de inóculo	Patógenos identificados
Caña de guayaquil	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Chante o vaina envolvente	<i>Cladosporium</i> sp., <i>Curvularia</i> sp., <i>Excerohilum</i> sp. y <i>L. theobromae</i>
Cormo	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Cucula o bellota	<i>Fusarium</i> spp. y <i>L. theobromae</i>
Frutos de descarte	<i>Fusarium</i> spp., <i>L. theobromae</i> y <i>Colletotrichum musae</i>
Frutos de deschive	<i>Colletotrichum musae</i> , <i>Fusarium</i> spp. y <i>L. theobromae</i>
Hojas secas de banano	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Inflorescencia	<i>Curvularia</i> sp., <i>Excerohilum</i> sp. y <i>Fusarium</i> spp.
Madera de coco	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Ramas de mango	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Ramas de vid	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Raquis de banano	<i>Colletotrichum musae</i> , <i>Fusarium</i> spp. y <i>L. theobromae</i>

Se observó que la esporulación del hongo estuvo presente en todas las muestras recolectadas en campo. Ploetz et al. (2003) reportaron que las conidias del hongo de la pudrición de la corona se propagan y transportan desde el campo por el viento, agua de riego, insectos y aves. Otros afirman que el desarrollo de los hongos está influenciado por HR, turbulencia, velocidad del viento, T°, PP, contaminación, disponibilidad de sustrato y la actividad humana, que son críticas para la propagación y reproducción de las células fúngicas (Lacey, 1989).

Cuando se procesa material vegetal, por ejemplo, hojas, flores, semillas, tierra, etc., aumenta la concentración de células fúngicas suspendidas en el ambiente y conduce a la contaminación (Alvindia et al., 2004). Chero (2020) reporta a las brácteas, vainas de pseudotallo, hojas, cúcula, raquis, frutos del deschive, frutos de descarte, hojarasca, tallos de mango, enredaderas, esteras y cañas de Guayaquil como fuentes de inóculo en campos de banano. Ello posiblemente se deba a que durante las actividades agronómicas como deschante, desflore, deshierbos, deshije, deshoje, enfunde y cosecha en el cultivo de banano, las conidias se remuevan, distribuyan y

depositen en racimas, tinas de procesamiento y en cualquier lugar de la zona de proceso. En campo estas conidias al entrar en contacto con las heridas y otras partes de la corona son trasladadas al lugar de empacado, contaminando el agua de lavado.



Figura 2. A). Manilla de deschive con *Fusarium* spp. y *L. theobromae* B). Inflorescencia con *L. theobromae* y *Fusarium* spp. C). Raquis con *C. musae* y *L. theobromae*. D). Bellota con *Fusarium* spp. y *L. theobromae* E). Vaina con *L. theobromae*. F). Inflorescencias con *Fusarium* spp. G). Pecielo con *L. theobromae*, *Alternaria* sp. y *Cladosporium* sp. H). Caña de Guayaquil (Techo de empacadora) con *L. theobromae*.

Monitoreo de conidias en aguas de proceso

Los resultados sobre la concentración e identificación a nivel de género de los hongos obtenidos de las 30 muestras recolectadas de las tinas de procesamiento en las plantas empacadoras se presentan en la Tabla 5. El 78% de estos hongos corresponde a *Aspergillus* spp., *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp. y *Rhizopus* sp., y el 21% a *Fusarium* spp. y *Colletotrichum* spp. También se observó que la concentración más baja registrada en la mañana fue entre $1,3 \times 10^3$ y $1,5 \times 10^3$ UFC/mL en las empacadoras ASPROSOL, APBOSMAN y APPFONORPE, y la concentración máxima se encontró al final del proceso registrándose $8,8 \times 10^4$ UFC/mL en la

empacadora ASPROSOL y $9,5 \times 10^4$ UFC/mL en la empacadora APPFONORPE. Estos resultados concuerdan con lo manifestado por Li & Kuo (1994) quienes describieron que los hongos dominantes en un ambiente interior subtropical (Taiwán) eran *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. y levaduras.

La presencia de estos patógenos coincide con Cepeda et al. (2019) quienes indican que los hongos son cosmopolitas y el inóculo se incrementa en regiones templadas con alta humedad. Su rápida y gran capacidad de multiplicación se debe a su corto periodo de tiempo en un ciclo asexual del hongo acompañado por su tamaño pequeño y gran número de conidias, lo que facilita su movimiento aéreo y distribución en cualquier superficie.

La mayoría de los tratamientos tuvieron un índice de severidad de 0%. El testigo y el testigo absoluto no mostraron diferencias significativas con respecto al tratamiento 915 ORP para la inmersión de 0 min y la ducha de 1 min. El índice de severidad de los tratamientos ORP 650 con y sin biofungicida con 5 minutos de inmersión, fue de 5,56% y 40,74%, respectivamente, mostrando diferencias significativas entre ambos, superando en significancia ($p \leq 0,05$) a los testigos que fueron inoculados solo con *C. musae* y *T. paradoxa* y que alcanzaron 100 % de índice de severidad.

Efectos del ozono en la pudrición de la corona

Los resultados del efecto del O_3 sobre *C. musae* y *T. paradoxa* se observan en la Tabla 6 y Figura 3.

Los resultados obtenidos en esta investigación con O_3 son consistentes con los trabajos de Blanchard et al. (2020) quienes sugieren que el ozono gaseoso y acuoso se puede utilizar para desinfectar equipos, purificar el agua y conservar algunos alimentos, incluidas frutas y verduras frescas, de modo que el ozono pueda inactivar bacterias, virus y hongos que contaminan los alimentos.

El poder desinfectante del ozono es óptimo en el rango de 0,5 a 2,0 ppm (Kaavya et al., 2021). Así mismo, Nicoué et al. (2004) obtuvieron 99% y 98% de inhibición del crecimiento micelial de *Rhizopus stolonifer* y *Botrytis cinerea* a concentraciones de ozono de 0,05 y 0,01 ppm, respectivamente. Cambios en la germinación de conidias de *Aspergillus niger* y *A. ochraceus* se observó cuando se aplicó 1 ppm de ozono (Vijayanandraj et al., 2006; Mohan et al., 2005). El ozono, también, elimina continuamente el etileno al medio ambiente, extendiendo la vida de frutas y verduras, degrada eficazmente las micotoxinas consideradas como metabolitos secundarios originados por especies de los diferentes géneros como: *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. y *Fusarium* spp. (Sujayasree et al., 2021).

Tabla 5

Género de hongos (UFC/mL) en muestras de agua de proceso en plantas empacadoras

Asociación/ Empacadora	Concentración (UFC/mL)		Hongos aislados e identificados	
	Inicio del proceso	Final del proceso	Inicio del proceso	Final del proceso
APOQ/ Montenegro	$1,4 \times 10^2$	$3,5 \times 10^4$	<i>Aspergillus</i> sp. y <i>Penicillium</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Fusarium</i> spp. y <i>Penicillium</i> sp.
AVACH/ Corregidor	$1,7 \times 10^3$	$2,8 \times 10^4$	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Cladosporium</i> sp. y <i>Penicillium</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Cladosporium</i> sp., <i>Fusarium</i> spp., y <i>Penicillium</i> sp.
Sol de Colán/ Colán	$1,3 \times 10^3$	$2,4 \times 10^4$	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Cladosporium</i> sp. y <i>Penicillium</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Colletotrichum</i> spp. y <i>Penicillium</i> sp.
ASPROSOL/ Las Pampas	0,00	$1,6 \times 10^5$		<i>Aspergillus</i> sp., <i>Colletotrichum</i> spp., <i>Fusarium</i> spp.
ASPROSOL/ Carrasco	$2,1 \times 10^3$	$8,0 \times 10^4$	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Fusarium</i> spp. y <i>Rhizopus</i> sp.	<i>Cladosporium</i> sp., <i>Penicillium</i> sp. y <i>Rhizopus</i> sp.
ASPROSOL/ Polidoro	$8,8 \times 10^4$	$8,1 \times 10^5$	<i>Fusarium</i> spp., <i>Penicillium</i> sp. y <i>Rhizopus</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Penicillium</i> sp. y <i>Rhizopus</i> sp.
San Fernando/ Emp. Fredy	$1,5 \times 10^3$	$2,6 \times 10^4$	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Penicillium</i> sp. y <i>Rhizopus</i> sp.	<i>Cladosporium</i> sp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Penicillium</i> sp. y <i>Rhizopus</i> sp.
CAPPO/ Montenegro	$1,7 \times 10^4$	$5,7 \times 10^5$	<i>Penicillium</i> sp. y <i>Rhizopus</i> sp.	<i>Cladosporium</i> sp. y <i>Penicillium</i> sp.
APPFONORPE/ Canaleta 2	$9,5 \times 10^4$	$6,6 \times 10^5$	<i>Cladosporium</i> sp. y <i>Penicillium</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Colletotrichum</i> spp., <i>Fusarium</i> spp. y <i>Penicillium</i> sp.
ASPROSOL/ Prototipo	$1,2 \times 10^2$	$2,1 \times 10^3$	<i>Aspergillus</i> sp., y <i>Penicillium</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Fusarium</i> spp. y <i>Penicillium</i> sp.
APOQ/ Sta. Angélica	0,00	$1,2 \times 10^3$		<i>Aspergillus</i> sp., y <i>Penicillium</i> sp.
APOQ/ Sta. Angélica	$1,4 \times 10^2$	$1,8 \times 10^4$	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp. y <i>Fusarium</i> spp.
Sol de Colán/ Colán	$2,9 \times 10^1$	$7,1 \times 10^1$	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Fusarium</i> spp. y <i>Trichoderma</i> spp.
AVACH/ Isidro Villalta	$1,8 \times 10^3$	$2,3 \times 10^5$	<i>Aspergillus</i> sp. y <i>Penicillium</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Cladosporium</i> sp., <i>Fusarium</i> spp.
APOQ/ Corregidor	$2,1 \times 10^3$	$4,6 \times 10^5$	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp. y <i>Rhizopus</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Cladosporium</i> sp., <i>Fusarium</i> spp., y <i>Penicillium</i> sp.

Tabla 6

Efectividad de concentraciones de O₃ (ORP mV) expresadas como índice de severidad de la pudrición de la corona

Tratamientos	Tiempo de inmersión (min)	Ducha con O ₃ (min)	Severidad (%)
Testigo + bf	0	No	1,85 ab
Testigo	0	No	3,70 ab
915 ORP + bf	5	1	0 a
915 ORP	5	1	0 a
915 ORP + bf	0	1	0 a
915 ORP	0	1	1,85 ab
800 ORP + Cm + bf	5	1	0 a
800 ORP + Cm	5	1	0 a
800 ORP + Tp + bf	5	1	0 a
800 ORP + Tp	5	1	0 a
650 ORP + bf	1	1	0 a
650 ORP	1	1	0 a
650 ORP + bf	5	0	5,56 b
650 ORP	5	0	40,74 c
T. paradoxa	0	No	100 d
C. musae	0	No	100 d

CV: 27,11.

bf: con biofungicida, Cm: *C. musae*, Tp: *T. paradoxa*.

Rice (2007) menciona que el ozono tiene un fuerte poder oxidante y es un buen desinfectante porque inactiva células bacterianas y virales oxidando sus cadenas de ADN y ARN. Es fácilmente soluble en agua, la solubilidad es de 10 a 20 veces mayor que la del oxígeno a 20 °C y tiene un altísimo poder oxidante, siendo entre 300 a 3000 veces mayor que el del cloro. En trabajos anteriores Kaavya et al. (2021) y Pandiselvam et al. (2020) observaron que el ozono en dosis suficientes tiene efectos oxidantes, bactericidas, germicidas, antiprotozoarias, antivirales y fungicidas. Por sus propiedades oxidantes, es muy utilizado en sistemas de tratamiento de agua (Pandiselvam et al., 2020). Zhao & Cranston (1995) mencionaron que el ozono forma radicales hidropéroxil, hidroxil y superóxidos. Esta reactividad del ozono radica en el elevado poder oxidante de los tres radicales antes mencionados. El ozono se transforma rápidamente en fase acuosa en los alimentos, y el efecto antibacteriano se hace evidente en la superficie de estos. Su estabilidad dura hasta unos 20 min, por lo que no hay peligro por consumo de ozono para los consumidores. Las moléculas de ozono se descomponen espontáneamente en oxígeno, por lo que el uso de ozono reduce la acumulación de residuos inorgánicos en el medio ambiente (Sivaranjani et al., 2021).

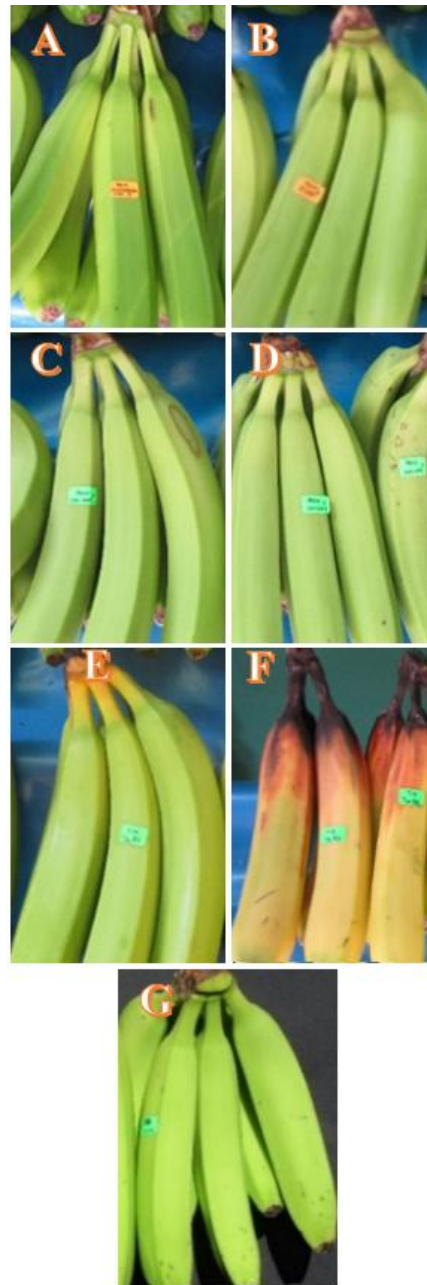


Figura 3. Índices de severidad (IS) y tratamientos con O₃ en cluster de banano orgánico. A). IS de 0,0% con O₃, 915 ORP y biofungicida. B). IS de 0,0% con O₃ y 915 ORP con moho en la parte apical. C). IS de 0,0% con O₃ y 915 ORP con *T. paradoxa* y biofungicida e inmersión por 5 min. D). IS de 0,0% con O₃ y 800 ORP, con *C. musae* e inmersión por 5 min y ducha con agua ozonizada durante 1 min. E). Severidad de grado 6 con inoculación de *C. musae* después de 21 días de incubación a 13 °C. F). Severidad de grado 6 con inoculación de *T. paradoxa* después de 21 días de incubación a 13 °C. G). Índice de severidad de 1,85 % del testigo (con biofungicida).

CONCLUSIONES

Se identificaron diversas fuentes de inóculo asociadas a la enfermedad, incluyendo el raquis, vainas envolventes, inflorescencias, frutos descartados y de deschive, así como cucula, hojas secas de banano, ramas de mango y vid. Adicionalmente, se detectaron como reservorios

potenciales materiales como madera de coco, hojas secas de palma de coco y caña de Guayaquil.

La evaluación de las muestras de agua obtenidas al final del proceso de corte de racimos en las asociaciones APPFONORPE (Querecotillo) y ASPROSOL (La Matanza) reveló una alta presencia

de poblaciones fúngicas, entre las que destacan *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Colletotrichum* sp., *Fusarium* spp., *Penicillium* sp., y *Rhizopus* sp. La aplicación directa a tratamientos con ozono resultó eficaz en gran parte de los casos, alcanzando una medida de severidad del 0%. Esto posiciona al ozono como una alternativa prome-

tedora para su uso en inmersiones y duchas durante el manejo postcosecha. No obstante, se recomienda complementar esta estrategia con una rigurosa asepsia de los clústeres en las zonas de empaque, a fin de garantizar un control más eficiente en las asociaciones bananeras.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional de Piura, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Universidad

Católica Sedes Sapientiae y a ASPROSOL, La Matanza, por su colaboración logística.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Ancota, R., Arévalo-Quinde, C. G., Morales-Pizarro, A., & Galecio-Julca, M. (2021). Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación, y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028>
- Aguilar-Ancota, R., Ruiz, W. R., Morales-Pizarro, A., Rafael-Rutte, R., Tirado-Lara, J., Saucedo-Bazalar, M., Tuesta-Albán, C., Apaza-Apaza, S., & Teodor, K. K. (2021). Pudrición blanda en el pseudotallo de banano orgánico (*Musa* spp): sintomatología, caracterización cultural y bioquímica, patogenicidad y alternativas de manejo. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 571-578. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.061>
- Al-Dairi, M., Pathare, P., Al-Yahyai, R., Jayasuriya, H., & Al Attabi, Z. (2023). Postharvest quality, technologies, and strategies to reduce losses along the supply chain of banana: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 134(2). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.003>
- Alvinda, D. G., Kobayashi, T., Natsuaki, K. T., & Tanda, S. (2004). Inhibitory influence of inorganic salts on banana postharvest pathogens and preliminary application to control crown rot. *Journal of General Plant Pathology*, 70, 61-65. <https://doi.org/10.1007/s10327-003-0084-5>
- Ayres, M. I. D. C. (2022). Avaliação da sustentabilidade agroecológica dos sistemas agroextrativistas do açaí-damazons (Euterpe precatoria Martius) em Codajás. <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/9155>
- Baia, G. M., Freitas-Silva, O., & Junior, M. F. (2020). Understanding the role of chlorine and ozone to control postharvest diseases in fruit and vegetables: a review. *Current Nutrition & Food Science*, 16(4), 455-461. <https://doi.org/10.2174/1573401315666190212161209>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). Illustrated genera of imperfect fungi. The American phytopathological society. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington State University, Pullman. APS Press. USA. St. Paul, Minnesota USA. 218p.
- Cândido, H. T., Leonel, M., Leonel, S., Ouros, L. F., Jesus, P. R., Izidoro, M., Molha, N. Z., & Domiciano, V. M. (2022). Green banana and ora-pro-nóbis mixed flours: nutritional and technological characteristics. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2022081. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08122>
- Chen, M., Chen, X., Ray, S., & Yam, K. (2020). Stabilization and controlled release of gaseous/volatile compounds to improve safety and quality of fresh produce. *Trends Food Sci. Tech.*, 95, 33-44. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.005>
- Chero, Z. K. Y. (2020). Control de *Thielaviopsis paradoxa* y *Colletotrichum musae* asociado a la pudrición de la corona del banano y detección de sus fuentes de inóculo. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2255>
- Cepeda, R., Luque, L., Ramírez, D., Franco, P., & Fabra, M. (2019). Monitoreo de hongos ambientales en laboratorios y reservas patrimoniales bioarqueológicas. *Bol. Micol.*, 34(2), 33-49. <http://dx.doi.org/10.22370/bolmicol.2019.34.2.1909>
- Dadrasnia, A., Usman, M. M., Omar, R., Ismail, S., & Abdullah, R. (2020). Potential use of Bacillus genus to control of bananas diseases: Approaches toward high yield production and sustainable management. *Journal of King Saud University-Science*, 32(4), 2336-2342. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.03.011>
- da Silva França, K. R., de Medeiros Ferro, M. M., Feijó, F. M., da Silva, S. J. C., de Melo, M. P., de Andrade Lima, G. S., & Assunção, I. P. (2024). First report of *Lasiodiplodia hormozganensis* and *Lasiodiplodia laeliocattleyae* causing crown rot disease in banana fruits in Brazil. *Crop Protection*, 106784. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106784>
- De Matos, A. P., Vasconcelos, J. A., & Simão, A. H. (2019). Práticas de cultivo para a cultura da banana no estado do Tocantins. Embrapa mandioca e fruticultura, Brasília, Brasil. 43 pp. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1109956>
- de Souza-Pollo, A., & de Goes, A. (2020). Banana pathology and diseases. Handbook of banana production, postharvest science, processing technology, and nutrition, 45-59. <https://doi.org/10.1002/9781119528265.ch3>
- DRAT-Dirección Regional de Agricultura Tumbes. (2021). Oficina de Estadística Agraria. Disponible en: <https://regiontumbes.gob.pe/servicios/tupa/region-agricultura/>
- Donato, S. L., Borém, A., & Rodrigues, M. G. (2021). Banana: do plantio à colheita. Belo Horizonte: EPAMIG, 376 pp.
- Douglas, M., Sutton, T., Blankenship, S., & Swallow, W. (1996). Hongos asociados a la pudrición de la corona del banano. informe anual, 67-69.
- FAO (2022). Banano. Análisis del Mercado 2020. Roma. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/3/cb6639es/cb6639es.pdf>
- FAO (2023) Crops and livestock products 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QL/visualize>
- FAOSTAT. Banana Statistical Compendium 2022; Food and Agricultural Organization of the United Nations, FAO: Rome, Italy, 2021; Available online: www.fao.org.
- Food and Drugs Administration of US. (2008). Secondary direct food additives permitted in food for human consumption. Federal Register. 39, 17-26.
- González-Jiménez, V., Moscoso-Ramírez, P. A., Ortiz-García, C. F., Sánchez-Soto, S., & Lara-Viveros, F. M. (2024). Control of crown rot with potassium carbonate in banana cv. Enano Gigante. *Plant Pathology*, 73(4), 873-883. <https://doi.org/10.1111/ppa.13861>
- Kaavya, R., Pandiselvam, R., Abdullah, S., Sruthi, N. U., Jayanath, Y., Ashokkumar, C., Khanashyam, A. C., Kothakota, A., & Ramesh, S. V. (2021). Emerging non-thermal technologies for decontamination of Salmonella in food. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 400-418. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.011>
- Kaur, L., Dhull, S.B., Kumar, P., & Singh, A. (2020). Banana starch: properties, description, and modified variations - A review. *Int. J. Biol. Macromol.*, 165, 2096-2102. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.058>
- Kerbel, E., & Madrid, M. (2020). Tropical Fruits: Bananas. In Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce (pp. 353-362). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804599-2.00022-3>
- Kumah, P., Nunoo, L. E., & Bismark, O. (2020). Anti-microbial effect of cocoa leaf extracts on *Botryodiplodia theobromae*; leading causative organism of crown rot disease of banana (*Musa acuminata*). *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 7(3), 40-50.
- Lacey, J. (1989). Pre-and post-harvest ecology of fungi causing spoilage of foods and other stored products. *Journal of Applied Microbiology*, 67(s18), 11s-25s. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb03766.x>
- Lassois, L., Jijakli, M. H., Chillet, M., & De Lapeyre de Bellaire, L. (2010). Crown rot of bananas: preharvest factors involved in postharvest disease development and integrated control

- methods. *Plant disease*, 94(6), 648-658. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-6-0648>
- Li, C. S., & Kuo, Y. M. (1994). Characteristics of airborne microfungi in subtropical homes. *Science of the total environment*, 155(3), 267-271. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90505-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90505-3)
- Li, T., Li, M., Jiang, Y., & Duan, X. (2021). Genome-wide identification, characterization and expression profile of glutaredoxin gene family in relation to fruit ripening and response to abiotic and biotic stresses in banana (*Musa acuminata*). *Int. J. Biol. Macromol.* 170, 636-651. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.167>
- Maheshwari, S., Kumar, V., Bhadauria, G., & Mishra, A. (2022). Immunomodulatory potential of phytochemicals and other bioactive compounds of fruits: A review. *Food Frontiers*, 3(2), 221-238. <https://doi.org/10.1002/fft2.129>
- MINAGRI - Ministerio de Agricultura y Riego. (2021). MIDAGRI coordina acciones en resguardo de más de 17 mil hectáreas de producción de banano y plátano en Piura. <http://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/midagri-coordina-acciones-en-resguardo-de-mas-de-17-mil-hectareas-de-produccion-de-banano-y-platano-en-piura/>
- Mohan, N., Patel, K., Padmanabhan, K., & Ananthi, S. (2005). Ozone for plant pathological applications. *Ozone: Science and Engineering*, 27(6), 499-502. <https://doi.org/10.1080/01919510500351875>
- Mont, R. M. (2002). Manejo Integrado de Enfermedades de las Plantas. Ministerio de Agricultura. Servicio Nacional de Sanidad Agraria. Lima-Perú. 210 p.
- Morelia-Jiménez, J. A. Y., Montaña-Leyva, B., Blancas-Benitez, F. J., Romero-Islas, L. d. C., Gutierrez-Martinez, P., Hernandez-Montiel, L. G., Bautista-Rosales, P. U., & González-Estrada, R. R. (2023). Coconut Mesocarp Extracts to Control *Fusarium musae*, the Causal Agent of Banana Fruit and Crown Rot. *AgriEngineering*, 5, 2395-2407. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040147>
- Naito, S. (2009). Ozone Inactivation of Food spoilage acid-producing bacteria. Proceeding of the 19th Ozone World Congress & Exhibition IOA.
- Nicoué, E. E., Emond, J. P., Vuillemer, J. C., & Do Nascimento, M. C. (2004). Destruction de *Rhizopus stolonifer* and *Botrytis cinerea* par des traitements ozone/ions. *Phytoprotection* 85, 81-87. <https://doi.org/10.77202/009833ar>
- Pandiselvam, R., Kaavya, R., Jayanath, Y., Veenuttranon, K., Lueprasitsakul, P., Divya, V., Kothakota, A., & Ramesh, S. V. (2020). Ozone as a Novel Emerging Technology for the Dissipation of Pesticide Residues in Foods—a Review. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 38-54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.017>
- Pandiselvam, R., Subhashini, S., Banuu-Priya, E. P., Kothakota, A., Ramesh, S. V., & Shahir, S. (2019). Ozone Based Food Preservation: A Promising Green Technology for Enhanced Food Safety. *Ozone: Science & Engineering*, 41(1), 17-34. <https://doi.org/10.1080/01919512.2018.1490636>
- Ploetz, R. C., Thomas, J. E., & Slabaugh, W. (2003). Diseases of banana and plantain. Pp. 73-134 in: R.C. Ploetz, ed. *Diseases of Tropical Fruit Crops*. Cabi International, London. 527 pp. <https://doi.org/10.1079/9780851993904.0073>
- Rafael-Rutte, R., Zavala, L., Maldonado, E. A., Aguilar-Ancota, R., Saucedo-Bazalar, M., Tirado-Lara, J., & Aquije, C. (2022). Characterization of rhizome and pseudostem wet rot of organic banana (*Musa sp.*) in Piura, Perú. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 38(2), 176-188. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaa38-17crrc70017>
- Răut, I., Călin, M., Capră, L., Gurban, A. M., Doni, M., Radu, N., & Jecu, L. (2021). *Cladosporium* sp. isolate as fungal plant growth promoting agent. *Agronomy*, 11(2), 392. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020392>
- Rice, R. G. (2007). IOA-PAG. User success report commercial applications of ozone in Agri-Food. *Ozone News*, 35(2), 17-21.
- Siguemoto, E., Collombel, L., Hatchy, C. G., Delpech, C., Grabulos, J., Brat, P., ..., & Meot, J. M. (2023). Control of banana anthracnose by hot water wax: A semi-empirical model coupling heat transfer and *Colletotrichum musae* inactivation. *Postharvest Biology and Technology*, 195, 112139. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112139>
- Sivaranjani, S., Prasath, V. A., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Khaneghah, A. M. (2021). Recent Advances in Applications of Ozone in the Cereal Industry. *LWT-Food Science & Technology* 146, 111412. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111412>
- Sripong, K., Srinon, T., Ketkaew, K., Uthairataki, A., & Jitareerat, P. (2020). Impacts of paraffin wax and propolis on controlling crown rot disease and maintaining postharvest quality of banana. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 515(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/515/1/012036>
- Sujayasree, O. J., Chaitanya, A. K., Bhoite, R., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Gavahian, M., & Mousavi-Khaneghah, A. (2021). Ozone: An Advanced Oxidation Technology to Enhance sustainable food consumption through mycotoxin degradation. *Ozone: Science & Engineering*, 44(1), 17-37. <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1948388>
- Triest, D., & Hendrickx, M. (2016). Postharvest disease of banana caused by *Fusarium musae*: a public health concern? *PLoS Pathog.* 12. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005940>
- Tripathi, L., Ntui, V. O., & Tripathi, J. N. (2020). CRISPR/Cas9-based genome editing of banana for disease resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.05.003>
- Vijayanandraj, V. R., Nagendra-Prasad, D., Mohan, N., & Gunasekaran, M. (2006). Effect of Ozone on *Aspergillus niger* Causing Black Rot Disease in Onion. *Ozone: Science & Engineering*, 28(5), 347-350. <https://doi.org/10.1080/01919510600900035>
- Voorra, V., Larrea, C., & Bermudez, S. (2020). Global market report: bananas. The International Institute for Sustainable Development. Winnipeg, Manitoba Canada.
- Yan, H., Jiang, G., Wu, F., Li, Z., Xiao, L., Jiang, Y., & Duan, X. (2021). Sulfoxidation regulation of transcription factor NAC42 influences its functions in relation to stress-induced fruit ripening in banana. *J. Exp. Bot.* 72, 682-699. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa474>
- Zaitoon, A., Luo, X., & Lim, L. T. (2022). Triggered and controlled release of active gaseous/volatile compounds for active packaging applications of agri-food products: a review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 21, 541-579. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12874>
- Zhao, J., & Cranston, P. M. (1995). Microbial decontamination of black pepper by ozone and the effect of the treatment on volatile oil constituents of the spice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68(1), 11-18. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740680103>
- Zuniega, J., Grabulos, J., Lebrun, M., Aumond, T., Daniel, C., Farrusseng, D., & Brat, P. (2024). Cavendish' banana crown rot control through sustained release of thymol by metal-organic frameworks (MOFs). *Postharvest Biology and Technology*, 217, 113119. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113119>