



TESIS PROFESIONAL

***EFFECTO DE SACCHAROPOLYSPORA SPINOSA EN LA
CONSERVACIÓN DE MUSA BALBISIANA***

***PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO (A) EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS***

***PRESENTA
USIEL RUBIO ANTONIO***

ASESORES

***DIRECTOR DE TESIS
M.B ALEJANDRO CRUZ HERNÁNDEZ***

***CODIRECTOR
DR. LEANDRO CHAIREZ MARTINEZ***

XOYOTITLA, ÁLAMO TEMAPACHE, VER, ABRIL DE 2026

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a los esfuerzos y apoyos que me conllevaron a esta etapa de mi carrera, a Dios, familia y amigos que estuvieron al tanto de mi progreso educativo, personal y profesional.

A mi padre

Por inculcarme principios éticos y morales, que me ayudan a tener valor y apreciar el esfuerzo de las personas tanto como el personal.

A mi madre

Por darme apoyo psicológico en el entendimiento de mis propios errores y la forma de resolver dilemas.

A mi mejor amiga

Su carácter me infundió emotividad que me ayudó a ser más apasionado por mi trabajo.

M.B. Alejandro Cruz Hernández

Gracias por compartir su sabiduría y enseñanzas para fortalecer mis habilidades y descubrir en el proceso mis actitudes profesionales, un buen amigo y maestro con una paciencia admirable.

A mi jefe de carrera

Gracias a su dedicación y compromiso para con sus estudiantes, me inspiró a perseverar y afrontar retos cruciales

RESUMEN

El efecto del caldo de fermentación de la bacteria *Saccharopolyspora spinosa* como un bioconservante en *M. balbisiana* fue el enfoque de la presente investigación, basándose en la necesidad de encontrar alternativas sustentables a los conservadores sintéticos con el objetivo de disminuir las pérdidas postcosecha, que fluctúan entre el 25 % y el 50 % en esta especie. Se utilizó un método experimental que consistió en la reactivación de la cepa de *S. spinosa* en medios líquidos compuestos por peptona y dextrosa, aplicando los tratamientos por aspersiones al 50 % y 100 % de concentración sobre los frutos y almacenarlos a condiciones de temperatura de 25 °C, 27°C y 32 °C. Los resultados demostraron que el tratamiento a concentraciones del 100 % fue el más efectivo para retrasar el ablandamiento, manteniendo una firmeza de 18,5 N tras 192 h a 25 °C, significativamente superior al control (14,0 N). De la misma manera, se observó que el tratamiento contribuyó a mantener la luminosidad (L^*) del fruto, minimizando el ennegrecimiento superficial. Se llega a la conclusión de que el empleo de metabolitos de *S. spinosa* (espinosinas) constituye una alternativa viable y ecológica para prolongar la vida de anaquel de *M. balbisiana*, especialmente en condiciones de almacenamiento a 25 °C.

Palabras clave: *M. balbisiana*, *Saccharopolyspora spinosa*, bioconservación, postcosecha, espinosinas, tratamiento.

ABSTRACT

The effect of the fermentation broth of the Bacterium *Saccharopolyspora spinosa* as a biopreservative in *M. balbisiana* was the focus of this research, based on the need to find sustainable alternatives to synthetic preservatives with the aim of reducing post-harvest losses, which fluctuate between 25 % and 50 % in this species. An experimental method was used that involved the reactivation of the *S. spinosa* strain in liquid media composed of peptone and dextrose, applying treatments by spraying at 50 % and 100 % concentration on the fruits and storing them at temperatures of 25 °C, 27 °C, and 32 °C. The results showed that the treatment at 100 % concentration was the most effective in delaying softening, maintaining a firmness of 18.5 N after 192 h at 25 °C, significantly higher than the control (14.0 N). Similarly, it was observed that the treatment helped maintain the luminosity (L*) of the fruit, minimizing Surface darkening. It is concluded that the use of metabolites from *S. spinosa* (spinosins) constitutes a viable and ecological alternative to extend the shelf life of *M. balbisiana*, especially under storage conditions at 25 °C.

Keywords: *M. balbisiana*, *Saccharopolyspora spinosa*, bioconservation, postharvest, spinosins, treatment.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN.....	9
Planteamiento del problema.....	11
Justificación	13
Hipótesis	14
Objetivos.....	14
General.....	14
Específicos	14
CAPÍTULO II.-MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 <i>Musa paradisiaca</i> (var. <i>balbisiana</i>).....	15
2.1.1 Morfología	15
Trastornos físicos y fisiológicos	16
Fitopatologías en <i>M. balbisiana</i>	17
2.3 <i>Saccharopolyspora spinosa</i>	19
2.3.1 Producción de <i>espinosinas</i>	19
Medios de cultivo líquidos.....	21
Bioconservación.....	21
3. Antecedentes	23
Materiales y equipos	25
4.1 Material biológico.....	26
4.2 Recepción de muestras.....	26
4.3 Preparación de medio de cultivo liquido	26
4.4 Tinción de gram	27
4.5 Incremento de biomasa	27
4.6 Determinación de biomasa (espectrofotometría).....	27
4.7 Diseño experimental	27
4.8 Aplicación de tratamientos	28
4.9 Determinación de cambios fisicoquímicos	28
4.10 Cuantificación de azúcares reductores totales	28
4.11 Identificación de microorganismos (hongos y bacterias)	28

CAPITULO V.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	29
5.1 Identificación de <i>Saccharopolyspora spinosa</i> en caldo de fermentación.....	29
5.2 Efecto de la bacteria <i>Saccharopolyspora Spinosa</i> en <i>Musa paradisiaca</i> var. <i>Balbisiana</i>	29
Proceso de maduración.	47
Discusión	52
CONCLUSIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Musa balbisiana</i> . Fuente: Ficha técnica siap.gob.mx 2024.....	xvi
Figura 2. Daños por <i>Pseudocercospora fijiensis</i> . Fuente: 7 plagas y enfermedades del banano orgánico que deberías conocer, BIOALTERNATIVA 2021	xviii
Figura 3. Afectaciones por Moko de plátano en <i>M. balbisiana</i> . Fuente: Ficha técnica, SENASICA 2023.	xviii
Figura 4. Síntomas de daños a frutos de plátano ocasionados por <i>Fusarium</i> . Fuente: SENASICA, pudrición de la corona y del fruto del banano (<i>Fusarium</i> spp.) 2020.....	xix
Figura 5. Firmeza de los frutos almacenados a 25°C sobre un tiempo de 192 h	xxx
Figura 6. Desarrollo de los tres tratamientos en almacenamiento a temperatura de 27 °C.....	xxx
Figura 7. Estado de la firmeza de los frutos de <i>M. balbisiana</i> a 32°C durante el desarrollo de los tratamientos	xxxiii
Figura 8. Reducción total de la firmeza de los frutos de <i>M. balbisiana</i> entre variaciones de tratamientos y temperaturas de almacenamiento	xxxiv
Figura 9. Cambios en el parámetro de color L^* de frutos de <i>Musa balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>Saccharopolyspora spinosa</i> y almacenados a 25 °C	xxxvi
Figura 10. Cambios en el parámetro de color L^* de frutos de <i>Musa balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>Saccharopolyspora spinosa</i> y almacenados a 27 °C	xxxvii
Figura 11. Cambios en el parámetro de color L^* de frutos de <i>M. balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>S. spinosa</i> y almacenados a 32 °C	xxxix

Figura 12. <i>Variación del parámetro de color a^* en frutos de <i>M. balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>S. spinosa</i> y almacenados a 25°C</i>	xli
Figura 13: <i>Variación del parámetro de color a^* en frutos de <i>M. balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>S. spinosa</i> y almacenados a 27°C</i>	xlii
Figura 14: <i>Variación del parámetro de color a^* en frutos de <i>M. balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>S. spinosa</i> y almacenados a 32°C</i>	xliii
Figura 15: <i>Variación del parámetro de color b^* en frutos de <i>M. balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>S. spinosa</i> y almacenados a 25°C</i>	xliv
Figura 16: <i>Variación del parámetro de color b^* en frutos de <i>M. balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>S. spinosa</i> y almacenados a 27°C</i>	xlvi
Figura 17: <i>Variación del parámetro de color b^* en frutos de <i>M. balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>S. spinosa</i> y almacenados a 32°C</i>	xlvii
Figura 18: <i>Cambios visuales en frutos de <i>M. balbisiana</i> tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de <i>S. spinosa</i> y almacenados a 25°C durante el periodo de evaluación</i>	xlviii

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métodos de producción y fuentes de espinosinas	xx
Tabla 2: Microorganismos empleados en la conservación y control postcosecha en <i>M. balbisiana</i>	xxii
Tabla 3: Formulaciones	xxii
Tabla 4: Promedios y desviaciones estándar del ph en las muestras sometidas a diferentes condiciones de temperatura	xlix
Tabla 5: Promedio y desviación estándar de °brix bajo diferentes condiciones térmicas	1

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN

El plátano es un miembro clave de la familia *Musaceae* y se considera una fuente rica de diversos nutrientes, especialmente compuestos bioactivos (Kumari et al., 2023), como fenólicos, carotenoides, aminos biógenos y fitoesteroles (Singh et al., 2016). Y se cosecha normalmente cuando está en la etapa verde maduro, después, se lleva a los mercados mayoristas y se madura hasta llegar a un color amarillo dorado atractivo al consumidor. En algunos casos se utiliza etileno, esta hormona facilita el proceso de maduración, lo que favorece su valor comercial (Wei et al., 2023b) e incrementa la madurez en la fase de la cosecha, lo cual reduce su vida útil y eleva su vulnerabilidad frente a daños por patógenos (Macarena, 2021).

Los efectos negativos, como cambios fisiológicos, el ablandamiento de la pulpa y la falta de resistencia a ataques microbianos, contribuyen a que las pérdidas postcosecha de banano en el transporte y la comercialización varíen entre el 25 % y el 50 % (Akter et al., 2015), es igualmente importante regular la humedad, y lo ideal es que este entre el 85 % y 95 % de la humedad relativa, no sobrepasando niveles altos del 95 % dado a que favorecen desarrollo de hongos y menores del 85% para evitar la deshidratación y pérdida de la calidad (Kumar, 2025). Es importante comprender las prácticas y tecnologías actuales de gestión postcosecha durante la cadena de suministro y sus posteriores daños y pérdidas, esto para aumentar el conocimiento en la extensión y preservación de las condiciones de calidad aceptables a temporal consumo. La vida útil de las diferentes especies de *Musa* puede ampliarse, la temperatura y los gases que aseveran el proceso de maduración pueden ser controlados si se emplean métodos alternativos durante el almacenamiento, tales como el envasado al vacío o el almacenamiento en atmósfera controlada (Kudachikar et al., 2011).

Hoy en día, el uso de productos químicos contra los patógenos se considera altamente efectivo, pero la utilización constante de pesticidas podría poner en riesgo al medio ambiente. En consecuencia, se hace cada vez más necesario hallar una alternativa sustentable. Una táctica viable contra patógenos es el control biológico, que consiste en utilizar enemigos naturales de estas plagas, por ejemplo, las rizobacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* (Dadrasnia et al., 2020)

Las espinosinas por su parte son de una familia amplia de compuestos únicos que se generan a través de la fermentación de las especies A y D de la bacteria *Saccharopolyspora spinosa*. Su estructura principal está compuesta por un macrólido tetracíclico que proviene de un policetico con dos sacáridos añadidos. Proponen poderosas acciones insecticidas contra muchas especies de relevancia comercial que ocasionan daños perjudiciales a los cultivos y a otras plantas (Kirst, 2010) las espinosinas son estructuralmente clasificadas como *lactonas macrocíclicas* (específicamente *lactonas macrocíclicas tetracíclicas*) (Wan et al., 2021) mientras que compuestos relacionados (como la *tetramicina*) muestran potencial en la protección postcosecha contra patógenos. El spinosad, metabolito creado por *Saccharopolyspora spinosa*, se distingue por su efectividad frente a *T. ni* y *P. xylostella*, su escasa toxicidad en el medioambiente y su compatibilidad con la producción orgánica y el control integrado de plagas (Gustavo, 2025).

Por lo tanto; para efecto de este estudio, el método de este tratamiento se fundamenta en identificar el efecto de la bacteria *S. spinosa* sobre la maduración de *musa balbisiana*.

Planteamiento del problema

Álamo Temapache es un municipio del estado de Veracruz que se caracteriza por ser una zona de alta productividad agrícola, en la que se realizan muchas actividades relacionadas con la producción de alimentos después de la cosecha, especialmente la citricultura cuya subsistencia es dependiente a este sector productivo.

La dependencia a monocultivos como la naranja genera una elevada producción en las distintas zonas rurales de la región, lo que ha delimitado y cercado especies nativas como lo es el caso de *M. balbisiana*, este factor es clave para comprender el panorama de la falta de aprovechamiento de las tierras de cultivo y las consecuencias de la sobreexplotación de tierras.

Las especies naturalizadas como *M. balbisiana*, han tenido un aprovechamiento reducido a la utilización de sus hojas como aditamento en platillos característicos de la zona, así mismo el fruto, sin embargo, el consumo es local, con una producción pequeña, para cumplir con los estándares del comercio a mayor escala.

Esta variedad se ve comprometida a un mayor riesgo por factores fitosanitarios, tales como la proliferación de plagas y enfermedades, por ejemplo; el Moko de plátano o la Sigatoka negra, es una de las distintas afectaciones a la conservación de esta fruta. Si bien existen métodos como el almacenamiento a temperaturas controladas para retrasar el efecto del deterioro fisiológico de los frutos, esto no garantiza que se presenten cambios fisicoquímicos y morfológicos. El empleo de aditivos de conservación con base sintética ha cumplido un papel clave en lo que respecta a la vida de anaquel de estos productos.

Actualmente a este referente se ha suscitado una solución que más viable en la conservación ecológica, y reducción del consumo de aditivos alimentarios con base no orgánica, debido a que estos suponen una mayor incidencia en riesgos a la seguridad alimentaria. por ello se han implementado

Si bien se ha expandido comúnmente el método de conservación a bajas temperaturas en cámaras de enfriamiento y la administración de sustancias químicas para preservar la vida de anaquel de frutos climatéricos como el plátano. El riesgo a la exposición de agentes que afecten el bienestar del consumidor se presenta a largo plazo, esto por razón de causa efecto

al consumo de alimentos en las condiciones de preservación antes mencionadas, además de afectar al entorno ecológico. Por ello métodos como la bioconservación por tratamientos con base en bacterias y hongos, es una opción mayormente factible a la seguridad alimentaria y reduce el factor de alteración medio ambiental.

El control biológico de patógenos y la biopreservación del estado de calidad de *M. balbisiana* se evidenciaron en 2023 con la implementación de secuencias genómicas que identificaron organismos pertenecientes a los géneros *Bacillus*, *Pantoea* y *Enterobacter* debido a sus efectos antagónicos en la marchitez por *Fusarium*. Por todo lo mencionado, el propósito es examinar el impacto de la conservación del caldo de fermentación bacteriana en *M. balbisiana* en el laboratorio y luego determinar su efectividad como método de preservación.

Justificación

La bacteria *S. spinosa* tiene la capacidad de producir espinosinas, elementos que han sido implementados en insecticidas biológicos de amplio espectro como spinosad, caracterizado por estar compuesto de las espinosinas A y D, tras un proceso de fermentación, siendo también una lactona macrocíclica que actúa sobre el sistema nervioso de plagas; como trips y lepidópteros, implementando un sistema de acción neurotoxicológico, cabe destacar que los productos derivados de *S. spinosa* presentan una baja fitotoxicidad, lo que representa un riesgo relativamente bajo a la salud de las diferentes variedades de *Musáceas* tras dosis controladas, permitiendo el desarrollo de las especies, debido a que no suponen daños a los frutos y sus propiedades como textura, olor y color no se ven severamente alteradas.

Las espinosinas como agente de control biológico eficaces en el ámbito de la sostenibilidad, el manejo de la resistencia y su perfil toxicológico favorable, lo clasifican como uno de los productos con niveles de daños ambientales reducidos para sistemas de cultivo sostenibles.

Algunas *lactonas macrocíclicas* han mostrado actividad contra bacterias y hongos debido a su capacidad de interactuar con transportadores de eflujo (como P-glicoproteínas) que están presentes en estos microorganismos.

La finalidad de este proyecto es evaluar el porcentaje de efectividad de la bacteria *S. Spinosa* sobre *M. balbisiana*, así mismo producir esta bacteria totalmente en su estado natural y buscar su actividad como bioconservador implementando como base espinosinas, favoreciendo a los agricultores como un mecanismo de protección sustentable, sin daños al ecosistema.

Hipótesis

El caldo de fermentación de la bacteria *S. Spinosa* tendrá un efecto importante en la preservación de la variedad *M. balbisiana* (plátano macho)

Objetivos

General

Determinar el efecto de conservación de *M. balbisiana* bajo la aplicación de un agente de control biológico a base de la fermentación de *S. Spinosa*.

Específicos

- ❖ Determinar la formulación óptima de caldo fermentativo de *S. Spinosa* en *Musa Balbisiana*.
- ❖ Determinar cambios de textura, colorimetría, grados brix, ph y azúcares reductores.
- ❖ Observar y analizar la presencia de microorganismos comparando impactos de acuerdo con variables de temperatura y ambiente.

CAPÍTULO II.-MARCO TEÓRICO

2.1 *Musa paradisiaca* (var. *balbisiana*)

Las plantas herbáceas pertenecientes al género *Musa* y a la familia Musáceas son los plátanos (*M. balbisiana*, *M. acuminata* o híbridos de ambas especies). Se producen principalmente para consumo en crudo, y en estado fresco a una maduración apetecible, además de derivar su utilización en postres, ensaladas, pan y golosinas. En términos de valor bruto de producción, son uno de los cultivos mayormente relevantes después de la producción de arroz, el maíz y el trigo (Muimba-Kankolongo, 2018).

En la sección *Eumusa* del género *Musa* se agrupan los plátanos desde el punto de vista taxonómico. Los clones más comunes que son aptos para el consumo son los siguientes (AA), (AAA), (AAB), (AAAA) Y (ABBB). Los cultivares triploides híbridos, que se cultivan principalmente en el sudeste asiático, generan frutas de mayor tamaño, lo cual genera una demanda más alta entre los consumidores. Además, *M. balbisiana* muestra mayor tolerancia al estrés abiótico y más resistencia a las enfermedades que *M. acuminata*. Las fases de maduración de los plátanos tienen un impacto sobre su digestibilidad (Nadal-Medina et al., 2009).

2.1.1 Morfología

La *M. balbisiana* es diploide (posee dos pares de cada cromosoma en las células somáticas), $2n=22$ y se representa sintéticamente como BB, siendo B su genotipo (es decir, su bagaje genético). Las flores son femeninas y están organizadas en aproximadamente ocho grupos, cada uno con un máximo de 16 flores dispuestas en dos filas. Luego se ubican las flores hermafroditas, que suelen ser caducas, con los órganos masculinos y femeninos abortados. Finalmente, vienen las flores masculinas, que pueden llegar a tener hasta 20 por bráctea y están organizadas en dos filas. Estas tienen un color crema manchado de rosa. Los frutos son bayas ovoides angulosas, con un tamaño de 13 x 4 cm, que cuelgan de un pedúnculo largo (de 1 a 2 cm). Tienen una coloración gris verdosa que puede volverse amarillenta cuando están completamente maduros y poseen numerosas semillas globosas, de un diámetro entre 4 y 8 cm y color marrón. Estas semillas se encuentran sumergidas en una pulpa blanquecina rica en almidón (Mazza, 2018)



Figura 2. *Musa balbisiana*. Fuente: Ficha técnica siap.gob.mx 2024

Trastornos físicos y fisiológicos

Daños por frío. En el banano y en el *M. balbisiana*, los daños causados por el frío suceden a temperaturas inferiores a 13°C. esto provoca que la cascara se oscurezca (de color negro, gris o marrón), que la maduración no sea normal (la pulpa se vuelve dura y sin sabor, sin desarrollar azúcares) y, en situaciones extremas, que las células sufran daño con un ablandamiento interno irregular. Todo ello afecta de manera grave su calidad y su valor comercial. La maduración normal se interrumpe debido al frío, y si la exposición es prolongada, aunque al principio la cáscara no se vea afectada, el fruto puede volverse incomible (Miguel, 2000)

Lesiones en la piel. Se originan cuando la piel se lesiona al entrar en contacto con otras frutas, las superficies de los equipos de manejo o las cajas que se utilizan para el transporte. La pérdida de agua en las zonas afectadas se acelera cuando esta expuestas a una humedad relativa baja (<90%) y la piel cambia a un color marrón, que puede llegar a ser negro si el caso es grave. Este síntoma se asemeja a la hiperpigmentación de la piel que ocurre en los casos graves de daño por frío.

Golpes por impacto. La caída de la fruta puede causar un oscurecimiento en la pulpa, con o sin daño en la piel. Esto puede propiciar la infección por patógenos.

Pudrición de la corona

Es un trastorno postcosecha complejo que tiene un impacto en los bananos de exportación de todas las naciones productoras. Muchos organismos desempeñan un papel en la pudrición de la corona, aunque a menudo se considera que *Colletotrichum musae* es el hongo más común en su aislamiento y el más dañino. Usualmente imperceptible durante el embalaje de las frutas para su transporte desde países tropicales a lugares distantes, los síntomas de la enfermedad aparecen a lo largo del envío, el almacenamiento y la maduración. Se caracteriza por la necrosis y la putrefacción, tiene un impacto en los tejidos que conectan los dedos, conocidos como corona (Lassois et al., 2010)

Antracnosis

Una de las enfermedades más severas del banano maduro es la *antracnosis*, la cual es provocada por el organismo *Colletotrichum*. Las lesiones que presentan color negro y hundimientos, con acervulos o masas de esporas en la herida, son síntomas de *antracnosis*. Por lo general, la infección en el banano se inicia cuando la fruta se encuentra en desarrollo, pero permanece inactiva hasta que madura; los síntomas suelen aparecer durante la comercialización y el almacenamiento (Zakaria et al., 2009)

Fitopatologías en *M. balbisiana*

Las enfermedades que más a menudo afectan el cultivo son la marchitez por *Fusarium*, los virus CMV y BSV, la bacteriosis del seudotallo, el *Moko de plátano*, la *Sigatoka negra* y los nematodos fitoparásitos. Estas plagas tienen una gran capacidad de adaptación a las condiciones tropicales, lo que impacta desde el desarrollo de raíces hasta la fisiología de las hojas y la creación del racimo (Tunki & Tarco, 2025)

Sigatoka negra

Pseudocercospora fijiensis es una dolencia que se desarrolla, sobre todo, en los bananos y tuvo su origen en el año 1963, en las Islas Fiji. La *Sigatoka negra* se propaga mediante dos clases de esporas: los conidios y las ascosporas. Las dos son capaces de infectar el cultivo y generan síntomas similares. El follaje puede reducirse hasta un 80% en varias ocasiones, lo cual afecta la maduración de los racimos, que se pierden por la liberación de etileno (Rosajana, 2025)



Figura 2. Daños por *Pseudocercospora fijiensis*. **Fuente:** 7 plagas y enfermedades del banano orgánico que deberías conocer, BIOALTERNATIVA 2021

Moko de plátano

Es una enfermedad ocasionada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* raza 2, patógeno que daña la mayoría de las variedades de *Musa*, se caracteriza por el amarillamiento de las hojas y el colapso de las más nuevas, la necrosis de la hoja bandera, la obstrucción y la muerte celular en los haces vasculares del centro del pseudotallo y el amarillamiento seguido de pudrición seca del fruto (Jose, 2018)



Figura 3. Afectaciones por Moko de plátano en *M. balbisiana*. **Fuente:** Ficha técnica, SENASICA 2023.

Marchitez por Fusarium

La producción global de banano está en riesgo debido al patógeno *Fusarium oxysporum* f. *sp. cubense* (Foc), raza tropical 4 (TR4), que se difunde rápidamente tiene impacto sobre las distintas variedades de bananos. La detección oportuna, la contención y las acciones de cuarentena son esenciales para restringir la diseminación y el impacto de este patógeno, ya que no existen métodos de control efectivos ni otro cultivares resistentes con aceptación en el mercado (Roberts et al., 2024)



Figura 4. Síntomas de daños a frutos de plátano ocasionados por *Fusarium*. **Fuente:** SENASICA, pudrición de la corona y del fruto del banano (*Fusarium* spp.) 2020

2.3 *Saccharopolyspora spinosa*

La bacteria *S. spinosa*, que pertenece al género *Saccharopolyspora*, y se aisló originalmente de una muestra de suelo recolectada en las islas del Caribe en 1982, es la única bacteria que produce el pesticida natural spinosad, formado por espinosina A y espinosina D, que erradica la mayoría de las plagas sin provocar efectos tóxicos en seres humanos (Pan et al., 2011).

2.3.1 Producción de *espinosinas*

A pesar de que el *Spinosad* tiene una gran capacidad para ser utilizado, su producción industrial se ve obstaculizada sobre todo debido a cepas bacterianas de escasa productividad y a un proceso de fermentación aun no maduro. Como resultado, optimizar el rendimiento del *Spinosad* se ha convertido en algo crucial, y una táctica fundamental para lograrlo es mejorar el desempeño fermentativo de la cepa a través de diferentes métodos. Para enriquecer cepas de alto rendimiento, se suele recurrir a la mutagénesis física y química, incluyendo la irradiación UV y la exposición a ARTP/NTG. Además, se han utilizado otros métodos de

mejora, como la reestructuración genómica, la biosíntesis heteróloga, la ingeniería metabólica, la adición de genes reguladores y la ingeniería dirigida por modelos metabólicos a nivel genómico. En tanto, optimizar los procedimientos de fermentación es una estrategia fundamental para elevar el nivel de fermentación del *Spinosad* (Tian et al., 2025).

Tabla 1. Métodos de producción y fuentes de *espinosinas*

Método de Producción	Fuentes Microbianas (cepas)	Fuentes Nutricionales (Sustratos)	Descripción del Proceso
Fermentación aeróbica (Lote alimentario/Fed-batch)	<i>S. spinosa</i> (cepa silvestre o mejorada como NT24)	Glucosa, almidón soluble, manitol (carbono); harina de semilla de algodón, extracto de levadura (nitrógeno).	El método industrial estándar. Se añaden nutrientes de forma incremental para prolongar la fase de producción y alcanzar títulos de hasta 858 mg/L.
Ingeniería metabólica y molecular	<i>S. spinosa</i> recombinante (ej. con plásmido pCM265-spn).	Precusores metabolitos optimizados (acetato, propionato) y medios con fosfato controlado.	Sobreexpresión del clúster de genes spn mediante CRISPR/Cas9 para aumentar el flujo hacia la síntesis de espinosinas, logrando incrementos de hasta 124%.
Mutagénesis compuesta (ARTP/NTG)	Mutantes de alto rendimiento (ej. Cepa YJY-12)	Medios complejos con aceites vegetales (colza) y sales minerales (citrato de trisodio)	Uso de radiación o agentes químicos para crear mutaciones azarosas beneficiosas. Cepas optimizadas en 2025 han alcanzado niveles de 2.45 g/L.

Semisíntesis química	Espinosinas J y L naturales (precursores)	Reactivos químicos para modificación estructural.	Proceso utilizado para producir derivados como el Espinetoram, que mejora la estabilidad fotolítica y potencia la actividad contra plagas.
----------------------	---	---	--

Existen carbohidratos como glucosa, lactosa, manitol, sacarosa, sorbitol, glicerol, maltosa que permiten el óptimo crecimiento de espinosinas. Sin embargo *S. spinosa* puede crecer con mayor abundancia en medios compuestos por glucosa, dextrosa, manitol, maltosa, sacarosa o glicerol que en medios que contengan otros azúcares como fuente de carbono único. Se ha demostrado que el manitol y la glucosa aumentan con mayor relevancia el incremento de espinosinas en medio de fermentación (Guojun et al., 2016)

Medios de cultivo líquidos

Los medios de cultivo líquidos son un material muy empleado en la investigación con respecto a microorganismos dado a que proporcionan un método rentable y ligeramente fácil de replicar el cultivo de un extenso espectro de poblaciones microbiológicas (Cristina, 2023)

Bioconservación

La bioconservación, bien sea a través de la utilización de metabolitos o microorganismos, estos cultivos protectores cumplen su función desempeñando la misma zona que los patógenos (en términos de espacio y nutrientes), generando sustancias antimicrobianas, y en el caso de ciertas bacterias como las probióticas, funcionando a nivel intestinal para evitar que los patógenos se adhieran e invadan los enterocitos y desencadenen una respuesta inmunitaria como barrera defensiva contra ellos (Carlos, 2022)

Tabla 2. Microorganismos empleados en la conservación y control postcosecha en *M. balbisiana*.

Tipo de microorganismos	Especies clave	Función y beneficios
Bacterias (<i>bacilos</i>)	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> , <i>B. velezensis</i>	Producen compuestos volátiles (VOCs) y lipopéptidos que inhiben hongos, mantienen la calidad del fruto y activan la resistencia del hospedero.
Levaduras Antagónicas	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Candida oleophila</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i>	Compiten por espacio y nutrientes en la superficie del fruto; se usan en recubrimientos biológicos para prevenir pudriciones de corona.
Bacterias Lácticas (BAL)	<i>Lactobacillus spp.</i> , <i>L. fermentum</i>	Producen bacteriocinas que actúan como conservadores naturales como bacterias deteriorantes y hongos.
Bacterias de la rizosfera	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Pseudomonas spp.</i>	Aunque son principalmente de suelo, su presencia en el manejo precosecha mejora el vigor del fruto y su resistencia postcosecha.
Hongos benéficos	<i>Trichoderma harzianum</i>	Utilizados como agentes de biocontrol postcosecha para suprimir la actividad de patógenos fúngicos mediante micoparasitismo.

3. Antecedentes

El género *Musa* se encuentra en la misma familia de las *monocotiledóneas Musaceae* que el género *Ensete*. Conforme a la tradición, sus especies silvestres han sido divididas en cuatro secciones: *Eumusa* ($x = 11$), *Rhodochlamys* ($x = 11$), *Australimusa* ($x = 10$) y *Callimusa* ($x = 9$ o 10). 5, 6, 7 se han refinado recientemente en dos secciones: *Rhodochlamys* y *Australimusa* se unieron a *Eumusa* y *Callimusa*, respectivamente. La mayor parte de los plátanos de consumo humano son de la sección *Eumusa* (también llamado *Musa*) y, dependiendo del uso que se les dé, se categorizan como postres o cocina (Wang et al., 2019). El proceso de maduración de frutas climatéricas, tal como el banano, es relevante para determinar su calidad y aceptación en términos comerciales. Este fenómeno supone una cadena de alteraciones bioquímicas y fisiológicas que inciden en atributos esenciales del fruto, por ejemplo, el sabor, la textura, el color y el valor nutritivo, mediante el empleo de tecnologías conservadoras, como los recubrimientos comestibles y la regulación de la atmósfera, se frena la maduración y se mantiene la calidad a lo largo del transporte y el almacenamiento (Maya, 2023). La manifestación y la adherencia de hongos y bacterias en la superficie de las frutas favorecen que se propaguen agentes patógenos, lo cual reduce la vida de anaquel. Aun cuando los sistemas de refrigeración son comúnmente empleados para preservar las frutas en el transcurso de su distribución, venta y almacenamiento en casa, no obstante, los cambios en las temperaturas ocasionan deterioro en la prematuro y rápido, ya que los microorganismos que se encuentran en ellas crecen con la contaminación superficial (Dhundale et al., 2018). La bioconservación de estos alimentos es una perspectiva alentadora; emplea antimicrobianos naturales que se hallan en alimentos con un extenso historial de consumo seguro y tiene el potencial de disminuir la dependencia de conservantes alimentarios sintetizados químicamente. (Muthuvelu et al., 2023)

En años recientes, la innovación por métodos alternativos enfocados en la seguridad alimentaria microbiana se ha transformado en un área clave de la investigación científica. La bioconservación con bacterias lácticas ha despertado mucho interés entre estos métodos innovadores, porque son consideradas “generalmente como seguras” y han probado tener propiedades antimicrobianas. También se cree que es un método amigable con el medio ambiente (Linares-Morales et al., 2018), las bacterias de los géneros *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Streptomyces* son ejemplos de microorganismos que sirven para el

biocontrol de fitopatógenos. Estos microorganismos están presentes en suelos fértiles. Los actinomicetos son el grupo más abundante, siendo bacterias Gram positivas y aerobias que se dedican principalmente a descomponer la materia orgánica en el suelo y tiene la capacidad de fabricar pigmentos, terpenoides, enzimas extracelulares y compuestos antimicrobianos (Pérez-Rojas, León-Quispe, & Galindo-Cabello, 2015). Los macrólidos nuevos, llamados espinosinas, son metabolitos naturales que el actinomiceto *S. Spinosa* genera en condiciones de fermentación aérea. Estos compuestos poseen un sistema exclusivo de anillos, al cual se acoplan dos azúcares distintos (Guojun et al., 2016b). Este actinomiceto es capaz de generar a través del procedimiento de fermentación natural, más de 25 compuestos denominados “espinosinas” con características insecticidas, pero las de tipo A y D son las más abundantes (Gan et al., 2025)

Las bacterias ácido-lácticas han demostrado preservar vegetales y frutas a través de la homofermentación y la heterofermentación, procesos que generan distintos subproductos para inhibir los microorganismos. Durante la homofermentación las BAL generan es su mayoría ácido láctico, causando que el pH se reduzca y evita que microorganismos y patógenos responsables de descomposición, como *Clostridium botulinum* o *Listeria, monocytogenes proliferen* (Amenu et al., 2025)

Se considera a los macrólidos como metabolitos secundarios propios del grupo *Saccharopolyspora*, la *eritromicina A (I)* fue el primer compuesto caracterizado de *Streptomyces erythreus* (renombrado *Saccharopolyspora erythraea* en 1952). Este compuesto ha demostrado una actividad antimicrobiana con un amplio espectro de acción en la actividad antibacteriana contra una amplia gama de bacterias (Sayed et al., 2019)

En la localidad de Álamo Temapache, Veracruz. Hasta ahora no se han corroborado investigaciones que informen con respecto a el impacto del efecto de conservación de la bacteria *S. Spinosa* en frutos como *M. balbisiana*, por lo cual la aplicación de este proyecto consiste en la utilización de la fermentación natural de la bacteria *S. Spinosa* en *M. balbisiana*.

CAPÍTULO 4.- METODOLOGÍA

Materiales y equipos

Colorímetro Konica-Minolta CR-400

Texturometro de frutas Modelo Y3

Fisherbrand™ Medidores de pH de sobremesa accumet™ AB150

Asa de siembra

Dextrosa y glucosa

Autoclave (MODEL X25-1)

Centrifugadora

Tintas para tinción (Safranina, alcohol cetona, lugol, cristal violeta)

Parrilla Thermo Scientific

Campana de extracción laminar LUZERENT (BBS-DDC)

Micropipetas

Espectrofotómetro UV-Vis-UNICO (Modelo 1000)

Refractómetro

Matraces Erlen Meyer

Vasos de precipitado

Reactivo DNS

Camara climática BIOBASE: MODEL: BJPX-MT250

Microscopio Olympus (CX23)

4.1 Material biológico

La cepa de *Saccharopolyspora Spinosa* fue obtenida del laboratorio de investigación de productos postcosecha del Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache Veracruz, como parte del almacenamiento bacteriológico disponible.

Para reactivar la cepa de *S. spinosa*, se inoculó en 100 ml de medio que contenía dextrosa (10 g/L) y glucosa (30 g/L) ajustado a un pH entre 5 y 6. Previamente el medio se esterilizó a una presión 1.0 kg/cm² y a una temperatura de 121°C durante 15 minutos. El medio inoculado se incubó a 120 rpm y 26°C durante 72 h y posteriormente se pasó a un medio nuevo que contenía 500 ml de medio de cultivo, incubado con las mismas características descritas anteriormente. Por último, se realizó una tinción de Gram, para corroborar la presencia de la bacteria.

Por consiguiente, las muestras de *M. balbisiana* se obtuvieron de la localidad de Cerro del Plumaje del Municipio Álamo Temapache, Veracruz.

4.2 Recepción de muestras

Para este estudio se utilizó la variedad de musa paradisíaca comúnmente conocida como plátano macho (*M. balbisiana*). Las muestras fueron obtenidas en la localidad Cerro del Plumaje del municipio de Álamo Temapache Veracruz, 20°59' 15" norte (latitud), 97° 46' 35" oeste (longitud). Los frutos se recolectaron en estado prematuro a la maduración, se lavaron y tras esto se realizó un etiquetado a fin de dar seguimiento al efecto del tratamiento por bacterias.

4.3 Preparación de medio de cultivo líquido

Para la reactivación de la cepa se prepararon un caldo de fermentación compuesto por 5 gramos de dextrosa y 10 g de glucosa en 500 ml de H₂O destilada sometiendo a agitación, a 140 rpm para disolver, previamente se esterilizó el medio a una presión de 1.0 kg/cm² y una temperatura de 121°C, durante 15 minutos.

Se retiraron 100 ml de medio líquido esterilizado y se inocularon las espinosinas (*S. Spinosa*) tomadas de las cajas petri retiradas del sistema almacenamiento por frío, tras esto se procedió a agitación durante 72 horas a 140 RPM, esto para aumentar la biomasa de las bacterias, y se almacenó a 26°C.

4.4 Tinción de gram

Extrayendo 5 mililitros del caldo de fermentación se apartaron 1 ml a fin de realizar por triplicado la observación de las bacterias, se procedió a un frotis y se fijó bajo uso de llama constante. Como parte de la técnica de tinción de Gram se agregaron tintas cristal violeta por un minuto, alcohol cetona por 30 segundos, lugol por 1 minuto, safranina por 1 minuto, en cada agregado se enjuago con agua para limpiar restos de acumulación de las tintas, tras esto se efectuo la observación microscópica.

4.5 Incremento de biomasa

El cultivo base sin presencia bacteriológica es mezclado con el inculo bacteriano, esto para proliferar el volumen de biomasa y la producción de un caldo rico en espinosinas (*S. Spinosa*). Posteriormente se incorporó a agitación por 48 horas a 140 RPM.

4.6 Determinación de biomasa (espectrofotometría)

La concentración de biomasa se determinó midiendo la absorbancia de la muestra a 620 nm. Se ocuparon 2 ml del inculo y se tomaron las lecturas. Se ocupo como estándar un blanco (medio de cultivo nuevo).

4.7 Diseño experimental

Tabla 3. Formulaciones

CONTROL	TRATAMIENTO AL 50%	TRATAMIENTO AL 100%
s/n presencia de <i>S. Spinosa</i>	100 ml del caldo fermentado (espinosinas) diluido en 100 ml de H ₂ O	200 ml de concentrado de <i>S. Spinosa</i> .

Posterior a la formulación de las soluciones se sometieron a proceso de agitación para separación de las bacterias y un aumento de la biomasa, se tomaron una muestra de 300 ml de caldo zonificado, esto para preparar tratamientos a 50 % y al 100%, aplicando un tratamiento de 200 ml compuesto por H₂O y caldo de *S. Spinosa* y el ultimo por 100 ml de solución de *S. spinosa* sin diluir.

4.8 Aplicación de tratamientos

Al concluir la preparación de los tratamientos, primeramente, se determinó la efectividad de los tratamientos en los frutos de *M. balbisiana*, realizando divisiones con respecto al área de análisis, se aplicaron bajo aspersión las soluciones de 50% y al 100%, estas fueron incubadas realizando acondicionamiento de humedad relativa de 72% Y una luminosidad de DL65, por igual se introdujo muestras de control para la comparativa de resultados. Esta operación se efectuó por triplicado, haciendo variaciones en temperaturas de 25°C, 27°C y 32 °C, así mismo se expuso una cantidad reducida de plátano a temperaturas ambiente para aseverar cambios.

4.9 Determinación de cambios fisicoquímicos

La cuantificación de las muestras tratadas con *S. spinosa* se realizó ejecutando procedimientos de medición en pH, grados brix y colorimetría.

Por triplicado se realizó un batido de *M. balbisiana* separando la cáscara y solo adicionando la pulpa, para vaciar en recipientes planos con una profundidad de 3 cm, sellándolas bajo condiciones observables de transparencia, esto para facilitar el análisis óptimo del color.

Para obtener el índice de refracción y grados brix se colectó una pequeña gota bajo el equipo de identificación.

Con relación al pH se mezclaron 5 gramos del batido de *M. balbisiana* en 10 ml de H₂O, ejecutando por triplicado en un segmento de 4 minutos por muestra.

4.10 Cuantificación de azúcares reductores totales

Empleando el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), se efectuó una disolución por triplicado de 3750 µl de muestra en 250 µl de H₂O, con ello se incorporaron 250 µl de DNS, se realizó un proceso de agitación a manera de homogenizar y con ello pasar a un proceso de reacción por calor empleando ebullición por 10 minutos, para posteriormente someter a enfriamiento y medir a una absorbancia de 540 nm.

4.11 Identificación de microorganismos (hongos y bacterias)

De la superficie de la cascara se recolectaron muestras fúngicas a fin de identificar posibles patógenos bajo el análisis microscópico y usando la técnica de la tinción de Gram.

CAPITULO V.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5.1 Identificación de *Saccharopolyspora spinosa* en caldo de fermentación.

Se extrajo 3 ml del medio, para en el proceso pasar a observación bajo microscopio CX27 OLYMPIC tras efectuarse con anterioridad una tinción de gram.

El análisis comprobó la presencia de espinosinas en el caldo inoculado con *S. spinosa*, sin embargo, para prevenir un desabasto se dio la prioridad a un incremento de biomasa por 48 horas adicionales al periodo de crecimiento inicial de 72 h a 120 RPM.

Transcurriendo 5 días, se retiró de agitación el medio base.

5.2 Efecto de la bacteria *Saccharopolyspora Spinosa* en *Musa paradisiaca* var. *Balbisiana*

La firmeza de los frutos de *M. balbisiana* almacenados a 25 °C mostró una disminución progresiva durante todo el periodo de evaluación, independientemente del tratamiento aplicado (Figura 5). Al inicio del almacenamiento, los valores se ubicaron entre 22.1 y 23.4 N, siendo el tratamiento con caldo de fermentación al 100 % el que presentó la mayor firmeza inicial. Conforme transcurrió el tiempo, los tres tratamientos siguieron una tendencia descendente; sin embargo, la magnitud de la reducción fue diferente entre ellos. A partir de las 48 h, el tratamiento al 100 % mantuvo valores de firmeza superiores al control y al tratamiento al 50 %, y esta diferencia se conservó hasta el final del ensayo. Entre las 96 y 120 h se observó una disminución más marcada en todos los tratamientos, lo que sugiere un avance importante del proceso de ablandamiento del fruto. No obstante, los frutos tratados con el 100 % del caldo de fermentación conservaron una mayor resistencia mecánica, con valores cercanos a 18.5 N entre las 144 y 192 h, mientras que el tratamiento al 50 % se mantuvo en un nivel intermedio, alrededor de 16.5 N. El control presentó la menor firmeza al final del almacenamiento, con un valor aproximado de 14.0 N. Las letras diferentes sobre cada punto indican que existieron diferencias significativas entre tratamientos en varios tiempos de evaluación. En particular, desde las 48 h y con mayor claridad a partir de las 144 h, el tratamiento al 100 % fue estadísticamente superior al control, mientras que el tratamiento al 50 % mostró un comportamiento intermedio. Estos resultados indican que la aplicación del caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa*, especialmente en su

concentración al 100 %, contribuyó a retardar la pérdida de firmeza de los frutos durante el almacenamiento a 25 °C.

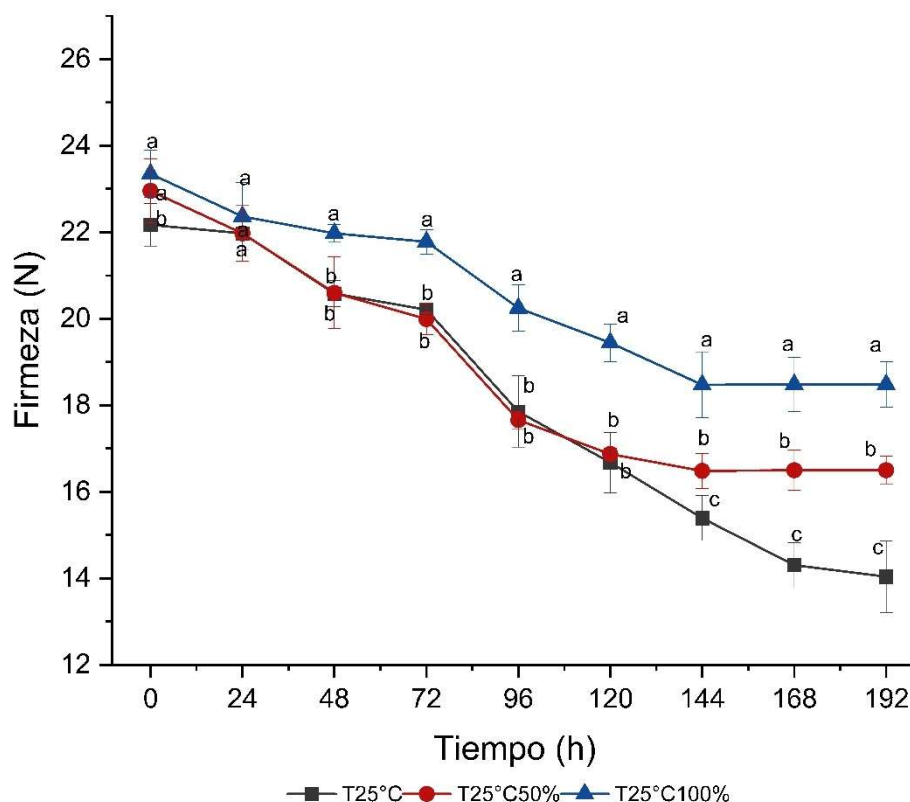


Figura 5.- Firmeza de los frutos almacenados a 25°C sobre un tiempo de 192 h.

Con respecto a los 27 °C disminuyó de forma continua durante todo el periodo de evaluación en los tres tratamientos (Figura 6). No obstante, la velocidad de pérdida fue distinta entre el control y los frutos tratados con el caldo de fermentación de *S. spinosa*.

Al inicio del almacenamiento, los valores de firmeza fueron cercanos a 32–33 N en todos los tratamientos. A partir de las 24 h, el control presentó una reducción más marcada, descendiendo hasta aproximadamente 24.2 N, mientras que los tratamientos con 50 % y 100 % conservaron valores superiores, de alrededor de 32.0 N y 31.3 N, respectivamente. Esta tendencia se mantuvo durante las primeras 96 h, periodo en el que los frutos tratados conservaron una mayor resistencia mecánica en comparación con el control. Entre las 48 y 96 h se observó una separación más evidente entre los tratamientos. El fruto sin tratamiento disminuyó de 18.6 N a 15.6 N, en tanto que el tratamiento al 50 % conservó valores entre 28.0 N y 24.6 N, y el tratamiento al 100 % entre 27.3 N y 21.0 N. Esto indica que la aplicación

del caldo de fermentación retrasó el proceso de ablandamiento del fruto bajo esta condición de almacenamiento. A partir de las 120 h, ambos tratamientos mostraron una caída más pronunciada de la firmeza; sin embargo, continuaron por encima del control hasta el final del ensayo. A las 192 h, el control registró la menor firmeza, con un valor cercano a 12.5 N, mientras que los tratamientos al 50 % y 100 % alcanzaron aproximadamente 16.4 N y 16.1 N, respectivamente. En esta etapa final, ambos tratamientos presentaron un comportamiento similar y superior al del control. Las letras distintas sobre cada punto indican la presencia de diferencias significativas entre tratamientos en varios tiempos de evaluación. En general, los frutos tratados con el caldo de fermentación conservaron una mayor firmeza que el control, lo que sugiere un efecto favorable del tratamiento sobre la calidad textural de los frutos almacenados a 27 °C.

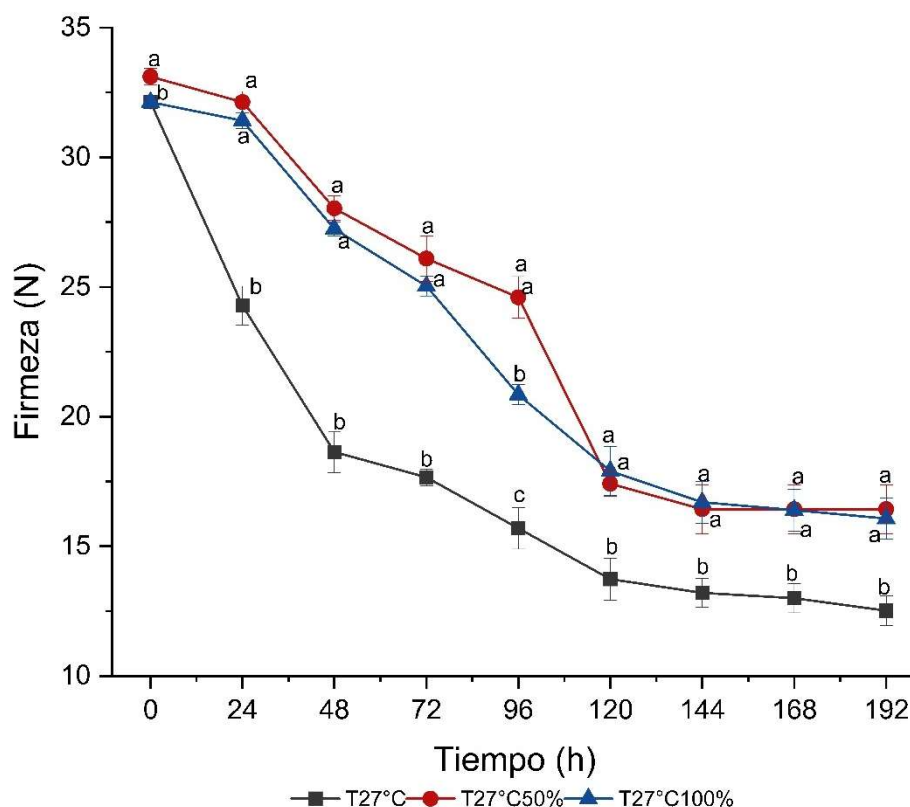


Figura 6. Desarrollo de los tres tratamientos en almacenamiento a temperatura de 27 °C.

La firmeza de los frutos de *M. balbisiana* almacenados a 32 °C disminuyó de manera progresiva durante todo el periodo de evaluación en los tres tratamientos (Figura 7). Al inicio del almacenamiento, los valores fueron similares, con registros cercanos a 25.0–25.5 N. Conforme avanzó el tiempo, se observó una reducción continua de la firmeza tanto en el control como en los frutos tratados con el caldo de fermentación de *S. spinosa* al 50 % y 100 %. Durante las primeras 96 h, la disminución fue gradual en los tres casos, con valores que descendieron hasta un intervalo aproximado de 18.0 a 18.8 N. A partir de las 120 h, la pérdida de firmeza continuó, y hacia el final del almacenamiento los frutos presentaron valores entre 13.5 y 14.5 N. Aunque el control mostró los valores más bajos en las últimas horas de evaluación, las diferencias entre tratamientos fueron pequeñas. De acuerdo con las letras mostradas en la figura, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en los distintos tiempos de evaluación ($p \leq 0.05$). Esto indica que, bajo la condición de almacenamiento a 32 °C, la aplicación del caldo de fermentación no produjo un efecto estadísticamente detectable sobre la conservación de la firmeza del fruto. En términos generales, el comportamiento de los tres tratamientos fue semejante, con una tendencia común de ablandamiento a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento.

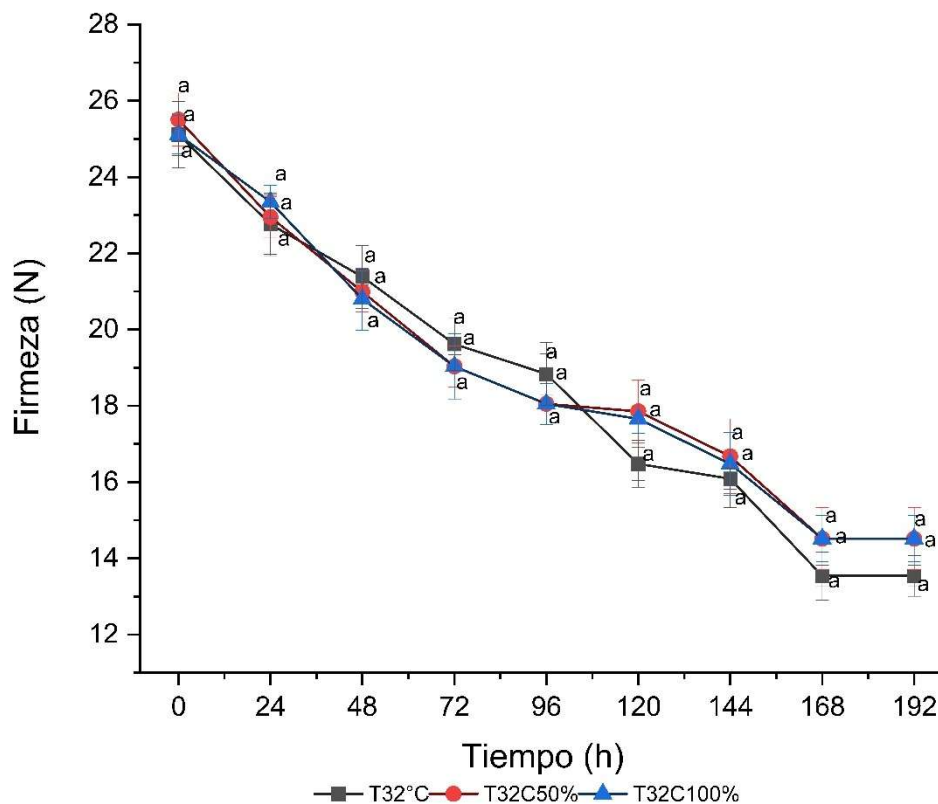


Figura 7.- Estado de la firmeza de los frutos de *M. balbisiana* a 32°C durante el desarrollo de los tratamientos.

La reducción total de firmeza (RTF-Figura 8) de los frutos de *M. balbisiana* mostró variaciones entre tratamientos y temperaturas de almacenamiento. En términos generales, los valores más altos de RTF se registraron en los frutos almacenados a 27 °C, mientras que los menores correspondieron a los frutos mantenidos a 25 °C, principalmente en el tratamiento con caldo de fermentación al 100 %. A 25 °C, el control presentó una RTF de 36.69 %, en tanto que los frutos tratados con caldo de fermentación al 50 % y 100 % registraron valores de 28.12 % y 20.85 %, respectivamente. Esto indica que, bajo esta temperatura, la aplicación del tratamiento redujo la pérdida de firmeza, y que el efecto fue más evidente al emplear la concentración más alta. A 27 °C, se observaron los mayores porcentajes de reducción total de firmeza. El control alcanzó un valor de 61.03 %, mientras que los tratamientos al 50 % y 100 % presentaron valores de 50.37 % y 49.98 %, respectivamente. Aunque ambos tratamientos disminuyeron la pérdida de firmeza con respecto al control, la reducción siguió siendo considerable, lo que sugiere que a esta temperatura el ablandamiento del fruto fue más

intenso. En los frutos almacenados a 32 °C, la RTF fue de 46.09 % en el control, 43.08 % en el tratamiento al 50 % y 42.19 % en el tratamiento al 100 %. En este caso, la diferencia entre tratamientos fue menor, lo que señala un efecto más limitado del caldo de fermentación sobre la conservación de la firmeza bajo esta condición.

De manera global, los resultados muestran una tendencia de menor reducción total de firmeza en los frutos tratados con el caldo de fermentación, particularmente a 25 °C. La concentración al 100 % presentó el valor más bajo de RTF entre todos los tratamientos evaluados, lo que sugiere una mayor capacidad para retardar el ablandamiento del fruto durante el almacenamiento.

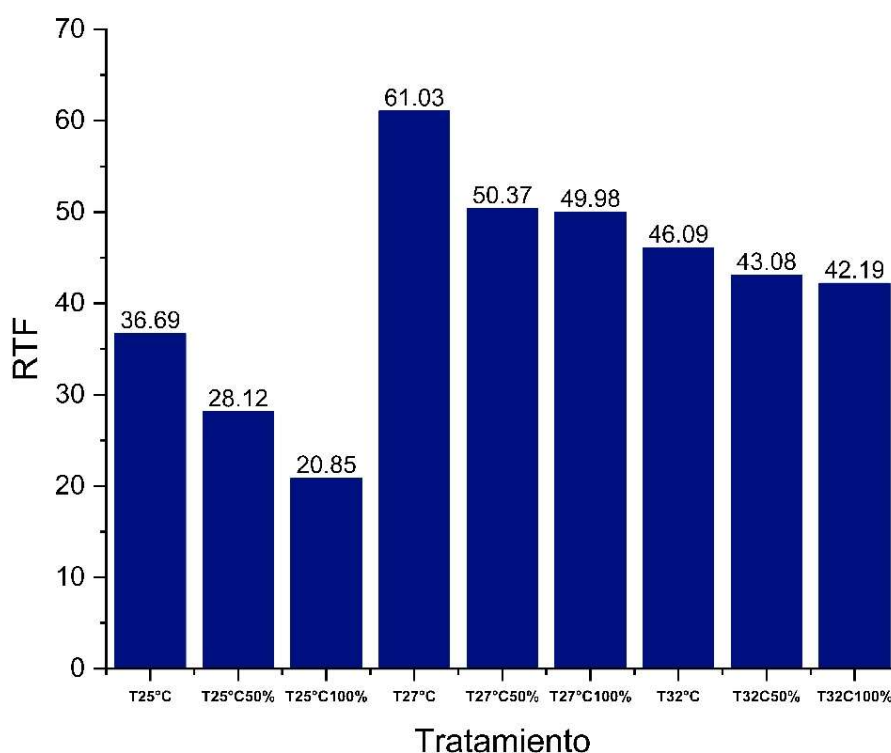


Figura 8.- Reducción total de la firmeza de los frutos de *M. balbisiana* entre variaciones de tratamientos y temperaturas de almacenamiento.

Los resultados obtenidos indican que el caldo de fermentación de *S. spinosa* ayudó a conservar la firmeza de los frutos, sobre todo a 25 °C y, en menor medida, a 27 °C, mientras

que a 32 °C su efecto fue menos evidente. Este comportamiento puede relacionarse con el hecho de que el ablandamiento del banano durante la poscosecha está estrechamente asociado con el aumento en la respiración, la producción de etileno y la degradación de componentes de la pared celular. Por ello, cuando un tratamiento logra retardar esos procesos, la firmeza suele mantenerse por más tiempo. Resultados semejantes han sido reportados por Wang et al. (2024), quienes describen que la pérdida de textura en banano está ligada al avance de la maduración, así como por Hu et al. (2022) y Roidoung et al. (2025), quienes observaron una mayor retención de firmeza en bananas tratadas con recubrimientos activos a base de quitosano y compuestos bioactivos.

Color (L)

En la Figura 9 se observa que el parámetro L* presentó un ligero incremento durante las primeras horas de almacenamiento a 25 °C, seguido de una disminución progresiva en todos los tratamientos. El descenso fue más severo en el control, que al final del ensayo alcanzó valores cercanos a 21, mientras que los tratamientos al 50 % y 100 % conservaron valores próximos a 37. Estos resultados sugieren que el caldo de fermentación ayudó a mantener la luminosidad del fruto y a reducir el oscurecimiento superficial en comparación con el control.

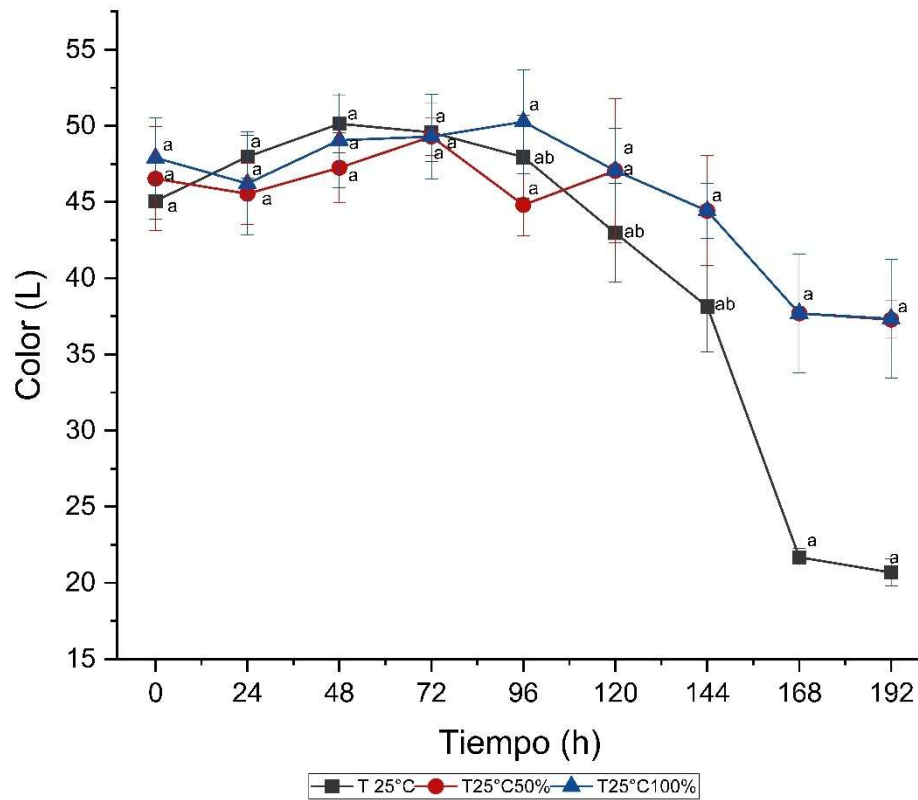


Figura 9. Cambios en el parámetro de color L^* de frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a 25°C . Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada tiempo de evaluación ($p \leq 0.05$).

El parámetro L^* presentó una disminución general durante el almacenamiento de los frutos a 27°C (Figura 10), aunque la magnitud del cambio fue distinta entre tratamientos. Al inicio del ensayo, los tres grupos mostraron valores similares, cercanos a 47–49, lo que indica una luminosidad inicial comparable. Sin embargo, a partir de las 24 h comenzó a observarse una separación entre tratamientos. El tratamiento con caldo de fermentación al 50 % mostró los valores más altos de L^* entre las 48 y 120 h, alcanzando registros cercanos a 46 en las 48 h y manteniéndose por encima del control y del tratamiento al 100 % durante buena parte del almacenamiento.

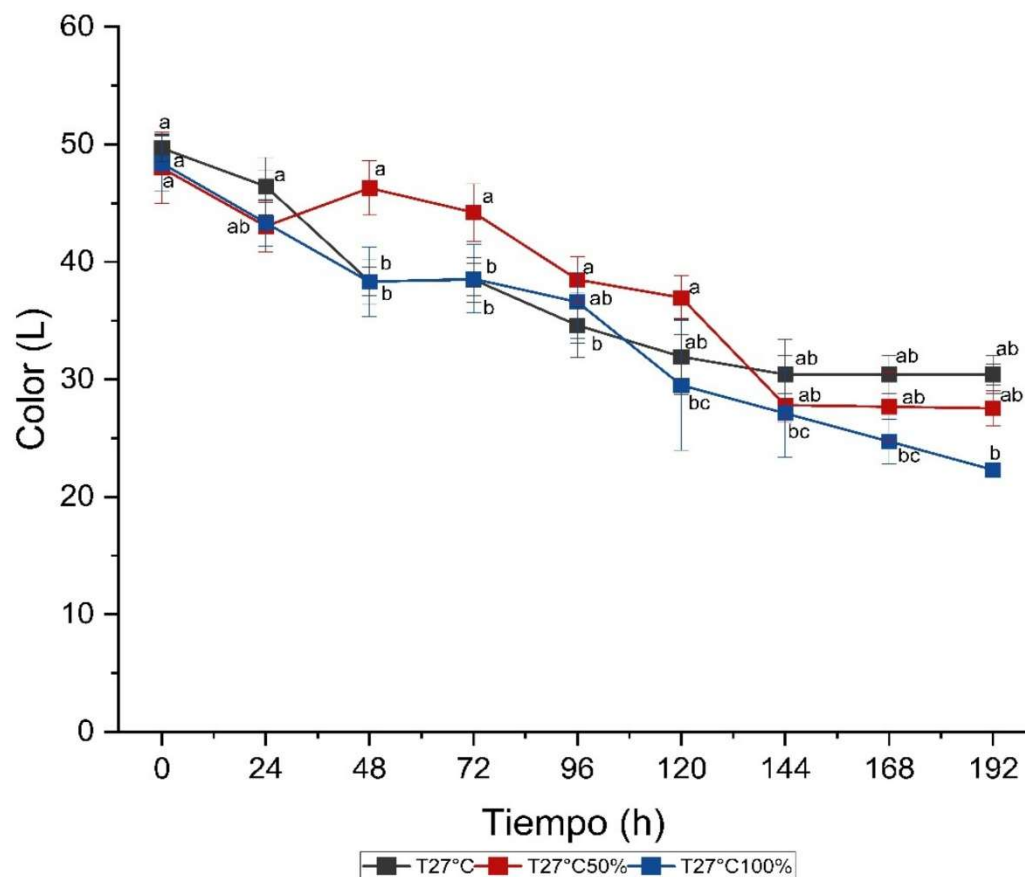


Figura 10. Cambios en el parámetro de color L* de frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a 27 °C. Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada tiempo de evaluación ($p \leq 0.05$).

En contraste, el tratamiento al 100 % presentó una reducción más temprana de la luminosidad, con valores próximos a 38–39 entre las 48 y 72 h, mientras que el control mostró un comportamiento intermedio en ese periodo. A partir de las 144 h, los tres tratamientos disminuyeron de manera más marcada; no obstante, el control mantuvo valores ligeramente superiores al tratamiento al 100 % al final del ensayo. A las 192 h, el control registró aproximadamente 30 unidades, el tratamiento al 50 % alrededor de 27–28, y el tratamiento al 100 % cerca de 22. Esto indica que, bajo esta condición de almacenamiento, el tratamiento al 50 % contribuyó a conservar mejor la luminosidad del fruto durante una

parte importante del ensayo, mientras que el tratamiento al 100 % presentó la mayor reducción hacia el final. Las letras sobre cada punto indican que existieron diferencias significativas entre tratamientos en algunos tiempos de evaluación, especialmente entre 48 y 120 h y en la etapa final del almacenamiento.

Por otro lado, El parámetro L^* presentó variaciones a lo largo del almacenamiento de los frutos a 32 °C (Figura 11). Al inicio del ensayo, los tres tratamientos mostraron valores similares, cercanos a 48 unidades, lo que indica una luminosidad comparable entre el control y los frutos tratados con el caldo de fermentación. Entre las 24 y 96 h se observó un incremento en los valores de L^* , principalmente en el control y en el tratamiento al 50 %, que alcanzaron valores cercanos a 60–61, mientras que el tratamiento al 100 % presentó un aumento menor y posteriormente una disminución más temprana. A partir de las 120 h, la luminosidad comenzó a reducirse en todos los tratamientos. No obstante, la caída fue más severa en el control, que descendió hasta aproximadamente 21 unidades al final del almacenamiento. El tratamiento al 50 % mostró una disminución intermedia, con valores finales cercanos a 33, mientras que el tratamiento al 100 % conservó los valores más altos en la etapa final, alrededor de 40. Esto sugiere que la aplicación del caldo de fermentación, particularmente en la concentración al 100 %, favoreció la conservación de la luminosidad superficial del fruto y retrasó su oscurecimiento. Las letras colocadas sobre cada punto indican diferencias significativas entre tratamientos en algunos tiempos de evaluación.

En general, durante la fase final del almacenamiento, el tratamiento al 100 % presentó valores de L^* superiores al control, mientras que el tratamiento al 50 % mostró un comportamiento intermedio. Este patrón señala que la concentración más alta del caldo de fermentación tuvo un efecto más marcado en la conservación del color del fruto a 32 °C.

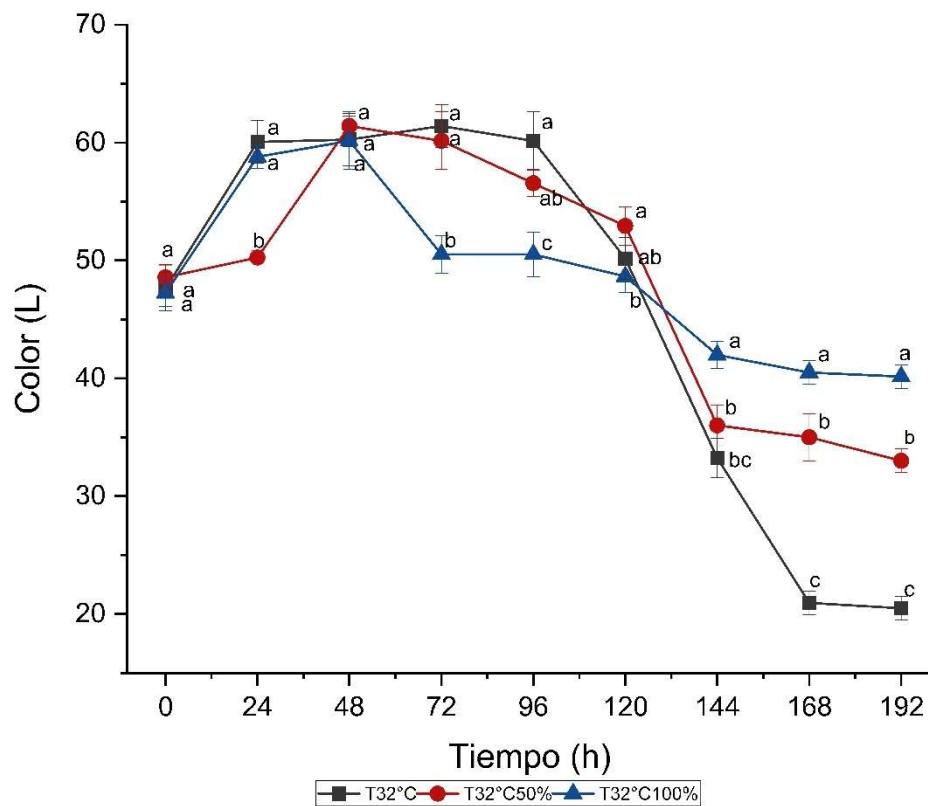


Figura 11. Cambios en el parámetro de color L^* de frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a 32 °C. Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada tiempo de evaluación ($p \leq 0.05$).

La disminución de L^* observada durante el almacenamiento indica una pérdida gradual de luminosidad en la superficie del fruto, lo que suele asociarse con el avance de la maduración y el oscurecimiento de la cáscara. En banano, estos cambios forman parte del proceso postcosecha normal y están relacionados con la actividad respiratoria, la acción del etileno y las transformaciones bioquímicas del tejido, las cuales modifican la apariencia externa del fruto. Esto coincide con lo señalado por Wang et al. (2024), quienes describen que el color es uno de los atributos más sensibles durante la maduración postcosecha del banano.

Los frutos tratados con el caldo de fermentación conservaron valores más altos de L^* que el control en varios tiempos de almacenamiento, sobre todo a 25 °C y 32 °C, lo que sugiere un menor oscurecimiento superficial. Este comportamiento es semejante al reportado por Aruwajoye et al. (2025), quienes encontraron una mejor retención del color en bananas sometidas a tratamientos postcosecha, y por Roidoung et al. (2025), que observaron un retraso en la maduración y mejor conservación de la calidad visual en frutos recubiertos con formulaciones a base de quitosano.

Color (a^*)

A 25 °C, el valor de a^* aumentó de manera continua en los tres tratamientos. Los frutos partieron con valores negativos, cercanos a -13, y conforme avanzó el almacenamiento pasaron a valores positivos (Figura 12). El cambio más marcado se observó en el tratamiento al 50 %, que alcanzó los valores más altos al final del ensayo, con registros cercanos a 34 y 40 en las 168 y 192 h, respectivamente. El tratamiento al 100 % mostró un comportamiento intermedio, mientras que el control presentó los valores más bajos en la etapa final, alrededor de 10. Las diferencias entre tratamientos fueron más evidentes a partir de 144 h, cuando el tratamiento al 50 % superó al control y al tratamiento al 100 %.

A 27 °C, el comportamiento fue más uniforme (Figura 13). Los valores de a^* también aumentaron con el tiempo, pasando de negativos a positivos entre las 48 y 72 h. Después de ese punto, los tres tratamientos tendieron a estabilizarse en un intervalo aproximado de 5 a 8 unidades. Aunque se observaron diferencias puntuales en algunos tiempos de evaluación, el patrón general fue similar entre tratamientos, sin una separación tan marcada como la registrada a 25 °C.

A 32 °C, el cambio de a^* fue más rápido en la fase inicial del almacenamiento (Figura 14). Los frutos comenzaron con valores negativos, cercanos a -12 a -13, y alcanzaron valores positivos desde las primeras 24 a 48 h. Posteriormente, los tres tratamientos se mantuvieron relativamente estables, con valores alrededor de 6 entre las 120 y 192 h. En esta condición, las diferencias entre tratamientos fueron menores y tendieron a desaparecer en la etapa final.

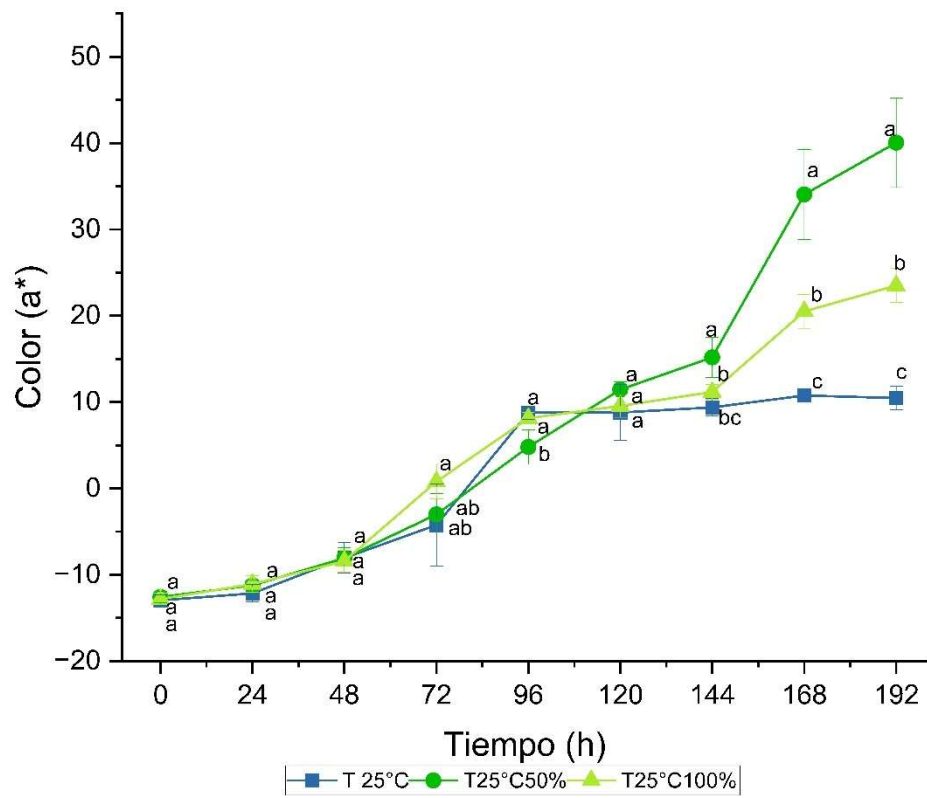


Figura 12.- Variación del parámetro de color a* en frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a 25 °C.

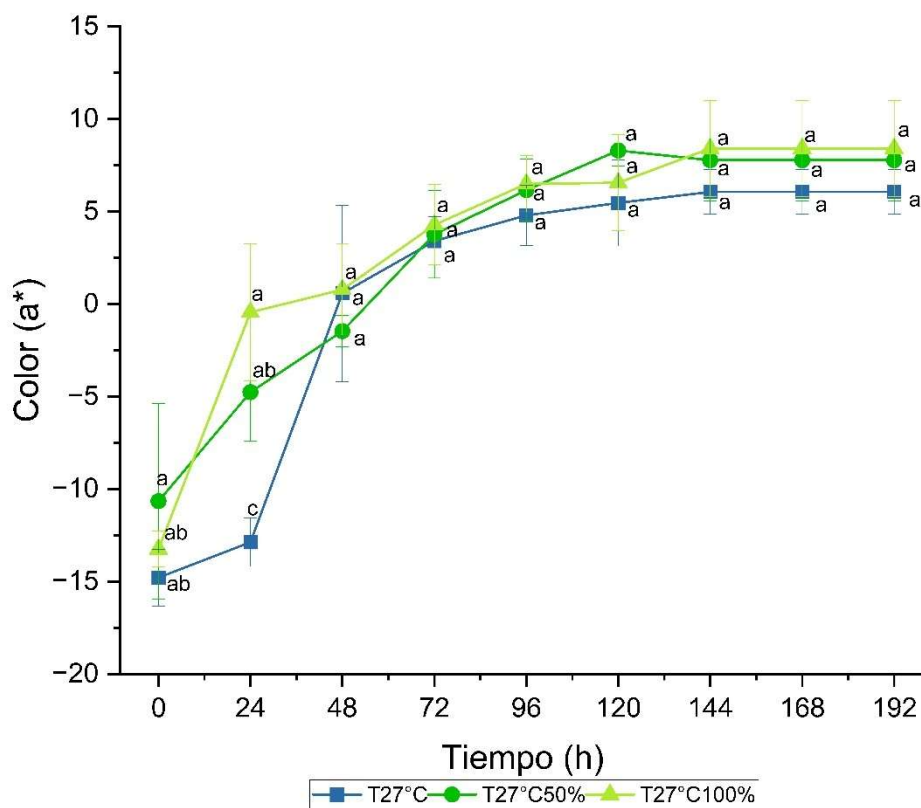


Figura 13. Variación del parámetro de color a^* en frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a 27 °C.

El aumento de a^* observado en las tres temperaturas indica una pérdida progresiva del color verde de la cáscara durante la maduración. Ese comportamiento era esperable, ya que el avance del almacenamiento favorece la degradación de clorofilas y modifica el color superficial del fruto. La diferencia principal estuvo en la velocidad y en la magnitud del cambio. A 25 °C, el tratamiento al 50 % produjo el incremento más alto de a^* al final del ensayo, lo que sugiere una transición más intensa hacia tonalidades menos verdes y más avanzadas de maduración. A 27 °C, la respuesta fue más moderada y bastante similar entre tratamientos. A 32 °C, el cambio ocurrió antes, lo que puede asociarse con una aceleración del proceso de maduración por efecto de la temperatura, aunque después los valores tendieron a estabilizarse.

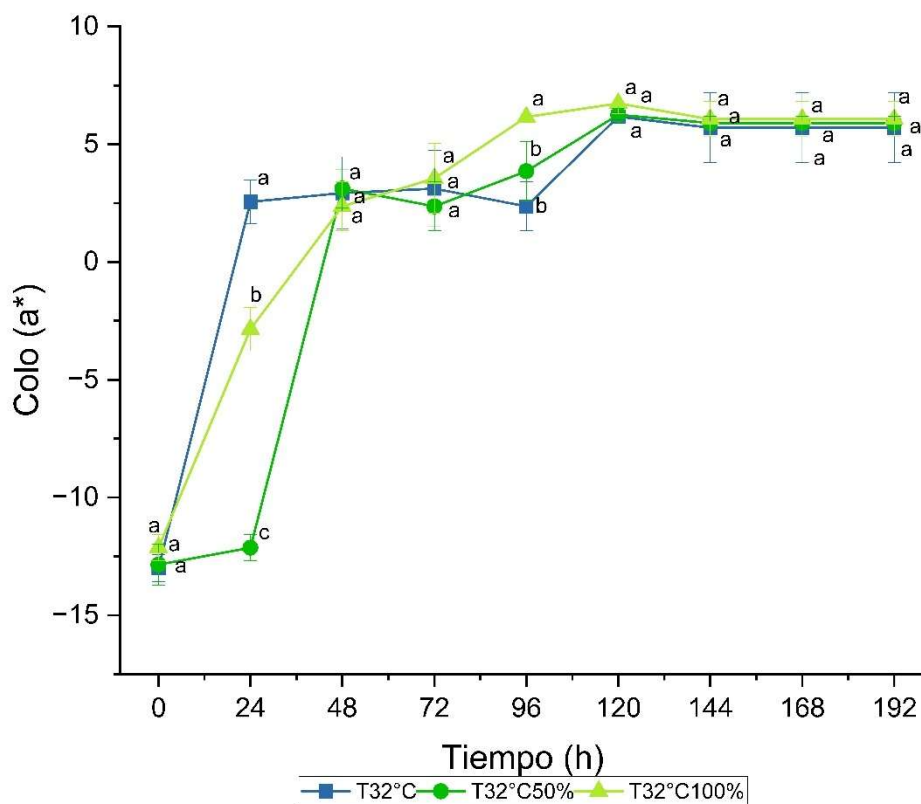


Figura 14.-Variación del parámetro de color a^* en frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a 32 °C.

El incremento de a^* fue evidente en las tres temperaturas, pero la magnitud del cambio dependió de la concentración aplicada y de la temperatura. A 25 °C, el tratamiento al 50 % alcanzó los valores más altos al final del ensayo, lo que sugiere una pérdida más intensa del color verde y, por tanto, un avance mayor del cambio de color. A 27 °C y 32 °C, los valores también aumentaron, aunque después tendieron a estabilizarse y las diferencias entre tratamientos fueron menores en varios tiempos. En términos prácticos, esto indica que el efecto del caldo de fermentación sobre el color no fue uniforme y que la respuesta del fruto estuvo modulada por la condición de almacenamiento.

Este patrón es comparable con otros trabajos postcosecha en banano donde los tratamientos que retrasan la maduración suelen mantener valores menores de a^* respecto al control.

Roidoung et al (2025). reportaron que un recubrimiento de quitosano con nanoarcilla retardó la maduración y mantuvo valores más bajos de L^* , a^* y b^* que el control. De forma similar, Nguyen et al. (2024) observaron que recubrimientos comestibles a base de quitosano con extractos vegetales retrasaron la maduración de banano durante el almacenamiento. En conjunto, estos antecedentes respaldan que el parámetro a^* es un buen indicador del avance de maduración y que los tratamientos poscosecha pueden modificar su comportamiento, aunque la eficacia depende de la formulación y de la temperatura.

Color (b^*)

El parámetro b^* representa el eje azul–amarillo del sistema CIELab; por ello, valores más altos indican una mayor intensidad de amarillo en la cáscara. En frutos de banano, el aumento de este parámetro suele relacionarse con el avance de la maduración, debido a la degradación de clorofilas y a los cambios en pigmentos como los carotenoides. Por esa razón, un comportamiento en el que b^* aumenta en una primera etapa y posteriormente disminuye puede interpretarse como una fase inicial de amarillamiento seguida por pérdida de esa tonalidad a medida que avanza la senescencia y el deterioro poscosecha (Wang et al., 2024).

En los frutos almacenados a 25 °C, el incremento de b^* hasta la parte media del almacenamiento sugiere el desarrollo progresivo del color amarillo, mientras que la disminución posterior indicaría el inicio de una etapa de sobre maduración (Figura 15). En esta temperatura, el tratamiento al 100 % mantuvo valores altos de b^* durante más tiempo, lo que puede interpretarse como una mejor conservación de la tonalidad amarilla en comparación con el control y el tratamiento al 50 %. Este tipo de respuesta coincide con lo reportado por Aruwajoye et al. (2025), quienes observaron que distintos tratamientos poscosecha pueden modificar la evolución del color en banano y contribuir a preservar su calidad visual durante el almacenamiento.

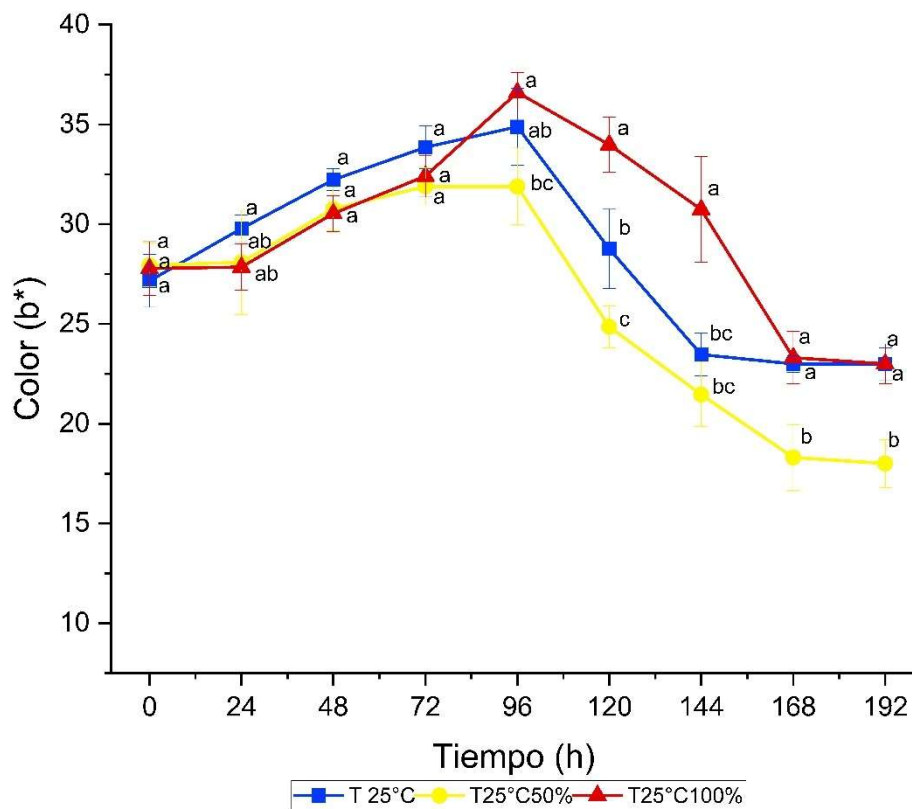


Figura 15 Variación del parámetro de color b^* en frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a 25°C

A 27°C (Figura 16), la disminución de b^* fue más temprana y sostenida, sobre todo en el tratamiento al 100 %, lo que sugiere que bajo esta condición la coloración amarilla se perdió con mayor rapidez. En contraste, el tratamiento al 50 % conservó valores más altos en la etapa final, lo que podría indicar un efecto moderado sobre la permanencia del color. Hallazgos semejantes fueron descritos por Roidoung et al. (2025), quienes señalaron que los tratamientos de recubrimiento pueden alterar la velocidad de maduración del banano y, con ello, la dinámica de los parámetros de color.

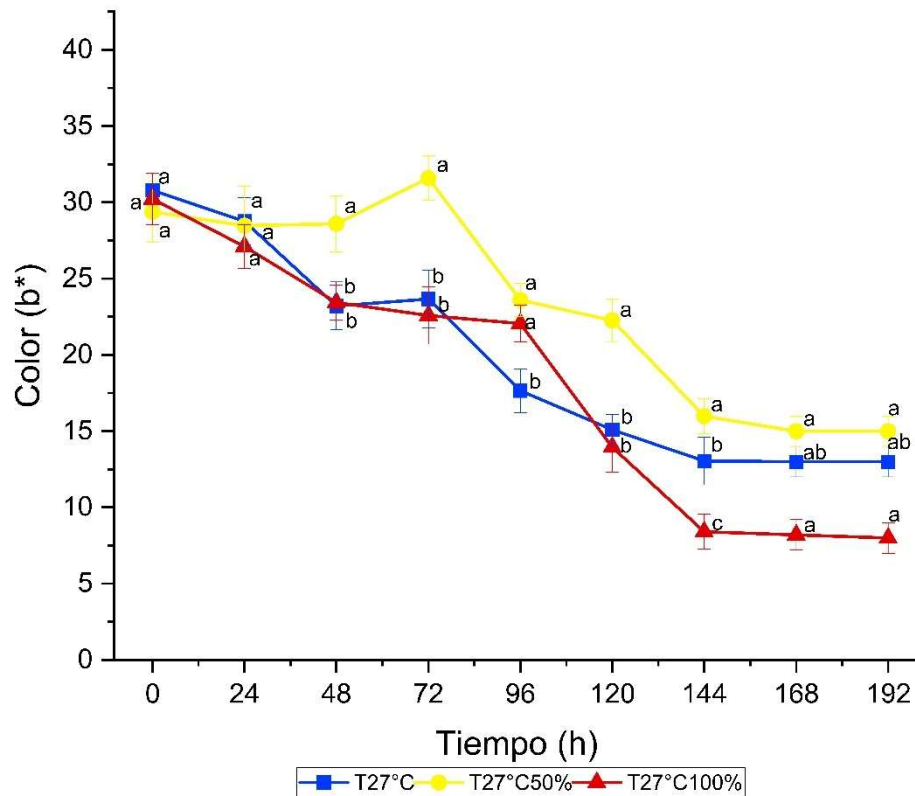


Figura 16. Variación del parámetro de color b^* en frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a 27 °C

A 32 °C (Figura 17), el comportamiento de b^* mostró un incremento inicial más marcado, seguido de una disminución posterior. Esto sugiere que la temperatura elevada aceleró la aparición del color amarillo, pero también favoreció una pérdida más rápida de esa tonalidad conforme avanzó el almacenamiento. En conjunto, estos resultados indican que la respuesta del parámetro b^* dependió tanto de la temperatura como de la concentración del caldo de fermentación, lo que coincide con la literatura reciente sobre fisiología poscosecha del banano, donde se reconoce que el color de la cáscara es altamente sensible a las condiciones de almacenamiento y al tipo de tratamiento aplicado (Wang et al., 2024; Aruwajoye et al., 2025).

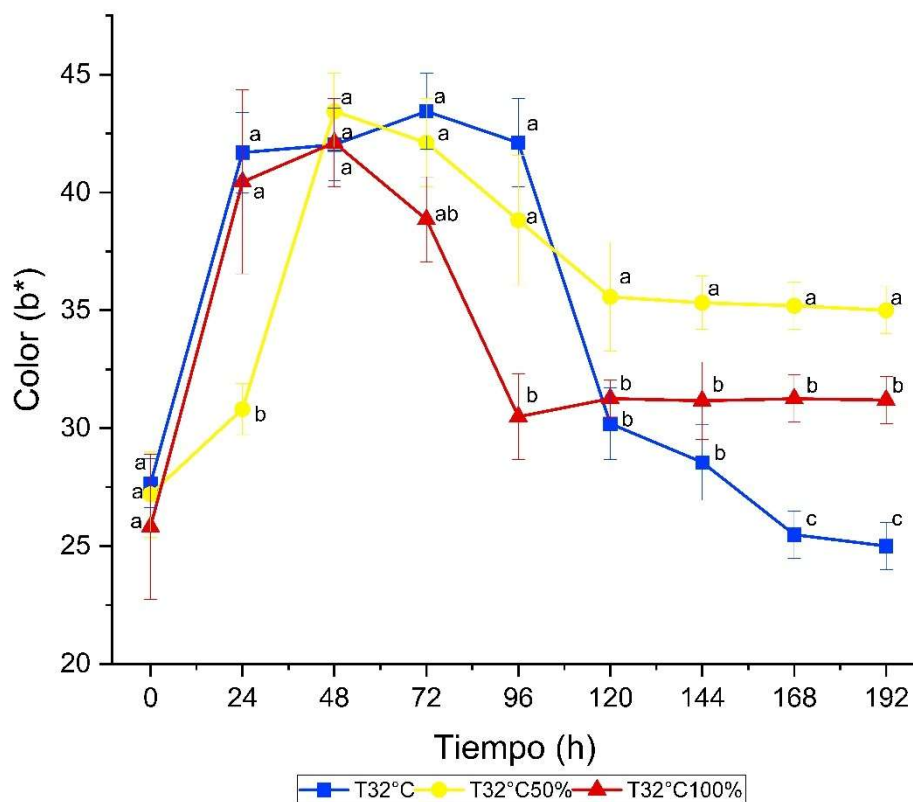


Figura 17. Variación del parámetro de color b^* en frutos de *Musa balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* y almacenados a $32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Proceso de maduración.

A $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, la secuencia fotográfica mostró un cambio visual progresivo en los frutos, desde una coloración verde inicial hasta estados avanzados de amarillamiento, pardeamiento y ennegrecimiento de la cáscara. En las primeras etapas del almacenamiento, los frutos conservaron una apariencia predominantemente verde; posteriormente se observó el desarrollo de tonalidades amarillas con manchas pardas, y en la fase final se presentó un oscurecimiento severo de la superficie. De manera general, las imágenes evidencian que el almacenamiento a esta temperatura favoreció el avance de la maduración y de la senescencia, con diferencias visuales entre tratamientos en la intensidad y velocidad del deterioro.

Los cambios visuales observados a 25 °C son consistentes con el comportamiento poscosecha típico del banano, ya que al tratarse de un fruto climatérico continúa madurando después de la cosecha y presenta aumento en la respiración, producción de etileno, degradación de clorofilas y modificaciones en carotenoides, lo que se refleja en el paso de verde a amarillo y, más tarde, en pardeamiento y ennegrecimiento de la cáscara (Wang et al., 2024; Aruwajoye et al., 2025).

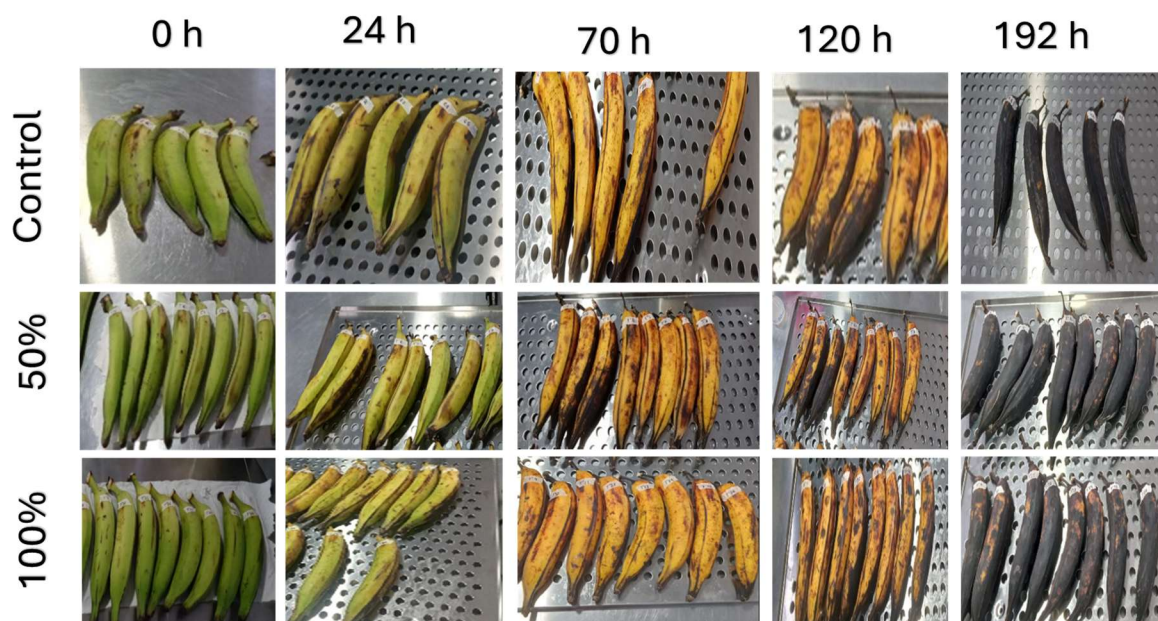


Figura 18. Cambios visuales en frutos de *M. balbisiana* tratados con diferentes concentraciones de caldo de fermentación de *S. spinosa* y almacenados a 25 °C durante el periodo de evaluación.

En la figura 18 se aprecia que algunos frutos mantuvieron por más tiempo una apariencia comercial aceptable, mientras que otros alcanzaron estados más avanzados de oscurecimiento. Ese tipo de respuesta también ha sido documentado en estudios de conservación poscosecha de banano, donde distintos tratamientos superficiales o recubrimientos modifican la velocidad de maduración y la evolución del color de la cáscara. Por ejemplo, Roidoung et al. (2025) reportaron que recubrimientos con quitosano y nanoarcilla retrasaron la maduración, reflejada en menores cambios de color y mayor conservación de la firmeza, mientras que otros trabajos a 25 °C muestran que los tratamientos

postcosecha pueden ayudar a mantener por más tiempo la calidad visual frente al control sin tratar (Roidoung et al., 2025; Al-Shaibani et al., 2025).

Tabla 4. Promedios y desviaciones estándar del ph en las muestras sometidas a diferentes condiciones de temperatura

Condición	Temperatura	PROMEDIO $\pm$ DE
Control (ph inicial)	TA	5.38 ± 0.02
F1	25°C	5.39 ± 0.03
F1	27°C	5.39 ± 0.04
F1	32°C	5.40 ± 0.03
F2	25°C	5.30 ± 0.01
F2	27°C	5.13 ± 0.08
F2	32°C	5.08 ± 0.05

Se analizaron las medias y las desviaciones estándar del ph en muestras que expusieron a diferentes temperaturas para dos formulaciones, así como el control (ph inicial).

En el control, el ph inicial 5.38 ± 0.02 , lo que indica la condición base sin tratamientos o cambios de temperatura. En la formulación F1, el ph permaneció relativamente constante a varias temperaturas (25°C, 27°C y 32°C), con cifras muy similares a las del control: 5.39 ± 0.03 , 5.39 ± 0.04 y 5.40 ± 0.03 en ese orden. Esto sugiere que la formulación F1 es

estable, ya que no experimenta alteraciones importantes en el ph cuando se incrementa la temperatura.

Por el contrario, cuando la temperatura se incrementaba, la formulación F2 presento una reducción significativa del ph. El ph fue de 5.30 ± 0.01 a 25°C , bajando a 5.13 ± 0.08 a 27°C y finalmente a 5.08 ± 0.02 a 32°C . este patrón sugiere que la formulación F2 es mas susceptible al calor, ya que muestra una acidificación gradual conforme aumenta la temperatura.

Tabla 5. Promedio y desviación estándar de °brix bajo diferentes condiciones térmicas

TRATAMIENTO	TEMPERATURA	PROMEDIO $\pm$ DE
Control	TA	17.60 ± 1.31
F1	25°C	18.33 ± 1.15
F2	25°C	16.93 ± 0.50
F1	27°C	18.33 ± 1.15
F2	27°C	15.00 ± 0.00
F1	32°C	8.50 ± 0.00
F2	32°C	5.00 ± 0.00

Paras los tratamientos (F1 y F2) y un control, se examino el contenido de °brix en diferentes condiciones de temperatura. Los resultados obtenidos demuestran que, según la temperatura aplicada, el promedio y la desviación estándar del contenido de solidos solubles (°brix) presentan variaciones destacadas. El promedio de °brix para el control (temperatura ambiente) fue 17.60 ± 1.31 , lo que indica un nivel constante con una variabilidad moderada.

En el caso de la formulación 1, a 25°C y 27°C, fue constante (18.33) con una desviación estándar de ± 1.15 , lo cual indica que estas temperaturas no tuvieron un impacto significativo en la cantidad de sólidos solubles de este tratamiento. No obstante, cuando la temperatura se elevó a 32°C, el promedio de °brix cayó abruptamente a 8.50 ± 0.00 , lo que muestra una reducción significativa del contenido soluble en estas condiciones térmicas.

En el tratamiento F2, se observó un comportamiento distinto. A 25°C, el promedio fue de 16.93 ± 0.50 , un poco por debajo del control y del F1 a esa temperatura, pero con una variabilidad más baja. Cuando la temperatura se incrementó a 27°C, el promedio de °brix bajó a 15.00 ± 0.00 y, cuando alcanzó los 32°C, se redujo aún más, hasta llegar a 5.00 ± 0.00 . Esto evidencia una disminución notable y continua del contenido de sólidos solubles a medida que la temperatura aumenta.

Discusión

El proceso de aplicación de los tratamientos se realizó de forma experimental, considerando un medio líquido de acuerdo con los parámetros de (Cristina,2023) correspondiente a la rentabilidad y a su sencilla replicación microbiológica. La composición de los medios de cultivo líquidos se estableció en el uso de dextrosa y peptona, compuestos que fijan una prueba de viabilidad en la reacción bacteriológica de las espinosinas sobre el medio, esto haciendo retrospectiva a lo demostrado por (Guojun et al., 2016) de acuerdo con que *S. spinosa* puede crecer en medios compuestos por glucosa, dextrosa, manitol, maltosa, sacarosa o glicerol. Utilizando este medio, las espinosinas demostraron una capacidad relativa como bioconservador, dado a el efecto de retardar el proceso de maduración y el deterioro postcosecha de la variedad *M. balbisiana*, Sustancialmente los resultados obtenidos demuestran que el caldo de fermentado con una aplicación correspondiente al 100%, tuvo un efecto significativo en la conservación de la firmeza y color del fruto, principalmente bajo condiciones de almacenamiento a 25°C y, en menor medida, a 27°C. No obstante, a 32°C, el efecto de conservación biológica es relativamente menor, lo que sugiere que la temperatura es un factor crucial para determinar la eficacia de cada uno de los tratamientos, esto puede ser evidente del componente bacteriano en el tratamiento.

La firmeza, que es uno de los principales parámetros de calidad en frutas climatéricas como el platano macho, evidencio una reducción paulatina durante la conservación en todos los tratamientos. Sin embargo, en comparación en el control y el tratamiento al 50%, los frutos tratados con caldo a 100% mantuvieron mas resistencia mecánica, conservando una firmeza de 18.5 N frente a los 14.0 N del control tras 192 horas a 25°C. Este retraso en el ablandamiento podría estar vinculado a la acción moduladora de los metabolitos generados por *S. spinosa*, en particular las espinosinas, que tendrían la capacidad de inhibir procesos bioquímicos asociados con la degradación de la pared celular y la producción de etileno, hormona fundamental para la maduración (Wang et al., 2022).

En cuanto al color, el tratamiento también ayudo a disminuir el oscurecimiento superficial y a conservar la luminosidad (L) del fruto, un parámetro significativo para la aceptación comercial. Un aplazamiento en el proceso de degradación de pigmentos y en la evolución de color típico de la maduración se muestra a través de las variaciones notadas en los parámetros

a y b*. Esto indica que las propiedades visuales del fruto se conservan durante mas tiempo. Estos hallazgos coinciden con estudios que revelan que los recubrimientos comestibles y los tratamientos biológicos pueden alargar la maduración y mantener la calidad visual de los plátanos (Nguyen et al., 2024; Aruwajoye et al., 2025).

La temperatura de almacenamiento tuvo un impacto notorio en la efectividad del tratamiento. Aunque el efecto conservador fue mayor a 25°C, la aceleración natural del metabolismo de la fruta a 32°C redujo la eficacia del caldo de fermentación. Esto enfatiza que la temperatura es un elemento determinante en la rapidez de maduración y deterioro postcosecha (Kumar, 2025; Maya, 2023) y confirma lo crucial que es regular las condiciones ambientales para optimizar el rendimiento de los métodos bioconservantes.

El empleo de metabolitos naturales producidos a partir de *S. spinosa* constituye una opción sostenible en comparación con los conservantes químicos sintéticos, desde el punto de vista ambiental y de la seguridad alimentaria. Su baja toxicidad y su compatibilidad con sistemas de producción orgánica constituyen beneficios significativos para los productores, particularmente en áreas con una alta producción agrícola como Alamo Temapache, Veracruz, donde es prioritario disminuir la utilización de agroquímicos.

El estudio confirma que el caldo de fermentación de *S. spinosa* es una opción viable y efectivo para la bioconservacion de *M. balbisiana*, retrasando la maduración y manteniendo la calidad del fruto. Estos resultados aportan una alternativa ecológica para mejorar la conservación postcosecha y reducir perdidas, contribuyendo al desarrollo sostenible de la producción local.

6 CONCLUSIONES

Con base en los hallazgos de esta investigación, se determina que el líquido de fermentación basado en *S. spinosa* ejerce una influencia notable y favorable como conservante natural en el banano macho (*M. balbisiana*). Se validó la hipótesis planteada inicialmente al demostrar que la aplicación de este tratamiento biológico puede retrasar los cambios fisiológicos de maduración y deterioro tras la postcosecha.

El efecto de la firmeza con relación al tratamiento del 100% de concentración resultó ser el más eficaz para retener la textura del fruto. En un entorno de 25°C, los frutos tratados conservaron una firmeza de 18.5 N después de 192 horas, en contraste con los 14.0 N del grupo control; esto supone una disminución considerable en la rapidez del ablandamiento de la pulpa. La preservación estética se determinó en el uso de espinosinas contribuyendo a mantener el factor de luminosidad (parámetro L) * de la cascara, reduciendo el oscurecimiento superficial,

La efectividad de bioconservación está estrechamente ligada a las condiciones de temperatura, presentando su máximo rendimiento a 25°C. A temperaturas elevadas de 32°C, el efecto del tratamiento se ve limitado por la aceleración natural del metabolismo del fruto.

Esta investigación aporta una alternativa ecológica y de baja toxicidad para los productores de la región de Alamo Temapache, Veracruz, permitiendo disminuir la dependencia de agroquímicos sintéticos y mejorando la seguridad alimentaria en el manejo postcosecha de las musáceas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wang, T., Song, Y., Lai, L., Fang, D., Li, W., Cao, F., & Su, E. (2024). *Sustaining freshness: Critical review of physiological and biochemical transformations and storage techniques in postharvest bananas*. *Food Packaging and Shelf Life*, 46, 101386. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101386>
2. Roidoung, S., Wongsudtho, S., Pongsanhan, M., Samsudin, H., & Sogi, D. S. (2025). *Effect of nanoclay in chitosan-based coating on ripening retardation of banana fruits*. *Discover Food*, 5, 152. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00431-5>
3. Nguyen, T. T., Tran Pham, B.-T., et al. (2024). *Comparative performance of chitosan-based edible coatings functionalized with Piper betle L. and Sonneratia ovata Back. leaf extracts for postharvest banana (Musa acuminata L.) preservation*. *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112942>
4. Aruwajoye, N. N., Sanusi, I. A., Aruwajoye, G. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2025). *Enhancing postharvest quality of bananas: Comparative study on the use ZnO and Ag2O nanoparticles and ZnO/Ag2O composites*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1480193. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1480193>
5. Wang, T., Song, Y., Lai, L., Fang, D., Li, W., Cao, F., & Su, E. (2024). *Sustaining freshness: Critical review of physiological and biochemical transformations and storage techniques in postharvest bananas*. *Food Packaging and Shelf Life*, 46, 101386.
6. Aruwajoye, N. N., Sanusi, I. A., Aruwajoye, G. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2025). *Enhancing postharvest quality of bananas: Comparative study on the use of ZnO and Ag2O nanoparticles and ZnO/Ag2O composites*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1480193.
7. Roidoung, S., Wongsudtho, S., Pongsanhan, M., Samsudin, H., & Sogi, D. S. (2025). *Effect of nanoclay in chitosan-based coating on ripening retardation of banana fruits*. *Discover Food*, 5, 152.
8. Dai, L., Wang, X., Zhang, J., & Li, C. (2025). *Application of chitosan and its derivatives in postharvest coating preservation of fruits*. *Foods*, 14(8), 1318.
9. Aruwajoye, N. N., Sanusi, I. A., Aruwajoye, G. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2025). *Enhancing postharvest quality of bananas: Comparative study on the use of*

- ZnO and Ag₂O nanoparticles and ZnO/Ag₂O composites. Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1480193. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1480193>
10. Roidoung, S., Wongsudtho, S., Pongsanhan, M., Samsudin, H., & Sogi, D. S. (2025). *Effect of nanoclay in chitosan-based coating on ripening retardation of banana fruits. Discover Food*, 5, 152. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00431-5>
 11. Wang, T., Song, Y., Lai, L., Fang, D., Li, W., Cao, F., & Su, E. (2024). *Sustaining freshness: Critical review of physiological and biochemical transformations and storage techniques in postharvest bananas. Food Packaging and Shelf Life*, 46, 101386. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101386>
 12. Alori, E. T., Onaolapo, A. O., & Ibaba, A. L. (2025). *Cell free supernatant for sustainable crop production. Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1549048>
 13. Aruwajoye, N. N., Sanusi, I. A., Aruwajoye, G. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2025). Enhancing postharvest quality of bananas: Comparative study on the use ZnO and Ag₂O nanoparticles and ZnO/Ag₂O composites. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1480193. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1480193>
 14. Hu, D., Liu, X., Qin, Y., Yan, J., Li, J., & Yang, Q. (2022). A novel edible packaging film based on chitosan incorporated with persimmon peel extract for the postharvest preservation of banana. *Food Quality and Safety*, 6, fyac028. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac028>
 15. Roidoung, S., Wongsudtho, S., Pongsanhan, M., Samsudin, H., & Sogi, D. S. (2025). *Effect of nanoclay in chitosan-based coating on ripening retardation of banana fruits. Discover Food*, 5, 152. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00431-5>
 16. Wang, T., Song, Y., Lai, L., Fang, D., Li, W., Cao, F., & Su, E. (2024). *Sustaining freshness: Critical review of physiological and biochemical transformations and storage techniques in postharvest bananas. Food Packaging and Shelf Life*, 46, 101386. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101386>
 17. *Application of Protective Cultures and Bacteriocins for Food Biopreservation*. (2016, 7 abril). Frontiers Research Topic. <https://www.frontiersin.org/research-topics/4874/application-of-protective-cultures-and-bacteriocins-for-food-biopreservation/magazine>

18. Wei, W., Yang, Y., Wu, C., Kuang, J., Chen, J., & Shan, W. (2023b). MaSPL16 positively regulates fruit ripening in bananas via the direct transcriptional induction of MaNAC029. *Horticulture Advances*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44281-023-00013-4>
19. BION – Bionconservación - El etileno y el banano o plátano. (n.d.). <https://www.bioconservacion.com/es/blog/banano-y-etileno#:~:text=El%20pl%C3%A1tano%20es%20una%20fruta,artificial%20en%20c%C3%A1maras%20de%20etileno>.
20. Guojun, Y., Yuping, H., Yan, J., Kaichun, L., & Haiyang, X. (2016). A New Medium for Improving Spinosad Production by Saccharopolyspora spinosa. *Jundishapur Journal Of Microbiology*, 9(6), e16765. <https://doi.org/10.5812/jjm.16765>
21. info@testtest.com. (2019b, March 29). *Improving the quality of the banana supply chain - Freshport Asia*. Freshport Asia. <https://www.freshport.asia/improving-the-quality-of-the-banana-supply-chain/#:~:text=Throughout%20the%20small%2Dscale%20farm,sell%20in%20other%20fresh%20products>.
22. Kumari, P., Gaur, S. S., & Tiwari, R. K. (2023). Banana and its by-products: A comprehensive review on its nutritional composition and pharmacological benefits. *eFood*, 4(5). <https://doi.org/10.1002/efd2.1110>.
23. *Maduración y deterioro del plátano en poscosecha*. (n.d.). <https://www.poscosecha.com/la-comunidad-fungica-del-platano>.
24. Muimba-Kankolongo, A. (2018). Fruit Production. *sciencedirect*.
25. Pan, Y., Yang, X., Li, J., Zhang, R., Hu, Y., Zhou, Y., Wang, J., & Zhu, B. (2011). Genome Sequence of the Spinosyns-Producing Bacterium Saccharopolyspora spinosa NRRL 18395. *Journal Of Bacteriology*, 193(12), 3150-3151. <https://doi.org/10.1128/jb.00344-11>

26. *Papel del Etileno en la Maduración de Frutos* | Intagri S.C. (n.d.).
<https://www.intagri.com/articulos/poscosecha-comercializacion/papel-del-etileno-en-la-maduracion-de-frutos#:~:text=Por%20otra%20parte%2C%20los%20frutos,comercializaci%C3%B3n%20final%20de%20los%20frutos.>
27. Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – A review. *Food Chemistry*, 206, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.033>.
28. Tian, J., Ma, Y., Liu, G., & Long, X. (2025). Optimization of spinosad production by *Saccharopolysosa spinosa* YJY-12 and its application in controlling Eggplant Thrips. *Scientific Reports*, 15(1), 33935. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09977-x>
29. Wang, Z., Miao, H., Liu, J., Xu, B., Yao, X., Xu, C., Zhao, S., Fang, X., Jia, C., Wang, J., Zhang, J., Li, J., Xu, Y., Wang, J., Ma, W., Wu, Z., Yu, L., Yang, Y., Liu, C., . . . Jin, Z. (2019). *Musa balbisiana* genome reveals subgenome evolution and functional divergence. *Nature Plants*, 5(8), 810-821. <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0452-6>
30. Maya, C. H. (2023). Evolución bioquímica y fisiológica durante la maduración del banano (*musa x paradisiaca* l.). *VitalyScience Revista Científica Multidisciplinaria*, 1(2), 6-17. <https://doi.org/10.56519/qb9sp861>
31. Muthuvelu, K. S., Ethiraj, B., Pramnik, S., Raj, N. K., Venkataraman, S., Rajendran, D. S., Bharathi, P., Palanisamy, E., Narayanan, A. S., Vaidyanathan, V. K., & Muthusamy, S. (2023). Biopreservative technologies of food: an alternative to chemical preservation and recent developments. *Food Science And Biotechnology*, 32(10), 1337-1350. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01336-8>
32. Dhundale, V., Hemke, V., Desai, D., & Dhundale, P. (2018). Evaluation and Exploration of Lactic Acid Bacteria for Preservation and Extending the Shelf Life of Fruit. *International Journal Of Fruit Science*, 18(4), 355-368.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1435331>
33. Linares-Morales, J. R., Gutiérrez-Méndez, N., Rivera-Chavira, B. E., Pérez-Vega, S. B., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2018). Biocontrol Processes in Fruits and Fresh

- Produce, the Use of Lactic Acid Bacteria as a Sustainable Option. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00050>
34. Pérez-Rojas, F., León-Quispe, J., & Galindo-Cabello, N. (2015). *Actinomicetos aislados del compost y su actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (Solanum tuberosum spp. andigena Hawkes)*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092015000200116&script=sci_abstract
 35. Guojun, Y., Yuping, H., Yan, J., Kaichun, L., & Haiyang, X. (2016b). A New Medium for Improving Spinosad Production by *Saccharopolyspora spinosa*. *Jundishapur Journal Of Microbiology*, 9(6), e16765. <https://doi.org/10.5812/jjm.16765>
 36. Macarena Faruh, E. E. (2021, 2 junio). *¿Cómo se regula la maduración de las frutas?* Extensión En español. <https://extensionesp.umd.edu/2021/05/24/como-se-regula-la-maduracion-de-las-frutas/#:~:text=A%20medida%20que%20la%20fruta%20madura%2C%20se,su%20susceptibilidad%20a%20los%20ataques%20de%20pat%C3%B3genos>.
 37. Akter, H., Hassan, M., Rabbani, M., & Mahmud, A. (2015). Effects of Variety and Postharvest Treatments on Shelf Life and Quality of Banana. *Journal Of Environmental Science And Natural Resources*, 6(2). <https://doi.org/10.3329/jesnr.v6i2.22113>
 38. Kumar, P. (2025, 3 noviembre). Storing Bananas: Best Practices for Prolonging Freshness and Reducción Losses - Agriculture Notes by. *Agriculture Institute*. <https://agriculture.institute/production-tech-fruit-crops/storing-bananas-best-practices/>
 39. Kudachikar, V. B., Kulkarni, S. G., & Prakash, M. N. K. (2011). Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of 'Robusta' banana (*Musa sp.*) stored at low temperature. *Journal Of Food Science And Technology*, 48(3), 319-324. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0238-y>
 40. 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>
41. Kirst, H. A. (2010). The spinosyn family of insecticides: realizing the potential of natural products research. *The Journal Of Antibiotics*, 63(3), 101-111. <https://doi.org/10.1038/ja.2010.5>
 42. Wan, M., Peng, C., Ding, W., Wang, M., Hu, J., & Li, J. (2021). Calcium-Phosphate Combination Enhances Spinosad Production in *Saccharopolyspora Spinosa* via Regulation of Fatty Acid Metabolism. *Research Square (Research Square)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-883055/v1>
 43. Nadal-Medina, R., Manzo-Sánchez, G., Orozco-Romero, J., Orozco-Santos, M., & Guzmán-González, S. (s. f.). *Diversidad genética de bananos y plátanos (Musa spp.) determinada mediante marcadores RAPD*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000100001
 44. Miguel, V. M. (2000). *Estudio de factores fisiológicos y bioquímicos relacionados con los daños por el frío en platano (musa acuminata cv. Dwarf cavendish)*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=247089#:~:text=Los%20platanos%20sometidos%20a%20temperaturas,actividad%20de%20la%20arginina%20descarboxilasa>.
 45. 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>
 46. Zakaria, L., Sahak, S., Zakaria, M., & Salleh, B. (2009, 1 diciembre). *Characterisation of Colletotrichum Species Associated with Anthracnose of Banana*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3819051/>
 47. Tunki, J. G. C., & Tarco, V. M. N. (2025, 1 enero). *Principales plagas del cultivo de plátano macho (Musa AAB)*. <https://prismaamazonico.com/index.php/revista-prisma/article/view/16>

48. Cristina. (2023, 20 julio). Medios de cultivo: Qué son, Usos y Tipos - SOLMEGLAS - Solmeglas SL. *Solmeglas SL*. <https://solmeglas.com/medios-de-cultivo-que-son-funcionalidades-calidad/>
49. Carlos. (2022, 19 diciembre). *BIOCONSERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS*. FBK México. <https://fbkmexico.com/bioconservacion-de-los-alimentos/>
50. Rosajana. (2025, 7 diciembre). *Sigatoka negra*. Miller Chemical (español). <https://www.millerchemical.com/es/sigatoka-negra>
51. Jose, T. A. M. (2018, 4 diciembre). *Caracterización patogénica y molecular de Ralstonia solanacearum raza 2 agente causal del Moko en plantaciones de plátano y banano (Musa spp.) en el Norte del Valle del Cauca*. <https://repositorio.unal.edu.co/items/7cd55612-cb38-4d5f-ad6f-ee6366fa00e3>
52. Roberts, J. M., Carvalhais, L. C., O'Dwyer, C., Rincón-Flórez, V. A., & Drenth, A. (2024). Diagnostics of Fusarium wilt in banana: Current status and challenges. *Plant Pathology*, 73(4), 760-776. <https://doi.org/10.1111/ppa.13863>
53. Sayed, A., Abdel-Wahab, N., Hassan, H., & Abdelmohsen, U. (2019). Saccharopolyspora: an underexplored source for bioactive natural products. *Journal Of Applied Microbiology*, 128(2), 314-329. <https://doi.org/10.1111/jam.14360>
54. Amenu, D., Nugusa, A., & Tafesse, T. (2025). Preservative Effectiveness of Lactic Acid Bacteria on Fruits and Vegetables. *International Journal Of Cell Biology*, 2025(1), 5833236. <https://doi.org/10.1155/ijcb/5833236>
55. Gan, L., Zhang, Z., Chen, J., Shen, Z., Chen, W., Chen, S., & Li, J. (2025). Enhancement of spinosad production in Saccharopolyspora spinosa by overexpression of the complete 74-kb spinosyn gene cluster. *Microbial Cell Factories*, 24(1), 102. <https://doi.org/10.1186/s12934-025-02724-x>
56. Gustavo, G. G. L. (2025, 10 noviembre). *Efectividad biológica de formulaciones de Spinosad contra (Plutella xylostella) en brócoli*. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/7371>

