

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**

**GRADO EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“EFECTO DE DISTINTOS TRATAMIENTOS  
POSTCOSECHA EN LA CONSERVACIÓN Y VIDA ÚTIL  
DEL PLÁTANO (*Musa acuminata* cv. Johnson)”**

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

**Curso 2021-2022**

Autora: Ana María García Marcilla

Tutores: Antonio Fabián Guillén Arco

Mihaela Iasmina Madalina Ilea



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

## Resumen

Los plátanos son frutos climatéricos con una vida útil muy corta y son muy sensibles a las bajas temperaturas. Esto imposibilita la distribución y comercialización a mercados lejanos. Por ello en este Trabajo de Investigación hemos estudiado el efecto de tratamientos postcosecha con 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y Jasmonato de metilo (JaMe) sobre la conservación y los daños por frío. Los distintos tratamientos aplicados fueron exitosos retrasando de forma general todos los parámetros relacionados con la maduración de los frutos. Además, los tratamientos con 1-MCP y JaMe redujeron de forma muy significativa los daños por frío manteniendo el contenido en compuestos bioactivos como la clorofila. Por tanto, podrían ser utilizados como herramienta a la hora de reducir las fisiopatías que este fruto sufre durante la frigo-conservación, aumentando la vida útil.

**Palabras clave:** Almacenamiento, Calidad, 1-MCP, Daños por frío, plátano

## Abstract

Bananas are climacteric fruits with a very short shelf life. Furthermore, this fruit is very sensitive to cold damage. This makes distribution and marketing to distant markets difficult. Therefore, in this research project we have studied the effect of postharvest treatments with 1-Methylcyclopropene (1-MCP) and Methyl jasmonate (MeJa) on conservation and cold damage. After applying the treatments, fruit showed a reduction in the loss of the firmness of the fruit and a lower weight loss, increasing the general quality of the bananas. In addition, treatments with 1-MCP and MeJa significantly reduced the damage caused by cold temperatures. These treatments also had a positive effect on maintaining bioactive compounds. For this reason, these methods could be used as a tool to reduce the physiopathies that impact the banana during cold storage, thus increasing its shelf life.

**Keywords:** Storage, quality, 1-MCP, cold damage, banana.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	
<b>1.1. EL PLÁTANO</b> .....	
<b>1.1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS</b> .....	
<b>1.1.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL</b> .....	

1.1.3. EXIGENCIAS RELATIVAS A LA CALIDAD .....	
1.1.4. PRINCIPALES VARIEDADES .....	
1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA .....	
1.3. MADURACIÓN DEL PLÁTANO .....	
1.4. PROBLEMÁTICA POST-COSECHA .....	
1.5. TECNOLOGÍAS POST-COSECHA .....	
1.5.1 TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN .....	
1.5.2 APLICACIONES CON 1-METILCICLOPROPENO .....	
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	
3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS .....	
3.2.1. Tasa de respiración y producción de etileno .....	
3.2.2. Pérdida de peso .....	
3.2.3. Color .....	
3.2.4. Firmeza del fruto .....	
3.2.5. Sólidos Solubles Totales (SST) .....	
3.2.6. Acidez Titulable (AT) .....	
3.2.7. Fuga de electrolitos .....	
3.2.8. Contenido en clorofilas .....	
3.2.9. Daños por frío .....	
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	
4.1. Tasa de respiración y producción de etileno .....	
4.2. Pérdida de peso .....	
4.3. Color .....	

- 4.3.1. Color L\* .....
- 4.3.2. Color Crom\*a\* .....
- 4.3.3. Color Hue\* .....
- 4.4. Firmeza.....
- 4.5. Sólidos Solubles Totales (SST) .....
- 4.6. Acidez Titulable (AT) .....
- 4.7. Fuga de electrolitos.....
- 4.8. Contenido en clorofilas.....
- 4.9. Daños por frío.....

**5. CONCLUSIONES .....**

**6. BIBLIOGRAFÍA.....**

- 6.1. Páginas web consultadas.....



## **1. INTRODUCCIÓN**

El plátano es una de las frutas más consumidas a nivel mundial ( Singh et al., 2016 ). Los plátanos son el cuarto cultivo alimentario más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz, en términos de producto interno bruto, con una producción mundial de alrededor de 70 millones de toneladas en 2003 ( UNCTAD, 2003 ).

El plátano, junto a las manzanas y tomates son las frutas que más desperdicio alimentario tienen a nivel de hogar. Las razones para desperdiciar comida pueden ser varias, pero en el caso de las frutas hay un motivo que tiene más importancia. El 92% de las personas que realizaron una encuesta de desperdicio alimentario, afirmaron que el motivo principal es que las frutas están demasiado maduras o tienen moho.

Debido a la preocupación social y a nivel de industria alimentaria, junto a las razones estéticas y de madurez, han llevado a la aparición de nuevas estrategias para alargar la vida útil de las frutas logrando así evitar o reducir el desperdicio alimentario.

En los países en desarrollo, se estima que entre el 20% y el 30% de la fruta se pierde después de la cosecha debido a una mala manipulación y almacenamiento ( Brasil y Siddiqui, 2018). Por lo tanto, se necesita más investigación para reducir la pérdida postcosecha del plátano.

### **1.1. EL PLÁTANO**

Es una fruta tropical procedente del banano, perteneciente a la familia de las musáceas. Aunque se ha comentado en numerosas ocasiones que el origen del plátano es de América Central, muchos autores opinan que es originaria del sudeste asiático, concretamente de la India, siendo conocida en el Mediterráneo después de la conquista de los árabes en el año 650 d.C. La especie llegó a

Canarias en el siglo XV y desde allí fue llevada a América en el año 1516 (FEN,2018).

Es una fruta que su temporada se extiende durante todo el año, por lo que se va a poder vender y consumir durante todas las épocas del año.

Además, el plátano es una fruta muy apreciada por los consumidores de todas las edades, debido a que es muy versátil, ya que dependiendo de su estado de madurez tiene diversas texturas (pasando de crocante a blando) y diversos aromas y sabores (pasando de un sabor poco dulce a muy dulce), por lo que tiene distintas características organolépticas. Además, es cómoda y fácil de consumir. (Mapa, 2022).

### 1.1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

**Familia:** *Musaceae*

**Especie:** *Musa x paradisiaca* L.

**Planta:** herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico, de 3,5-7,5 metros de altura, terminado en una corona de hojas.

**Rizoma o bulbo:** tallo subterráneo con abundantes puntos de crecimiento que dan lugar a pseudotallos, raíces y yemas vegetativas.

**Sistema radicular:** dispone de raíces que se encuentra en la superficie y que se distribuyen en una capa de 30-40 cm, concentrándose la mayor parte de ellas en los 15-20 cm. Las raíces son de color blanco y tiernas cuando brotan y de color amarillento y duras posteriormente. Su diámetro oscila entre 5 y 8 mm y su longitud puede alcanzar los 2,5-3 m en crecimiento lateral y hasta 1,5 m en profundidad. El poder de penetración de las raíces es débil, por lo que la distribución radicular está relacionada con la textura del suelo.

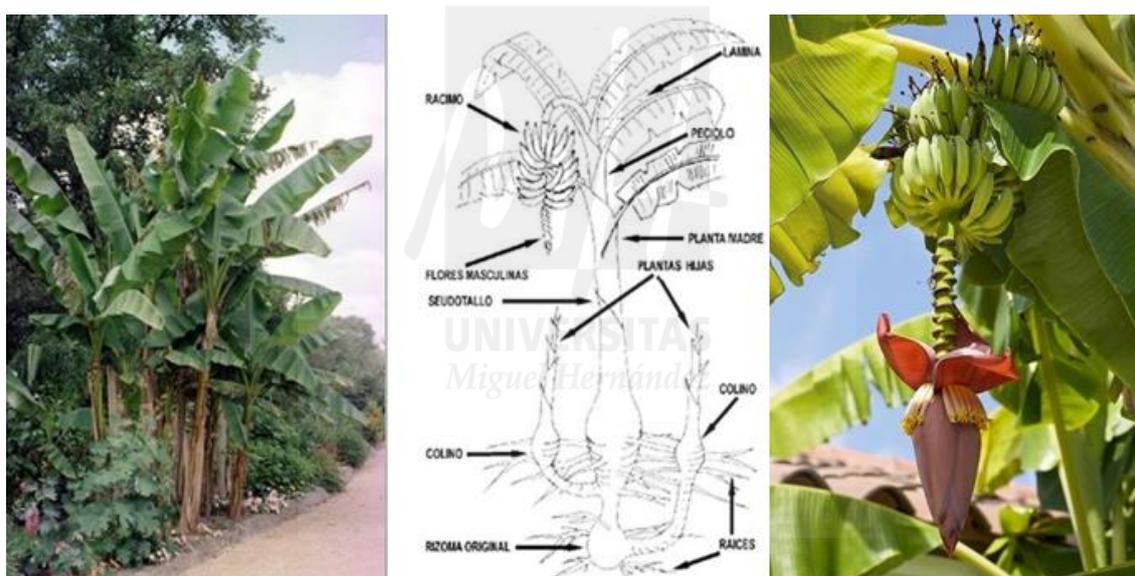
**Tallo:** el verdadero tallo es un rizoma grande, con gran cantidad de almidón, subterráneo, que está coronado con yemas, las cuales se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado. A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser

empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo.

**Hojas:** Son hojas grandes, verdes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m de largo y hasta 1,5 m de ancho, con un peciolo de 1 m o más de longitud. Con el paso del tiempo se rompen fácilmente de forma transversal por acción del viento.

**Flores:** Las flores son producidas por la planta macho. A los 15 meses del nacimiento del pseudotallo surge de la parte central una inflorescencia con forma de gota invertida, acabando en punta afilada. Son de color rojo anaranjado a morado oscuro.

**Fruto:** es una baya alargada. Durante su desarrollo se doblan geotrópicamente, según su peso, determinando la forma del racimo. Los plátanos son polimórficos, pudiendo contener de 5-20 manos, cada una con 2-20 plátanos.



*Imagen 1. Partes de la planta del platanero y detalle del porte de la planta (izquierda) y del pseudotallo y flor (derecha)*

### 1.1.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

El plátano es rico en diversos compuestos nutricionales reflejados en la tabla 1. El componente mayoritario es el agua seguido por los hidratos de carbono. Tiene un valor calórico bajo (89 Kcal/100g) ya que la cantidad de grasa e hidratos de carbono es baja. Además, también contiene una proporción pequeña de fibra alimentaria (3.4 Kcal/100g).

En cuanto a los micronutrientes, se puede afirmar que es una fruta fuente de fibra, vitamina B6 y potasio.

Tabla 1. Composición nutricional del plátano por 100 g comestibles

COMPONENTES	VALOR	UNIDAD
Energía, total	372 (89)	KJ (kcal)
Grasa, total (lípidos totales)	0.3	g
Proteína, total	1.2	g
Agua (humedad)	75.1	g
<b>HIDRATOS DE CARBONO</b>		
Fibra, dietética total	3.4	g
Carbohidratos	20	g
<b>GRASAS</b>		
Ácidos grasos, monoinsaturados totales	0.04	g
Ácidos grasos, poliinsaturados totales	0.09	g
Ácidos grasos saturados totales	0.11	g
Colesterol	0	g
<b>VITAMINAS</b>		
Vitamina A equivalentes de retinol de actividades de retinos y carotenoides	18	µg
Vitamina D	0	µg
Vitamina E equivalentes de alfa tocoferol de actividades de vitámeros E	0.2	mg
Folato, total	22	µg
Equivalentes de niacina, totales	0.8	mg
Riboflavina	0.07	mg
Tiamina	0.06	mg

Vitamina B-12	0	µg
Vitamina B6, total	0.51	mg
Vitamina C (ácido ascórbico)	10	mg
<b>MINERALES</b>		
Calcio	9	mg
Hierro, total	0.6	mg
Potasio	350	mg
Magnesio	38	mg
Sodio	1	mg
Fósforo	28	mg
Ioduro	2	µg
Selenio, total	1	µg
Zinc	0.23	mg

Fuente: BEDCA

### 1.1.3. EXIGENCIAS RELATIVAS A LA CALIDAD

Características mínimas de calidad: En todas las categorías, sin perjuicio de las disposiciones particulares previstas para cada una de ellas y de las tolerancias admitidas, los frutos deben estar:

- Enteros y consistentes
- Normalmente constituidos
- Sanos, es decir, exentos de ataques de plagas o enfermedades
- Limpios de materias extrañas visibles y desprovistos de sus restos florales
- Exentos de heridas o grietas que afecten a la pulpa. Sin rozaduras pronunciadas en la epidermis, ni magulladuras
- Sin alteraciones causadas por temperaturas excesivamente altas o bajas

Clasificación: se pueden clasificar en:

-Categoría “extra”: son de calidad superior y tienen forma y desarrollo típico. Las manos deberán ser homogéneas, compactas y bien formadas, teniendo un mínimo de 14 frutos.

-Categoría “I”: son de buena calidad. Los furtos pueden presentar algún defecto de forma y desarrollo. Los frutos pueden presentar ligeros defectos exteriores de piel y rozaduras, siempre que no afecten sensiblemente a su aspecto ni a la conservación. Cada mano habrá de tener un mínimo de diez dedos, admitiéndose la ausencia de dos frutos entresacados no consecutivos por mano y afectando como máximo a dos manos por envase.

-Categoría “II”: En esta categoría se incluyen los plátanos que no pueden clasificarse en las categorías superiores. Se admiten defectos de forma y desarrollo. Los frutos pueden presentar defectos exteriores de piel y rozaduras que no afecten a su conservación. Cada mano deberá tener un mínimo de ocho frutos pudiendo faltarle dos frutos por mano, pero afectando a tres manos como máximo por envase.

Tabla 2. Longitud y grosor de los plátanos en función de su categoría

	“Extra”	“I”	“II”
Longitud	16 cm	14 cm	10 cm
Grosor	34 cm	29 cm	26 cm

Fuente: BOE

#### 1.1.4. PRINCIPALES VARIEDADES

La gran mayoría de las variedades de plátanos proceden casi exclusivamente de *Musa acuminata*. Según el Gobierno de Canarias, actualmente existen distintas variedades comerciales de plátanos en Canarias:

- **Gros-Michel:** puede llegar a medir hasta 8 metro de altura, por lo que los vientos causan en ella grandes destrozos. Es muy sensible a la enfermedad del Panamá, pero resistente al ataque de los nematodos. Los racimos son cilíndricos y resistentes al transporte. Con ella se obtienen rendimientos normales de 20000 kg por hectárea, alcanzando óptimos de 35000 kg por hectárea.

- **Lacatán:** Los racimos de esta variedad son también cilíndricos, y la planta alcanza una altura de cinco metros, siendo sensible a los efectos del viento. Las producciones normales que con ella se consiguen son de 30000 kg por hectárea, con máximos de 45000 kg por hectárea en las buenas plantaciones.
- **Poyo:** El porte de esta variedad es medio, cuatro metros. Las producciones en las buenas plantaciones superan a los 60000 kg por hectárea. Los racimos son cilíndricos.
- **Gran enana:** Supera en medio metro la altura de la "Pequeña enana". Es bastante resistente a los vientos. Los racimos son casi cilíndricos y las producciones superan también los 60000 kg por hectárea.
- **Pequeña enana:** Es la de más pequeña altura, 2,25 m, y la más resistente a los vientos. Es la variedad principalmente cultivada en Canarias, donde alcanza un porte mayor que en otros lugares. Con ella se obtienen las máximas producciones. La forma de los racimos es troncocónica, lo que representa cierto inconveniente por aumentar los costes de embalaje.

El cultivo del plátano sigue siendo importante en la economía de las islas Canarias, pero se encuentra en retroceso. Una de las principales razones ha sido la implantación del mercado único europeo, con lo que ha tenido que competir con el plátano procedente de otras partes del mundo, en especial con el de Sudamérica.

## 1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA

Después del arroz, del trigo y el maíz, el plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo. Las bananas y los plátanos contribuyen a que millones de personas, en gran parte de la parte en vía de desarrollo, tengan una seguridad alimentaria (FAO, 2022).

En todo el mundo se producen aproximadamente 114 millones de toneladas de plátano al año, aunque es difícil definir datos exactos ya que el cultivo del plátano y de la banana suelen estar a cargo de pequeños agricultores y se comercializan en el sector informal, que a menudo no se puede rastrear.

Los principales países productores:

Tabla 3. Principales países productores de plátanos

<b>PAÍS</b>	<b>MILES DE TONELADAS</b>
India	10.200
Ecuador	7.494
Brasil	5.551
China	3.241
Colombia	2.200
Costa Rica	2.200
Burundi	1.399
Uganda	585
España	410

Fuente: FAO y Production Year Book (1999)

Tabla 4. Evolución de las áreas cosechadas y producción de plátanos en España

<b>AÑO</b>	<b>AREA COSECHADA (ha)</b>	<b>PRODUCCIÓN (toneladas)</b>
<b>2016</b>	9040	408716
<b>2018</b>	9090	386230
<b>2020</b>	9100	420140

Fuente: MAPA

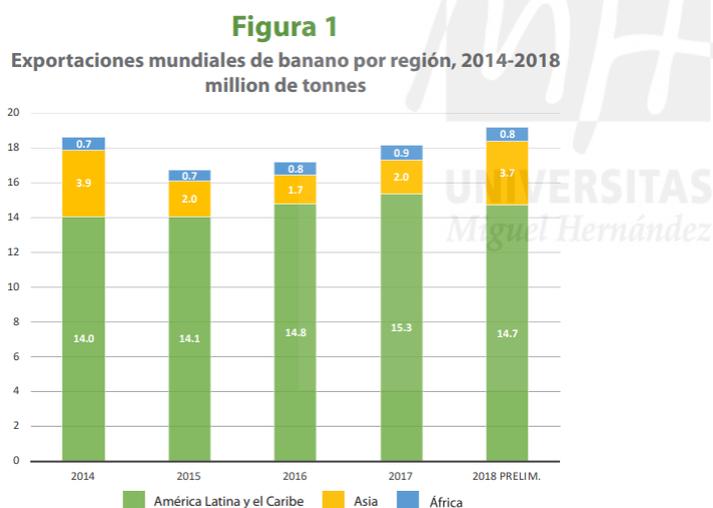
En el 2018 hubo un descenso en la producción en España. La principal causa fue debido a las condiciones atmosféricas adversas que afectaron a la producción en las Islas Canarias.

Con una producción de 387.873 toneladas, España es el principal proveedor de plátanos de la Unión Europea y representa el 65% de la producción total de la Unión Europea (Fuente: FAO).

Gran parte de los plátanos se cultivan para su venta en mercados locales o para su autoconsumo y solo una pequeña parte que se produce se venden en el mercado mundial.

En cuanto a las exportaciones, alcanzaron un máximo histórico de 19,2 millones de toneladas en 2018, gracias al amplio crecimiento de la oferta. Las exportaciones de América Latina y el Caribe experimentaron una disminución del 4% en 2018 debido fundamentalmente a la caída de la producción provocada por fenómenos meteorológicos en Costa Rica, uno de los cuatro exportadores más importantes de la región. Las exportaciones en Asia mostraron una recuperación tras las reducciones de la producción en 2015 y 2016 provocadas por las condiciones meteorológicas y alcanzaron los 3,7 millones de toneladas en 2018. Las exportaciones de África cayeron un 9% respecto al año 2017, hasta 780 000 toneladas, como resultado de las graves perturbaciones de los suministros procedentes del Camerún.

Ilustración 1. Exportaciones mundiales de banano



Fuente: FAO

### 1.3. MADURACIÓN

Hay dos tipos de madurez, la fisiológica y la de consumo. La madurez fisiológica es aquel estado en el cual un fruto ha alcanzado un desarrollo suficiente para que su calidad sea, al menos la mínima aceptable por el consumidor final, después de que este haya sido cosechado. Y la madurez de consumo es el estado de desarrollo en el que el fruto ha alcanzado su máxima calidad estética

y sensorial para su consumo humano inmediato. La maduración es el proceso de transformación de un tejido fisiológicamente maduro, pero comestible, en otro visual, olfativo y gustativamente atractivo, resultado de un complejo conjunto de transformaciones.

Dado que el plátano es una fruta climatérica, a menudo se somete a una maduración artificial o inducida. Inducir la maduración es esencial en la maduración de plátanos a escala comercial debido a algunas desventajas de la maduración natural, como la falta de uniformidad del color de la cáscara y la prolongación del tiempo. El gas etileno, el etefón y el carburo de calcio son los agentes de maduración más populares entre muchos agentes químicos que tienen potencial para mejorar la maduración (Maduwanthi y Marapana, 2019).

- **Gas etileno** → se aplica en las cámaras de maduración, las cuales permiten controlar la temperatura, humedad y concentración del gas.
- **Acetileno** → el carburo de calcio cuando se hidroliza produce acetileno, que es un análogo del etileno. En un estudio se demostró que las emisiones de acetileno del carburo de calcio pueden mejorar la maduración de los plátanos, ya que las frutas tratadas eran uniformemente amarillas con buen sabor, contenido medio de almidón y una textura comparativamente suave después de 120 horas, mientras que las muestras de control permanecieron verdes después del mismo periodo de tiempo. Sin embargo, el carburo de calcio no se considera seguro. Se considera peligroso por varias razones: el carburo de calcio comercial contiene trazas de arsénico e hidruro de fósforo. Estos dos compuestos pueden ser tóxicos para los humanos.
- **Etefón** → El etefón líquido (ácido 2-cloroetilfosfónico) puede generar etileno en presencia de una base o se descompone en etileno con agua (Kathirvelan y Vijayaraghavan, 2020). Se ha informado que a un nivel de 1000 ppm el tratamiento con etefón brinda la mejor eficiencia con una buena calidad en los frutos (Pendharkar et al., 2011).

Los cambios producidos durante la maduración son:

-Cambios en la **textura**: con la maduración se produce un ablandamiento debido

a la despolimerización y solubilización de los componentes de la pared celular y la pérdida de estructura celular. Los polisacáridos de la pared celular como la pectina, la celulosa y la hemicelulosa se solubilizan, desesterifican y despolimerizan durante la maduración. También las enzimas degradan la pared celular, como las pectinmetilesterasa o la poligalacturonasa. Los plátanos contienen un alto nivel de almidón en la pulpa de la fruta, por lo que la hidrólisis enzimática del almidón es un factor importante en el ablandamiento de la fruta ( Rose et al., 2004).

La pérdida de firmeza o ablandamiento durante la maduración se ha relacionado con varios procesos. El primero es la descomposición del almidón en azúcares. El segundo es la ruptura de las paredes celulares o la reducción de la cohesión de la lámina media debido a la solubilización de las sustancias pécticas (Palmer, 1971, Smith et al., 1989 ). El tercero es que el agua migra de la piel a la carne como resultado de la ósmosis.

-Cambios en el **color**: se debe a la degradación de las clorofilas a los carotenoides y flavonoides. Los cambios de color de la piel externa durante la maduración a menudo reflejan cambios en el color de la pulpa ( Deullin, 1963 , Wainwright y Hughes, 1990 ). A medida que se intensifica el color amarillento de la piel, el color de la pulpa cambia del típico 'blanco opaco' de un producto con alto contenido de almidón a un 'amarillo muy suave'.

-Cambios en el **sabor y aroma**: los taninos son responsables de la astringencia de la fruta. Estos compuestos tienden a decrecer con la maduración, ya que aumenta su peso molecular por polimerización, por lo que la astringencia sería menor en frutas maduras. Además, con la maduración, los compuestos volátiles característicos del plátano maduro van apareciendo. En general, los ésteres dan un aroma con notas afrutadas (Brat et al., 2004); por ejemplo, el butanoato de isoamilo, el acetato de 3metilbutilo y el isovalerato de isoamilo contribuyen al olor afrutado del plátano (Shiota et al., 1993 , Aurore et al., 2011). Se ha descrito la identificación de 246 compuestos volátiles en el plátano, incluidos 112 ésteres, 57 alcoholes, 39 ácidos, 10 aldehídos y 10 cetonas, pero solo 12 compuestos contribuyen significativamente al aroma del plátano.

## 1.4. PROBLEMÁTICAS POST-COSECHA

Existen alteraciones fisiológicas y enfermedades que pueden afectar a los plátanos como pueden ser el daño por frío, quemaduras de la piel, efecto de magulladura, podredumbre de la corona, antracnosis, podredumbre del pedúnculo, punta de cigarro, *Deightoniella torulosa* y mal de Panamá, entre otras.

Los plátanos pueden presentar algunas alteraciones fisiológicas producidas por una exposición a temperatura o humedad relativa inadecuadas o por no llevar el cuidado suficiente durante su manipulación; o puede presentar los síntomas causados por algún hongo, dando lugar a diferentes enfermedades.

### FISIOPATÍAS Y DAÑOS FÍSICOS

#### 1. Daño por frío (Chilling Injury)

Los síntomas incluyen una decoloración de la parte exterior, pedúnculo pálido, los tejidos de la subepidermis forman rayas marrón-oscuras, fallan en la maduración, y, en algunos casos, se broncea la pulpa. Se produce por la exposición de los plátanos a temperaturas por debajo de 13°C desde varias horas a varios días, dependiendo de la variedad, madurez y temperatura. Los frutos dañados son más sensibles a sufrir daños mecánicos (Kader, A. 2013).

Miguel Hernández



Imagen 2. Daños por frío en plátanos.

#### 2. Abrusiones de la piel

Resultan del rozamiento de unos frutos con otros o contra superficies de los equipos de manipulación. Cuando se han expuesto a condiciones de humedad

relativa bajas (<90%), la fruta pierde agua por las zonas rozadas más rápidamente y el color pasa desde marrón a negro.



*Imagen 3. Abrasiones de la piel en plátanos*

### **3. Magulladuras por impacto**

La caída de los plátanos puede inducir al oscurecimiento de la pulpa sin que se aprecie el daño en la piel.



*Imagen 4. Magulladuras por impacto en plátanos*

## **ENFERMEDADES**

### **4. Podredumbre de la corona**

Esta enfermedad es causada por uno o más de los hongos siguientes: *Thielaviopsis paradoxa*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Colletotrichum musae*, *Deightoniella torulosa*, y *Fusarium roseum*. Atacan a la superficie de corte de las manos. Se inicia como un ablandamiento y desde el tejido podrido de la mano el hongo crece y penetra en el pedicelo de los dedos, y con el tiempo, afecta al fruto. Una característica significativa de esta enfermedad es la aparición de un micelio gris-blanquecino en la superficie del tejido necrosado.

Las prácticas recomendadas para evitar el aumento de esta enfermedad son por ejemplo, mantener la sanidad vegetal en la plantación, la higiene en los locales

de manipulación, el tratamiento de las coronas con fungicidas y utilizar agua clorada en los tanques de selección de la fruta.



Imagen 5. Podredumbre de la corona en plátanos

## 5. Antracnosis

Causada por *Colletotrichum musae*, provoca que los plátanos comiencen a madurar especialmente en las heridas y grietas de la piel. Sin embargo, a la pulpa no le afecta normalmente, a menos que los plátanos estén demasiado maduros o soporten altas temperaturas.



Imagen 6. Antracnosis en plátanos

## 6. Podredumbre de la cicatriz del pedúnculo (Stem-end Rot)

Causado por *Lasiodiplodia theobromae* y/o *Thielaviopsis paradoxa*, que penetran a través de los cortes del pedúnculo o la 'mano'. La pulpa afectada se vuelve suave y aguada.

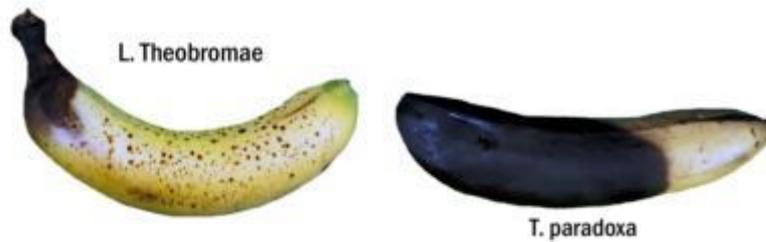


Imagen 7. Podredumbre de la cicatriz del pedúnculo en plátanos

## 7. Ahongado del plátano o "Punta de cigarro" (Cigar-end Rot)

Causado por *Verticillium theobromae* y/o *Trachysphaera fructigena*. La porción dañada del dedo del plátano se seca pero no cae sino que tiende a mantenerse adherida a la fruta, mostrando un aspecto similar a la ceniza de un cigarro que se consume.

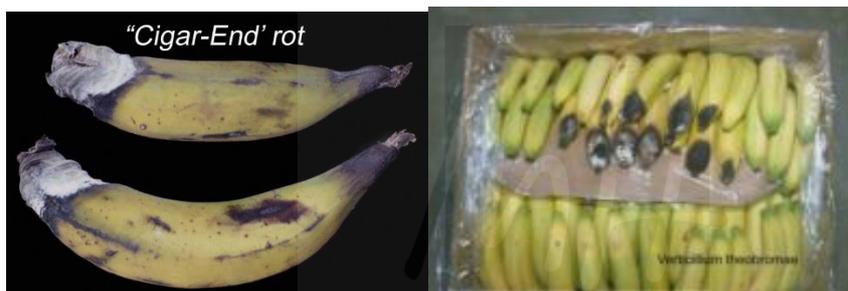


Imagen 8. Punta de cigarro en plátanos

## 1.5. TECNOLOGÍAS POST-COSECHA

Las tecnologías postcosecha son una serie de manejos adecuados para la conservación de diversos productos agrícolas, con el fin de garantizar la calidad y su posterior comercialización y consumo.

### 1.5.1 TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN

**-Bajas temperaturas:** en un estudio se observó que las pérdidas de peso en plátanos a temperaturas superiores a 25 y 30°C fueron importantes. Sin embargo, los plátanos que se mantuvieron a temperaturas más bajas de 15°C tardaron mucho más tiempo en madurar (aproximadamente 32 días), mientras que los que estaban a 30°C tardaron 14 días. Esto es debido a que las frutas climatéricas emiten etileno durante la maduración, y la sensibilidad de los plátanos al etileno es muy baja, en el rango de 0,01 y 1 ppm (Thompson y

Seymour, 1982). Además, también se observó como el color se desarrollaba mejor en plátanos almacenados a 25°C en comparación al desarrollo deficiente del color a temperaturas más elevadas. En cuanto a la textura, los plátanos tratados con altas temperaturas y el control se volvieron blandos más rápido en comparación a los almacenados a bajas temperaturas, que se mantuvieron firmes. El efecto de la temperatura en la maduración de la fruta fue estudiado en frutos de plátano por Saeed et al. (2001) y se obtuvieron resultados similares.

**-Envasado:** en el mismo estudio realizado, se almacenaron plátanos en un envase perforado y sin envase. Los resultados que se obtuvieron demostraron una mejor calidad, firmeza y desarrollo en los plátanos en envases perforados en comparación a sin envase. Además, los resultados también demostraron que es mejor empaquetar la fruta, ya que la protege de daños mecánicos que pueden ocurrir durante el transporte, de plagas de insectos y de quemaduras solares (Bantayehu y Alemayehu, 2019).

**-Atmosfera controlada / etileno:** con la atmosfera controlada se puede reducir la concentración de O<sub>2</sub> presente en el envase y aumentar la concentración de CO<sub>2</sub>. Con esto se puede conseguir reducir la producción de etileno y por lo tanto, retrasar la maduración, dando lugar al aumento de la vida útil de la fruta.

**-Otras tecnologías:** Los tratamientos térmicos, como el tratamiento con agua caliente, el tratamiento con aire caliente y el tratamiento con vapor caliente, también se han utilizado para aliviar los daños por frío, mantener la calidad de la fruta y prolongar el tiempo de almacenamiento de las frutas y hortalizas poscosecha (Endo et al., 2019).

Además de las tecnologías nombradas, también se realizaron estudios, que encontraron que varios tratamientos poscosecha, como el ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) (Wang et al., 2014, Wang et al., 2014), fitohormonas (Luo et al., 2017), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) (Luo et al., 2015) y ácido araquidónico (Wan et al., 2021) podrían reducir el desarrollo de los daños por frío y mejorar la tolerancia al frío del plátano.

### **1.5.2 APLICACIONES CON 1-METILCICLOPROPENO**

El 1-metilciclopropeno (1-MCP) es un tipo de inhibidor de etileno eficaz que se ha utilizado ampliamente para prolongar el almacenamiento y la vida útil de frutas no climatéricas y climatéricas, como el plátano (Pathak et al., 2003). Sin embargo, la acción de 1-MCP depende de la dosis. Si se utiliza incorrectamente, el proceso de maduración normal puede verse obstaculizado. Por ejemplo, la aplicación incorrecta de 1-MCP redujo la producción de muchos ésteres y alcoholes volátiles (Balbontín et al., 2007) y resultó en una coloración y ablandamiento anormal de la fruta (Yang et al., 2009a, Yang et al., 2009b). Si bien el tratamiento con niveles apropiados de 1-MCP puede prolongar la maduración de la papaya y mantener la calidad de la fruta, el tratamiento con una alta concentración de 1-MCP provocó un trastorno en el ablandamiento en de la papaya (Shen et al., 2017, Ding et al., 2019 , Zhu et al., 2019a, b).

Trabajos anteriores han demostrado que el 1-MCP puede retrasar efectivamente la maduración de la fruta del plátano ( Jiang et al., 1999 , Zhu et al., 2015 , Xu et al., 2019 ).

El uso comercial de 1-MCP no solo promete avanzar en la agricultura comercial, sino que también el uso de 1-MCP en programas de investigación promete avanzar en nuestra comprensión y proporcionar nuevos conocimientos sobre las respuestas del etileno de las plantas ( Blankenship y Dole, 2003).

A temperatura y presión estándar, el 1-MCP es un gas con un peso molecular de 54 y una fórmula de  $C_4H_6$ . Se cree que el 1-MCP ocupa los receptores de etileno de modo que el etileno no puede unirse y provocar la acción. Sisler y Serek (19997) propusieron un modelo de cómo reacciona el 1-MCP con el receptor de etileno. La afinidad del 1-MCP por el receptor es aproximadamente 10 veces mayor que la del etileno. En comparación con el etileno, el 1-MCP es activo en concentraciones mucho más bajas.

### **1.5.3. Aplicaciones con Jasmonato de metilo (JaMe)**

Se ha demostrado que el Jasmonato de metilo (JaMe), un tipo de regulador natural del crecimiento de las plantas, es una molécula de señalización que regula varios procesos fisiológicos, incluido el crecimiento y desarrollo de las

plantas, la respuesta a lesiones, la resistencia al estrés ambiental y la acumulación de metabolitos secundarios (Luo et al. 2020). Tomando como ejemplos las frutas y hortalizas en poscosecha, el estado energético de las células afecta los cambios en la calidad y el metabolismo fisiológico (Wang et al. 2013; Lin et al. 2018). Por tanto, el estado energético juega un papel fundamental en la tolerancia al frío y la resistencia a enfermedades de frutas y verduras (Chen et al. 2015; Li et al. 2016).

La molécula de señal JaMe es una sustancia endógena para el crecimiento de las plantas, que desempeña un papel clave en el crecimiento y desarrollo de las plantas en las respuestas al estrés ambiental. Esta molécula de señal está involucrada en algunos sistemas de transducción de señales, que inducen enzimas particulares que catalizan reacciones biosintéticas para formar compuestos de defensa como polifenoles, alcaloides o proteínas relacionadas con la patogénesis (Hahlbrock y Sheel, 1989 , Creelman y Mullet, 1995 , Tamari et al. al., 1995 , Van Loon, 1995 ). Esto puede resultar en la inducción de respuestas de defensa y brindar protección a las plantas contra el ataque de patógenos ( Delaney et al., 1994 , Kozlowski et al., 1999).

El JaMe también se ha descrito como un éster metílico del ácido jasmónico, que se ha encontrado en muchas especies de plantas y es un regulador celular vital natural que está involucrado en diversos procesos de desarrollo en las mismas (Batool et al., 2010). Es ampliamente aceptado que el JaMe activa los mecanismos de defensa del huésped contra una amplia gama de patógenos y también regula las respuestas de defensa contra el estrés biótico y abiótico en varias especies de plantas (Penninckx et al., 1998). En los últimos años, el uso de aplicaciones exógenas de JaMe ha mostrado éxito en la inducción de respuestas de defensa química y resistencia entre varios cultivos hortícolas (Darras et al., 2011).

## **2. OBJETIVOS**

El plátano es una fruta que es aceptada por todos los consumidores, tanto por su sabor y aroma, como por su facilidad de consumir, como por sus propiedades nutricionales.

Se trata de un producto que para su conservación se utilizan tratamientos de bajas temperaturas (tratamientos de refrigeración); sin embargo, es un fruto que sufre daños por frío cuando la temperatura se encuentra por debajo de la óptima.

El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Grado ha sido evaluar por primera vez el efecto en la reducción de los daños por frío provocado por el JaMe aplicado en forma de vapor durante la conservación postcosecha. Además, se ha comparado este compuesto de origen natural con el efecto del 1-MCP que es un compuesto de origen artificial que también se aplica de forma gaseosa. Estas sustancias se aplicaron en los plátanos (*Musa acuminata* cv. Johnson) durante su conservación. Para evaluar el distinto impacto de los tratamientos postcosecha se han estudiado diversos parámetros, como son: pérdida de peso, tasa de respiración, firmeza, color, determinación de sólidos solubles, fuga de electrolitos y la evaluación de la incidencia de los daños por frío, entre otros.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. Diseño experimental**

Los plátanos (*Musa acuminata* Colla, grupo AAA cv. Johnson, subgrupo Cavendish) objeto de este estudio fueron recolectadas en la Isla de la Palma en estado verde inmaduro y fueron transportadas a la península. Tras la llegada a la península (Cox) fueron tratadas con etileno durante 24 horas a  $16\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Una vez tratados con etileno fueron transportados directamente al laboratorio de la UMH.

Seguidamente se procedió a seleccionar la fruta teniendo en cuenta una serie de características y parámetros como el tamaño, la ausencia de defectos, y el color. Tras la selección de 162 frutos se agruparon en 3 lotes o tratamientos de 9 plátanos divididos en tres muestras de 3 plátanos cada uno ( $n=3$ ). Los tratamientos aplicados fueron vapores de JaMe (0.01 mM) durante 24 horas a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Estos lotes fueron tratados a la vez que los lotes de plátanos tratados con 1-MCP (300 ppb) durante 24 horas a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  siguiendo las recomendaciones de Agrofresh S.A. descritas para este fruto. Todos los tratamientos se realizaron en contenedores de 130 L. Los lotes control también se almacenaron en otro contenedor de este tipo y fue almacenado en idénticas condiciones que el resto de los lotes.

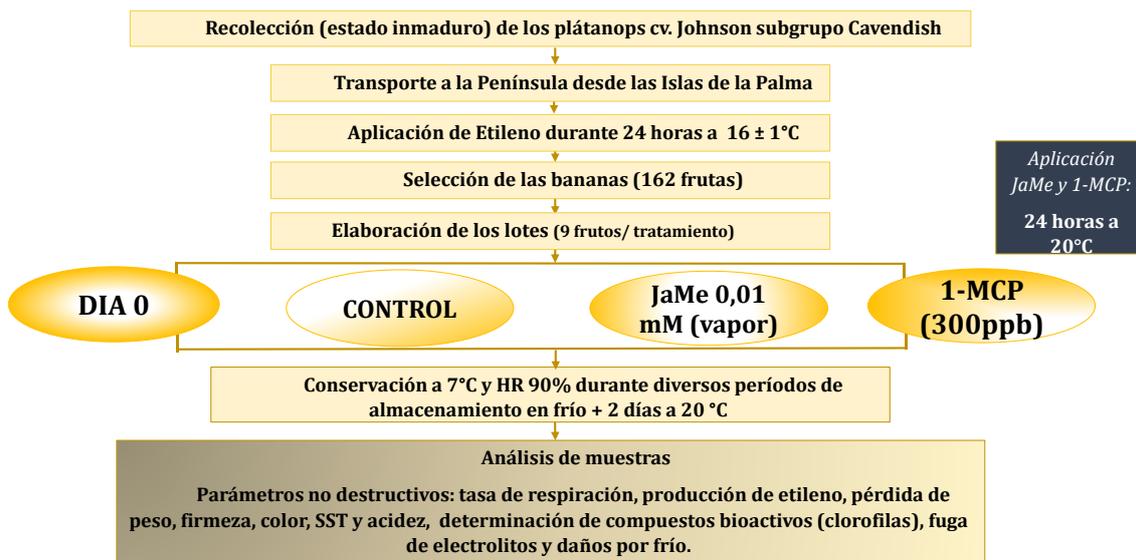


Diagrama 1. Diseño experimental propuesto para este estudio

Tras las 24 horas de tratamiento, todos los frutos fueron extraídos de los contenedores y almacenados en cámara frigorífica a la temperatura de 7 °C durante 35 días. Durante este periodo los frutos fueron extraídos en los diferentes muestreos tras 0, 7, 14, 21, 28 y 35 días de almacenamiento siendo evaluados tras un periodo adicional de 2 días a 20 °C.

### 3.2. Determinaciones analíticas

Las determinaciones analíticas realizadas durante el experimento incluyeron parámetros físicos, fisiológicos, químicos y bioquímicos. Los parámetros de carácter fisiológico fueron la tasa de respiración y la producción de etileno. Los parámetros físicos incluyeron la pérdida de peso, color, firmeza, mientras que los parámetros químicos evaluados fueron sólidos solubles totales, acidez, contenido en almidón y fuga de electrolitos. Por otro lado, los parámetros de carácter bioquímico fueron el contenido en clorofilas, contenido en polifenoles, contenido en flavonoides y actividad antioxidante.

#### 3.2.1. Tasa de respiración y producción de etileno

La medición de la tasa de respiración se realizó mediante el sistema estático o cerrado propuesto por Kader (1992). Dicho sistema se caracteriza por no existir intercambio de gases con el entorno. El sistema consiste en encerrar los productos dentro de un envase hermético durante un cierto tiempo. Pasado este tiempo, el gas contenido se extrae del interior mediante agujas. De dicho gas se

va a medir la concentración de CO<sub>2</sub> y poder así conocer la cantidad del gas producido durante cierto tiempo.

Los plátanos se introdujeron en envases de plástico de 4,6L de capacidad, con tapa con la que se consigue un cierre hermético. Dicha tapa está provista de zonas concretas (válvula) de material elastómero, por las cuales se introducen las agujas para extraer los gases del interior. De cada tarro se extrajeron 5 jeringuillas de 1 mL de aire de cabeza al cabo de 30 minutos de haberlos cerrado. Dos de estas jeringuillas por réplica fueron utilizadas para la evaluación de la respiración.



Fotografía 1. Cromatógrafo de CO<sub>2</sub>

Como consecuencia de la respiración, se libera CO<sub>2</sub> y este se acumula en el envase y su concentración se puede cuantificar mediante la cromatografía de gases. Para su análisis se empleó un cromatógrafo Shimadzu GC-14B, equipado con un integrador Shimadzu C-R6A Chromatopac. Las condiciones del cromatógrafo fueron las siguientes:

Temperatura del horno	35°C
Temperatura del inyector	115°C
Temperatura del detector	150°C
Flujo del gas portador (Helio)	16 mL*min <sup>-1</sup>
Tipo de calibración	Patrón externo (Aire atmosférico)
Tiempo de retención del CO <sub>2</sub>	0,6 min

Columna de separación y determinación del CO <sub>2</sub>	CHROMOSORB 102 80/100 de 2m x 1,8''
Detector de conductividad térmica (TCD)	

Por último, la tasa de respiración se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{mgCO_2}{Kg \times h} = \frac{(V - P) \times 0,687 \times A \times 60}{A_{patrón} \times P \times T}$$

Siendo:

**V**= Volumen del recipiente (mL)

**P**= Peso del producto (mg)

**A**= Área de CO<sub>2</sub> obtenida en el cromatógrafo al analizar la muestra (mm<sup>2</sup>)

**A<sub>patrón</sub>**= Área de CO<sub>2</sub> obtenida en el cromatógrafo al introducir el patrón de aire exterior (mm<sup>2</sup>)

**T**= Tiempo que ha permanecido la muestra cerrada en el recipiente (min)

Para medir la producción de etileno se extrajeron e inyectaron otras dos jeringuillas por tratamiento y réplica en el cromatógrafo Shimadzu GC-2010, provisto de un detector de ionización de llama (FID) y columna de acero inoxidable de 3 m de longitud total y de 2 mm de diámetro interno, con relleno de alúmina de 60/80 mesh. Las condiciones de trabajo del cromatógrafo son las siguientes:

Temperatura del inyector	100°C
Temperatura del detector	150°C
Temperatura de la columna	100°C
Flujo del gas portador (Helio)	50 mL/min
Flujo de hidrógeno (H <sub>2</sub> )	40 mL/min

Flujo de aire	400 mL/min
Patrón usado	Etileno 10ppm

Los resultados para la producción de CO<sub>2</sub> y etileno fueron expresados en mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y en nmoles kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, como la media ± ES de 6 determinaciones por lote y día de muestreo (n=3) .

### 3.2.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso se ha calculado como porcentaje (%) con respecto al peso inicial de los plátanos (siendo este el 100%). El pesado se hizo con una balanza de la categorización Gram Precisión, Serie BH-600, con una precisión de ± 0,01 gramos y una capacidad de 600 gramos. El peso se evaluó de forma individual en cada fruto, y se expresó como la media de la pérdida de peso de cada tres plátanos por triplicado (n=3).

### 3.2.3. Color

El color se determinó utilizando el sistema Cielab (L\*, a\*, b\*) mediante un colorímetro triestímulo Minolta modelo CR200. Se realizaron tres medidas del color para cada plátano en tres puntos diferentes de la fruta.

Este sistema es el más conocido debido a que permite aproximarse a la percepción humana del color. Estas coordenadas están relacionadas con tres índices básicos que se pueden distinguir en cualquier apreciación del color: luminosidad y cromaticidad.

Los tres parámetros son:

- L\*: Indica la luminosidad de la fruta y varía de 0 (siendo este negro) a 100 (siendo este blanco)
- a\* y b\*: Ambos indican la cromaticidad, a\* representa el eje que va desde colores verdes (-a\*) hasta colores rojos (+a\*); y b\* representa el eje que va desde el color azul (-b\*) hasta color amarillo (+b\*)

Cada color viene dado por los valores de estas tres coordenadas, que representan un punto en el espacio tridimensional (Minolta, 1994). Los resultados se expresaron como  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y el ángulo de Hue ( $H^* = \arctg b^*/a^*$ ).



*Imagen 9. Colorímetro*

#### **3.2.4. Firmeza del fruto**

Para medir la firmeza de los plátanos se utilizó un texturómetro TA-XT2i® (Anname Instruments), el cual está conectado a un ordenador que recopila y almacena los datos.

Para la evaluación se realizó la prueba Magness-Tylor mediante el uso de una sonda cilíndrica de 0,5 mm de diámetro que penetró en la pulpa del plátano 5 mm a una velocidad de 10 mm por segundo.

Antes de empezar con la medición, se cortó la parte central del plátano en forma cilíndrica de unos 3 cm de altura con la piel sin separar de la pulpa y se introdujo el punzón en la parte de la pulpa. Si hicieron 3 pruebas en cada una de las piezas en puntos equidistantes. Así se obtuvieron un total de 9 datos individuales por réplica, con un total de 27 determinaciones por tratamiento ( $n=3$ ).

#### **3.2.5. Evaluación de los sólidos solubles totales (SST)**

Para la determinación del contenido total de sólidos solubles se utilizó la refractometría mediante la cual se evaluó la pulpa de los plátanos previamente diluida en agua desionizada y homogenizada. La mezcla se centrifugó y el sobrenadante fue evaluado por este método. Esta técnica consiste en la diferencia que existe entre los índices de refracción del agua destilada y un medio de concentración determinada de sustancias disueltas. Este método no establece estrictamente el nivel de azúcares, sino la concentración de sólidos solubles, la cual se relaciona con el nivel de azúcares y con el estado de madurez de los plátanos.

Para realizar la medición de los sólidos solubles se midieron los °Brix colocando unas gotas del sobrenadante en un refractómetro Warszawa modelo RL2, con una sensibilidad de  $\pm 0,2$  °Brix. El refractómetro se calibra con agua destilada, y las medidas se realizaron a 20°C. Esta determinación fue realizada por duplicado en cada una de las réplicas estudiadas (n=3).



Imagen 10. Refractómetro Warszawa modelo RL2

### 3.2.6. Determinación de la acidez titulable (AT)

Para determinar la acidez de los plátanos se utilizaron 5 mL del sobrenadante homogenizado y centrifugado de la pulpa del plátano y se disolvió en 25 mL de agua destilada. Para llevar a cabo el análisis, se utilizó un valorador automático Metrohm, modelo 785DMP Tritino, complementado con un cambiador de 24 posiciones modelo 760 y con una impresora modelo DP40-24N. Así se obtiene el pH inicial y se realiza la valoración hasta un pH final de 8,1 con NaOH 0,1 N. Los resultados se expresaron en mg equivalentes del ácido orgánico mayoritario. Esta determinación fue realizada por duplicado en cada una de las réplicas estudiadas (n=3).

$$\frac{\text{Gramos de ácido málico}}{100 \text{ mL}} = \frac{6,7 \times V1 \times f \times N}{P}$$

Siendo:

**N**= Normalidad del NaOH

**V1**= Volumen de NaOH 0,1 N utilizado en la valoración

**F**= Factor del NaOH

**P**= Peso de la muestra (gramos)

El resultado final se expresó en: media  $\pm$  ES



Fotografía 2. Valorador automático de la acidez de las muestras de plátano

### 3.2.7. Fuga de electrolitos

La fuga de electrolitos se determinó mediante el método descrito por Mirdehgan et al., (2007) con algunas modificaciones con respecto al método original.

Para ello se extrajeron 16 discos de la piel de los plátanos, todas homogéneos y uniformes, utilizando un perforador metálico de 10,6 mm de diámetro. Estos discos fueron lavados en 3 baños consecutivos de agua desionizada para finalmente ser macerados en botes herméticos de cristal durante 3 horas con 50 mL de agua desionizada.

Una vez pasado ese tiempo, se realizó la medida de la conductividad de las muestras en el medio acuoso usando un conductímetro Crison (Metrohm 664). Seguidamente, se autoclavaron los botes herméticos a 121°C durante 15 minutos. Tras dejarse enfriar se realizó la segunda medida de conductividad. La fuga de electrolitos fue expresada como porcentaje siguiendo la siguiente fórmula:

$$Fuga\ de\ electrolitos = \frac{Conductividad\ inicial}{Conductividad\ final} * 100$$

Los resultados se expresaron como % de salida de electrolitos y los datos son la media de 3 determinaciones realizadas por duplicado en cada réplica (n=3).

### 3.2.8. Contenido en clorofilas

El contenido en clorofilas totales fue realizado siguiendo el método de Hang et al., (2019). Para ello y tras la extracción de los pigmentos mediante homogeneización en metanol durante 2 minutos. Posteriormente se centrifugaron las muestras y el sobrenadante fue medido a las longitudes de

onda de 665.2 y 652,4 en el espectrofotómetro (1900 UV/ Vis, Shimadzu, Kyoto, Japan). Los datos se expresaron como mg de clorofila en 100 gramos de muestra, analizándose por duplicado el contenido en clorofilas de cada una de las tres réplicas (n=3).

### **3.2.9. Daños por frío**

Para determinar los daños por frío de los plátanos se realizó una evaluación sensorial del exterior de la piel del plátano.

La evaluación sensorial se realizó individualmente por cada fruta, usando una escala hedónica de 5 puntos, los cuales eran indicativos de los daños presentes en la superficie siendo: 0 (Sin síntomas), 1 (1-25% de daños), 2 (26-50%), 3 (51-75%) y 4 (daños mayores al 75% de la superficie). Los resultados se expresaron como media de la valoración de 15 frutas con la siguiente formula:

$$\frac{\Sigma(\text{Valor obtenido en la escala hedonica}) * (n^{\circ} \text{ de frutos adjudicados a cada valor de la escala})}{n^{\circ} \text{ total de frutas evaluadas en cada tratamiento}}$$

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Tasa de respiración y producción de etileno**

La respiración consiste en una serie de reacciones catalizadas por enzimas, cuya velocidad está relacionada con la temperatura. Las frutas y hortalizas respiran tras su recolección, a pesar de que la actividad fotosintética se interrumpa. Con el fin de obtener energía, los azúcares provenientes de la degradación del almidón se oxidan, formándose H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>. (Valero y Serrano 2010). En los frutos climatéricos como el plátano, se produce un pico o incremento en la producción de etileno al inicio de la maduración y se considera que esta hormona (etileno), es la que da lugar a los cambios en el color, aroma, textura, flavor y otros cambios bioquímicos relacionados con la maduración (Giovanonni 2001).

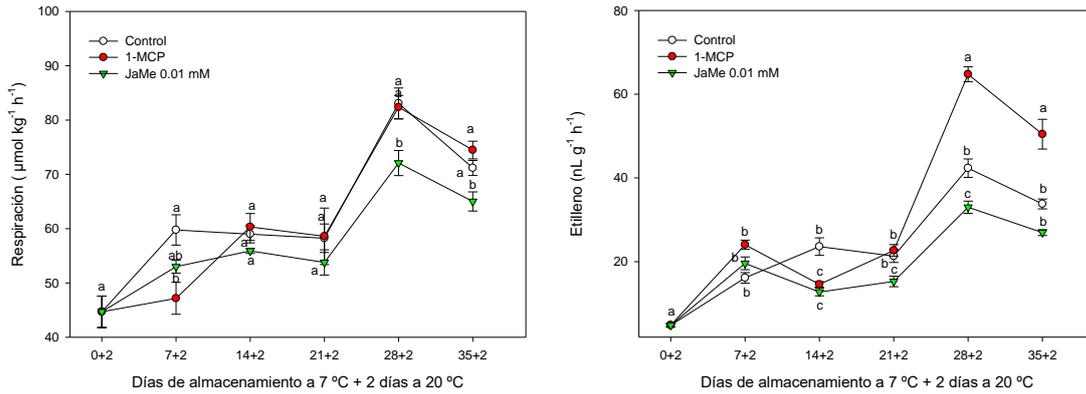


Figura 1. (A) Evolución de la respiración ( $\mu\text{mol Kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) y (B) de la producción de etileno ( $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe 0.01 mM (Jasmonato de metilo) tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

Al analizar la evolución de la respiración, como era de esperar, se puede observar que esta presentó un aumento a lo largo de su almacenamiento que se practicó a 7°C más 2 días a 20°C (Figura 1).

Sin embargo, este incremento fue diferente según el tratamiento aplicado. Pese a que, al comienzo del almacenamiento, los frutos tratados con 1-MCP redujeron la respiración con respecto a los frutos control, estas diferencias no se mantuvieron durante el resto del almacenamiento. Entre los diferentes tratamientos aplicados para evaluar la respiración, hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). Los lotes tratados con JaMe 0.01 mM mostraron un retraso de la tasa de respiración en comparación a los lotes tratados con control y tratados con 1-MCP.

En cuanto a la producción de etileno, se pudo observar cómo aumentó a lo largo del almacenamiento a 7°C más 2 días a 20°C. Sin embargo, hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tres tratamientos, siendo el JaMe el tratamiento que más retrasó la producción de etileno, en comparación al resto de muestras. Finalmente, las muestras tratadas con 1-MCP llegaron a mostrar valores superiores al resto de tratamientos al final del almacenamiento. Las diferencias más importantes se obtuvieron tras 28 días a 7°C más 2 días a 20°C, alcanzando al final del experimento valores de  $33,01 \pm 1,45$ ,  $42,34 \pm 2,20$  y  $50,44 \pm 3,55$   $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para los frutos tratados con JaMe, control y 1-MCP, respectivamente.

El plátano es un fruto climatérico, es decir, se produce un aumento de la tasa de respiración y de la biosíntesis de etileno durante el proceso de maduración una vez recolectada, por lo que era de esperar que estos parámetros aumenten con el almacenamiento.

Una tasa de respiración elevada lleva a una menor vida útil del producto, debido a que el producto presenta una actividad metabólica elevada, y con ello conlleva a un periodo de almacenamiento menor (Gil, 2010).

Watkins et al., (2006) describieron la reducción de la respiración provocada por el 1-MCP de la respiración en los plátanos como una consecuencia directa de la menor producción de etileno ya que el 1-MCP es un agente bloqueante de la acción del etileno. La mayor producción de etileno en los últimos días de almacenamiento de los frutos tratados con 1-MCP, podría ser debido a que experimentarían una mayor inducción de etileno por el frío, como se ha observado en otras especies vegetales sensibles al frío y tratadas con 1-MCP (Megías et al., 2016).

Wang et al., (2021) describieron como el JaMe ha mostrado una alta eficacia sobre los frutos reduciendo parámetros relacionados con la senescencia como la respiración. Además, en otros estudios se ha demostrado la estimulación del JaMe sobre la ruta de derivación del ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) (Aghdam et al., 2018). Este incremento de GABA provee a la célula de un inmediato sustrato energético que utiliza para recuperarse del estrés, incrementándose el balance energético neto en las células vegetales y cubriendo las necesidades energéticas de la planta especialmente en situaciones de estrés (Aghdam et al., 2018).

## 4.2. Pérdida de peso

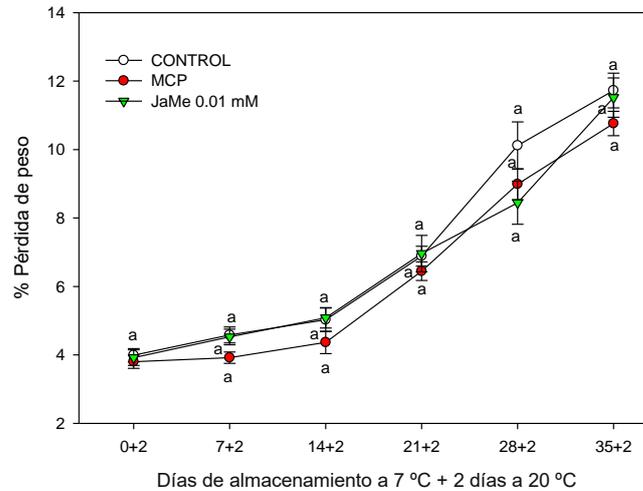


Figura 2. Evolución de la pérdida de peso (%) en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

Cuando se estudió la evolución de las pérdidas de peso, se puede observar cómo estas se van incrementando a lo largo del almacenamiento a 7°C más 2 días a 20°C como era de esperar (Figura 2).

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos control, 1-MCP y JaMe. Sin embargo, se puede observar que el tratamiento con 1-MCP retrasó los valores medios de las pérdidas de peso en comparación con las muestras control y las muestras tratadas con JaMe. Estas últimas también mostraron bajos niveles medios de pérdida de peso tras 28 días de almacenamiento, cuando tras 2 días más a 20°C se observaron las diferencias más importantes entre estos valores medios.

La pérdida de peso debida a las pérdidas de agua durante la transpiración es una causa importante del deterioro de los plátanos, dando lugar a pérdidas de calidad. Las frutas y hortalizas tras su recolección continúan los procesos de transpiración, siendo un proceso físico por el cual el agua, en estado de vapor, atraviesa los estomas y la epidermis provocándose la pérdida del peso del fruto (Valero y Serrano 2010).

Este efecto del 1-MCP y del JaMe en la reducción de las pérdidas de peso se ha observado en muchas y diferentes especies vegetales. Probablemente debidas en parte a una menor respiración celular en los frutos tratados (Wang et al., 2020).

### 4.3. Color

Estos valores están basados en el modelo de colores opuestos, donde ( $L^*$ ) corresponde al brillo, ( $a^*$ ) es el croma de verde a rojo y ( $b^*$ ) es el croma de azul a amarillo (Mendoza, Rodríguez de, & Millán, 2012).

El color y la apariencia, como los primeros atributos que perciben los consumidores, han sido los rasgos más caracterizados en los productos alimenticios (Fernández-Vázquez et al., 2011).

La fruta de plátano tratada con 1-MCP puede permanecer verde o madura con un color desigual (Harris et al., 2000).

#### 4.3.1. Color $L^*$

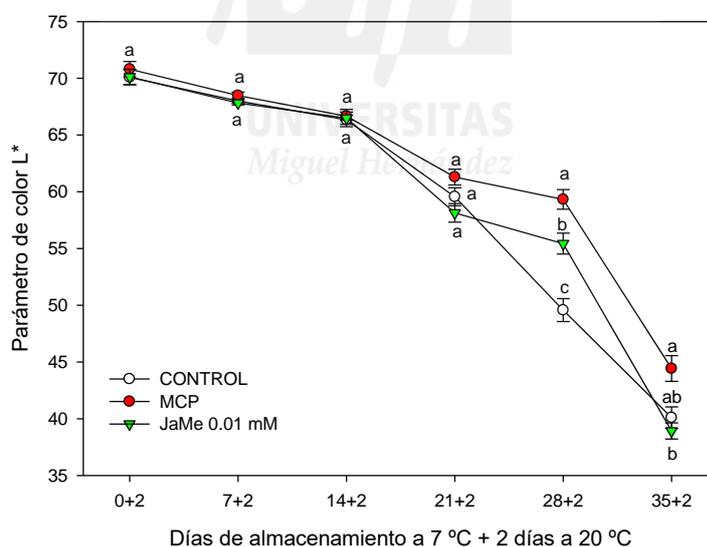


Figura 3. Evolución del color  $L^*$  en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

El parámetro  $L^*$  se corresponde con la luminosidad. Como se puede observar en la figura 3, la evolución de dicho parámetro desciende con el almacenamiento, que practicó a 7°C más 2 días a 20°C.

Los lotes de plátanos tratados con 1-MCP mostraron niveles significativamente superiores ( $P < 0,05$ ) en comparación a las muestras controles y las tratadas con JaMe. Aunque al principio del almacenamiento no se pudieron observar diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0,05$ ) hacia el final del experimento, si se observaron estas diferencias siendo el tratamiento 1-MCP el que mostró mejores resultados, dando lugar a una mayor luminosidad en los plátanos. A su vez, también los frutos tratados con JaMe fueron capaces de retrasar este parámetro al final del almacenamiento, mostrando diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) con respecto a los frutos control y los tratados con 1-MCP, aunque su efecto fue inferior que el observado en este último.

El mantenimiento del color  $L^*$  observado tanto por el 1-MCP como por el JaMe en los plátanos tratados, podría estar relacionado con las menores pérdidas de peso del fruto, ya que la luminosidad se ve afectada por la deshidratación del producto (Valero y Serrano, 2010). Sin embargo, este parámetro pudo estar influenciado también por un menor pardeamiento de la piel en los frutos tratados con estas sustancias ya que tanto el 1-MCP como el JaMe han demostrado efectos positivos a la hora de reducir los pardeamientos enzimáticos que provocan los daños asociados al almacenamiento en refrigeración de los plátanos (Jiao et al., 2018; Elbagoury et al., 2020)

### 4.3.2. Color b\*

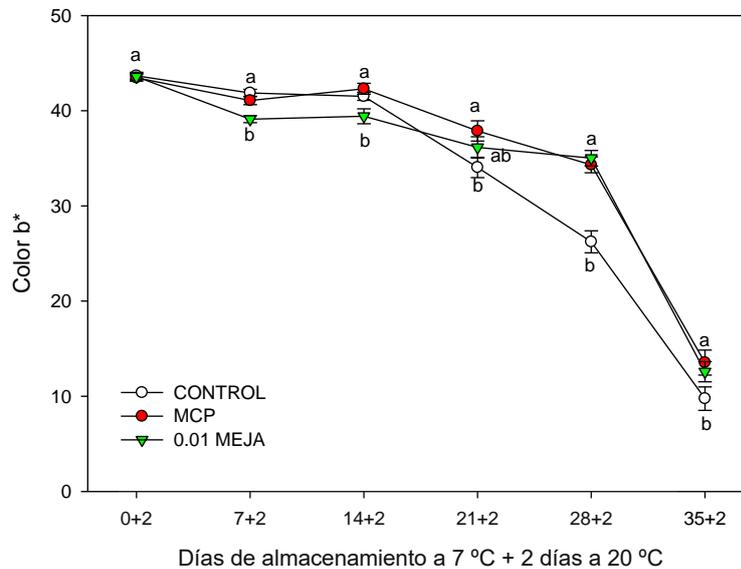


Figura 4. Evolución del color b\* en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

Cuando se estudió la evolución del parámetro b\* se puede observar como este fue disminuyendo con el paso de los días durante el almacenamiento (Figura 4).

Al igual que anteriormente, entre los diferentes tratamientos aplicados, no se observaron importantes diferencias entre los tratamientos control, 1-MCP y JaMe al inicio del experimento. No obstante, se puede observar como las muestras tratadas con 1-MCP y JaMe mostraron valores superiores en comparación con las muestras control tras 21 días a 7°C más 2 días a 20°C. Sin embargo y a partir de este momento, no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los frutos tratados con 1-MCP y los tratados con JaMe.

Estas diferencias estuvieron influenciadas por un menor pardeamiento de la piel manteniendo por más tiempo el característico color amarillo de esta especie. Como veremos en resultados posteriores, la mayor integridad de los tejidos provocada tanto por el 1-MCP (Watkins, 2006) como por los tratamientos con JaMe (Sayyari et al., 2011) pudo estar relacionada con el mayor mantenimiento de este parámetro.

### 4.3.3. Color Hue\*

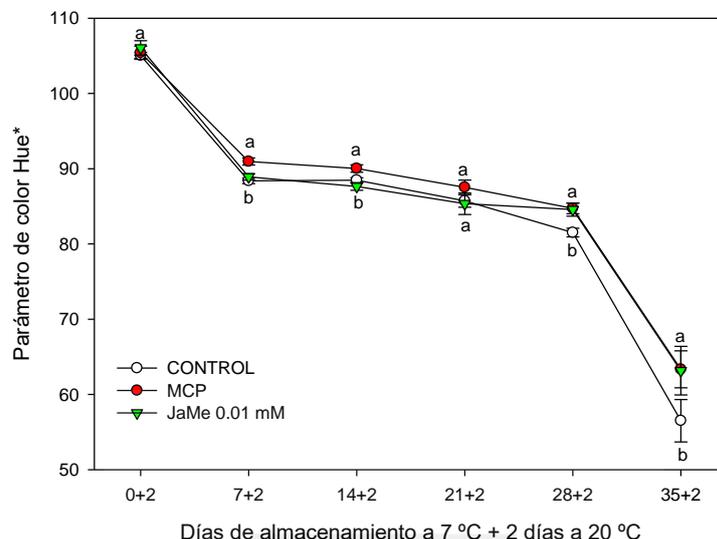


Figura 5. Evolución del color Hue\* en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

Además, también se determinó el parámetro Hue\* (tono). Como se observa en la figura 5, este parámetro disminuye a lo largo del almacenamiento a 7°C más 2 días a 20°C representando un oscurecimiento de la superficie del fruto.

Para los diferentes tratamientos aplicados, se observaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre las muestras control y las muestras tratadas con 1-MCP y JaMe tras 28 días de almacenamiento en frío más 2 días más a 20 °C. Sin embargo, estos tratamientos no mostraron diferencias significativas entre ellos ( $P > 0,05$ ). Tanto el 1-MCP como el JaMe, mostraron un retraso en la evolución de este parámetro de forma similar a la observada con el parámetro b\* anteriormente comentado.

Es importante destacar que los plátanos tratados con 1-MCP pueden permanecer verde o maduros con un color desigual (Harris et al., 2000). Sin embargo, el 1-MCP a las dosis aplicadas, sí ha demostrado que afecta al cambio de color de los frutos asociados con la maduración, retrasando este cambio en

la tonalidad (Gaikwad et al., 2020) de igual forma que se ha observado en los frutos tratados con JaMe (Sayyari et al, 2011)

#### 4.4. Firmeza

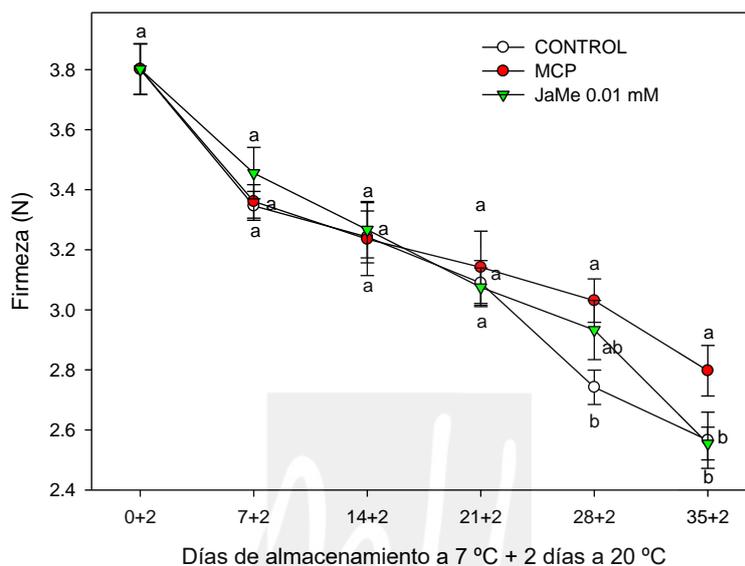


Figura 6. Evolución de la firmeza (N) en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

Al estudiar la evolución de la firmeza, se puede observar cómo este parámetro disminuyó a lo largo del almacenamiento (Figura 6).

Aunque durante el inicio del experimento no hubo diferencias significativas entre los distintos lotes, sí se observaron estas diferencias ( $P < 0,05$ ) hacia el final del almacenamiento. De hecho, se puede observar que el tratamiento con 1-MCP retrasó la firmeza en comparación con las muestras control y las muestras tratadas con JaMe al final del almacenamiento de manera significativa ( $P < 0,05$ ). Asimismo, el JaMe también tuvo un ligero efecto en el retraso de la pérdida de firmeza con respecto a los frutos control, aunque este efecto fue menor que el observado por los frutos tratados con 1-MCP.

La firmeza del plátano desciende por dos razones principales: cambios en la estructura de la pared celular por degradación de enzimas y degradación del

almidón durante el proceso de maduración (Soltani et al., 2011; Sanaeifar et al., 2016). En particular, la poligalacturonasa y la pectinmetilesterasa son dos enzimas importantes implicadas en el desmontaje enzimático de las pectinas durante el ablandamiento.

Muchas investigaciones han indicado que la maduración de la fruta está invariablemente acompañada por la activación de enzimas degradantes de la pared celular, lo que coincide con un bajo valor de firmeza durante el almacenamiento, como en el plátano (Ahmed y Palta, 2016).

La firmeza de la fruta es un parámetro clave que refleja la calidad del ablandamiento e influye en la aceptabilidad de la fruta por parte del consumidor. La firmeza del fruto se ha relacionado con la pérdida de agua tisular y la presión de turgencia (Paniagua, East, Hindmarsh, & Heyes, 2013). Por tanto, el efecto positivo que sobre las pérdidas de peso provocadas tanto por el 1-MCP como por el JaMe observadas anteriormente, sería la principal causa del mantenimiento de la firmeza observado en los distintos lotes.

#### 4.5. Sólidos Solubles Totales (SST)

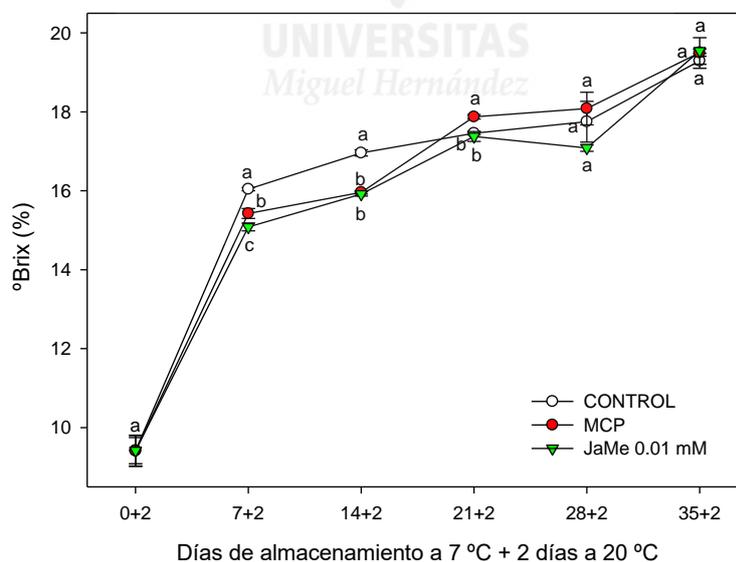


Figura 7. Evolución de los °Brix en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

La evolución del parámetro de los sólidos solubles totales aumentó a lo largo del almacenamiento a 7°C más 2 días a 20°C.

Sin embargo, existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) a lo largo del experimento, como se puede observar en la figura 7. De hecho, observamos que, aunque tanto los tratamientos con 1-MCP como los aplicados a través de vapores de JaMe, fueron capaces de retrasar la acumulación de azúcares, lo que nos estaría indicando un retraso en la maduración del fruto. Además, los lotes tratados con JaMe mostraron retrasos adicionales en comparación a los frutos tratados con 1-MCP en distintos puntos del muestreo. Esto nos estaría indicando un retraso de la maduración en los frutos tratados, especialmente con los vapores de JaMe (Wang et al., 2020)

#### 4.6. Acidez Titulable

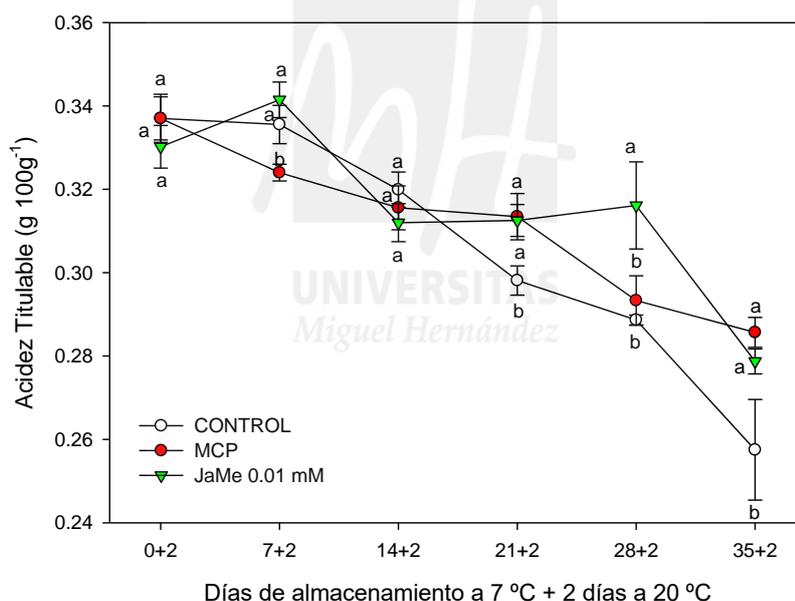
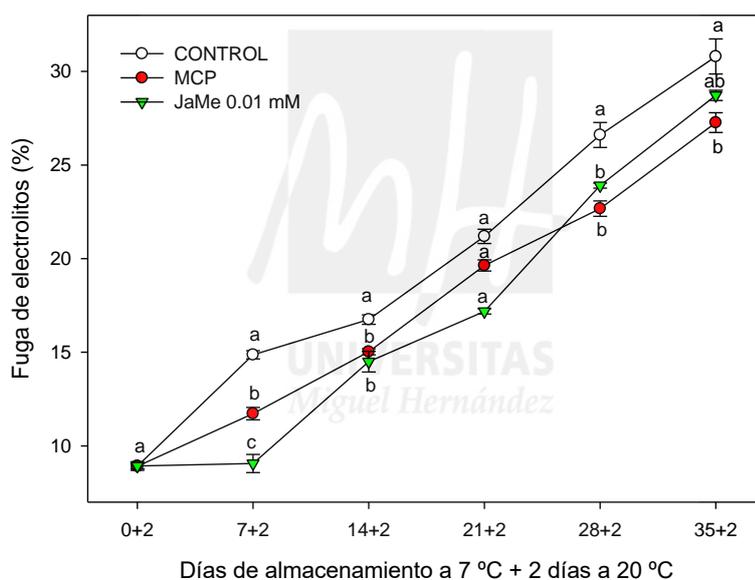


Figura 8. Evolución de la acidez titulable (g/100g) en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

Al estudiar la evolución de la acidez titulable, se puede observar como dicho parámetro disminuyó a lo largo del almacenamiento como era de esperar (Figura 8).

Entre los diferentes tratamientos aplicados, se observaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre las muestras control y las muestras tratadas con 1-MCP y JaMe, siendo las muestras tratadas con JaMe las que mantuvieron los niveles de acidez valorable durante más tiempo. Estos efectos provocados tanto por el 1-MCP como por el JaMe, se han observado en distintos frutos (Watkins et al., 2006; Sayyari et al., 2011). Los efectos positivos adicionales observados en los lotes tratados con JaMe, podrían estar relacionados con el mayor aporte energético suministrado por el JaMe en circunstancias de estrés, que estaría preservando el catabolismo tanto de los ácidos orgánicos como de los azúcares descritos anteriormente (Aghdam et al., 2018)

#### 4.7. Fuga de electrolitos



*Figura 9. Evolución de la fuga de electrolitos (%) en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).*

Como era de esperable, en la figura 9, se observa cómo la salida de electrolitos aumentó con el paso de los días durante el almacenamiento.

Sin embargo, las muestras control mostraron los mayores niveles de este parámetro durante todo el estudio mostrando valores significativamente superiores ( $P < 0,05$ ) en comparación con el resto de lotes. De hecho, los

tratamientos con 1-MCP y JaMe, redujeron este parámetro en un 14,81 y un 10,15 % respectivamente con respecto a los frutos control al final del experimento. Por otro lado, al inicio del estudio, los lotes tratados con 1-MCP aunque retrasaron la evolución de este parámetro fueron significativamente superiores ( $P < 0,05$ ) los valores en la salida de electrolitos que la observada en los frutos tratados con vapores de JaMe. Por lo tanto, desde un punto de vista general ambos tratamientos resultaron exitosos a la hora de reducir la desintegración de los tejidos que es la principal causa de la posterior salida de los electrolitos de las células vegetales. Este mismo efecto también se ha observado en otras variedades de plátano tanto tras la aplicación de tratamientos con 1- MCP (Jiao et al., 2018) como tras aplicar JaMe en estas frutas (Elbagouri et al., 2020; Wang et al., 2021).

#### 4.8. Clorofilas totales

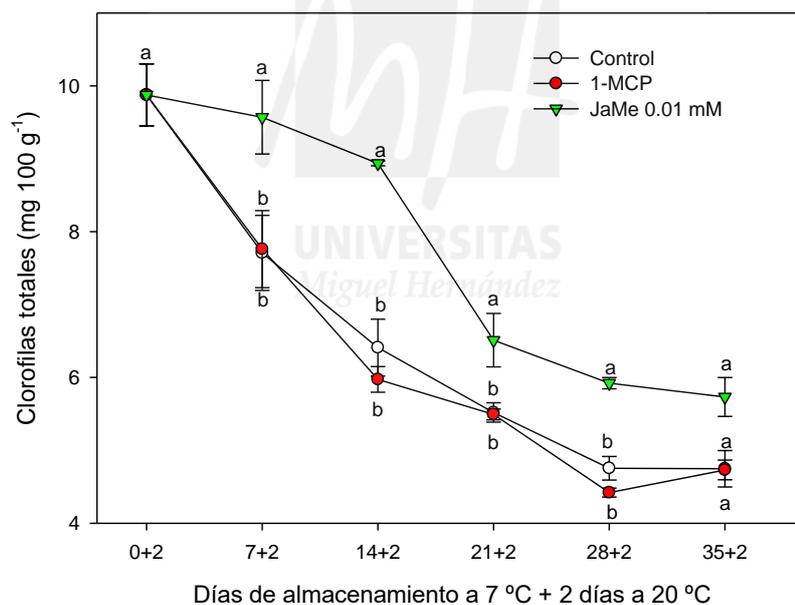


Figura 10. Evolución de las clorofilas totales (mg/100g) en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

Como se puede observar en la figura 10, el contenido de clorofilas totales disminuyó a lo largo del almacenamiento, el cual se practicó a 7°C más 2 días a 20°C.

Se pudo observar como las muestras tratadas con JaMe mostraron un contenido en clorofilas muy superiores en comparación a las muestras control y las muestras tratadas con 1-MCP. Estas diferencias observadas fueron significativas ( $P < 0,05$ ). De hecho, entre los lotes 1-MCP y controles no existieron estas diferencias. El carácter antioxidante, así como las propiedades del JaMe como tratamiento postcosecha manteniendo la calidad de los frutos ha sido descrito ampliamente por distintos autores Sun et al., 2013; Wang et al., 2020). Los cloroplastos son los orgánulos diana que en primer lugar sufren la oxidación determinada por los radicales libres que se producen en la respiración celular y cuya acción se vería reducida por el JaMe (Wang et al., 2020).

#### 4.9. Daños por frío

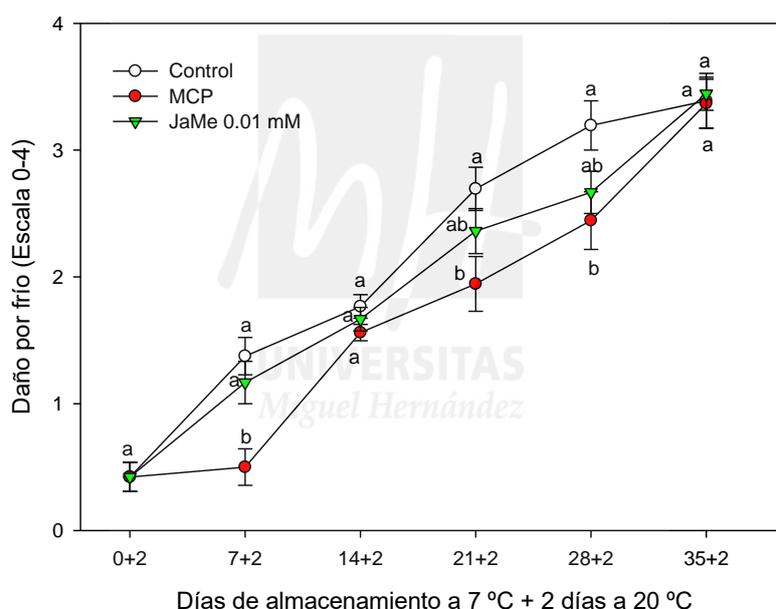


Figura 11. Evolución de los daños por frío (escala 0-4) en los plátanos controles y tratados con 1-MCP y JaMe (Jasmonato de metilo) 0,01 Mm tras el almacenamiento refrigerado más 2 días a 20°C. Los datos son la media  $\pm$  ES de tres réplicas de 3 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ( $P < 0,05$ ).

Los daños por frío en el plátano son uno de los principales factores que condicionan la vida útil de estos productos vegetales. Cuando se estudió la evolución de los daños por frío, se pudo comprobar como este aumentaba a lo largo del almacenamiento que se practicó a 7°C más 2 días a 20°C (Figura 11).

Los tratamientos con 1-MCP y MeJa mostraron una incidencia de estos significativamente inferiores ( $P < 0,05$ ) en diferentes puntos del estudio. Además, el efecto mostrado por el 1-MCP en este parámetro fueron superiores que los observados por la acción de los vapores de JaMe.

Los daños por frío están íntimamente ligados a la integridad de la membrana celular, y por tanto también a la firmeza del fruto. Como hemos observado en los resultados anteriores, tanto la firmeza del fruto como la salida de electrolitos mostraron mejores valores cuando los plátanos fueron tratados tanto con 1-MCP como con JaMe. Este efecto derivado de la mayor integridad de los tejidos que presentaban los distintos frutos tratados con ambas sustancias. Tanto el 1-MCP como el JaMe son capaces de mantener la membrana celular durante más tiempo en comparación con el control a través de una mayor protección de la integridad de los tejidos (Jiao et al., 2018; Elbagouri et al., 2020; Wang et al., 2021). Además, en el caso de los lotes tratados con JaMe, el efecto positivo podría estar debido a la menor oxidación de las membranas dado el carácter antioxidante que muestran los tratamientos con este elicitador (Sayyari et al., 2011; Elbagouri et al., 2020).

## **5.CONCLUSIONES**

Finalmente, tras evaluar los distintos resultados obtenidos, podemos confirmar que los tratamientos aplicados revelaron importantes efectos sobre el mantenimiento de la calidad de los plátanos estudiados en comparación con los frutos control.

Tanto el 1-metilciclopropeno como el jasmonato de metilo fueron capaces de retrasar la maduración del fruto, aunque hubo diferencias según la tecnología utilizada. De hecho, los tratamientos con jasmonato de metilo fueron mucho más eficaces que el 1-MCP a la hora de retrasar los parámetros de maduración del fruto estudiado tales como la respiración y producción de etileno, la evolución del color y de los sólidos solubles y acidez de la pulpa. Sin embargo, la mayor tolerancia a la conservación frigorífica de los plátanos se observó en los frutos tratados con 1-metilciclopropeno, probablemente debido a que este compuesto fue más eficaz que el jasmonato de metilo en el retraso de la evolución de

parámetros que condicionan directamente la senescencia de los frutos como es la firmeza de los tejidos que conllevó un menor daño por frío.

Sin embargo, el efecto sobre los plátanos fue similar con ambas tecnologías por lo que el jasmonato de metilo podría suponer una importante herramienta a la hora de sustituir el empleo de sustancias de origen artificial como el 1-metilciclopropeno. De esta forma se conseguiría actuar en consonancia con las preferencias de los consumidores que demandan a la sociedad el desarrollo de tecnologías basadas en compuestos de origen natural que puedan sustituir a compuestos químicos de origen artificial dado el potencial menor impacto tanto sobre el medio ambiente como en la salud de los consumidores.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Aghdam, M.S., Jannatizadeh, A., Luo, Z., & Paliyath, G. (2018). Ensuring sufficient intracellular ATP supplying and friendly extracellular ATP signaling attenuates stresses, delays senescence and maintains quality in horticultural crops during postharvest life. *Trends in Food Science and Technology*, 76: 67-81

Aurore, G., Ginies, C., Ganou-Parfait, B., Renard, C. M., & Fahrasmane, L. (2011). Comparative study of free and glycoconjugated volatile compounds of three banana cultivars from French West Indies: Cavendish, Frayssinette and Plantain. *Food chemistry*, 129(1), 28-34.

Balbontín, C., Gaete-Eastman, C., Vergara, M., Herrera, R., & Moya-León, M. A. (2007). Treatment with 1-MCP and the role of ethylene in aroma development of mountain papaya fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 43(1), 67-77.

Bantayehu, M., & Alemayehu, M. (2020). Efficacy of postharvest technologies on ripening behavior and quality of banana varieties grown in Ethiopia. *International Journal of Fruit Science*, 20(1), 59–75.

Blankenship, S. M., & Dole, J. M. (2003). 1-Methylcyclopropene: A review. *Postharvest Biology & Technology*, 28(1), 1-25.

Brasil, I. M., & Siddiqui, M. W. (2018). Postharvest quality of fruits and vegetables: An overview. *Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality*, 1-40.

Brat, P., Yahia, A., Chillet, M., Bugaud, C., Bakry, F., & Brillouet, J.M. (2004). Influence of cultivar, growth altitude and maturity stage on banana volatile compound composition. *Fruits*, 59, 75–82.

- Chen, M., Lin, H., Zhang, S., Lin, Y., Chen, Y., & Lin, Y. (2015). Effects of adenosine triphosphate (ATP) treatment on postharvest physiology, quality and storage behavior of longan fruit. *Food and Bioprocess Technology*, 8(5), 971-982.
- Creelman, R. A., & Mullet, J. E. (1995). Jasmonic acid distribution and action in plants: regulation during development and response to biotic and abiotic stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(10), 4114-4119.
- Darras, A. I., Joyce, D. C., & Terry, L. A. (2011). Methyl jasmonate and acibenzolar-S-methyl protect cut *Freesia hybrida* inflorescences against *Botrytis cinerea*, but do not act synergistically. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(1), 74-78.
- Delaney, T. P., Uknes, S., Vernooij, B., Friedrich, L., Weymann, K., Negrotto, D., & Ryals, J. (1994). A central role of salicylic acid in plant disease resistance. *Science*, 266(5188), 1247-1250.
- Deullin, R. (1963). Mesure de la couleur de la pulpe de la banane en phase préclimactérique. *Fruits*, 18(1), 23-26.
- Ding, X., Zhu, X., Ye, L., Xiao, S., Wu, Z., Chen, W., & Li, X. (2019). The interaction of CpEBF1 with CpMADSs is involved in cell wall degradation during papaya fruit ripening. *Horticulture research*, 6 (1), 13.
- Elbagoury, M.M., Turoop, L., Runo, S., & Sila, D.N. (2020). Regulatory influences of methyl jasmonate and calcium chloride on chilling injury of banana fruit during cold storage and ripening. *Food Sci. Nutr.* 20,9(2): 929-942.
- Endo, H., Miyazaki, K., Ose, K., & Imahori, Y. (2019). Hot water treatment to alleviate chilling injury and enhance ascorbate-glutathione cycle in sweet pepper fruit during postharvest cold storage. *Scientia Horticulturae*, 257, 108-715.
- Gaikwad, S. S., Sakhale, B. K., & Chavan, R. F. (2020). Effect of 1-MCP concentration, exposure time and storage temperature on post-harvest quality of mango fruit cv. Alphonso. *Food Research*, 4(3), 746-752.
- Golding, J.B., Shearer, D., Wyllie, S.G., & McGlasson, W.B. (1998). Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 14: 87-98.
- Hahlbrock, K., & Scheel, D. (1989). Physiology and molecular biology of phenylpropanoid metabolism. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, 40(1), 347-369.
- Jiang, Y., Joyce, D. C., & Macnish, A. J. (1999). Responses of banana fruit to treatment with 1-methylcyclopropene. *Plant Growth Regulation*, 28(2), 77-82.
- Jiao, W., Xi, Y., Cao, J., Fan, X., & Jiang, W. (2018). Regulatory effects of CaCl<sub>2</sub>, sodium isoascorbate, and 1-methylcyclopropene on chilling injury of banana fruit

at two ripening stages and the mechanisms involved. *J Food Process Preserv.* 42:e13442.

Kathirvelan, J., & Vijayaraghavan, R. (2020). Review on sensitive and selective ethylene detection methods for fruit ripening application. *Sensor Review*, 40(4), 421-435.

Keramat, B., Kalantari, K. M., & Arvin, M. J. (2010). Effects of methyl jasmonate treatment on alleviation of cadmium damages in soybean. *Journal of plant nutrition*, 33(7), 1016-1025.

Kozłowski, G., Buchala, A., & Métraux, J. P. (1999). Methyl jasmonate protects Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] seedlings against *Pythium ultimum* Trow. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 55(1), 53-58.

Li, D., Limwachiranon, J., Li, L., Du, R., & Luo, Z. (2016). Involvement of energy metabolism to chilling tolerance induced by hydrogen sulfide in cold-stored banana fruit. *Food chemistry*, 208, 272-278.

Lin, Y., Lin, Y., Lin, H., Chen, Y., Wang, H., & Shi, J. (2018). Application of propyl gallate alleviates pericarp browning in harvested longan fruit by modulating metabolisms of respiration and energy. *Food Chemistry*, 240, 863-869.

Luo, D. L., Ba, L. J., Shan, W., Kuang, J. F., Lu, W. J., & Chen, J. Y. (2017). Involvement of WRKY transcription factors in abscisic-acid-induced cold tolerance of banana fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(18), 3627-3635.

Luo, H., He, W., Li, D., Bao, Y., Riaz, A., Xiao, Y., & Liu, C. (2020). Effect of methyl jasmonate on carotenoids biosynthesis in germinated maize kernels. *Food chemistry*, 307, 125-525.

Luo, Z., Li, D., Du, R., & Mou, W. (2015). Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of banana fruit by enhanced antioxidant system and proline content. *Scientia Horticulturae*, 183, 144-151.

Maduwanthi, S. D. T., & Marapana, R. A. U. J. (2019). Comparative study on aroma volatiles, organic acids, and sugars of Ambul banana (*Musa acuminata*, AAB) treated with induced ripening agents. *Journal of Food Quality*, 1-9.

Martínez, D.J., & Fuentes, M.J. (2020). Apuntes de la asignatura de Frutas y Hortalizas. *Universidad Miguel Hernández*.

Mendoza, J., Rodríguez de Sousa, A., & Millán, P. (2012). Physicochemical characterization of Uchuva (*Physalis peruviana*) in the Silvia Cauca region. *Biotech. Agricultural Sect. Agroind*, 10, 188–196.

Palmer, J. T. (1932). The banana in Caribbean trade. *Economic Geography*, 8(3), 262-273.

- Pathak, N., Asif, M. H., Dhawan, P., Srivastava, M. K., & Nath, P., (2003). Expression and activities of ethylene biosynthesis enzymes during ripening of banana fruits and effect of 1-MCP treatment. *Plant Growth Regulation*, 40, 11-19.
- Pendharkar, P. Y., Hiwale, S. S., & Patil, H. B. (2011). Studies on the effect of post harvest treatments on chemical changes during ripening of banana fruits cv. Grand Naine. *International Journal of Processing and Post Harvest Technology*, 2(1), 32-34.
- Penninckx, I. A., Thomma, B. P., Buchala, A., Métraux, J. P., & Broekaert, W. F. (1998). Concomitant activation of jasmonate and ethylene response pathways is required for induction of a plant defensin gene in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 10(12), 2103-2113.
- Saeed, A., Thompson, A. K., Hafiz, I.A., & Así, A. A. (2001). Effect of temperature on the ripening behavior and quality of banana fruit. *Int. J. Agri. Biol.* 3(2), 224–227.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2011). Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. *Food Chem.* 124: 964-970.
- Shen, Y. H., Lu, B. G., Feng, L., Yang, F. Y., Geng, J. J., Ming, R., & Chen, X. J. (2017). Isolation of ripening-related genes from ethylene/1-MCP treated papaya through RNA-seq. *BMC genomics*, 18(1), 1-13.
- Shiota, H. (1993). New esteric components in the volatiles of banana fruit (*Musa sapientum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(11), 2056-2062.
- 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.
- Sisler, E. C., & Serek, M. (1997). Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiologia plantarum*, 100(3), 577-582.
- Smith, N. J., Seymour, G. B., Jeger, M. J., & Tucker, G. A. (1989). Cell wall changes in bananas and plantains. *In Symposium on Tropical Fruit in International Trade*, 283-290.
- Tamari, G., Borochoy, A., Atzorn, R., & Weiss, D. (1995). Methyl jasmonate induces pigmentation and flavonoid gene expression in petunia corollas: a possible role in wound response. *Physiologia Plantarum*, 94(1), 45-50.
- Thompson, A.K., & Seymour, G.B. (1982). Comparative effect of acetylene and ethylene gas on the initiation of banana ripening. *Ann. Appl. Biol.*, 101, 410.

Wainwright, H., & Hughes, P. (1990). Changes in banana pulp colour during ripening. *Fruits*, 45(1), 25-28.

Wan, C., Tan, P., Zeng, C., & Liu, Z. (2022). Arachidonic acid treatment combined with low temperature conditioning mitigates chilling injury in cold-stored banana fruit. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(1), 210-223.

Wang, H., Qian, Z., Ma, S., Zhou, Y., Patrick, J. W., Duan, X., & Qu, H. (2013). Energy status of ripening and postharvest senescent fruit of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *BMC plant biology*, 13(1), 1-16.

Wang, K., Shao, X., Gong, Y., Xu, F., & Wang, H. (2014). Effects of postharvest hot air treatment on gene expression associated with ascorbic acid metabolism in peach fruit. *Plant molecular biology reporter*, 32(4), 881-887.

Watkins, C.B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Advances*. 24 (4): 389-409.

Yang, X. T., Zhang, Z. Q., Joyce, D., Huang, X. M., Xu, L. Y., & Pang, X. Q. (2009). Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. *Food Chemistry*, 114(2), 383-390.

Zhu, X., Shen, L., Fu, D., Si, Z., Wu, B., Chen, W., & Li, X. (2015). Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 23-32.

Zhu, X., Ye, L., Ding, X., Gao, Q., Xiao, S., Tan, Q., & Li, X. (2019). Transcriptomic analysis reveals key factors in fruit ripening and rubbery texture caused by 1-MCP in papaya. *BMC plant biology*, 19(1), 1-22.

Miguel Hernández

## 6.1. Páginas web consultadas

MAPAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), Servicios de información [www.mapa.gob.es](http://www.mapa.gob.es). Consultada en junio de 2022.

Revista "Mercados" [www.revistamercados.com](http://www.revistamercados.com). Consultada en julio de 2022

BOE (Boletín Oficial del Estado) [www.boe.es](http://www.boe.es). Consultada en junio de 2022

El cultivo del banano [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com). Consulta en abril de 2022

Web de datos estadísticos de la FAO (Statistical Databases. Food & Agriculture Organization of the United Nations). <http://www.fao.org/faostat/>. Consultada junio de 2022.

Plátano-Cuidados poscosecha [www.frutas-hortalizas.com](http://www.frutas-hortalizas.com). Consultada en abril de 2022

University of California, Division of Agriculture, & Natural Resources [www.postharvest.ucdavis.edu](http://www.postharvest.ucdavis.edu). Consultada en julio de 2022.

Gobierno de Canarias [www3.gobiernodecanarias.org](http://www3.gobiernodecanarias.org). Consultada en julio de 2022

