

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

Desarrollo de un proceso para aumentar la vida útil del banano
Gros Michel (*Musa acuminata*) para facilitar su exportación

Trabajo de graduación presentado por Paola Gabriela Godoy
Gudiel para optar al grado académico de Licenciada en Ciencias de
los Alimentos

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

Desarrollo de un proceso para aumentar la vida útil del banano
Gros Michel (*Musa acuminata*) para facilitar su exportación

Trabajo de graduación presentado por Paola Gabriela Godoy
Gudiel para optar al grado académico de Licenciada en Ciencias de
los Alimentos

Guatemala,

2023

V.º B.º

Ana Silvia Colmenares de Ruiz

MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Tribunal examinador:

Ana Silvia Colmenares de Ruiz

MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Ana Alicia Paz

MSc. Ana Alicia Paz

Patricia Palacios de Palomo

MSc. Patricia Palacios de Palomo

Fecha de aprobación del examen de graduación:

(Guatemala, __07__ de _diciembre_ de 2023)

Prefacio

Primeramente quiero agradecer a Dios, quien siempre me ha bendecido y demostrado su amor siendo bueno conmigo, bendiciéndome con una buena familia, buenos amigos y brindándome oportunidades que ni yo había pensado que existían, permitiéndome también finalizar este proyecto.

A mi familia por su amor, respaldo, acompañamiento y confianza:

A mi padre Marlo Godoy por ser ejemplo de superación y consejero.

A mi madre Yanet Gudiel por siempre impulsarme a más y crear en mí el hábito de la excelencia.

A mi hermano Hugo Godoy por compartir mis penas y subirme el ánimo siempre que lo necesitaba.

La elaboración del presente proyecto de investigación surgió del interés en los productos hortofrutícolas y cómo su manejo y transformación puede impactar al país, así que agradezco la oportunidad de haber podido trabajar con un producto de tanta importancia en el país, especialmente porque es una fruta que ha estado presente a lo largo de mi vida.

Gracias a Diversibananos y David Chinchilla por permitirme trabajar con su producto y facilitarme las muestras.

Agradezco a la Universidad del Valle de Guatemala por el apoyo brindado a lo largo del proyecto, especialmente a los profesionales del Departamento de Alimentos:

- MSc. Ana Silvia Colmenares por su paciencia, disposición, confianza y apoyo durante todo el proyecto y a lo largo de la carrera.
- MSc. Ana Alicia Paz por presentarme el proyecto, ofrecerme siempre su ayuda y darme seguimiento.
- MSc. Patricia Palacios de Palomo por responder mis consultas y darme recomendaciones para la metodología del proyecto.
- Orvin Cotí, Iliana Vásquez y Kelly León por facilitar la disposición del material y equipo y el proceso de graduación.
- Maynor Ordoñez y Marisa Morales por animarme a seguir adelante.

Agradezco el apoyo de la Licda. Amalia Ruballos pues sin su guía con respecto al análisis estadístico de los resultados no podría haber terminado la tesis; gracias por siempre estar dispuesta a ayudarme no importando la cantidad de veces que solicité su ayuda.

Al Ing. Harvey Pacay e Ing. Edwinth Rodríguez del Instituto de Investigaciones, por su guía, apoyo y paciencia a lo largo de la experimentación.

A mis amigos y compañeros:

A Linda Samayo por escucharme y darme palabras de aliento.

A Ingrid Alemán y Sabrina Figueroa por brindarme su apoyo durante la experimentación, pues sin su ayuda no habría podido obtener los resultados.

A Valerie Soberanis y Brandon Aguilar por apoyarme cuando lo necesitaba.

A Maria Fernanda Figueroa, Vivian Fuentes, Carol Dardón, Jocelyn de León, Luz María Menchú, Marinivia Figueroa, Rocío Díaz, Belmaris Donis, Carlos Gonzalez, Gerardo Fuentes, Elizabeth Cajas, Joaquín Méndez, Melissa López, Liz Salic, Belém González, Sayli Soto, Laura Estrada, Dominique Anleu, Camila Cambroneró, Noely Ramírez, Sofía Imery, Amanda Ramírez, Brenda Osorio, Amy Zacarías, Alejandra Leon, Marivy González, Valeria Herrera, Natali Sagastume, Ana Barrientos, Alejandra López, Agibail Ramos y Monnica López, así como las personas con las que pude convivir en la Residencia y amigos cercanos, gracias por estar conmigo a lo largo de este proceso y esta etapa de mi vida.

Índice

Prefacio	V
Listado de cuadros	IX
Listado de figuras	XI
Resumen	XIII
Abstract	XV
I. Introducción	1
II. Antecedentes	3
A. Producción y consumo de banano	3
B. Importancia del banano	3
C. Problemática del banano como fruto climatérico	4
D. Extensión de vida útil del banano	4
III. Marco teórico	5
A. Aspectos generales del banano	5
B. Banano “Gros Michel”	6
C. Manejo de los cultivos de banano	7
D. Maduración del banano	11
E. Métodos de extensión de vida útil	13
IV. Justificación	15
V. Objetivos	17
A. General	17
B. Específicos	17
VI. Hipótesis	19
A. Comparación de parámetros fisicoquímicos entre tratamientos aplicados en bananos cultivados a 400 msnm	19
B. Comparación de la tasa de respiración entre tratamientos aplicados en bananos cultivados a 400 msnm	19
C. Comparación de la tasa de respiración entre bananos cultivados a diferentes alturas	19
VII. Metodología	21
A. Tratamientos para la extensión de vida útil del banano Gros Michel (<i>Musa acuminata</i>)	21

B.	Tasa de respiración del banano Gros Michel (<i>Musa acuminata</i>) a diferentes alturas.....	25
VIII.	Resultados y discusión.....	27
A.	Caracterización del banano Gros Michel (<i>Musa acuminata</i>) al inicio de la experimentación	27
B.	Comparación entre tratamientos para la extensión de vida útil del banano Gros Michel (<i>Musa acuminata</i>)	28
C.	Comparación de la tasa de respiración del banano Gros Michel (<i>Musa acuminata</i>) a diferentes alturas.....	40
IX.	Conclusiones.....	45
X.	Recomendaciones.....	47
XI.	Presupuesto.....	49
XII.	Cronograma de actividades	53
XIII.	Referencias	55
XIV.	Apéndice	65

Listado de cuadros

Cuadro 1.	Características iniciales promedio del banano Gros Michel.....	27
Cuadro 2.	Análisis de varianza (ANOVA) unifactorial para evaluar parámetros fisicoquímicos comparando diferentes tratamientos aplicados al banano Gros Michel cultivado a 400 msnm.....	29
Cuadro 3.	Pendiente obtenida de los datos de pérdida de peso en bananos Gros Michel de 400 msnm variando el tratamiento aplicado.	31
Cuadro 4.	Prueba de Kruskal-Wallis para la concentración de CO ₂ en bananos Gros Michel de 400 msnm variando el tratamiento aplicado.	37
Cuadro 5.	Resumen de los resultados de la aplicación de diferentes tratamientos en banano Gros Michel analizando diferentes variables.....	39
Cuadro 6.	Prueba de Kruskal-Wallis para la concentración de CO ₂ (ppm CO ₂ /kg) en banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.	40
Cuadro 7.	Presupuesto necesario para llevar a cabo el proceso para aumentar la vida útil de banano Gros Michel (<i>Musa acuminata</i>) y así facilitar su exportación.	49
Cuadro 8.	Programación de actividades para el desarrollo de un proceso para aumentar la vida útil del banano Gros Michel (<i>Musa acuminata</i>) para facilitar su exportación.....	53
Cuadro 9.	Pérdida de peso (g) registrada para cada tratamiento durante el proceso de medición.	65
Cuadro 10.	Dureza (N/m ²) registrada para cada tratamiento durante el proceso de medición.....	66
Cuadro 11.	Grados Brix (°Brix) registrados para cada tratamiento durante el proceso de medición.	67
Cuadro 12.	pH registrado para cada tratamiento durante el proceso de medición.....	67
Cuadro 13.	Concentración de CO ₂ (ppm CO ₂ /kg) registrada para cada tratamiento durante el proceso de medición.	68
Cuadro 14.	Concentración de CO ₂ (ppm CO ₂ /kg) registrada para cada altura durante el proceso de medición.	69
Cuadro 15.	Material utilizado por tratamiento para un día de medición; distribución para pruebas fisicoquímicas.	69
Cuadro 16.	Peso de los bananos Gros Michel utilizados para analizar la tasa de respiración de los tratamientos y la tasa de respiración de cultivos a diferentes alturas.....	69
Cuadro 17.	Test Tukey aplicado a las diferencias de pérdida de peso según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.	70
Cuadro 18.	Test Tukey aplicado a la dureza (N/m ²) según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.	70

Cuadro 19. Test Tukey aplicado al pH según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.70

Cuadro 20. Test Tukey aplicado a las concentraciones de CO₂ (ppm CO₂/kg) para banano Gros Michel aplicando diferentes tratamientos. 70

Cuadro 21. Test Tukey aplicado a las concentraciones de CO₂ (ppm CO₂/kg) para banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas. 71

Listado de figuras

Figura 1. Clasificación de la familia Musaceae con enfoque en el género <i>Musa</i>	5
Figura 2. Etapas entre la formación del fruto y la senescencia.....	11
Figura 3. Representación de la respiración aerobia en plantas.	12
Figura 4. Patrón respiratorio en frutas climatéricas.	12
Figura 5. Diagrama de flujo de los pasos para aplicar el tratamiento de ácido giberélico.....	22
Figura 6. Diagrama de flujo de los pasos para aplicar el tratamiento de goma arábica con quitosano.	22
Figura 7. Diagrama de flujo de los pasos para aplicar el tratamiento con absorbente.....	23
Figura 8. Medición de la producción de CO ₂ , temperatura y humedad de los recipientes y temperatura y humedad del refrigerador.	23
Figura 9. Recipientes utilizados para la medición de la tasa de respiración del banano Gros Michel aplicando diferentes tratamientos.....	24
Figura 10. Medición de peso, dureza, pH, grados Brix y cámara utilizada durante la experimentación.	24
Figura 11. Ubicación de las fincas de las cuales se obtuvieron las muestras de banano. Izquierda: Antigua Guatemala, centro: San Francisco Zapotitlán y derecha: Colomba Costa Cuca.	25
Figura 12. Recipientes utilizados para la medición de la tasa de respiración del banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.	25
Figura 13. Distribución del refrigerador al colocar todas las muestras de banano a analizar durante el estudio.	26
Figura 14. Banano Gros Michel en la etapa inicial de su maduración.	27
Figura 15. Temperatura (izquierda) y humedad (derecha) a través del tiempo del refrigerador que contenía las muestras de banano Gros Michel con diferentes tratamientos.	28
Figura 16. Daños físicos en los bananos Gros Michel utilizados para evaluar los distintos tratamientos.	29
Figura 17. Comparaciones múltiples de medias para evaluar las diferencias de pérdida de peso según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.....	30
Figura 18. Peso promedio del banano Gros Michel a través del tiempo según los tratamientos aplicados.	30
Figura 19. Comparaciones múltiples de medias para evaluar las diferencias de dureza según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.	32
Figura 20. Dureza promedio a través del tiempo en banano Gros Michel según los tratamientos aplicados.	32

Figura 21. Grados Brix promedio a través del tiempo en banano Gros Michel según los tratamientos aplicados.	33
Figura 22. Comparaciones múltiples de medias para evaluar las diferencias de pH según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.....	34
Figura 23. pH promedio a través del tiempo en banano Gros Michel según los tratamientos aplicados.	35
Figura 24. Tabla de maduración por día de banano Gros Michel sin tratamiento (muestra control).	36
Figura 25. Tabla de maduración por día de banano Gros Michel con tratamiento con ácido giberélico.	36
Figura 26. Tabla de maduración por día de banano Gros Michel con tratamiento con goma arábica y quitosano.	36
Figura 27. Tabla de maduración por día de banano Gros Michel con tratamiento con absorbente.	37
Figura 28. Comparaciones múltiples de medianas para evaluar la concentración de CO ₂ (ppm CO ₂ /kg) según el tratamiento aplicado al banano Gros Michel.	38
Figura 29. Concentración de CO ₂ promedio a través del tiempo para banano Gros Michel aplicando distintos tratamientos.	38
Figura 30. Temperatura (izquierda) y humedad (derecha) a través del tiempo dentro de los recipientes que contenían las muestras de banano Gros Michel con diferentes tratamientos.	39
Figura 31. Comparaciones múltiples de medianas para evaluar la concentración de CO ₂ (ppm CO ₂ /kg) de banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.	40
Figura 32. Concentración de CO ₂ promedio a través del tiempo para banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.	41
Figura 33. Diferencia en el tamaño del banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas. Izquierda: 400 msnm, centro: 900 msnm, derecha: 1200 msnm.	41
Figura 34. Temperatura (izquierda) y humedad (derecha) dentro de los recipientes que contenían las muestras de banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.....	42

Resumen

Para Guatemala el banano es de suma importancia, especialmente porque es el segundo producto con mayor exportación en volumen después del azúcar. El banano Gros Michel (*Musa acuminata*) cuenta con buen sabor y excelente calidad, por esta razón, se busca aumentar su consumo a nivel mundial, volviéndose necesario conocer cuáles son las condiciones que permiten el aumento de su vida útil y así facilitar su exportación.

En esta investigación se comparó el uso de tres tratamientos postcosecha distintos para verificar su influencia en la maduración, siendo estos el uso de ácido giberélico a 300 ppm, goma arábiga al 10% con quitosano 1.25% (p/v) en ácido acético 0.6% (p/p) en una proporción 1:1 y sobres absorbentes de etileno. Comparando su efectividad por medio de la medición de la pérdida de peso, dureza, sólidos solubles totales, pH, color y tasa de respiración. Además, se midió la tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) cultivado a diferentes alturas.

Los resultados fueron afectados por daños físicos en los bananos y cambios en la temperatura y humedad, especialmente las muestras del tratamiento con absorbente. También influyó en la tasa de respiración el tipo de recipientes utilizados.

Se determinó que el tratamiento con ácido giberélico se prefiere, pues extiende el color verde del banano Gros Michel (*Musa acuminata*). En cuanto a la tasa de respiración del banano, se determinó que si existe diferencia debido a la altura de cultivo. Sin embargo, para que estos datos tengan mayor validez se optaría por contar con un refrigerador que posea sensores de humedad y temperatura, muestras que no posean daños físicos y recipientes que minimicen la pérdida de gases.

Abstract

In Guatemala, bananas are of utmost importance, especially because they are the second product with the highest export volume after sugar. Gros Michel banana (*Musa acuminata*) has good flavor and excellent quality. For that reason, efforts are being made to increase its consumption worldwide and, therefore, it is necessary to know what conditions allow an improvement in its shelf life and thus facilitate its export.

Three different postharvest treatments were used in this research to verify their influence on ripening, these being the use of gibberellic acid at 300 ppm, gum arabic at 10% with chitosan 1.25% (w/v) in acetic acid 0.6 % (w/w) in a 1:1 ratio and ethylene absorbent envelopes. Their effectiveness was compared by measuring weight loss, hardness, total soluble solids, pH, color, and respiration rate. Furthermore, the respiration rate of the Gros Michel banana (*Musa acuminata*) grown at different altitudes was measured.

The results were affected by physical damage to the bananas and changes in temperature and humidity, especially in the case of the absorbent treatment samples. The type of containers used also influenced the respiration rate.

It was determined that treatment with gibberellic acid is preferred due to extension of the green color of the Gros Michel banana (*Musa acuminata*). Regarding the respiration rate of the banana, it was determined that there is a difference due to the cultivation altitude. However, for these data to be more valid, it is necessary to use a refrigerator equipped with humidity and temperature sensors, samples without physical damage, and containers that minimize gas loss.

I. Introducción

En el presente documento se muestra el proyecto de graduación “Desarrollo de un proceso para aumentar la vida útil del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) para facilitar su exportación”.

Los bananos son un producto globalizado cuya importancia radica principalmente en ser una fuente de crecimiento económico, además, aporta seguridad alimentaria y nutrición en zonas rurales en vías de desarrollo. Durante los últimos años la demanda ha adquirido fuerza, lo que significa un aumento en los ingresos económicos de los países exportadores, esto representa una oportunidad para Guatemala, ya que se encuentra entre los principales exportadores de la región, siendo el segundo producto con mayor exportación en volumen después del azúcar.

El banano Gros Michel (*Musa acuminata*), originario del sudeste asiático, es un cultivar que en algún momento tenía la mayor dominancia en el comercio, sin embargo, esta planta sufrió una de las epidemias de enfermedades más grande del mundo, provocando su sustitución por Cavendish (AAA). Ya que se considera un postre apreciado por su buen sabor y excelente calidad se busca extender su dominancia a través de la exportación.

Para exportar el banano Gros Michel se debe tener en consideración que es una fruta climatérica, es decir una fruta que madura incluso después de separarse del fruto de la planta, alcanzando con mayor rapidez la senescencia en comparación con una fruta no climatérica. Para prolongar su vida útil los bananos son cortados verdes y almacenados en condiciones de baja temperatura, O₂, CO₂ y una alta humedad. Además, se pueden utilizar métodos para su extensión de vida útil.

Para solucionar la problemática de la limitada vida útil de los bananos existen numerosos estudios donde se detallan métodos postcosecha que ayudan a retrasar la maduración. Entre los métodos más utilizados se encuentra el uso de retardantes químicos, recubrimientos y absorbentes de etileno, los cuales favorecen la reducción de la tasa respiratoria. Si bien se han utilizado estos métodos, los estudios para banano Gros Michel (*Musa acuminata*) son limitados. Por lo tanto, el fin de esta investigación es desarrollar un método que sea capaz de aumentar la vida útil del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) para facilitar su exportación, verificando a su vez si la altura a la que crecen puede afectar su tasa de respiración.

Para lograrlo se compararon tres tratamientos: ácido giberélico a 300 ppm, goma arábica al 10% con quitosano 1.25% (p/v) en ácido acético 0.6% (p/p) en una proporción 1:1 y sobres absorbentes de etileno evaluando la pérdida de peso, dureza, sólidos solubles totales, pH, color y tasa de respiración.

II. Antecedentes

A. Producción y consumo de banano

Los bananos son el primer producto globalizado del mundo moderno, su importancia radica principalmente en constituir una fuente de crecimiento económico, sin embargo, también aporta en la seguridad alimentaria y nutrición en zonas rurales de países en vías de desarrollo (Martínez-Solórzano y Rey-Brina, 2021; FAO, 2020). La demanda de bananos ha adquirido una fuerza considerable a partir del año 2016, creciendo significativamente los ingresos económicos, especialmente en los países en vías de desarrollo. Se espera que la producción de bananos siga creciendo a un ritmo de 1.5% anual, hasta alcanzar los 135 millones de toneladas en 2028. El banano es el cultivo principal en cuanto a volumen en frutas tropicales; se espera que para el 2028 represente el 53% de la producción mundial de frutas tropicales. En cuanto a su consumo, se estima un crecimiento lento; pero su bajo consumo en países desarrollados se traduce como un potencial de crecimiento. El consumo per cápita se ha mantenido estable desde 2010 siendo alrededor de 15 kg. En el comercio mundial se espera que el banano domine la exportación de frutas y alcance un volumen alrededor de 22 millones de toneladas en 2028, siendo los mayores exportadores Ecuador, Costa Rica y Guatemala (FAO, 2020).

B. Importancia del banano

Aunque solamente una parte de la producción del banano ingresa al mercado mundial, el banano es de suma importancia como producto de exportación, especialmente en América Latina y el Caribe, que aporta más del 76% del banano total en el mercado internacional (FAO, 2022a). En Guatemala es el segundo producto con mayor exportación en volumen después del azúcar (BANGUAT, 2023a). En 2022 se obtuvo un ingreso anual de divisas por exportación de 937 millones de dólares estadounidenses, únicamente superado por las divisas obtenidas por la exportación de cardamomo (1,112 millones de dólares estadounidenses) (BANGUAT, 2023b).

Además de su impacto económico al generar ingresos en zonas rurales por medio de empleos y divisas, el banano colabora con una mejor nutrición (Martínez-Solórzano y Rey-Brina, 2021). En los bosques húmedos y regiones de altitud media en África los bananos logran proporcionar más del 25% de las necesidades de carbohidratos a más de 70 millones de personas (Robinson, 1966, citado por Pillay y Tripathi, 2007). Su capacidad para producir frutos durante todo el año lo convierte en un cultivo de seguridad alimentaria y comercial en los trópicos (Jones, 2000, citado Pillay y Tripathi, 2007). El banano ayuda a que el cuerpo retenga calcio, nitrógeno y fósforo, compuestos que ayudan a construir tejidos sanos y regenerados. Este fruto permite combatir trastornos intestinales gracias a su capacidad de neutralizar la acidez de los jugos gástricos, lo que reduce la irritación de las úlceras al cubrir el revestimiento del estómago. También se utiliza para tratar quemaduras, heridas, estreñimiento, diarrea, artritis y anemia. Es una excelente fuente de potasio, proporcionando 23% del potasio que se necesita al día, contribuyendo con la disminución de la presión arterial y el riesgo de accidentes cerebrovasculares (Sampath Kumar *et al.*, 2012; Martínez-Solórzano y Rey-Brina, 2021). Se ha encontrado que ayuda a la prevención del crecimiento de células leucémicas y contiene diversos compuestos que son benéficos para la salud del corazón (Palde *et al.*, 2022).

El banano tiene otros papeles importantes; las hojas se pueden utilizar para techar casas, hacer platos, manteles, alimento para animales y en la preparación de alimentos. En África y partes de Asia se comen las partes no frutales como los brotes, el pseudotallo y las yemas masculinas (Simmonds, 1962, citado por Pillay y Tripathi, 2017). Las hojas y pseudotallos debido a su fibra de buena calidad se usan en la fabricación de cuerdas, artesanías, canastas y alfombras. Además, en los sistemas de cultivo mixto brindan sombra a cultivos como el cacao, pimienta negra, café y vainilla. También mantienen la estructura y la cubierta del suelo todo el año, siendo una protección contra la erosión del viento y la lluvia; si la biomasa se utiliza como mantillo, la fertilidad del suelo y la materia orgánica se mantienen estables (Pillay y Tripathi, 2017).

C. Problemática del banano como fruto climatérico

Las frutas climatéricas son aquellas que maduran incluso después de separarse el fruto de la planta, después de ser cortadas en la etapa preclimatérica. Este tipo de productos alcanza con mayor rapidez la senescencia en comparación con los no climatéricos debido a que el aumento del ritmo respiratorio aumenta los niveles de etileno, hormona que coordina y sincroniza el proceso de maduración (Omboki *et al.*, 2015, citado por Martínez-González, 2017). En esta categoría entran frutas como el banano (*Musa spp.*), papaya (*Carica papaya*), aguacate (*Persea americana*), mango (*Magnifera indica*) y melón (*Cucumis melo*). Los cambios asociados en la maduración son rápidos, intensos y variados, es por esta razón que el manejo postcosecha se vuelve de suma importancia, pues de lo contrario, el fruto puede madurar demasiado durante la distribución y causar una gran pérdida económica (FAO, 2000; Maduwanthi y Marapana, 2021).

Se ha establecido que las pérdidas postcosecha de banano van de 10-18%, pérdidas ocasionadas principalmente por daños mecánicos, plagas, maduración prematura, deformidades y mala manipulación (FAO, 2005, citado por Vásquez-Castillo *et al.*, 2019). El producto también puede ser rechazado para exportación si no se cumple con los estándares de calidad exigidos por los importadores, si este fuera el caso, se utiliza para alimento de animales o se termina vendiendo en el mercado nacional a un menor precio (FONTAGRO, 2006, citado por Vásquez-Castillo *et al.*, 2019).

D. Extensión de vida útil del banano

Los bananos se cosechan verdes para después madurarse en las áreas de mercado; si se dejan madurar en el árbol se parten, tienen un sabor harinoso y se reduce su vida útil. Es por esta razón que el periodo preclimatérico después de la cosecha resulta de vital importancia para los importadores y maduradores, pues los bananos se deben transportar antes de madurarse. Mientras el banano esté verde tiene una tasa de respiración basal baja y la producción de etileno es casi indetectable, a este periodo se le denomina “vida verde”; se busca que el periodo preclimatérico dure lo máximo posible (Hailu *et al.*, 2013). Entre las opciones para prolongar la vida verde del banano está la disminución de la temperatura a 14°C y el almacenamiento en condiciones con bajo O₂ ($\leq 8\%$) y alto CO₂ ($\geq 2\%$). El etileno es una hormona que se encarga de regular la maduración y senescencia de diversos productos agrícolas a nivel molecular, bioquímico y fisiológico (Marriott y Lancaster, 1983, citado por Hailu *et al.*, 2013).

Se debe al etileno que los frutos adquieren las características organolépticas óptimas para su consumo, sin embargo, también provoca la senescencia de los tejidos, generando efectos desagradables de calidad (Bapat *et al.*, 2010, citado por Balaguera-López, 2014). Conocer el mecanismo de acción del etileno ha permitido generar tecnologías capaces de reducir los efectos negativos, entre estos métodos están la refrigeración y uso de atmósferas controladas, sin embargo, son los retardantes químicos los que han mostrado mayor eficiencia en el control de la maduración y senescencia (Arora *et al.*, 2008, citado por Balaguera-López, 2014).

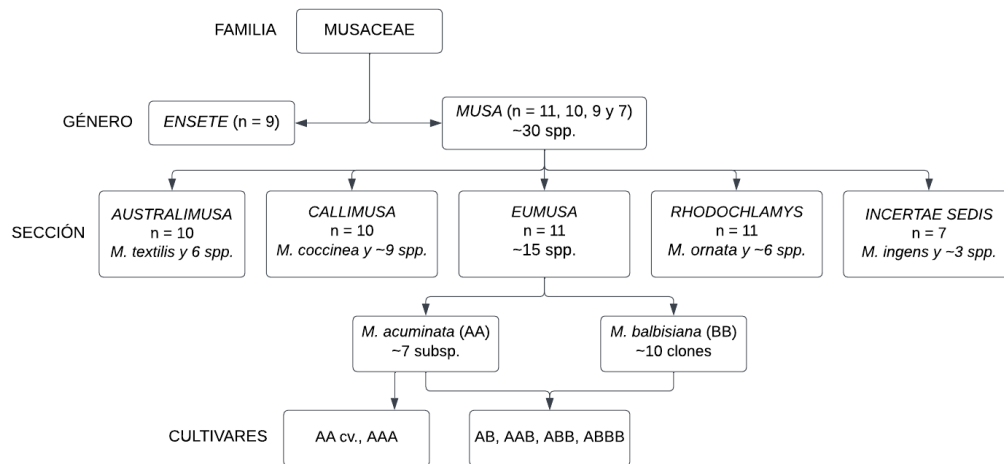
III. Marco teórico

A. Aspectos generales del banano

1. Clasificación del banano

El banano es una planta herbácea monocotiledónea representada por los géneros *Musa*, *Ensete* y *Musella*; se encuentra dentro de la familia Musaceae del orden Zingiberales (De Langhe *et al.*, 2009, citado por Campos y Caligari, 2017). La mayor parte de especies conocidas pertenecen al género *Musa*, casi todos los cultivares de banano identificados se derivan de dos especies diploides, *Musa acuminata* (genoma A, designado AA) y *Musa balbisiana* (genoma B, designado BB). Los cultivares que pertenecen a *Musa acuminata* tienden a ser el tipo de postre dulce que se pela y come, contienen un muy bajo contenido de almidón; mientras que los cultivares que pertenecen a *Musa balbisiana* contienen más almidón y menor contenido de azúcares, también se conocen como plátanos (Mohd Zaini *et al.*, 2022; Giraldo *et al.*, 2011). Las especies con dominancia *balbisiana* tienen la ventaja de ser resistentes y tolerantes a las sequías y enfermedades infecciosas como Sigatoka negra, Sigatoka amarilla y Moko (Giraldo *et al.*, 2011). Las combinaciones de orden superior de los genomas básicos AA y BB surgen a través de la restitución cromosómica en la meiosis, produciendo agrupaciones en los niveles triploide (grupos AAA, AAB y ABB) y en ocasiones tetraploide (Simmonds, 1962, citado por Campos y Caligari, 2017). Los triploides son preferidos por los consumidores debido a su vigor óptimo y su característica sin semillas (Simmonds, 1987, citado por Campos y Caligari, 2017).

Figura 1. Clasificación de la familia Musaceae con enfoque en el género *Musa*.



Fuente: Basado en Cheesman (1948); Simmonds (1962); Simmonds and Shepherd (1955), citados por Pillay y Tripathi, 2007.

2. Condiciones del cultivo

Musa acuminata es una especie silvestre de banano que se cultiva en regiones tropicales y subtropicales donde los climas son cálidos y húmedos (latitudes 30°N y 30°S). Se desarrolla mejor cuando la temperatura anual se encuentra entre 26-30°C, tolerando una temperatura máxima de 35-37°C. Se debe tener también en consideración que el banano es sensible a las heladas, a 16°C se

impide el crecimiento y si la temperatura es 13°C o menor se producen daños por frío, se detiene el crecimiento y se daña el tejido de la planta. Si se llega a una temperatura menor de -2°C la planta muere. Este cultivo prefiere precipitaciones de 2000-4000 mm distribuidas de manera uniforme a lo largo del año, pero puede crecer en áreas con 500 mm de lluvia con riego suplementario (el suelo debe ser fértil). Se desarrolla mejor cuando está expuesto al sol y en tierras bajas planas, sin embargo, puede prosperar también en pendientes. Se debe proteger de los vientos fuertes con barreras, por lo que es recomendable evitar lugares que sean frecuentes a los tifones o vientos ciclónicos; un viento de 25-50 km/h tritura y seca las hojas. Puede crecer desde el nivel del mar hasta 1800 m de altitud. Aunque el banano puede tolerar una amplia gama de suelos, se recomiendan suelos fértiles, bastante profundos y bien drenados; un suelo anegado provocará una producción pobre. Si se planta en suelos arenosos poco profundos se tiene que agregar compost, mantillo o materia orgánica en la zona de la raíz. Si se planta en planicies de marea, resistirá la sal pero tendrá un bajo rendimiento. Se considera que la acidez óptima para los suelos es un pH de 5.0-7.5 (Lim, 2012).

B. Banano “Gros Michel”

Conocido con el nombre *Musa acuminata* Colla (AAA Group) “Gros Michel”, *Musa acuminata* L. cv. “Gros Michel” o *Musa x paradisiaca* L. cv. “Gros Michel”, es un tipo de baya simple originaria del sudeste asiático, considerándose la península de Malaca como el primer centro de origen (Lim, 2012; Pillay y Tripathi, 2017). En Indonesia y Malasia se le conoce como Pisang Ambon o Pisang Embun, donde se considera un postre muy apreciado por su buen sabor y excelente calidad (Lim, 2012).

1. Historia

Existe una amplia variedad de textos antiguos hindúes, chinos, griegos y romanos que hacen referencia al banano, remontándose la referencia más antigua al año 500 a. C.; incluso algunos horticultores llegan a considerarlo como el primer fruto de la tierra. El origen de los bananos se remonta al sudeste asiático, específicamente en las selvas de Malasia, Indonesia o Filipinas; *Musa acuminata* se origina en la península de Malaca, mientras que *Musa balbisiana* en la India hacia el este del Pacífico Tropical (Pillay y Tripathi, 2017).

En el Nuevo mundo Gros Michel apareció primero en Martinica a principios del siglo XIX, la industria se instaló en Jamaica en 1835, para distribuirse 40 años después en América Central y el área del Caribe. Colombia fue el primer país en exportar chupones de banano Gros Michel de Jamaica (1892). Gros Michel se cultivó casi con exclusividad en Panamá debido a las infecciones por *Radopholus similis* (nematodo barrenador). Durante el cambio de siglo se introdujo el banano en Fiji (1981), Hawái (1903) y Australia (1910) (Martin *et al.*, 1998).

El banano Gros Michel fue alguna vez el banano con mayor dominancia en el comercio mundial, logrando establecer una buena reputación debido a sus racimos pesados y simétricos con fruta grande, color amarillo en su madurez, así como buena palatabilidad y vida útil. Sin embargo, durante la primera mitad del siglo XX, esta planta estuvo en el centro de una de las epidemias de enfermedades más graves del mundo, sucumbiendo plantaciones enteras a la enfermedad de Panamá, causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense raza 1. Buscando otras alternativas, en los años 1960 se reemplazó Gros Michel por Cavendish (AAA), el cual si era resistente a la raza 1. El Cavendish aunque es más productivo en varias condiciones ambientales, es más susceptible a nematodos y patógenos de manchas foliares, además, es más propenso a sufrir daños en postcosecha y tiene una vida útil menor (Smith *et al.*, 2018).

Cabe destacar que *Musa acuminata* Colla ha sido utilizado en Asia y África para controlar enfermedades transmisibles y no transmisibles debido a que es considerado una planta medicinal en comunidades tribales. Todas las partes de la planta incluido el tallo, pseudotallo, flor, savia y

raíz son utilizados para tratar diversas enfermedades como la diabetes, presión arterial, enfermedades respiratorias e incluso la tuberculosis. Este potencial para la prevención de enfermedades se puede atribuir al contenido rico y variado de fitoquímicos (Mathew y Negi, 2017; Kumar *et al.*, 2019).

2. Descripción botánica

Es una planta herbácea alta y vigorosa; el pseudotallo es alto, robusto y vigoroso (llegando a tener una altura de 5-7 m), tonalidad verde amarillento brillante con savia acuosa. Posee hojas de tamaño grande e intermedio con la nervadura central dorsal de color rosa púrpura. Inflorescencia completa, pedúnculo de 30-60 cm de largo, raquis con curva. Brote masculino ovoide, forma de bráctea intermedia con brácteas jóvenes ligeramente superpuestas, superficie externa cerosa, marrón-púrpura-roja y superficie interna roja. El peso del racimo es de 15-25 kg, contando con 10-14 manos, la cuales a su vez poseen 12-14 dedos. El fruto puede ser mediano o grande, 15-20 cm, con un diámetro de 3-4 cm y con una curvatura significativa en la parte superior. El ápice del fruto es puntiagudo con un estilo persistente, la sección transversal cuenta con crestas prominentes. La piel es verde y se torna amarilla a medida que madura; es lisa y moderadamente gruesa. Pedicelo de 10 cm de largo. La pulpa es color crema, moderadamente firme, bastante aromática y dulce (Liam, 2012, pp 529).

3. Propiedades nutricionales

La composición de nutrientes para una porción de 100g de banano Gros Michel reportada por Tee *et al.* (1997) es la siguiente: energía 84 kcal, agua 78.2 g, proteína 1.4 g, grasa 0.4 g, carbohidratos 18.7 g, fibra 0.6 g, cenizas 0.7 g, Ca 5 mg, P 4 mg, Fe 0.3 mg, Na 13 mg, K 332 mg, carotenos 120 µg, vitamina A 20 µg RE, vitamina B-1 0.03 mg, vitamina B-2 0.03 mg, niacina 0.4 mg y vitamina C 4.3 mg (Liam, 2012, pp 529).

En una recopilación de datos realizada por Mathew y Negi (2017) al estudiar el banano *Musa acuminata* Colla se encontró que la fruta madura también posee Zn 0.20-0.36 mg, ácido málico 0.25 mg, ácido oxálico 0.15 mg y ácido cítrico 0.004 mg.

C. Manejo de los cultivos de banano

1. Prácticas de precosecha

Las prácticas realizadas previas a la cosecha o precosecha se deben realizar de manera oportuna para así crear un ambiente que favorezca el desarrollo y calidad de los racimos a cosechar. Las principales labores a realizar son la limpieza del entorno del racimo, enfunde o embolsado, encintado, desflore, deschive, destore o desbellote y apuntalamiento. Es importante que estas actividades se realicen a tiempo, de lo contrario, disminuye la calidad y aumenta el descarte de fruta, disminuyendo la fruta que podría comercializarse (Murrieta y Palma, 2018).

a. Limpieza del entorno del racimo

Consiste en limpiar el entorno de la planta que emitirá el racimo y el entorno del racimo brotado, su finalidad es obtener frutos con una buena presentación, pues al limpiar el entorno se prevén daños externos como cortes, magulladuras y heridas y daños fitosanitarios. Para la limpieza se deben eliminar las hojas o partes de las mismas que pueden causar lesiones al racimo, eliminar las hojas con daños visibles, eliminar o desviar los hijuelos que se desarrollan debajo del racimo, pues la punta de sus hojas pueden rozar con el fruto produciendo manchas o cicatrices y eliminar el material necrosado (tejido muerto) en el pseudotallo. Todo el material eliminado debe ser cortado en pequeñas partes (picacheado) para que se facilite su descomposición (Murrieta y Palma, 2018). La limpieza también permite que los racimos estén más expuestos a la luz, aire y calor (Herrera y Colonia, 2011, citado por Ramírez, 2020).

b. Enfunde o embolsado

En esta actividad se coloca una bolsa plástica perforada (funda) sobre el racimo. Se ha establecido que se puede realizar durante la primera o segunda semana de desarrollo, cuando la bellota brota y dobla. La función del embolsado es crear un microclima adecuado para aumentar el largo y grosor de los dedos. Ayuda a reducir el intervalo entre la floración y la cosecha y previene los daños, además, previene los daños causados por insectos, pájaros, roedores y también protege al racimo de la radiación solar y los cambios bruscos en la temperatura (Escalier y Grágeda, 2015; Murrieta y Palma, 2018; Izquierdo *et al.*, 2017, citado por Ramírez, 2020). Es posible reutilizar las bolsas para una segunda ocasión después de ser lavadas y desinfectadas, sin embargo, las bolsas rotas o viejas deben depositarse en un área específica del bloque de producción y no ser esparcidas en la parcela (Escalier y Grágeda, 2015).

El procedimiento para el embolsado comienza al ubicar las bellotas que se han descolgado y doblado, en caso existan bellotas con brácteas abiertas es necesario eliminar aquellas que no protejan los futuros frutos. Se voltea la hoja capote hacia el lado opuesto de la bellota, se eliminan hojas que dificulten el desarrollo del racimo y se coloca la funda a la bellota identificada. La funda se amarra donde se forman las brácteas o en la cicatriz de esta si fueron eliminadas. Cabe destacar que un mal embolsado puede quemar la fruta y las puntas en los dedos y un embolsado a destiempo permite el ataque de trips (Murrieta y Palma, 2018).

c. Encintado

El encintado es el que permite conocer la madurez biológica de la fruta (edad del fruto), gracias a esta actividad se planifica y decide el momento en el que se cosechan los racimos y si se logra realizar de manera rigurosa es posible cosechar el banano con el mismo grado de madurez. El encintado se realiza cada semana, cambiando a su vez los colores utilizados (Rojas *et al.*, 2007, citado por Ramírez, 2020; Murrieta y Palma, 2018). El color de la cinta depende del color correspondiente a la semana y del calendario de cosecha planificado por los compradores; al finalizar el encintado es necesario llenar un cuadro de registro. Existen dos formas de realizar el encintado, la cinta se puede colocar en la parte superior del racimo asegurando el amarre de la bolsa plástica o se puede amarrar en la parte inferior de la bolsa (Murrieta y Palma, 2018).

d. Desflore

Consiste en la eliminación temprana de las estructuras florales adheridas al banano, las flores se eliminan generalmente cuando se encuentran secas. El desflore se realiza en dos etapas. El primer desflore se realiza cuatro días después del embolsado, se lleva a cabo en la mitad superior del racimo cuando los dedos se encuentran en posición horizontal al suelo. El segundo desflore se realiza dos días después del primer desflore cuando la mitad inferior del racimo ya se encuentra en posición horizontal al suelo. Las flores se quitan cuando los frutos se encuentran horizontales al suelo para evitar que el látex cristalice y manche el producto. El desflore previene problemas como pudrición falsa del dedo y punta de cigarro (Gonzabay, 2017, citado por Ramírez, 2020; Murrieta y Palma, 2018)

e. Deschive

El deschive, también conocido como poda de manos inferiores, consiste en eliminar los dedos de la última mano, dejando únicamente un dedo testigo o marcador. Se realiza cuando el racimo ha descolgado totalmente y su finalidad es incrementar la longitud y grosor de los dedos para así cumplir con los requisitos del mercado internacional, esta práctica también favorece la maduración uniforme del racimo. Existen tres modalidades: eliminar una, dos o tres manos por encima del dedo marcador; la modalidad depende del número de bananos que tenga el racimo, la variedad y los requerimientos del mercado (Murrieta y Palma, 2018).

f. Destore, desbellote o despupo

Esta práctica consiste en eliminar la bellota con ayuda de una horqueta de madera o de forma manual. Se debe dejar un raquis (tallo central del racimo) de 8-10 cm, pues ayuda a evitar problemas de pudrición que puedan afectar el racimo. Después de ser cortada la bellota debe ser seccionada en pequeñas partes para favorecer su descomposición y evitar que sea hospedera de trips y otros insectos. Realizar esta actividad permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes y permite mejorar el peso del racimo, permitiendo una producción mayor de dedos aprovechables para el mercado (Murrieta y Palma, 2018).

g. Apuntalamiento

El apuntalamiento se utiliza para evitar que las plantas se doblen o vuelquen, problemas que causan una pérdida para los productores. Esta actividad consiste en dar soporte a las plantas y se puede realizar de dos formas. La primera se lleva a cabo antes de colocar la funda, donde un suncho (cinta plástica) se coloca en la parte superior de la planta, alrededor de los peciolos del penacho de las hojas vecinas a la inserción del raquis para después tensarse a dos vientos y ser amarrados en la parte inferior del pseudotallo de plantas vecinas. Se recomienda que el amarre sea con nudo corredor para facilitar su retiro. La segunda forma se realiza cuando el racimo se descuelga por completo o está en proceso de llenado, se utiliza un puntal de madera que se coloca en el pseudotallo a un costado del racimo (sin rozarlo) y cerca de su punto de inserción (Murrieta y Palma, 2018).

2. Prácticas de cosecha

Cosecha se define como la actividad final de todas las actividades realizadas en el campo, esta abarca desde el corte hasta el traslado del racimo al centro de empaque. En esta etapa se debe cuidar conservar las características sensoriales de la fruta, velando por cumplir con lo establecido en las normas de exportación. Para la cosecha se debe tomar en cuenta la edad y calibre del banano, este se cosecha verde para prolongar su vida verde, en el estado de desarrollo conocido como “madurez fisiológica”. Se debe tener en consideración que el grado de corte de la fruta depende de la distancia del país al que se está exportando. Una práctica utilizada para determinar la edad de los racimos y programar la cosecha es el encintado; una práctica menos común es basarse en la apariencia externa de la fruta (Escalier y Grágeda, 2015; Murrieta y Palma, 2018).

Las principales labores desarrolladas en la cosecha son el corte del pseudotallo, la recepción del racimo, el corte del raquis y el traslado. Es importante que los operarios que se encargan del corte del racimo estén conscientes sobre la importancia de este paso, pues sus acciones no solamente pueden tener una repercusión en la calidad de la fruta, sino también en los beneficios económicos del productor. La cuadrilla debe contar con un ayudante, un cortador o virador, arrumadores y un garruchero. El ayudante se encarga de calibrar el racimo, retirar los puntales o soportes y eliminar todas las hojas de la planta para evitar posibles daños a hijos de plantas vecinas. El cortador o virador realiza el corte del pseudotallo a una altura conveniente para que la planta se agobie (la planta se dobla debido al peso) y el racimo caiga sobre la almohadilla acolchonada o cuna, la cual es sostenida por el arrumador. El corte se debe realizar en forma de “V” en el tercio superior de la planta y así evitar que el racimo golpee el suelo o el pseudotallo. Cuando el racimo se encuentra bien colocado se procede a cortar el raquis (remanente de gran volumen). El garruchero es el que se encarga de colocar los racimos en el funicular, convoy de garruchas o cable vía y después se encarga de transportarlos a la empacadora; utilizar el cable vía evita que la fruta se dañe durante su movilización. Si el centro de acopio se encuentra cerca a la plantación en lugar de utilizar el cable vía se puede trasladar por yunta o el arrumador mueve un racimo a la vez (AGROCALIDAD, 2016; Escalier y Grágeda, 2015; Murrieta y Palma, 2018; Chávez-Estudillo *et al.*, 2017).

Otras buenas prácticas de manufactura utilizadas en la cosecha de banano son: utilizar herramientas de corte con filo, anotar la cantidad de racimos cosechados para el proceso de empaque

en el cuaderno de campo, realizar el corte de racimos con antelación, evitar el roce del nylon con los racimos para evitar daño mecánico y no exponerlos a los rayos del sol por mucho tiempo, los racimos deben estar cubiertos hasta llegar al patio de racimos y así evitar que se manchen por el latex del raquis cortado, no se deben cosechar para embarque racimos que tengan dedos maduros o pasados de edad, con menos de 5 hojas funcionales, plantas caídas o con síntomas de enfermedades, la fruta no debe tocar el suelo en ningún momento, por último, el arrumador solo puede recibir un racimo a la vez (Escalier y Grágeda, 2015; AGROCALIDAD, 2016; Murrieta y Palma, 2018).

3. Prácticas de postcosecha

Las prácticas postcosecha buscan el acondicionamiento y presentación de la fruta guiándose por el mercado destino, para posteriormente alistarlo para su distribución. Las principales labores a realizar son la recepción y evaluación del racimo, desmane, lavado, selección y clasificación, tratamiento químico y empaque (Murrieta y Palma, 2018).

a. Recepción y calibración del banano

La recepción consiste en la llegada del banano al patio de racimos o centro de proceso, ahí los racimos son colgados en una viga de madera para facilitar su manipulación. Si los racimos todavía poseen flores es necesario que se eliminen de abajo hacia arriba para evitar la caída de látex en los dedos del racimo. En cuanto a la calibración, se debe determinar el grosor y el tamaño de la fruta; con ayuda de un calibrador se toma la medida del dedo central de la segunda mano (de arriba hacia abajo) y con ayuda de una cinta métrica se toma el largo del dedo central (Murrieta y Palma, 2018).

b. Desmane

Desmane es la práctica en la cual con ayuda de cuchillos curvos con filo se separan las manos del raquis. El corte se realiza de tal manera que se mantenga una buena calidad de corona para tener los dedos firmes y así perfeccionar el arreglo y saneamiento de los clústeres (Murrieta y Palma, 2018). Esta es una operación que se trabaja de manera manual (Jiménez, 2014). El desmanador (personal a cargo) debe tener cuidado de realizar esta actividad de forma correcta, pues en esta etapa ocurre la mayor cantidad de daño de la fruta (Escalier y Grágeda, 2015).

c. Lavado

Los clústeres se colocan en una tina con agua para ser lavados, en esta etapa lo que se busca es eliminar el látex de las coronas producto de los cortes realizados durante el desmane. La tina debe tener agua limpia con una concentración controlada de cloro, además, en algunas ocasiones se utiliza alumbre de potasio. Los clústeres deben ser sumergidos con la corona hacia abajo, para favorecer la eliminación del látex. En cuanto al recorrido, se espera que dure entre 10-15 min (Murrieta y Palma, 2018).

d. Selección y pesaje

Consiste en retirar los gajos de la piscina de enfriamiento para colocarlos en bandejas de plástico que pasan por una balanza, se espera que cada bandeja contenga el número adecuado de gajos con peso requerido para una caja. Los gajos se deben clasificar por tamaños y si presentan defectos deben ser descartados (Escalier y Grágeda, 2015; Murrieta y Palma, 2018).

e. Tratamiento de la corona

La desinfección y protección de las coronas consiste en un tratamiento con productos químicos o naturales que buscan evitar la pudrición y el crecimiento de moho en la corona durante su traslado y maduración. La concentración a utilizar depende de la época del año, el tiempo de transporte y las exigencias del mercado. También se debe tomar en cuenta que antes de aplicar un tratamiento las coronas deben estar mayormente secas para que la fórmula pueda realizar su acción específica (Escalier y Grágeda, 2015; Murrieta y Palma, 2018).

f. Empaque

Es una de las actividades con mayor importancia, pues de él depende la presentación, protección y manejo del producto para conservar su calidad. Consiste en colocar los gajos en una caja de cartón (principalmente utilizadas para la exportación) en función del tamaño y el peso, utilizando patrones de empaque de cuatro o cinco filas. Debido a su importancia se recomienda trabajar con personal capacitado, por lo que se deben realizar capacitaciones constantes (Escalier y Grágeda, 2015; Murrieta y Palma, 2018).

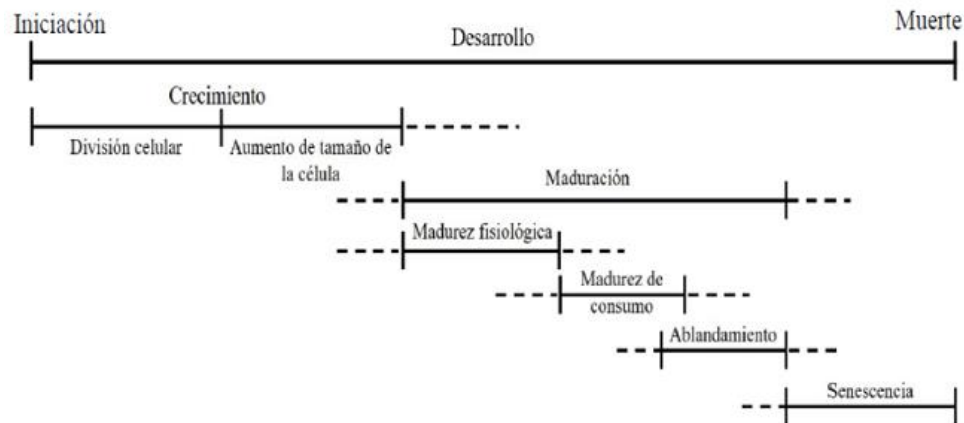
D. Maduración del banano

1. Etapas del desarrollo de una fruta

El desarrollo de una fruta se puede dividir en tres etapas: crecimiento, desarrollo y maduración, seguidas del ablandamiento y senescencia (Alba *et al.*, 2005, citado por Martínez-González *et al.*, 2017). Después de la polinización y fertilización, gracias a la división celular se llevan a cabo las primeras etapas de desarrollo. El fruto empezará a crecer y alargarse debido a la aparición de vacuolas en las células, posteriormente en la fase de maduración las células aumentan su tamaño, manteniendo relativamente constante su número (Martínez-González *et al.*, 2017).

Varias etapas son llevadas a cabo entre el inicio del desarrollo del fruto y el final de la senescencia. La madurez fisiológica ocurre antes del desarrollo completo del fruto, el cual después de ser cosechado debe aprovechar sus propios sustratos acumulados para sobrevivir. Este paso se considera un paso intermedio entre el fin del crecimiento y el inicio de la senescencia (Dos Santos *et al.*, 2015, citado por Martínez-González *et al.*, 2017). Las actividades bioquímicas y fisiológicas que influyen en el ablandamiento de la fruta son irreversibles una vez iniciadas, sin embargo, se podría reducir o retrasar su velocidad si se realizan procedimientos como el tratamiento con químicos o uso de un empaque especial (Omboki *et al.*, 2015, citado por Martínez-González *et al.*, 2017).

Figura 2. Etapas entre la formación del fruto y la senescencia.



Fuente: Watada *et al.*, 1984; Dos Santos *et al.*, 2015, citados por Martínez-González *et al.*, 2017.

2. Cambios fisicoquímicos ocurridos en la postcosecha

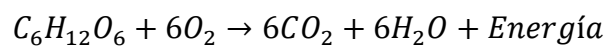
Las frutas y verduras son estructuras vivas que se encuentran sujetas a cambios debido a la continuación de la actividad metabólica después de la cosecha. Los tejidos continúan llevando transformaciones metabólicas entre sus componentes orgánicos; también se pierde agua por transpiración y evaporación, provocando el secado y marchitamiento de los productos (Villamizar de Borrero, 1984). Es durante la maduración que el fruto activa en conjunto rutas bioquímicas que hacen que el producto sea más atractivo y deseable por los consumidores, sin embargo, esta etapa

también puede ocasionar grandes pérdidas económicas (Martínez-González *et al.*, 2017). Los cambios en el banano que ocurren durante la maduración incluyen un incremento en el contenido de azúcares, ablandamiento de la pulpa, reducción de la astringencia, generación de compuestos volátiles y un cambio de color en la cáscara, pasando de verde a amarillo (Maduwanthi y Marapana, 2021).

La respiración es el proceso metabólico más importante después de una fruta ser cosechada. El tipo e intensidad de este proceso depende de: tipo de órgano de la planta (raíz, tallo, hojas o fruto), heridas de células vegetales, temperatura y humedad relativa del aire en el almacenamiento y las concentraciones de CO₂, O₂ y etileno (C₂H₄) en el ambiente de almacenamiento. La actividad respiratoria varía según la función del órgano, por ejemplo es mayor en las hojas que en las raíces, incluso varía entre variedades de un mismo producto y con respecto a las relaciones de tiempo. Las lesiones estimulan la tasa de producción de etileno, la respiración, el deterioro, la senescencia y la maduración. La temperatura es posiblemente el factor más importante en la respiración. Se ha encontrado que aumentar 10°C la temperatura provoca que las reacciones biológicas se dupliquen o tripliquen. Al utilizar las temperaturas mínimas toleradas (sin llegar a producir lesiones fisiológicas), se obtienen tasas respiratorias menores que ayudan a demorar el ascenso climatérico y disminuyen el punto máximo de la curva de respiración. La humedad relativa desempeña un papel vital en la calidad de los productos al influir en la pérdida de humedad. Se ha encontrado que una humedad relativa de 90-100% extiende la vida en un 50%. En cuanto a las concentraciones de gases, si se restringe el O₂, se conserva la calidad del producto por más tiempo (Villamizar de Borrero, 1984; Kandasamy, 2022).

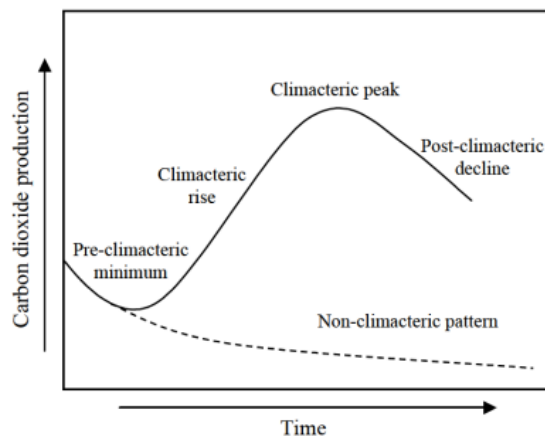
El proceso de respiración involucra el consumo de oxígeno (O₂), que por medio de una descomposición oxidativa logra transformar el almidón, azúcares y compuestos orgánicos en moléculas más simples, como el dióxido de carbono (CO₂) y agua. Esta transformación provoca una producción de energía en forma de calor. La tasa de respiración generalmente se expresa en términos de consumo de O₂ y la evolución de CO₂ por unidad de peso de producto por unidad de tiempo, también se puede expresar como calor liberado y pérdida de sustrato, como lo indica la pérdida de masa. La tasa de respiración es un índice del cambio metabólico en el producto y es proporcional a la tasa de deterioro; cuanto mayor sea la tasa, más rápido será el deterioro.

Figura 3. Representación de la respiración aerobia en plantas.



Fuente: Kandasamy, 2022.

Figura 4. Patrón respiratorio en frutas climatéricas.



Fuente: Saltveit, 2016, citado por González, 2018.

Para la evaluación de la madurez las técnicas más utilizadas son: medición de grados Brix con ayuda de un refractómetro, pH con un potenciómetro, acidez titulable con el método de titulación estándar, elasticidad con un analizador de textura, humedad con una balanza de humedad y firmeza con un penetrómetro, también se puede evaluar el color y el contenido de clorofila (Sandoval, 2021).

3. Etileno

El crecimiento y desarrollo de un fruto depende de la producción de hormonas, considerándose la más importante el etileno. Esta hormona es la responsable de controlar la velocidad de maduración, duración de vida de anaquel y la mayoría de eventos de maduración en frutos climatéricos (Martínez-González *et al.*, 2017). La aplicación de etileno de forma programada permite entregar en los distintos comercios volúmenes concretos de frutos, normalizando la demanda y oferta, mejorando también los precios a nivel consumidor/productor (Jordán y Caseretto, 2006, citado por Gavin *et al.*, 2021).

a. Biosíntesis del etileno

La biosíntesis del etileno se produce en el citoplasma en una reacción de 3 pasos. Todo comienza a partir del aminoácido metionina (MET), este se transforma en *S*-adenosil-L-metionina (SAM) por acción de la enzima SAM-sintetasa (SAMS). SAM por la acción catalítica de la enzima AAC-sintasa (ACS) se metaboliza a ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), después la enzima ACC-oxidasa (ACO) cataliza la conversión del ACC en etileno, ácido cianhídrico (HCN) y dióxido de carbono (CO₂) (Sadeghi *et al.*, 2019, citado por Gavin *et al.*, 2021). El ACC puede transportarse de forma activa a las células objetivo para almacenarse o desactivarse mediante conjugación para producir jasmonil-ACC, malonil-ACC, γ -glutamil-ACC. En ocasiones la biosíntesis autocatalítica del etileno puede regular su propia producción (Fernández y Stepanova, 2019, citado por Gavin *et al.*, 2021). La metionina se recicla en el ciclo de “Yang”, esto implica tener altas concentraciones de etileno aunque no se tengan altos niveles de metionina intracelular (Barry y Giovannoni, 2007, citado por Gavin *et al.*, 2021).

Entre los compuestos que pueden retardar el etileno los más comunes son el 1-metilciclopropeno y el propileno, también se puede hacer uso de atmósferas controladas y de temperatura (Corpas y Tapasco, 2014). Si se desea controlar el etileno con temperatura se debe tener en consideración que cada fruta tiene su rango específico de temperatura y su tiempo de refrigeración, ya que si el producto se somete a estrés por frío lo que se consigue son cambios fisiológicos y bioquímicos indeseables como picaduras, traslucidez del mesocarpio, oscurecimiento de las semillas e infecciones secundarias (Gavin *et al.*, 2021).

E. Métodos de extensión de vida útil

1. Retardantes químicos

Los retardantes químicos pueden ser clasificados en inhibidores de la síntesis de etileno, inhibidores de la señalización (acción) del etileno y también existen oxidantes del etileno (Balaguera-López, 2014).

a. 1-Metilciclopropeno (1-MCP)

El 1-MCP (C₄H₆) es una olefina cíclica en estado gaseoso con un peso molecular de 54. Esta ocupa los receptores del etileno de manera irreversible (en algunas ocasiones se puede recuperar la sensibilidad al etileno debido a la síntesis de nuevos receptores), bloqueando la cascada de transducción de señales que conllevan a la expresión de genes relacionados con la respuesta al etileno (In *et al.*, 2013, citado por Balaguera-López, 2014). Tiene una afinidad 10 veces mayor por los receptores que el etileno y actúa a concentraciones menores, también puede regular la biosíntesis del etileno al inhibir el proceso autocatalítico (Blackenship y Dole, 2003, citado por Balaguera-López, 2014). Tiene bastantes puntos a favor, no es tóxico, es inodoro, estable a temperatura

ambiente, es fácil de aplicar y eficaz, además, se utiliza en varias especies agrícolas (Balaguera-López, 2014).

El 1-MCP funciona tanto en frutos climatéricos como no climatéricos. En frutos climatéricos retrasa la maduración al disminuir la tasa respiratoria y la síntesis de etileno, mientras que en los frutos no climatéricos pueden actuar otros receptores. Para ambos casos se han encontrado beneficios en color, firmeza, sabor y vida útil (Meoño, 2017).

b. Ácido giberélico (AG₃)

El ácido giberélico es un fitoregulator con acción hormonal que ayuda a estimular y regular el desarrollo de las plantas (Miransari y Smith, 2014, citado por Guzmán, 2021). Se ha observado que podría suprimir la actividad de la malato-deshidrogenasa, retrasando la maduración (Meoño, 2017). Su uso en banana Giant Cavendish resultó beneficioso, pues retardó el desarrollo de color en el banano, aumentó la relación pulpa-cáscara, disminuyó la producción de etileno, la pérdida de peso y la tasa de respiración (Duguma *et al.*, 2014).

c. Kinetina

Se ha encontrado que su uso puede ayudar a disminuir la pérdida de peso, retarda el desarrollo del color y la maduración del banano, aumentando la vida útil del producto (Ghimire *et al.*, 2021; Desai y Deshpande, 1978).

2. Empaque con atmósfera modificada

Los empaques con atmósfera modificada se han utilizado para retrasar la maduración en bananos. Este efecto se debe principalmente a los cambios en el O₂ y el CO₂ que ocurren dentro y fuera de la fruta. Una opción utilizada para el comercio internacional es el uso de empaque al vacío, en donde los bananos se colocan en una bolsa de plástico, se extrae el aire con una bomba de vacío y se sellan las bolsas; este método puede extender la vida del banano de 4-6 semanas a 17°C cuando se utilizan bolsas de polietileno (Thompson *et al.*, 2019).

3. Recubrimientos

Utilizar recubrimientos en la fruta ayuda no solo a reducir la pérdida de agua y retrasar la senescencia, sino también a aumentar las propiedades antimicrobianas del producto. Se han utilizado con éxito una amplia variedad de recubrimientos, entre ellos el quitosano, goma arábiga, ésteres de sacarosa de ácidos grasos combinados con carboximetilcelulosa (CMC) y varios aceites esenciales. En bananos se ha encontrado que los recubrimientos en forma de ceras naturales o productos sintéticos ayudan a extender la vida útil de almacenamiento al retardar el intercambio de gases entre la fruta y la atmósfera, retrasando así la aparición del climaterio; también se reduce la actividad respiratoria (Thompson *et al.*, 2019).

4. Absorbentes de etileno

Los absorbentes de etileno se han utilizado para extender la vida útil de muchos tipos de frutas y generalmente van acompañados del uso de una atmósfera modificada. Las marcas comerciales que utilizan permanganato de potasio (KMnO₄) o paladio son las más comunes. Su uso también ha sido una alternativa durante el transporte para la refrigeración, sellando manos de frutos verdes en bolsa de polietileno con permanganato de potasio como absorbente, se ha logrado mantener una condición verde y firme hasta por 18 días a temperatura ambiente (Thompson *et al.*, 2019).

IV. Justificación

El banano (*Musa spp.*) (perteneciente a este género el banano Gros Michel) es uno de los cultivos alimentarios básicos más importantes en el mundo, considerándose la fruta con mayor popularidad a nivel mundial en términos de comercio internacional (FAO, 2014). Para 2022 la exportación mundial de bananos se estima alcanzó los 19.6 millones de toneladas, aportando Centroamérica un 30.49% (6.0 millones de toneladas). Guatemala aportó un 12.59% a nivel mundial y un 41.30% a nivel centroamericano, siendo el cuarto país que más exportó mundialmente (FAO, 2022a). Tanta es su importancia en el país que se ha establecido que es el segundo alimento en términos de volumen de producción después del azúcar (FAO, 2022b).

Lastimosamente según la FAO (2019) mundialmente se pierde alrededor de un 14% de la producción total de alimentos entre la cosecha y la venta al por menor, perdiéndose alrededor del 22% de las frutas y verduras producidas. Según el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (2020), Guatemala pierde 38% del total de alimentos producidos en el año (20 millones de toneladas), existiendo una pérdida, merma y desperdicio de 816 mil toneladas métricas de banano al año según el Instituto Nacional de Estadística (2017). Las pérdidas o desperdicio postcosecha en frutas y vegetales pueden ocasionarse por una falta de coordinación en la logística, mal manejo o por descartes debido a la preferencia del consumidor al buscar una determinada apariencia en el producto, como lo es la esperada apariencia lisa y sin manchas en los bananos (Yahia *et al.*, 2019; Symmank *et al.*, 2018).

En 2022 la comercialización del banano se vio afectada por distintos factores, entre ellos, la escasez en la producción causada por condiciones climáticas e insuficiente aplicación de fertilizante, aumento en los costos de insumos, altos costos de transporte, propagación de enfermedades y limitaciones más estrictas en los niveles máximos de residuos. Estas dificultades han afectado las capacidades de productores y exportadores para suministrar banano en cantidades adecuadas y que a su vez también cumplan con los estándares de calidad esperados (FAO, 2022a). Reducir la pérdida y desperdicio de alimentos permitirá aumentar la producción de la tierra que se cultiva actualmente, se podría obtener una mayor cantidad de producto sin agotar aún más las tierras (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, 2020). Teniendo esto en consideración se vuelve evidente la urgencia por aplicar prácticas de manufactura más eficientes junto con el desarrollo de procesos que permitan alargar la vida útil de este producto, especialmente porque el banano es un producto perecedero.

Con el ánimo de retardar la senescencia del banano y así aumentar su vida útil se han realizado varios trabajos de investigación, enfocándose en tecnologías como el almacenamiento en atmósfera controlada, almacenamiento hipobárico, empaques con atmósfera controlada, recubrimientos y absorbentes de etileno (Thompson *et al.*, 2019). En la actualidad el banano con más presencia en el mercado es el Cavendish, aunque en un pasado, antes de sufrir una de las epidemias de enfermedades más grande del mundo, el banano Gros Michel poseía un gran reconocimiento (Smith *et al.*, 2018); es por esta razón que no existe tanta información enfocada en este cultivar, en consecuencia lo que se busca es desarrollar el proceso que logre los mejores resultados en el banano Gros Michel (*Musa acuminata*) y así facilitar su exportación.

V. Objetivos

A. General

Desarrollar un proceso para aumentar la vida útil del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) para facilitar su exportación.

B. Específicos

1. Caracterizar fisicoquímicamente el banano Gros Michel (*Musa acuminata*) durante distintas etapas en la maduración.
2. Determinar la eficacia de diversos métodos utilizados para extender la vida útil del banano Gros Michel (*Musa acuminata*).
3. Medir la tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) cultivado a diferentes alturas.

VI. Hipótesis

A. Comparación de parámetros fisicoquímicos entre tratamientos aplicados en bananos cultivados a 400 msnm

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

H_a : no todas las medias muestrales son iguales.

Donde:

- μ_1 = Valor medio de x obtenido para el control.
- μ_2 = Valor medio de x obtenido con la aplicación de ácido giberélico.
- μ_3 = Valor medio de x obtenido con la aplicación de goma arábica con quitosano.
- μ_4 = Valor medio de x obtenido con la aplicación del absorbente.

x = parámetros fisicoquímicos (diferencia de pérdida de peso, dureza, grados Brix y pH).

B. Comparación de la tasa de respiración entre tratamientos aplicados en bananos cultivados a 400 msnm

- H_0 : no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de concentración de CO_2 debido al tratamiento suministrado.
- H_a : existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de concentración de CO_2 debido al tratamiento suministrado.

C. Comparación de la tasa de respiración entre bananos cultivados a diferentes alturas

- H_0 : no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de concentración de CO_2 debido a la altura.
- H_a : existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de concentración de CO_2 debido a la altura.

Nota: Para todas las pruebas se utilizó un valor de significancia (α) igual a 0.05.

VII. Metodología

A. Tratamientos para la extensión de vida útil del banano Gros Michel (*Musa acuminata*)

1. Establecimiento de la línea base

Se realizó una investigación para establecer cuáles tratamientos son los utilizados en la exportación de banano y se encontraron referencias para las condiciones de exportación.

2. Recolección y selección de las muestras

Se recolectaron 150 frutos de banano (*Musa acuminata*) en madurez biológica de una finca ubicada a 400 msnm en Antigua Guatemala. Los frutos provenían del mismo corte y poseían tamaño similar. Se trasladaron al lugar de análisis en canastas de plástico expuestas al medio ambiente y al llegar a su destino se almacenaron en un refrigerador marca Fogel modelo VR-17-Re-A-SSA con variación de temperatura de 16-23°C y humedad relativa de 52-78%, ubicado en el Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala. Debido al daño presente en la mayoría de las muestras se trabajó con las muestras con menor cantidad de defectos graves como cortes, heridas profundas, magulladuras o daños por insectos (Cruz-Ortiz *et al.*, 2021; Archana y Sivachandiran, 2015). Antes de aplicarles el método/tratamiento se lavaron con agua del grifo para eliminar en lo posible látex, manchas de látex, tierra y partículas de polvo, después se secaron al aire libre (Smriti *et al.*, 2021).

3. Caracterización inicial del banano Gros Michel (*Musa acuminata*)

La longitud y diámetro se midieron utilizando una regla. Se utilizó una balanza digital marca Mettler Toledo para medir el peso. Se midió la dureza de la fruta aplicando carga transversal en tres puntos distintos (punta inferior, centro y punta superior) utilizando un texturómetro marca Brookfield modelo CT3 10K. Para el pH se utilizó el potenciómetro marca Thermo Scientific modelo Orion Star A215 (10 g en 100 mL de agua destilada). Los sólidos solubles totales (SST °Brix) se determinaron con el refractómetro marca Hanna modelo HI 96801 (10 g en 100 mL de agua destilada) (Ciro *et al.*, 2008). Por último se tomó una foto con ayuda de una cámara Canon modelo EOS Rebel T100 para registrar el color.

4. Aplicación del método para extender la vida útil del banano Gros Michel (*Musa acuminata*)

a. Ácido giberélico

Se preparó una solución con ácido giberélico a una concentración de 300 ppm; se utilizó el regulador de crecimiento N-Large 3.20 SL de Stoller. La aplicación se realizó con un método de inmersión; los frutos se sumergieron por 4 minutos en la solución de ácido giberélico, se secaron a temperatura ambiente y al terminar el proceso se colocaron dentro del refrigerador (Ghimire *et al.*, 2021; Archana y Sivachandiran, 2015; Kowsalya y Rajkumar, 2019).

Figura 5. Diagrama de flujo de los pasos para aplicar el tratamiento de ácido giberélico.



1. Medir el volumen de ácido giberélico y agregarlo al recipiente con agua.



2. Sumergir los bananos en la solución durante 4 minutos.



3. Secar los bananos a temperatura ambiente y colocarlos en el refrigerador.

b. Goma arábica con quitosano

Se utilizó goma arábica y quitosano para crear un recubrimiento comestible. Se prepararon dos soluciones: (1) goma arábica al 10% se calentó a 40 °C mientras se agitaba hasta que se observó homogénea y después se filtró para remover cualquier impureza no disuelta; (2) quitosano 1.25% (p/v) en ácido acético 0.6% (p/p) se calentó a 90 °C mientras se agitaba hasta que se observó homogénea. Al tener las dos soluciones se mezclaron en una proporción 1:1. Se trabajó con un método de inmersión, los frutos se sumergieron en la mezcla durante 3 minutos, se secaron a temperatura ambiente y al terminar el proceso se colocaron dentro del refrigerador (Rizky *et al.*, 2022; Maqbool *et al.*, 2010; Suseno *et al.*, 2014).

Figura 6. Diagrama de flujo de los pasos para aplicar el tratamiento de goma arábica con quitosano.



1. Preparar las soluciones de goma arábica al 10% y quitosano 1.25% (p/v) en ácido acético 0.6% (p/p).



2. Mezclar las soluciones 1:1 y sumergir los bananos en la solución durante 3 minutos.



3. Secar los bananos a temperatura ambiente y colocarlos en el refrigerador.

c. Absorbentes de etileno

Se utilizaron los sobres absorbentes de etileno marca BioXTEND; para saber cuántos sobres colocar se utilizó la relación 1 sobre por cada 100 bananos. Debido a que todos los tratamientos se colocaron en el mismo refrigerador para evitar que los sobres interfirieran con los otros métodos se elaboró una cámara con ayuda de bolsas plásticas en la parte inferior del refrigerador.

Figura 7. Diagrama de flujo de los pasos para aplicar el tratamiento con absorbente.



1. Estimar la cantidad de KMnO_4 necesaria para 5 bananos.

2. Crear un ambiente aislado en el refrigerador con ayuda de bolsas plásticas.

3. Colocar los bananos y la bolsa de absorbente en la cámara creada.

5. Determinación de la tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) según el tratamiento aplicado

Se colocaron 5 bananos en estado verde en un recipiente de plástico cerrado, el cual se guardó dentro del refrigerador marca Fogel (mencionado en la sección A.2), esto con la finalidad de acercarse a las condiciones de exportación. La producción de dióxido de carbono (CO_2) se midió diariamente cada 24 horas (exceptuando los fines de semana), comenzando la medición un día después de introducir los bananos dentro del recipiente. Se utilizó un registrador de datos de CO_2 /temperatura/humedad modelo SD800 marca Extech, configurándose para obtener datos cada 30 segundos y con un ajuste de compensación de altura de 1500 metros, altura aproximada a la que se encuentra el lugar donde se efectuaron las mediciones (Universidad del Valle de Guatemala); para la medición de datos el sensor de CO_2 se introdujo durante 5 minutos dentro del recipiente. La cubierta del recipiente se modificó creando una abertura que facilitaba el ingreso y salida del sensor de CO_2 , buscando a su vez evitar la pérdida de gases. Además se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa tanto del interior del recipiente como del refrigerador (esto para verificar que se cumpliera con las condiciones deseadas), se utilizó el termómetro IR e higrómetro marca Extech modelo RH101 y el termómetro e higrómetro marca Fluke modelo 971 (Rolz, 2011; Bolívar-Fernández *et al.*, 2011). Las muestras permanecieron alrededor de 2 semanas dentro del refrigerador.

Figura 8. Medición de la producción de CO_2 , temperatura y humedad de los recipientes y temperatura y humedad del refrigerador.



Medición de CO_2

Medición de temperatura y humedad en los recipientes

Medición de temperatura y humedad en el refrigerador

Figura 9. Recipientes utilizados para la medición de la tasa de respiración del banano Gros Michel aplicando diferentes tratamientos.



6. Pruebas fisicoquímicas

Se siguió la metodología de Cruz-Ortíz *et al.* (2021) aplicando algunas modificaciones. Después del acondicionamiento se evaluaron las características fisicoquímicas de los bananos cada 24 horas (exceptuando los fines de semana), terminando su evaluación el día que llegaron a su estado de maduración. Se evaluó la pérdida de peso tomando 5 bananos por cada tratamiento, se partió del peso inicial y se midieron los pesos en las distintas fechas de muestreo; se utilizó una balanza digital marca Mettler Toledo. La dureza de la fruta se midió aplicando carga transversal en tres puntos distintos (punta inferior, centro y punta superior) utilizando un texturómetro marca Brookfield modelo CT3 10K (Ciro *et al.*, 2008). Para el pH, se pesaron 10 g de fruta macerada y se mezclaron con 100 mL de agua destilada; la medición se realizó con el potenciómetro marca Thermo Scientific modelo Orion Star A215. Los sólidos solubles totales (SST °Brix) se determinaron con el refractómetro marca Hanna modelo HI 96801 utilizando una solución de pulpa en agua, 10 g de pulpa en 100 mL de agua destilada. Para cada medición de dureza, pH y grados Brix se analizaron 2 bananos por tratamiento.

Adicional a estas pruebas se elaboró una cartilla de maduración, para elaborarla se escogió un banano de cada tratamiento al cual se le tomó una foto todos los días (exceptuando los fines de semana) hasta llegar a su estado de maduración, esto se realizó con una cámara Canon modelo EOS Rebel T100.

Figura 10. Medición de peso, dureza, pH, grados Brix y cámara utilizada durante la experimentación.



7. Análisis de datos

Se siguió la metodología de Cruz-Ortíz *et al.* (2021) aplicando algunas modificaciones. Primero se analizó si los datos cumplían con el supuesto de normalidad. Con los datos obtenidos en la sección 5 (determinación de la tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*)) se estableció si existía una diferencia significativa entre las medianas de concentración de CO₂ debido al tratamiento utilizando la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Para la sección 6 (pruebas fisicoquímicas) se estableció si existía una diferencia significativa entre los promedios de los parámetros analizados debido al tratamiento utilizando un análisis de varianza (ANOVA) unifactorial. Se utilizó el programa IBM SPSS Statistics para llevar a cabo los análisis.

B. Tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) a diferentes alturas

1. Recolección y selección de muestras

Se recolectaron 60 frutos de banano (*Musa acuminata*) en madurez biológica de 3 diferentes fincas ubicadas en Antigua Guatemala (Sacatepéquez) a 400 msnm, San Francisco Zapotitlán (Suchitepéquez) a 900 msnm y Colomba Costa Cuca (Quetzaltenango) a 1200 msnm (20 frutos de cada finca). Los frutos de cada finca provenían del mismo corte y poseían tamaño similar. Se trasladaron al lugar de análisis en canastas de plástico expuestas al medio ambiente y al llegar a su destino se almacenaron en un refrigerador marca Fogel (mencionado en la sección A.2). Se trabajó con las muestras con menor cantidad de defectos graves como cortes, heridas profundas, magulladuras o daños por insectos (Cruz-Ortiz *et al.*, 2021; Archana y Sivachandiran, 2015). Las muestras se lavaron con agua del grifo antes de utilizarlas.

Figura 11. Ubicación de las fincas de las cuales se obtuvieron las muestras de banano. Izquierda: Antigua Guatemala, centro: San Francisco Zapotitlán y derecha: Colomba Costa Cuca.



Nota: Las imágenes fueron obtenidas de Google Maps.

2. Determinación de la tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) según la altura de crecimiento

Se realizó el mismo procedimiento explicado en la sección A.5.

Figura 12. Recipientes utilizados para la medición de la tasa de respiración del banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.



3. Análisis de datos

Se realizó el mismo procedimiento explicado en la sección A.7.

Figura 13. Distribución del refrigerador al colocar todas las muestras de banano a analizar durante el estudio.



Nota: 1.^a fila: muestras control y recipientes con bananos que difieren en tratamientos, 2.^a fila: tratamiento de goma arábica y quitosano y recipientes con bananos de diferentes alturas, 3.^a fila: tratamiento de ácido giberélico y 4.^a fila: tratamiento con absorbente.

VIII. Resultados y discusión

A. Caracterización del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) al inicio de la experimentación

Cuadro 1. Características iniciales promedio del banano Gros Michel.

Característica	Valor promedio	Desviación estándar
Longitud (cm)	17.12	0.01
Diámetro (cm)	3.62	0.00
Peso (g)	203.11	4.32
Dureza (N/m ²)	23669	290
Sólidos solubles totales (°Brix)	0.0	0.0
pH	5.52	0.03

Nota: Los datos presentados son para la caracterización promedio de un dedo.

La importancia de la caracterización de un cultivar radica en la diferencia que existe entre las diferentes variedades de un mismo fruto. Como señala Velásquez-Herrera *et al.* (2016), entre Cavendish y Gros Michel existe mucha variabilidad entre el número de manos, peso promedio de la mano, número de dedos/mano y el número total de dedos/racimo, además de la diferencia en tamaño (longitud y diámetro) y en variables fisicoquímicas que afectan su sabor, como los sólidos solubles totales y el pH (Casanova, 2014; Bueno de Godoy *et al.*, 2016). Se puede observar en el Cuadro 1, que a pesar de incluso analizar el mismo cultivar, se presentó una diferencia en el peso, esto se atribuye a que cada dedo crece en condiciones diferentes (distribución de los nutrientes y exposición a la luz solar) (Cayón, 2004). En el caso de la dureza, la diferencia se atribuye a que las puntas del banano presentan mayor dureza en comparación con el centro (Ciro *et al.*, 2008).

Figura 14. Banano Gros Michel en la etapa inicial de su maduración.

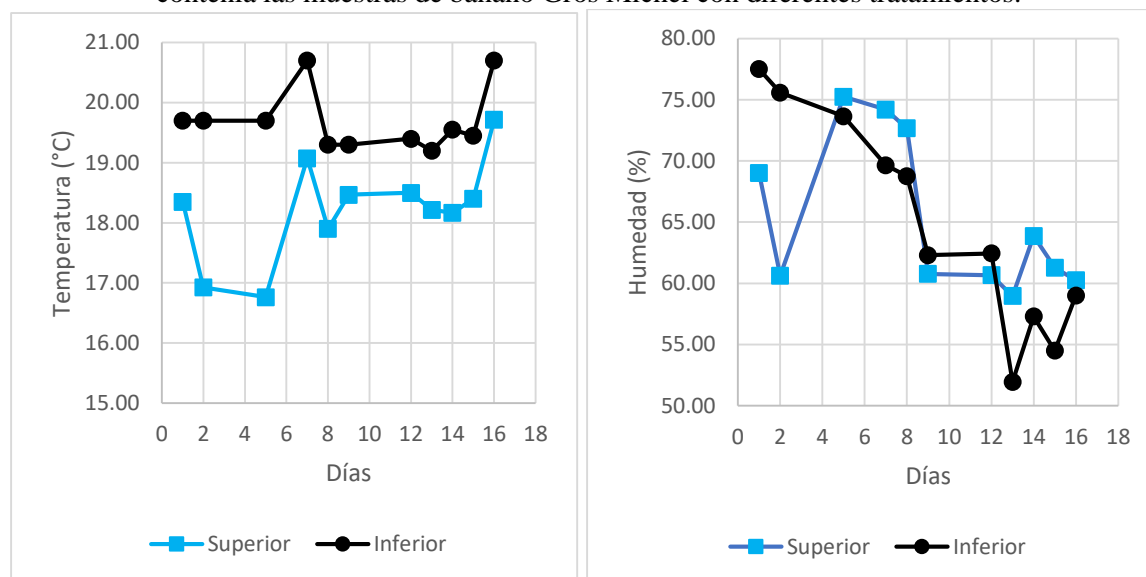


Como se puede observar en la Figura 14, el banano se encuentra con un color totalmente verde, como se ha reportado en múltiples artículos, incluyendo Sripaurya *et al.*, (2020), esto se debe a que el rompimiento de la clorofila no se ha llevado a cabo para dar visibilidad a los carotenoides (Salvador, 2007; Cachay, 2017).

B. Comparación entre tratamientos para la extensión de vida útil del banano Gros Michel (*Musa acuminata*)

1. Generalidades

Figura 15. Temperatura (izquierda) y humedad (derecha) a través del tiempo del refrigerador que contenía las muestras de banano Gros Michel con diferentes tratamientos.



En la Figura 15 (izquierda) se muestran las temperaturas de la parte superior e inferior del refrigerador, siendo la parte superior en donde se colocaron las muestras control y los tratamientos de ácido giberélico y goma arábiga con quitosano, mientras que la parte inferior donde se colocaron las muestras con el absorbente. La tasa de respiración se puede ver afectada por varios factores, siendo la temperatura y la humedad los parámetros que tienden a mencionarse con mayor facilidad al discutir este tema. Se ha encontrado que las reacciones biológicas generalmente aumentan 2 o 3 veces por cada aumento de 10°C, por lo tanto, cuando aumenta la temperatura también lo hace la tasa de respiración y la fruta se ablanda más rápido (Kasim *et al.*, 2022). Es notorio que la temperatura de la parte inferior fue mayor durante todo el proceso de medición en comparación con la parte superior, esto se debe a que la parte inferior se aisló utilizando bolsas (Figura 7) para evitar que el efecto del absorbente (KMnO_4) influyera en los otros tratamientos; ya que como producto de la respiración además de CO_2 y agua se produce calor, este no fue capaz de escapar libremente de ese espacio (Becker y Fricke, 2014). Analizando la gráfica se pueden notar dos picos, los cuales se deben a la apertura del refrigerador durante un tiempo prolongado.

En cuanto a la humedad, se ha establecido que existe una relación inversamente proporcional entre la pérdida de agua de la fruta y la humedad relativa del ambiente de almacenamiento. Una baja humedad relativa incrementa el proceso de maduración, mientras que una alta humedad relativa lo disminuye (Ahmad *et al.*, 2006; Ullah *et al.*, 2006). Se puede observar en la Figura 15 (derecha) que la humedad varió durante todo el proceso en ambas partes del refrigerador, sin embargo, hubo una disminución a medida que pasaba el tiempo; esto se debe a que al aumentar la temperatura del aire dentro del refrigerador, se favorece la condensación de agua en las paredes, lo que terminó reduciendo la humedad en el ambiente (Laguerre *et al.*, 2010).

Teniendo esto en consideración, significa que a medida que el estudio progresaba se iba favoreciendo la maduración, pues aumentaba la temperatura y disminuía la humedad, provocando

la reducción en la vida útil de los bananos estudiados. Además, se debe prestar atención a las condiciones de las muestras con absorbente, pues al estar en situaciones menos favorables, los resultados de los parámetros medidos no pueden compararse directamente con los otros tratamientos. Para evitar la maduración de los bananos y extender su vida útil verde se debe contar con un ambiente con condiciones constantes, como usualmente se trabajaría si se fuera a exportar el producto, la atmósfera óptima va a depender del cultivo que se trabaje, sin embargo, las condiciones van de 2-5% de O₂, 2-5% CO₂, una temperatura de 12-14°C y una humedad relativa de 90-96% (Castellanos *et al.*, 2011; Ordoñez y Villavicencio, 2022).

Figura 16. Daños físicos en los bananos Gros Michel utilizados para evaluar los distintos tratamientos.



Los daños físicos son otro factor que puede influir en la tasa de respiración. En un estudio realizado por Pathare y Al-Dairi (2022) donde se evaluó el efecto del daño mecánico en la calidad de los frutos de banano durante su almacenamiento a corto plazo se encontró que la fruta dañada tiene una tasa de respiración mayor en comparación con la fruta no dañada, aumentando la tasa de respiración según la severidad del daño. Esto se debe a que los daños físicos en el fruto provocan el aumento de la actividad enzimática, especialmente de las enzimas de degradación del almidón (α -amilasa, β -amilasa y glicosidasas), estas favorecen la conversión del almidón en glucosa y sacarosa (el almidón también puede descomponerse en sacarosa con ayuda de la sacarosa fosfato sintasa y en azúcares no reductores por hidrólisis ácida), que son los principales sustratos respiratorios; todo esto también aumenta la producción de etileno (Maia *et al.*, 2014; Maia *et al.*, 2011). Como se puede observar en la Figura 16, los dedos utilizados para la evaluación de los diferentes tratamientos contaban con daños físicos, por lo tanto, ya que algunos dedos contaban con daños de mayor severidad, reaccionaron de diferente manera aun cuando se aplicó el mismo tratamiento.

Cuadro 2. Análisis de varianza (ANOVA) unifactorial para evaluar parámetros fisicoquímicos comparando diferentes tratamientos aplicados al banano Gros Michel cultivado a 400 msnm.

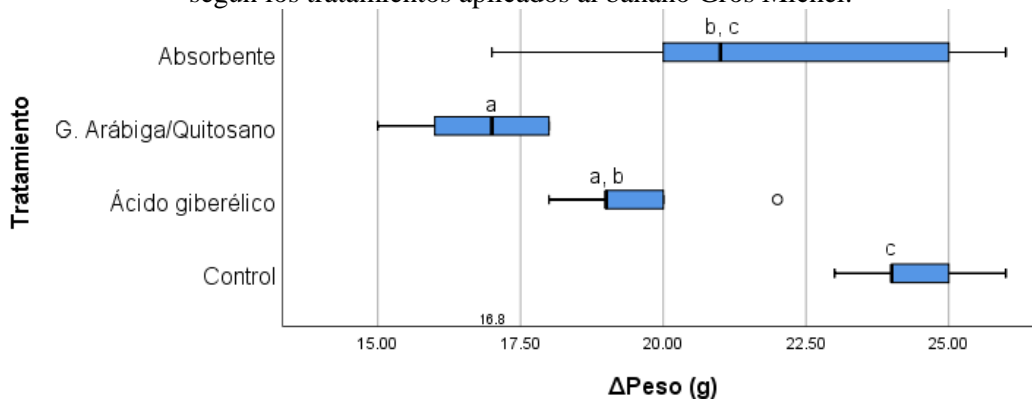
Parámetro	Valor p	Resultado
Diferencia de peso	0.000	Se rechaza la hipótesis nula.
Dureza	0.000	Se rechaza la hipótesis nula.
Grados Brix	0.181	No se rechaza la hipótesis nula.
pH	0.000	Se rechaza la hipótesis nula.

Nota: La hipótesis nula y alternativa se encuentran establecidas en la sección VI.A. Se utilizó un valor de significancia (α) igual a 0.05.

En el Cuadro 2 se pueden observar los resultados del ANOVA realizado para la diferencia de peso, dureza, grados Brix y pH, rechazándose la hipótesis nula para la diferencia de peso, dureza y pH, lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de estos parámetros debido al tratamiento, sin embargo, para los grados Brix no se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los grados Brix debida al tratamiento. Esto se discutirá con mayor extensión en las siguientes secciones.

2. Pérdida de peso

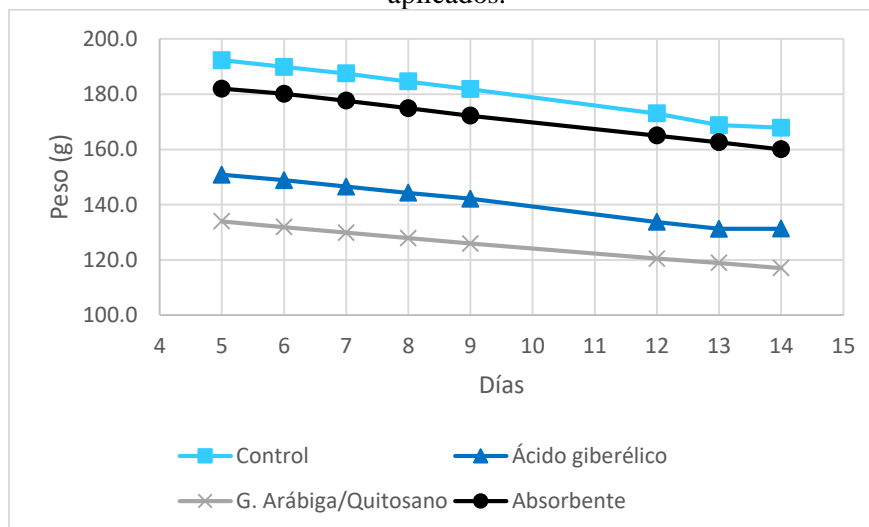
Figura 17. Comparaciones múltiples de medias para evaluar las diferencias de pérdida de peso según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.



Nota: La pérdida de peso fue el resultado de la diferencia global después de transcurrir 9 días.

Utilizando la prueba de Tukey, Figura 17, se determinó que entre la media de la diferencia de peso del tratamiento con goma arábica/quitósano (16.8 g) y el tratamiento con ácido giberélico (19.6 g) no existe diferencia estadísticamente significativa; entre la media de la diferencia de peso del tratamiento con ácido giberélico (19.6 g) y el tratamiento con absorbente (21.8 g) no existe diferencia estadísticamente significativa; y entre la media de la diferencia de peso del tratamiento con absorbente (21.8 g) y la muestra control (24.4 g) no existe diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, existe diferencia entre los tres grupos.

Figura 18. Peso promedio del banano Gros Michel a través del tiempo según los tratamientos aplicados.



Nota: Los días hacen referencia al tiempo que pasó después de ser aplicado el tratamiento.

La pérdida de peso se puede utilizar como un indicador de la efectividad del tratamiento, pues lo que busca es retardar las actividades metabólicas después de la cosecha, entre ellas la respiración, para extender la vida útil del banano. La respiración es un proceso que produce CO₂, agua y energía (calor) como productos, por lo tanto, una tasa de respiración mayor provoca una mayor pérdida de agua por transpiración y evaporación, provocando el secado y marchitamiento de la fruta (Villamizar de Borrero, 1984). La pérdida de peso también depende de factores como la temperatura, la humedad y la permeabilidad de la piel del alimento; la permeabilidad de las membranas aumenta y hay una lixiviación de solutos (Abraham *et al.*, 2022; García *et al.*, 2012). En la Figura 18 se observa que la pérdida de peso fue constante a través del tiempo independientemente del tratamiento, esto tiene sentido, pues el banano debe seguir cumpliendo con sus actividades metabólicas para seguir viviendo.

Ahora bien, entrando en detalle a lo anteriormente expuesto, la única muestra que no posee diferencia significativa con el control es el tratamiento con absorbente (a pesar de poseer una menor diferencia de peso, 24.4 g contra 21.8 g), lo que se debe a las condiciones de temperatura y humedad a las que se encontraban expuestas las muestras y al volumen de la cámara, pues como lo exponen los artículos de Veléz *et al.* (2007), García *et al.* (2012), Smriti *et al.* (2021) y Zaheer *et al.* (2021), todos utilizan el absorbente combinado con el ingreso de las muestras en una bolsa plástica, lo que ayuda a reducir el volumen de aire al que está expuesto el producto. Además, en todos los artículos se encontró que el uso de absorbente (KMnO₄) si favorecía la disminución en la pérdida de peso. El KMnO₄ tiene la capacidad de oxidar el etileno y romperlo, provocando que pierda su actividad como hormona señal de los procesos de maduración, disminuyendo así la acción de enzimas relacionadas a la respiración y otros procesos durante la maduración, favoreciendo a su vez el retraso de la pérdida de textura en los tejidos (Buthia *et al.*, 2011, citado por García *et al.*, 2012; Veléz, 2007).

Cuadro 3. Pendiente obtenida de los datos de pérdida de peso en bananos Gros Michel de 400 msnm variando el tratamiento aplicado.

Tratamiento	Pendiente
Control	-2.85
Ácido giberélico	-2.35
Goma arábica y quitosano	-1.87
Absorbente	-2.48

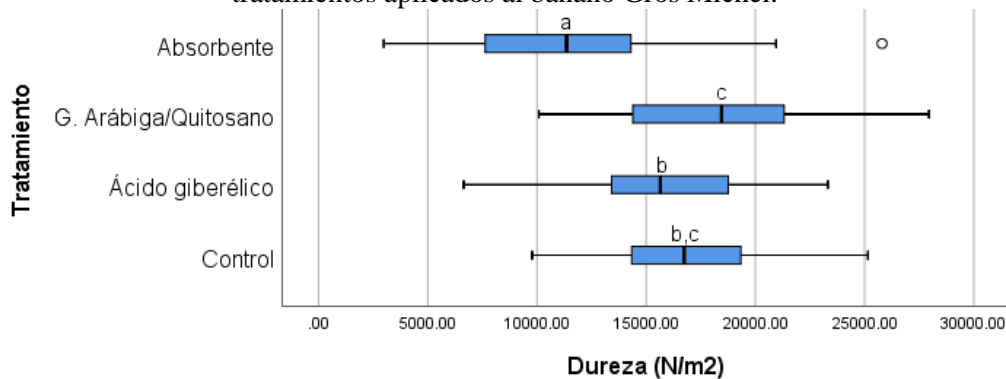
Nota: La pendiente fue obtenida de los datos utilizados para la elaboración de la Figura 18.

Como se puede observar en la Figura 18 y el Cuadro 3, los tratamientos que obtuvieron una menor pérdida de peso fueron el tratamiento con goma arábica y quitosano (16.8 g; menor pendiente: -1.87) y el tratamiento con ácido giberélico (19.6 g; pendiente: -2.35). En un estudio realizado por Maqbool *et al.* (2010), se encontró que la combinación de goma arábica y quitosano disminuía la pérdida de peso en comparación con la muestra control, esto debido a que el recubrimiento proporcionaba una película sobre la superficie de la fruta y creaba una atmósfera modificada de CO₂ y O₂, retrasando el proceso de maduración y fortaleciendo los tejidos de la pared celular. Esta disminución en la pérdida de peso se ha encontrado para recubrimientos utilizando solo goma arábica o quitosano, recubrimientos con distintos materiales e incluso aplicados a diferentes productos (Cruz-Ortiz *et al.*, 2021; Rizky *et al.*, 2022; Suseno *et al.*, 2014; Uscocovich-Álvarez *et al.*, 2023; Villarroel Bastidas *et al.*, 2017; López, 2020; Mora *et al.*, 2021). Con respecto al ácido giberélico, se ha encontrado que en concentraciones desde 100 ppm hasta 750 ppm ayuda a reducir la tasa respiratoria y por lo tanto, la pérdida de peso (Ghimire *et al.*, 2021; Tolossa *et al.*, 2014; Osman y Abu-Goukh, 2008; Kowsalya y Rajkumar, 2019). Incluso se ha visto que es efectivo en mango y albaricoque (Yadav *et al.*, 2022; Lal *et al.*, 2011). El ácido giberélico tiene la capacidad

de disminuir la actividad de la amilasa y controlar la producción de etileno, esto reduce la permeabilidad del tejido y en consecuencia disminuye las pérdidas fisiológicas de peso (Yadav *et al.*, 2022).

3. Dureza

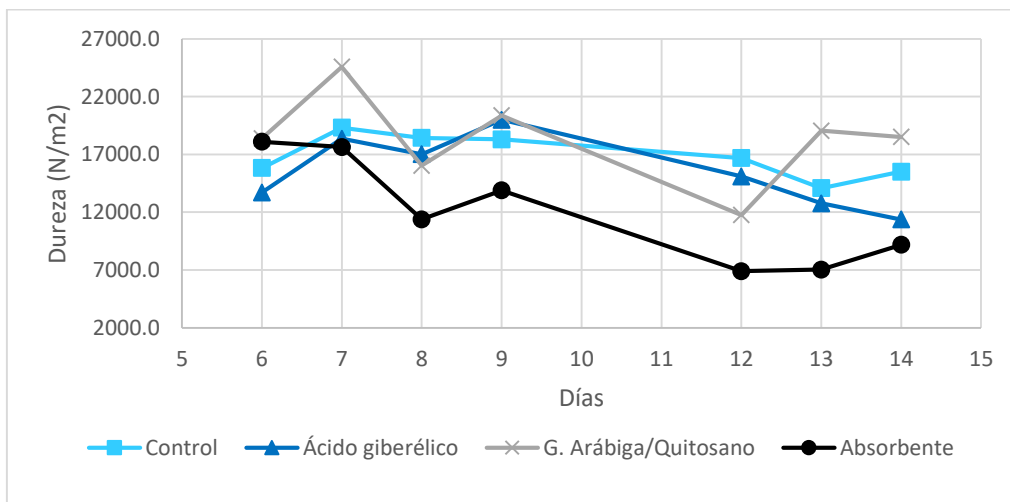
Figura 19. Comparaciones múltiples de medias para evaluar las diferencias de dureza según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.



Nota: Los resultados corresponden al análisis de 7 días distintos.

Utilizando la prueba de Tukey, Figura 19, se determinó que existe diferencia estadísticamente significativa entre la media de la dureza del tratamiento con absorbente (12013.83 N/m²) y el resto de las muestras; entre la media de la dureza del tratamiento con ácido giberélico (15468.93 N/m²) y la media de las muestras control (16875.88 N/m²) no existe diferencia estadísticamente significativa; y entre la media de la dureza de las muestras control (16875.88 N/m²) y el tratamiento con goma arábica y quitosano (18381.14 N/m²) no existe diferencia estadísticamente significativa. Estos resultados quieren decir que aun cuando se aplique el ácido giberélico o el recubrimiento con goma arábica y quitosano, los resultados van a ser iguales que la muestra control, sin embargo, si se aplica el tratamiento con absorbente, la dureza disminuirá más que la muestra control.

Figura 20. Dureza promedio a través del tiempo en banano Gros Michel según los tratamientos aplicados.



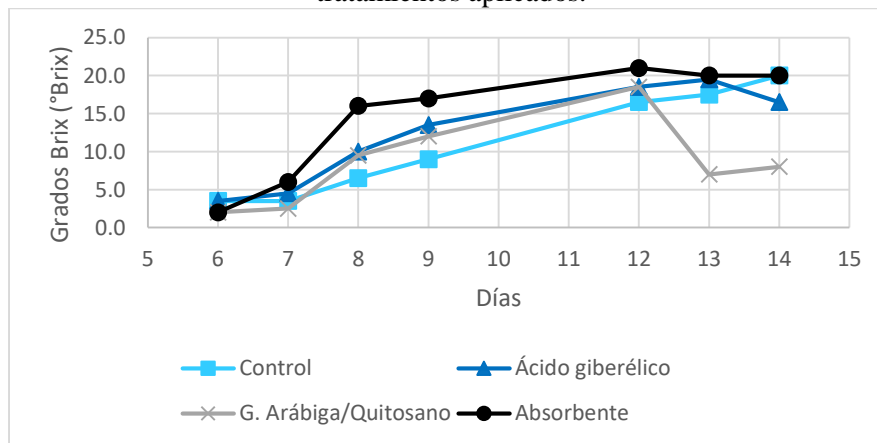
Nota: Los días hacen referencia al tiempo que pasó después de ser aplicado el tratamiento.

En la Figura 20 se presenta cómo cambió la dureza a través del tiempo según el tratamiento; se puede observar que existen ocasiones en donde el cambio no es lineal, lo cual no concuerda con la literatura, pues si bien al inicio los frutos son verdes, con textura rígida, actividad metabólica baja y mayor resistencia a la penetrabilidad de la punta del instrumento (Barrera *et al.*, 2010; Guadarrama y Peña, 2013), a medida que pasa el tiempo se lleva a cabo una despolimerización de sustancias pécticas en la pared celular primaria y la laminilla media de la piel (Imsabai y Van Doorn, 2006), además, se hidrolizan carbohidratos complejos (almidón y otros polisacáridos no pécticos) para la formación de azúcares más simples y hay un movimiento del agua desde la cáscara hasta la pulpa; esto aumenta la proporción de pectina soluble en agua, dándole una textura más suave a los bananos a medida que envejecen (Thuy *et al.*, 2021; Thompson, 2003).

Analizando la Figura 20, se puede observar que las muestras del tratamiento con goma arábica y quitosano mostraron la mayor variación, lo que puede atribuirse no solamente al daño físico presente en las muestras, sino también a la capa de recubrimiento aplicada, pues la uniformidad no fue la misma en todos los casos. En general los tres tratamientos tendrían que haber mostrado mejores resultados que las muestras control, pues se ha encontrado que el uso de recubrimientos mantiene la firmeza del banano durante un mayor tiempo (Maqbool *et al.*, 2010; Cruz-Ortiz *et al.*, 2011; Villarroel Bastidas, 2017), al igual que al utilizar ácido giberélico (Osman y Abu-Goukh, 2008; Yadav *et al.*, 2022) y absorbente (KMnO₄) (García *et al.*, 2012). Sin embargo, se puede inferir que la localización de las muestras control tuvo un efecto en su maduración, pues al estar más cerca de la pared fría del refrigerador y tener contacto con algunas gotas de agua condensada debido al aumento de la temperatura, se redujo la evaporación de agua en las muestras (Laguerre *et al.*, 2010). Excluyendo los resultados de la muestra control se puede establecer que la goma arábica y quitosano y el ácido giberélico son los tratamientos con mejores resultados.

4. Sólidos solubles totales

Figura 21. Grados Brix promedio a través del tiempo en banano Gros Michel según los tratamientos aplicados.



Nota: Los días hacen referencia al tiempo que pasó después de ser aplicado el tratamiento.

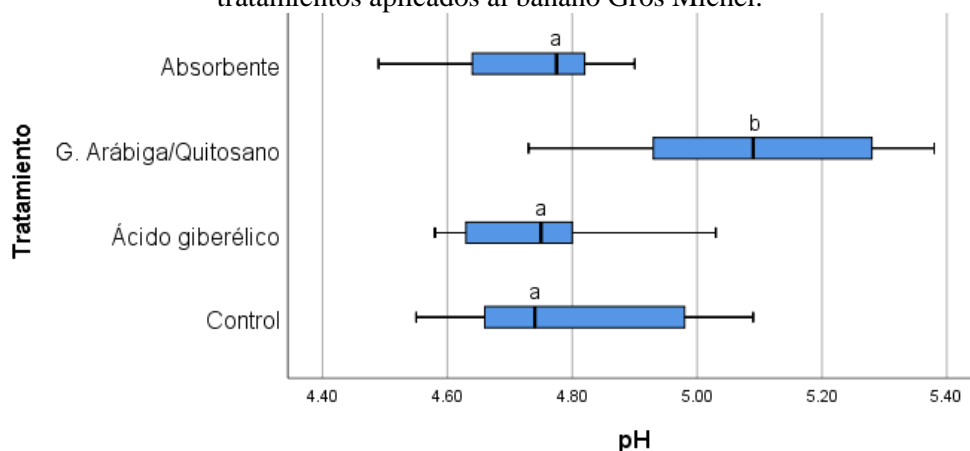
Durante la maduración se da la hidrólisis del almidón a azúcares simples, principalmente glucosa, fructosa y sacarosa. En bananos la maduración implica una reducción en el contenido de almidón de alrededor de 15-25% a menos del 5% en la pulpa madura, junto con un aumento de magnitud similar en los azúcares totales. Predominando en la primera etapa de la maduración la sacarosa y en las etapas posteriores la glucosa y fructosa (Thompson, 2003; Cordenunsi-Lysenko *et al.*, 2019). Los grados Brix indican la cantidad de sólidos solubles en la muestra, usándose

principalmente para expresar la concentración de azúcares en el alimento, sin embargo, el valor puede ser afectado por ácidos, pectinas, vitaminas y minerales (Macon, 2011; Martínez *et al.*, 2017).

En la Figura 21 se muestra que el contenido de grados Brix aumenta con respecto al tiempo, yendo de 2-5 °Brix en el día 6 a 12-21 °Brix al llegar el día 14. Se puede observar que el tratamiento de goma arábica y quitosano presenta un comportamiento anormal, al igual que la última muestra analizada con ácido giberélico. Como se explicó con anterioridad, esto se atribuye a la capa de recubrimiento y a los daños físicos de las muestras. Que no exista diferencia significativa entre la media de grados Brix debida al tratamiento, significa que no hay diferencia si se aplica o no algún tratamiento a las muestras. Esto no concuerda con la teoría, pues de igual manera que con la dureza los tres tratamientos tendrían que haber mostrado mejores resultados que las muestras control, ya que se ha encontrado que el uso de recubrimientos, ácido giberélico y absorbente disminuyen el incremento en los sólidos totales (Maqbool *et al.*, 2010; Rizky *et al.*, 2022; Cruz-Ortiz *et al.*, 2011; Ghimire *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2022; García *et al.*, 2012; Smriti *et al.*, 2021; Ahmed *et al.*, 2021).

5. pH

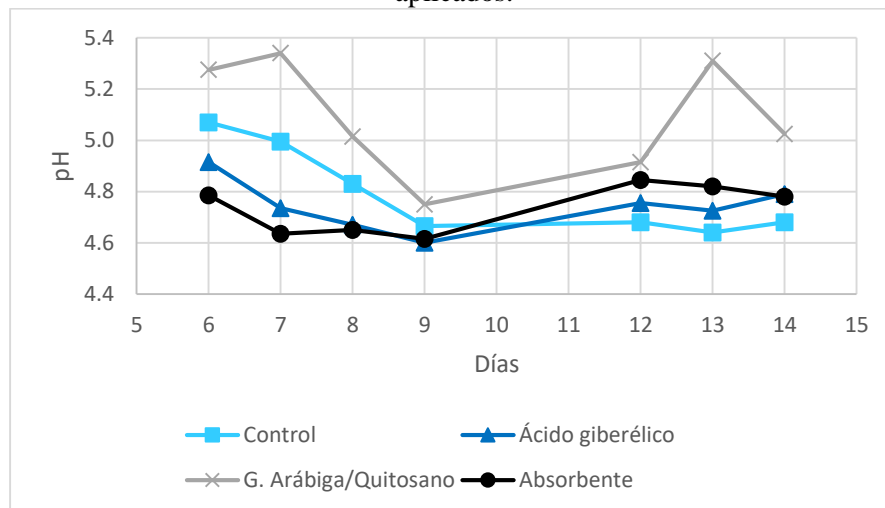
Figura 22. Comparaciones múltiples de medias para evaluar las diferencias de pH según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.



Nota: Los resultados corresponden al análisis de 7 días distintos.

Utilizando la prueba de Tukey, Figura 22, se determinó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre la media del pH del tratamiento con absorbente (4.73), el tratamiento con ácido giberélico (4.74) y las muestras control (4.79), sin embargo, si existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del pH de los tratamientos mencionados con el tratamiento con goma arábica y quitosano (5.09). Esto implica que aplicar el tratamiento con absorbente y ácido giberélico provoca que los resultados sean iguales a la muestra control; sin embargo, si se aplica el tratamiento con goma arábica y quitosano, el pH es mayor en comparación con la muestra control.

Figura 23. pH promedio a través del tiempo en banana Gros Michel según los tratamientos aplicados.



Nota: Los días hacen referencia al tiempo que pasó después de ser aplicado el tratamiento.

Aunque el dulzor de la fruta es importante, no se debe olvidar que los ácidos orgánicos también influyen en el sabor general de la fruta, pues junto con los azúcares ayudan a llegar al equilibrio para un sabor agradable. Los ácidos más importantes para los bananos son el ácido cítrico, málico y oxálico los cuales incrementan durante la maduración, siendo el más importante el ácido málico (Thompson, 2003). Se debe tener claro que existe una diferencia entre la acidez titulable y el pH, indicando la acidez titulable una medida de la cantidad de ácido presente y el pH una medida de la acidez o la alcalinidad de un producto. Durante la maduración existe una disminución del pH de la pulpa en respuesta al aumento de los ácido orgánicos, dependiendo la magnitud de disminución del tipo de cultivo (Millán y Ciro, 2012). Este comportamiento concuerda con lo reportado por Quiceno *et al.* (2014), Barrera *et al.* (2010) y Maduwanthi y Maparana (2019). Se ha establecido que la variación del ácido málico corresponde en cierta medida con la tasa de respiración del fruto, acumulándose ácido málico en la pulpa del banana durante la maduración por su producción en el ciclo del glioxilato, regulado por MaMS-1, que puede ser inducido por el etileno (Maduwanthi y Maparana, 2019). Además, se ha encontrado una relación con la degradación del almidón en azúcares reductores o su conversión en ácido pirúvico (Torres *et al.*, 2013).

En la Figura 23 se puede observar que el pH únicamente se comportó de manera esperada para la muestra control, pues con los distintos tratamientos se encuentran picos anormales (tratamiento con goma arábica y quitosano) y subidas en el pH (tratamiento con absorbente y tratamiento con ácido giberélico), esto se puede atribuir a las muestras con recubrimiento no uniforme y a los daños físicos, características que variaban entre muestras y terminaron afectando la tasa de respiración, por lo tanto, su ritmo de maduración (Pathare y Al-Dairi, 2022). Al igual que con la dureza y los sólidos solubles totales, se esperaba que los tratamientos mostraran mejores resultados que la muestra control (Maqbool *et al.*, 2010; Rizky *et al.*, 2022; Cruz-Ortiz *et al.*, 2011; Ghimire *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2022; García *et al.*, 2012; Smriti *et al.*, 2021; Ahmed *et al.*, 2021). Excluyendo los resultados de la muestra control se puede establecer que se obtuvieron los mejores resultados con la goma arábica y quitosano.

6. Color

Figura 24. Tabla de maduración por día de banano Gros Michel sin tratamiento (muestra control).



Figura 25. Tabla de maduración por día de banano Gros Michel con tratamiento con ácido giberélico.



Figura 26. Tabla de maduración por día de banano Gros Michel con tratamiento con goma arábica y quitosano.



Figura 27. Tabla de maduración por día de banano Gros Michel con tratamiento con absorbente.



El cambio más notorio durante la maduración es el color externo, siendo un parámetro de especial importancia, pues el banano debe cosecharse cuando se encuentra verde y los consumidores se sienten atraídos cuando se encuentra amarillo. Durante la maduración el banano puede contener clorofilas, carotenoides y xantofilas. La desaparición del color verde se debe a la descomposición/rompimiento de las clorofilas, a menudo asociado a la síntesis de carotenoides. Los cambios externos en la cáscara reflejan el cambio en el interior del banano, que es debido al desenmascaramiento y poco o ningún aumento en los niveles de carotenoides. Los carotenoides pueden ser sintetizados durante el estadio de desarrollo de las plantas, sin embargo, permanecen enmascarados en presencia de la clorofila. Se ha encontrado que entre mayor sea la temperatura, se vuelve más evidente este cambio (Cachay, 2017; Thompson, 2003; Rizky *et al.*, 2022).

Comparando los diferentes tratamientos se puede observar en la Figura 27 que el tratamiento con absorbente empezó a cambiar de color (tornarse amarillo) antes que los otros tratamientos; siendo los números que aparecen en las imágenes los días que pasaron después de haber aplicado el tratamiento. Como se explicó con anterioridad esto se debió principalmente a que la temperatura de la cámara terminó afectando el proceso metabólico de los bananos. Sin embargo, debería mostrarse un mejor resultado que las muestras control (Figura 24), como lo reporta García *et al.* (2012), Veléz *et al.* (2007) y Smriti *et al.* (2021). De igual manera, se esperaba que con el tratamiento con goma arábica y quitosano, Figura 26, se obtuvieran mejores resultados que el control, como lo reporta Rizky *et al.* (2022). En cuanto al tratamiento con ácido giberélico, Figura 25, se puede observar que se mantuvo el color verde durante una mayor cantidad de tiempo (empezándose a notar un cambio a los 12 días), esto se debe a que el ácido giberélico retarda la degradación de la clorofila y el ablandamiento de la fruta (Osman y Abu-Goukh, 2008).

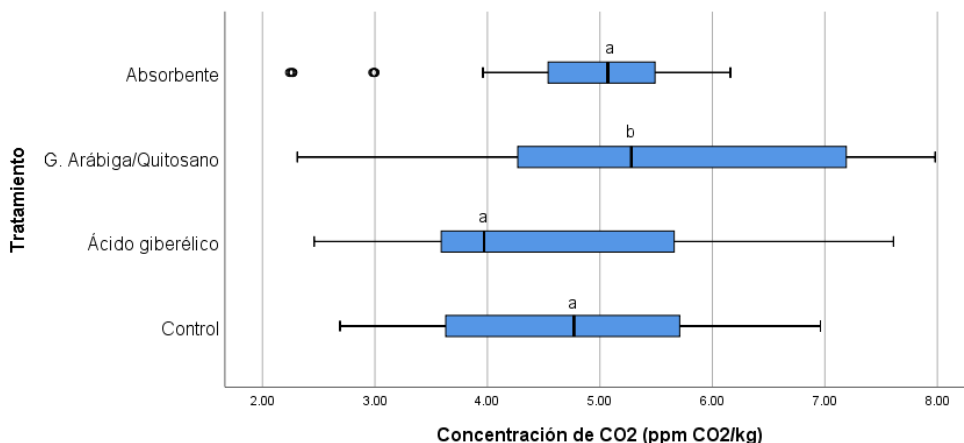
7. Tasa de respiración

Cuadro 4. Prueba de Kruskal-Wallis para la concentración de CO₂ en bananos Gros Michel de 400 msnm variando el tratamiento aplicado.

Valor p	Resultado
0.000	Se rechaza la hipótesis nula.

Nota: La hipótesis nula y alternativa se encuentran establecidas en la sección VI.B. Se utilizó un valor de significancia (α) igual a 0.05.

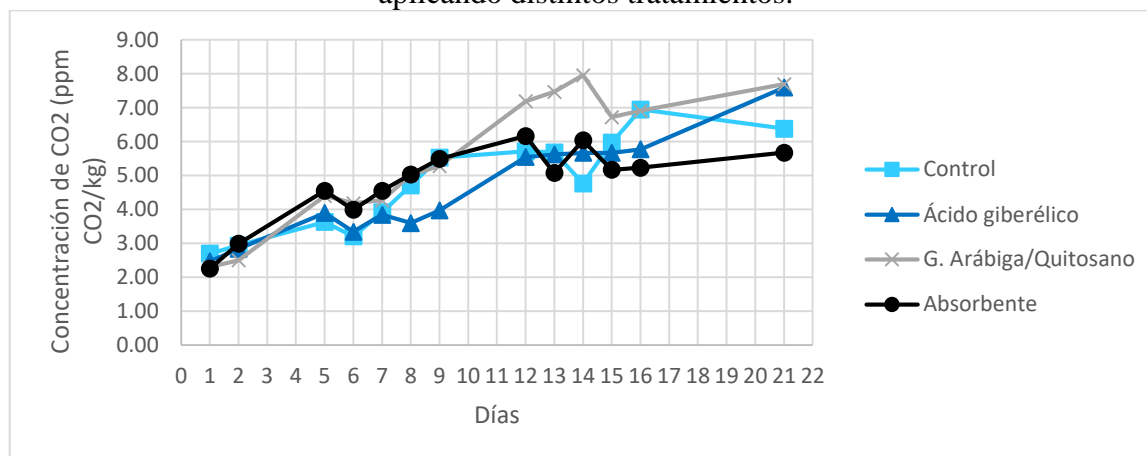
Figura 28. Comparaciones múltiples de medianas para evaluar la concentración de CO₂ (ppm CO₂/kg) según el tratamiento aplicado al banano Gros Michel.



Nota: Los resultados corresponden al análisis de 13 días distintos.

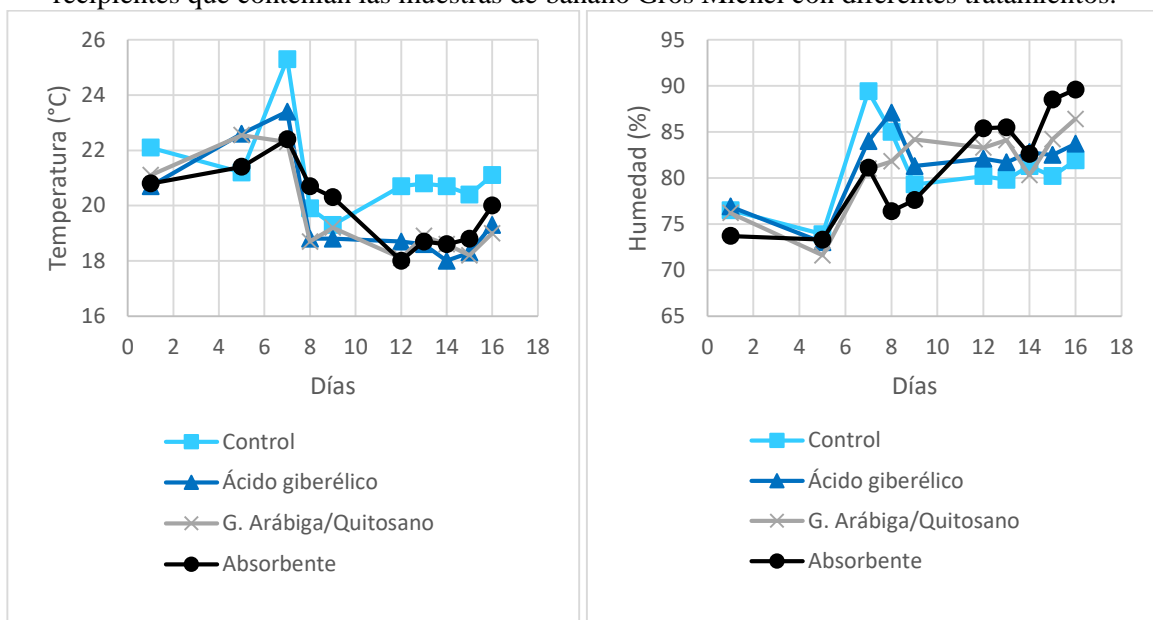
En el Cuadro 4 se puede observar que después de haber realizado la prueba de Kruskal-Wallis se rechazó la hipótesis nula, lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de concentración de CO₂ debido al tratamiento. Utilizando la prueba de Tukey, Figura 28, se logró determinar que entre las medianas de la concentración de CO₂ del tratamiento de ácido giberélico (4.60 ppm CO₂/kg), las muestras control (4.78 ppm CO₂/kg) y el tratamiento con absorbente (4.78 ppm CO₂/kg) no existe diferencia estadísticamente significativa, sin embargo, estas muestras si poseen diferencia estadísticamente significativa con el tratamiento con goma arábica y quitosano (5.53 ppm CO₂/kg).

Figura 29. Concentración de CO₂ promedio a través del tiempo para banano Gros Michel aplicando distintos tratamientos.



Para complementar estos resultados se utilizó la Figura 29, en la cual se muestra la concentración del CO₂ a través del tiempo. Al observarla se pueden distinguir caídas y picos, lo que se puede explicar con la metodología, la cual consistía en abrir el recipiente donde se encontraban almacenados los bananos para introducir el sensor y así efectuar la medición. Siendo la causa del aumento o la disminución la combinación de la pérdida de gases debido a la apertura del recipiente y la insuficiente cantidad de O₂ en el ambiente (interior del recipiente) para llevar a cabo la respiración y así producir más CO₂ (Castellanos *et al.*, 2011).

Figura 30. Temperatura (izquierda) y humedad (derecha) a través del tiempo dentro de los recipientes que contenían las muestras de banana Gros Michel con diferentes tratamientos.



Ahora bien, en la tasa respiratoria de una fruta influye la humedad relativa y temperatura durante el almacenamiento, aumentando la tasa respiratoria cuando disminuye la humedad relativa y aumenta la temperatura (Vijay y Pandey, 2014; Botía-Niño *et al.*, 2008). Como se muestra en la Figura 30 el recipiente con las muestras control mantuvo una mayor temperatura durante el análisis en comparación con las otras muestras y durante los últimos días hubo una disminución en la humedad (Laguerre *et al.*, 2010); ya que este recipiente se encontraba más cercano a la puerta del refrigerador se asume que la temperatura del ambiente terminó por influir en el recipiente. En cuanto a la humedad, las diferencias entre tratamientos se atribuyen a que determinadas áreas dentro de los recipientes contaban con mayor condensación de agua, lo que pudo influir en la medición (Farahani *et al.*, 2014). Se esperaba que los resultados fueran diferentes a la muestra control, sin embargo, se puede observar que el tratamiento con absorbente y ácido giberélico presenta mejores resultados que la muestra con goma arábica y quitosano.

Cuadro 5. Resumen de los resultados de la aplicación de diferentes tratamientos en banana Gros Michel analizando diferentes variables.

Tratamiento	Variables					
	Pérdida de peso	Dureza	Sólidos solubles totales	pH	Color	Tasa de respiración
Ácido giberélico	X		X		X	X
Goma arábica y quitosano	X	X	X	X		
Absorbente			X			X

Nota: La X representa qué tratamiento es mejor para cada variable analizada, más de una X significa que se obtiene el mismo resultado independientemente del tratamiento.

Se puede observar que los mejores tratamientos fueron el ácido giberélico y la goma arábica y quitosano, sin embargo, debido a que el color es una variable que influye en el consumidor en gran medida, se considera que el tratamiento con ácido giberélico es mejor. Dicho esto, para que esta investigación cuente con mayor validez se tendría que utilizar muestras sin daños físicos, un refrigerador con sensor de humedad y temperatura y un sistema de ventilación y cambiar el método de medición de CO₂ de las muestras para evitar fugas de gases.

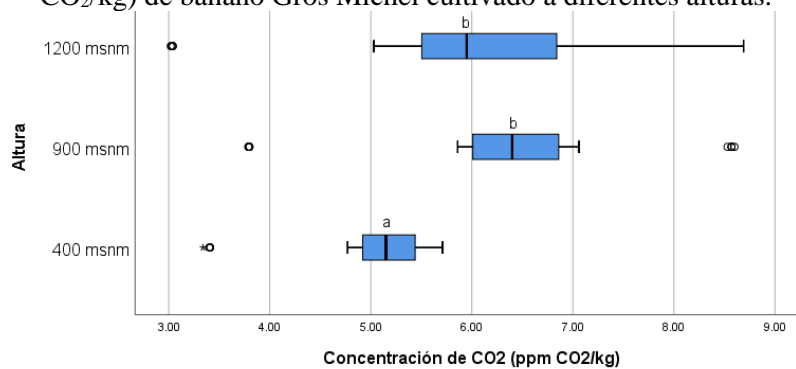
C. Comparación de la tasa de respiración del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) a diferentes alturas

Cuadro 6. Prueba de Kruskal-Wallis para la concentración de CO₂ (ppm CO₂/kg) en banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.

Valor p	Resultado
0.000	Se rechaza la hipótesis nula.

Nota: La hipótesis nula y alternativa se encuentran establecidas en la sección VI.C. Se utilizó un valor de significancia (α) igual a 0.05.

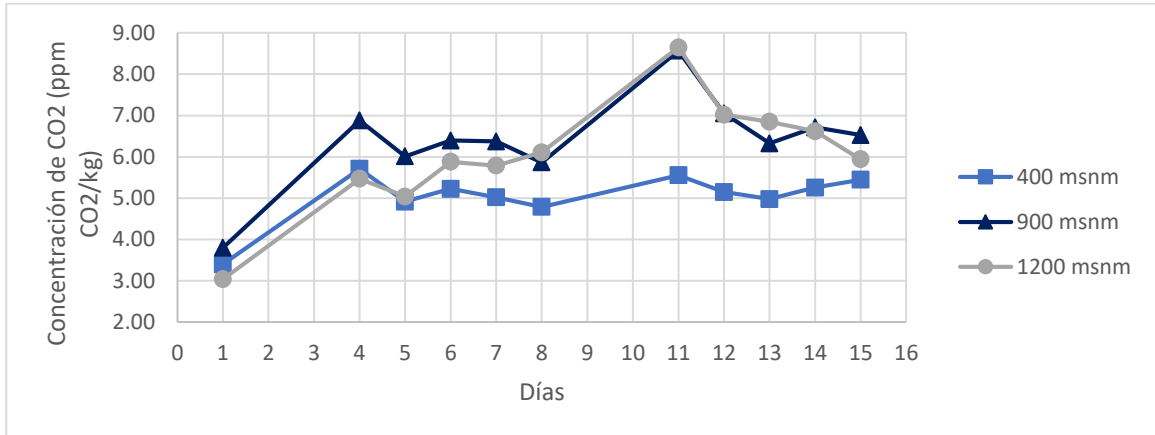
Figura 31. Comparaciones múltiples de medianas para evaluar la concentración de CO₂ (ppm CO₂/kg) de banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.



Nota: Los resultados corresponden al análisis de 11 días distintos.

En el Cuadro 6 se puede observar que después de haber realizado la prueba de Kruskal-Wallis se rechazó la hipótesis nula, lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de concentración de CO₂ debido a la altura. Utilizando la prueba de Tukey, Figura 31, se logró determinar que entre las medianas de la concentración de CO₂ a 900 msnm (6.41 ppm CO₂/kg) y a 1200 msnm (6.04 ppm CO₂/kg) no existe diferencia estadísticamente significativa, sin embargo, estas dos alturas si poseen diferencia estadísticamente significativa con la altura a 400 msnm (5.04 ppm CO₂/kg). En esta figura también se puede observar que para las tres alturas existen datos atípicos entre 3-4 ppm CO₂/kg, lo que se atribuye a que durante los primeros días de medición se estaba acumulando el CO₂.

Figura 32. Concentración de CO₂ promedio a través del tiempo para banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.



Para complementar estos resultados se utilizó la Figura 32, en la cual se muestra la concentración del CO₂ a través del tiempo. Al observarla se identifican dos puntos característicos del día 1 al 4 y del 8 al 11, estos picos se pueden explicar con la metodología, pues como se explicó con anterioridad, consistía en abrir el recipiente donde se encontraban almacenados los bananos para introducir el sensor y así efectuar la medición. El introducir el sensor permitía la liberación de gases al ambiente, por lo tanto, no introducirlo por varios días permitió su acumulación. Ahora bien, se muestra un aumento o disminución en menor proporción el resto de los días; aunque se esperaría un aumento debido a la producción de CO₂ llevada a cabo durante la respiración (Castellanos *et al.*, 2011); la disminución pudo ser ocasionada por la combinación de dos factores: (1) la pérdida de gases debido a la apertura del recipiente para introducir el sensor y (2) insuficiente O₂ en el ambiente (interior del recipiente) para llevar a cabo la respiración y producir más CO₂. Al sacar los bananos de los recipientes estos contaban con un olor y sabor desagradable, lo cual se ocasiona al exponer el producto a concentraciones de O₂ inferiores al 1%, pues se favorecen reacciones anaerobias dando como resultado compuestos indeseables como alcoholes, aldehídos y ácidos orgánicos (Castellanos *et al.*, 2011), esto quiere decir que al final del experimento las muestras se encontraban saturadas de CO₂.

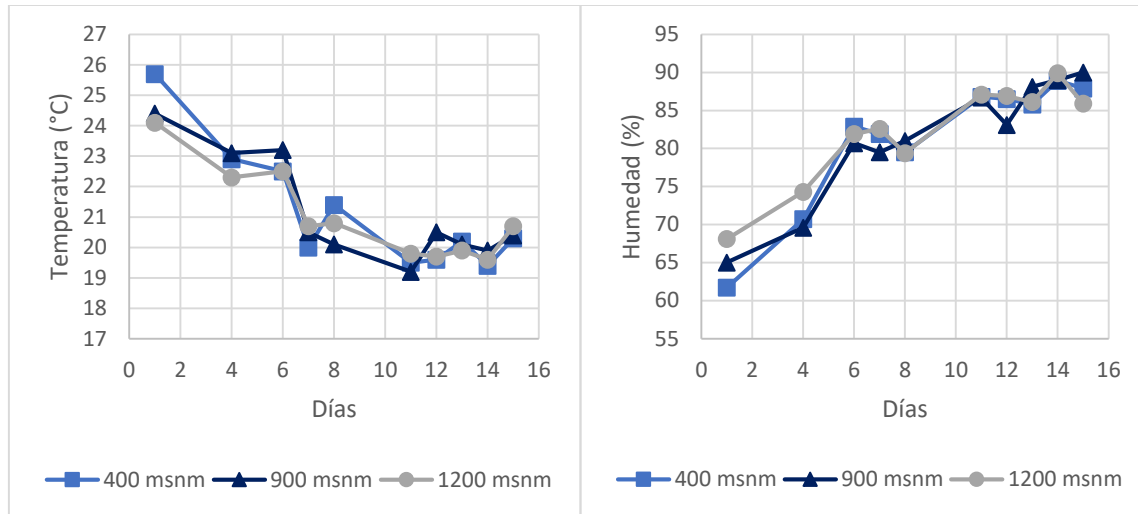
Figura 33. Diferencia en el tamaño del banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas. Izquierda: 400 msnm, centro: 900 msnm y derecha: 1200 msnm.



Como se puede observar en la Figura 33 los bananos que se cultivaron a 1200 msnm poseen un mayor tamaño en comparación con los bananos cultivados a 400 msnm y 900 msnm. La variación fenotípica, definida como la aparición de diferencias entre individuos de la misma especie, puede atribuirse a diferencias en la composición genética o al entorno en el que crecen, en este caso sería la segunda opción (Mkwezalamba *et al.*, 2015). Se ha reportado que la altitud, clima

(temperatura, humedad y viento) y tipo de suelo (pH, textura y fertilidad) pueden afectar tanto el crecimiento como el rendimiento de los cultivares *Musa* (Nakato *et al.*, 2023; Sivirihauma *et al.*, 2016; Hiariej *et al.*, 2015; Nofal y Rezk, 2021). De hecho, se ha encontrado que en condiciones más frías, mayores altitudes (existe una disminución de 0.6-0.7°C por cada 100 m), el desarrollo de los frutos puede prolongarse y el tiempo de cosecha aumenta, generándose frutos de mayor tamaño y mejor calidad (Fischer *et al.*, 2022; Ramírez *et al.*, 2010a). Por lo tanto, se puede inferir que el cambio en los factores ambientales a 1200 msnm favorecen el aumento de tamaño en el banano Gros Michel.

Figura 34. Temperatura (izquierda) y humedad (derecha) dentro de los recipientes que contenían las muestras de banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.



Ahora bien, la tasa respiratoria de una fruta depende de varios factores, entre ellos: la relación superficie-volumen, la humedad relativa y temperatura durante el almacenamiento, el movimiento y circulación de aire y la condición y estructura de la superficie de la fruta (Vijay y Pandey, 2014). En cuanto a la relación superficie-volumen, se ha encontrado que generalmente cuando se tiene una relación mayor entre el área de superficie y volumen, se tiene una pérdida mayor de agua por evaporación (El-Ramady *et al.*, 2015), por lo tanto, los frutos de menor tamaño tienden a perder más agua que los de mayor tamaño. La humedad relativa y temperatura también tienen influencia en la respiración, pues mientras menor sea la humedad y mayor sea la temperatura mayor será la respiración (Botía-Niño *et al.*, 2008). Como se muestra en la Figura 34 no hay una diferencia notoria de estas variables entre muestras, así pues se puede asumir que no influyeron en los resultados. Analizando a mayor profundidad la figura, se puede observar que la temperatura disminuyó y la humedad aumentó, esto concuerda con la teoría, pues la respiración produce agua como uno de sus productos y ya que no podía salir del recipiente se acumuló en el ambiente formado, a su vez colaborando para disminuir la temperatura (Castellanos *et al.*, 2011). Debido a que los recipientes se mantuvieron cerrados no hubo movimiento o circulación de aire, por consiguiente también se asume que esta variable no afectó los resultados. Teniendo en consideración lo expuesto con anterioridad, se esperaría que los bananos de menor tamaño (400 msnm y 900 msnm) tengan una mayor tasa de respiración; esto no ocurrió debido a la condición y estructura de la superficie de las muestras analizadas. Una lesión o daño provoca el aumento de la respiración, producción de etileno, producción de fenólicos y el deterioro de las células cercanas a la lesión (El-Ramady *et al.*, 2015), como se puede observar en la Figura 33, las tres muestras cuentan con lesiones, especialmente la de 1200 msnm, por esta razón, no resulta extraño que tenga una mayor respiración en comparación con la muestra de 400 msnm y la de 900 msnm.

Dicho esto, se sostiene que existe diferencia en la tasa de respiración a diferentes alturas, sin embargo, para que este análisis cuente con mayor validez se tendrían que utilizar muestras que cuenten con las mejores condiciones posibles (sin daños) y sean transportadas en un ambiente controlado, ya que el transporte se realizó en canastas expuestas al aire libre y como se ha explicado con anterioridad la temperatura afecta la tasa de respiración (Botía-Niño *et al.*, 2008).

IX. Conclusiones

- El tratamiento con ácido giberélico demostró ser el tratamiento con mejores resultados, manteniendo el color verde durante una mayor cantidad de tiempo (12 días), mostrando una menor pérdida de peso (19.6 g), una menor tasa de respiración (4.60 ppm CO₂/kg) y un comportamiento adecuado de grados Brix. Sin embargo, en el caso de la dureza (15468.93 N/m²) y el pH (4.74) no se encontró una diferencia favorable estadísticamente significativa.
- Se caracterizó de manera fisicoquímica el banano Gros Michel (*Musa acuminata*) durante su etapa inicial de maduración; encontrándose como características una longitud de 17.12 ± 0.01 cm, diámetro de 3.62 ± 0.00 cm, peso de 203.11 ± 4.32 g, dureza de 23669 ± 290 N/m², sólidos solubles totales de 0.0 ± 0.0 °Brix, un pH de 5.52 ± 0.03 y una coloración verde completa. También se logró caracterizar las diferentes etapas de maduración a lo largo de la experimentación, permitiendo analizar a su vez la eficacia de los tratamientos aplicados.
- Al comparar los tratamientos con ácido giberélico, goma arábica y quitosano y absorbente se pudo determinar que tanto para el tratamiento con ácido giberélico como para el tratamiento con goma arábica y quitosano se logran obtener buenos resultados para 4 de las 6 variables analizadas (pérdida de peso, dureza, sólidos solubles totales, pH, color y tasa de respiración). Siendo pérdida de peso (19.6 g), sólidos solubles totales, color (12 días) y tasa de respiración (4.60 ppm CO₂/kg) para el tratamiento con ácido giberélico y pérdida de peso (16.8 g), dureza (18381.14 N/m²), sólidos solubles totales y pH (5.09) para el tratamiento con goma arábica y quitosano. Sin embargo, debido a que el ácido giberélico permite mantener el color del banano durante más tiempo se considera que es una mejor opción.
- Se midió la tasa de respiración (concentración de CO₂) del banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas. No encontrándose diferencia entre las medianas de los bananos a 900 msnm (6.41 ppm CO₂/kg) y a 1200 msnm (6.04 ppm CO₂/kg), pero sí entre los bananos de estas dos alturas con los que son cultivados a 400 msnm (5.04 ppm CO₂/kg). Sin embargo, se esperaba que fuera el banano a 1200 msnm el que tuviera una menor tasa de respiración debido a su tamaño (relación superficie-volumen); esto no sucedió debido a que las muestras analizadas presentaban daños y no fueron transportados de la manera adecuada, lo que resultó en un aumento en su tasa de respiración.

X. Recomendaciones

- Las condiciones a las que se expongan los bananos durante su exportación pueden afectar su vida útil verde, por este motivo, para acercar este estudio a las condiciones reales se recomienda utilizar un refrigerador que cuente con reguladores de humedad y temperatura, esto para mantener una temperatura de 12-14°C y una humedad relativa de 90-96%, además, debe contar con un sistema de ventilación (Castellanos *et al.*, 2011; Ordoñez y Villavicencio, 2022).
- Los daños físicos incrementan la tasa de respiración de los frutos, ya que utilizarlos puede sesgar el estudio, se recomienda utilizar bananos que no posean ningún tipo de daño físico (Maia *et al.*, 2014). Para exportación se utilizan bananos que cuenten con las mejores condiciones fisicoquímicas posibles, de lo contrario son rechazados, por lo tanto, lo ideal sería replicar estas condiciones (Ordoñez y Villavicencio, 2022).
- El uso de la cámara aislada para el tratamiento con absorbente fabricada con bolsas de plástico provocó un aumento en la temperatura del ambiente, por lo tanto, si no se cuenta con otro refrigerador se recomienda realizar la experimentación para este tratamiento antes o después de realizar la experimentación de los otros tratamientos; si se desea realizar toda la experimentación en el mismo periodo de tiempo, se debe optar por utilizar un segundo refrigerador.
- Ya que se desea trabajar con banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas (400 msnm, 900 msnm y 1200 msnm) se recomienda analizar el contenido de azúcares y compuestos volátiles en la etapa de maduración final y realizar una comparación entre alturas, pues como se describe en el estudio de Brat *et al.*, (2004), la altitud del cultivo influye en las características sensoriales del banano, variando la concentración de cetonas, alcoholes, ésteres y derivados de éteres de fenol. Además, se han realizado observaciones en campo por parte de agricultores e investigadores indicando que la altura puede provocar una mayor concentración de azúcares en la fruta, siendo más dulce y por lo tanto, más apetecible para el consumidor. También se puede optar por entrenar un panel para que identifique descriptores previamente definidos (Brenes y Tapia, 2010, citado por Ramírez *et al.*, 2010b; Bugaud *et al.*, 2011; Khakasa *et al.*, 2023).
- Los recipientes utilizados para la medición de la tasa de respiración (usados para la comparación de la eficiencia de los tratamientos y el comportamiento de los bananos cultivados a diferentes alturas), contaban con fugas de gases al momento de introducir el sensor de CO₂. Por tanto, se recomienda utilizar un método que evite esto, como el método descrito por Rolz (2011) en donde un recipiente adaptado con una manguera se conecta a un cromatógrafo de gases que permite medir etileno además de CO₂.
- Si se desea analizar el uso de un recubrimiento, se debe asegurar que la aplicación sea uniforme, de esta manera se evitará que el grosor del recubrimiento aplicado a los bananos sea variable y termine influyendo en los resultados finales.
- Debido a que no se obtuvieron buenos resultados con el uso de absorbente de etileno se recomienda combinarlo junto con el uso de bolsas plásticas y vacío. En el caso de los otros

tratamientos se recomienda variar el tiempo de inmersión y el método de aplicación (Veléz *et al.*, 2007; Smriti *et al.*, 2021; Zaheer *et al.*, 2021).

XI. Presupuesto

Cuadro 7. Presupuesto necesario para llevar a cabo el proceso para aumentar la vida útil de banano Gros Michel (*Musa acuminata*) y así facilitar su exportación.

No	Rubro				
1	Honorarios	Unidades	Tarifa (Q)	Total (Q)	Narrativo
		(mes, días, horas)			
	Paola Godoy	-	Q 4,500.00	Q 4,500.00	Tiempo del evaluador a lo largo del proyecto.
	Subtotal			Q 4,500.00	-
2	Suministros	Unidades	Costo unitario	Total	Narrativo
	Banano (<i>Musa acuminata</i>)	150	Q -	Q -	Indispensables para el estudio, fueron proveídos por la empresa.
	Marcador permanente	1	Q 10.00	Q 10.00	Se utilizó para rotular las muestras.
	Tape blanco	1	Q 14.00	Q 14.00	Se utilizó para rotular las muestras.
	Recipiente de plástico	7	Q 18.00	Q 126.00	En ellos se almacenaron los bananos después de aplicar los tratamientos y también los bananos de diferentes alturas, esto con la finalidad de medir la tasa de respiración.
	Tape gris de 2 plg	1	Q 74.99	Q 74.99	Se utilizó para reforzar los recipientes y evitar que se escape CO ₂ de ellos.
	RTV Silicone Prodin	1	Q 25.00	Q 25.00	Se utilizó para sellar cualquier posible escape de gases de los recipientes.
	Plástico para aislamiento	1	Q 5.00	Q 5.00	Se utilizó para crear una compuerta para dificultar la salida de CO ₂ .
	Cuchilla	1	Q 3.75	Q 3.75	Se utilizó para modificar las tapas de los recipientes que contuvieron los bananos.
	Bolsas de plástico	10	Q 1.00	Q 10.00	Se utilizaron para crear diferentes ambientes en la refrigeradora y para modificar los recipientes en los que estuvieron los bananos a diferentes alturas.

2	Suministros	Unidades	Costo unitario	Total	Narrativo
	Hilo resistente	1	Q 21.00	Q 21.00	Se utilizó para elaborar las compuertas en las tapaderas de los recipientes de plástico.
	N-Large 3.20 SL de Stroller (94 mL)	1	Q 11.28	Q 11.28	Utilizado para uno de los tratamientos de extensión de vida útil.
	Goma arábica (188 g)	1	Q 221.84	Q 221.84	Utilizado para uno de los tratamientos de extensión de vida útil.
	Quitosano (25 g)	1	Q 235.00	Q 235.00	Utilizado para uno de los tratamientos de extensión de vida útil.
	Ácido acético 100%	1	Q 43.50	Q 43.50	Utilizado para uno de los tratamientos de extensión de vida útil.
	Cronómetro	1	Q 45.00	Q 45.00	Utilizado para registrar el tiempo durante el cual los bananos fueron sometidos al tratamiento.
	Recipiente de plástico con capacidad de 10 L	2	Q 25.00	Q 50.00	Utilizados para llevar a cabo los métodos de inmersión.
	Bolsa absorbente de etileno	2	Q 0.80	Q 1.60	Utilizado para la fase de experimentación, extensión de vida útil.
	Papel bond (20 hojas)	1	Q 2.16	Q 2.16	Se utilizaron a lo largo del estudio.
	Subtotal			Q 900.12	-
3	Equipo	Unidades	Costo	Total	Narrativo
	Extech SD800 CO2/Humidity/Temperature Datalogger	1	Q 4,500.00	Q 4,500.00	Utilizado para la fase de experimentación.
	Fluke 971 Temperature Humidity Meter	2	Q 3,650.00	Q 7,300.00	Utilizado para la fase de experimentación.
	Extech RH101 Hygro-Thermometer and IR Thermometer	1	Q 1,700.00	Q 1,700.00	Utilizado para la fase de experimentación.
	Fogel modelo VR-17-RE-A-SSA	1	Q 19,500.00	Q 19,500.00	Utilizado para la fase de experimentación.
	Subtotal	-	-	Q 33,000.00	-
4	Transporte y viáticos	Unidades	Costo	Total	Narrativo
	Recolección de muestras	-	Q -	Q -	La empresa se encargó de realizar la entrega.
	Subtotal			Q -	-

5	Servicios externos	Unidades	Costo	Total	Narrativo
	No aplica	-	Q -	Q -	-
	Subtotal			Q -	-
6	Imprevisto (máx. 10%)	-	-	Q 3,840.00	-
	Subtotal			Q 3,840.00	-
	TOTAL	-	-	Q 42,240.12	-

XII. Cronograma de actividades

Cuadro 8. Programación de actividades para el desarrollo de un proceso para aumentar la vida útil del banano Gros Michel (*Musa acuminata*) para facilitar su exportación.

Mes	MAYO			JUNIO				JULIO									
Semana	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1					S2				
Día	8-may	15-may	28-may	29-may	31-may	8-jun	9-jun	15-jun	16-jun	22-jun	23-jun	26-jun	29-jun	30-jun	1-jul	2-jul	3-jul
Primer acercamiento con la empresa																	
Cotización de materiales ¹																	
Medición de temperatura en refrigeradores ²																	
Elaboración de recipientes para muestras																	
Prueba de equipos																	

Mes	JULIO														
Semana	S2				S3				S4				S5		
Día	4-jul	5-jul	6-jul	7-jul	10-jul	11-jul	12-jul	13-jul	14-jul	17-jul	18-jul	19-jul	20-jul	21-jul	26-jul
Recepción de muestras															
Limpieza de las muestras															
Preparación del refrigerador (limpieza y ajuste de temperatura)															
Aplicación de los tratamientos para extensión de vida útil															
Introducción al refrigerador - Muestras con dif. tratamientos															
Introducción al refrigerador - Muestras con dif. alturas															
Medición de CO ₂ - Muestras con dif. tratamientos															
Medición de temperatura - Muestras con dif. tratamientos															
Medición de humedad - Muestras con dif. tratamientos															
Medición de temperatura - Refrigerador															
Medición de humedad - Refrigerador															
Medición de CO ₂ - Muestras con dif. alturas															
Medición de temperatura - Muestras con dif. alturas															
Medición de humedad - Muestras con dif. alturas															
Pesaje de bananos															
Cambios de color - Toma de fotografías															
Medición de firmeza															
Medición de grados Brix															
Medición de pH															

Nota: ¹Cotización de gases para cromatógrafo (Productos del Aire), ácido giberélico (Merck) y sachets absorbentes de etileno (Comesa). ²Se realizaron mediciones de todos los refrigeradores disponibles en la planta de alimentos, incluyendo también áreas que podían presentar menor temperatura de la ambiente.

XIII. Referencias

- Abraham, B. M., Saleh, B. K. y Zelelew, D. Z. (2022). Effect of Post-Harvest Handling and Ripening Methods on Quality and Shelf-Life of Banana. *American Journal of Plant Sciences*, 13(2), 175-192. DOI: 10.4236/ajps.2022.132011
- AGROCALIDAD. (2016). *Guía de buenas prácticas agrícolas para banano resolución DAJ-201413A-0201.0040 emitida el 14 de marzo de 2014*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/guia4.pdf>
- Ahmad, S., Ahmad, Z., Akram, M., Aziz, A. y Mohson, M. (2006). Effect of Relative Humidity on the Ripening Behaviour and Quality of Ethylene Treated Banana Fruit. *Journal of Agriculture & Social Sciences*, 2(1), 54-57.
- Archana, U. y Sivachandiran, S. (2015). Effect of application of gibberellic acid (GA₃) on shelf-life on banana. *International Journal of Research In Agriculture and Food Sciences*, 3(1). <https://www.ijsk.org/wp-content/uploads/2015/05/1-EFFECT-OF-APPLICATION-OF-GIBBERELIC-ACID.pdf>
- Balaguera-López, H. E., Salamanca-Gutiérrez, F. A., García, J. C. y Herrera-Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302-313. ISSN 2011-2173.
- BANGUAT. (14 de marzo de 2023a). *Cuadro 1. Guatemala: Valor (FOB), volumen y precio medio de los 25 principales productos de exportación. Comercio General. A Enero de cada año*. BANGUAT. Recuperado el 14 de marzo de 2023 de <http://banguat.gob.gt/page/cuadro-1-1>
- BANGUAT. (14 de marzo de 2023b). *Ingreso Mensual de Divisas por Exportaciones, 2016-2022*. BANGUAT. Recuperado el 14 de marzo de 2023 de <https://banguat.gob.gt/es/page/ingreso-mensual-de-divisas-por-exportaciones-2016-2022>
- Barjolle, D., Gorton, M., Milosevic, J. y Stojanovic, Z. (2013). *Food Consumer Science. Theories, Methods and Application to the Western Balkans*. Springer. ISBN: 978-94-007-5946-6
- Barrera, J. L., Arrazola, G. S. y Cayón, D. G. (2010). Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (*musa* AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. *Acta Agronómica*, 59(1), 20-29. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169916223003.pdf>
- Becker, B. R. y Fricke, B. A. (2014). Transpiration and Respiration of Fruits and Vegetables. *University of Missouri-Kansas*. https://b.web.umkc.edu/beckerb/publications/chapters/trans_resp.pdf
- Berger, H., Villaseca, M. y Galletti, L. (2006). Determinación de la tasa respiratoria de *Alstroemeria* var. "Irena". *Agro Sur*, 34(1-2), 41-42. <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v34n1-2/art24.pdf>

- Bolívar-Fernández, N., Saucedo-Veloz, C. y Sauri-Duch, E. (2011). Respiración y parámetros relacionados durante la maduración del chicozapote cosechado en la península de Yucatán. *Revista Brasileira de Fruticultura*, (E), 261-266. <https://www.scielo.br/j/rbf/a/6XTbg74GS3mVBwjqs6RgKtD/?lang=es&format=pdf>
- Botía-Niño, Y., Almanza-Merchán, P., Balaguera-López, H. E. (2008). Efecto de la temperatura sobre la maduración complementaria en curuba (*Passiflora mollissima Bailey*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 11(2), 187-196. ISSN 0123-4226
- Brat, P., Yahia, A., Chillet, M., Bugaud, C., Bakry, F., Reynes, M. y Brillouet, J. (2004). Influence of cultivar, growth altitude and maturity stage on banana volatile compound composition. *Fruits*, 59(2), 75-82. DOI: 10.1051/fruits:2004007
- Bugaud, C., Deverge, E., Daribo, M. O., Ribeyre, F., Fils-Lycaon, B. y Mbéguié-A-Mbéguié, D. (2011). Sensory characterisation enabled the first classification of dessert bananas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 992-1000. DOI 10.1002/jsfa.4270
- Cachay, L. (2017). *Maduración controlada y color en bananos* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Martín <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2499/1/MADURACION%20CONTROLADA%20Y%20COLOR%20EN%20BANANOS.pdf>
- Campos, H. y Caligari, P. D. S. (2017). *Genetic Improvement of Tropical Crops*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-59819-2>
- Castellanos, D. A., Algecira, N. A. y Villota, C. P. (2011). Aspectos relevantes en el almacenamiento de bananos en empaques con atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(2), 114-134. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81320900002.pdf>
- Cayón, D. G. (2004). *Ecofisiología y productividad del plátano (Musa AAB Simmonds)*. XVI Reunión Internacional Acobat. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19331/44895_60230.pdf?s
- Chávez-Estudillo, V., Valencia-Ordoñez, A., Córdova-Nieto, C., Flores-Estévez, N., Jarillo-Rodríguez, J. y Noa-Carrazana, J. C. (2017). Lixiviados de Raquis de Plátano: Obtención y Usos Potenciales. *Cuadernos de Biodiversidad*, 53(2017), 1-8. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/72105/1/CuadBio_53_01.pdf
- Ciro, H. J., Monroy, F. A. y Cortés, E. A. (2008). Estudio preliminar del comportamiento reológico bajo compresión unidireccional de la pulpa de plátano (*Musa AAB Simmonds*). *DYNA*, 75(155), 155-161. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/22986>
- Cordenunsi-Lysenko, B. R., Nascimento, J. R., Casto-Alves, V. C., Purgatto, E., Fabi, J. P. y Peroni-Okyta, F. H. (2019). The Starch Is (Not) Just Another Brick in the Wall: The Primary Metabolism of Sugars During Banana Ripening. *Front. Plant Sci.*, 10(391). DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00391>
- Corpas Iguarán, E. J. y Tapasco Alzate, O. A. (2014). Hallazgos de la biosíntesis del etileno en frutas climatéricas y de los factores que afectan la ruta metabólica. *Alimentos hoy*, 22(31), 46-61. <http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl/vufind/Record/oai:localhost:10839-1683>
- Cruz-Ortíz, L., Escobar-Ventura, K., Flores-Méndez, M., Urbina-Reyes, M. y Vásquez-Ovando, A. (2021). Recubrimiento con cera de abeja, extractos de ajo y sauce para aumentar la vida

- postcosecha del banano Gran Enano. *Informador Técnico*, 85(2), 172-183. <http://doi.org/10.23850/22565035.3685>
- Desai, B. B., y Deshpande, P. B. (1978). Chemical control of ripening in banana. *Physiologia Plantarum*, 44(3), 238–240. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1978.tb08624.x>
- Duguma, T., Egigu, M. C. y Muthuswamy, M. (2014). The effects of gibberellic acid on quality and shelf life of banana (*Musa* spp.). *Educational Research Review*, 6(23), 63-69. https://ijcrr.com/uploads/703_pdf.pdf
- El-Ramady, H., Domokos-Szabolcsy, E., Abdalla, N. A., Taha, H. S. y Fári, M. (2015). *Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage. Sustainable Agriculture Reviews*, 65-152. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_2
- Escalier, B. y Grágeda, R. (2015). *Manual de buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de banano* (*Musa* AAA). https://www.senasag.gob.bo/images/ia/programa_agroalimentaria/manuales/MANUAL%20DE%20BUENAS%20PRACTICAS%20EN%20BANANO%20BOLIVIA.pdf
- FAO. (2000). *Proyecto TCP/PER/6713 (a) "Técnicas mejoradas de postcosecha, procesamiento y comercialización de frutas"*. FAO, Roma. <https://www.fao.org/3/ac304s/ac304s.pdf>
- FAO. (2014). *Banana market review and banana statistics 2012–2013*. FAO, Roma. <http://www.fao.org/docrep/019/i3627e/i3627e.pdf>
- FAO. (2019). *The state of food and agriculture. Moving forward on food loss and waste production*. FAO, Roma. CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- FAO. (2020). *Perspectivas a mediano plazo: perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019-2028*. FAO, Roma. <https://www.fao.org/3/ca7568es/CA7568ES.pdf>
- FAO. (2022a). *Banana market review preliminary results 2022*. FAO, Roma. <https://www.fao.org/3/cc3421en/cc3421en.pdf>
- FAO. (2022b). *Perfil de sistemas alimentarios: Guatemala. Catalizar la transformación sostenible e inclusiva de nuestros sistemas alimentarios*. FAO. <https://www.fao.org/3/cc2671es/cc2671es.pdf>
- Farahani, H., Wagiran, R. y Hamidon, M. N. (2014). Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review. *Sensors*, 14(5), 7881-7939. DOI: 10.3390/s140507881
- Fischer, G., Parra-Coronado, A., Balaguera-López, H. (2022). Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A review. *Agronomía Colombiana*, 40(2), 212-227. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101854>
- García, J. C., Balaguera-López, H. E. y Herrera, A. O. (2012). Conservación del fruto de banano bocadoillo (*Musa* AA Simmonds) con la aplicación de permanganato de potasio (KMnO₄). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 161-171. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i2.1974>
- Gavin, C., Barzallo, D., Vera, H. y Lazo, R. (2021). Revisión bibliográfica: Etileno en poscosecha, tecnologías para su manejo y control. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4). <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.179>

- Ghimire, R., Kumar, P., Khanal, S., Kumar, A., Raj, A. y Shrestha, J. (2021). Effect of different levels of gibberellic acid and kinetin on quality and self-life of banana (*Musa spp.*) fruits. *Heliyon*, 7(2021), e08019. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08019
- Giraldo, M. C., Ligarreto, G. A., Cayón, G. y Melo, C. (2011). Análisis de la variabilidad genética de la colección colombiana de musáceas usando marcadores isoenzimáticos. *Acta Agronómica*, 60(2), 108-119. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122011000200002
- González Briceño, F. I. (2018). Efecto de la exposición de la fruta en el árbol sobre la tasa respiratoria y producción de etileno en dos cvs. de manzana (*Malus domestica Borkh*) [Tesis de ingeniería, Universidad de Talca]. Repositorio institucional de la Universidad de Talca <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/11704/5/20190024.pdf>
- Guadarrama, A. y Peña, X. (2013). Actividad respiratoria vs. variaciones físicas Y químicas en la maduración de frutos de Naranja china (*Citrus x microcarpa* Bunge). *Biagro*, 25(1), 57-63. <https://ve.scielo.org/pdf/ba/v25n1/art07.pdf>
- Guzmán, N. (2021). Aplicación post-cosecha del ácido giberélico como agente retardante de la maduración de banano proveniente del Trópico de Cochabamba. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(2021), 75-85. <https://doi.org/10.52428/20758944.v17iEspecial.8>
- Hailu, M., Workneh, T. S. y Belew, D. (2013). Review on postharvest technology of banana fruit. *African Journal of Biotechnology*, 12(7), 635-647. eISSN: 1684-5315
- Hiariej, A., Arumingtyas, E. L., Widoretno, W. y Azrianingsih, R. (2015). Phenotypic Variation of Fei Banana (*Musa Troglodytarum* L.) Originated from Maluku Islands. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 652-658. ISSN: 0975-8585. [https://www.rjpbcs.com/pdf/2015_6\(2\)/\[99\].pdf](https://www.rjpbcs.com/pdf/2015_6(2)/[99].pdf)
- Instituto Nacional de Estadística –INE–. (2017). *Hoja de balance de alimentos. HBA 2017 Guatemala*. INE. <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2019/12/27/20191227173152xoNyfwplfoBW1kdUPmnw7MVW98ZCTepI.pdf>
- International Bank for Reconstruction and Development. (2020). *Guatemala. Food smart country diagnostic*. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/34524/Guatemala-Food-Smart-Country-Diagnostic.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Jiménez, H. H. (2014). *Aspectos ambientales y buenas prácticas de manufactura para una empresa de banano* [Tesis de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional de la Universidad de San Carlos de Guatemala http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2946_IN.pdf
- Kandasamy, P. (2022). Respiration rate of fruits and vegetables for modified atmosphere packaging: a mathematical approach. *Journal of Postharvest Technology*, 10(1): 88-102.
- Kasim, R., Bintoro, N., Rahayoe, S. y Pranoto, Y. (2022). Effect of temperature and relative humidity on the respiration rate of coated banana (*Musa acuminata*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1083. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1083/1/012026/pdf>
- Khakasa, E., Muyanja, C., Mugabi, R., Bugaud, C., Forestier-Chiron, N., Uwimana, B., Arinaitwe, I. K. y Nowakunda, K. (2023). Sensory characterization of the perceived quality of East

- African highland cooking bananas (*matooke*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (2023). DOI 10.1002/jsfa.12606
- Kowsalya, J. y Rajkumar, M. (2019). Effect of chemicals and growth regulations on shelf life and quality of banana cv. Grand Naine. *Plant Archives*, 19(2), 832-834. e-ISSN:2581-6063 http://plantarchives.org/SPL%20ISSUE%20SUPP%202,2019/149_832-834_.pdf
- Kumar, N., Ved, A., Yadav, R. R., y Prakash, O. (2021). A comprehensive review on phytochemical, nutritional, and therapeutic importance of *Musa acuminata*. *International journal of current research and review*, 13(09), 114–124. <https://doi.org/10.31782/ijcrr.2021.13901>
- Laguerre, O., Benamara, S. y Flick, D. (2010). Study of water evaporation and condensation in a domestic refrigerator loaded by wet product. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 118-216. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.09.025>
- Lal, S., Kumar, D., Singh, D. B., Ahmed, N., Kumar, R. y Dar, G. A. (2011). Effect of pre-harvest application of calcium chloride and gibberellic acid on shelf-life and post-harvest quality of apricot (*Prunus armeniaca* L.) cv. Harcot. *Journal of horticultural sciences*, 6(1), 46-51. DOI https://login.research4life.org/tacsgr1doi_org/10.24154/jhs.v6i1.441
- Lim, T. K. (2012). *Edible medicinal and non medicinal plants: Volume 3, fruits*. Springer Netherlands. ISBN: 978-94-007-2534-8
- López, J. L. (2020). *Prolongación de la vida útil del banano (Musa paradisiaca), usando su latex como recubrimiento* [Tesis de ingeniería, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio institucional de la Universidad Señor de Sipán <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6622/L%C3%B3pez%20Torres%20Jos%C3%A9%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Macon, R. (2011). *Brix measurement*. PPD Inspection Series. Technical Procedures Manual. <https://www.fruitsmart.com/wp-content/uploads/Brix-Table-USDA-Conversion-Chart.pdf>
- Maduwanthi, S. D. T. y 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*, 2019, Article ID 7653154. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/7653154>
- Maduwanthi, S. D. T. y Marapana, R. A. U. J. (2021). Comparison of pigments and some physicochemical properties of banana as affected by ethephon and acetylene induced ripening. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33(101997), 101997. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101997>
- Maia, V. M., Salomão, L. C., Siqueira, D. L., Puschman, R., Gonçalves, V. J y Roberto, P. (2011). Physical and metabolic alterations in “Prata Anã” banana induced by mechanical damage at room temperature. *Sci. Agricola*, 68(1), 31-36.
- Maia, V. M., Salomão, L. C., Siqueira, D. L., Aspiazú, I y Maia, L. C. (2014). Physical and metabolic changes induced by mechanical damage in ‘dwarf-prata’ banana fruits kept under cold storage. *Australian Journal of Crop Science*, 8(7), 1029-1037. ISSN:1835-2707
- Maqbool, M., Ali, A., Ramachandran, S., Smith, D. R. y Alderson, P. G. (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop protection*, 29(2010), 1136-1141. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.06.005>

- Marin, D. H., Sutton, T. B., y Barker, K. R. (1998). Dissemination of bananas in Latin America and the Caribbean and its relationship to the occurrence of *radophouls similis*. *Plant Disease*, 82(9), 964–974. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.9.964>
- Martínez, V. M., Aristizábal, I. D. y Moreno, E. L. (2017). Evaluation of the composition effect of harvested coffee in the organoleptic properties of coffee drink. *Revista de la facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias*, 24(1), 47-58. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1698/169853018006/169853018006.pdf>
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. y López-Guzmán, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075-4087. ISSN: 2007-0934
- Martínez-Solórzano, G. E. y Rey-Brina, J. C. (2020). Bananas (Musa AAA): Importance, production and trade in Covid-19 times. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2), 1034-1046. eISSN 2215-3608, doi:10.15517/am.v32i3.43610
- Mathew, N. S., y Negi, P. S. (2017). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of wild banana (*Musa acuminata* Colla): A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 196, 124–140. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.009>
- Meilgaard, M., Vance Civile, G. y Thomas Carr, B. (2016). *Sensory Evaluation Techniques*. CRC Press. ISBN: 978-1-4822-1691-2
- Meoño, S. (2017). *Efecto de la aplicación poscosecha de AG₃ y 1-MCP sobre la calidad composicional del banano dátil (Musa AA cv. Pisang mas)* [Tesis de ingeniería, Universidad de Costa Rica]. Repositorio institucional de la Universidad de Costa Rica <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4325/1/41646.pdf>
- Millán, L. (2012). *Caracterización mecánica y físico-química del banano tipo exportación (CAVENDISH VALERY)*. Corporación Universitaria Lasallista. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/136/1/10.%20163-192.pdf>
- Mkwezalamba, I., Munthali, C. y Missanjo, E. (2015). Phenotypic Variation in Fruit Morphology among Provenances of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. *International Journal of Forestry Research*, (2015).
- Mohd Zaini, H., Roslan, J., Saallah, S., Munsu, E., Sulaiman, N. S., y Pindi, W. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *Journal of Functional Foods*, 92(105054), 105054. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054>
- Mora, R. M., Feregrino, A. A., Contreras, M. (2021). Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(4), 4605-4025. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i4.644
- Murrieta, E. y Palma, H. (2018). *Manual de Buenas Prácticas de Cosecha y Poscosecha de Plátano y Banano*. https://issuu.com/comunicacionesalianzacacaoperu/docs/manual_poscosecha_banano
- Nakato, G., Okonya, J., Kantungeko, D., Ocimati, W., Mahuku, G., Legg, J. y Blomme, G. (2023). Influence of altitude as a proxy for temperature on key *Musa* pests and diseases in watershed areas of Burundi and Rwanda. *Heliyon*, 9(3). DOI:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13854>

- Nofal, O. A. y Rezk, A. I. (2021). Some factors affecting the yield and quality of banana: A Review. *Science Archives*, 2(3), 207-2011. <http://dx.doi.org/10.47587/SA.2021.2309>
- Ordoñez, R. S. y Villavicencio, J. I. (2022). *Plan de exportación de banano orgánico de la variedad (Cavendish Valery) hacia Estados Unidos*. [Tesis de ingeniería, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. Repositorio institucional de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/69010e71-bf79-4c3e-a13b-9bc6c9e2623d/content>
- Osman, H. E. y Abu-Goukh, A. A. (2008). Effect of Polyethylene Film Lining and Gibberellic Acid on Quality and Shelf-Life of Banana Fruits. *Univ. Khartoum. Journal of Agriculture Science*, 16(2), 242-261.
- Palde, C., Palde, A. y Chaudhari, V. (2022). Traditional and medicinal uses of banana plant and utilization of its pseudo stem in food applications. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 10(1). ISSN: 2320-2882
- Pathare, P. B. y Al-Dairi, M. (2022). Effect of mechanical damage on the quality characteristics of banana fruits during short-term storage. *DiscovFood*, 2(4). <https://doi.org/10.1007/s44187-022-00007-7>
- Pillay, M., y Tripathi, L. (2007). *Banana*. En *Fruits and Nuts* (pp. 281–301). Springer Berlin Heidelberg.
- Quiceno, M. C., Giraldo, G. A. y Villamizar, R. H. (2014). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. *UGCiencia*, 20, 48-54.
- Ramírez, A. J. (2020). *Aplicación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano (Musa AAA Cavendish) en Carepa – Antioquia* [Tesis de ingeniería, Universidad de Córdoba]. Repositorio institucional de la Universidad de Córdoba <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3608/ramirez%20zu%C3%BLiga%20alvaro%20jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, C., Tapia, A. C. y Brenes, S. (2010a). Desarrollo del ciclo productivo y ubicación geográfica del banano de altura que se produce en el cantón de Turrialba, Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 11(20), 92-106. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66619992006.pdf>
- Ramírez, C., Tapia, A. C. y Calvo, P. C. (2010b). Evaluación de la calidad de fruta banano de altura que se produce en el cantón de Turrialba, Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 11(20), 107-127. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66619992007.pdf>
- Rizky, A., Yamamoto, K., Malikul, M., Dwivany, F., Wikantika, K., Prama, S. y Fukusaki, E. (2022). Metabolome Analysis of Banana (*Musa acuminata*) Treated With Chitosan Coating and Low Temperature Reveals Different Mechanisms Modulating Delayed Ripening. *Frontiers*, 6(2022). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.835978>
- Rolz Asturias, C. E. (2011). *Estudio post cosecha y procesamiento mínimo de frutas*. Proyecto FODECYT No. 069-2007.
- Salvador, A., Sanz, T. y Fiszman, S. M. (2007). Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas. *Postharvest Biology and Technology*, 43(3), 319-325. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.10.007>

- Sampath Kumar, K. P., Bhowmik, D., Duraivel, S. y Umadevi, M. (2012). Tradicional and medicinal uses of banana. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(3), 51-63. ISSN 2278- 4136
- Sandoval, H. (2021). *Técnicas de evaluación de maduración del banano (Musa paradisiaca) en la industria alimentaria: una revisión* [Tesis de bachiller en ingeniería, Universidad Nacional de Frontera]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Frontera <http://repositorio.unf.edu.pe/handle/UNF/139>
- Sivirihauma, C., Blomme, G., Ocimati, W., Vutseme, L., Sikyolo, I., Valimuzigha, K., De Langhe, E. y Turner, D. W. (2016). *Altitude Effect on Plantain Growth and Yield during Four Production Cycles in North Kivu, Eastern Democratic Republic of Congo*. In: Proceedings. IX International Symposium on Banana: ISHS-ProMusa Symposium on Unravelling the Banana's Genomic Potential. (Smith, M. *et al* (eds.)) Acta Horticulturae, 1114, 139-148. Leuven (Belgium), ISHS. ISBN: 978-94-62611-08-5
- Smriti, D., Sujata, A., Prakash, K., Babi, B. y Arvind, S. (2021). Effect of KMnO4 on shelf life and quality of banana (*Musa paradisiaca* L.). *Fundamental and Applied Agriculture*, 6(3), 225-231. DOI: 10.5455/faa.84134
- Sripaurya, T., Sengchuai, K., Booranawong, A. y Chetpattananondh, K. (2020). Gros Michel banana soluble solids content evaluation and maturity classification using a developed portable 6 channel NIR device measurement. *Measurement*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108615>
- Suseno, N., Savitri, E., Sapei, L. y Padmawijaya, K. (2014). Improving shelf-life of Cavendish Banana Using Chitosan Edible Coating. *Procedia Chemistry*, 9(2014), 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.05.014>
- Symmank, C., Zahn, S. y Rohm, H. (2018). Visually suboptimal bananas: How ripeness affects consumer expectation and perception. *Appetite*, 120, 472-481. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29017908/#:~:text=In%20the%20case%20of%20suboptimal,recommending%20different%20ways%20of%20communication>
- Thompson, A. K. (2003). *Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and Storage*. Blackwell Publishing.
- Thompson, A.K., Supapvanich, S. y Sirison, J. (2019). *Banana Ripening. Science and Technology*. Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-27739-0_1#citeas
- Thuy, N. M., Linh, M. N., My, L. T. D., Minh, V. Q. y Tai, N. V. (2021). Physico-chemical changes in “Xiem” banana cultivar (cultivated in Vietnam) during ripening and storage at different temperatures. *Food Research*, 5(6), 229-237. DOI: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(6\).370](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(6).370)
- Tolossa, D., Meseret, C. E. y Manikandan, M. (2014). The effects of gibberellic acid on quality and shelf life of banana (*Musa* spp). *International Journal of Current Research and Review*, 6(23), 63-69. https://ijcrr.com/uploads/703_pdf.pdf
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A. y Andrade, R. D. (2013). Relación del Color y del Estado de Madurez con las Propiedades Fisicoquímicas de Frutas Tropicales. *Información Tecnológica*, 24(3), 51-56. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>

- Ullah, H., Ahmad, S., Anwar, R. y Thompson, A. K. (2006). Effect of High Humidity and Water on Storage Life and Quality of Bananas. *International Journal of Agriculture & Biology*, 8(6), 828-831.
- Uscocovich-Álvarez, A. A., Zambrano-Nevarez, E. M., Proaño-Molina, M. Y., Díaz-Camposano, E. G., Bosquez-Mestanza, A. L. y Travez-Proaño, F. F. (2023). Influencia del recubrimiento con quitosano en la calidad física del banano en poscosecha. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 7(13), 40-56. DOI: <https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0353>
- Vásquez-Castillo, W., Racines-Oliva, M., Moncayo, P., Viera, W., y Seraquive, M. (2019). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(4), 57–66. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.545>
- Velásquez-Herrera, J. D., Quintero-Castaño, V. D. y Lucas-Aguirre, J. C. (2016). Caracterización física y morfológica de 8 diferentes bananos de postre del genotipo AAA. *Vitae*, 23(1), S795-S799. ISSN 01214004 <https://www.proquest.com/scholarly-journals/caracterización-física-y-morfológica-de-8/docview/1783661181/se-2>
- Vélez, L., Soto-Valdez, H., Gavara, R. y Catalá, R. (2007). *Efectividad de absorbedores de etileno en la conservación de plátanos envasados*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología y Postcosecha y Agroexportaciones, Cartagena, Colombia. ISBN 978-84-95781-85-7
- Vijay, P. y Pandey, R. (2014). Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1223-1250. DOI: 10.1007/s13197-011-0583-x
- Villamizar de Borrero, F. (1984). *Fisiología de maduración poscosecha de banano variedad Nanica (Musa Cavendishii)*. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/32730>
- Villarroel Bastidas, J. V., Zambrano, D., Abasolo-Pacheco, F., Pico Saltos, L. G., Pico Saltos, B. R. y Moreira Menéndez, M. C. (2017). Uso de ceras naturales como medio de conservación de banano (*Musa acuminata*). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 19(1), 3-9. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971090001.pdf>
- Yadav, S., Yadav, S. P. S., Adhikari, N., Sah, R. K. y Gupta, S. (2022). Effects of Gibberellic acid (GA3) on shelf life and physiochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. var Bombay green). *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 7(4), 541-548. <https://doi.org/10.26832/24566632.2022.0704010>
- Yahia, E. M., Foncesa, J. M. y Kitinoja, L. (2019). *Postharvest technology of perishable horticultural commodities*. Woodhead Publishing. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012813276000002X>

XIV. Apéndice

Cuadro 9. Pérdida de peso (g) registrada para cada tratamiento durante el proceso de medición.

No. Muestra	Tratamiento	Día de medición							
		5	6	7	8	9	12	13	14
1	Control	181.10	178.35	176.05	173.25	170.55	162.10	159.70	157.00
2		193.45	172.45	188.95	186.00	183.40	174.75	163.10	169.40
3		199.10	197.05	194.05	191.20	188.60	180.05	177.45	174.35
4		201.20	199.05	196.50	193.45	190.25	180.30	177.85	175.15
5		186.50	164.40	181.80	179.15	176.35	167.95	165.70	163.30
Desviación estándar		8.45	15.26	8.51	8.40	8.31	7.91	8.39	7.69
1	Ácido giberélico	141.30	139.80	137.90	135.75	133.50	127.05	125.25	123.15
2		156.65	155.05	152.75	150.70	148.70	142.05	140.15	138.00
3		137.95	135.90	133.50	131.15	129.05	113.65	108.95	118.00
4		159.00	156.95	154.80	152.60	150.65	144.45	142.65	140.50
5		159.35	156.50	153.80	151.25	148.70	141.60	139.30	137.00
Desviación estándar		10.37	10.15	10.05	10.05	10.06	13.17	14.21	10.07
1	Goma arábica y quitosano	136.85	134.60	132.55	130.45	128.35	122.20	120.55	118.60
2		126.20	123.60	121.15	119.15	117.15	111.85	110.25	108.25
3		133.55	131.45	129.70	127.60	125.60	119.85	118.35	116.55
4		134.35	132.75	130.75	129.10	127.20	122.40	120.85	119.10
5		138.95	137.15	135.05	133.25	131.40	125.95	124.45	122.70
Desviación estándar		4.84	5.12	5.26	5.32	5.35	5.28	5.30	5.39
1	Absorbente de etileno	201.10	198.85	195.90	192.80	189.75	181.55	178.75	175.65
2		174.20	172.75	170.05	167.55	164.95	159.00	156.60	154.35
3		210.95	209.10	205.95	202.45	199.20	189.95	187.30	184.70
4		139.45	137.95	136.15	133.90	131.80	126.30	124.20	122.00
5		184.30	182.10	180.05	177.80	175.40	168.30	165.90	163.40
Desviación estándar		27.75	27.51	27.02	26.57	26.13	24.70	24.46	24.20

Nota: El día de medición indica cuántos días pasaron después de aplicar el tratamiento.

Cuadro 10. Dureza (N/m²) registrada para cada tratamiento durante el proceso de medición.

No. Muestra	Tratamiento	Día de medición						
		6	7	8	9	12	13	14
1	Control	17037	18497	17739	16958	19461	14168	17574
1		12441	14776	20695	20965	22386	17236	18846
1		14502	15824	15739	15554	18372	14912	16358
2		21525	21778	21562	19334	13336	13455	16523
2		17448	25152	19210	22683	14437	14300	13960
2		11994	19828	15593	14333	12100	10417	9779
Desviación estándar		3591	3843	2503	3239	4009	2214	3237
1	Ácido giberélico	6649	18721	19397	20825	16780	13603	12035
1		6996	15305	15746	21257	13195	14391	13585
1		13754	15660	13419	18762	14281	10097	14020
2		19920	21007	17930	21818	15641	11373	9801
2		17813	19536	18989	23320	16640	18106	10034
2		17065	19927	16601	13955	13976	9053	8712
Desviación estándar		5685	2349	2241	3306	1487	3308	2176
1	Goma arábica y quitosano	23641	26857	21094	18552	10094	22045	21039
1		18500	27009	10114	24039	14337	25478	23076
1		19044	18403	15569	19486	12598	16276	20305
2		19062	27581	16724	22490	11871	12631	15986
2		16563	27943	18290	18374	10417	16564	16331
2		13471	19653	14386	19264	11222	21321	14308
Desviación estándar		3347	4332	3719	2335	1564	4702	3442
1	Absorbente de etileno	18086	17410	13001	13601	8988	9875	11784
1		16964	11208	11409	13961	7020	8301	10525
1		20266	18955	7632	9696	7357	5871	6950
2		20941	19914	13969	14146	6060	6235	11301
2		13900	25800	14304	19938	6118	2985	10352
2		18369	12515	7983	11957	5838	8964	4132
Desviación estándar		2521	5314	2948	3408	1186	2521	2997

Nota: El día de medición indica cuántos días pasaron después de aplicar el tratamiento.

Cuadro 11. Grados Brix (°Brix) registrados para cada tratamiento durante el proceso de medición.

No. Muestra	Tratamiento	Día de medición						
		6	7	8	9	12	13	14
1	Control	4	4	8	8	16	17	19
2		3	3	5	10	17	18	21
Desviación estándar		1	1	2	1	1	1	1
1	Ácido giberélico	5	6	11	12	19	19	21
2		2	2	3	9	15	18	20
Desviación estándar		2	2	1	2	1	1	6
1	Goma arábica y quitosano	2	3	7	13	19	6	12
2		3	2	2	12	11	18	8
Desviación estándar		0	1	4	1	1	1	6
1	Absorbente de etileno	2	9	16	17	21	20	21
2		4	2	3	16	17	21	20
Desviación estándar		0	4	0	0	0	0	1

Nota: El día de medición indica cuántos días pasaron después de aplicar el tratamiento.

Cuadro 12. pH registrado para cada tratamiento durante el proceso de medición.

No. Muestra	Tratamiento	Día de medición						
		6	7	8	9	12	13	14
1	Control	5.09	5.01	4.84	4.78	4.66	4.65	4.69
2		5.05	4.98	4.82	4.55	4.7	4.63	4.67
Desviación estándar		0.03	0.02	0.01	0.16	0.03	0.01	0.01
1	Ácido giberélico	4.8	4.6	4.63	4.58	4.74	4.69	4.8
2		5.03	4.87	4.71	4.62	4.77	4.76	4.78
Desviación estándar		0.16	0.19	0.06	0.03	0.02	0.05	0.01
1	Goma arábica y quitosano	5.27	5.3	5.06	4.77	4.82	5.25	5.12
2		5.28	5.38	4.97	4.73	5.01	5.37	4.93
Desviación estándar		0.01	0.06	0.06	0.03	0.13	0.08	0.13
1	Absorbente de etileno	4.9	4.49	4.66	4.61	4.9	4.82	4.77
2		4.67	4.78	4.64	4.62	4.79	4.82	4.79
Desviación estándar		0.16	0.21	0.01	0.01	0.08	0.00	0.01

Nota: El día de medición indica cuántos días pasaron después de aplicar el tratamiento.

Cuadro 13. Concentración de CO₂ (ppm CO₂/kg) registrada para cada tratamiento durante el proceso de medición.

Tratamiento	Día de medición												
	1	2	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16	21
Control	2.69	2.93	3.63	3.19	3.91	4.71	5.52	5.70	5.66	4.76	5.95	6.93	6.36
	2.69	2.93	3.63	3.20	3.91	4.72	5.53	5.71	5.67	4.76	5.96	6.95	6.37
	2.70	2.94	3.63	3.21	3.91	4.71	5.52	5.72	5.69	4.77	5.97	6.96	6.38
	2.70	2.94	3.63	3.21	3.92	4.71	5.53	5.71	5.69	4.77	5.98	6.95	6.39
	2.71	2.95	3.63	3.21	3.93	4.71	5.53	5.70	5.70	4.78	6.00	6.93	6.40
DS	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
Ácido giberélico	2.46	2.83	3.88	3.33	3.84	3.60	3.98	5.54	5.60	5.66	5.67	5.76	7.61
	2.47	2.83	3.90	3.34	3.84	3.61	3.97	5.55	5.61	5.65	5.67	5.77	7.61
	2.47	2.84	3.90	3.35	3.84	3.60	3.97	5.56	5.63	5.67	5.67	5.77	7.61
	2.48	2.85	3.90	3.35	3.84	3.59	3.96	5.55	5.64	5.68	5.66	5.78	7.61
	2.48	2.85	3.90	3.35	3.84	3.59	3.97	5.54	5.63	5.68	5.66	5.77	7.52
DS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
Goma arábica y quitosano	2.31	2.50	4.35	4.18	4.25	4.99	5.28	7.15	7.45	7.89	6.72	6.92	7.67
	2.31	2.50	4.38	4.18	4.27	5.01	5.28	7.19	7.47	7.98	6.73	6.92	7.67
	2.31	2.50	4.41	4.19	4.28	5.02	5.28	7.23	7.47	7.95	6.72	6.91	7.70
	2.31	2.50	4.43	4.19	4.27	5.03	5.28	7.19	7.47	7.98	6.70	6.91	7.70
	2.31	2.50	4.43	4.18	4.27	5.01	5.26	7.17	7.47	7.98	6.72	6.89	7.73
DS	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02
Absorbente de etileno	2.24	2.98	4.53	3.96	4.55	5.01	5.49	6.16	5.07	6.02	5.16	5.23	5.65
	2.25	2.99	4.54	3.98	4.55	5.03	5.49	6.16	5.07	6.03	5.18	5.23	5.67
	2.26	2.99	4.55	4.00	4.55	5.03	5.49	6.16	5.07	6.04	5.18	5.22	5.69
	2.27	3.00	4.57	4.01	4.55	5.04	5.49	6.16	5.07	6.04	5.17	5.23	5.69
	2.27	3.00	4.56	4.01	4.55	5.04	5.49	6.16	5.07	6.05	5.16	5.23	5.68
DS	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01

Nota: El día de medición indica cuántos días pasaron después de introducir los bananos en su respectivo recipiente. DS = Desviación estándar.

Cuadro 14. Concentración de CO₂ (ppm CO₂/kg) registrada para cada altura durante el proceso de medición.

Altura	Día de medición										
	1	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
400 msnm	3.34	5.70	4.92	5.23	5.03	4.80	5.55	5.15	4.97	5.24	5.43
	3.41	5.71	4.92	5.23	5.02	4.79	5.56	5.15	4.98	5.25	5.45
	3.41	5.71	4.91	5.23	5.02	4.79	5.56	5.15	4.98	5.26	5.45
	3.41	5.70	4.91	5.23	5.02	4.78	5.56	5.15	4.98	5.26	5.45
	3.40	5.70	4.91	5.22	5.01	4.77	5.55	5.14	4.99	5.26	5.46
DS	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
900 msnm	3.79	6.85	6.01	6.38	6.34	5.86	8.53	7.04	6.34	6.68	6.55
	3.79	6.89	6.01	6.39	6.35	5.86	8.57	7.06	6.33	6.69	6.54
	3.79	6.90	6.01	6.39	6.37	5.86	8.60	7.06	6.32	6.71	6.52
	3.80	6.89	6.01	6.40	6.39	5.87	8.57	7.05	6.32	6.73	6.51
	3.80	6.87	6.00	6.41	6.40	5.89	8.57	7.04	6.32	6.73	6.51
DS	0.00	0.02	0.00	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
1200 msnm	3.04	5.42	5.04	5.85	5.78	6.09	8.60	7.04	6.84	6.57	5.95
	3.04	5.44	5.05	5.87	5.78	6.09	8.60	7.02	6.86	6.60	5.95
	3.04	5.48	5.05	5.89	5.78	6.10	8.65	7.02	6.86	6.62	5.95
	3.03	5.50	5.04	5.90	5.79	6.11	8.69	7.02	6.84	6.65	5.94
	3.02	5.51	5.03	5.88	5.79	6.15	8.69	7.00	6.86	6.65	5.93
DS	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.01	0.01	0.03	0.01

Nota: El día de medición indica cuántos días pasaron después de introducir los bananos en su respectivo recipiente. DS = Desviación estándar.

Cuadro 15. Material utilizado por tratamiento para un día de medición; distribución para pruebas fisicoquímicas.

No.	Prueba realizada	Cantidad
1	Color (unidad)	1
2	Peso (unidad)	5
3	Firmeza (unidad)	2
4	pH (10 g)	20
5	Grados Brix (10 g)	20

Nota: Para el color y peso se utilizaron las mismas muestras durante todo el proceso de medición; siendo uno de los cinco bananos utilizados para medir peso, el usado para medir color. Después de realizar la medición de firmeza se tomaban las muestras para pH y grados Brix.

Cuadro 16. Peso de los bananos Gros Michel utilizados para analizar la tasa de respiración de los tratamientos y la tasa de respiración de cultivos a diferentes alturas.

Tratamientos (g)	Alturas (g)		
Control	746.75	400 msnm	586.90
Ácido giberélico	838.55	900 msnm	662.80
Goma arábica y quitosano	792.60	1200 msnm	831.00
Absorbente	731.30	-	-

Cuadro 17. Test Tukey aplicado a las diferencias de pérdida de peso según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.

Tratamiento	Subconjunto		
	1	2	3
Goma arábica/Quitosano	16.8	-	-
Ácido giberélico	19.6	19.6	-
Absorbente	-	21.8	21.8
Control	-	-	24.4
Valor p	0.218	0.408	0.272

Cuadro 18. Test Tukey aplicado a la dureza (N/m²) según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.

Tratamiento	Subconjunto		
	1	2	3
Absorbente	12013.83	-	-
Ácido giberélico	-	15468.93	-
Control	-	16875.88	16875.88
Goma arábica/Quitosano	-	-	18381.14
Valor p	1.000	0.484	0.423

Cuadro 19. Test Tukey aplicado al pH según los tratamientos aplicados al banano Gros Michel.

Tratamiento	Subconjunto	
	1	2
Absorbente	4.73	-
Ácido giberélico	4.74	-
Control	4.79	-
G. Arábica/Quitosano	-	5.09
Valor p	0.760	1.000

Cuadro 20. Test Tukey aplicado a las concentraciones de CO₂ (ppm CO₂/kg) para banano Gros Michel utilizando diferentes tratamientos.

Tratamiento	Subconjunto	
	1	2
Ácido giberélico	4.60	-
Control	4.78	-
Absorbente	4.78	-
G. Arábica/Quitosano	-	5.53
Valor p	0.893	1.000

Cuadro 21. Test Tukey aplicado a las concentraciones de CO₂ (ppm CO₂/kg) para banano Gros Michel cultivado a diferentes alturas.

Altura	Subconjunto	
	1	2
400 msnm	5.04	-
900 msnm	-	6.04
1200 msnm	-	6.41
Valor p	1.000	0.153