

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

**Efecto de tratamiento térmico y uso de aditivos en las características
físico-químicas y microbiológicas de plátano verde mínimamente
procesado**

Estudiantes

José Rodrigo Hernández García

Anny Mariela Caballero Aguilar

Asesores

Jorge Cardona, Ph.D.

Mayra Márquez González, Ph.D.

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos.....	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos.....	13
Fase 1. Revisión de Literatura	13
Estrategia de Búsqueda	13
Fase 2. Experimento.....	13
Ubicación del Estudio.....	13
Diseño Experimental	14
Preparación de Muestra	14
Análisis de Color.....	15
Análisis de pH.....	15
Análisis de Sinéresis	16
Análisis de Textura	17
Análisis Microbiológicos.....	17
Resultados y Discusión.....	19
Fase 1. Revisión de Literatura	19
Alimentos de Cuarta Gama	19
Antecedentes Históricos del Plátano	20
Descripción del Cultivo de Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	21
Requerimientos Nutricionales	22

Importancia Económica	23
Principales Productores	23
Situación del Plátano en Latinoamérica y Honduras	24
Comercialización del Plátano en Honduras	25
Sub-productos del Plátano.....	26
Usos de Sub-productos del Plátano	28
Manejo de Residuos.....	30
Aspectos Nutricionales del Cultivo de Plátano	32
Plátano en Alimentos de Cuarta Gama.....	33
Métodos de Conservación	35
Fase 2: Experimento.....	37
Análisis físico-químicos	37
Análisis microbiológicos.....	49
Conclusiones	56
Recomendaciones.....	57
Referencias.....	58
Anexos.....	69

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción de los tratamientos de plátano mínimamente procesado (<i>Musa paradisiaca</i>)	14
Cuadro 2 Composición nutricional del plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	33
Cuadro 3 Resultados de color $L^*a^*b^*$, ángulo de matiz y pH de plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento.....	38
Cuadro 4 Resultados del efecto de tratamiento térmico en los valores de luminosidad y ángulo de matiz en plátano verde mínimamente procesado.....	42
Cuadro 5 Resultados del efecto de uso de aditivos en el valor a^* y ángulo de matiz en plátano verde mínimamente procesado.....	43
Cuadro 6 Resultados de pH para los tratamientos evaluados de plátano verde mínimamente procesado.....	45
Cuadro 7 Resultados del análisis de módulo elástico (Módulo de Young) en plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento	49
Cuadro 8 Resultados de conteos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y levaduras en plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento (Log UFC/g).....	50
Cuadro 9 Resultados de conteos de hongos en plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento (Log UFC/g)	53
Cuadro 10 Criterios microbiológicos para frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados, listos para el consumo.....	54

Índice de Figuras

Figura 1 Flujo de proceso de plátano mínimamente procesado	16
Figura 2 Plátano mínimamente procesado: plátano verde entero pelado	35
Figura 3 Acción de la polifenol oxidasa sobre los compuestos fenólicos	39
Figura 4 Gráfica de Espacio de Color CIELab.....	40
Figura 5 Efecto del tratamiento térmico en la sinéresis de rodajas de plátano almacenadas durante 14 días	47

Índice de Anexos

Anexo A Resumen de resultados estadísticos (valores P) de factores e interacciones en los valores de pH, sinéresis y módulo de Young	69
Anexo B Resumen de resultados estadísticos (valores P) de factores e interacciones en los valores de luminosidad, valor a*, valor b*, ángulo de matiz y croma	70
Anexo C Resumen de resultados estadísticos (valores P) de factores e interacciones en los conteos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, hongos y levaduras.....	71
Anexo D Resultados de valor b* y croma para los tratamientos evaluados de plátano verde mínimamente procesado.....	72
Anexo E Resultados de croma y trabajo total en ciclo 1 del plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento.....	73

Resumen

Los alimentos mínimamente procesados (IV gama) de frutas y vegetales representan un nicho en crecimiento y tienen un gran potencial para ser utilizados en la industria en diferentes productos. Los objetivos de este estudio fueron evaluar el efecto del uso de tratamiento térmico y adición de aditivos en las características físicas, químicas y microbiológicas de plátano mínimamente procesado. Inicialmente, se realizó una breve revisión de literatura sobre el uso del plátano en alimentos de cuarta gama. Con respecto a la metodología, se utilizó un Diseño Completamente al Azar con un arreglo factorial 2x3 con medidas repetidas en tiempo a los 0, 7 y 14 días, evaluando dos tipos de tratamiento térmico (Inmersión y vapor) y tres soluciones de aditivos (Ácido cítrico 0.05% + ácido ascórbico 0.05%, bisulfito de sodio a 30 ppm y ninguno). Se realizó la preparación de la muestra y se hicieron análisis de color, pH, sinéresis, textura y conteos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y hongos y levaduras. Se observó que el uso de aditivos no tuvo un efecto significativo sobre el mantenimiento de la calidad fisicoquímica y microbiológica de las rodajas de plátano. Además, el uso de vapor como tratamiento térmico redujo la tasa de pardeamiento enzimático en las rodajas de plátano y presentó los conteos más bajos de bacterias mesófilas aerobias y coliformes totales a los siete y 14 días de almacenamiento. En futuros estudios, se recomienda realizar un análisis de microorganismos patógenos de interés en el producto.

Palabras clave: Ácido ascórbico, ácido cítrico, bacterias mesófilas aerobias, pardeamiento enzimático, vapor

Abstract

Minimally processed products (IV range) of fruits and vegetables are a growing market and have a great potential of utilization in different products of the food industry. The objectives of this study were to evaluate the effect of thermal treatment and addition of additives in the physical, chemical, and microbiological characteristics of minimally processed plantain (*Musa paradisiaca*). Initially, a brief literature review about the usage of plantain in minimally processed products was made. The experimental design was a Completely Randomized Design with a 2×3 factorial arrangement and repeated measures over time in 0, 7, and 14 days of storage. Two types of thermal treatments were evaluated (blanching and steaming) and three additive solutions (citric acid 0.05% + ascorbic acid 0.05%, sodium bisulfite 30 ppm, and none). The samples were prepared, and the performed analyses were color, pH, syneresis, texture and counts of aerobic mesophilic bacteria, total coliforms, and yeasts and molds. It was observed that the utilization of additives did not have a significant effect over the maintenance of the physicochemical and microbiological characteristics of the plantain slices. Furthermore, the thermal treatment with steam reduced the rate of enzymatic browning in the plantain slices and presented the lowest counts of aerobic mesophilic bacteria and total coliforms at seven and 14 days of storage. In further studies, it is recommended that an analysis of pathogen microorganisms of interest be performed in the product.

Keywords: Aerobic mesophilic bacteria, ascorbic acid, citric acid, enzymatic browning, steam

Introducción

Las frutas y verduras forman una parte importante en la dieta diaria de las personas y el consumo de estas depende de factores culturales, sociales y ambientales. Existe una gran variedad de cultivos y formas de consumo alrededor del mundo, lo cual se ve reflejado en la gran importancia económica de esta industria. La industria hortofrutícola es una industria multimillonaria y representa un mercado global de más de 2.3 trillones de dólares estadounidenses (USD) anualmente. Dentro de esta industria el plátano y banano tienen una participación considerable con una producción mundial de 116 millones de toneladas métricas entre el 2017 y 2019 (FAO 2019). Estos cultivos también son una parte importante del 9% de frutas producidas alrededor del mundo que están destinadas para el comercio internacional (Duurstede y Scherpenzeel 2018). En la región centroamericana, el banano y plátano representan el mayor porcentaje de área cultivada en la producción de frutas a nivel regional con un 19.9%, lo cual es equivalente a 149,730 hectáreas (SAG 2015). En Honduras, estos cultivos también tienen una participación importante con más de 1.2 millones de toneladas métricas exportadas en el año 2015 (SAG 2016). Además, el plátano es cultivado en los 18 departamentos del país y es un alimento de alto consumo, debido a que representa una fuente importante de carbohidratos para la población (FHIA 2000).

El plátano es preparado y consumido de diversas maneras, lo que le da un gran potencial para ser utilizado en la industria en diferentes productos. Uno de estos usos potenciales es en alimentos de cuarta gama, los cuales son todas aquellas frutas u hortalizas que tienen un mínimo proceso previo al envasado, ya sea lavado, pelado y/o troceado. Estos productos no llevan ningún aditivo ni preservante y se requiere la cadena de frío para su preservación con la intención de que tengan una vida útil de aproximadamente diez días (Pefaur Lepe 2014). Los alimentos de cuarta gama y otro tipo de productos procesados de frutas y vegetales representan un nicho en crecimiento, con una participación de mercado que superó los 260 billones de dólares en el año 2019 (Ahuja y Rawat 2020). La importancia económica de estos productos es influenciada por la constante innovación que ha sido

impulsada por la industria hortofrutícola, lo que ha generado nuevas opciones de consumo para diversos segmentos de mercado.

Un producto de conveniencia que pertenece al grupo de alimentos cuarta gama son las tajadas de plátano listas para freír. El plátano representa una buena fuente de vitaminas A, C, B1, B6 y carbohidratos (25,5%), además de minerales como potasio, magnesio y fósforo. Además, tiene contenido de ácido málico, ácido fólico y fibras solubles e insolubles (6,5- 15,5%) y posee un buen aporte de energía debido a su contenido en almidón (40,9 - 58,5%) (Dávila et al. 2016). Dentro del mínimo proceso que se realiza para elaborar las tajadas, el plátano es pelado y cortado y esto lo vuelve susceptible a daños mecánicos y causa estrés en los tejidos. Todos estos procesos causan una serie de reacciones no deseadas en el metabolismo fenólico y la activación de enzimas es una de ellas. Dentro de estas enzimas, se incluyen las polifenol oxidasas, las cuales son un grupo de proteínas de cobre que catalizan la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas y producen el pigmento café en tejido vegetal herido (Queiroz et al. 2008). Las quinonas que son producto de la oxidación de los compuestos fenólicos son capaces de modificar covalentemente un amplio abanico de especies nucleófilas del interior de las células, lo cual conduce a la formación de polímeros marrones y este proceso es conocido como pardeamiento enzimático (Morante et al. 2014). Esto es importante, porque el color es un parámetro de calidad que demuestra si han ocurrido reacciones químicas que hayan podido modificar las características organolépticas y nutricionales de una fruta o vegetal (Lee 2007). En musáceas, los parámetros óptimos para que estas enzimas promuevan el pardeamiento enzimático son una temperatura de 30 °C y un pH de 7.0 (Palacín 2012). Estas condiciones se deben evitar para que el producto mantenga las características de calidad que son establecidas en la industria.

La acción de estas enzimas está presente a lo largo de la vida útil de los productos de frutas y vegetales y el objetivo es reducir su actividad para mantener la calidad del producto el mayor tiempo posible. Por esta razón, se busca reducir el pardeamiento enzimático a través de diferentes métodos. En la industria se usan métodos físicos como la aplicación de temperatura, reducción de oxígeno y uso

de atmósferas modificadas. También se hace uso de compuestos químicos como sulfitos, antioxidantes, acidulantes y otras tecnologías como altas presiones hidrostáticas, pulsos eléctricos y rayos gamma. Estos métodos pueden ser utilizados de una manera combinada con la intención de establecer procedimientos específicos que reduzcan al máximo la actividad de enzimas deterioradoras como la polifenol oxidasa. Por ejemplo, Saisung y Theerakulkait (2011), utilizaron un extracto de cáscara de piña ultrafiltrada como inhibidor de PPO (Polifenol Oxidasa) y demostraron un resultado eficaz a temperatura de refrigeración. En otro estudio, Guerrero Eraso (2009), utilizó isoespintanol y ácido ascórbico en banano y demostró que el isoespintanol funciona como un buen inhibidor individual de la polifenol oxidasa.

Se debe considerar que en algunos casos estos métodos pueden causar efectos adversos como pérdida de color, cambios de sabor y disminución en la composición nutricional. Por esta razón, es pertinente evaluar diferentes combinaciones de métodos de inhibición de la polifenol oxidasa para determinar formas de alargar la vida útil de un producto sin alterar sus características físicas, químicas, sensoriales y nutricionales. De esta manera, se podrían reducir las pérdidas económicas ocasionadas por el pardeamiento enzimático en productos mínimamente procesados y se podrían aumentar las ganancias en estos productos que presentan un valor agregado para el consumidor. Los objetivos de este estudio fueron, elaborar una revisión de literatura sobre el uso de plátano en alimentos de cuarta gama y determinar el efecto de tratamiento térmico y adición de aditivos en las características fisicoquímicas y calidad microbiológica de plátano verde mínimamente procesado a través del tiempo.

Materiales y Métodos

Fase 1. Revisión de Literatura

Como etapa inicial del proyecto, se realizó una breve revisión de literatura sobre el uso del plátano en alimentos de cuarta gama o productos mínimamente procesados. También se incluyó información que involucra aspectos importantes de la industria de productos de cuarta gama y del cultivo del plátano. Entre esta información se encuentra lo siguiente: Importancia económica y social de la industria hortofrutícola y de productos mínimamente procesados, descripción del cultivo del plátano, antecedentes históricos, datos de producción, comercialización y procesamiento y subproductos del plátano y su uso. Esta información fue utilizada como complemento para entender la importancia del plátano en la industria de productos de cuarta gama.

Estrategia de Búsqueda

Se realizó una revisión sistemática de fuentes primarias y secundarias que incluyeran información sobre el cultivo del plátano y su uso en productos de cuarta gama. Se hizo uso de bases de datos académicas como: Springer Link, Science Direct, Elsevier, Scielo, Research Gate, Jstor, Medline, entre otras. En la búsqueda de información se hizo uso de fuentes en los idiomas español e inglés y se usó una restricción de fecha de 10 años, a menos que se determinara la importancia para este estudio de un artículo con más antigüedad.

Fase 2. Experimento

Ubicación del Estudio

El proyecto fue realizado en las instalaciones de la Planta de Pos Cosecha en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Los análisis físicos y químicos (Anexo A) fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ). En el caso de los análisis microbiológicos, estos fueron realizados en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos de Zamorano (LMAZ).

Diseño Experimental

Se utilizó un DCA (Diseño Completamente al Azar), con un arreglo factorial de 2x3. Los niveles fueron dos tipos de tratamiento térmico (Inmersión y vapor), evaluados con tres soluciones de aditivos (Ácido cítrico + ácido ascórbico, bisulfito de sodio y ninguno) y se evaluó un control sin tratamiento térmico ni aditivos. En total se tuvieron siete tratamientos (Cuadro 1) y tres repeticiones, las cuales se analizaron con medidas repetidas en tiempo a los 0, 7 y 14 días, dando un total de 63 unidades experimentales. Los datos obtenidos fueron analizados con el programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System) versión 9.4. Para analizar los datos se hizo uso de un ANDEVA (Análisis de varianza), con el uso de un Modelo General Lineal, una separación de medias ajustadas LS-Means cuando hubo interacción entre factores y una separación de medias Duncan cuando hubo significancia en los factores. Se utilizó un nivel de significancia de 95%.

Cuadro 1

Descripción de los tratamientos de plátano mínimamente procesado (Musa paradisiaca).

Tratamiento térmico	Tratamiento	Aditivo(s)
Vapor (30 segundos)	1	Ninguno
	2	Ácido cítrico + ácido ascórbico (1% w/v)
	3	Bisulfito de sodio (30 ppm)
Inmersión (70 °C, 30 segundos)	4	Ninguno
	5	Ácido cítrico + ácido ascórbico (1% w/v)
	6	Bisulfito de sodio (30 ppm)
Control (Solo desinfección)	7	Sin aditivos

Preparación de Muestra

Para preparar la muestra se utilizó plátano verde (*Musa paradisiaca*, Var. Curaré enano), el cual es ampliamente consumido en Honduras. Se realizó la recepción del plátano en la Planta de Pos Cosecha y se procedió a lavarlo con agua potable (Figura 1). Posteriormente, se peló el plátano haciendo uso de un cuchillo previamente lavado y desinfectado y se cortó el plátano en rodajas de aproximadamente 2 - 3 mm de grosor, las cuales fueron desinfectadas en una solución desinfectante con ácido peracético a 100 ppm. Después, a las rodajas de plátano se les aplicó un tratamiento térmico. En el caso del escaldado por inmersión, las rodajas fueron sumergidas en agua a 70 °C por 30

segundos y en el escaldado con vapor, las rodajas fueron expuestas a vapor de agua durante 30 segundos. Al terminar el tratamiento térmico, se procedió a realizar una estabilización química con una mezcla de agua y aditivos dependiendo del tratamiento que se esté realizando. Se utilizó una solución con una mezcla de ácido cítrico al 0.5% w/v y ácido ascórbico al 0.5% w/v y para el bisulfito de sodio la concentración utilizada fue de 30 ppm. Por último, las rodajas de plátano fueron empacadas al vacío en un empaque de polietileno y almacenadas en un cuarto frío con temperaturas que oscilan entre los 7 y 12 °C.

Análisis de Color

Para realizar el análisis de color (Anexo B) se hizo uso de la aplicación ColorAssist, la cual genera datos con el modelo RGB. Para obtener los datos, se diseñó un espacio que garantizó iluminación y distancia homogénea entre todas las muestras que fueron analizadas. En total se tomaron ocho fotografías por cada unidad experimental, para lo cual se utilizaron cuatro tajadas de plátano de las que se tomó una fotografía al anverso y reverso. Posteriormente, los datos en formato RGB fueron convertidos a los valores de CIELAB $L^*a^*b^*$, hue y croma haciendo uso de un paquete en Excel. Para calcular el croma o saturación (C') se usó la Ecuación 1, donde a^* y b^* representan los valores de color en CIELAB:

$$C' = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [1]$$

El valor de ángulo de matiz o hue (H') fue calculado con la Ecuación 2:

$$H' = \tan^{-1} \frac{a^*}{b^*} \quad [2]$$

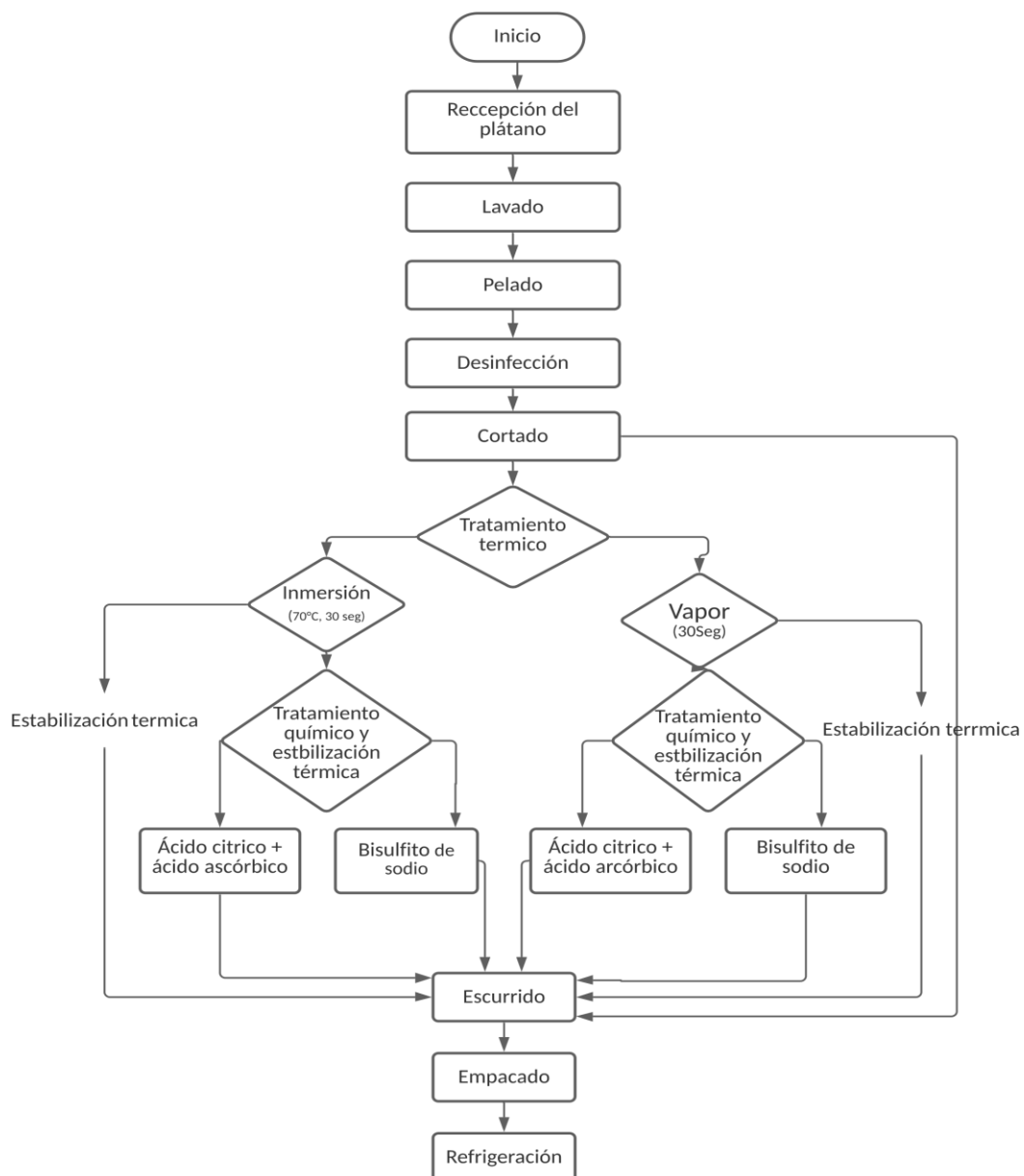
Análisis de pH

El análisis de pH fue realizado de acuerdo al procedimiento establecido en el método oficial AOAC 981.12 para alimentos acidificados y vegetales. Primero, se tomó una muestra de 4 gramos, la cual fue molida haciendo uso de un mortero. A esta muestra se le agregaron 20 mL de agua

desionizada, luego se homogenizó y se procedió a hacer la medición de pH con un potenciómetro modelo OHAUS Starter 2100. Este procedimiento fue repetido para cada unidad experimental.

Figura 1

Flujo de proceso de plátano mínimamente procesado.



Nota. Elaboración propia.

Análisis de Sinéresis

Para determinar la humedad que perdieron las rodajas de plátano, se hizo una extracción del agua en las bolsas haciendo uso de una jeringa y se midió la sinéresis en mL.

Análisis de Textura

Se hizo uso del medidor de textura Brookfield CT3 con acople TA-RT-KI para realizar un APT (Análisis de Perfil de Textura) en las rodajas de plátano. Los análisis fueron realizados con la sonda TA25/1000 a una velocidad de 1 mm/s y deformación objetivo de 10%. En total, se analizaron cinco muestras para cada unidad experimental.

Módulo Elástico (Módulo de Young).

Se determinó a partir de la deformación generada en la rodaja de plátano por la compresión aplicada con el medidor de textura. Se utilizó la Ecuación 3:

$$E = \frac{\text{fuerza estrés}}{\text{deformación}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}} \quad [3]$$

Donde:

E = Módulo de Young (Pa)

F = Fuerza aplicada sobre la rodaja de plátano (N)

A = Área transversal (m²)

ΔL = Cambio en longitud (m)

L₀ = Longitud inicial (m)

Análisis Microbiológicos

Los análisis microbiológicos (Anexo C) se realizaron en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos de Zamorano. Los análisis realizados fueron conteos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y hongos y levaduras.

Bacterias Mesófilas Aerobias.

Se pesó 10 g de muestra, se acondicionó con 90 mL de diluyente de fosfatos y se homogenizó por 2 min en el Stomacher. Luego, se prepararon diluciones (10⁻², 10⁻³ y 10⁻⁴) tomando 1 mL de la dilución previa, el cual se añadió a 9 mL de diluyente y esta solución se agitó en el vortex durante 7 segundos. Se procedió a agregar 1 mL de cada dilución en cada plato Petri debidamente rotulado y se

agregó 12-15 mL de agar cuenta estándar (Previamente atemperado y esterilizado). Posteriormente, se mezclaron las muestras en los platos Petri realizando movimientos en círculo y cruz y se dejaron secar. Por último, se incubaron a 35 ± 1 °C por 48 ± 2 h, se contaron las colonias y los resultados se expresaron en Log UFC/g.

Hongos y Levaduras

Se pesó 10 g de muestra, se acondicionó con 90 mL de diluyente de fosfatos y se homogenizó por 2 min en el Stomacher. Luego, se prepararon diluciones (10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4}) tomando 1 mL de la dilución previa, el cual se añadió a 9 mL de diluyente y esta solución se agitó en el vortex durante 7 segundos. Se procedió a agregar 1 mL de cada dilución en cada plato Petri debidamente rotulado y se agregó 12-15 mL de agar rosa bengala cloranfenicol (previamente atemperado y esterilizado). Posteriormente, se mezclaron las muestras en los platos Petri realizando movimientos en círculo y cruz y se dejaron secar para ser incubadas a 25 ± 1 °C por 5 días. Por último, se contaron las colonias de hongos y levaduras por separado y se expresaron en Log UFC/g.

Coliformes Totales

Se pesó 10 g de muestra, se acondicionó con 90 mL de diluyente de fosfatos y se homogenizó por 2 min en el Stomacher. Luego, se prepararon diluciones (10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4}) tomando 1 mL de la dilución previa, el cual se añadió a 9 mL de diluyente y esta solución se agitó en el vortex durante 7 segundos. Se procedió a agregar 1 mL de cada dilución en cada plato Petri debidamente rotulado y se agregó 12-15 mL de agar bilis rojo violeta (previamente atemperado). Posteriormente, se mezclaron las muestras en los platos Petri realizando movimientos en círculo y cruz, se dejaron secar y se agregó una segunda capa de 5 mL del medio de cultivo. Por último, se incubaron a 35 ± 1 °C por 24 ± 2 h, se contaron las colonias y los resultados se expresaron en Log UFC/g.

Resultados y Discusión

Fase 1. Revisión de Literatura

Alimentos de Cuarta Gama

Según Pefaur Lepe (2014), los productos mínimamente procesados, también denominados cuarta gama (IV gama), se refieren a aquellas frutas u hortalizas que tienen un mínimo proceso previo al envasado, ya sea lavado, pelado y/o troceado. Por otro lado, Alzamora et al. (2002), definen fresco y mínimamente procesado, como cualquier fruta o vegetal que ha sido físicamente modificado de su forma original, a través de distintos procesos que incluyen: Pelar, cortar, rebanar, triturar, fragmentar y lavar para obtener un producto comestible que será empacado y almacenado en refrigeración. En este sentido, existen diferencias en el concepto de mínimo proceso con algunos autores como González-Sánchez et al. (2015), indicando que el tejido vegetal debe estar vivo para que un alimento sea mínimamente procesado, mientras que Gomez et al. (2007), no contemplaban que el tejido debe estar vivo en su definición de este proceso. Sin embargo, el concepto más aceptado es la definición establecida por Manvell (1997), en la que se indica que el mínimo proceso debe ser un balance seguro entre los efectos deseados y adversos de un proceso de preservación. A través de esta definición se puede determinar que un mínimo proceso es el menor tratamiento posible para lograr un propósito.

Los alimentos mínimamente procesados presentan ventajas, estos productos poseen características organolépticas y nutricionales similares a las frutas y hortalizas frescas y la ventaja de ser fáciles de utilizar por el consumidor (Parzanese 2010). Además, estos productos hacen más eficiente el transporte de frutas y vegetales porque ya pasaron por un proceso de remoción de diferentes partes vegetativas que no son consumidas y esto permite su uso en distintos subproductos de alto valor comercial. Sin embargo, estos productos también generan una preocupación ambiental porque son empacados con plásticos que representan una gran fuente de contaminación. Esto puede ser controlado al desarrollar empaques biodegradables o tener sistemas eficientes de reciclaje y de

esa manera asegurar que las ventajas de los productos mínimamente procesados sean mayores a las desventajas.

El éxito de nuevas categorías de alimentos depende directamente de la respuesta que tienen los consumidores hacia los mismos. Se ha demostrado que los consumidores favorecen las innovaciones que mejoran la calidad y el valor nutricional de los alimentos y que son críticos de las tecnologías de procesamiento que, en su punto de vista, requieren una modificación excesiva del producto original (Sillani y Nassivera 2015). En este sentido, las frutas y vegetales mínimamente procesadas satisfacen la necesidad del consumidor para alimentos rápidos y, además, esta categoría se ha beneficiado de la imagen saludable que tienen las frutas y vegetales. Aunque hay poca investigación relacionada a los motivos que tienen los consumidores al momento de comprar este tipo de productos, la importancia económica de estos es innegable. Los alimentos de cuarta gama y otro tipo de productos procesados de frutas y vegetales representan un nicho en crecimiento, con una participación de mercado que superó los 260 billones de dólares en el año 2019 (Ahuja y Rawat 2020).

Antecedentes Históricos del Plátano

Probablemente el plátano en el pasado no era considerado como una fruta de consumo fresco ya que su especie no era comestible. Después de un tiempo de evolución esta se convirtió es una opción de fruto comestible ya sea cocido o crudo. El hombre ha usado el plátano como alimento durante miles de años y con frecuencia, se le menciona en las literatura hindú, china, griega y romana (CEDAF 2001). Se considera que el sudeste de Asia, específicamente Malasia e Indonesia, es el lugar de origen de los bananos, pero no es completamente certero el origen exacto de este cultivo (Solis Rosales 2007). A finales del siglo XIX, el plátano era una planta desconocida en Europa, a donde habían llegado muy escasos ejemplares, traídos de las regiones tropicales por naturalistas viajeros, que se conservaban como preciosas rarezas en los invernaderos cálidos de algunos museos de las capitales europeas (Vergara 2010).

El plátano es uno de los principales frutos que se encuentra presente en diversas culturas. En cuanto a la introducción a América se sabe que el plátano fue llevado desde la Gran Canaria a Santo Domingo por Fray Tomás en 1516 y a finales del siglo XIX se establecieron plantaciones en Jamaica, lo cual causó una expansión del cultivo a los países centroamericanos (Carvajal et al. 2019). La industria bananera en Honduras tuvo su origen cuando el presbítero Manuel de Jesús Subirana junto con los Jicaques traídos desde Yoro, sembró a ambas riberas del río Tela el guineo, llamado tiempo después banano. Posteriormente, las plantaciones de plátanos fueron declarados bienes municipales y se empezó a utilizar la venta de la fruta para obtener ingresos, con lo que se originó la actividad económica del plátano en el país (Medina 1994).

Descripción del Cultivo de Plátano (Musa paradisiaca)

Los bananos y plátanos son cultivos tropicales perennes que presentan crecimiento los 365 días del año y se desarrollan mejor en regiones húmedas y cálidas con una distribución uniforme de lluvia a lo largo del año (Ramirez et al. 2011). Entre los factores ambientales que influyen en el crecimiento y producción comercial del plátano se encuentran la temperatura, agua, luz, viento y suelo. En relación con la altitud, lo ideal es producir plátano de 20-600 m.s.n.m., porque a mayor altitud se alarga el ciclo biológico y esto reduce la eficiencia en la producción. La temperatura óptima se encuentra entre los 20 y 30 °C y si la temperatura sale de este rango se provoca un retardo en el desarrollo fisiológico del cultivo (Mejía 2018).

En el caso del agua, el plátano está constituido de 85-90% de agua y presenta altos niveles de transpiración, por lo que este cultivo requiere una cantidad abundante de agua para un buen desarrollo. En las etapas de plántula (V1) y formación de hijuelos (V2), durante las primeras ocho semanas del cultivo, los requerimientos hídricos son constantes, alrededor de 11,3 mm semanales. Durante el alargamiento inicial de entrenudos (V3) se mantiene un consumo de 10,4 mm; pero a partir de la semana 18 después de siembra, el consumo de agua aumenta a 13,1 mm por semana (Castaño et al. 2011). Por esta razón, se recomienda sembrarlo en zonas cuya precipitación oscile entre 1500 a

2500 mm de precipitación distribuidos en todo el año y las necesidades mensuales son de 150 a 180 mm. Este cultivo también necesita una humedad relativa adecuada (75 - 80%) y no se recomienda establecer plantaciones en áreas que estén expuestas a vientos mayores de 20 km/h. Por último, el plátano requiere suelos con profundidad no menor a 1.2 m sin nivel freático o capas endurecidas y sin problemas internos de drenaje. Los mejores suelos para su producción son de textura franca para una buena retención de humedad y los suelos arcillosos también pueden ser adecuados si tienen una estructura granular (Mejía 2018).

Requerimientos Nutricionales

La productividad del cultivo del plátano es afectada por variados factores que tienen que ver con el medio natural, sobre el cual se ha emplazado el cultivo, con las plagas que afectan al cultivo y con las prácticas de manejo que realizan los productores. Existen diversos estudios que han identificado diversos factores que afectan la producción y rentabilidad de este cultivo. Se destacan la baja densidad de siembra que permite el desarrollo de condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades y la presencia de plantas en diferentes estados vegetativos en la misma plantación, lo que permite el desarrollo y avance de enfermedades como la Sigatoka negra (Castaño et al. 2011). Además, la deficiente fertilización, tanto por la carencia como por aplicaciones indebidas en tiempo y espacio también puede afectar la producción del cultivo (Furcal y Barquero 2014). Estas y otras prácticas de manejo en muchas ocasiones se deben a la falta de información y capacitación técnica entre los productores. Un correcto uso de fertilizantes incrementa el rendimiento de este cultivo, por esto es importante realizar un análisis de suelo, del estadio del cultivo y variedad, entre otros aspectos (Barrera et al. 2011). Los elementos de mayor consumo y que pueden ser limitantes en el cultivo de plátano son el nitrógeno (N) y el potasio (K), la extracción de K puede llegar a 1,03 kg/panta; sin embargo, existe el beneficio que de este elemento se retorna al suelo del 85 al 90% de lo absorbido y almacenado en las raíces, cormo, pseudotallo y hojas. En plátano, el retorno en general de nutrimentos al suelo es entre 74 y 78% (Furcal y Barquero 2014).

Importancia Económica

La producción mundial de plátano en el año 2014 fue de 30.667.662 ton de producción (FAO 2016). La participación de la producción de este cultivo aumenta año tras año, ya que se considera uno de los componentes básicos de la canasta familiar, así mismo, se ha convertido en fuentes de trabajo y de divisas. En la actualidad es un cultivo de amplia distribución por su adaptación, tanto en los trópicos como subtrópicos. Sin embargo, las mayores plantaciones comerciales se encuentran en los trópicos húmedos (Rodríguez Cedillos y Guerrero Berríos 2002). Existe actualmente un gran interés en los países de América Latina y el Caribe de contribuir al mejoramiento y difusión de las actividades de investigación sobre este cultivo, para permitir mejorar su productividad, y cambiar las condiciones precarias en la que se encuentran los productores. Ejemplos notables son: USAID, INABAP, FHIA, Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). El plátano es un producto tropical de mucha importancia socio económica y de seguridad alimentaria, principalmente en países en vías de desarrollo como los países centro americanos. La producción del plátano genera ingresos de corto plazo al productor, y empleos permanentes en las actividades de manejo de la plantación. Junto con raíces y tubérculos aporta el 40% del total de la oferta alimenticia en términos de calorías a nivel mundial, después del arroz, el trigo y maíz (Huete et al. 2019).

Principales Productores

El banano es uno de los cultivos más importantes en la producción y comercio agrícola a nivel mundial. En los últimos años las áreas de producción de este cultivo están en crecimiento, esto debido a la demanda mundial de importación. Los bananos y los plátanos son un alimento básico para más de 400 millones de personas en los países en desarrollo de América del Sur, el sudeste asiático y África y también son un producto básico clave en el comercio internacional y local, por lo que son una fuente clave de ingresos (Chabi et al. 2018). Los volúmenes de producción y comercio de este cultivo han experimentado un rápido aumento en los últimos diez años, aunque la mayor producción de este cultivo lo realizan un grupo informal de pequeños agricultores (Elbehri et al. 2015). Las estimaciones

disponibles indican que la producción mundial media de bananos pasó de 69 millones de toneladas en 2000-2002 a 116 millones de toneladas en 2017-2019, por un valor aproximado de 31,000 millones de dólares EUA (FAO 2019).

Dentro de los principales productores a nivel mundial se encuentran India (27,575,000 millones de toneladas), China (12,370,238 millones de toneladas) y Filipinas (8,645,749 millones de toneladas), estos países de gran extensión territorial están aumentando sus niveles de producción debido a gran demanda. Brasil se postula en el cuarto lugar con una producción registrada en el 2013 de 6,892,622 millones de toneladas (Atlasbig 2018). Los principales productores también se caracterizan como los principales consumidores y este es el caso de los países mencionados anteriormente. El crecimiento de las poblaciones se caracteriza como la principal razón en aumento de la producción de este cultivo y las necesidades de consumo de países en crecimiento impulsan y exigen maximizar la producción de banano (Soto 2011).

La extensión de las áreas de producción que se utilizan para satisfacer la demanda de este cultivo también ha venido aumentando. Por ejemplo, se puede mencionar el caso de India que en el año 2000 cosechaba 470,000 hectáreas y en el año 2018 ha pasado a cosechar 870,000 hectáreas (FAO 2020). Esto lleva consigo la implementación de nuevas tecnologías, como la implementación de sistemas de riego más eficientes, pero también un uso sustancialmente mayor de fertilizantes y plaguicidas.

Situación del Plátano en Latinoamérica y Honduras

Según FAO (2019), América latina lidera la economía mundial del banano y se considera que esto no solo se debe a su proporción en el comercio mundial, sino también que debido a sus condiciones climáticas tiene mayor capacidad de respuesta ante los diferentes cambios del mercado a nivel mundial comparado con otras regiones productoras. La industria bananera cuenta con un enorme potencial económico para aquellos países productores y, especialmente, exportadores, como es el caso de Colombia y Ecuador (Tobon y Vanegas 2019). América Latina es el único exportador de

banano orgánico, y las exportaciones totales para el año 2009, fueron de 24. 2 millones de dólares, lo cual representa un 3% de las exportaciones totales de banano convencional (Valarezo 2018). El mayor exportador de banano es Ecuador, con 9.9 millones de cajas de 18.14 kg, las cuales son producidas en un área de 10,500 hectáreas. Después, le siguen países como República Dominicana que también es un gran consumidor y Perú, que a pesar de su reciente entrada al mercado ya exporta aproximadamente 4.1 millones de cajas (Soto 2011).

En el caso de Centroamérica, la expansión proyectada de los volúmenes exportados compensaría con creces la caída de los precios de algunos de sus productos básicos de exportación entre ellos el banano (CEPAL 2020). Las musáceas son las frutas con mayor área cultivada en Honduras, las cuales cuentan con un área total de producción de 13.200 hectáreas y una producción anual de 217.591 toneladas (Loma-Osorio et al. 2000). La producción de este cultivo se realiza en la zona norte y litoral atlántico donde se encuentran las mayores áreas del cultivo y también en los departamentos de Francisco Morazán, Comayagua, El Paraíso y Olancho (Funez 2005).

Comercialización del Plátano en Honduras

En Honduras el sector agrícola es de mucha importancia ya que está relacionado directamente con el desarrollo socioeconómico del país. La economía de Honduras depende altamente del comercio internacional (Exportaciones más importaciones) y el valor total representa 86% del PIB. En Honduras, el cultivo del plátano se ha caracterizado con un rubro agrícola bastante amplio y que forma un papel importante el producto interno bruto. La composición de la exportación del país está dominada por el sector de las maquiladoras y los productos agrícolas tradicionales, como el café (20.6%), el banano (11.2%) y el aceite de palma con un 7.6% (Derlagen et al. 2019).

El plátano en Honduras se maneja principalmente asociado con otros cultivos y solo el 12% se maneja como monocultivos (Balalcázar 1976). Esto se puede visualizar como una desventaja en la producción, ya que el hecho de que existan pocas plantaciones intensivas y las pocas exigencias del mercado, hacen difícil una buena adopción y aplicación de tecnologías que mejore los estándares de

la fruta para ofertarla con un precio competitivo. Actualmente las industrias procesadoras de alimentos están exigiendo productos de buena calidad y es por eso que los productores necesitan cambiar su sistema de producción tradicional por uno más sofisticado (SAG 2019).

Sub-productos del Plátano

El plátano es uno de los productos más consumidos en los países en donde se produce (Martínez et al. 2016). Considerando esta alta demanda, se conoce que los diferentes procesos de producción e industrialización del plátano generan diversos subproductos, y muchos de estos son considerados meramente residuos. Debido a esto, se ha vuelto imperativo encontrar maneras eficientes y viables para manejar dichos residuos, y de esta manera, generar el menor impacto ambiental negativo posible. En los últimos años, el concepto de economía circular ha recibido prominente distinción debido a su estrecha relación con el desarrollo sustentable, idea trabajada en las cumbres y comisiones dirigidas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU 2012). Debido a ello, el logro de una economía circular se ha convertido en uno de los principales desafíos para la industria, haciendo perentorio incluirlo como objetivo en todas las respectivas investigaciones (CEPAL 2021).

La economía circular es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural (Cerdá y Khalilova 2016). La economía circular busca preservar el valor de los materiales y los productos durante el mayor tiempo posible, para reducir al mínimo la generación de residuos y cerrar su ciclo de vida (CEPAL 2021). Una economía circular sustentable no se enfoca meramente en las cosas sino en cómo están relacionadas e interconectadas para mantener el ciclo continuo de los recursos. Según la ONU, cada año se recolecta en el mundo una cantidad estimada de 11, 200 millones de toneladas de residuos sólidos (ONU 2021). Se conoce que los residuos de comida emiten entre el 8 y 10% de los gases del efecto invernadero en el mundo (Forbes et al. 2021) . Estas alarmantes cifras conciernen a muchos de los residuos producidos por la agroindustria. Por lo cual, es urgente conocer qué tipos de subproductos generan las materias primas, qué beneficios y utilidades presentan y cómo

se pueden manejar de la manera más adecuada. Para lo que este estudio concierne, se analiza específicamente los subproductos y residuos generados por las plataneras.

En los cultivos comerciales de plátanos y bananos un alto porcentaje de materiales se desperdicia, pues una vez cosechados los frutos la planta se elimina (Canto y Castillo 2011). Cerca del 95% de los residuos que se generan del plátano no son aprovechados eficientemente por el cultivador, ya que su producción se enfoca en la comercialización, o como opción alimenticia para el hogar, por lo que después de usar el fruto destinan lo restante a abono para la cosecha, por medio de su descomposición (Mondragón García et al. 2018). En algunos lugares como África, Asia y Latinoamérica se utilizan algunos desechos de esta producción en la elaboración de productos alimenticios, artesanías, papel y otros productos.

Muchas veces en las empacadoras de plátano se descarta una gran cantidad de producto que no cumple con los estándares ya sea por problema de color, tamaño o forma. Estos frutos sobrantes muchas veces son desechados o usados como compostaje. La aplicación de nuevas tecnologías e ingredientes en el procesamiento puede tender a la potencialización del valor nutricional traducido en bienestar para el consumidor y el ambiente, gracias a las alternativas actuales para la utilización de los residuos que impulsan la sostenibilidad y rentabilidad de la cadena productiva (Carvajal et al. 2019).

Después de los procesos de extracción y producción llevados a cabo en las plataneras, se observan subproductos derivados de estas. Entre los principales destacan la pulpa, el pseudotallo, las hojas, la inflorescencia, el tallo del fruto (Tallo floral/raquis), la rizoma y la cáscara (Padam et al. 2014). La pulpa es el fruto como tal, y es lo único utilizado y aprovechado por el ser humano. Se conoce que la pulpa contiene diversas propiedades, como ser una excelente fuente de potasio (Blasco y Gómez 2014). El pseudo tallo es la parte de la planta que se asemeja a un tronco o el tallo aparente y está formado por un conjunto de vainas foliares superpuestas (Mejía 2018). La hoja es el principal órgano fotosintético de la planta. Cada hoja emerge desde el centro del pseudo tallo como un cilindro

enrollado. El extremo distal de la vaina foliar que se está alargando se contrae hasta formar un pecíolo ondulado y glabro. El pecíolo se convierte en la nervadura central, que divide el limbo en dos láminas medias. La parte superior de la hoja (haz) recibe el nombre de superficie adaxial (envés) mientras que la inferior recibe el nombre de superficie abaxial (Vézina y Baena 2020).

Otro posible subproducto es la inflorescencia, la cual es una estructura compleja, que contiene las flores que se desarrollarán en frutos. Se apoya en el tallo floral, es decir, en el tallo verdadero de la planta. El tallo floral, que es producido por el punto de crecimiento terminal del rizoma, crece a través del pseudo tallo y emerge en la parte alta de la planta una vez que ha brotado la última hoja (Sabio C et al. 2001). El raquis es el tallo de la inflorescencia, que va desde el primer fruto hasta la yema masculina. Puede estar desnudo o cubierto con brácteas persistentes. Las cicatrices en el raquis, que indican el lugar donde estaban unidas las brácteas, también se conocen como nódulos. El principal subproducto del proceso industrial del plátano es la cáscara, la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto. Las aplicaciones potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química (Blasco y Gómez 2014). La cáscara de plátano es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio. Entre los esfuerzos para utilizar la cáscara se han obtenido proteínas, metanol, etanol, pectinas y enzimas.

Usos de Sub-productos del Plátano

Algunas investigaciones demuestran que gran parte de los residuos se están utilizando en alimentación animal, sin embargo, es claro que falta más información con respecto a la aceptación por parte de los animales y sus contenidos anti nutricionales. En el 2013 Gerassev et al. (2013) utilizaron heno de pseudo tallo y hoja de plátano para alimentar a los corderos. Según Nunes Oliveira (2012), la inclusión de 50% de heno de hoja o pseudocáula de banano puede promover una mejora en el patrón de fermentación ruminal en dietas a base de pasto. El aprovechamiento de estos residuos provenientes de la agroindustria puede traer beneficios a la composición de las dietas, sin embargo, aún son necesarios estudios en monogástricos, análisis económicos, consumo de nutrientes,

digestibilidad y comportamiento de ingesta para indicar con precisión la eficiencia del uso de este subproducto (Diniz et al. 2014).

También, se han realizado investigaciones sobre la extracción de diferentes componentes de la cascara de plátano y convertirlos en una materia prima de gran importancia para diferentes industrias. las cáscaras de plátano poseen un gran potencial como fuente para la obtención de compuestos como la pectina, proporcionando al mismo tiempo valor agregado a dicho residuo agroindustrial (Muhammad et al. 2014). La pectina es un polisacárido con mucha demanda en la industria de los alimentos, también tiene un importante campo de aplicación en productos de la industria farmacéutica. Existe un gran interés por el uso de residuos agroindustriales derivados del procesamiento del plátano, con la finalidad de aprovechar las grandes cantidades de biomasa para elaborar productos con valor agregado (Ramos et al. 2014). Aparte de la cáscara de plátano, también se pueden aprovechar otras partes de la planta como los tallos y pseudo tallos. Por ejemplo, Manrique Carvajal y Rivera Galvis (2012), presentaron un estudio donde extrajeron fibras textiles a partir del pseudo tallo seco donde se determinó que las fibras a partir del pseudo tallo de plátano presentan una resistencia y grosor cercanos a las fibras de algodón comercial. Estos solo son algunos ejemplos de subproductos a partir de los desechos y la planta de plátano y aunque existen pocos estudios referentes al tema, se espera que para los siguientes años se hayan desarrollado tecnologías de aprovechamiento de residuos impulsadas por la necesidad de sostenibilidad y aprovechamiento, principalmente en el área agrícola.

Dependiendo del subproducto se derivan sus respectivos usos. Las plantas de musácea pueden ser utilizadas para generar energía a través de la descomposición, y utilizadas como un buen material de compostaje. Las cáscaras también pueden utilizarse para la extracción de aceite de plátano (acetato de amilo), que puede utilizarse para aromatizar alimentos. Las cáscaras de plátano también son una buena fuente de lignina (6 - 12%), pectina (10 - 21%), celulosa (7,6 - 9,6%), hemicelulosas (6,4 - 9,4%) y ácido galacturónico (Mohapatra et al. 2011) . Las hojas se utilizan mucho

para tejer cestas, esteras, envolver alimentos para su comercialización y para cocinar, cubrir alimentos, manteles y platos para comer, así como para beber sopa. Las hojas viejas se utilizan para envolver los racimos de plátanos (Cubiertas de racimos) para protegerlos de los murciélagos y los pájaros. A partir de la yema masculina, el fruto inmaduro y el pseudo tallo se pueden elaborar diversos productos, como patatas fritas, higos, bebidas listas para servir, harina, mermelada, dulces, rodajas deshidratadas y encurtidos. A partir del pseudo tallo del plátano se puede preparar cartón, papel tisú, entre otros.

En general, los subproductos de las plataneras se pueden utilizar para la alimentación humana. Se han visto utilizados en la producción de jugo clarificado y jarabe, en la fabricación de cereales, pasas, polvos, harina, bebidas, almidón, conservas, confituras y vino de banano. Son también utilizados en la fabricación de productos químicos como ser la extracción de ácidos lácticos para la producción de plástico biodegradable, producción de ácidos orgánicos, antibióticos, riboflavina, B-caroteno, ácido ascórbico, fibra para producir papel o para mejorar calidad de plásticos, entre otros. Han sido igualmente utilizados en la digestión anaeróbica y en la fabricación de etanol (Alvarez Rios 2010).

Manejo de Residuos

Como se ha mencionado, el plátano ofrece muchísimos beneficios en la alimentación humana y también se ha descubierto que los subproductos igualmente tienen alto potencial. El problema es que a estos últimos no se les ha prestado una atención enfocada y detallada, causando entonces la acumulación de residuos. Aunque son residuos orgánicos, si no se proponen y promueven prácticas adecuadas para la gestión de estos, una enorme cantidad de valiosos productos básicos e innovadores se perderán y además, se causarán graves daños ecológicos (Padam et al. 2014).

A partir de las grandes cantidades de residuos generados después de los procesos industriales a los que se somete el plátano, como ser la elaboración de rodajas de plátano mínimamente procesadas, se han realizado diversos estudios que buscan aprovechar y extraer los beneficiosos

componentes de dichos residuos (Hernández-Carmona et al. 2017). Entre estos componentes se encuentran el almidón, el azúcar, la lignina, la celulosa, la hemicelulosa, compuestos fenólicos, flavonoides, pigmentos antociánicos, la epigallocatequina y la leucocianidina (Passo Tsamo et al. 2015).

El aprovechamiento de los residuos es fundamental, ya que se derivan nuevos productos, posteriores a la modificación y alteración química, que producen impactos ambientales positivos. Entre los residuos más comunes se encuentran frutas verdes o inmaduras, frutas con daños mecánicos o patológicos, frutas desechadas, residuos foliares y cáscaras de plátano (Hernández-Carmona et al. 2017). Desafortunadamente, los residuos no son manejados de la manera más adecuada, y mayormente se utilizan como abono orgánico, desperdiciando su elevado potencial (Mondragón García et al. 2018). Por ello, diversos centros de investigación se han encargado de brindar estudios y opciones que muestran las maneras en las que los componentes beneficiosos de los subproductos del plátano puedan ser, y de esta manera, poder hacer uso de los residuos en las diferentes industrias.

Las cáscaras de plátano son ricas en almidón, teniendo un contenido de aproximadamente 50%, y el almidón tiene numerosas aplicaciones en las industrias de papel, textiles, farmacéutica, adhesivos, alimenticia, de tratamiento de agua y de polímeros. Por ejemplo, Hernández-Carmona et al. (2017) realizaron un estudio en donde se demostraron las condiciones más favorables para la extracción y producción de almidón proveniente de las cáscaras de plátano. Dicho proceso de extracción fue llevado a cabo por el método de extracción en húmedo. Como resultado, el almidón obtenido mostró valores de pureza que van del 57.52 al 69.9%, demostrando entonces el alto potencial del plátano para ser reciclado y que sea de utilidad en las diferentes industrias en donde el almidón es indispensable.

Igualmente, las cáscaras de plátano cuentan con un alto contenido de compuestos fenólicos. Un estudio, realizado en Bélgica, caracterizó por primera vez el perfil fenólico de la pulpa y la cáscara de diversos cultivares de plátano. La cáscara congelada fue extraída con acetona: agua: ácido acético (50:49:1; v:v:v) conteniendo 0.2 mM de ácido ascórbico y fue analizada por medio del análisis HPLC-

ESI-HR-MS y cuantificada por medio del análisis HPLC-DAD. Los resultados demostraron que los flavonoles fueron el principal compuesto fenólico encontrado en las cáscaras de plátano, y estos son de gran utilidad para la industria alimentaria y farmacéutica (Passo Tsamo et al. 2015). Así mismo, Mondragón García et al. (2018), demostraron que los subproductos del plátano, poseen diferentes características que les permiten ser considerados como potenciales sustratos para la producción de hongos. Por medio de potenciómetros y análisis estadísticos se midieron diferentes variables como ser el pH, la acidez, humedad, cenizas, entre otros factores de la cáscara y vástago del plátano, comprobando que los residuos del plátano contienen ventajosos componentes, importantes de aprovechar en la agroindustria.

Debido a las condiciones actuales en las que se encuentra nuestro planeta, la búsqueda de energías renovables se ha vuelto imperativa, en dónde cada vez más se ven utilizados los productos biodegradables. Según González-Sánchez et al. (2015), el plátano demuestra un gran potencial para ser utilizado como biocombustible y para la producción de metano. Dichos resultados presentan una gran opción para que los residuos del plátano puedan ser utilizados como combustibles, y de esta manera, aportar a la búsqueda de energías renovables.

Aspectos Nutricionales del Cultivo de Plátano

Las frutas y verduras son un componente importante de una dieta saludable. Algunas frutas como los plátanos ofrecen grandes beneficios médicos, debido a que ayudan al cuerpo a retener algunos componentes como el calcio, nitrógeno y fósforo. Además, el plátano es rico en vitaminas A, B6, C y D (Cuadro 2) dando beneficios especialmente a los huesos y músculos del cuerpo humano (Blasco y Gómez 2014). Los subproductos del plátano también representan una fuente importante de proteínas, lípidos, fibras y compuestos antioxidantes. Por ejemplo, la cáscara del plátano representa una fuente importante de sustancia precursoras de la vitamina A y de otros carotenoides (McLaren y Kraemer 2012). Otros subproductos del plátano también poseen una alta capacidad antioxidante y

pueden ser utilizados como ingredientes con propiedades funcionales para la prevención del estrés oxidativo (China et al. 2011).

Cuadro 2

Composición nutricional del plátano (Musa paradisiaca).

Nutriente	Por 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	94
Proteínas (g)	1.2
Lípidos saturados	0.3
AG saturados (g)	0.11
AG moinsaturados (g)	0.04
ω^{-3} (g)	0.052
C18:2 Linoleico (ω^{-6})(g)	0.039
Colesterol (mg/1000 kcal)	0
Hidratos de carbono (g)	20
Fibra (g)	3.4
Agua (g)	75.1
Calcio (g)	9
Hierro(mg)	0.6
Yodo (μ g)	2
Magnesio (mg)	38
Zinc (mg)	0.23
Sodio (mg)	1
Potasio (mg)	350
Fósforo (mg)	28
Selenio (μ g)	1
Tiamina (mg)	0.06
Riboflavina (mg)	0.07
Equivalente niacina (mg)	0.8
Vitamina B ₁₂ (μ g)	0.51
Folatos (μ g)	22
Vitamina B ₆ (mg)	0
Vitamina C (mg)	10
Vitamina A: Eq. Retinol (μ g)	18
Vitamina D (μ g)	0
Vitamina E (mg)	0.2

Nota. Adaptado de Moreiras et al. (2013)

Plátano en Alimentos de Cuarta Gama

Nuevas investigaciones han demostrados que se pueden preparar y consumir el plátano de muchas formas y dependiendo de la región se podrán encontrar muchas formas de consumir y aprovechar este fruto. Según Funez (2005), los productos congelados de plátano cumplen los requisitos para las nuevas tendencias del mercado en cuanto a productos de conveniencia y nutrición. En Centro América la forma más común de consumirlo es en tajadas ya sea del fruto verde o maduro

y también se usa para la preparación de sopas, tapados, rellenos, bebidas entre otros (Carvajal et al. 2019). Últimamente, se ha venido desarrollando una tendencia de productos mínimamente procesados o de cuarta gama y este nuevo mercado da un sentido de conveniencia al consumidor que permite preparar platillos restando pasos en su elaboración.

En décadas pasadas las frutas pre cortadas como: Manzanas, fresas, kiwis, plátano y melocotón se oxidaban bastante rápido y normalmente la vida útil de estos productos era de pocos días (López-Gálvez et al. 1996). El uso de tecnologías térmicas o no térmicas efectivas puede ofrecer al consumidor frutos tropicales frescos cortados, microbiológicamente seguros, con valor nutricional y calidad sensorial lo más cercanos al producto intacto (Bajaña 2017). Gracias a la formulación y uso de aditivos, el plátano ya se puede incluir dentro de este grupo de alimentos. La conveniencia que ofrecen estos productos en términos de calidad, disponibilidad, facilidad de preparación, valor nutritivo, sabor y seguridad, responde a las necesidades y preferencias de los consumidores.

Los productos procesados de plátano verde y maduro como tajadas y otras presentaciones han tomado auge en los mercados latinos de los Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea. Diferentes estudios de mercado indican que el mercado latino de productos de plátano semi-preparados/congelados en estos países constituye una oportunidad para que los productores de plátano de América Latina lo exporten con un valor agregado (Lopez Gutiérrez et al. 2014). El plátano presenta gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo. En el proceso de mercadeo, predomina la comercialización de plátano fresco, aunque los cambios en los hábitos socio-culturales de la población ha incrementado el consumo de procesados (Snacks) a base de frituras, plátano precocido congelado como los tostones y plátano semiprocado como tajadas listas para freír (Quiceno et al. 2014). Empresas como Goya han desarrollado líneas de productos a partir del plátano; por ejemplo: Plátano verde entero congelado, tajadas de plátano maduro fritas congeladas, plátano maduro horneado, tostones, mofongo, entre otros. En Honduras, la empresa Inversiones Amalgamadas (INALMA) exporta productos precocidos y

congelados de plátano y también existen pequeñas empresas que tienen presencia en el mercado local como la empresa Banilisto. Otro ejemplo en la región latinoamericana es la empresa colombiana Valley Fruit (Figura 2) que procesa plátano verde entero empacado al vacío. El procesamiento de estos productos en los países antes mencionados es elaborado principalmente por pequeñas y medianas empresas, donde llevan procesos como pelado, cortado y congelado.

Figura 2

Plátano mínimamente procesado: Plátano verde entero pelado.



Nota. Tomado de Valleyfruit (2018)

Métodos de Conservación

El plátano ha sido uno de los principales alimentos en la dieta humana, debido a su alto contenido de hidratos de carbono, vitaminas y aminoácidos. La tecnología de procesamiento mínimo de productos hortofrutícolas se encuentra en auge (Oms-Oliu et al. 2010). Existe una serie de productos procesados a partir de este, aunque existen limitantes reflejadas en su vida anaquel, esto debido a su alto contenido de agua, cambios fisicoquímicos, reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas. En los últimos años, la implementación de tecnología de mínimo proceso ha estado desarrollándose como alternativa viable para una futura industrialización (Escobar et al. 2014). El consumo de alimentos procesados se ha incrementado, ganando posición en el mercado mundial

debido a los cambios en estilos y ritmos de vida. La sociedad moderna busca alimentos de fácil adquisición y rápido consumo y que a la vez satisfagan sus necesidades alimentarias (Rodríguez et al. 2013).

Esto ha obligado a los ingenieros de alimentos a diseñar métodos de conservación, de manera que estos productos conserven sus características organolépticas sin perjudicar su composición nutricional. Son numerosos y a veces complejos los métodos empleados para la conservación de alimentos y especialmente a escala industrial. Algunos de estos métodos pueden ser químicos usando aditivos antioxidantes, métodos físicos como ser la aplicación de calor, mediante inmersión y salmueras. El uso de la sal para la conservación de los alimentos está muy extendido, debido a que aporta sabor, ejerce un efecto conservador e influye en la textura y otras características (León Lemus 2013). Otro de los métodos descritos es el escaldado ya sea por vapor o inmersión. El escaldado es un proceso de uso generalizado en las industrias alimentarias que procesan verduras y algunas frutas. Este tratamiento forma parte de una etapa previa a otros procesos, cuyo principal objetivo es inactivar enzimas, aumentar la fijación de la clorofila (de especial importancia en los vegetales verdes) y ablandar el producto para favorecer su posterior envasado (Huete et al. 2019).

Otro método de conservación físico puede ser el uso de empaques, debido a que estos limitan la entrada de oxígeno y retardan reacciones, químicas, microbiológicas y enzimáticas. Por ejemplo, Dussán-Sarria et al. (2017), realizaron un estudio donde combinaron antioxidantes y uso de empaques para preservar plátano verde cortado en rodajas y determinaron que el tratamiento al que se le aplicó ácido cítrico y empacado al vacío fue donde se observó la menor variación en los valores del contenido de sólidos solubles en el día 21 de almacenamiento. Esta poca variación en el contenido de sólidos solubles causa un retraso en el proceso de maduración del producto influenciado principalmente por el efecto de la atmósfera modificada al vacío. Un método alternativo para extender la vida útil y minimizar los cambios en la calidad en productos derivados de frutas frescas, es la aplicación de coberturas comestibles, las que originan una atmósfera modificada en el vegetal y reducen la pérdida

de agua, permiten controlar la respiración, retrasan el envejecimiento y mejoran su calidad sensorial, físico-química y microbiológica. Entre las biomoléculas empleadas para la elaboración de coberturas, figuran diversos polisacáridos como el quitosano (García et al. 2014).

Por último, de acuerdo con la literatura citada en este estudio, se puede indicar que el plátano es un fruto ampliamente producido alrededor del mundo y con una gran presencia en la región latinoamericana y en Honduras. Además, este cultivo tiene muchos beneficios nutricionales, dentro de los que se incluyen un alto contenido energético por la presencia de almidones, así como un aporte significativo de vitaminas y minerales. Por estas razones, el plátano tiene un gran potencial para ser utilizado en productos mínimamente procesados o de cuarta gama, los cuales tienen un amplio mercado por explotar en la región.

Fase 2: Experimento

Análisis físico-químicos

El color es un atributo que tiene una gran influencia sobre la aceptación que tienen los productos alimenticios. En el caso de frutas y vegetales, el color es uno de los principales atributos que determinan la calidad, ya que a través del color se indica la acción de procesos fisiológicos que inciden sobre la calidad y el deterioro de los productos (Wrolstad y Smith 2017). El color puede ser definido como la sensación que es experimentada por un individuo cuando la energía radiante dentro del espectro visible entra a la retina del ojo (Berns y Reiman 2002). Existen diferentes escalas para la medición de color y una de las más utilizadas es la L^*a^*b , en la que L^* indica luminosidad en una escala de cero (negro) a 100 (blanco) y los valores a^* y b^* son coordenadas de cromaticidad, donde a^+ indica una tendencia a rojo, a^- una tendencia a verde, b^+ a amarillo y b^- a azul (Bellary y Rastogi 2014).

En el análisis de color realizado a las rodajas de plátano (Anexo D), la variable tiempo fue significativa para los valores de luminosidad, a^* , b^* y ángulo de matiz (Cuadro 3). En el caso del parámetro de luminosidad, se tuvo una disminución en los valores a través del tiempo, con un valor máximo de 61.17 al día 0 y un valor mínimo de 44.88 al día 14 de almacenamiento, lo cual indica una

reducción del 26.63%. Además, se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el valor de luminosidad entre cada uno de los días evaluados. Esta disminución en los valores de luminosidad demuestra un oscurecimiento en las rodajas de plátano con el paso del tiempo, debido a que hay un acercamiento a 0 (negro) y un alejamiento del valor 100 (blanco). Estos resultados concuerdan con los presentados por Bico S et al. (2009), quienes evaluaron el efecto combinado de soluciones antioxidantes y uso de atmósfera controlada en la calidad de banano mínimamente procesado. En el análisis de luminosidad los valores oscilaron desde 79.4 al día 0 hasta 59.9 en el quinto día de almacenamiento a temperaturas de refrigeración y esto representó una reducción de 24.56%, lo cual es similar a lo obtenido en este estudio.

Cuadro 3

*Resultados de color $L^*a^*b^*$, ángulo de matiz y pH de plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento,*

Tiempo de almacenamiento* (días)	Luminosidad Media \pm DE ^σ	Valor a* Media \pm DE	Valor b* Media \pm DE	Ángulo de matiz Media \pm DE	pH Media \pm DE
0	61.17 \pm 5.23 ^a	6.37 \pm 1.63 ^b	39.94 \pm 3.18 ^a	80.54 \pm 2.86 ^a	5.78 \pm 0.15 ^c
7	56.22 \pm 3.04 ^b	7.07 \pm 1.16 ^b	37.30 \pm 1.86 ^b	77.76 \pm 2.25 ^b	6.22 \pm 0.18 ^b
14	44.88 \pm 7.12 ^c	13.52 \pm 1.87 ^a	33.10 \pm 3.64 ^c	70.16 \pm 2.09 ^c	6.34 \pm 0.19 ^a
CV (%)	9.94	2.25	3.01	3.14	2.81

Nota. ^{abc}Promedios con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes a través del tiempo ($P < 0.05$).

CV: Coeficiente de Variación. σ : Desviación Estándar

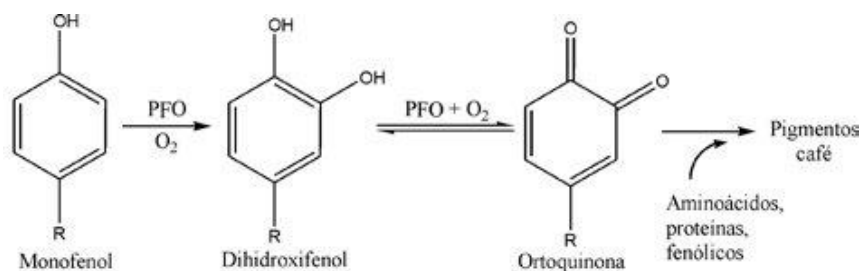
*Empacado al vacío y almacenado a 7-12 °C

El cambio en luminosidad a través del tiempo se puede atribuir a la actividad de la Enzima Polifenol Oxidasa (PPO) en los tejidos del plátano. Durante el procesamiento del producto el plátano fue cortado y pelado, lo que causa una mayor liberación de compuestos fenólicos que tienen contacto con la enzima (Marszałek et al. 2018). La polifenol oxidasa es una cobreproteína que actúa con esos compuestos fenólicos, causando su oxidación y polimerización con el consecuente desarrollo de un color café como se muestra en la Figura 3 (García et al. 2006). El daño físico que se da en el procesamiento genera una actividad desregulada de la enzima en el tejido herido, lo que causa un

incremento en la reacción de pardeamiento enzimático y por ende un cambio en la luminosidad del producto a través del tiempo.

Figura 3

Acción de la polifenol oxidasa sobre los compuestos fenólicos.

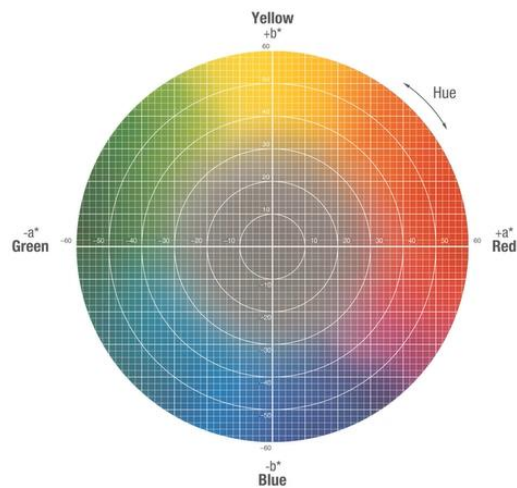


Nota. Tomado de Garcia et al. (2006)

En los valores a^* y b^* también se observó un efecto significativo del tiempo de almacenamiento. En el caso del valor a^* , se presentó un incremento desde 6.37 en el día 0 hasta 13.52 en el día 14 de almacenamiento y este último fue estadísticamente diferente con respecto a los valores del día 0 y 7. Se observó un incremento del valor a^* con el paso del tiempo, lo cual indica una tendencia al color rojo y alejamiento del color verde en la escala utilizada (Figura 4). En relación con el valor b^* , se tuvieron diferencias estadísticas en los datos de cada uno de los tiempos de almacenamiento evaluados. Se observó una disminución en los resultados de este parámetro con el valor más alto de 39.94 al día 0 y el valor más bajo de 33.10 al día 14. En la escala $L^*a^*b^*$, los valores de b^* van desde -60 (azul) a +60 (amarillo), por lo que la disminución observada indica una tendencia de alejamiento del color amarillo, el cual es característico del plátano. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Chandrajith et al. (2015), los cuales presentaron comportamientos similares con un aumento del valor a^* y una disminución del valor b^* a través del tiempo en banano mínimamente procesado. Se observó un aumento del valor a^* desde -0.55 al segundo día de almacenamiento hasta 1.45 al quinto día de almacenamiento y en el valor b^* en el mismo período de almacenamiento se tuvo una reducción de valores desde 25.21 hasta 21.40.

Figura 4

Gráfica de Espacio de Color CIELab



Nota. Tomado de Ballat (2014)

En la escala de valor a^* , un cambio de datos negativos (verde) hacia positivos (rojo) puede indicar la degradación de clorofilas y la síntesis de carotenoides (Facundo et al. 2015). Los principales agentes responsables de la degradación estructural de las clorofilas pueden ser el sistema oxidativo, cambios en el pH y enzimas como la clorofilasa, mientras que el incremento del contenido de carotenoides puede ser causado por oxidación enzimática y fotodegradación (Gol y Ramana Rao 2011). En el valor b^* se observó un alejamiento de los valores cercanos al color amarillo con el paso del tiempo y esto puede ser atribuido a la degradación de la luteína, el cual es un carotenoide responsable del color amarillo del plátano (Blasco y Gómez 2014). Esto concuerda con lo presentado por Lupano (2013), quien observó que en papas mínimamente procesadas se presentó una pérdida importante de luteína debido a los procesos de cortado y pelado y también por la aplicación de tratamientos térmicos.

De acuerdo con el sistema Munsell, el ángulo de matiz es uno de los tres atributos del color. Generalmente, cuando se habla del color se hace referencia al matiz, el cual indica que color primario o mezcla de colores primarios se están observando y además representa la longitud de onda dominante que es emitida por cierto objeto (Ball 2020). De acuerdo a la plantilla utilizada (Figura 4),

el ángulo de matiz del color rojo es de 0 °, amarillo 90 °, verde 180 ° y azul 270 ° (Ballat 2014). Debido al color amarillo que tiene la pulpa de los plátanos, el valor de ángulo de matiz en el día 0 es de 80.54, los cuales coinciden con el área de color amarillo en la gráfica de CIELab. Se encontró diferencias significativas entre todos los valores de ángulo de matiz, con una disminución a través del tiempo hasta llegar a un valor de 70.16 en el día 14 de almacenamiento, lo cual indica una tendencia hacia el color rojo y una disminución del 12.89%. Estos resultados son similares a los obtenidos por Cheng et al. (2009), quienes observaron una disminución en el valor de ángulo de matiz en un 14.29% del primer al octavo día de almacenamiento. Cuando el valor de ángulo de matiz tiene un movimiento de amarillo-verde a anaranjado-rojo se puede atribuir al pardeamiento enzimático que ocurre en las rodajas de plátano, así como a la degradación de la clorofila y el incremento en el contenido de carotenoides (Moraga G et al. 2011).

Se observó que existió un efecto del tratamiento térmico en los resultados de luminosidad y ángulo de matiz en las rodajas de plátano (Cuadro 4). En el caso de la luminosidad, se presentaron diferencias estadísticas entre los valores obtenidos en las rodajas de plátano que solo fueron desinfectadas y las rodajas de plátano que fueron expuestas a un tratamiento térmico con vapor, los cuales fueron de 52.49 y 56.15, respectivamente. Se observó que los valores más altos de luminosidad se presentaron en las rodajas de plátano que fueron expuestas a vapor y los más bajos en el control que no solo fue desinfectado. Estos resultados difieren a los obtenidos por Prachayawarakorn et al. (2016), quienes presentaron un valor de 62.2 en rodajas de plátano que no fueron expuestas a vapor, el cual fue superior y estadísticamente diferente al resto de tratamientos que recibieron tratamiento térmico con vapor. Sin embargo, al tener valores superiores de luminosidad en rodajas que fueron expuestas a vapor, se puede comprobar que el tratamiento térmico de vapor reduce la pérdida de luminosidad del plátano. Esto concuerda con la afirmación de Moon et al. (2020), quienes indican que el uso de un tratamiento térmico puede inhibir la actividad enzimática, debido a que las enzimas, las cuales son compuestas de proteínas, son desnaturalizadas por la exposición a altas temperaturas.

Cuadro 4

Resultados del efecto de tratamiento térmico en los valores de luminosidad y ángulo de matiz en plátano verde mínimamente procesado.

Tratamiento térmico	Luminosidad	Ángulo de matiz
	Media \pm DE ^{σ}	Media \pm DE
Vapor (30 s)	56.15 \pm 8.52 ^a	75.29 \pm 4.62 ^b
Inmersión (70 °C, 30 s)	52.68 \pm 10.11 ^b	76.78 \pm 5.18 ^a
Control (Desinfección)	52.49 \pm 8.25 ^b	76.86 \pm 5.89 ^a
CV (%)	16.69	6.85

Nota. ^{abc}Promedios con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes con respecto al tratamiento térmico ($P < 0.05$).

CV: Coeficiente de Variación. σ : Desviación Estándar

En el caso del ángulo de matiz, se observó que el valor más bajo se presentó en las rodajas de plátano que fueron tratadas con exposición a vapor, las cuales tuvieron una media de 75.29. Este valor fue significativamente diferente al valor presentado por las rodajas de plátano que solo fueron desinfectadas, el cual fue de 76.86. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Tabtiang et al. (2012), quienes observaron que los valores más bajos de ángulo de matiz se dieron en rodajas de plátano tratadas con exposición térmica, con un valor de 69.44. Además, los resultados son similares a los obtenidos por Prachayawarakorn et al. (2016), quienes presentaron un valor de 84.9 en un tratamiento que no fue expuesto a vapor, el cual fue estadísticamente diferente al resto de tratamientos que recibieron tratamiento térmico con vapor.

Esta reducción en el ángulo de matiz indica una tendencia hacia el color rojo y un alejamiento del color amarillo. En la escala utilizada el color amarillo está representado con un ángulo de 90 ° y el color rojo está representado con un ángulo de 0 °. Esto puede ser causado por el tratamiento térmico con vapor al que fueron expuestas las rodajas de plátano, ya que las vías de biosíntesis de carotenoides en musáceas son aceleradas por altas temperaturas y exposición a la luz (Fu et al. 2019). El carotenoide responsable del color rojo y naranja es el licopeno, el cual en plátano ha sido cuantificado en un rango de 300-400 μg de equivalentes de luteína/100 g (Blasco y Gómez 2014).

Se observó que existieron diferencias significativas con respecto al uso o no de aditivos (Cuadro 5) en los resultados de valor a^* y ángulo de matiz. En las rodajas de plátano que no fueron

tratadas con ningún aditivo se observó un resultado en el valor a^* de 8.27, el cual fue inferior y estadísticamente diferente a los valores a^* de las rodajas de plátano que fueron tratadas con mezcla de ácidos y bisulfito de sodio. Esto indica que las rodajas de plátano que no recibieron tratamiento de aditivo fueron las que tuvieron una menor tendencia hacia el color rojo. De manera similar, se observó que en los resultados de ángulo de matiz el valor más alto se presentó en las rodajas de plátano que no fueron tratadas con aditivos, con una media 77.29. Este valor fue superior y estadísticamente diferente al resultado que presentaron las rodajas de plátano que fueron tratadas con ácidos, las cuales tuvieron una media 74.53. Estos resultados indican que las rodajas de plátano que no tuvieron tratamiento con aditivos fueron las que mejor mantuvieron el color característico amarillo de la pulpa de plátano.

Cuadro 5

Resultados del efecto de uso de aditivos en el valor a^ y ángulo de matiz en plátano verde mínimamente procesado.*

Aditivos	Valor a^*	Ángulo de matiz
	Media \pm DE ^o	Media \pm DE
Ácido cítrico (0.05% w/v) + ácido ascórbico (0.05% w/v)	9.47 \pm 3.59 ^a	74.53 \pm 5.04 ^b
Bisulfito de sodio (30 ppm)	9.57 \pm 16.36 ^a	76.07 \pm 17.93 ^a
Ninguno	8.27 \pm 3.55 ^b	77.29 \pm 5.35 ^a
CV (%)	11.73	12.86

Nota. ^{abc}Promedios con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes con respecto al aditivo ($P < 0.05$).

CV: Coeficiente de Variación. σ : Desviación Estándar

Los resultados obtenidos son similares a los presentados por Raikham et al. (2015), quienes observaron que no se presentaron diferencias en el valor a^* ni en el ángulo de matiz entre rodajas de banano que fueron tratadas con ácido cítrico y bisulfito de sodio. En el estudio mencionado, se observaron medias en el valor a^* de 9.1 para las rodajas que fueron tratadas con ácido cítrico y 8.9 para las que se trataron bisulfito de sodio, las cuales no fueron estadísticamente diferentes a los resultados de un control sin aditivos. Los resultados obtenidos indican que el uso de aditivos no ayudó a mantener el color amarillo característico que tiene la pulpa de plátano, ya que se observaron los valores más alejados del ángulo amarillo (90 °) en las rodajas que fueron tratadas con aditivos.

Además, de igual manera se observó que el uso de aditivos no ayudó a reducir la tendencia hacia el color rojo (+60) en las rodajas de plátano.

Con respecto al análisis de pH, este parámetro presentó diferencias significativas a través del tiempo (Cuadro 3), lo cual fue evidenciado con diferencias significativas entre los valores de los tres días de almacenamiento evaluados. El valor más bajo de 5.78 se presentó al día 0 y se observó una tendencia de incremento en el valor de pH con el paso de los días hasta llegar a un valor de 6.34 en el día 14 de almacenamiento. Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Dussán-Sarria et al. (2017), en los que se observó un incremento del pH a través del tiempo con datos estadísticamente diferentes, presentando valores que oscilaban desde 4.99 en el día 0 hasta 5.75 al día 21. En otro estudio Siriwardana et al. (2015), observaron un comportamiento similar con un rango de valores entre 4.09 y 5.36 en rodajas de banano tratadas con diferentes aditivos. En este estudio se observa un rango similar con un incremento de 9.68% en el valor de pH entre el primer y último día de almacenamiento evaluados.

Se observa una marcada reducción en la acidez del plátano a través del tiempo, la cual puede ser atribuida a la senescencia de las células en el plátano (Gol y Ramana Rao 2011). Esto debido a que, durante la senescencia, los ácidos orgánicos presentes en el plátano son usados como sustratos para las reacciones enzimáticas del proceso de respiración, las cuales son activadas por el estrés celular que sufren las membranas durante la senescencia (Alikhani-Koupaei 2015); (Matias et al. 2016). Además, en el caso del pH existió interacción entre el tratamiento térmico y los aditivos utilizados (Cuadro 6), los cuales tuvieron un efecto en los resultados obtenidos de pH. Esto indica que el uso de aditivos pudo tener efecto sobre la acidez inicial de las rodajas de plátano, pero con el paso del tiempo estos dejan de ser efectivos, porque el efecto antioxidante de los aditivos dura hasta que la reserva de antioxidantes se agota (Portillo Morales 2014).

Cuadro 6

Resultados de pH para los tratamientos evaluados de plátano verde mínimamente procesado.

Tratamiento térmico	Aditivo(s)	pH
		Media \pm DE $^{\sigma}$
Vapor (30 s)	Ninguno	6.17 \pm 0.32 ^a
	Ácido cítrico (0.05% w/v) + ácido ascórbico (0.05% w/v)	6.13 \pm 0.32 ^{ab}
	Bisulfito de sodio (30 ppm)	6.16 \pm 0.29 ^a
Inmersión (70 °C, 30 s)	Ninguno	6.23 \pm 0.33 ^a
	Ácido cítrico (0.05% w/v) + ácido ascórbico (0.05% w/v)	5.91 \pm 0.29 ^c
	Bisulfito de sodio (30 ppm)	6.01 \pm 0.26 ^{bc}
Control (Desinfección)	Ninguno	6.16 \pm 0.24 ^{ab}
Coeficiente de variación (%)		4.78

Nota. ^{abc}Promedios con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes con respecto a la interacción del tratamiento térmico y aditivo ($P < 0.05$).

σ : Desviación Estándar

Como fue mencionado anteriormente, la interacción del tratamiento térmico y el uso de aditivos tuvo un efecto en los resultados de pH de las rodajas de plátano. Se observó que el valor más bajo de pH se presentó en las rodajas que fueron tratadas con inmersión en agua a 70 °C y una mezcla de ácido cítrico y ácido ascórbico. En esas rodajas de plátano se tuvo una media de 5.91, la cual fue inferior y estadísticamente diferente al resto de rodajas de plátano que fueron tratadas con diferentes tratamientos térmicos y aditivos. Los resultados son similares a los presentados por Falade y Oyeyinka (2015), quienes presentaron un valor de pH de 5.97 en plátano verde durante su primer estadio. Además, los resultados concuerdan con los obtenidos por Gol y Ramana Rao (2011), quienes presentaron los valores más bajos de pH en rodajas de plátano que fueron tratadas con ácidos a concentraciones de 2-3% w/v, las cuales tuvieron una media de 5.31. La diferencia considerable entre el valor de pH del estudio mencionado y el de este estudio puede ser causada por la concentración de ácidos, la cual fue mayor en comparación a la concentración de 1% w/v que fue utilizada en este estudio.

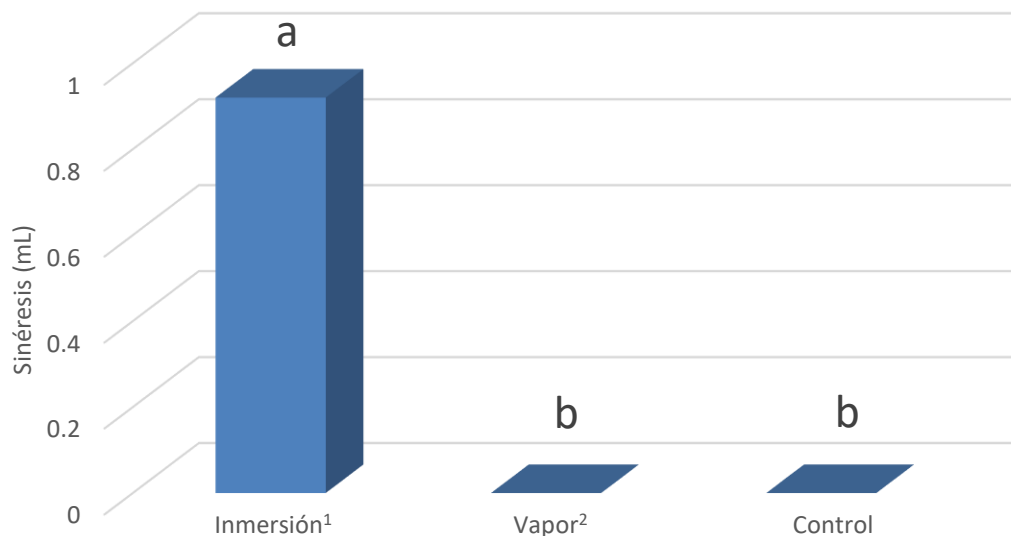
Estos resultados se pueden atribuir a las concentraciones de ácidos orgánicos utilizados como antioxidantes. Los valores de pH con acidez alta pueden ser atribuidos a las concentraciones de los ácidos, porque el pH es dependiente de la cantidad total de ácidos, así como de la fuerza de los ácidos

presentes (Siriwardana et al. 2015). Bajo este principio se puede explicar que el tratamiento de inmersión con uso de ácido cítrico y ácido ascórbico haya presentado los valores más bajos de pH y que haya sido estadísticamente diferente al resto de tratamientos. En musáceas, los parámetros óptimos para que las enzimas promuevan el pardeamiento enzimático son una temperatura de 30°C y un pH de 7.0 (Ünal 2007). Por esta razón, el uso de aditivos que aumenten la acidez de las rodajas de plátano puede ser un factor que ayude a controlar el pardeamiento enzimático. Además, el ácido cítrico y ácido ascórbico son inhibidores altamente efectivos del pardeamiento enzimático, porque tienen la habilidad de reducir las quinonas a compuestos fenólicos antes de que puedan formar los pigmentos (Chandrajith et al. 2015). Sin embargo, en el presente estudio el uso de aditivos no fue significativo en el mantenimiento del color amarillo característico de la pulpa de plátano, por lo que la acidez causada por el ácido cítrico y ascórbico tampoco tuvo un efecto en controlar el pardeamiento enzimático.

Con respecto al análisis de sinéresis (Figura 5), se observó que el uso de tratamiento térmico tuvo un efecto en los resultados de sinéresis. En este sentido, las rodajas de plátano que fueron sometidas a aplicación de vapor y solo desinfección no presentaron purga en ninguno de los tres días evaluados durante el período de almacenamiento. Sin embargo, los tratamientos que pasaron por una inmersión en agua a 70 °C si presentaron purga en el empaque y se tuvieron diferencias estadísticas con respecto a las rodajas que fueron expuestas a vapor y que solo fueron desinfectadas. Se tuvo una media de 0.93 mL de sinéresis para las rodajas que fueron sumergidas en agua a 70 °C en comparación a los 0 mL de sinéresis presentados en los demás tratamientos.

Figura 5

Efecto del tratamiento térmico en la sinéresis de rodajas de plátano almacenadas durante 14 días.



Nota. ^{ab}Datos con letra diferente son estadísticamente diferentes con respecto al tratamiento térmico.

¹Inmersión en agua a 70 °C durante 30 segundos. ²Exposición a vapor de agua durante 30 segundos.

Este comportamiento puede ser atribuido al proceso de gelatinización en los almidones del plátano al ser sometidos a un tratamiento térmico de inmersión en agua a 70 °C. Según Šárka y Dvořáček (2017), gelatinización se refiere al proceso endotérmico irreversible de calentamiento o cocción del almidón para solubilizarlo en agua, en el cual los gránulos de almidón pasan de un estado ordenado a un estado desordenado. Este proceso es una función de la concentración de almidón, temperatura del tratamiento térmico y en menor grado, del tiempo de cocción (Bertrand et al. 2019). El tratamiento térmico de inmersión en agua a 70 °C durante 30 segundos contempla los parámetros necesarios (Almidón, agua y tiempo) para que exista gelatinización. En diferentes variedades de musáceas, a 70 °C se observa hinchazón de los gránulos de almidón y pérdida de la birrefringencia (Agama-Acevedo et al. 2015).

Los resultados obtenidos concuerdan con la información presentada por Bellary y Rastogi (2014), quienes determinaron que escaldar rodajas de plátano puede resultar en la gelatinización del

almidón, disociación de hélices dobles en las regiones cristalinas y lixiviación de amilosa. Esto debido al proceso de retrogradación, en el que ocurren la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, lo que puede resultar en una solución diluida tal como fue observado en el empaque del plátano mínimamente procesado (Bugaud et al. 2013). Según Jiang H et al. (2015), en el almidón de banano verde se presenta un mayor contenido de amilosa y al haber lixiviación de este compuesto después de procesos de escaldado, se pueden tener mayores pérdidas de peso por medio del agua liberada a través del tiempo.

Para el análisis de textura (Anexo E) se hizo uso del módulo elástico o módulo de Young (Cuadro 7). No se observó ningún efecto de las variables evaluadas sobre los resultados de este parámetro. En este sentido no existieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los tratamientos en los tres días evaluados durante el período de almacenamiento. Además, tampoco se presentaron diferencias significativas en los tratamientos a través del tiempo. Estos resultados concuerdan con los presentados por Chandrajith et al. (2015), en los que no se obtuvieron diferencias estadísticas en la textura de rodajas de banano entre tratamientos en los que se usaron diferentes concentraciones de ácido cítrico y ácido ascórbico ni a través del tiempo.

El módulo de Young es una medida de la rigidez de un material elástico y es definido como la relación entre estrés y deformación y es una propiedad que describe la facilidad con la que un material puede estirarse y deformarse (Ma et al. 2015). Las rodajas de plátano no presentaron diferencias en este atributo a través del tiempo y este comportamiento puede ser atribuido a la interrupción en el proceso de maduración del fruto. Según Sanaeifar et al. (2016), la textura de los frutos de banano se suaviza debido al proceso de maduración, en el cual ocurren cambios en la estructura de la pared celular y degradación del almidón. Este proceso es interrumpido al aplicar un daño físico por medio del cortado en el plátano y la producción de etileno se mantiene baja porque las tasas de producción de etileno son mucho menores en productos mínimamente procesados elaborados con frutos no maduros (Jideani et al. 2017). También es importante mencionar que la temperatura de refrigeración

(7-12 °C) a la cual fue almacenado el producto pudo haber tenido un efecto en retrasar procesos biológicos del plátano. Esto debido a que las bajas temperaturas pueden reducir sustancialmente la tasa de muchas vías metabólicas que causan la senescencia en el fruto y también ayudan a mantener concentraciones bajas de etileno, lo que retarda el proceso de maduración (Der Agopian et al. 2011)

Cuadro 7

Resultados del análisis de módulo elástico (Módulo de Young) en plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento.

Tratamiento térmico ^{NS}	Aditivo(s) ^{NS}	Tiempo de almacenamiento* (días) ^{NS}		
		0	7	14
Vapor (30 s)	Ninguno	0.45 ^β ± 0.05 ^σ	0.45 ± 0.03	0.48 ± 0.05
	AC ¹ (0.05 % w/v) + AA ² (0.05% w/v)	0.45 ± 0.00	0.45 ± 0.04	0.43 ± 0.04
	BS ³ (30 ppm)	0.47 ± 0.05	0.44 ± 0.03	0.47 ± 0.02
Inmersión (70 °C, 30 s)	Ninguno	0.46 ± 0.03	0.46 ± 0.00	0.47 ± 0.06
	AC (0.05 % w/v) + AA (0.05% w/v)	0.46 ± 0.02	0.42 ± 0.00	0.44 ± 0.05
	BS (30 ppm)	0.46 ± 0.05	0.46 ± 0.05	0.48 ± 0.08
Control (Desinfección)	Ninguno	0.47 ± 0.03	0.43 ± 0.02	0.45 ± 0.02
Coeficiente de variación (%)		7.12	5.41	9.89

Nota. NS: no existió diferencias estadística

¹Ácido cítrico. ²Ácido ascórbico. ³Bisulfito de sodio. β: Promedio. σ: Desviación Estándar.

*Empacado al vacío y almacenado a 7-12 °C

Análisis Microbiológicos

Para determinar la calidad microbiológica del producto se realizaron conteos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, hongos y levaduras. Se observó que en los resultados de bacterias mesófilas aerobias y coliformes totales (Cuadro 8) se presentó una interacción entre el tratamiento térmico y el tiempo, mientras que en los conteos de levaduras solo la variable tiempo fue significativa. Es importante mencionar que el uso de aditivos no tuvo significancia sobre los resultados de los conteos para los microorganismos mencionados anteriormente. Con respecto a los conteos de bacterias mesófilas aerobias (Cuadro 8), en el día de elaboración del producto se observó que en el tratamiento control (solo desinfección) se presentaron los conteos más altos, con una media de 1.50 Log UFC/g. Este valor presentó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) con respecto a los valores presentados en los tratamientos de vapor e inmersión al día 0, los cuales fueron 0.69 y 0.73,

respectivamente. Al final del período de almacenamiento (día 14) se observó que los conteos más bajos fueron presentados en las rodajas de plátano que fueron expuestas al tratamiento térmico con vapor, las cuales tuvieron una media de 3.68 Log UFC/g. Al día 14, el tratamiento térmico con vapor presentó diferencias significativas con respecto a los tratamientos de inmersión en agua a 70°C y el tratamiento control, los que tuvieron medias de 6.74 y 6.09 Log UFC/g, respectivamente. Además, se observó un aumento en el conteo de bacterias mesófilas aerobias a través del tiempo en todos los tratamientos, los cuales tuvieron diferencias estadísticas entre los diferentes días de almacenamiento evaluados.

Cuadro 8

Resultados de conteos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y levaduras en plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento (Log UFC/g)

Análisis microbiológico	Tratamiento térmico	Tiempo de almacenamiento* (días)		
		0	7	14
Bacterias mesófilas aerobias	Vapor (30 s)	0.69 ^β ± 0.00 ^σ a ^(z)	2.35 ± 0.77 ^{c(y)}	3.68 ± 0.88 ^{b(x)}
	Inmersión (70 °C, 30 s)	0.73 ± 0.10 ^{a(z)}	3.17 ± 1.40 ^{b(y)}	6.74 ± 0.68 ^{a(x)}
	Control	1.50 ± 0.35 ^{a(z)}	4.36 ± 0.63 ^{a(y)}	6.09 ± 0.76 ^{a(x)}
	C.V. (%)	12.28	30.62	15.55
Coliformes totales	Vapor (30 s)	0.69 ± 0.00 ^{a(z)}	1.93 ± 0.78 ^{c(y)}	2.90 ± 1.34 ^{b(x)}
	Inmersión (70 °C, 30 s)	0.69 ± 0.00 ^{a(z)}	3.60 ± 1.54 ^{a(y)}	5.99 ± 1.51 ^{a(x)}
	Control	0.69 ± 0.00 ^{a(z)}	2.62 ± 1.77 ^{b(y)}	5.37 ± 0.45 ^{a(x)}
	C.V. (%)	0	50.22	26.67
Levaduras ^α	Vapor (30 s)	0.79 ± 0.15 ^{a(x)}	0.79 ± 0.21 ^{a(x)}	0.83 ± 0.22 ^{b(x)}
	Inmersión (70 °C, 30 s)	0.79 ± 0.15 ^{a(y)}	0.95 ± 0.43 ^{a(y)}	2.09 ± 1.69 ^{a(x)}
	Control	0.79 ± 0.17 ^{a(y)}	1.00 ± 0.30 ^{a(y)}	1.60 ± 1.09 ^{a(x)}
	C.V. (%)	22.59	31.17	58.28

Nota. ^{abc}Promedios con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes con respecto al tratamiento térmico para cada grupo de microorganismos (P < 0.05).

^{xyz} Promedios con letra diferente en la misma fila son estadísticamente diferentes a través del tiempo (P < 0.05)

^α: No existe significancia con respecto al tratamiento térmico. CV: Coeficiente de Variación. ^β: Promedio. ^σ: Desviación Estándar.

*Empacado al vacío y almacenado a 7-12 °C

Estos resultados concuerdan con los presentados por Bico S et al. (2009), en los que se observaron los conteos más altos de bacterias mesófilas aerobias a los dos días de almacenamiento en un tratamiento control que fue tratado con una solución de cloro, el cual tuvo una media de 2.62

Log UFC/g. De igual manera, en el mismo estudio se observó un aumento en el conteo de bacterias mesófilas aerobias a través del tiempo y se tuvieron diferencias significativas entre los días evaluados. Los conteos elevados que tuvo el tratamiento control en comparación a los demás tratamientos en el día 0 se puede deber a la falta de exposición a un tratamiento térmico. En el día 14 se presentaron los conteos más bajos en las rodajas de plátano que fueron expuestas a un tratamiento térmico con vapor, el cual demostró ser efectivo en reducir el crecimiento de estos microorganismos, en comparación al tratamiento de inmersión y el control. Según Ceylan et al. (2017), a través de la aplicación de un tratamiento térmico con vapor de agua se puede alcanzar la letalidad deseada de 5-log para *L. monocytogenes* y *Salmonella* y mejorar la calidad microbiológica de un producto de frutas o vegetales antes de la refrigeración o congelamiento.

En los conteos de coliformes totales (Cuadro 8) no se observaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los tratamientos térmicos en el día 0. En el día 7 y 14 de almacenamiento, los conteos de coliformes totales más altos se presentaron en las rodajas de plátano que fueron tratadas con inmersión en agua a 70 °C, las cuales tuvieron medias de 3.60 y 5.99, respectivamente. En ambos días, estos valores presentaron diferencias significativas con respecto al tratamiento térmico con vapor, el cual presentó medias de 1.93 en el día 7 y 2.90 en el día 14. De igual manera, para todos los tratamientos se observó un incremento en el conteo de coliformes totales a través del tiempo, lo cual fue evidenciado con diferencias estadísticas entre las medias de todos los días de almacenamiento evaluados. Estos resultados concuerdan con los presentados por Rocha et al. (2011), en los que se observó un incremento del conteo de coliformes totales en rodajas de banano entre el día 0 y 9 de almacenamiento, desde 1 Log UFC/g en el primer día hasta 2.1 Log UFC/g en el último día.

En los resultados de coliformes totales se presentaron conteos altos en el día 7 y 14 de almacenamiento en las rodajas de plátano que fueron tratadas con inmersión en agua a 70 °C. Esto puede ser atribuido a que, en los procesos convencionales de escaldado en agua, los cuales generalmente operan entre 70-100 °C, existe el riesgo de contaminación por bacterias termófilas, las

cuales tienen capacidad de desarrollarse con temperaturas mayores a 50 °C. Además, en esos procesos hay una pobre uniformidad de la distribución de calor en la masa del alimento (Grasso et al. 2014). También es importante considerar que en el tratamiento de inmersión se presentó sinéresis en el empaque, lo que causó que existiera un ambiente con mayor agua disponible y por ende un mayor crecimiento de los microorganismos. Esto debido a que se tenía una mayor cantidad de agua que podía ser utilizada por los microorganismos en reacciones biológicas de su desarrollo (Syamaladevi et al. 2016). En el último día de almacenamiento evaluado se presentaron los conteos más bajos en las rodajas de plátano que fueron tratadas con exposición a vapor, los cuales tuvieron diferencias con respecto a los tratamientos de inmersión y el tratamiento control. Este comportamiento puede ser explicado bajo el mismo principio mencionado anteriormente sobre la reducción de 5-log que se puede lograr por medio de la exposición del producto a vapor de agua (Ceylan et al. 2017).

De acuerdo con las condiciones de almacenamiento del producto, el cual fue empacado al vacío y almacenado en temperaturas de refrigeración entre 7 y 12 °C, se puede indicar que los géneros de bacterias que pudieron estar involucrados en el producto final serían anaerobios facultativos y psicrótrofos. Los microorganismos psicrótrofos incluyen bacterias, hongos y levaduras que tienen la capacidad de multiplicarse a temperaturas inferiores a 5 °C, por lo que tienen un efecto directo en el deterioro de los alimentos refrigerados (Wei et al. 2019). Por lo tanto, algunos géneros que se pudieron tener en el producto final y que podrían influir en el deterioro del producto son: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Lactobacillus*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Saccaromyces* (Hahne et al. 2019).

En los conteos de hongos (Cuadro 9), se presentó una interacción entre el tratamiento térmico, uso de aditivos y el tiempo. En los resultados obtenidos, no se presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los tratamientos en el día 0 y 7. Sin embargo, al día 14 se observó que los conteos más altos se presentan en el tratamiento de inmersión con ácido cítrico y ascórbico con una media de 2.10, la cual tiene diferencias significativas con respecto a todos los demás conteos de los tres días de almacenamiento evaluados. Los resultados obtenidos difieren con los datos presentados

por Mirshekari et al. (2017), en los que no se observaron diferencias durante cinco días de almacenamiento entre distintos tratamientos de rodajas de plátano que fueron tratados con propionato de calcio, quitosano y ácido ascórbico, los cuales tuvieron un rango de conteos entre 1.20 y 1.66 Log UFC/g.

Cuadro 9

Resultados de conteos de hongos en plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento (Log UFC/g)

Tratamiento térmico	Aditivo(s)	Tiempo de almacenamiento* (días)		
		0 ^{NS}	7 ^{NS}	14
Vapor (30 s)	Ninguno	0.70 ^β ± 0.00 ^σ	0.70 ± 0.00	1.10 ± 0.35 ^b
	AC ¹ (0.05 % w/v) +AA ² (0.05% w/v)	0.80 ± 0.17	0.70 ± 0.00	0.90 ± 0.35 ^b
	BS ³ (30 ppm)	0.70 ± 0.00	0.70 ± 0.00	0.90 ± 0.17 ^b
Inmersión (70 °C, 30 s)	Ninguno	0.70 ± 0.00	0.80 ± 0.23	1.05 ± 0.40 ^b
	AC (0.05 % w/v) +AA (0.05% w/v)	0.80 ± 0.17	0.90 ± 0.35	2.10 ± 1.31 ^a
	BS (30 ppm)	0.70 ± 0.00	0.80 ± 0.17	0.80 ± 0.17 ^b
Control (desinfección)	Ninguno	0.90 ± 0.35	0.70 ± 0.00	0.90 ± 0.35 ^b
Coeficiente de variación (%)		11.63	12.7	35.74

Nota. ^{a,b,c} Promedios con letra diferente son diferentes con respecto a la interacción del tratamiento térmico, aditivo y tiempo.

¹Ácido cítrico. ²Ácido ascórbico. ³Bisulfito de sodio. β: Promedio. σ: Desviación Estándar.

NS: no existió diferencia significativa.

*Empacado al vacío y almacenado a 7-12 °C

Los resultados de conteos de hongos más elevados se presentaron al día 14 en el tratamiento que fue expuesto a inmersión en agua a 70 °C y en el que se usó una mezcla de ácido cítrico y ascórbico. Esto puede ser atribuido a la capacidad que tienen algunos hongos y levaduras de producir vitamina C o ácido ascórbico, lo cual causa que estos sean más resistentes a condiciones de estrés y que sean tolerantes a ciertos ácidos orgánicos (Branduardi et al. 2007). Además, así como fue mencionado anteriormente, la sinéresis que se presentó en las rodajas que fueron tratadas con inmersión en agua pudo haber causado un mayor crecimiento de microorganismos. En este caso, también pudo haber un efecto del uso de bisulfito de sodio en los tratamientos en los que se utilizó este aditivo. El bisulfito de sodio es un preservante efectivo con propiedades bactericidas y fungicidas, el cual es utilizado en la preservación de frutas y vegetales porque inhibe reacciones de pardeamiento enzimático y reduce

el crecimiento microbiano por medio de la inhibición de la síntesis de ATP y metabolismo de las bacterias y hongos (Ahmadi F et al. 2018; Ohara et al. 2020).

El Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) no posee niveles máximos permisibles para bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y hongos y levaduras que pudieran ser aplicados a un producto de plátano mínimamente procesado (COMIECO 2018). Sin embargo, en el Reglamento Sanitario de los Alimentos de Chile (Cuadro 10), se establecen límites máximos permisibles de 5×10^6 UFC/g (6.69 Log UFC/g) para BMA y 5×10^4 (4.69 Log UFC/g) para coliformes totales en frutas comestibles pre-elaboradas, listas para el consumo (Ministerio de Salud 1997). En el caso de los hongos y levaduras, se puede hacer uso de los criterios microbiológicos del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (IFST), en los cuales se establece que el límite máximo permisible para hongos y levaduras es de 10^6 UFC/g (6 Log UFC/g) en productos de frutas enteros o pelados y cortados (Stannard 1997).

Cuadro 10

Criterios microbiológicos para frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados, listos para el consumo.

Parámetro	Categoría	Plan de muestreo			Límite por gramo	
		Clases	n	c	m	M
BMA	2	3	5	1	5×10^6	5×10^7
Coliformes Totales	6	3	5	1	5×10^4	5×10^5

Nota. Tomado de Ministerio de Salud de Chile (1997)

De acuerdo con los criterios microbiológicos mencionados anteriormente y los resultados de este estudio, se puede determinar si los diferentes tratamientos cumplieron o no con la calidad microbiológica requerida. Para bacterias mesófilas aerobias el límite máximo permisible es de 6.69 Log UFC/g, lo cual se cumple para las rodajas tratadas solo con desinfección y para las que fueron expuestas a un tratamiento térmico con vapor. Sin embargo, debido a la desviación estándar presentada en los conteos de bacterias mesófilas aerobias para las rodajas de plátano que solo fueron desinfectadas, es preferible indicar que solo el tratamiento térmico con vapor fue efectivo en cumplir

con este criterio. En el caso de los coliformes totales, solo las rodajas de plátano que fueron tratadas con vapor cumplieron con el límite máximo de 4.69 Log UFC/g durante los 14 días de almacenamiento. Por último, para los hongos y levaduras el límite máximo es de 6 Log UFC/g y todos los tratamientos cumplieron con este criterio durante los 14 días de almacenamiento.

Conclusiones

Se realizó una revisión de literatura de 75 fuentes bibliográficas y se determinó que el plátano es un fruto ampliamente producido, con buenas características nutricionales y tiene potencial para ser utilizado en productos de cuarta gama.

El tiempo de almacenamiento causó deterioro en las características de color y pH del plátano mínimamente procesado, pero no tuvo efecto sobre los valores de textura.

Las rodajas de plátano que fueron expuestas a tratamiento térmico con vapor presentaron las mejores características de luminosidad, lo que puede indicar una menor tasa de pardeamiento enzimático.

No existió un efecto significativo en el uso de diferentes soluciones con aditivos sobre el mantenimiento de la calidad fisicoquímica y microbiológica del plátano mínimamente procesado a través del tiempo.

El uso de vapor como tratamiento térmico presentó los conteos más bajos de bacterias mesófilas aerobias y coliformes totales a los 7 y 14 días, con lo que se mantuvieron los requerimientos microbiológicos del Reglamento Sanitario de los Alimentos de Chile y del IFST durante los 14 días de almacenamiento.

Recomendaciones

Realizar un análisis sensorial para determinar si existen diferencias en la aceptación del consumidor hacia el producto entre los diferentes tratamientos.

Realizar evaluaciones en la materia prima a través del flujo de procesos para identificar posibles focos de contaminación, así como análisis de microorganismos patógenos de interés.

Desarrollar el estudio con más días de almacenamiento para los tratamientos que cumplieron con todos los criterios microbiológicos a los 14 días.

Referencias

- Agama-Acevedo E, Nuñez-Santiago MC, Alvarez-Ramirez J, Bello-Pérez LA. 2015. Physicochemical, digestibility and structural characteristics of starch isolated from banana cultivars. *Carbohydr Polym.* 124:17–24. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2015.02.003.
- Ahmadi F, Lee YH, Lee WH, Oh YK, Park KK, Kwak WS. 2018. Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite. *J Environ Manage.* 224:113–121. eng. doi:10.1016/j.jenvman.2018.07.044.
- Ahuja K, Rawat A. 2020. Global Processed Fruits and Vegetables Market Size By Type (Fruits, Vegetables), By Product (Fresh, Fresh-Cut, Canned, Frozen, Drying & Dehydration), By Processing Equipment (Pre-processing, Processing, Washing, Filling, Seasoning, Packaging), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2020 – 2026. EE.UU: Global Market Insights, Inc. 300 p; [consultado 18/02/21]. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/processed-fruits-and-vegetables-market>.
- Alikhani-Koupaei M. 2015. Liposomal and edible coating as control release delivery systems for essential oils: comparison of application on storage life of fresh-cut banana. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods.* 7(2):175–185. doi:10.3920/QAS2013.0297.
- Alvarez Rios S. 2010. Aprovechamiento de subproductos de la platanera para alimentacion animal. Canarias: Instituto Canrio de Investigaciones Agrarias. <https://www.icia.es/biomusa/es/jornadas-y-actividades/primeras-jornadas-de-transferencia-de-idi/19-de-octubre-de-2010-tercera-sesion/25-aprovechamiento-de-subproductos-sergio-alvarez/file>.
- Alzamora E, Lopez A, Tapia M, Welti J. 2002. *Encyclopedia of foods: A guide to healthy nutrition / prepared by medical and nutrition experts from the Mayo Clinic, University of Californis, Los Angelles, and Dole Food Company, Inc.* 1ª ed. San Diego, Calif., London: Academic Press. ISBN: 978-0-12-219803-8.
- Atlasbig. 2018. Los principales países productores de banano del mundo. Mexico: [sin editorial]. <https://www.atlasbig.com/es-mx/paises-por-produccion-bananera>.
- Bajaña E. 2017. Uso de tres antioxidantes para la conservacion de platano verde (*Mussa x paradisiaca*) minmamente procesados y empacado al vacío. [Trabajo de Titulación]. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 89 p. https://1library.co/document/y8g3okrz-antioxidantes-conservacion-platano-paradisiaca-minimamente-procesado-empacado-vacio.html?utm_source=search_v3.
- Balalcázar S. 1976. El cultivo del platano (*Musa AB simmonds*) en el tropico. Colombia: ICA. 376 p. (Manual de Asistencia Técnica; vol. 50). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12434>.
- Ball P. 2020. La invención del color. 2ª ed. Madrid: Turner. 471 páginas, 24 páginas de láminas sin numerar (Turner noema). ISBN: 978-84-17866-63-1.
- Ballat M. 2014. Desarrollo de un producto de panificación mediante harina compuesta de trigo, mandioca y soja [Tesis de Maestria]. España: Universidad Pública de Navarra. https://www.lareferencia.info/vufind/Record/ES_7eea228453d0245accebd2df2e45f4c5.

- Barrera J, Combatt E, Ramírez Y. 2011. Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano Hartón (*Musa AAB*). *Revista colombiana de ciencias hortícolas*; [consultado el 25 de jun. de 2021]. 5(2):186–194. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v5n2/v5n2a03.pdf>.
- Bellary AN, Rastogi NK. 2014. Effect of Selected Pretreatments on Impregnation of Curcuminoids and Their Influence on Physico-chemical Properties of Raw Banana Slices. *Food Bioprocess Technol.* 7(10):2803–2812. doi:10.1007/s11947-014-1312-z.
- Berns RS, Reiman DM. 2002. Color managing the third edition of Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology. *Color Res. Appl.* 27(5):360–373. doi:10.1002/col.10083.
- Bertrand R, Holmes W, Orgeron C, McIntyre C, Hernandez R, Revellame ED. 2019. Rapid Estimation of Parameters for Gelatinization of Waxy Corn Starch. *Foods.* 8(11). eng. doi:10.3390/foods8110556.
- Bico S, Raposo M, Morais R, Morais A. 2009. Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control.* 20(5):508–514. doi:10.1016/j.foodcont.2008.07.017.
- Blasco G, Gómez F. 2014. Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp.*). *Revista Médica de la Universidad Veracruzana.* 22–26. https://www.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol14_num2/articulos/propiedades.pdf.
- Branduardi P, Fossati T, Sauer M, Pagani R, Mattanovich D, Porro D. 2007. Biosynthesis of vitamin C by yeast leads to increased stress resistance. *PLoS One.* 2(10):1-8. eng. doi:10.1371/journal.pone.0001092.
- Bugaud C, Cazevieille P, Daribo M-O, Telle N, Julianus P, Fils-Lycaon B, Mbéguié-A-Mbéguié D. 2013. Rheological and chemical predictors of texture and taste in dessert banana (*Musa spp.*). *Postharvest Biology and Technology.* 84:1–8. doi:10.1016/j.postharvbio.2013.03.020.
- Canto B, Castillo G. 2011. Un mil usos: el plátano. *La Ciencia y el Hombre*; [consultado el 24 de jun. de 2021]. 24(1). <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol24num1/articulos/platano/>.
- Carvajal M, Zuluaga P, Ocampo O, Duque D. 2019. Las exportaciones de plátano como una estrategia de desarrollo rural en Colombia. 38(68):113–148. doi:10.19053/01203053.v38.n68.2019.8383.
- Castaño Á, Aristizábal M, Gonzales H. 2011. Requerimientos hídricos del plátano dominico hartón (*Musa AAB simmonds*) en la región Santaguada, palestina, caldas. *Life Sci.* 19(1):57–67. eng. [http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia19\(1\)_6.pdf](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia19(1)_6.pdf).
- [CEDAF] Centro de Desarrollo de Agricultura Familiar. 2001. El cultivo del plátano. 2ª ed. Santo Domingo, República Dominicana: [sin editorial]. 75 p. (Cultivos; vol. 28). ISBN: 99934-821-7-x. <http://190.167.99.25/digital/platano.pdf>.
- CEPAL. 2020. Perspectivas del comercio internacional de América Latina y el Caribe 2019: El adverso contexto mundial profundiza el rezago de la región. New York: United Nations. 1 Online-Ressource (198 Seiten). ISBN: 978-92-1-047949-3.
- CEPAL. 2021. Avances hacia una economía circular en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades para lograr un estilo de desarrollo más sostenible y bajo en carbono. Chile: [sin editorial]. <https://www.cepal.org/es/eventos/avances-economia-circular-america-latina-caribe-desafios-oportunidades-lograr-un-estilo>.

- Cerdá E, Khalilova A. 2016. Economía circular, estrategia y competitividad empresarial: Economía circular. España: [sin editorial]. 10 p. <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>.
- Ceylan E, McMahon W, Garren DM. 2017. Thermal Inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* during Water and Steam Blanching of Vegetables. *J Food Prot.* 80(9):1550–1556. eng. doi:10.4315/0362-028X.JFP-16-517.
- Chabi MC, Dassou AG, Dossou-Aminon I, Ogouchoro D, Aman BO, Dansi A. 2018. Banana and plantain production systems in Benin: ethnobotanical investigation, varietal diversity, pests, and implications for better production. *J Ethnobiol Ethnomed.* 14(1):78. eng. doi:10.1186/s13002-018-0280-1.
- Chandrajith UG, Wijewardane R, Wasala W, Dissanayake CA. 2015. Combined effect of citric acid and ascorbic acid as chemical pre-treatments to prevent enzymatic browning in fresh cut ambul banana (*Musa spp.*). Sri Lanka: General Sir John Kotelawala Defence University. 4 p; [consultado el 13 de jun. de 2021]. <http://ir.kdu.ac.lk/handle/345/1013>.
- Cheng G, Yang E, Lu W, Jia Y, Jiang Y, Duan X. 2009. Effect of nitric oxide on ethylene synthesis and softening of banana fruit slice during ripening. *J Agric Food Chem.* 57(13):5799–5804. eng. doi:10.1021/jf901173n.
- China R, Dutta S, Sen S, Chakrabarti R, Bhowmik D, Ghosh S, Dhar P. 2011. In vitro antioxidant activity of different cultivars of banana flower (*Musa paradisiaca* L.) extracts available in India. *J Food Sci.* 76(9):C1292-9. eng. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02395.x.
- Dávila R, Cortés M, Gil J. 2016. Cambios físicos y fisicoquímicos durante el almacenamiento en plátano impregnado al vacío con soluciones antioxidante. *BSAA*; [consultado 17/02/21]. 14(2):125. doi:10.18684/BSAA(14)125-134.
- Der Agopian RG, Peroni-Okita FHG, Soares CA, Mainardi JA, do Nascimento JRO, Cordenunsi BR, Lajolo FM, Purgatto E. 2011. Low temperature induced changes in activity and protein levels of the enzymes associated to conversion of starch to sucrose in banana fruit. *Postharvest Biology and Technology.* 62(2):133–140. doi:10.1016/j.postharvbio.2011.05.008.
- Derlagen C, Paolo de Salvo C, Egas J, Pierre G. 2019. Análisis de políticas agropecuarias en Honduras. Honduras: BID (Monografía del BID; vol. 787). <https://cutt.ly/SmSup1Q>.
- Diniz T, Granja-Salgado T, Oliveira Z, Viegas R, (None). 2014. Uso de subproductos de banicultura en la alimentación animal. *Revist Colombiana*; [consultado el 24 de jun. de 2021]. 6(1):194–212. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/260/301>.
- Dussán-Sarria S, Gaona-Acevedo AF, Hleap-Zapata JI. 2017. Efecto del Uso de Antioxidantes en Plátano Verde Dominicano-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) Cortado en Rodajas. *Inf. tecnol.* 28(4):3–10. doi:10.4067/S0718-07642017000400002.
- Duurstede W, Scherpenzeel K, cartógrafos. 2018. World fruit map. Utrecht: Rabobank's. 1 p; [consultado el 27 de feb. de 2021]. https://research.rabobank.com/far/en/documents/109669_1360406_rabobank_world_fruit_map_2018-digital.pdf.
- Elbehri A, Calberto G, Staver C, Hospido A, Skully D, Roibás L, Siles P, Arguello J, Sotomayor I, Bustamente A. 2015. Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de

- impacto y directrices de política. Roma, Italia: FAO. 198 p. ISBN: 978-92-5-308952-9. <http://www.fao.org/3/i5116s/i5116s.pdf>.
- Escobar A, Márquez C, Restrepo C, Pérez L. 2014. Aplicación de Tecnología de Barreras para la Conservación de Mezclas de Vegetales Mínimamente Procesados. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*; [consultado el 23 de jun. de 2021]. 67(1):7237–7245. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v67n1/v67n1a11.pdf>.
- Facundo HVDV, Gurak PD, Mercadante AZ, Lajolo FM, Cordenunsi BR. 2015. Storage at low temperature differentially affects the colour and carotenoid composition of two cultivars of banana. *Food Chem.* 170:102–109. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2014.08.069.
- Falade KO, Oyeyinka SA. 2015. Color, Chemical and Functional Properties of Plantain Cultivars and Cooking Banana Flour as Affected by Drying Method and Maturity. *Journal of Food Processing and Preservation.* 39(6):816–828. doi:10.1111/jfpp.12292.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. Producción- Cultivos. [sin lugar]: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. Análisis del mercado del banano: Panorama general de febrero de 2020. 13–20. http://www.fao.org/3/ca6911en/CA6911EN_TR4SP.pdf.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020. Análisis del mercado del banano: resultados preliminares 2019. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/ca7567es/CA7567ES.pdf>.
- [FHIA] Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. 2000. Generación y transferencia de tecnología agrícola. Honduras. <http://www.fhia.org.hn/downloads/15agenytransftecnologia.pdf>.
- Forbes H, Quested T, O’connor C. 2021. United Nations Environment Programme: Food Waste Index Report 2021. Nairobi: ONU. ISBN: 978-92-807-3851-3. <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>.
- Fu X, Cheng S, Feng C, Kang M, Huang B, Jiang Y, Duan X, Grierson D, Yang Z. 2019. Lycopene cyclases determine high α - β -carotene ratio and increased carotenoids in bananas ripening at high temperatures. *Food Chem.* 283:131–140. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2018.12.121.
- Funez R. 2005. Estudio de Mercado platano. Honduras: [sin editorial]. 37 p. https://www.academia.edu/13570204/Estudio_de_Mercado_platano.
- Furcal P, Barquero A. 2014. Fertilización del plátano con nitrógeno y potasio durante el primer ciclo productivo; [consultado el 25 de jun. de 2021]. 25(2):267–278. http://www.mag.go.cr/rev_mesov25n02_267.pdf.
- García C, Giraldo G, Hurtado H, Mendivil c. 2006. Cinética enzimática de la polifenol oxidasa del banano *gros michel* en diferentes estados de maduración. *Vitae*; [consultado 18/02/21]. 13(2):13–19. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v13n2/v13n2a02.pdf>.
- García M, Paz N, Rodríguez J, Valdés L, Casariego A. 2014. Plátano en rodajas mínimamente procesado con coberturas de quitosana y ácido ascórbico. 3. 24:56–61. <https://www.researchgate.net/publication/275973136>.

- Gerassev L, Moreira J, Alves D, Aguiar A, Moncao F, Dos-santos C, Santana C, Viegas C. 2013. Viabilidade econômica da utilização dos resíduos da bananicultura na alimentação de cordeiros confinados: Economic feasibility of using waste banana crop in the feeding of lambs. 14(4):734–744. <http://www.rbspa.ufba.br/>.
- Gol NB, Ramana Rao TV. 2011. Banana Fruit Ripening as Influenced by Edible Coatings. *International Journal of Fruit Science*. 11(2):119–135. doi:10.1080/15538362.2011.578512.
- Gomez P, Artés-Hernandez F, Aguayo E, Escalona V, Artés F. 2007. Problemática de los alimentos vegetales mínimamente procesados en fresco: Symposium Internacional: Sesiones Técnicas. Tecnología del procesado mínimo o 4ª GAMA. *Phytohemeroteca*; [consultado el 25 de jun. de 2021]. 189(17). <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/189-mayo-2007/problematika-de-los-alimentos-vegetales-minimamente-procesados-en-fresco>.
- González-Sánchez ME, Pérez-Fabiel S, Wong-Villarreal A, Bello-Mendoza R, Yañez-Ocampo G. 2015. Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia [Agroindustrial wastes methanization and bacterial composition in anaerobic digestion]. *Rev Argent Microbiol*. 47(3):229–235. spa. doi:10.1016/j.ram.2015.05.003.
- Grasso EM, Stam CN, Anderson NM, Krishnamurthy K. 2014. Heat and Steam Treatments. En: Gurtler JB, Doyle MP, Kornacki JL, editores. *The Microbiological Safety of Low Water Activity Foods and Spices*. New York, NY: Springer New York. p. 403–424.
- Guerrero Eraso CA. 2009. Inhibición de la actividad enzimática de la polifenol oxidasa extraída del banano (*Cavendish valery*) mediante sistemas bifásicos acuosos con isoespintanol y ácido ascórbico [Tesis de Maestría]. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 91 p; [consultado 14/02/21]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3342/98380674.2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Hahne J, Isele D, Berning J, Lipski A. 2019. The contribution of fast growing, psychrotrophic microorganisms on biodiversity of refrigerated raw cow's milk with high bacterial counts and their food spoilage potential. *Food Microbiol*. 79:11–19. eng. doi:10.1016/j.fm.2018.10.019.
- Hernández-Carmona F, Morales-Matos Y, Lambis-Miranda H, Pasqualino J. 2017. Starch extraction potential from plantain peel wastes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5(5):4980–4985. doi:10.1016/j.jece.2017.09.034.
- Huete K, Montoya A, Rodríguez N. 2019. Evaluación de tres métodos de conservación del plátano mediante: escaldado, inmersión en salmuera y la combinación de ambos métodos, para la producción de tostones pre-fritos a escala de laboratorio” [Tesis]. Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería. <http://ribuni.uni.edu.ni/2366/1/AGRO21.pdf>.
- Jiang H, Zhang Y, Hong Y, Bi Y, Gu Z, Cheng L, Li Z, Li C. 2015. Digestibility and changes to structural characteristics of green banana starch during in vitro digestion. *Food Hydrocolloids*. 49:192–199. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.03.023.
- Jideani AI, Anyasi TA, Mchau GR, Udoro EO, Onipe OO. 2017. Processing and Preservation of Fresh-Cut Fruit and Vegetable Products. En: Kahramanoglu I, editor. *Postharvest Handling*. [sin lugar]: InTech.

- Lee M-K. 2007. Inhibitory effect of banana polyphenol oxidase during ripening of banana by onion extract and Maillard reaction products. *Food Chem*; [consultado 14/02/21]. 102(1):146–149. doi:10.1016/j.foodchem.2006.05.012.
- León Lemus JM. 2013. Plan de negocios para la producción de mermeladas y conservas en almibar de la asociación pensamiento y corazón de las mujeres san cristobal, totonicapán [Tesis]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 66 p; [consultado el 23 de jun. de 2021]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3434.pdf.
- Loma-Osorio E, Petshen X, Castillo R, Ganoza V. 2000. Estudio de la Industria Agroalimentaria en Honduras: opciones de cooperación técnica y empresarial. San Jose, Costa Rica: IICA. 147 p. (Series Agroalimentarias). ISBN: 92-9039-4684. <http://repiica.iica.int/docs/BV/AGRIN/B/E21/XL2000600271.PDF>.
- Lopez Gutiérrez MS, Montenegro Solís MF, Narváez Gonzales ZF, Obando Tijerino RJ. 2014. Proceso de Elaboración de “Platanitos tostados mayazu” [Trabajo Final]. Nicaragua: Universidad Centroamericana; [consultado el 27 de jun. de 2021]. https://www.academia.edu/15228638/Trabajo_Final_Platanitos_Tostados_MAYAZU.
- López-Gálvez G, Saltveit M, Cantwell M. 1996. Wound-induced phenylalanine ammonia lyase activity: Factors affecting its induction and correlation with the quality of minimally processed lettuces. *Postharvest Biology and Technology*. 9(2):223–233. doi:10.1016/S0925-5214(96)00050-6.
- Lupano CE. 2013. Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. 1ª ed. Argentina: La Plata. 218 p. ISBN: 978-950-34-1028-8; [consultado el 25 de jun. de 2021]. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/32177/Documento_completo_.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Ma YZ, Sobernheim D, Garzon JR. 2015. Glossary for Unconventional Oil and Gas Resource Evaluation and Development. En: Zee Ma Y, Holditch SA, editores. *Unconventional Oil and Gas Resources Handbook*. 1ª ed. United States: Gulf Professional Publishing. p. 513–526.
- Manrique Carvajal AM, Rivera Galvis DA. 2012. Aprovechamiento de los residuos de pseudotallo del banano común (*Musa sp AAA*) y del bocadillo (*Musa sp AA*) para la extracción de fibras textiles [Proyecto de trabajo de grado]. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 83 p. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3035/6284458M285.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Manvell C. 1997. Minimal processing of food. *Food Science and Technology Today*; [consultado el 25 de jun. de 2021]. 11(2):107–111. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45085784.
- Marszałek K, Woźniak Ł, Barba FJ, Skąpska S, Lorenzo JM, Zambon A, Spilimbergo S. 2018. Enzymatic, physicochemical, nutritional and phytochemical profile changes of apple (Golden Delicious L.) juice under supercritical carbon dioxide and long-term cold storage. *Food Chem*. 268:279–286. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2018.06.109.
- Martínez C, Cayón-Salinas G, Ligarreto-Moreno G. 2016. Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Corpoica Ciencia & Tecnología Agropecuaria*; [consultado el 24 de jun. de 2021]. 17(2):217–227. <http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/491/390>.

- Matias RGP, Da Silva DFP, Miranda PMD, Oliveira JAA, Pimentel LD, Bruckner CH. 2016. Relationship between fruit traits and contents of ascorbic acid and carotenoids in peach. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 16(4):348–354. doi:10.1590/1984-70332016v16n4n51.
- McLaren D, Kraemer K. 2012. Manual on Vitamin A Manual on vitamin A deficiency disorders (VADD). 3ª ed. Alemania: Sight and Life Press. 232 p. ISBN: 978-3-906412-58-0; [consultado el 22 de jun. de 2021]. https://sightandlife.org/wp-content/uploads/2017/05/SightandLife_vitamin_a_deficiency_disorders_VADD_Manual.pdf.
- Medina M. 1994. Breve historia del banano en Honduras. *Revista Aguán*; [consultado el 22 de jun. de 2021]. 1. <https://www.angelfire.com/ca5/mas/dpmapas/yor/ola/o12.html>.
- Mejía G. 2018. Cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*). El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). 29 p. http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20Centa_Platano%202019.pdf.
- Mirshekari A, Madani B, Golding JB. 2017. Suitability of combination of calcium propionate and chitosan for preserving minimally processed banana quality. *J Sci Food Agric.* 97(11):3706–3711. eng. doi:10.1002/jsfa.8231.
- Mohapatra D, Mishra S, Singh CB, Jayas DS. 2011. Post-harvest Processing of Banana: Opportunities and Challenges. *Food Bioprocess Technol.* 4(3):327–339. doi:10.1007/s11947-010-0377-6.
- Mondragón García JM, Serna Jiménez JA, García-Alzate LS, Jaramillo-Echeverry LM. 2018. Caracterización fisicoquímica de los subproductos cáscara y vástago del plátano Dominicano harton. *rev.ion.* 31(1):21–24. doi:10.18273/revion.v31n1-2018003.
- Moon KM, Kwon E-B, Lee B, Kim CY. 2020. Recent Trends in Controlling the Enzymatic Browning of Fruit and Vegetable Products. *Molecules.* 25(12). eng. doi:10.3390/molecules25122754.
- Moraga G, Talens P, Moraga MJ, Martínez-Navarrete N. 2011. Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering.* 106(3):212–219. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.05.009.
- Morante JC, Obrebska AA, Bru-Martínez R, Patiño CM, Pico-Salto R, Rodríguez EN. 2014. Distribución, localización e inhibidores de las polifenol oxidasas en frutos y vegetales usados como alimento. *Ciencia y Tecnología*; [consultado el 20 de mar. de 2021]. 7(1):23–31. https://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_Doc2.pdf.
- Moreiras O, Carvajal A, Cabrera L, Cuadrado C. 2013. Tabla de composición de alimentos. 16ª ed. España: Piramide. 83 p. https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas_de_composicion_de_alimentos.pdf.
- Muhammad K, Mohd. Zahari NI, Gannasin SP, Mohd. Adzahan N, Bakar J. 2014. High methoxyl pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *Food Hydrocolloids.* 42(2):289–297. doi:10.1016/j.foodhyd.2014.03.021.
- Nunes Oliveira L. 2012. Composición química, degradabilidad y potencial de emisión de metano de residuos de bananicultura para rumiantes [Disertación de maestría]. Brasil: Univesidad de Brasilia. 60 p; [consultado el 24 de jun. de 2021]. https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10806/1/2012_LincolnNunesOliveira.pdf.

- Ohara H, Watanabe M, Takebayashi M, Abe S, Matsuzaki T, Hayasaka M. 2020. Bactericidal and Antiproliferative Effects of Peripheral Parenteral Nutrition Solutions with Sodium Bisulfite on Pathogenic Microorganisms in Catheter Lumens. *Int J Med Sci.* 17(12):1833–1839. eng. doi:10.7150/ijms.48829.
- Oms-Oliu G, Rojas-Graü MA, González LA, Varela P, Soliva-Fortuny R, Hernando MIH, Munuera IP, Fiszman S, Martín-Belloso O. 2010. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology.* 57(3):139–148. doi:10.1016/j.postharvbio.2010.04.001.
- [ONU] Organización de las Naciones Unidas. 2012. Asamblea General de las Naciones Unidas: Desarrollo Sostenible. Brasil: ONU. <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>.
- [ONU] Organización de las Naciones Unidas. 2021. El estilo de vida de hoy en día es insostenible. [sin lugar]: ONU. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures>.
- Padam BS, Tin HS, Chye FY, Abdullah MI. 2014. Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. *J Food Sci Technol.* 51(12):3527–3545. eng. doi:10.1007/s13197-012-0861-2.
- Palacín J. 2012. Efectos de recubrimientos de almidón de yuca, ácido ascórbico, n-acetil-cisteína en la calidad del plátano (*Musa paradisiaca*) [Tesis de Maestría]. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 55 p; [consultado el 3 de abr. de 2021]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11560/9094341.2012.PDF?sequence=1&isAllowed=y>.
- Parzanese M. 2010. Vegetales mínimamente procesados. [sin lugar]. Vegetales mínimamente procesados. http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/55/productos/R55_vegetales.pdf.
- Passo Tsamo CV, Herent M-F, Tomekpe K, Happi Emaga T, Quetin-Leclercq J, Rogez H, Larondelle Y, Andre C. 2015. Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa sp.*). *Food Chem.* 167:197–204. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2014.06.095.
- Pefaur Lepe J. 2014. IV gama, una industria alimentaria en crecimiento: IV gama, frutas, hortalizas, agroindustria, valor agregado. Chile: ODEPA. 5 p; [consultado 13/02/21]. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2014/12/AgroindustriaIVGama.pdf>.
- Portillo Morales EF. 2014. Validación de proceso poscosecha para producto mínimamente procesado a base de lechuga (*Lactuca sativa*) [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 29 p; [consultado el 9 de jun. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3373/1/AGI-2014-T037.pdf>.
- Prachayawarakorn S, Raikham C, Soponronnarit S. 2016. Effects of ripening stage and steaming time on quality attributes of fat free banana snack obtained from drying process including fluidized bed puffing. *J Food Sci Technol.* 53(2):946–955. eng. doi:10.1007/s13197-015-2051-5.
- Queiroz C, Mendes Lopes ML, Fialho E, Valente-Mesquita VL. 2008. Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control. *Food Reviews International*; [consultado 10/02/21]. 24(4):361–375. doi:10.1080/87559120802089332.

- Quiceno M, Giraldo G, Villamizar R. 2014. Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización; [consultado el 27 de jun. de 2021]. 20:48–54. <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/313/578>.
- Raikham C, Prachayawarakorn S, Nathakaranakule A, Soponronnarit S. 2015. Influences of Pretreatments and Drying Process Including Fluidized Bed Puffing on Quality Attributes and Microstructural Changes of Banana Slices. *Drying Technology*. 33(8):915–925. doi:10.1080/07373937.2014.999370.
- Ramirez J, Jarvis A, van den Bergh I, Staver C, Turner D. 2011. Changing Climates: Effects on Growing Conditions for Banana and Plantain (*Musa* spp.) and Possible Responses. En: Yadav SS, Redden RJ, Hatfield JL, Lotze-Campen H, Hall AE, editores. *Crop Adaptation to Climate Change*. 1ª ed. [sin lugar]: John Wiley & Sons, Ltd. p. 426–438 (vol. 1).
- Ramos V, Aguilera A, Ochoa E. 2014. Residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria. *Revista de simulacion y Laboratorio*; [consultado el 24 de jun. de 2021]. (9):22–29. <http://www.ecorfan.org/bolivia>.
- Reglamento sanitario de los alimentos, Diario Oficial. DTO 977/96. No. 977 (1997 may. 13).
- Reglamento Técnico Centroamericano, Alimentos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de los alimentos. RTCA 67.04.50:17 (2018).
- Rocha M, Vaz AL, Raposo MFDJ, Almeida GN, Morais AMMB de. 2011. Preservation of fresh-cut 'Cavendish' banana coated with carrageenan and in controlled atmosphere. *IJPTI*. 2(2):159. doi:10.1504/IJPTI.2011.041038.
- Rodríguez GC, Zuluaga CL, Puerta LF, Ruiz LV. 2013. Evaluación de parámetros fisicoquímicos en el proceso de fritura de banano osmodeshidratado. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*; [consultado el 23 de jun. de 2021]. 11(1):123–129. <https://cutt.ly/fmSTo42>.
- Rodríguez Cedillos M, Guerrero Berríos M. 2002. El cultivo de platano, Guía técnica. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA).
- Sabio C, Salgado C, Salgado V, Sáenz V. 2001. Manual del cultivo de banano [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 24 de jun. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2933/1/01.pdf>.
- [SAG] Secretaria de Agricultura y Ganadería. 2015. Honduras alcanza un área de 101,000 hectáreas para la producción de frutas. Tegucigalpa, Honduras: SAG; [consultado el 14 de feb. de 2012]. <https://cutt.ly/amL7aZV>.
- [SAG] Secretaria de Agricultura y Ganadería. 2016. Honduras alcanza cifra récord en exportación de frutas. Honduras: SAG; [consultado el 25 de jun. de 2021]. ag.gob.hn/sala-de-prensa/noticias/ano-2016/septiembre-2016/honduras-alcanza-cifra-record-en-exportacion-de-frutas/.
- [SAG] Secretaria de Agricultura y Ganadería. 2019. Socializan borrador de anteproyecto de Ley de Agricultura Familiar. Honduras: Secretaria de Agricultura y Ganadería; [consultado el 24 de jun. de 2021]. <https://sag.gob.hn/sala-de-prensa/noticias/ano-2019/agosto-2019/socializan-borrador-de-anteproyecto-de-ley-de-agricultura-familiar/>.
- Saisung P, Theerakulkait C. 2011. Efecto inhibitorio de extracto de cáscara de piña y sus fracciones ultrafiltradas en la actividad polifenoloxidasas y pardeamiento de rodajas de plátano recién

- cortadas; [consultado el 5 de mar. de 2021]. 9:37–42. <https://www.tandfonline.com/loi/tcyt20>. doi:10.1080/19476330903515472.
- Sanaeifar A, Bakhshipour A, La Guardia M de. 2016. Prediction of banana quality indices from color features using support vector regression. *Talanta*. 148:54–61. eng. doi:10.1016/j.talanta.2015.10.073.
- Šárka E, Dvořáček V. 2017. New processing and applications of waxy starch (a review). *Journal of Food Engineering*. 206:77–87. doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.03.006.
- Sillani S, Nassivera F. 2015. Consumer behavior in choice of minimally processed vegetables and implications for marketing strategies. *Trends in Food Science & Technology*. 46(2):339–345. doi:10.1016/j.tifs.2015.07.004.
- Siriwardana H, Abeywickrama K, Kannangara S. 2015. Effect of pretreatments on quality of minimally processed cooking banana variety alukesel (*Musa acuminata* × *Musa balbisiana*, ABB group). *J Agric Sciences*. 10(1):11. doi:10.4038/jas.v10i1.8042.
- Solis Rosales A. 2007. El cultivo de Plátano (genero *musa*) en México [Monografía]. Mexico: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 81 p. <https://cutt.ly/HmL7x5k>.
- Soto M. 2011. Situación y avances tecnológicos en la producción bananera mundial. *Revista Brasileira de Fruticultura*; [consultado el 24 de jun. de 2021]. 13–28. <https://www.scielo.br/j/rbf/a/bCj5JghTRGf6xDjHsRqyZ6b/?lang=es&format=pdf>.
- Stannard C. 1997. Development and use of microbiological criteria for foods. *Food Science and Technology Today*; [consultado el 15 de jun. de 2021]. 11(3):137–176.
- Syamaladevi RM, Tang J, Villa-Rojas R, Sablani S, Carter B, Campbell G. 2016. Influence of Water Activity on Thermal Resistance of Microorganisms in Low-Moisture Foods: A Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 15(2):353–370. eng. doi:10.1111/1541-4337.12190.
- Tabtiang S, Prachayawarakon S, Soponronnarit S. 2012. Effects of Osmotic Treatment and Superheated Steam Puffing Temperature on Drying Characteristics and Texture Properties of Banana Slices. *Drying Technology*. 30(1):20–28. doi:10.1080/07373937.2011.613554.
- Tobon M, Vanegas J. 2019. La industria bananera colombiana: retos y oportunidades de mejora [Tesis]. Bogota, Colombia: Universidad del Rosario. <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/20042/TobonRojas-MariaCamila-2019.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ünal MÜ. 2007. Properties of polyphenol oxidase from Anamur banana (*Musa cavendishii*). *Food Chem*. 100(3):909–913. doi:10.1016/j.foodchem.2005.10.048.
- Valarezo C. 2018. Plan de negocios para el establecimiento de una planta procesadora de puré de banano orgánico *Musa paradisiaca* para la empresa AgroAmérica [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 24 de jun. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6301/1/AGN-2018-T040.pdf>.
- Valleyfruit. 2018. Puerto Rico: [sin editorial]; [consultado el 28 de jun. de 2021]. <https://valleyfruit.com.co/?fbclid=IwAR09KdFIR0zhzu1Nlzp4-i1MmKdqp7OIFMOhbVrIFggEdeFNunQqw1Kk>.
- Vergara E. 2010. Origen e historia del plátano (*Musa paradisiaca* L.). *Apicius*. [sin lugar]: [sin editorial].

- Vézina A, Baena M. 2020. Morfología de la planta del banano. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 24 de jun. de 2021]. <https://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>.
- Wei Q, Wang X, Sun D-W, Pu H. 2019. Rapid detection and control of psychrotrophic microorganisms in cold storage foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 86:453–464. doi:10.1016/j.tifs.2019.02.009.
- Wrolstad RE, Smith DE. 2017. Color Analysis. En: Nielsen SS, editor. *Food Analysis*. Cham: Springer International Publishing. p. 545–555 (Food Science Text Series).

Anexos

Anexo A

*Resumen de resultados estadísticos (valores P) de factores e interacciones en los valores de pH,
sinéresis y módulo de Young*

Factores e interacciones	Pr > F		
	pH	Sinéresis	Módulo de Young
Tratamiento	0.049	<.0001	0.7871
Aditivo	0.007	<.0001	0.3562
Tratamiento*aditivo	0.028	<.0001	0.9726
Tratamiento*repetición	0.376	0.0001	0.9737
Tiempo	<.0001	<.0001	0.3928
Tratamiento*tiempo	0.708	<.0001	0.9023
Tratamiento*aditivo*tiempo	0.999	<.0001	0.8984

Anexo B

Resumen de resultados estadísticos (valores P) de factores e interacciones en los valores de luminosidad, valor a, valor b*, ángulo de matiz y croma*

Factores e interacciones	Pr > F				
	Luminosidad	Valor a*	Valor b*	Hue	Croma
Tratamiento	0.0121	0.0796	0.4978	0.0231	0.3426
Aditivo	0.066	0.007	0.1561	0.0005	0.0241
Tratamiento*aditivo	0.0696	0.0816	0.0406	0.1309	0.0025
Tratamiento*repetición	0.1688	0.6351	0.6226	0.5458	0.7996
Tiempo	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Tratamiento*tiempo	0.2455	0.8438	0.3502	0.7018	0.1507
Tratamiento*aditivo*tiempo	0.1362	0.5268	0.6401	0.3838	0.213

Anexo C

Resumen de resultados estadísticos (valores P) de factores e interacciones en los conteos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, hongos y levaduras

Factores e interacciones	Pr > F			
	BMA ¹	Coliformes totales	Hongos	Levaduras
Tratamiento	<.0001	<.0001	0.2087	0.0499
Aditivo	0.7432	0.0797	0.0753	0.2709
Tratamiento*aditivo	0.9012	0.0626	0.0936	0.2529
Tratamiento*repetición	0.3749	0.2591	0.2998	0.2309
Tiempo	<.0001	<.0001	0.1693	0.0051
Tratamiento*tiempo	<.0001	0.0007	0.0687	0.0721
Tratamiento*aditivo*tiempo	0.9398	0.1948	0.0315	0.2896

Nota. ¹Bacterias mesófilas aerobias

Anexo D

Resultados de valor b y croma para los tratamientos evaluados de plátano verde mínimamente procesado*

Tratamiento térmico	Aditivo(s)	Valor b*	Croma
	Ninguno	36.64 ^β ± 5.42 ^{σ ab}	38.16 ± 4.05 ^{abc}
Vapor (30 s)	AC ¹ (0.05 % w/v) +AA ² (0.05% w/v)	35.52 ± 3.51 ^b	36.92 ± 3.65 ^c
	BS ³ (30 ppm)	39.11 ± 2.44 ^a	40.34 ± 2.33 ^a
	Ninguno	37.81 ± 4.47 ^{ab}	40.26 ± 2.55 ^a
Inmersión (70 °C, 30 s)	AC (0.05 % w/v) +AA (0.05% w/v)	35.64 ± 3.65 ^b	37.19 ± 4.27 ^{bc}
	BS (30 ppm)	35.40 ± 3.53 ^b	36.77 ± 3.75 ^c
	Ninguno	37.34 ± 4.79 ^{ab}	39.38 ± 3.27 ^{ab}
Control (desinfección)	Ninguno	37.34 ± 4.79 ^{ab}	39.38 ± 3.27 ^{ab}
Coeficiente de variación (%)		4.11	8.94

Nota. ^{abc} Promedios con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes con respecto a la interacción del tratamiento térmico y aditivo (P<0.05).

¹Ácido cítrico. ²Ácido ascórbico. ³Bisulfito de sodio. β: Promedio. σ: Desviación estándar.

Anexo E

Resultados de croma y trabajo total en ciclo 1 del plátano verde mínimamente procesado durante los 14 días de almacenamiento

Tiempo de almacenamiento* (días)	Croma	Trabajo Total Ciclo 1 (mJ)
	Media \pm DE $^{\sigma}$	Media \pm DE
0	40.56 \pm 2.96 ^a	0.07 \pm 0.02 ^b
7	39.70 \pm 2.09 ^a	0.07 \pm 0.02 ^b
14	35.04 \pm 2.96 ^b	0.15 \pm 0.05 ^a
CV (%)	7.01	32.51

Nota. ^{abc} Promedios con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes a través del tiempo (P<0.05).

CV: Coeficiente de variación. σ : Desviación estándar

*Empacado al vacío y almacenado a 7-12 °C