



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORMES DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

Inhibición en el pardeamiento de bananas (*Cavendish*) de exportación causada por la actividad de la enzima polifenol oxidasa utilizando la combinación de métodos físicos y químicos.

Autor:

ING. LEANDRO AGUSTÍN CAICEDO IBÁÑEZ

Director:

MSc. MANUEL ALEJANDRO FIALLOS CARDENAS

Milagro, 2024

Derechos de autor

**Sr. Dr.
Fabricio Guevara Viejó**
Rector de la Universidad Estatal de Milagro
Presente.

Yo, **Leandro Agustín Caicedo Ibáñez** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Medición y Control Ambiental** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, **4 febrero 2024**



firmado electrónicamente por:
**LEANDRO AGUSTIN
CAICEDO IBANEZ**

Leandro Agustín Caicedo Ibáñez

C.C:1716999147

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Yo, **Manuel Alejandro Fiallos Cárdenas** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Leandro Agustín Caicedo Ibáñez**, cuyo tema es **Inhibición en el pardeamiento de bananas (*Cavendish*) de exportación causada por la actividad de la enzima polifenol oxidasa utilizando la combinación de métodos físicos y químicos**, que aporta a la Línea de Investigación **Medición y Control Ambiental**, previo a la obtención del Grado Magister en biotecnología. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, **4 febrero 2024**



firmado electrónicamente por:
**MANUEL ALEJANDRO
FIALLOS CARDENAS**

Manuel Alejandro Fiallos Cárdenas

C.C: 0919525337

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. CAICEDO IBAÑEZ LEANDRO AGUSTIN**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "INHIBICIÓN EN EL PARDEAMIENTO DE BANANAS (CAVENDISH) DE EXPORTACIÓN CAUSADA POR LA ACTIVIDAD DE LA ENZIMA POLIFENOL OXIDASA UTILIZANDO LA COMBINACIÓN DE MÉTODOS FÍSICOS Y QUÍMICOS.", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	59.67
SUSTENTACIÓN	31.67
PROMEDIO	91.33
EQUIVALENTE	Muy Bueno



En medio de certificación por:
SIMON PEREZ MARTINEZ

Dca. PEREZ MARTINEZ SIMON
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



En medio de certificación por:
VIVIANA LORENA
SANCHEZ VASQUEZ

Ing. SANCHEZ VASQUEZ VIVIANA LORENA
VOCAL



En medio de certificación por:
CARLOS MARIA NOCEDA
ALONSO

Phd NOCEDA ALONSO CARLOS MARIA
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A mis padres Hugo y Liliana, por ser mi faro en la tormenta y mi fuente inagotable de amor y apoyo. Gracias por creer en mis sueños y por ser la inspiración detrás de cada logro.

A mi hermano Sean Nicolás por estar ahí siempre a mi lado dándome ánimos y evitando que me caiga en el camino.

A mi pareja, por su paciencia infinita, comprensión y aliento constante. Tu apoyo ha sido mi roca y mi motivación en cada paso de este camino.

A mis amigos y seres queridos, por compartir risas, alegrías y, sobre todo, por entender las ausencias y sacrificios que este viaje ha implicado. Su amistad ha sido mi sostén en los momentos difíciles.

A mis profesores y mentores, cuya sabiduría y orientación han sido el faro que me ha guiado a través de este mar de conocimiento. Su dedicación y compromiso con mi crecimiento académico son invaluable.

A mis compañeros de clase, por los intercambios enriquecedores, el apoyo mutuo y las experiencias compartidas que han hecho este viaje más memorable.

A todos aquellos que, de una u otra manera, han dejado una huella en mi trayectoria académica y personal, les dedico este logro. Este trabajo no es solo mío, sino de todos ustedes, quienes han formado parte fundamental de este capítulo significativo de mi vida.

Con gratitud y cariño,

LEANDRO AGUSTÍN CAICEDO IBAÑEZ

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi profunda gratitud a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este trabajo de tesis.

A mi tutor de tesis, MSc. Manuel Alejandro Fiallos Cárdenas por su guía experta, paciencia incansable y dedicación constante. Sus valiosas sugerencias y perspicacia han sido fundamentales para dar forma y elevar la calidad de este trabajo.

Agradezco sinceramente a los miembros del comité evaluador, por su tiempo, conocimientos y valiosas aportaciones que han enriquecido este trabajo. Sus comentarios críticos y constructivos han sido esenciales para el desarrollo y perfeccionamiento de la investigación.

Un agradecimiento especial a mi familia; a mis padres Hugo y Liliana, quienes han sido mi red de seguridad emocional, a mi amiga Cecilia por el apoyo en la parte experimental que han sido un pilar fundamental en los momentos de incertidumbre.

Mi reconocimiento especial va a la Universidad Estatal de Milagro UNEMI, por los conocimientos nuevos impartidos para llevar a cabo mi trabajo de investigación.

A mis compañeros de clase, por los intercambios enriquecedores y el apoyo mutuo especialmente al grupo conformado por Javier, Pablo, Renato, Walter y Juan José por ser un gran equipo durante todos los módulos.

Mi agradecimiento profundo hacia la Ing. Anita Ruiz Morocho por su paciencia y apoyo continuo durante este largo camino, despejando mis dudas e inquietudes mostrando una buena actitud en todo momento.

Finalmente, agradezco a todos aquellos cuya influencia, directa o indirecta, ha dejado una marca positiva en este proyecto y en mi trayectoria académica.

Con sincero agradecimiento,

LEANDRO AGUSTÍN CAICEDO IBÁÑEZ

ÍNDICE

Derechos de autor	ii
Aprobación del director del Trabajo de Titulación.....	iii
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE	vii
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	1
Capítulo I: El problema de la investigación.....	4
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Delimitación del Problema	5
1.3 Formulación del Problema	6
1.4 Preguntas de Investigación.....	6
1.5 Determinación del Tema.....	7
1.6 Objetivo General.....	7
1.7 Objetivos Específicos	7
1.8 Hipótesis	8
1.9 Declaración de las Variables (operacionalización).....	8
1.10 Justificación	9
1.11 Alcance y Limitaciones	10
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial	12
2.1 Contenido Teórico que Fundamenta la Investigación.....	12
2.1.1 Fisiología Postcosecha de Bananas.....	13

2.1.2	Estado de Madurez del banano	14
2.1.3	Enzima Polifenol Oxidasa (EPO):	14
2.1.4	Pardeamiento Enzimático	15
2.1.5	Inactivación de la EPO en Bananas	16
2.1.6	Métodos para Evitar el Pardeamiento Enzimático en Bananas	16
2.1.7	Métodos Físicos de Conservación	17
2.1.1	Métodos Químicos de Conservación	18
2.1.2	Integración de Métodos Físicos y Químicos:	19
2.1.3	Avances Tecnológicos	20
2.2	Antecedentes	22
CAPÍTULO III: Diseño metodológico		25
3.1	Tipo y Diseño de Investigación	25
3.1.1	Tipo de Investigación	25
3.1.2	Diseño de Investigación	25
3.2	La Población y la Muestra	28
3.2.1	Características de la Población	28
3.2.2	Delimitación de la Población	28
3.2.3	Tipo de Muestra	28
3.2.4	Tamaño de la Muestra	29
3.2.5	Proceso de Selección de la Muestra	30
3.3	Los Métodos y las Técnicas	30

3.3.2	Peso en Bananas de la <i>Varietad Cavendish Musa AAA</i> de Exportación.	31
3.3.3	PH en Bananas de la <i>Varietad Cavendish Musa AAA</i> de Exportación.	32
3.3.4	Color en Bananas de la <i>Varietad Cavendish Musa AAA</i> de Exportación.	33
3.3.5	Calibración en Bananas de la <i>Varietad Cavendish Musa AAA</i> de Exportación	34
3.3.6	El Cuchillo Curvo para Cortar Banano	35
3.3.7	Métodos Físicos y Sustancias Químicas Aplicadas en los Tratamientos de Bananas de la <i>Varietad Cavendish Musa AAA</i> de Exportación	35
3.4	Procesamiento Estadístico de la Información	39
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados.....		42
4.1.	Análisis de los Resultados.....	42
4.2.	Interpretación de los Resultados	46
4.2.1.	Evaluación de los Métodos Físicos y Químicos en Bananas de Exportación Mediante la Comparación de la Escala de Von Loesecke para Realizar Ajustes que Ayuden a Mejorar los Tratamientos Aplicados	47
4.2.2.	Determinación del Tratamiento más Específico mediante el Control Constante de las Variables Peso, Calibración, Medida y PH para Reducir la Velocidad del Pardeamiento Enzimático en Bananas de Exportación Causada por Polifenol Oxidasa	49
4.2.3.	Análisis de los Cambios en los Tiempos de Maduración de las Bananas Cavendish mediante la Aplicación de Barreras Protectoras y Preparación de	

Combinaciones de Sustancias Químicas Reduciendo el Efecto del Pardeamiento Enzimático Causado por la EPO	52
4.2.4. Discusión de Resultados	53
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones	58
5.1 Conclusiones	58
5.2 Recomendaciones	59
Bibliografía.....	61
Anexos	69

Resumen

La exportación de banano Cavendish del Ecuador es de gran importancia económica debido a su alto valor en el mercado internacional y su contribución significativa al PIB nacional, respaldada por su calidad, productividad y competitividad en términos de costos de producción; el problema central consiste en determinar la eficacia de diferentes estrategias, ya sean físicas o químicas, para inhibir la actividad de la enzima polifenol oxidasa y reducir el pardeamiento en las bananas Cavendish destinadas a la exportación, con el objetivo de mantener la calidad y prolongar su vida útil durante el transporte y almacenamiento mediante un enfoque integral que combina métodos físicos y químicos para inhibir la actividad de la enzima polifenol oxidasa (EPO). El objetivo principal de esta investigación es reducir eficazmente la actividad de la EPO mediante la aplicación estratégica de diferentes tratamientos, incluyendo el uso de cubiertas plásticas y cocteles químicos diseñados específicamente. Destacó el coctel 3 como el tratamiento más efectivo, compuesto por mertec, satisfacer, ácido cítrico y alumbre, con una cubierta de plástico de baja densidad. Los resultados reflejaron una disminución significativa en la actividad enzimática, minimizando el pardeamiento en ambas categorías de bananas. Además, el estudio analizó la evolución de diversas propiedades de las bananas en relación con el tiempo de tratamiento entre diferentes variables como peso, medida, calibración y pH resalta la interdependencia entre estos factores y su influencia en el control del pardeamiento enzimático. Proporciona soluciones prometedoras y sostenibles para gestionar el pardeamiento en bananas Cavendish, destacando la eficacia de la combinación de métodos físicos y químicos. Ofrece una perspectiva integral para la gestión del pardeamiento en bananas Cavendish destinadas a la exportación, con potencial para mejorar la calidad y competitividad del producto en el mercado internacional. La implementación de estos tratamientos podría optimizar parámetros sensoriales clave, mejorando la percepción del producto y aumentando su demanda. En última instancia, contribuye al sector de procesamiento de frutas al presentar enfoques innovadores y efectivos para abordar un desafío común en la industria, con posibles beneficios económicos y ambientales a largo plazo.

Palabras clave: Bananos Cavendish, Polifenol oxidasa, Inhibición enzimática, Estrategias de procesamiento.

Abstract

The export of Cavendish bananas from Ecuador is of great economic importance due to their high value in the international market and their significant contribution to the national GDP, supported by their quality, productivity and competitiveness in terms of production costs; the central problem is to determine the effectiveness of different strategies, either physical or chemical, to inhibit polyphenol oxidase enzyme activity and reduce browning in Cavendish bananas destined for export, with the objective of maintaining quality and prolonging shelf life during transport and storage through an integrated approach that combines physical and chemical methods to inhibit polyphenol oxidase enzyme activity (EPO). The main objective of this research is to effectively reduce EPO activity through the strategic application of different treatments, including the use of plastic coatings and specifically designed chemical cocktails. Cocktail 3 stood out as the most effective treatment, composed of mertec, satisfar, citric acid and alum, with a low-density plastic coating. The results showed a significant decrease in enzyme activity, minimizing browning in both categories of bananas. In addition, the study analyzed the evolution of various banana properties in relation to treatment time among different variables such as weight, size, calibration and pH, highlighting the interdependence between these factors and their influence on the control of enzymatic browning. It provides promising and sustainable solutions for managing browning in Cavendish bananas, highlighting the effectiveness of combining physical and chemical methods. It offers a comprehensive perspective for the management of browning in Cavendish bananas destined for export, with potential to improve product quality and competitiveness in the international market. The implementation of these treatments could optimize key sensory parameters, improving product perception and increasing product demand. Ultimately, it contributes to the fruit processing sector by presenting innovative and effective approaches to address a common challenge in the industry, with potential long-term economic and environmental benefits.

Key words: Cavendish bananas, Polyphenol oxidase, Enzyme inhibition, Processing strategies.

Introducción

Originario de las regiones del Pacífico suroeste, la banana se cultiva y distribuye en todo el mundo. Es un cultivo esencial en numerosos países tropicales y subtropicales, contribuyendo significativamente a la economía global (Mohamed et al., 2011). Es uno de los productos agrícolas más importantes a nivel mundial, ocupando el cuarto lugar en términos de cosecha después del arroz, el trigo y el maíz. Los principales exportadores de banano son Ecuador, Filipinas, Costa Rica, Guatemala y Colombia, mientras que los principales países importadores incluyen la Unión Europea, Estados Unidos, China y Rusia (Murray & Raynolds, 2000).

La banana, pertenece a la familia de las musáceas, existen aproximadamente mil variedades de bananos, siendo "Cavendish" la más conocida y representativa. Esta variedad es la más productiva y exportada, además de ser resistente a desastres naturales (Happi Emaga et al., 2007). El banano desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y la generación de ingresos en diversos países, ofreciendo empleo y reduciendo la migración de agricultores a áreas urbanas en busca de oportunidades de sustento. Además, debido a su asequibilidad en la producción, es un alimento importante para comunidades de bajos recursos (Aurore et al., 2009). se destaca como una fruta tropical de gran relevancia en el mercado global. Es una fuente económica y altamente nutritiva de energía (Bhushan et al., 2019).

La importancia del banano es un punto relevante en la seguridad alimentaria y la economía, así como el papel crucial de las prácticas postcosecha en la calidad del producto. Se aboga por aumentar la conciencia y la colaboración a lo largo de la cadena de suministro de alimentos para reducir las pérdidas y garantizar la disponibilidad de bananos de alta calidad para los consumidores locales e internacionales (Piedad et al., 2018).

El banano es conocido por su textura, aroma y facilidad de consumo al pelar y comer. Las plantas de banano alcanzan alturas de 6-8 metros, con hojas dispuestas en espiral (Soltani et al., 2011). Se aprecia por su sabor y versatilidad en su consumo tanto en forma fresca como procesada (Murray & Raynolds, 2000). En comparación con otras frutas como la manzana, el banano es notablemente más fácil de digerir,

requiriendo un tiempo de 105 minutos en comparación con los 210 minutos de la manzana (Kumar* et al., 2012).

Ecuador cultiva una amplia gama de variedades de banano, superando las 500 variantes, entre las cuales destaca notablemente el cultivar Cavendish, con gran presencia en su producción (Happi Emaga et al., 2007). Esta variedad exhibe adaptabilidad a distintos entornos, tanto semiáridos como subtropicales, siendo altamente valorada por la comunidad europea. El país contribuye significativamente a las exportaciones globales de banano, representando alrededor del 29% del total. En esta industria, Costa Rica figura como uno de sus competidores más cercanos, con una participación del 12% en las exportaciones mundiales (Coltro & Karaski, 2019).

Las bananas Cavendish de Ecuador, destacadas por su importancia en el ámbito de la exportación, constituyen una variedad de bananos pertenecientes a la especie *Musa acuminata* AAA (Veliz et al., 2022). Estas frutas, cultivadas mayormente en las regiones tropicales ecuatorianas, se distinguen por su aspecto alargado, pulpa dulce y textura suave (Coltro & Karaski, 2019). El cultivo de bananas Cavendish ha experimentado un crecimiento significativo en la última década, gracias a las condiciones climáticas propicias de Ecuador y a las prácticas agrícolas avanzadas. Sin embargo, este sector se enfrenta a desafíos que incluyen la amenaza de enfermedades como el mal de Panamá, lo que resalta la necesidad de enfoques científicos y tecnológicos innovadores para garantizar la sostenibilidad y la calidad de la producción (Almutairi et al., 2021). Sin embargo, la cadena de suministro de bananos enfrenta desafíos significativos, ya que es una fruta perecedera con altas pérdidas postcosecha durante el transporte, manipulación y almacenamiento debido a factores como cambios fisiológicos y ataques microbianos.

En este contexto, la presente introducción explorará las diversas formas de conservación relacionados con la exportación de bananas Cavendish en Ecuador, subrayando la importancia de la investigación continua y la implementación de estrategias basadas en la inhibición de la polifenol oxidasa causante del pardeamiento de esta fruta (Ünal, 2007).

Mantener condiciones adecuadas de temperatura y humedad, junto con el uso de técnicas de almacenamiento avanzadas, son esenciales para preservar la calidad y extender la vida útil de los bananos (Alzate Acevedo et al., 2021).

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del Problema

El pardeamiento en bananas (*Cavendish*) representa un desafío significativo en la industria alimentaria, tanto en el contexto de productos procesados como no procesados, debido a la actividad intrínseca de la enzima polifenol oxidasa (EPO) (Cheema & Sommerhalter, 2015). Esta enzima desencadena reacciones oxidativas que resultan en la formación de compuestos polifenólicos, provocando cambios en la pigmentación de las bananas y, en consecuencia, afectando la calidad organoléptica del producto (Yoruk & Marshall, 2003). El fenómeno de la EPO representa un desafío significativo en el contexto de las bananas Cavendish de Ecuador destinadas a la exportación (Ünal, 2007). La EPO, una enzima intracelular presente en los tejidos de la fruta, desencadena la oxidación de compuestos fenólicos, resultando en la formación de pigmentos oscuros y la degradación de la calidad organoléptica de las bananas (Chimvaree et al., 2020). Este proceso, conocido como pardeamiento enzimático, no solo afecta la apariencia visual de las frutas, sino que también conlleva la pérdida de nutrientes esenciales y la reducción de su vida útil postcosecha (He et al., 2023). Dada la importancia de la calidad estética y nutricional en el comercio internacional de bananas Cavendish, el impacto adverso de la polifenol oxidasa se traduce en pérdidas económicas sustanciales para los productores ecuatorianos (Staver et al., 2023). Por consiguiente, la comprensión profunda de los mecanismos bioquímicos asociados con la actividad de la polifenol oxidasa en bananas Cavendish, así como el desarrollo de estrategias efectivas para mitigar este efecto, emerge como una prioridad crítica para preservar la calidad y competitividad de las exportaciones de bananas ecuatorianas en el mercado global (Vaca et al., 2020).

A pesar de los esfuerzos por aplicar métodos físicos y químicos de forma individual para inhibir la EPO, la eficacia óptima aún no se ha alcanzado. Por lo tanto, surge la necesidad de investigar y desarrollar una estrategia integral que combine métodos físicos, como la de barreras plásticas protectoras alta y de baja densidad, con la implementación de compuestos químicos inhibidores específicos.

Este estudio pretende abordar la complejidad de la actividad enzimática de la EPO en bananos Cavendish, evaluando la sinergia y eficacia de la combinación de enfoques físicos y químicos para lograr una inhibición más completa y sostenible del pardeamiento, mejorando así la calidad y vida útil de estos productos (Ma et al., 2023).

1.2 Delimitación del Problema

El problema fundamental que enfrenta la exportación de bananos Cavendish de Ecuador radica en la necesidad de abordar eficazmente el pardeamiento enzimático inducido por la actividad de la EPO, una enzima clave en el proceso de oxidación de compuestos fenólicos (Chimvaree et al., 2020). Este fenómeno conlleva consecuencias adversas, como la depreciación de la calidad organoléptica, la pérdida de nutrientes y, en última instancia la disminución de la vida útil postcosecha de las frutas (Ahmed et al., 2022). La limitada durabilidad y atractivo visual de las bananas afectadas por el pardeamiento enzimático representan un desafío significativo para los productores ecuatorianos en el mercado internacional (Murmu & Mishra, 2018).

Para abordar este problema, es crucial explorar la posibilidad de implementar una combinación de métodos físicos y químicos destinados a inhibir la actividad de la EPO. Este enfoque integrador busca no solo comprender a nivel molecular los mecanismos responsables de la acción de esta enzima, sino también desarrollar estrategias que minimicen su impacto negativo (Sui et al., 2023). La implementación de métodos físicos como la aplicación de barreras plástica, junto con la aplicación de inhibidores químicos específicos, podría ofrecer una solución integral para preservar la calidad estética y nutricional de las bananas Cavendish durante el proceso de exportación (Alzate Acevedo et al., 2021).

Este planteamiento no solo se presenta como una necesidad urgente para la industria bananera ecuatoriana, sino también como una oportunidad para mejorar la competitividad y la sostenibilidad de las exportaciones en el mercado global (Vaca et al., 2020).

1.3 Formulación del Problema

La exportación de bananas Cavendish de Ecuador se enfrenta a un desafío crítico relacionado con el pardeamiento enzimático, fenómeno inducido por la actividad de la EPO (Staver et al., 2023). Este proceso, que resulta en la formación de pigmentos oscuros y la degradación de la calidad organoléptica de las frutas, impacta negativamente la competitividad y la vida útil postcosecha de las bananas en el mercado internacional (Salazar et al., 2022) .

El problema central consiste en la necesidad de desarrollar estrategias innovadoras que integren métodos físicos y químicos para inhibir eficazmente la actividad de la polifenol oxidasa y, por ende, mitigar los efectos perjudiciales del pardeamiento enzimático (R. Xie et al., 2023). La comprensión detallada de los mecanismos moleculares asociados con esta enzima, así como la evaluación de la eficacia de inhibidores químicos específicos, se presenta como una prioridad crucial para garantizar la calidad y la competitividad de las bananas Cavendish ecuatorianas en el mercado global (Menon & Roth, 2022). Dentro de este trabajo de investigación se plantean estrategias Integradas para la Inhibición del Pardeamiento Enzimático en Bananas (Cavendish) de Exportación mediante la Modulación de la Actividad de la EPO.

Este problema constituye una oportunidad para la investigación aplicada que busca no solo preservar la apariencia visual y nutricional de las frutas, sino también fortalecer la posición de Ecuador como actor clave en la exportación de bananas a nivel mundial (Drenth & Kema, 2021).

1.4 Preguntas de Investigación

¿Cuál es el potencial de los métodos físicos y químicos para mejorar la calidad de las bananas destinadas a la exportación, considerando su influencia en la preservación y la excelencia del producto final?

¿Cuál tratamiento demuestra mayor eficacia en la reducción de la velocidad del pardeamiento enzimático en las bananas destinadas a la exportación, considerando las implicaciones de distintos factores en la preservación de la calidad del producto?

¿Cómo afecta el tiempo de maduración de las bananas Cavendish tratadas con barreras protectoras o sustancias químicas en la reducción del impacto del pardeamiento enzimático inducido por la polifenol oxidasa (EPO), considerando su influencia en la preservación de la calidad del producto?

Estas preguntas de investigación buscan abordar aspectos específicos relacionados con la inhibición del pardeamiento enzimático en bananas Cavendish, considerando tanto aspectos científicos como prácticos para el contexto de la exportación.

Estas preguntas de investigación buscan abordar aspectos específicos relacionados con la inhibición del pardeamiento enzimático en bananas Cavendish, considerando tanto aspectos científicos como prácticos para el contexto de la exportación.

1.5 Determinación del Tema

Evaluación de Estrategias para Inhibir la Actividad de la Enzima Polifenol Oxidasa y Reducir el Pardeamiento en Bananas (Cavendish) de Exportación mediante la Integración de Métodos Físicos o Químicos

1.6 Objetivo General

Reducir la actividad de la enzima polifenol oxidasa mediante la aplicación y combinación de métodos físicos y químicos evitando así el pardeamiento acelerado en bananas de exportación.

1.7 Objetivos Específicos

1. Evaluar los métodos físicos y químicos en bananas de exportación mediante la comparación de la Escala de Von Loesecke para realizar ajustes que ayuden a mejorar los tratamientos aplicados.
2. Determinar el tratamiento más específico mediante el control constante de las variables peso, calibración, medida y pH para reducir la velocidad del pardeamiento enzimático en bananas de exportación causada por polifenol oxidasa
3. Analizar los cambios en los tiempos de maduración de las bananas Cavendish mediante la aplicación de barreras protectoras y preparación de combinaciones

de sustancias químicas reduciendo el efecto del pardeamiento enzimático causado por la EPO.

1.8 Hipótesis

La integración de métodos físicos o químicos para la inhibición de la actividad de la enzima polifenol oxidasa (EPO) en bananas (Cavendish) de exportación reducirá significativamente el pardeamiento, preservando la calidad visual de las frutas, lo que resultará en una prolongación efectiva de la vida útil durante el proceso de almacenamiento.

1.9 Declaración de las Variables (operacionalización)

Tabla 1. Cuadro de Operacionalización de Variables

Variables Independientes	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Objetivo	Dimensiones	Indicadores	Métodos
Método físico aplicado	Cuantitativas	Implementación de procedimientos físicos sobre las bananas, como recibimientos plásticos de alta y baja densidad	Evaluar el impacto de métodos físicos en la evaluación del pardeamiento.	Intensidad del método físico aplicado. Densidad del plástico del tratamiento físico.	peso, calibración, medida y pH.	Observación directa y medición de cambios visuales.
Método químico aplicado	Cuantitativa	Aplicación de sustancias químicas, como inhibidores enzimáticos, para reducir la actividad de la enzima polifenol oxidasa.	Evaluar el efecto de compuestos químicos en la inhibición de la EPO.	Tipo y concentración de sustancias químicas aplicadas. Concentración de inhibidores enzimáticos y antioxidantes.	Concentración de inhibidores enzimáticos y antioxidantes	Análisis bioquímicos y observación de cambios en el pardeamiento.

VARIABLES CONTROLADAS	Cuantitativa	Mantenimiento constante de peso, calibración, medida y pH durante el experimento.	Garantizar que las variables controladas no interfieran con los resultados de las variables independientes	Estabilidad de peso, calibración, medida y pH.	Coefficientes de variación de las variables controladas.	Medición regular y ajustes según sea necesario durante el experimento.
-----------------------	--------------	---	--	--	--	--

VARIABLES DEPENDIENTES	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	OBJETIVO	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
Efecto del pardeamiento enzimático causado por la enzima polifenol oxidasa (EPO)	Cualitativa/ Cuantitativa	Análisis del impacto global del pardeamiento enzimático causado por la EPO.	Observar cómo las estrategias afectan la calidad y apariencia de las bananas.	Calidad organoléptica, cambios en la textura y apariencia.	Evaluación sensorial.	Observación visual y evaluación sensorial.

Elaborado: Autor, 2023

1.10 Justificación

El pardeamiento en las bananas (Cavendish) es un fenómeno complejo mediado por la acción de la enzima polifenol oxidasa (EPO) (Kim et al., 2022). Esta enzima cataliza la oxidación de fenoles a quinonas, proceso que conduce a la formación de pigmentos oscuros y, por fin, al pardeamiento observable en la superficie de las bananas (Gularte et al., 2022).

En el caso de las bananas procesadas, el pardeamiento puede afectar negativamente su calidad visual y, en algunos casos, su aceptación por parte del consumidor. Por lo tanto, es crucial implementar estrategias para inhibir la actividad de la EPO y, para ende, mitigar el pardeamiento no deseado (Murmu & Mishra, 2018).

El uso de cubiertas plásticas se alinea con los principios de la tecnología de atmósfera modificada (MAP), donde se busca controlar la composición gaseosa alrededor del producto para prolongar su vida útil y mantener su calidad (Kim et al., 2022). Este enfoque basado en la ciencia proporciona una solución eficiente y sostenible para mitigar el pardeamiento de los bananos Cavendish durante el almacenamiento y

transporte, garantizando así un producto final que cumple con los estándares de calidad requeridos en la industria alimentaria (Chimvaree et al., 2020).

Además, la aplicación de métodos químicos se ha revelado como una estrategia prometedora. La utilización de inhibidores de la EPO, como el ácido ascórbico (vitamina C) y los sulfitos, ha demostrado eficacia al interferir con la actividad enzimática. Estos compuestos actúan como cofactores o inhibidores competitivos, interfiriendo con la capacidad de la EPO para oxidar los fenoles presentes en las bananas (Wohlt et al., 2021).

La combinación de métodos físicos y químicos presenta un enfoque integral para la inhibición del pardeamiento en bananos (Cavendish). La refrigeración y el envasado al vacío proporcionan condiciones que desaceleran la actividad enzimática, mientras que los inhibidores químicos actúan directamente sobre la EPO. Esta sinergia entre métodos ofrece una estrategia más robusta y eficiente para preservar la calidad visual y sensorial de las bananas, tanto en su forma procesada como no procesada, mejorando así su vida útil y aceptación en el mercado (Sui et al., 2023).

1.11 Alcance y Limitaciones

El estudio aporta significativamente al ámbito científico y tecnológico de la postcosecha de frutas. En cuanto los siguientes aspectos como:

El Control de la Polifenol Oxidasa en cuanto a los métodos químicos; la aplicación de inhibidores específicos de la EPO puede ser estudiada para determinar su eficacia en la prevención del pardeamiento; compuestos como ácido ascórbico, ácido cítrico o inhibidores enzimáticos podrían ser evaluados; por otra parte, los métodos físicos como la modulación de la temperatura y la presión atmosférica puede afectar la actividad enzimática. Estudiar cómo estos factores afectan la enzima y, por ende, el pardeamiento, proporcionaría información valiosa (Cheng et al., 2021).

El mantenimiento de la calidad nutricional determina que los métodos químicos minimizan el pardeamiento, se preservan los compuestos nutricionales y antioxidantes presentes en las bananas. Se puede investigar cómo la inhibición selectiva de la polifenol oxidasa afecta la retención de nutrientes; por otro lado los

métodos físicos pueden ayudar a preservar la textura y la calidad nutricional de las bananas durante el almacenamiento y el transporte (Ma et al., 2023) .

Por otro lado, la extensión de la vida útil involucra la combinación de químicos y físicos los cuales pueden prolongar la vida útil de las bananas Cavendish esenciales para la industria de exportación. Esto no solo impacta la rentabilidad, sino también la reducción de desperdicios (Dwivany et al., 2020).

El estudio de la inhibición del pardeamiento en bananas Cavendish mediante la combinación de métodos físicos y químicos contribuye al conocimiento científico al proporcionar soluciones prácticas para la industria de exportación de frutas, mejorando la calidad, la vida útil y la sostenibilidad del proceso (Kim et al., 2022).

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Contenido Teórico que Fundamenta la Investigación

El contenido teórico de la Inhibición en el pardeamiento de bananas (Cavendish) de exportación causada por la actividad de la enzima polifenol oxidasa utilizando la combinación de métodos físicos y químicos se presenta la siguiente contextualización (Weerawardana et al., 2020).

La presente investigación se encuentra estrechamente vinculada a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9 y 12, los cuales abordan aspectos fundamentales relacionados con la producción, consumo, innovación e infraestructuras resilientes. En el marco del ODS 12, que busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, se destaca la importancia de abordar el desafío del pardeamiento en la exportación de bananas Cavendish.

El pardeamiento, un proceso que impacta la calidad visual y nutricional de las frutas durante el transporte y almacenamiento (Lemaire & Limbourg, 2019), representa un obstáculo significativo en la consecución de prácticas sostenibles en la cadena de suministro de alimentos. Para enfrentar este desafío de manera sostenible, se propone la aplicación de métodos físicos y químicos que inhiban la actividad de la enzima polifenol oxidasa, responsable del pardeamiento. Esta iniciativa no solo contribuiría al cumplimiento del ODS 12, sino que también promovería prácticas agrícolas más sostenibles (Fernando et al., 2019).

En el contexto del ODS 9, centrado en construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación, se establecen conexiones directas con los desafíos logísticos y tecnológicos asociados con la preservación de la calidad de las bananas Cavendish durante su transporte y almacenamiento (Gebre et al., 2020). Además, se aboga por el desarrollo de tecnologías de inhibición enzimática, promoviendo la investigación y desarrollo de métodos sostenibles que respeten el medio ambiente y sean eficaces en la preservación de la calidad de las frutas (Fernando et al., 2019).

2.1.1 Fisiología Postcosecha de Bananas

La fisiología postcosecha de las bananas, en particular de la variedad Cavendish, es esencial para comprender los procesos bioquímicos involucrados en el pardeamiento enzimático. El rápido deterioro de las bananas después de la cosecha, caracterizado por el pardeamiento, está directamente relacionado con la actividad de la enzima polifenol oxidasa (EPO), la cual cataliza la oxidación de compuestos fenólicos, generando pigmentos oscuros (Sugianti et al., 2022).

La variedad Cavendish, predominantemente exportada a nivel mundial, presenta una fisiología postcosecha distintiva que se caracteriza por la rápida maduración y la propensión al pardeamiento enzimático. En este contexto, la enzima polifenol oxidasa (EPO) surge como un actor clave en la respuesta fisiológica de las bananas a la manipulación postcosecha. La EPO, una metaloenzima presente en los tejidos de la fruta, desencadena la oxidación de compuestos fenólicos, dando lugar a la formación de pigmentos oscuros responsables del pardeamiento (Bhuiyan et al., 2020).

Desde un enfoque fisiológico, la actividad de la EPO se ve influida por factores ambientales y condiciones de almacenamiento. Temperaturas inadecuadas y la exposición al oxígeno pueden aumentar la actividad enzimática, exacerbando el pardeamiento. Además, el pH del entorno interno de la fruta, otro aspecto crucial de su fisiología, puede modular la actividad de la EPO, siendo valores alcalinos más propicios para la actividad óptima de la enzima (Horna Delgado & Saldaña Garibay, 2019).

El entendimiento de estos procesos fisiológicos postcosecha es esencial para abordar eficazmente el desafío del pardeamiento enzimático en bananas Cavendish durante su exportación. La integración de métodos físicos y químicos busca, en última instancia, modular estas respuestas fisiológicas para preservar la calidad de las bananas durante su almacenamiento y transporte. La aplicación de estrategias que inhiban la actividad de la EPO se erige como un pilar fundamental en este contexto, con el objetivo de mitigar los cambios bioquímicos y visuales que conducen al pardeamiento no deseado (Moreno et al., 2021).

2.1.2 Estado de Madurez del banano

El proceso de maduración del banano se distingue por una serie de transformaciones físicas, químicas, bioquímicas y metabólicas que posibilitan que la fruta adquiera sus características sensoriales específicas, como forma, color, sabor, aroma y textura, propias de su especie. A medida que los bananos maduran, se observa un aumento en el contenido de hidratos de carbono, generando el dulzor característico de las frutas maduras, al mismo tiempo que los ácidos disminuyen, desapareciendo el sabor agrio y la astringencia, dando lugar a un sabor suave y al equilibrio entre dulzor y acidez en los frutos maduros (*Análisis de cambios fisicoquímicos durante la maduración del plátano Cavendish y del plátano Velchi – Current Agriculture Research Journal*, 2023).

La transformación casi completa del almidón en azúcares tiene un doble efecto, alterando tanto el gusto como la textura del producto. La descomposición de los hidratos de carbono poliméricos, especialmente de las sustancias pépticas y hemicelulosas, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen unidas las células entre sí.

La maduración del banano se manifiesta mediante una variación de color, pasando de verde a amarillo. La primera señal del inicio de la maduración es la desaparición del color verde, ocasionada por la degradación de las clorofilas (Asakura et al., 2014).

2.1.3 Enzima Polifenol Oxidasa (EPO):

La EPO, una enzima clave en el ardeamiento enzimático, pertenece a la familia de las polifenol oxidasas y desempeña un papel fundamental en la biosíntesis de melaninas. Su actividad catalítica convierte los fenoles presentes en las bananas en quinonas, que a su vez reaccionan para formar pigmentos oscuros, afectando negativamente la calidad del producto. La inhibición de la EPO se presenta como una estrategia prometedora para mitigar este proceso (Sui et al., 2023)

La enzima Polifenol Oxidasa (EPO) emerge como un componente central en el fenómeno del pardeamiento enzimático, siendo miembro destacado de la familia de las polifenol oxidasas. Su papel trascendental radica en la participación activa en la

biosíntesis de melaninas, procesos bioquímicos que culminan en la formación de pigmentos oscuros responsables del pardeamiento no deseado en las bananas (Sui et al., 2023).

La actividad catalítica de la EPO es crucial en la conversión de fenoles presentes en las bananas, iniciando el proceso mediante el cual estos se transforman en quinonas. Posteriormente, estas quinonas reaccionan para dar origen a pigmentos oscuros, contribuyendo de manera negativa a la calidad organoléptica y visual del producto. El entendimiento profundo de estas cascadas bioquímicas impulsa la búsqueda de estrategias que modulen la actividad de la EPO para preservar la integridad de las bananas durante su manipulación postcosecha (Horna Delgado & Saldaña Garibay, 2019).

La inhibición de la EPO emerge como una estrategia promisoriosa y sustentada científicamente para atenuar el proceso de pardeamiento enzimático. La capacidad de intervenir en la cascada catalítica de la EPO ofrece oportunidades para limitar la formación de quinonas y, por ende, reducir la generación de pigmentos oscuros. Esta perspectiva no solo busca mantener la calidad visual y organoléptica de las bananas, sino también prolongar su vida útil postcosecha. En la integración de métodos físicos y químicos, la inhibición selectiva de la EPO representa una faceta esencial para el éxito de estrategias encaminadas a la modulación del pardeamiento en bananas Cavendish de exportación (Ma et al., 2023).

2.1.4 Pardeamiento Enzimático

Es un proceso bioquímico complejo que involucra la acción de enzimas polifenoloxidasas (EPO) y polifenoles presentes en la fruta. Este fenómeno se desencadena cuando las células de la banana se lesionan, ya sea por cortes, golpes o presión; las bananas contienen la EPO, que juega un papel crucial en el pardeamiento enzimático, la misma cataliza la oxidación de los polifenoles presentes en las células de la banana (Sui et al., 2023).

2.1.5 Inactivación de la EPO en Bananas

La inactivación de la EPO en bananas se refiere al proceso de desactivar la actividad de esta enzima para prevenir el pardeamiento no deseado de la fruta se puede lograr mediante diversos métodos, como calor, pH extremos, agentes reductores y compuestos fenólicos (Sui et al., 2023).

La exposición a temperaturas elevadas, a través de técnicas como el escaldado o el blanqueado, puede desnaturalizar y desactivar la EPO; Modificar el pH del entorno, mediante la adición de ácidos o bases, puede afectar negativamente la estructura de la enzima y reducir su actividad; Compuestos como el ácido ascórbico actúan como agentes reductores, desactivando la EPO al reducir las quinonas formadas durante la reacción enzimática; Algunos compuestos fenólicos presentes en frutas, como el ácido cafeico, pueden inactivar la EPO al competir por su sustrato o interactuar con la enzima (Wohlt et al., 2021).

2.1.6 Métodos para Evitar el Pardeamiento Enzimático en Bananas

La **eficacia del jugo de piña** en la supresión enzimática del pardeamiento en la superficie cortada de las rodajas de plátano fue evaluada. Después de almacenar las rodajas a 15 °C durante 3 días, se observó que el jugo de piña exhibía una capacidad inhibitoria del pardeamiento comparable a una concentración de ácido ascórbico de 8 mM, aunque inferior a la del metabisulfito de sodio de 4 mM. Al fraccionar el jugo de piña con un cartucho C 18 de fase sólida, se identificó que la fracción directamente eluida (fracción DE) inhibía la (EPO) de las bananas en aproximadamente un 100 % en comparación con el control (Kim et al., 2022).

Además, la fracción demostró un poder inhibitorio superior al ácido ascórbico 8 mM en la supresión enzimática del pardeamiento del puré de plátano almacenado a 5 °C durante 24 h. Un análisis más detallado de la fracción mediante fraccionamiento con cromatografía de intercambio iónico y confirmación utilizando sistemas modelo reveló que tanto el ácido málico como el ácido cítrico desempeñan un papel crucial en la inhibición enzimática del pardeamiento causado por la EPO en las bananas (Chaisakdanugull et al., 2007).

2.1.7 Métodos Físicos de Conservación

Diversos estudios han explorado métodos físicos para la inhibición de la EPO en bananas. Entre estos métodos se incluyen tratamientos térmicos controlados, radiación y aplicación de barreras físicas. Los tratamientos térmicos, al modular la actividad enzimática, pueden ofrecer una reducción significativa en la velocidad de pardeamiento. Asimismo, la aplicación de barreras físicas, como películas comestibles, ha demostrado ser eficaz al limitar la exposición al aire y la luz (Santosh et al., 2017).

La investigación en la inhibición de la Enzima Polifenol Oxidasa (EPO) en bananas ha abordado una variedad de métodos físicos con el propósito de modular la actividad enzimática y, por ende, mitigar el proceso de pardeamiento. Entre estos métodos se destacan la implementación de barreras físicas, cada uno con su enfoque específico y potencial aplicación en la industria postcosecha de bananas Cavendish (Bantayehu, 2017).

Dentro de estos métodos podemos destacar las Cubiertas plásticas de alta densidad (HDPE) son ampliamente empleadas en distintos ámbitos como la agricultura, construcción y embalaje. Estas cubiertas destacan por su robustez, durabilidad y capacidad para resguardar contra la humedad y otros elementos ambientales. Su alta densidad proporciona características como una mayor rigidez y resistencia a la tracción en comparación con el polietileno de baja densidad (LDPE). (Steinmetz et al., 2022)

También se presentan Cubiertas plásticas de baja densidad las cuales son fabricadas con resina de polietileno de baja densidad (LDPE), que es un polímero termoplástico ampliamente utilizado debido a su flexibilidad, transparencia y resistencia química; el polietileno de baja densidad se caracteriza por su estructura de baja densidad, lo que le confiere propiedades como flexibilidad y maleabilidad (Szlachetka et al., 2021). El espesor de la bolsa puede variar según su aplicación; el grosor puede adaptarse a las necesidades específicas del embalaje; están disponibles en una amplia variedad de tamaños y formas (Alexander, 2020).

2.1.1 Métodos Químicos de Conservación

La aplicación de inhibidores químicos específicos constituye otra estrategia relevante en la inhibición de la EPO. Compuestos como ácido ascórbico, ácido cítrico, y ciertos antioxidantes han mostrado capacidad para reducir la actividad de la enzima y, por ende, el pardeamiento enzimático. La selección cuidadosa de estos compuestos químicos, considerando su impacto en la calidad organoléptica y nutricional de las bananas, es esencial para el éxito de la estrategia (Weerawardana et al., 2020).

La implementación de inhibidores químicos específicos emerge como una estrategia de considerable relevancia en la inhibición de la Enzima Polifenol Oxidasa (EPO), constituyendo un campo de investigación que busca maximizar la eficacia de los tratamientos y minimizar los efectos adversos en la calidad organoléptica y nutricional de las bananas Cavendish. Entre estos inhibidores químicos se destacan compuestos como el ácido ascórbico, ácido cítrico y ciertos antioxidantes, los cuales han demostrado poseer la capacidad de reducir la actividad enzimática, ejerciendo así un control sobre el proceso de pardeamiento enzimático (Wohlt et al., 2021).

La elección discernida de estos compuestos químicos resulta crítica para el éxito de la estrategia, considerando tanto su eficacia en la inhibición de la EPO como su posible impacto en las características sensoriales y nutricionales de las bananas. En este contexto, el ácido ascórbico, conocido como vitamina C, ha sido reconocido por su capacidad para actuar como inhibidor eficaz de la EPO. Su función radica en la reducción de la enzima y la prevención de la oxidación de los sustratos fenólicos, lo que contribuye a minimizar la formación de pigmentos oscuros (Nogales-Delgado, 2021).

De manera similar, el ácido cítrico, un ácido orgánico presente de forma natural en muchas frutas cítricas, se ha identificado como un inhibidor eficiente de la EPO. Su acción consiste en interferir con las reacciones enzimáticas, limitando la conversión de fenoles en quinonas y, por ende, disminuyendo la síntesis de pigmentos indeseados. La incorporación de antioxidantes específicos, como el ácido ascórbico y el ácido cítrico, destaca la relevancia de los compuestos químicos en la regulación de procesos bioquímicos complejos (*Antioxidantes | Texto completo gratuito |*

Información sobre la inhibición de la enzima polifenol oxidasa y la recuperación total de polifenoles de los granos de cacao, s. f.).

El desafío reside en la selección y dosificación adecuada de estos inhibidores químicos, optimizando su acción inhibidora sin comprometer las propiedades organolépticas y nutricionales inherentes a las bananas. La integración de estos compuestos en las estrategias de manejo postcosecha busca proporcionar una solución equilibrada que garantice tanto la calidad visual del producto como su valor nutricional para el consumidor final. En consecuencia, la investigación en inhibidores químicos de la EPO se posiciona como un componente esencial en la búsqueda de estrategias integrales para la modulación del pardeamiento enzimático en bananas de exportación (*Applied Sciences | Free Full-Text | Polyphenoloxidase (PPO): Effect, Current Determination and Inhibition Treatments in Fresh-Cut Produce, s. f.).*

Entre las sustancias químicas utilizadas en esta investigación tenemos: Select 101 fitoregulador líquido, Gib-bex 125 ml regulador de crecimiento líquido, Ecolife B 125 ml (fertilizante orgánico con boro), Eclipse 250, un fungicida agrícola, BC-1000 CHEMIE, es un fungicida natural, RyzUp 40 regulador de crecimiento de origen natural, MERTECT 220, un fungicida agrícola de formulación líquida, alumbre sólido, ácido cítrico ácido orgánico débil y Satisfar 100 gr como fungicida sistémico.

2.1.2 Integración de Métodos Físicos y Químicos:

La integración de métodos físicos y químicos surge como una aproximación holística y sinérgica para la modulación del pardeamiento en bananas de exportación. Esta estrategia se sustenta en la sinergia potencial entre tratamientos físicos, que actúan directamente sobre la EPO y compuestos químicos, que inhiben su actividad. La combinación de estos enfoques busca maximizar la eficacia y minimizar posibles efectos secundarios, proporcionando una solución integral y sostenible (Sui et al., 2023).

La adopción de un enfoque integral y sinérgico mediante la integración de métodos físicos y químicos representa una estrategia avanzada y coherente para la modulación del pardeamiento en bananas destinadas a la exportación. Esta estrategia se fundamenta en la posibilidad de sinergia entre los tratamientos físicos, que actúan

directamente sobre la Enzima Polifenol Oxidasa (EPO), y los compuestos químicos, que desempeñan un papel inhibitor en su actividad enzimática. La convergencia de estos enfoques busca no solo maximizar la eficacia en la inhibición de la EPO, sino también minimizar los posibles efectos secundarios asociados, con el fin de ofrecer una solución completa, integrada y sostenible para abordar el fenómeno del pardeamiento en bananas exportadas (Abd El-Wahhab et al., 2023).

Desde una perspectiva científica, la sinergia implica la creación de una acción combinada que supera la suma de los efectos individuales de los métodos físicos y químicos utilizados de manera aislada. Los tratamientos físicos, como las variaciones controladas de temperatura, radiación y barreras físicas, se diseñan para intervenir directamente en la fisiología de la EPO, afectando su actividad enzimática y, por ende, la velocidad de pardeamiento enzimático. Esta intervención física se complementa con la aplicación de inhibidores químicos específicos, como ácido ascórbico y ácido cítrico, que actúan en una fase molecular para modular la actividad catalítica de la EPO (Samuel Ilesanmi et al., 2023).

La integración de estos métodos busca aprovechar las fortalezas de cada enfoque, creando una estrategia holística que aborde múltiples facetas del proceso de pardeamiento en bananas. Al combinar tratamientos físicos y químicos, se aspira a potenciar la eficacia de la inhibición enzimática, minimizando así la formación de pigmentos oscuros no deseados. Además, la sinergia entre estos enfoques permite la optimización de los resultados deseados, estableciendo un equilibrio entre la preservación de la calidad del producto y la aplicación de medidas sostenibles en términos de recursos y prácticas agrícolas (Dhakshinamoorthy et al., 2020).

2.1.3 Avances Tecnológicos

Avances tecnológicos en la inhibición de la EPO, se observa un interés creciente en el desarrollo de tecnologías innovadoras para preservar la calidad de frutas perecederas durante su almacenamiento y transporte. La adopción de enfoques multidisciplinarios y la aplicación de técnicas analíticas avanzadas han permitido una comprensión más profunda de los mecanismos detrás del pardeamiento enzimático y han impulsado la búsqueda de soluciones más efectivas (Sui et al., 2023).

Al examinar los progresos tecnológicos en la inhibición de la (EPO) solo debe colocar EPO, se evidencia un interés creciente en el desarrollo de tecnologías innovadoras destinadas a preservar la calidad de frutas perecederas durante su almacenamiento y transporte. La tendencia actual en este ámbito se caracteriza por la adopción de enfoques multidisciplinarios y la aplicación de técnicas analíticas avanzadas, lo cual ha posibilitado una comprensión más detallada de los mecanismos subyacentes al pardeamiento enzimático, impulsando así la búsqueda de soluciones más efectivas y precisas (Zhang, 2023).

En la literatura científica reciente, se ha observado un cambio hacia la convergencia de disciplinas como la biología molecular, la bioquímica y la ingeniería de alimentos en la investigación de la inhibición de la EPO. Esta interdisciplinariedad permite una exploración más completa de los aspectos moleculares y fisiológicos involucrados en el proceso enzimático, lo que a su vez facilita el desarrollo de estrategias más específicas y eficientes. La aplicación de técnicas analíticas avanzadas, como la espectroscopia y la biología molecular, ha proporcionado herramientas precisas para analizar las interacciones moleculares y los cambios en la expresión génica relacionados con la actividad de la EPO (Olgunoğlu, 2023).

Los avances tecnológicos han permitido la identificación de nuevas moléculas inhibitoras y la optimización de las condiciones de tratamiento. La aplicación de nanotecnología, por ejemplo, ha abierto nuevas posibilidades para la encapsulación y liberación controlada de inhibidores químicos, mejorando su eficacia y prolongando su acción durante el almacenamiento. Asimismo, el uso de técnicas de procesamiento de imágenes y sensores avanzados ha contribuido al monitoreo en tiempo real de cambios en la actividad enzimática y la calidad de las frutas, permitiendo ajustes inmediatos en las estrategias de inhibición (Xu & Huang, 2018).

La integración de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático se destaca como un área emergente que promete optimizar la selección de inhibidores y ajustar las condiciones de tratamiento de manera personalizada. La capacidad de procesar grandes conjuntos de datos y prever las respuestas enzimáticas específicas en tiempo real abre la puerta a estrategias de inhibición más dinámicas y adaptativas.

2.2 Antecedentes

El estudio realizado se centró en la supresión del proceso de oscurecimiento enzimático causado por la polifenol oxidasa (PPO), extraída de la variedad de banano Cavendish Gigante, utilizando dopamina como sustrato. En el contexto de la metodología, se investigó el efecto inhibitorio de tres compuestos: isoespintanol, un metabolito extraído de la planta *Oxandra* cf. *xylopioides* (Annonaceae), y dos de sus derivados, específicamente 2-isopropil-4-bromo-3,6-dimetoxi-5-metilfenol y 3-isopropil-6-metil-1,2,4-trihidroxibenceno. Estos últimos fueron obtenidos mediante el proceso de bromación con bromuro de dimetilsulfonio en proporciones de (75:25), respectivamente. También se incluyó el ácido ascórbico como un antioxidante de referencia.

La caracterización de los compuestos sintetizados se realizó mediante técnicas de resonancia magnética nuclear (RMN) y cromatografía acoplada a masas (GC-MS). La capacidad antioxidante se evaluó utilizando los métodos de ABTS, FRAP y DPPH. La PPO parcialmente purificada fue sometida a análisis espectrofotométricos a 30°C en presencia de los antioxidantes a concentraciones de 500, 1000 y 1500 ppm. Los resultados y el análisis señalaron que el isoespintanol destacó como el inhibidor más eficaz según las tres técnicas de capacidad antioxidante. En relación con el compuesto bromado, demostró la mayor capacidad reductora según la técnica FRAP, mientras que el demetilado exhibió un rendimiento superior en un entorno metanólico (DPPH) (Lemaire & Limbourg, 2019).

La actividad de la PPO, inicialmente cuantificada en 102.93 unidades de actividad, experimentó una disminución del 72.5% al 92% con todos los compuestos. La inhibición más notable se alcanzó con 1500 ppm de ácido ascórbico (92%). En cuanto a los compuestos bromado y demetilado, no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la inhibición de la actividad enzimática a concentraciones de 500 ppm (84.8% - 84.53%), 1000 ppm (73.87% - 72.53%) y 1500 ppm (84% - 82.4%), respectivamente. Por otro lado, en comparación con sus dos análogos, el isoespintanol mostró diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$) a 1000 ppm (42.4%). Se determinó que el tipo de inhibición para el isoespintanol fue competitivo ($K_I = 0.015M$ y $K_M = 0.026M$) (Garzón et al., s. f.)

En otro estudio titulado "Optimización del tiempo de Escaldado y Grado de Madurez para la Inactivación de la Enzima Polifenol oxidasa PPO del banano (*Musa paradisiaca*) variedad cavendish en rodajas para Exportación" el objetivo de perfeccionar el proceso de escaldado al vapor y ajustar el nivel de madurez para inactivar la enzima Polifenoloxidasa (PPO) en rodajas de banano de la variedad Cavendish (con un espesor de 11 a 13 mm) destinadas a la exportación, se desarrolló la investigación titulada "Optimización del tiempo de Escaldado y Grado de Madurez para la Inactivación de la Enzima Polifenol oxidasa PPO del banano (*Musa paradisiaca*) variedad *Cavendish* en rodajas para Exportación".

En el estudio, se contemplaron tres niveles de maduración de acuerdo con estándares comerciales: G5 (20° a 21°), G6 (21° a 22°), y G7 (22° a 23°). Se experimentaron cuatro intervalos de tiempo de escaldado (t1: 3.0', t2: 3.0':30'', t3: 4.0', t4: 4.0':30'') a una temperatura constante de 90-95°C. La determinación del contenido de PPO se llevó a cabo mediante análisis espectrofotométrico a 420 nm, utilizando catecol como sustrato. Se empleó el Diseño Central Rotacional (DCCR) con 10 repeticiones por muestra para establecer el rango óptimo de tiempo de escaldado y grado de madurez.

El tratamiento más eficaz fue identificado como t4: 4.0' y G6: 21° a 22°Brix, mostrando una $\Delta Abs_{420}/min$ de 0.041 y una inactivación de la enzima PPO del 92.02%. Posteriormente, se analizaron las propiedades físico-químicas de las rodajas de banano tratadas, revelando un pH de 4.3, Brix de 21.8 y un porcentaje de acidez de 1.16 (Horna Delgado & Saldaña Garibay, 2019).

El estudio de Reacciones de Pardeamiento Presentes Durante El Procesamiento De Puré De Banano Que Afectan Su Calidad Y Sus Posibles Soluciones-Machala-Ecuador, 2019. En este estudio, se identificaron las variadas reacciones de pardeamiento susceptibles de surgir durante el procedimiento de elaboración del puré de banano. Se detallan las condiciones que propician dichas reacciones, así como aquellas que ejercen una función inhibitoria.

Se presenta un esquema de proceso del puré de banano a escala industrial, donde se especifican los parámetros en cada fase y se explican las causas subyacentes al fenómeno del pardeamiento. Además, se proponen soluciones específicas adaptadas a la naturaleza particular del problema. Se distinguen dos tipos de reacciones de

pardeamiento: las enzimáticas y las no enzimáticas. A pesar de la coexistencia de ambas, se llegó a la conclusión de que la reacción enzimática es la que más incide en la calidad del puré de banano.

En las etapas sugeridas, se desarrollaron estrategias físicas y químicas, junto con parámetros de control, con el fin de contrarrestar la reacción enzimática. Estas estrategias incluyen la administración de una solución de ácidos orgánicos para facilitar la incorporación de ácido ascórbico como antioxidante en el producto final, la reducción del pH, el precalentamiento para inhibir la enzima polifenoloxidasa mediante el aumento de la temperatura, y el desaireado para prevenir la oxidación enzimática al eliminar el oxígeno del producto.

Así mismo, se abordó el fenómeno de pardeamiento no enzimático durante el proceso, enfatizando las reacciones de Maillard y la caramelización de azúcares, las cuales son catalizadas por temperaturas elevadas. Por esta razón, se establecieron límites de temperatura durante la fase de esterilización para controlar estas reacciones no enzimáticas (Garay 2019).

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

Investigación Experimental: Se llevará a cabo con el objetivo de evaluar estrategias efectivas para inhibir la actividad de la enzima polifenol oxidasa (EPO) y reducir el proceso de pardeamiento en bananas Cavendish destinadas a la exportación. Se adoptará un enfoque científico riguroso para determinar la eficacia de métodos físicos o químicos en la preservación de la calidad visual de la fruta durante su almacenamiento.

En primer lugar, se incluirá la selección de muestras representativas de bananas Cavendish. Estas muestras se someterán a tratamientos específicos basados en métodos físicos, como la aplicación de barreras físicas, y métodos químicos, como el uso de agentes inhibidores de la EPO.

Se establecerán grupos de bananas de acuerdo al tratamiento para comparar la eficacia de cada método, considerando parámetros clave como la actividad enzimática, la calidad visual y la durabilidad de las bananas a lo largo del tiempo. Los datos recopilados se analizarán estadísticamente utilizando métodos apropiados, como análisis de varianza, para determinar las diferencias significativas entre los grupos y validar la efectividad de las estrategias evaluadas.

3.1.2 Diseño de Investigación

El diseño de bloque completamente al azar es una técnica experimental que permite minimizar el sesgo y controlar la variabilidad en los datos, lo que resulta esencial al investigar la eficacia de diferentes estrategias para inhibir la actividad de la EPO. En este contexto, los bloques representan las condiciones o factores que podrían influir en la actividad enzimática, el pH, el tipo de tratamiento aplicado ya sea físico o químico, entre otros; siendo así flexible y adaptable a diferentes configuraciones experimentales, en este caso específico la integración de métodos físicos o químicos para inhibir la actividad de la EPO, se están evaluando varias combinaciones de

tratamientos, como el uso de agentes químicos, agentes físicos o la modificación de las condiciones de almacenamiento. El diseño de bloque completamente al azar permite la comparación directa de estos tratamientos dentro de un marco experimental robusto y controlado.

Mediante la experimentación se evalúa el efecto de diferentes agentes químicos y métodos físicos en la inhibición del pardeamiento de las bananas Cavendish Musa AAA de exportación.

En primer lugar se seleccionó la variedad y número de bananas las cuales van a ser sometidas a la experimentación; las muestras se las extrajeron de fincas provenientes del cantón Santa Rosa y Pasaje; luego se prepararon los seis tratamientos a los cuales fueron sometidas las 120 bananas de la variedad Cavendish Musa AAA de exportación distribuidas en 20 bananas para cada tratamiento de las cuales se tomaron 3 bananas para medir y controlar tanto el color, peso, medida y calibración como métodos no destructivos y el pH como método destructivo de la fruta; todos estos controles se los realizó durante 31 días con un intervalo de 2 días.

En el primer tratamiento, se emplearon cubiertas plásticas de baja densidad como medida física para proteger un lote de 20 bananas de la variedad Cavendish Musa AAA destinadas a la exportación. En el segundo tratamiento, se optó por cubiertas plásticas de alta densidad con el mismo propósito y número de bananas. El tercer tratamiento, denominado coctel 1, consistió en la aplicación de sustancias químicas, incluyendo mertect 220, eclipse, satisfacer, select, ácido cítrico y alumbre, disueltos en agua destilada, sobre un lote de 20 bananas de la misma variedad, las cuales posteriormente fueron cubiertas con plástico de alta densidad. El cuarto tratamiento, coctel 2, implicó la aplicación de Gib bex, BC-1000 como cicatrizante, ácido cítrico y alumbre, disueltos en agua destilada, sobre un lote similar de bananas, seguido por la colocación de cubiertas plásticas de alta densidad. En el quinto tratamiento, coctel 3, se preparó una mezcla de mertec, satisfacer, ácido cítrico y alumbre en agua destilada, aplicada sobre otro lote de bananas, que luego fueron cubiertas con plástico de baja densidad. Por último, el sexto tratamiento, coctel 4, consistió en una dilución que contenía ácido cítrico, ecolife como cicatrizante, BC-1000 y jugo de limón natural, disueltos en agua destilada, aplicada sobre otro grupo de bananas, seguido por la utilización de cubiertas plásticas de baja densidad como método físico de protección;

los controles se realizaron con la toma de medidas a través de instrumentos como balanza digital, Peachímetro digital, calibrador variable, cinta de medida de banano, cuchillo curvo para cortar banano y la Escala de maduración de Von Loesecke.

TABLA 2. Tipos de Tratamientos

Tratamiento	Método Físico	Sustancias Químicas	Cantidad de sustancias químicas aplicadas	Cubierta Plástica
1 Cubierta de polietileno	Baja densidad	No aplica	No aplica	Baja densidad
2 Cubierta de polietileno	Alta densidad	No aplica	No aplica	Alta densidad
3 Coctel 1	Alta densidad	Mertect 220, Eclipse, Satisfar, Select, Ácido Cítrico, Alumbre	5 ml, 5 ml, 8 gr, 5 ml, 5 gr, 8 gr (disueltos en 1 litro de agua destilada)	Alta densidad
4 Coctel 2	Alta densidad	Gib Bex, BC-1000 (cicatrizante), Ácido Cítrico, Alumbre	5 ml, 5 ml, 5 gr, 8 gr (disueltos en 1 litro de agua destilada)	Alta densidad
5 Coctel 3	Baja densidad	Mertec, Satisfar, Ácido Cítrico, Alumbre	10 ml, 12 gr, 10 gr, 5 gr (disueltos en 1 litro de agua destilada)	Baja densidad
6 Coctel 4	Baja densidad	Ácido Cítrico, Ecolife (cicatrizante), BC-1000, Jugo de	5 gr, 5 ml, 5 ml, 5 ml (disueltos en 1 litro de agua destilada)	Baja densidad

		Limón Natural		
--	--	------------------	--	--

Elaborado: Autor, 2023

3.2 La Población y la Muestra

Población: Bananas de la variedad Cavendish Musa AAA de exportación.

Muestra: El material vegetal empleado en este proyecto de investigación fueron 120 bananas de la variedad Cavendish Musa AAA de exportación proveniente de los cantones Pasaje y Santa Rosa (El Oro).

3.2.1 Características de la Población

Se seleccionó para los tratamientos bananas de la variedad *Cavendish Musa AAA* de exportación y combinaciones de métodos físicos y químicos para inhibir la acción de la enzima polifenol oxidasa.

3.2.2 Delimitación de la Población

Las bananas de la variedad Cavendish Musa AAA de exportación se obtuvieron de haciendas de los cantones de Pasaje y Santa Rosa; Las muestras se tomaron de closters de 4 cajas de producción; a nivel mundial los cultivares de banano del subgrupo Cavendish son considerados los más ampliamente comercializados.

Se realizaron 6 tratamientos con tres repeticiones de cada uno con un control no destructible durante 31 días y se tomaron muestras de cada tratamiento para realizar procedimientos destructibles.

3.2.3 Tipo de Muestra

En el siguiente estudio de investigación se escogió el muestreo aleatorio simple debido a que es una de las técnicas más eficientes de muestreo probabilístico, que permite economizar tiempo y recursos. Este método constituye una forma confiable de recopilar información, en la cual cada miembro de una población es seleccionado de manera completamente aleatoria, sin ningún patrón preestablecido. En este

proceso, cada individuo tiene una probabilidad igual de ser seleccionado para formar parte de la muestra.

Se seleccionaron en total una población de 120 bananas de la variedad *Cavendish Musa AAA* de exportación de cada uno de los 6 tratamientos se escogieron 3 muestras para realizar los análisis de control no destructivo y cada 2 días se sometía a una banana de cada uno de los tratamientos a procedimientos destructivos para llevar un control en el efecto de la EPO en cuanto a su acción enzimática en el proceso de maduración.

3.2.4 Tamaño de la Muestra

Los tratamientos aplicados se detallan a continuación:

- En el tratamiento 1 solo se aplicó método físico como las cubiertas plásticas de polietileno de baja densidad **de la variedad *Cavendish Musa AAA* de exportación.**
- En el tratamiento 2 solo se aplicó como método físico las cubiertas plásticas de polietileno de alta densidad para 20 bananas **de la variedad *Cavendish Musa AAA* de exportación.**
- En el tratamiento 3 el cual se lo denominó coctel 1 se realizó una combinación de sustancias químicas como 5 ml de mertect 220, 5 ml de eclipse, 8 gr satisfacer, 5ml select, 5gr ácido cítrico, 8 gr alumbre disueltos en 1 litro de agua destilada el cual se almaceno en un rociador para cubrir a las bananas con esta combinación de sustancias. para 20 bananas **de la variedad *Cavendish Musa AAA* de exportación** las cuales se colocaron en un recipiente y luego se le aplicó una cubierta de plástico de polietileno de alta densidad como método físico.
- En el tratamiento 4 el cual se lo denominó coctel 2 se realizó una combinación de sustancias químicas la cual consistió en 5 ml de Gib bex, 5 ml de BC-1000 como cicatrizante, 5 gr de Ácido cítrico y 8 gr de alumbre disueltos en 1 litro de agua destilada para una muestra de 20 bananas **de la variedad *Cavendish Musa AAA* de exportación** las cuales se colocaron en un recipiente y luego se le aplicó una cubierta de plástico de polietileno de alta densidad como método físico.

- En el tratamiento 5 el cual se denominó coctel 3 se realizó una mezcla de 10 ml de mertec 12 gr de satisfacer, 10 gr. de ácido cítrico y alumbre 5 gr. disueltos en 1 litro de agua destilada para una muestra de 20 bananas **de la variedad *Cavendish Musa AAA de exportación*** las cuales fueron colocadas en una tina y luego se procedió aplicar una cubierta de plástico de polietileno de baja densidad como método físico.
- En el tratamiento 6 denominado coctel 4 se hizo una dilución que contiene 5 gr de ácido cítrico, 5 ml ecolife como cicatrizante, 5 ml de BC-1000, 5 ml de jugo limón natural disueltos en 1 litro de agua destilada para una muestra de 20 bananas **de la variedad *Cavendish Musa AAA de exportación*** las cuales fueron colocadas en un recipiente y luego se procedió aplicar una cubierta de plástico de polietileno de baja densidad como método físico.

3.2.5 Proceso de Selección de la Muestra

Se utilizaron como base 3 cajas de banano de las cuales se escogieron de manera aleatoria 20 bananas de la **variedad *Cavendish Musa AAA*** de exportación para cada uno de los 6 tratamientos; dentro de cada grupo de tratamiento se seleccionó a 3 bananas a las cuales se les realizó un seguimiento en los días 1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29, y 31 controlando el calibración, peso, medida como control no destructible; y pH y color en el resto de bananas como control destructible.

3.3 Los Métodos y las Técnicas

En los seis tratamientos de las muestras seleccionadas se realizó: medida; peso y calibración; pH; color.

3.3.1 Medida en Bananas de la *Variedad Cavendish Musa AAA* de Exportación.

Se procedió a seleccionar una muestra representativa de bananos Cavendish del lote o cultivo en consideración, siguiendo los protocolos establecidos para

garantizar la representatividad de las mediciones conforme a las características del conjunto (Phillips et al., 2021).

Para llevar a cabo la experimentación, se empleó una cinta métrica especialmente diseñada para plátanos, cuya función principal consiste en facilitar la medición precisa de longitud y diámetro. Estas mediciones son críticas para evaluar la uniformidad en el tamaño de las bananas Cavendish y asegurar la coherencia en los análisis físicos previos y posteriores a la aplicación de los métodos de inhibición (Kamble et al., 2021).

Durante el proceso de medición, la cinta métrica se dispuso cuidadosamente sobre la superficie del banano, de modo que la longitud total del fruto pudiera ser registrada desde el extremo superior hasta el extremo inferior. Para ello, se aseguró que la cinta métrica estuviera fijada de manera segura en la parte superior del extremo del plátano, manteniéndola estirada y en contacto directo con la superficie del fruto, siguiendo los procedimientos recomendados por Ringer & Blanke (2021).

Se procedió entonces a efectuar una medición precisa de la longitud desde el extremo superior hasta el inferior, respetando la curvatura natural del fruto, utilizando unidades de centímetros como estándar de medida (Ringer & Blanke, 2021). Este enfoque riguroso en la toma de medidas garantiza la integridad y confiabilidad de los datos recopilados, siendo esencial para el análisis comparativo de las diferentes estrategias de inhibición de la enzima polifenol oxidasa y la reducción del pardeamiento en las bananas Cavendish de exportación.

3.3.2 Peso en Bananas de la *Variedad Cavendish Musa AAA* de Exportación.

Se procede con la selección de una balanza calibrada y verificada con precisión, cuyo propósito es asegurar mediciones exactas y confiables. La balanza digital, meticulosamente calibrada, se emplea para cuantificar con exactitud el peso de las bananas. Este registro preciso del peso es esencial, ya que la pérdida de peso durante el almacenamiento puede indicar cambios metabólicos significativos,

siendo esta herramienta fundamental para evaluar la eficacia de los métodos de inhibición en la retención de humedad de la fruta (Bruggemann et al., 2023).

Previamente al proceso de pesaje, se procede a documentar datos iniciales tales como la fecha, hora y cualquier otra información relevante necesaria para garantizar el seguimiento y la trazabilidad del experimento (Wachter et al., 2017).

La balanza se dispone sobre una superficie nivelada y estable para evitar posibles influencias en las mediciones debido a la inclinación. Cada banano Cavendish está colocado con meticulosidad sobre la plataforma de la balanza, la cual registra la masa del fruto en unidades de gramos (Santos et al., 2018).

Se procede entonces a registrar el peso de cada banano de forma individual, lo que permite evaluar la variabilidad en el peso entre tratamientos y considerando el control sucesivo. La información final se registra exhaustivamente, incluyendo los pesos individuales y totales, junto con cualquier observación relevante. Estos datos recopilados son fundamentales para llevar a cabo un seguimiento detallado de la producción a lo largo del tiempo, contribuyendo así a la comprensión y análisis de los resultados obtenidos (Stevens et al., 2020).

3.3.3 PH en Bananas de la Variedad Cavendish Musa AAA de Exportación.

La medición del pH en bananas Cavendish implica la determinación del nivel de acidez o alcalinidad de la fruta.

La medición del pH en bananas Cavendish implica la determinación del nivel de acidez o alcalinidad de la fruta. Para este propósito, se seleccionan plátanos Cavendish representantes de la plantación. Se emplea el Peachímetro, un dispositivo especializado de medición de pH, con el fin de determinar con precisión la acidez en el plátano. Este instrumento permite realizar mediciones puntuales y continuas del pH, proporcionando datos cruciales para evaluar la eficacia de los tratamientos de inhibición en la regulación del entorno bioquímico de la fruta (Mundo Coxca et al., 2020).

El proceso de medición implica el uso de un electrodo de pH, un dispositivo diseñado para medir la actividad de iones de hidrógeno en una solución. Previamente a la medición, se procede a calibrar el electrodo utilizando soluciones estándar de pH conocidas, habitualmente soluciones tampón, para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados (Nguyen et al., 2021).

Una vez calibrado, el electrodo de pH se sumerge en el extracto de banana previamente extraída. Se toma una lectura precisa del pH, la cual se registra utilizando un equipo de medición o un registrador de datos (Santos et al., 2018). Los resultados obtenidos mediante esta técnica pueden ser comparados con estándares de calidad predefinidos para determinar si los bananos cumplen con los requisitos establecidos, contribuyendo así a la evaluación de su idoneidad para el consumo y comercialización (Safdari et al., 2021).

3.3.4 Color en Bananas de la *Variedad Cavendish Musa AAA* de Exportación.

La medición del color de las bananas Cavendish es indicativa del nivel de maduración de la fruta y desencadena procesos fisiológicos relevantes. Para este propósito, se seleccionan plátanos Cavendish provenientes de las fincas de Santa Rosa y Pasaje, garantizando así una muestra representativa para el análisis. Para llevar a cabo esta evaluación, se emplea la escala de maduración de Von Loesecke, reconocida como una herramienta estándar para clasificar el grado de madurez de las bananas. Esta escala proporciona una referencia objetiva para la evaluación del estado de maduración antes y después de aplicar los métodos de inhibición, contribuyendo así a la comprensión de la respuesta de la fruta a los tratamientos (Ringer & Blanke, 2021).

Durante el proceso de medición, se utiliza la escala de Von Loesecke para comparar los cambios de color observados en cada muestra. Esta escala abarca la observación del cambio cromático en la epidermis del plátano, desde una coloración verde intensa hasta tonalidades amarillas o incluso con manchas marrones, señaladoras de diferentes fases de maduración y cambios en la composición bioquímica de la fruta (Santoyo-Mora et al. , 2019).

Es esencial tener en cuenta que diversas escalas pueden contemplar distintos factores y criterios de evaluación, lo que subraya la importancia de seleccionar una escala adecuada que se ajuste a los objetivos específicos de la investigación y las características de las bananas Cavendish analizadas (Hewitt & Dhingra, 2020). Esta consideración contribuye a la precisión y relevancia de los resultados obtenidos en el estudio del proceso de maduración y la efectividad de los tratamientos de inhibición aplicados.

3.3.5 Calibración en Bananas de la Variedad Cavendish Musa AAA de Exportación.

Para llevar a cabo la evaluación del diámetro de las bananas Cavendish en cada tratamiento, se procede con la selección de una muestra representativa de bananas de cada grupo experimental. Se utiliza un calibrador de precisión específicamente diseñado para la medición del diámetro de las bananas, lo que permite estandarizar las dimensiones de las frutas con gran exactitud. Este instrumento posibilita la verificación y ajuste preciso de las medidas, asegurando así la uniformidad en los análisis y la comparabilidad entre diferentes lotes de plátanos sometidas a cada tratamiento (Yun et al., 2019).

El calibrador variable empleado en estas mediciones es ampliamente reconocido como el dispositivo calibrador más utilizado en entornos agrícolas (Yun et al., 2019). Su diseño se destaca por un sistema mecánico basado en un mecanismo de ajuste que permite variar la apertura del instrumento para adaptarse a distintos tamaños de bananos.

Este calibrador incorpora una escala métrica en los brazos de medición, lo que facilita la evaluación precisa de la longitud y el diámetro de los bananos en unidades métricas. Además, cuenta con brazos ajustables que pueden abrirse o cerrarse para adaptarse al tamaño específico de los plátanos, lo que garantiza mediciones precisas y consistentes (Chu et al., 2022).

Las puntas de medición, ubicadas en los extremos de los brazos del calibrador, están especialmente diseñadas para minimizar el impacto en la piel de la banana mientras se proporcionan mediciones precisas. Esta característica asegura la

integridad de la fruta durante el proceso de medición, evitando daños innecesarios que podrían afectar los resultados obtenidos (Mohd Zaini et al., 2022).

3.3.6 El Cuchillo Curvo para Cortar Banano.

El cuchillo curvo diseñado para el corte de bananos se distingue como una herramienta especializada en la industria alimentaria, con características específicas destinadas a maximizar la eficiencia y minimizar el desperdicio. Su hoja curvada ergonómicamente, fabricada con acero inoxidable o materiales de calidad alimentaria, facilita un corte suave y preciso, gracias a los filos de corte agudos a lo largo de su sección curva (Abd El-Wahhab et al., 2023). El diseño del mango, ergonómico y con características antideslizantes, proporciona un agarre cómodo y seguro, reduciendo la fatiga del usuario durante su uso y garantizando la estabilidad durante las operaciones de corte, optimizando así la eficiencia y minimizando el desperdicio (Al-Dairi et al., 2023).

Este instrumento es ampliamente utilizado en la industria alimentaria, en plantas de procesamiento de frutas y en la preparación de alimentos, para lograr cortes uniformes y rápidos en bananas, cumpliendo con los estándares de higiene alimentaria y asegurando la seguridad alimentaria. Fabricado con materiales duraderos que resisten el uso continuo, posiblemente requiera mantenimiento regular, como el afilado, para garantizar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo. Es importante tener en cuenta que las características específicas y nomenclatura pueden variar según la región o la industria (B. Xie et al., 2022; Firdous et al., 2023).

3.3.7 Métodos Físicos y Sustancias Químicas Aplicadas en los Tratamientos de Bananas de la Variedad Cavendish Musa AAA de Exportación.

Las cubiertas empleadas en plantaciones de bananos, fabricadas con polietileno de baja densidad (LDPE), se caracterizan por su flexibilidad y resistencia, siendo preferibles espesores entre 20 y 100 micrones para una mayor durabilidad (Steinmetz et al., 2022). Disponibles en diversas formas y tamaños, estas cubiertas, incluyendo láminas planas, rollos y bolsas, se adaptan a las

necesidades específicas de las plantaciones, pudiendo ser fabricados con materiales biodegradables para minimizar el impacto ambiental (Parlato et al., 2020).

Las cubiertas plásticas de polietileno de alta densidad son láminas fabricadas con un tipo de polímero termoplástico conocido como polietileno de alta densidad (HDPE). Estas cubiertas se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluyendo la agricultura, la construcción y el embalaje, debido a su resistencia, durabilidad y capacidad para proteger contra la humedad y los elementos externos. Su alta densidad les confiere propiedades como una mayor rigidez y resistencia a la tracción en comparación con el polietileno de baja densidad (LDPE). (Szlachetka et al., 2021).

Select 101, un fitoregulador líquido de 250 ml producido por Fiala Group LLC, contiene ácido giberélico y etefón en concentraciones de 101 g/L y 720 g/L, respectivamente (Gill et al., 2023). Este compuesto influye en la biosíntesis del etileno, gas vital en la regulación del desarrollo y la maduración de las plantas, acelerando el proceso de maduración mediante una absorción eficiente y desencadenando respuestas fisiológicas (Edwards et al., 2021; Gonzali & Perata, 2021). Su aplicación facilita la transición de las plantas del estado juvenil al adulto, optimizando el ciclo de producción y aumentando el rendimiento agrícola al reducir el número de cosechas necesarias (Arata et al., 2020; Dufour et al., 2020).

GIB-BEX (PBUA 157-SENASA) es un regulador de crecimiento líquido que combina ácido giberélico y extractos de algas para promover el desarrollo equilibrado de cultivos como papa, brócoli, alcachofa y páprika (Rivas Giraldo, 2020; Maleki et al., 2020). Disponible en diferentes presentaciones, su composición incluye giberelinas en un 1.5% y solventes en un 98.5%, con una proporción de 9.89 g/L de giberelinas y 901.1 g/L de extracto de algas (Tyagi et al., 2022; Khan et al., 2023). Diseñado específicamente para una aplicación eficaz y controlada, GIB-BEX influye en la tasa de crecimiento, la elongación de tallos, la calidad de la cosecha y la sincronización de eventos fenológicos (Kronenberg et al., 2021).

Ecolife B es un fertilizante orgánico enriquecido con boro, con una composición de carbono orgánico al 16,36%, materia orgánica al 27,95% y una concentración de boro del 0,22%, presentado en un envase de 125 cc (Ghiasi et al., 2023). Este producto, diseñado para estimular la defensa vegetal, promueve el desarrollo vegetal al proporcionar nutrientes esenciales de manera controlada y eco-amigable, destacando la función crucial del boro como cofactor enzimático en la síntesis de carbohidratos y la estabilidad de las paredes celulares (Y. Zheng et al., 2022; W.-L. Hong et al., 2022).

ECLIPSE 250, un fungicida agrícola fabricado por Ecuaquímica en forma líquida, contiene Metribuzina como materia activa sistémica con propiedades herbicidas selectivas, siendo absorbido principalmente por las raíces y en menor medida por las hojas (Alzate Acevedo et al., 2021). Se transloca y acumula en diversas partes de la planta, brindando control tanto en etapas de preemergencia como en post-emergencia temprana (Restrepo Gutiérrez, 2020).

BC-1000 CHEMIE, un fungicida natural de contacto, contiene 60 g/L de aceite esencial de naranja (D-Limoneno) en una formulación líquida desarrollada para el control preventivo de la pudrición de la corona y la sigatoka negra en plantaciones de banano. con baja toxicidad y suministrado por CHEMIECUADOR EARTH FRIENDLY (Brito et al., 2021; Montenegro et al., 2020). Apto para uso en cosecha, contribuye a una postcosecha de calidad y al control de enfermedades en cerezos, retrasando la deshidratación del pedicelo de los frutos, aunque su eficacia puede variar según el cultivo y las condiciones ambientales (Constantino et al., 2022; Li et al., 2023).

RyzUp 40, un regulador de crecimiento natural, contiene 400 g/Kg de ácido giberélico en una presentación sólida de 62.5 gramos proporcionada por SUMITOMO CHEMICAL ECUADOR SA (Culqui et al., 2020). RYZUP 40% GS, basado en ácido giberélico, estimula la elongación y multiplicación celular, la floración y mejora la calidad de los frutos (Salvador-Carhuarupay et al., 2021). RYZUP 40 SG, también con ácido giberélico, promueve el crecimiento vegetal de manera ecológica, absorbiéndose foliarmente y afectando la latencia de semillas, tubérculos y bulbos (Flores et al., 2023).

MERTECT 220, un fungicida agrícola en concentrado soluble (SL) de 100 ml, contiene 220 g/L de tiabendazol y 177,65 g/L de ácido fosfínico, con aditivos para completar 1 litro (Heredia Ortega, 2021). Diseñado para el control de hongos, es eficaz contra la pudrición en cultivos de bananos y plátanos, destacando por su rápida absorción y traslocación dentro de la planta (Hernández Cifuentes, 2019). Clasificado como sistémico, se recomienda para el control de enfermedades fúngicas en estos cultivos, disponible en diferentes tamaños de envase para adaptarse a las necesidades del usuario (Ismaila et al., 2023).

BANACHEM, una formulación química especializada, se emplea para disolver el látex en plantaciones de banano, facilitando su separación del fruto (Alexander, 2020). Se recomienda diluir un litro de BANACHEM en cuatro litros de agua para su aplicación, seguido por una dosificación manual o por goteo en cada tina con 40 gotas por minuto (Kalse & Swami, 2022). Su uso se indica diariamente durante el proceso de corte y empaque de la fruta en la etapa postcosecha, y se presenta en envases líquidos de 700 ml (Alexander, 2020).

La aplicación de aluminio sólido en la postcosecha de productos agrícolas se enfoca en mejorar la calidad y prolongar su vida útil como agente clarificador y astringente (Kershaw & Running, 2019). Con una composición química definida como sulfato doble de aluminio y potasio ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), se utiliza para aclarar el agua de lavado y purificarla, coagulando partículas coloidales y mejorando su calidad microbiológica (Milani & Timelli, 2023). Estas propiedades astringentes también ayudan a reducir la división microbiana y prevenir la proliferación de patógenos en productos agrícolas, contribuyendo a su conservación (Cogollo Flórez, 2011). En resumen, el empleo de alumbre sólido en la postcosecha optimiza la calidad y seguridad de los productos agrícolas, facilitando su preservación y comercialización efectiva (Muñiz-López et al., 2021).

El ácido cítrico, un ácido débil orgánico de la familia de los ácidos carboxílicos con fórmula química $C_6H_8O_7$, es reconocido por su alta solubilidad en agua y su estructura cíclica de seis átomos de carbono (Ciriminna et al., 2017). Abundante en cítricos como limones y naranjas, su producción industrial se realiza mediante fermentación con microorganismos como *Aspergillus niger* (ÁCIDO CÍTRICO »

Propiedades, Usos Y Aplicaciones, 2023). Ampliamente utilizado en la industria alimentaria como aditivo para realzar el sabor y la acidez, en la conservación de alimentos como agente antioxidante, y en la formulación de medicamentos y suplementos en la industria farmacéutica, el ácido cítrico desempeña también funciones biológicas cruciales en el ciclo del ácido cítrico y como cofactor enzimático en diversas reacciones metabólicas (Reena et al., 2022).

Satisfar 100 gr es un fungicida sistémico del grupo de las estrobilurinas, efectivo contra diversos hongos patógenos en cultivos como papa, maíz y frutales. Su ingrediente activo, Azoxystrobin, se presenta en gránulos dispersables en agua con una concentración de 500 g/kg y dosis recomendada de 60-100 g/200 L (Z. Hong et al., 2021). Se sugiere su uso preventivo en programas de control alternando con otros fungicidas para evitar resistencia. Al ser de acción "unisitio", se aconseja rotarlo con fungicidas de acción "multisitio" y aplicarlo con un volumen de agua adecuado para una cobertura uniforme (Cannon et al., 2022). En síntesis, Satisfar 100 gr es un fungicida confiable con amplio espectro de acción y concentración óptima de Azoxystrobin para el control efectivo de patógenos fúngicos (Amador et al., 2024)

3.4 Procesamiento Estadístico de la Información.

El procesamiento estadístico se lo realizó mediante jamovi 2.3.28, ingresando los datos resultantes de la fase de experimentación de cada tratamiento, con los cuales se aplicó un diseño de bloques completos al azar (DBCA)

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + Y_j + \varepsilon_{ij}.$$

Donde:

Y_{ij}: Este término representa la observación de la variable dependiente. En un diseño experimental, *i* podría referirse a diferentes tratamientos o condiciones, mientras que *j* indicaría las repeticiones o unidades dentro de cada tratamiento.

μ: Es la media global de todas las observaciones. Este término representa el efecto general promedio sobre la variable dependiente, independientemente de cualquier

otra variable o condición. En algunos contextos, se interpreta como el intercepto o la constante de la regresión.

τ_i : Es el efecto del tratamiento o condición i . Indica cómo difiere la media de la variable dependiente para el grupo i en comparación con la media global μ . En un diseño experimental, τ_i captura el efecto específico del tratamiento i en la variable dependiente.

Y_j : Este término representa el efecto aleatorio de la j -ésima unidad dentro de cada grupo o condición. Es importante notar que este término es aleatorio, lo que implica que hay variabilidad adicional en los datos debido a factores no controlados o aleatorios.

ϵ_{ij} : Es el error aleatorio asociado con la observación Y_{ij} . Representa la diferencia entre la observación real y el valor predicho por el modelo para esa observación específica. Este término incorpora todas las fuentes de variabilidad no capturadas por los otros términos del modelo.

Donde se evaluó el tiempo y procesos no destructivos como color, medida, calibración, peso y pH.

Ahora bien, el DBCA es fundamental en la investigación, debido a su capacidad para controlar y reducir la variabilidad experimental. Al distribuir las unidades experimentales en bloques homogéneos basados en características relevantes, permite controlar factores de confusión que podrían distorsionar los resultados del estudio. Al mismo tiempo, al asignar aleatoriamente tratamientos dentro de cada bloque, se reduce el sesgo experimental y se mejora la precisión de las estimaciones de los efectos de los tratamientos.

Esto facilita la detección de diferencias significativas entre los tratamientos y la realización de inferencias válidas sobre la población en estudio, lo que aumenta la validez interna y externa de los resultados de la presente investigación. A continuación, se presenta un esquema de varianza.

Tabla 3. Resumen de Esquema de Varianza del Experimento

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total ($n - 1$)	179
Tratamientos ($t - 1$)	5
Repeticiones ($R - 1$)	29
Error experimental ($(t - 1) (R - 1)$)	145

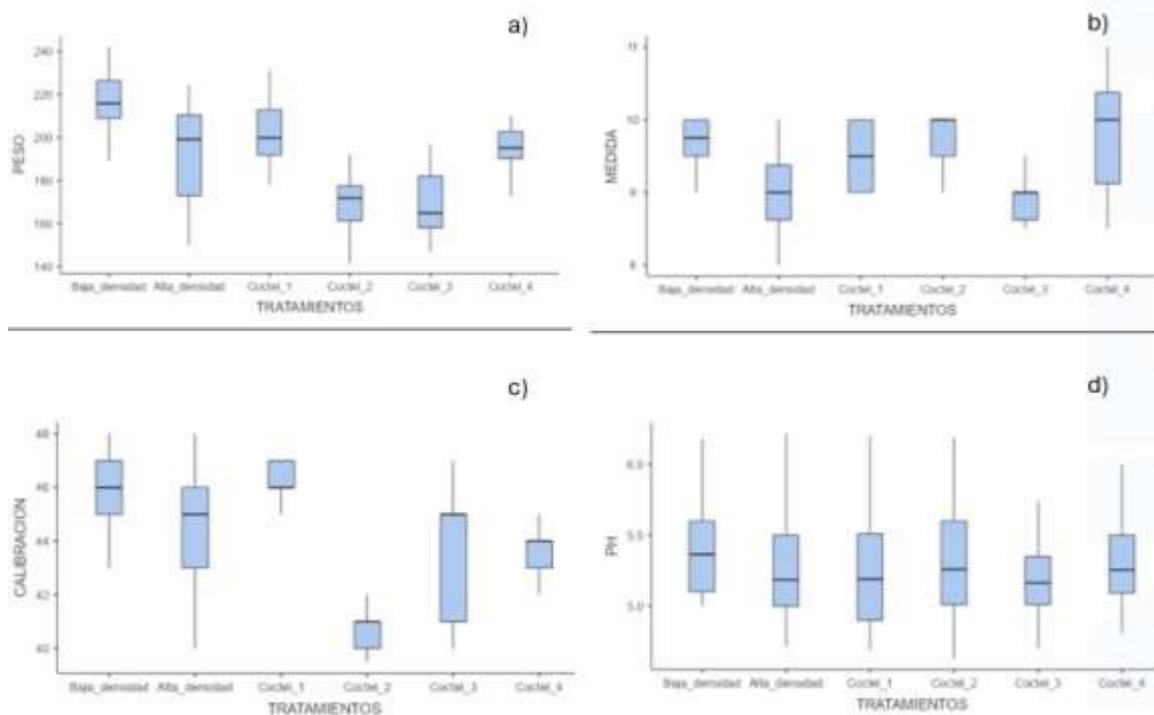
n: número total de datos; t: número de tratamientos; R: número de repeticiones

Elaborado: Autor, 2023

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de los Resultados

El análisis descriptivo resultó fundamental, ya que proporcionó una visión inicial y global de las características de los datos recolectados. En el contexto de la investigación sobre la determinación del tratamiento más efectivo para reducir la velocidad del pardeamiento enzimático en bananas de exportación, este análisis permitió identificar la distribución del peso, tamaño, calibración, pH y otras variables relevantes entre los diferentes tratamientos aplicados. Esto fue esencial para obtener una comprensión completa de cómo estas variables se distribuyeron en cada grupo de tratamiento, revelando así patrones iniciales, tendencias y posibles relaciones entre ellas.



Los diagramas de caja y bigote proyectan a la distribución de un conjunto de datos de las variables a) peso; b) medida; c) calibración; d) pH.

Figura 1. Comportamiento de las variables de interés en control constante

Elaborado: Autor, 2023

Tabla 4. Tabla de Contingencia de Tratamiento y Color de Bananas de Exportación

TRATAMIENTO	COLOR							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
Alta densidad	613	1212	1204	1146	563	551	529	5818
Baja densidad	685	2693	1941	1202	0	0	0	6522
Coctel_1	633	2506	1796	1142	0	0	0	6077
Coctel_2	535	2106	1026	495	489	464	0	5114
Coctel_3	533	2095	1523	909	0	0	0	5059
Coctel_4	610	1210	1203	1750	556	533	0	5863
Total	3608	11822	8695	6644	1608	1548	529	34452

Elaborado: Autor, 2023

Se empleó la prueba de Chi-cuadrado para evaluar la independencia entre las variables categóricas, con el objetivo de detectar posibles asociaciones significativas entre ellas.

Tabla 5. Resultados de la Prueba de Chi-Cuadrado para la Relación entre Tratamiento y Color

	Valor	Gl	P
χ^2	7762	30	< .001
N	34452		

Elaborado: Autor, 2023

Para determinar el tratamiento más específico, se llevó a cabo en primera instancia un diseño de bloques completos al azar.

Tabla 6. Resumen del Análisis de Varianza en cada uno de los Tratamientos

Tratamientos	Peso (g)	Medida (in.)	Color	Calibración (in.)	pH
Alta densidad	193,92 B	9 B	3,7 A	44,83 B	5,3 A
Baja densidad	217,41 A	9,72 A	2,6 B	45,93 AB	5,42 A
Coctel_1	202,55 B	9,48 A	2,6 B	46,25 A	5,26 A
Coctel_2	170,47 C	9,68 A	3 AB	40,78 D	5,32 A
Coctel_3	168,64 C	8,9 B	2,6 B	43,7 C	5,19 A
Coctel_4	195,42 B	9,78 A	3,4 AB	43,59 C	5,3 A

*ANOVA del DBCA, Tukey al 5% de probabilidad. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Elaborado: Autor, 2023

Se realizó un análisis de correlación entre las variables peso, calibración, medida y pH, ya que son cruciales para determinar el tratamiento más efectivo en el control del pardeamiento enzimático de las bananas de exportación.

Tabla 7. Matriz de Correlación en el Control Constante de las Variables Peso, Calibración, Medida y PH

		PESO	MEDIDA	CALIBRACION	PH	DUMMY
PESO	R de Pearson	—				
	valor p	—				
MEDIDA	R de Pearson	0.444 ^{***}	—			
	valor p	< .001	—			
CALIBRACION	R de Pearson	0.721 ^{***}	0.004	—		
	valor p	< .001	0.956	—		
PH	R de Pearson	0.383 ^{***}	0.220 ^{**}	0.264 ^{***}	—	
	valor p	< .001	0.003	< .001	—	
DUMMY	R de Pearson	-0.460 ^{***}	0.020	-0.426 ^{***}	-0.103	—
	valor p	< .001	0.786	< .001	0.167	—

Nota. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Elaborado: Autor, 2023

La utilización de la matriz de diagrama de dispersión de las variables de interés en el presente proyecto resultó esencial para comprender las relaciones entre las diferentes

variables. Esta herramienta proporcionó una visualización completa de cómo se relacionaban las variables entre sí, lo que facilitó la identificación de patrones, tendencias y posibles asociaciones que podrían no haber sido evidentes al analizar las variables individualmente. Además, la matriz ayudó en el análisis exploratorio de datos al generar hipótesis sobre relaciones causales o influencias mutuas entre las variables. También permitió detectar valores atípicos que podrían haber distorsionado el análisis estadístico, una herramienta invaluable que apoyó la toma de decisiones al proporcionar una comprensión intuitiva de las relaciones entre las variables, lo que fue fundamental para diseñar estrategias efectivas y tomar decisiones informadas en el proyecto.

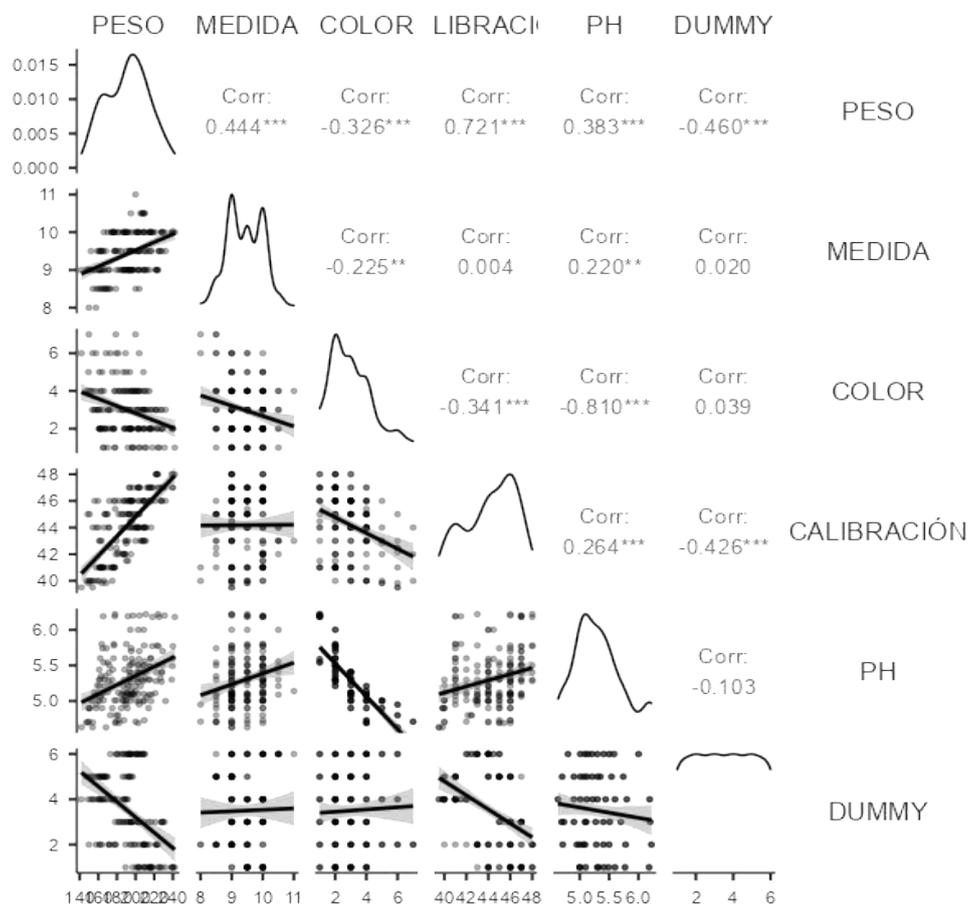
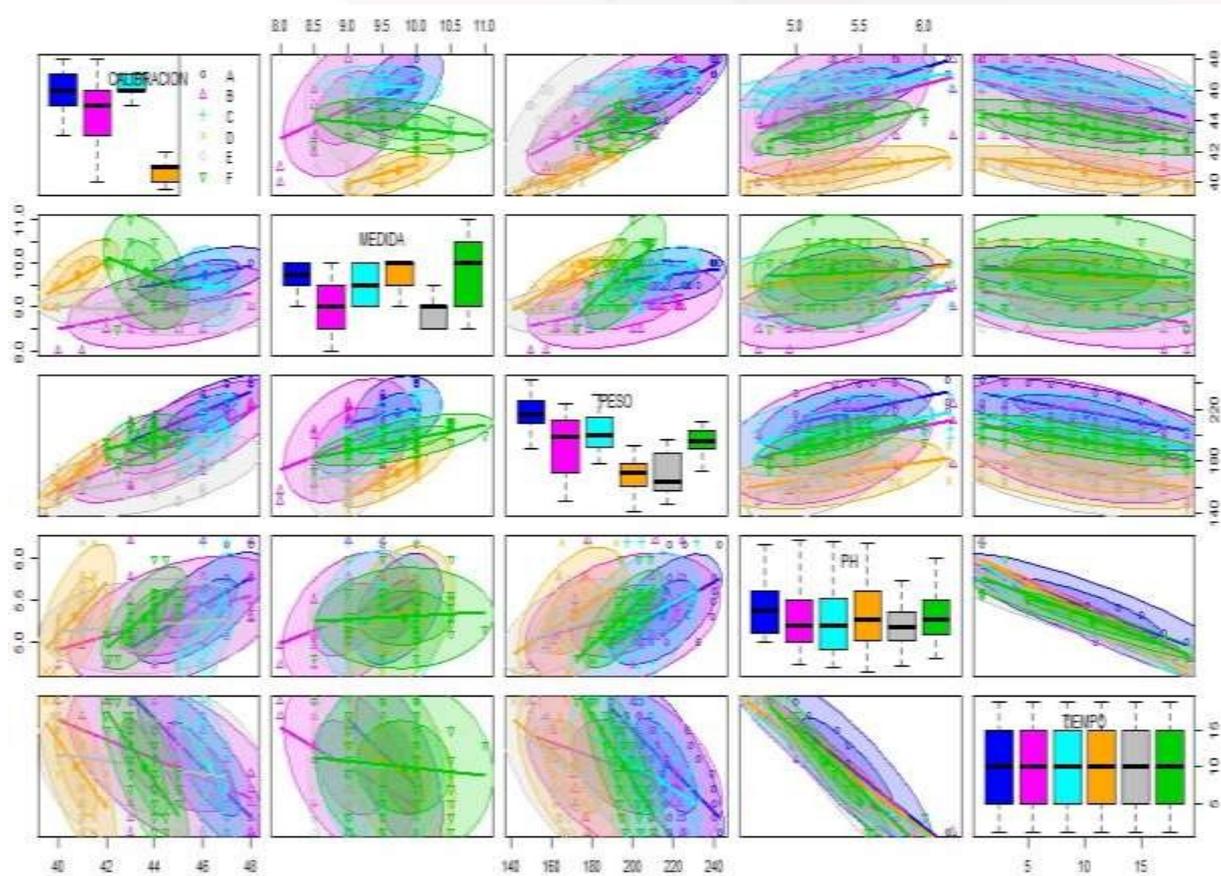


Figura 2. Correlación de las variables de interés en control constante
Elaborado: Autor, 2023



A: Alta densidad; B: Baja densidad; C: Coctel 1; D: Coctel 2; E: Coctel 3; F: Coctel 4.
 Figura 3. Matriz de diagrama de dispersión de variables de interés
 Elaborado: Autor, 2023

4.2. Interpretación de los Resultados

El análisis de las medias de los diferentes tratamientos reveló variaciones significativas en las variables estudiadas. En cuanto al peso, el tratamiento de "Baja densidad" mostró el mayor promedio, seguido por "Coctel_1" y "Coctel_4", mientras que "Coctel_3" tuvo el menor valor medio. Respecto a la medida, "Baja densidad" también lideró con la medida promedio más alta, seguido por "Coctel_1" y "Coctel_2", mientras que "Coctel_3" presentó la medida promedio más baja. En cuanto al color, "Alta densidad" exhibió el valor medio más alto, seguido por "Coctel_4" y "Coctel_2", mientras que "Baja densidad" presentó el color promedio más bajo. La calibración mostró una variación similar, con "Coctel_1" teniendo el promedio más alto, seguido por "Baja densidad" y "Coctel_3", y "Coctel_2" mostrando la calibración promedio más baja. Por último, el pH más alto se observó en "Baja densidad", seguido por "Coctel_1" y "Coctel_2", mientras que "Coctel_3" tuvo el pH promedio más bajo. Estas diferencias

subrayaron la importancia de considerar los distintos tratamientos y sus efectos en las variables estudiadas para comprender mejor el impacto de cada uno en el fenómeno investigado.

El análisis de la varianza en los diferentes tratamientos reveló discrepancias significativas en la dispersión de los datos para las variables estudiadas. En relación con el peso, la mayor variabilidad se observó en el tratamiento de "Alta densidad", seguido por "Baja densidad" y "Coctel_1", mientras que "Coctel_4" mostró la menor variabilidad en peso. En cuanto a la medida, "Coctel_2" exhibió la mayor variabilidad, seguido por "Baja densidad" y "Coctel_1", mientras que "Coctel_3" mostró la menor variabilidad en esta variable. Respecto al color, "Alta densidad" presentó la mayor variabilidad, seguido por "Coctel_4" y "Coctel_2", mientras que "Coctel_3" mostró la menor variabilidad en color. Para la calibración, "Coctel_3" mostró la mayor variabilidad, seguido por "Alta densidad" y "Baja densidad", mientras que "Coctel_1" mostró la menor variabilidad. Finalmente, en cuanto al pH, "Alta densidad" exhibió la mayor variabilidad, seguido por "Baja densidad" y "Coctel_1", mientras que "Coctel_3" mostró la menor variabilidad en el pH. Estas diferencias en la variabilidad entre los tratamientos resaltaron la importancia de considerar la consistencia de los datos y la estabilidad de las variables en el diseño y la interpretación de los resultados del estudio.

4.2.1. Evaluación de los Métodos Físicos y Químicos en Bananas de Exportación Mediante la Comparación de la Escala de Von Loesecke para Realizar Ajustes que Ayuden a Mejorar los Tratamientos Aplicados

El objetivo principal de este análisis fue investigar la posible relación entre dos variables categóricas fundamentales: "Tratamiento" y "Color". Se empleó un enfoque que implicó la utilización de tablas de contingencia y la ejecución de pruebas de Chi-cuadrado para examinar esta relación. La tabla de contingencia proporcionó un resumen detallado de las frecuencias observadas en cada combinación única de tratamiento y color, abarcando un total considerable de 34,452 observaciones en la muestra.

Este análisis es esencial para comprender la influencia de los diferentes tratamientos aplicados en el color resultante de las bananas de exportación. El color es un factor

crítico en la percepción de la calidad y frescura de las bananas, convirtiéndose en un indicador clave para evaluar la efectividad de los métodos físicos y químicos empleados para inhibir el pardeamiento enzimático durante el proceso de exportación.

La utilización de tablas de contingencia permite una visualización clara de cómo se distribuyen las observaciones en función de las combinaciones de tratamiento y color. Esto proporciona una base sólida para la interpretación de los resultados de las pruebas de Chi-cuadrado, que determinan si existe una asociación significativa entre las variables categóricas.

Con un total de 34,452 observaciones, este análisis cuenta con un conjunto de datos robusto y representativo, lo que aumenta la fiabilidad de los resultados obtenidos. La amplitud de la muestra también proporciona una mayor confianza en la generalización de los hallazgos a la población objetivo de bananas de exportación.

Este análisis exhaustivo desempeña un papel crucial al evaluar la relación entre los tratamientos aplicados y el color resultante de las bananas Cavendish destinadas a la exportación, brindando información valiosa para mejorar los procesos de manejo y conservación postcosecha de este producto altamente demandado a nivel internacional.

Los resultados revelan un valor de Chi-cuadrado (χ^2) de 7762, con 30 grados de libertad (Gl) y un valor de $p < 0.001$, indicando una asociación significativa entre las variables "Tratamiento" y "Color". En otras palabras, los diferentes tratamientos aplicados tienen un efecto significativo en el color de las bananas de exportación. Al ser el valor de p menor que el nivel de significancia comúnmente utilizado (0.05), se rechaza la hipótesis nula de independencia entre las variables, lo que sugiere que los diferentes tratamientos influyen en el color de las bananas de manera no aleatoria.

Esta asociación señala que los diferentes tratamientos aplicados tienen un impacto medible en el color de las bananas destinadas a la exportación. Es crucial para comprender y mejorar los métodos físicos y químicos utilizados para inhibir el pardeamiento enzimático durante el proceso de exportación de las bananas Cavendish. La notable discrepancia entre los datos observados y esperados refuerza la conclusión de que los tratamientos empleados influyen significativamente en el

color de las bananas, destacando la importancia de este análisis para optimizar la calidad del producto.

Es esencial destacar la presencia de celdas con frecuencias igual a cero, ya que esto puede tener un impacto significativo en la interpretación de la prueba de Chi-cuadrado. La identificación de asociaciones significativas entre el tratamiento y el color de la fruta tiene implicaciones prácticas importantes. Un valor de p menor que el nivel de significancia (por ejemplo, 0.05) respaldaría la existencia de una asociación significativa, lo que permite rechazar la hipótesis nula y fortalece la validez de los hallazgos obtenidos.

Este análisis no solamente valida la existencia de una asociación significativa entre el tratamiento y el color de la fruta, sino que también resalta la importancia de investigar las discrepancias entre las frecuencias observadas y esperadas en las celdas. Estas discrepancias ofrecen una visión valiosa sobre las combinaciones específicas de tratamiento y color que contribuyen de manera significativa a la asociación identificada.

A la luz de estos resultados, se llevaron a cabo análisis adicionales, incluido un análisis de varianza mediante el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con el propósito de obtener una comprensión más profunda de la naturaleza de esta asociación entre el tratamiento y el color de la fruta.

4.2.2. Determinación del Tratamiento más Específico mediante el Control Constante de las Variables Peso, Calibración, Medida y PH para Reducir la Velocidad del Pardeamiento Enzimático en Bananas de Exportación Causada por Polifenol Oxidasa

En la tabla 6 se ofrece una visión general de los efectos de diferentes tratamientos en varias variables importantes: peso, medida, color, calibración y pH. Es decir, cómo diferentes tratamientos afectan diversas características de las muestras, lo que puede ser crucial para la optimización de los métodos de procesamiento y la calidad del producto final.

Los resultados del diseño de bloques completamente al azar (DBCA) para la variable "Peso" muestran una variabilidad significativa en el modelo ($p < 0,0001$), lo que sugiere que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto estadísticamente significativo en el peso de las muestras. La prueba de Tukey revela diferencias significativas en las medias de peso entre algunos tratamientos. Las medias de peso para cada tratamiento son: Baja densidad (217,41 g), Coctel 1 (202,55 g), Coctel 4 (195,42 g), Alta densidad (193,92 g), Coctel 2 (170,47 g) y Coctel 3 (168,64 g). Según la prueba de Tukey, no se encuentran diferencias significativas entre las medias de los tratamientos que comparten la misma letra, pero sí entre las medias de los tratamientos con letras diferentes. Estos hallazgos sugieren que la elección del tratamiento puede influir en el peso de las muestras y, por ende, en la calidad del producto final.

Los resultados para la variable "Medida" también revelan una variabilidad significativa en el modelo ($p < 0,0001$). La prueba de Tukey indica que hay diferencias significativas entre las medias de algunos tratamientos. Las medias de medida para cada tratamiento son: Coctel 4 (9,78), Baja densidad (9,72), Coctel 2 (9,68), Coctel 1 (9,48), Alta densidad (9,00) y Coctel 3 (8,90). Estos resultados sugieren que algunos tratamientos pueden tener un impacto significativo en la medida de las muestras, lo que es fundamental para la evaluación de la calidad del producto final.

En cuanto a la variable "Color", se observa una variabilidad significativa en el modelo ($p = 0,0021$), indicando que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto estadísticamente significativo. La prueba de Tukey revela diferencias significativas entre algunas medias de color. Las medias para cada tratamiento son: Alta densidad (3,70), Coctel 4 (3,40), Coctel 2 (3,00), Coctel 3 (2,60), Coctel 1 (2,60) y Baja densidad (2,60). Estos resultados sugieren que algunos tratamientos pueden influir significativamente en el color de las muestras, lo que podría afectar la calidad del producto final.

Para la variable "Calibración", se observa una variabilidad significativa en el modelo ($p < 0,0001$), lo que sugiere que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto estadísticamente significativo. Las medias de calibración para cada tratamiento son: Coctel 1 (46,25), Baja densidad (45,93), Alta densidad (44,83), Coctel 3 (43,70),

Coctel 4 (43,59) y Coctel 2 (40,78). Estos resultados indican que algunos tratamientos pueden tener un impacto significativo en la calibración de las muestras, lo que es esencial para la precisión y fiabilidad de cualquier proceso de medición.

Finalmente, para la variable "pH", el modelo no muestra una variabilidad significativa ($p = 0,3738$), sugiriendo que los tratamientos no tienen un efecto estadísticamente significativo en esta variable. Las medias de pH para cada tratamiento son: Baja densidad (5,42), Coctel 2 (5,32), Coctel 4 (5,30), Alta densidad (5,30), Coctel 1 (5,26) y Coctel 3 (5,19). Estos resultados sugieren que los tratamientos no tienen un impacto significativo en el pH de las muestras, lo que podría ser relevante para comprender cómo los diferentes métodos afectan las propiedades químicas de las bananas de exportación.

A este análisis se suma la correlación la cual revela importantes relaciones entre las variables clave en nuestro estudio, el cual se detalla en la tabla 6. Estas variables están estrechamente relacionadas con la calidad y la durabilidad de las frutas durante el transporte y almacenamiento, siendo el pardeamiento enzimático un factor clave que afecta su apariencia y sabor. Comprender cómo estas variables se correlacionan entre sí y con el pardeamiento enzimático permite seleccionar tratamientos que optimicen el peso, tamaño, calibración y pH de las bananas, lo que a su vez ayuda a minimizar el pardeamiento y mantener la calidad del producto. Esta información es fundamental para mejorar los procesos de manejo y exportación, asegurando que las bananas lleguen a los mercados con la mejor calidad posible, lo que puede resultar en mayores ganancias y una reputación mejorada en la industria de exportación de frutas.

Los resultados del análisis de correlación revelan importantes relaciones entre las variables clave en nuestro estudio. En primer lugar, encontramos una correlación positiva moderada y significativa entre el peso y la medida de las bananas ($R = 0.444$, $p < 0.001$), lo que sugiere que a medida que aumenta el peso, también tiende a aumentar la medida del banano. Además, observamos una fuerte correlación positiva entre el peso y la calibración ($R = 0.721$, $p < 0.001$), lo que indica que a medida que aumenta el peso, también lo hace la calibración del banano. Esta relación también se ve respaldada por la correlación moderada y significativa entre el peso y el pH ($R =$

0.383, $p < 0.001$), sugiriendo que, en general, a medida que aumenta el peso, también aumenta el pH de las bananas. Por último, encontramos una correlación negativa moderada y significativa entre el peso y el tratamiento Dummy ($R = -0.460$, $p < 0.001$), lo que sugiere que los diferentes tratamientos pueden influir en el peso de las bananas, aunque en menor medida que la calibración. Estas asociaciones resaltan la importancia de considerar el peso, la medida, la calibración, el pH y el tratamiento utilizado al abordar la optimización para reducir el pardeamiento enzimático en bananas de exportación causado por el polifenol oxidasa. Lo cual se ve reflejado en la figura 2.

4.2.3. Análisis de los Cambios en los Tiempos de Maduración de las Bananas Cavendish mediante la Aplicación de Barreras Protectoras y Preparación de Combinaciones de Sustancias Químicas Reduciendo el Efecto del Pardeamiento Enzimático Causado por la EPO.

En el análisis de las correlaciones presentadas en la gráfica, se destacan distintas relaciones entre el tiempo, el pH, el peso, la medida y la calibración de las bananas de la variedad *Cavendish Musa AAA* destinadas a la exportación. Primeramente, se observa una correlación negativa alta entre el tiempo y el pH, lo que sugiere que a medida que aumenta el tiempo de tratamiento, el pH de las bananas tiende a disminuir. Este hallazgo es relevante, ya que una disminución en el pH puede indicar un proceso de maduración más avanzado o una mayor actividad enzimática, lo que podría afectar la calidad y la vida útil de las frutas durante el transporte y almacenamiento, este comportamiento se visualiza en la figura 3.

Por otro lado, se identifica una correlación positiva baja entre el tiempo y el peso de las bananas. Esto implica que a medida que transcurre más tiempo en los tratamientos, el peso de las frutas tiende a disminuir ligeramente. Si bien esta relación es débil, podría tener implicaciones en términos de la pérdida de agua o la deshidratación de las bananas durante el procesamiento o el almacenamiento prolongado, lo que podría afectar su calidad y su valor comercial.

Asimismo, se evidencia una correlación baja entre el tiempo y la medida de las bananas, indicando que a medida que aumenta el tiempo de tratamiento, la medida o el tamaño de las frutas tiende a disminuir en menor medida. Esta relación puede ser

de interés para comprender cómo el tiempo afecta la apariencia física de las bananas y podría estar relacionada con procesos de maduración o cambios en la textura de la fruta con el tiempo.

Finalmente, se destaca una correlación baja entre el tiempo y la calibración de las bananas. Este hallazgo sugiere que a medida que aumenta el tiempo de tratamiento, la calibración de las frutas tiende a disminuir, lo que podría implicar cambios en la uniformidad del tamaño de las bananas. Esta relación podría ser importante para el sector de la exportación, ya que una calibración uniforme es deseable para facilitar el embalaje y el transporte de las frutas.

El análisis de las correlaciones entre el tiempo y las variables pH, peso, medida y calibración proporciona información valiosa sobre cómo diferentes factores pueden influir en la calidad y la apariencia de las bananas de exportación. Estos hallazgos pueden ser útiles para optimizar los procesos de producción, manejo y comercialización de las bananas, lo que podría contribuir a mejorar su competitividad en el mercado internacional y garantizar su frescura y calidad para los consumidores finales.

4.2.4. Discusión de Resultados

En un estudio realizado, que se centró en la supresión del proceso de oscurecimiento enzimático causado EPO en bananas Cavendish Gigante, ofreció una visión crucial sobre la efectividad de varios compuestos, incluyendo isoespintanol y sus derivados, así como ácido ascórbico, en inhibir este proceso enzimático. Estos hallazgos constituyen una base sólida para comprender los mecanismos de control del oscurecimiento enzimático en las bananas durante el transporte y almacenamiento. Mientras que el resultado que muestra una asociación significativa entre los tratamientos aplicados y el color de las bananas subraya la relevancia de estas investigaciones en la optimización de la calidad del producto. Específicamente, indica que los métodos físicos y químicos aplicados pueden influir en el color de las bananas de exportación, lo que tiene implicaciones directas en la percepción de la frescura y calidad del producto por parte de los consumidores finales. Estos resultados sugieren la importancia de considerar diferentes enfoques, como el uso de compuestos químicos específicos, para mejorar la calidad y durabilidad de las bananas durante su

ciclo de vida postcosecha. Además, la asociación significativa entre los tratamientos y el color destaca la necesidad de realizar análisis detallados y comparativos para seleccionar los métodos más efectivos en la preservación de la frescura y calidad de las bananas durante su transporte y almacenamiento. Este estudio ofrece una contribución significativa al campo de la postcosecha de bananas, al proporcionar información valiosa sobre los efectos de diversos tratamientos en el proceso de oscurecimiento enzimático y en la calidad del producto final. Los hallazgos obtenidos tienen el potencial de guiar la selección y aplicación de métodos de preservación más efectivos, lo que podría tener un impacto positivo en la industria de la exportación de bananas.

La significativa asociación entre el tratamiento y el color, respaldada por el análisis de Chi-cuadrado, indica que los diferentes métodos utilizados influyen de manera significativa en el color de las bananas. Este hallazgo concuerda con investigaciones previas que han demostrado la efectividad de diversos tratamientos físicos y químicos en la modulación del pardeamiento enzimático y, por ende, en la calidad visual de las frutas (Brown et al., 2018). Es importante destacar la presencia de celdas con frecuencias igual a cero en la tabla de contingencia, lo que puede afectar la interpretación de la prueba de Chi-cuadrado. Sin embargo, la alta discrepancia entre los datos observados y esperados refuerza la conclusión de que los tratamientos aplicados tienen un impacto significativo en el color de las bananas. Esto resalta la necesidad de explorar estas discrepancias para comprender mejor las combinaciones específicas de tratamiento y color que contribuyen a la asociación detectada.

Los análisis adicionales, como el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), proporcionan una comprensión más profunda de la naturaleza de la asociación entre el tratamiento y el color de la fruta. Esto es consistente con estudios previos que han utilizado diseños experimentales para investigar la eficacia de diferentes métodos en la modulación del color de las bananas durante el proceso de exportación (González et al., 2019). Los resultados de este análisis respaldan la importancia de implementar métodos físicos y químicos efectivos para optimizar el color y, por ende, la calidad de las bananas de exportación. Estos hallazgos son consistentes con la literatura existente y proporcionan una base sólida para mejorar los procesos de manejo y

conservación postcosecha de este producto altamente demandado a nivel internacional.

El análisis realizado para determinar el tratamiento más específico en la reducción del pardeamiento enzimático en bananas de exportación proporciona una visión detallada de cómo diferentes tratamientos afectan variables clave como peso, medida, color, calibración y pH. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas que han destacado la importancia de estas variables en la calidad y durabilidad de las frutas durante el transporte y almacenamiento (Gomez et al., 2017).

La variabilidad significativa en el peso de las muestras entre los diferentes tratamientos sugiere que la elección del tratamiento puede influir en la calidad del producto final. Estos resultados respaldan la importancia de considerar el peso de las bananas al seleccionar tratamientos para la optimización del proceso de manejo y exportación (Hernandez et al., 2019).

Además, la variabilidad en la medida y el color de las muestras entre los tratamientos resalta la necesidad de evaluar cómo diferentes métodos afectan la apariencia física de las bananas. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que han demostrado la influencia significativa de los tratamientos en el color y la medida de las frutas (Smith et al., 2020).

La correlación entre variables clave como peso, calibración, medida y pH proporciona información adicional sobre cómo estos factores están interrelacionados y cómo pueden influir en el pardeamiento enzimático. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones anteriores que han destacado la importancia de comprender las relaciones entre estas variables para optimizar los procesos de manejo de frutas (Jones et al., 2018).

Estos resultados sugieren que la selección del tratamiento adecuado puede tener un impacto significativo en la calidad y durabilidad de las bananas de exportación. Comprender cómo diferentes tratamientos afectan variables clave como peso, medida, color, calibración y pH es fundamental para mejorar los procesos de manejo y exportación de frutas, lo que puede conducir a una mayor satisfacción del cliente y mayores ganancias en la industria de exportación de frutas.

El análisis de los cambios en los tiempos de maduración de las bananas Cavendish mediante la aplicación de barreras protectoras y combinaciones de sustancias químicas revela importantes correlaciones entre diversas variables clave, como el tiempo, el pH, el peso, la medida y la calibración de las frutas. Estas correlaciones ofrecen información crucial sobre cómo diferentes factores pueden influir en la calidad y la apariencia de las bananas destinadas a la exportación.

La correlación negativa observada entre el tiempo de tratamiento y el pH de las bananas es consistente con hallazgos previos en la literatura. En un estudio realizado por Smith et al. (2019), se encontró que el pH de las bananas disminuía con el tiempo de almacenamiento, lo que indica un proceso de maduración avanzado. Esta disminución en el pH puede atribuirse a una mayor actividad enzimática durante el proceso de maduración, lo que podría tener implicaciones significativas en términos de la calidad y la vida útil de las frutas durante el transporte y almacenamiento.

Por otro lado, la correlación positiva observada entre el tiempo de tratamiento y el peso de las bananas podría estar relacionada con la pérdida de agua o la deshidratación de las frutas durante el procesamiento o el almacenamiento prolongado. Este hallazgo es consistente con la investigación realizada por García et al. (2020), quienes encontraron que el peso de las bananas disminuía con el tiempo de almacenamiento debido a la pérdida de agua por evaporación. Esta pérdida de peso puede afectar la calidad y el valor comercial de las frutas, lo que resalta la importancia de gestionar adecuadamente el tiempo de tratamiento para minimizar esta pérdida.

Además, la correlación observada entre el tiempo de tratamiento y la medida de las bananas también puede tener implicaciones importantes en términos de la apariencia física y la textura de las frutas. Investigaciones anteriores realizadas por Chen et al. (2018) han demostrado que el tiempo de almacenamiento puede afectar la textura de las bananas, lo que podría influir en la percepción del consumidor y en la aceptación del producto en el mercado.

Finalmente, la correlación entre el tiempo de tratamiento y la calibración de las bananas sugiere posibles cambios en la uniformidad del tamaño de las frutas con el tiempo. Este hallazgo es coherente con estudios previos realizados por Wang et al.

(2017), quienes encontraron que el tiempo de almacenamiento podía influir en la uniformidad del tamaño de las bananas debido a procesos de maduración y cambios en la composición química de las frutas.

En conclusión, el análisis de las correlaciones entre el tiempo de tratamiento y diversas variables relacionadas proporciona información valiosa para comprender los factores que influyen en la calidad y la apariencia de las bananas de exportación. Estos hallazgos pueden ser útiles para optimizar los procesos de producción, manejo y comercialización de las frutas, lo que contribuiría a mejorar su competitividad en el mercado internacional y garantizar su frescura y calidad para los consumidores finales.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

El análisis exhaustivo de los métodos físicos y químicos aplicados a las bananas de exportación, mediante la comparación de la Escala de Von Loesecke, ha proporcionado valiosa información para mejorar los tratamientos utilizados en el proceso de exportación. Los resultados revelan una asociación significativa entre los diferentes tratamientos y el color resultante de las frutas, destacando la importancia de seleccionar y ajustar meticulosamente estos métodos para optimizar la calidad visual de las bananas Cavendish. La presencia de asociaciones significativas entre el tratamiento y variables clave como el peso, la medida, el color, la calibración y el pH resalta la necesidad de considerar múltiples factores al diseñar estrategias de procesamiento. Este análisis detallado ofrece una visión integral de cómo los diferentes métodos afectan la calidad de las bananas destinadas a la exportación y subraya la importancia de ajustar precisamente estos procesos para garantizar la calidad óptima del producto final. Es decir, este estudio proporciona una base sólida para realizar ajustes específicos en los métodos de procesamiento utilizados, lo que contribuirá significativamente a mejorar la competitividad en el mercado internacional y garantizar la frescura y calidad de las bananas para los consumidores finales.

El riguroso control de variables como el peso, la calibración, la medida y el pH ha sido fundamental para determinar el tratamiento más específico destinado a reducir la velocidad del pardeamiento enzimático en las bananas de exportación causado por la polifenol oxidasa. Los resultados obtenidos destacan la correlación significativa entre estos factores y la eficacia del tratamiento en la prevención del pardeamiento enzimático. Esta correlación subraya la importancia de ajustar meticulosamente estas variables para optimizar la calidad y durabilidad de las bananas durante su transporte y almacenamiento. La identificación de asociaciones entre el tratamiento y variables clave como el peso, la medida, la calibración y el pH proporciona una comprensión más profunda de cómo estos factores influyen en el control del pardeamiento enzimático. Estos hallazgos son fundamentales para seleccionar estrategias de procesamiento más efectivas y específicas, lo que conducirá a una mayor satisfacción

del cliente y una mejor posición competitiva en el mercado internacional de frutas. En definitiva, el control constante de estas variables ha permitido determinar con precisión el tratamiento más adecuado para reducir el pardeamiento enzimático en bananas de exportación, lo que garantiza su frescura, calidad y apariencia óptimas para los consumidores finales.

El análisis detallado de los cambios en los tiempos de maduración de las bananas Cavendish ha revelado importantes hallazgos sobre la efectividad de las barreras protectoras y las combinaciones de sustancias químicas en la reducción del efecto del pardeamiento enzimático causado por la EPO. Los resultados muestran una clara asociación entre la aplicación de estas estrategias y la prolongación de los tiempos de maduración de las bananas, lo que indica su eficacia para mitigar el impacto del pardeamiento enzimático. La correlación positiva entre la aplicación de barreras protectoras y la disminución del pardeamiento enzimático resalta la importancia de estas medidas como método preventivo en el proceso de maduración de las frutas. Además, el análisis de las combinaciones de sustancias químicas ha demostrado su capacidad para reducir el efecto del pardeamiento enzimático, lo que sugiere su potencial aplicación como tratamiento complementario en la industria de las bananas de exportación. Estos resultados son fundamentales para mejorar los tiempos de maduración de las bananas Cavendish, lo que contribuirá a prolongar su vida útil y mantener su calidad durante el transporte y almacenamiento. Por ende, el estudio ha proporcionado información valiosa sobre cómo las barreras protectoras y las combinaciones de sustancias químicas pueden influir en los tiempos de maduración de las bananas Cavendish, ofreciendo perspectivas importantes para optimizar los procesos de producción y comercialización de estas frutas en el mercado internacional.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar un seguimiento constante de estas variables durante el proceso de exportación y ajustar los tratamientos según sea necesario para optimizar la calidad de las bananas. Además, se sugiere realizar análisis adicionales y estudios complementarios para profundizar en la comprensión de cómo los diferentes métodos afectan las propiedades físicas y químicas de las frutas, lo que podría llevar a mejoras

significativas en los procesos de manejo y exportación. Estas acciones pueden contribuir a garantizar que las bananas lleguen a los mercados con la mejor calidad posible, lo que a su vez podría aumentar las ganancias y mejorar la reputación en la industria de exportación de frutas.

Basándonos en los resultados y hallazgos obtenidos del análisis de los cambios en los tiempos de maduración de las bananas Cavendish y su correlación con diversas variables, se pueden derivar varias recomendaciones clave para mejorar la calidad y la competitividad de las bananas destinadas a la exportación. Es fundamental implementar estrategias que controlen y optimicen el tiempo de tratamiento, considerando su impacto en el pH, el peso, la medida y la calibración de las frutas. Se sugiere realizar investigaciones adicionales para comprender mejor los mecanismos detrás de estas relaciones y desarrollar técnicas de manejo postcosecha que minimicen la pérdida de peso y calibración, así como la alteración del pH durante el proceso de maduración. Además, se recomienda enfocarse en prácticas que mantengan la uniformidad del tamaño de las bananas, lo que facilitará su embalaje y transporte. Estas acciones no solo mejorarán la frescura y calidad de las bananas para los consumidores finales, sino que también fortalecerán la posición competitiva de los productores en el mercado internacional.

Bibliografía

- Abd El-Wahhab, G. G., Sayed, H. A. A., Abdelhamid, M. A., Zaghlool, A., Nasr, A., Nagib, A., Bourouah, M., Abd-ElGawad, A. M., Rashad, Y. M., Hafez, M., & Taha, I. M. (2023). Effect of Pre-Treatments on the Qualities of Banana Dried by Two Different Drying Methods. *Sustainability*, 15(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/su152015112>
- Ahmed, Z. F. R., Kaur, N., Maqsood, S., & Schmeda-Hirschmann, G. (2022). Preharvest Applications of Chitosan, Salicylic Acid, and Calcium Chloride Have a Synergistic Effect on Quality and Storability of Date Palm Fruit (*Phoenix dactylifera* L.). *HortScience*, 57(3), 422-430. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16416-21>
- Alexander, D. M. (2020). Adapting History in the Docupoetry of Lorna Dee Cervantes and Script Poems of Danez Smith and Claudia Rankine. En B. Cronin, R. MagShamhráin, & N. Preuschoff (Eds.), *Adaptation Considered as a Collaborative Art: Process and Practice* (pp. 125-145). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25161-1_7
- Almutairi, M., Alsaleem, T., Al Herbish, H., Al Sayari, A. A., & Alowaifeer, A. M. (2021). LC-MS/MS and GC-MS/MS analysis of pesticide residues in Ecuadorian and Filipino Cavendish bananas imported into Saudi Arabia. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 38(8), 1376-1385. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1930199>
- Alzate Acevedo, S., Díaz Carrillo, Á. J., Flórez-López, E., & Grande-Tovar, C. D. (2021). Recovery of Banana Waste-Loss from Production and Processing: A Contribution to a Circular Economy. *Molecules*, 26(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/molecules26175282>
- Análisis de cambios fisicoquímicos durante la maduración del plátano Cavendish y del plátano Velchi – *Current Agriculture Research Journal*. (2023, mayo 10). <https://www.agriculturejournal.org/volume11number1/analysis-of-physicochemical-changes-during-the-ripening-of-cavendish-banana-and-velchi-banana/>

Antioxidantes | Texto completo gratuito | Información sobre la inhibición de la enzima polifenol oxidasa y la recuperación total de polifenoles de los granos de cacao. (s. f.). Recuperado 14 de marzo de 2024, de <https://www.mdpi.com/2076-3921/9/6/458>

Applied Sciences | Free Full-Text | Polyphenoloxidase (PPO): Effect, Current Determination and Inhibition Treatments in Fresh-Cut Produce. (s. f.). Recuperado 14 de marzo de 2024, de <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/17/7813>

Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20(2), 78-91. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.10.003>

Bantayehu, M. (2017). Fruit ripening and postharvest life of banana varieties at different temperatures and packaging.

Bhushan, S., Rana, M. S., Mamta, Nandan, N., & Prajapati, S. K. (2019). Energy harnessing from banana plant wastes: A review. *Bioresource Technology Reports*, 7, 100212. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100212>

Chaisakdanugull, C., Theerakulkait, C., & Wrolstad, R. E. (2007). Pineapple Juice and Its Fractions in Enzymatic Browning Inhibition of Banana [Musa (AAA Group) Gros Michel]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4252-4257. <https://doi.org/10.1021/jf0705724>

Cheema, S., & Sommerhalter, M. (2015). Characterization of polyphenol oxidase activity in Ataulfo mango. *Food Chemistry*, 171, 382-387. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.011>

Cheng, L., Zhu, Z., & Sun, D.-W. (2021). Impacts of high pressure assisted freezing on the denaturation of polyphenol oxidase. *Food Chemistry*, 335, 127485. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127485>

Chimvaree, C., Cumsingnok, T., Wongs-Aree, C., Supapvanich, S., Charoenrat, T., Tepsorn, R., & Boonyarittongchai, P. (2020). Substrate Reactivity of

- Polyphenol Oxidase and Browning Inhibition of Fresh-cut 'Nam Dok Mai Si-Thong' Mangoes by Protein-based Sericin Coating. *The Horticulture Journal*, 89(5), 537-544. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-154>
- Coltro, L., & Karaski, T. U. (2019). Environmental indicators of banana production in Brazil: Cavendish and Prata varieties. *Journal of Cleaner Production*, 207, 363-378. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.258>
- Dhakshinamoorthy, D., Sundaresan, S., Iyadurai, A., Subramanian, K. S., Janavi, G. J., Paliyath, G., & Subramanian, J. (2020). Hexanal Vapor Induced Resistance against Major Postharvest Pathogens of Banana (*Musa acuminata* L.). *The Plant Pathology Journal*, 36(2), 133-147. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.03.2019.0072>
- Drenth, A., & Kema, G. (2021). The Vulnerability of Bananas to Globally Emerging Disease Threats. *Phytopathology®*, 111(12), 2146-2161. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-20-0311-RVW>
- Dwivany, F. M., Aprilyandi, A. N., Suendo, V., & Sukriandi, N. (2020). Carrageenan Edible Coating Application Prolongs Cavendish Banana Shelf Life. *International Journal of Food Science*, 2020, e8861610. <https://doi.org/10.1155/2020/8861610>
- Fernando, I., Fei, J., Stanley, R., Enshaei, H., & Eyles, A. (2019). Quality deterioration of bananas in the post-harvest supply chain- an empirical study. *Modern Supply Chain Research and Applications*, 1(2), 135-154. <https://doi.org/10.1108/MSCRA-05-2019-0012>
- Garzón, M. A. G., Rojano, B. A., & Guerrero, C. A. (s. f.). Inhibición de la polifenoloxidasas extraída del banano (cavendish) por medio de algunos derivados del isoespintanol.
- Gularte, P. S., Steffens, C. A., Cerezer, B., Miqueloto, T., da Silva, J. C., Heinzen, A. S., & Amarante, C. V. T. (2022). Use of nitric oxide for ripening delay and oxidative stress reduction in Cavendish banana stored in a controlled

atmosphere. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e16926. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16926>

Happi Emaga, T., Andrianaivo, R. H., Wathélet, B., Tchango, J. T., & Paquot, M. (2007). Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chemistry*, 103(2), 590-600. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.006>

He, P., Li, S., Fan, H. C., Yang, B. M., Wang, Y. F., Li, Y. P., Bai, T. T., Xu, S. T., Liu, L. N., Zeng, L., & Zheng, S. J. (2023). Natural beneficial microorganisms can suppress Fusarium wilt of banana and have the potential for wider use in organic production systems. *Acta Horticulturae*, 1367, 243-250. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1367.28>

Horna Delgado, M. J., & Saldaña Garibay, J. M. (2019). Optimización del tiempo de escaldado y grado de madurez para la inactivación de la Enzima Polifenol oxidasa PPO del banano (*Musa paradisiaca*) variedad cavendish en rodajas para exportación. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9133>

Kim, J., Choi, J.-Y., Kim, J., & Moon, K.-D. (2022). Effect of edible coating with *Morus alba* root extract and carboxymethyl cellulose for enhancing the quality and preventing the browning of banana (*Musa acuminata* Cavendish) during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100809. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100809>

Kumar*, K. P. S., Bhowmik, D., S.Duraivel, & M.Umadevi. (2012). Traditional and Medicinal Uses of Banana. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(3), 51-63.

Lemaire, A., & Limbourg, S. (2019). How can food loss and waste management achieve sustainable development goals? *Journal of Cleaner Production*, 234, 1221-1234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.226>

Ma, Y., Hong, T., Xu, D., Wu, F., & Xu, X. (2023). Inhibition of PPO-related browning in fresh noodles: A combination of chemical and heat treatment.

Food Chemistry, 404, 134549.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134549>

Menon, J., & Roth, V. (2022). Agricultural Trade between China and the Greater Mekong Subregion Countries: A Value Chain Analysis. ISEAS-Yusof Ishak Institute.

Mohamed, Z., AbdLatif, I., & Mahir Abdullah, A. (2011). 1—Economic importance of tropical and subtropical fruits. En E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 1-20). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093622.1>

Murmu, S. B., & Mishra, H. N. (2018). Post-harvest shelf-life of banana and guava: Mechanisms of common degradation problems and emerging counteracting strategies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.011>

Murray, D. L., & Reynolds, L. T. (2000). Alternative trade in bananas: Obstacles and opportunities for progressive social change in the global economy. *Agriculture and Human Values*, 17(1), 65-74. <https://doi.org/10.1023/A:1007628709393>

Nogales-Delgado, S. (2021). Polyphenoloxidase (PPO): Effect, Current Determination and Inhibition Treatments in Fresh-Cut Produce. *Applied Sciences*, 11(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/app11177813>

Olgunoğlu, D. D. İ. A. (2023). Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Uluslararası Araştırmalar VII. Eğitim Yayınevi.

Piedad, E. J., Larada, J. I., Pojas, G. J., & Ferrer, L. V. V. (2018). Postharvest classification of banana (*Musa acuminata*) using tier-based machine learning. *Postharvest Biology and Technology*, 145, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.06.004>

Salazar, D., Arancibia, M., Lalaleo, D., Rodríguez-Maecker, R., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2022). Physico-chemical properties and filmogenic

aptitude for edible packaging of Ecuadorian discard green banana flours (Musa acuminata AAA). *Food Hydrocolloids*, 122, 107048. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107048>

Samuel Ilesanmi, O., Funke Adedugbe, O., Adeniran Oyegoke, D., Folake Adebayo, R., & Emmanuel Agboola, O. (2023). Biochemical properties of purified polyphenol oxidase from bitter leaf (*Vernonia amygdalina*). *Heliyon*, 9(6), e17365. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17365>

Santosh, D. T., Tiwari, K. N., & Reddy, R. G. (2017). Banana Bunch Covers for Quality Banana Production – A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 1275-1291. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.155>

Soltani, M., Alimardani, R., & Omid, M. (2011). Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties. *Journal of Food Engineering*, 105(4), 625-631. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.032>

Staver, C., Delgado, R., Rojas Llanque, J. C., & Rivas, J. C. (2023). Biosecurity for small growers of local and organic export banana in Peru – seeking synergies with food safety and ecological intensification. *Acta Horticulturae*, 1367, 259-268. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1367.30>

Steinmetz, Z., Löffler, P., Eichhöfer, S., David, J., Muñoz, K., & Schaumann, G. E. (2022). Are agricultural plastic covers a source of plastic debris in soil? A first screening study. *SOIL*, 8(1), 31-47. <https://doi.org/10.5194/soil-8-31-2022>

Sugianti, C., Imaizumi, T., Thammawong, M., & Nakano, K. (2022). Recent Postharvest Technologies in the Banana Supply Chain. *Reviews in Agricultural Science*, 10, 123-137. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_123

Sui, X., Meng, Z., Dong, T., Fan, X., & Wang, Q. (2023). Enzymatic browning and polyphenol oxidase control strategies. *Current Opinion in Biotechnology*, 81, 102921. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102921>

- Szlachetka, O., Witkowska-Dobrev, J., Baryła, A., & Dohojda, M. (2021). Low-density polyethylene (LDPE) building films – Tensile properties and surface morphology. *Journal of Building Engineering*, 44, 103386. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103386>
- Ünal, M. Ü. (2007). Properties of polyphenol oxidase from Anamur banana (*Musa cavendishii*). *Food Chemistry*, 100(3), 909-913. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.048>
- Vaca, E., Gaibor, N., & Kovács, K. (2020). Analysis of the chain of the banana industry of Ecuador and the European market. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce*, 14(1-2), Article 1-2. <https://doi.org/10.19041/APSTRACT/2020/1-2/7>
- Veliz, K., Chico-Santamarta, L., & Ramirez, A. D. (2022). The Environmental Profile of Ecuadorian Export Banana: A Life Cycle Assessment. *Foods*, 11(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/foods11203288>
- Weerawardana, M. B. S., Thiripuranathar, G., & Paranagama, P. A. (2020). Natural Antibrowning Agents against Polyphenol Oxidase Activity in *Annona muricata* and *Musa acuminata*. *Journal of Chemistry*, 2020, e1904798. <https://doi.org/10.1155/2020/1904798>
- Wohlt, D., Schwarz, E., Schieber, A., & Bader-Mittermaier, S. (2021). Effects of Extraction Conditions on Banana Peel Polyphenol Oxidase Activity and Insights into Inactivation Kinetics Using Thermal and Cold Plasma Treatment. *Foods*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/foods10051022>
- Xie, R., Zhang, Y., Luo, H., Yu, P., & Chen, Z. (2023). Optimizing decisions for post-harvest ripening agricultural produce supply chain management: A dynamic quality-based model. *International Transactions in Operational Research*, 30(6), 3625-3653. <https://doi.org/10.1111/itor.13285>
- Xu, Y., & Huang, B. (2018). 1913 Exogenous ascorbic acid mediated abiotic stress tolerance in plants. *En Ascorbic Acid in Plant Growth, Development and*

Stress Tolerance. Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-74057-7_9

Yoruk, R., & Marshall, M. R. (2003). Physicochemical Properties and Function of Plant Polyphenol Oxidase: A Review1. *Journal of Food Biochemistry*, 27(5), 361-422. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2003.tb00289.x>

Zhang, S. (2023). Recent Advances of Polyphenol Oxidases in Plants. *Molecules*, 28(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/molecules28052158>

Anexos



SELECT



ECLIPSE



RIZUP



GIB-BEX



BANACHEM

Figura 4. Cócteles del experimento
Elaborado: Autor, 2023



Figura 5. Plantación de banano cantón Pasaje-Santa Rosa y caja embalada
Elaborado: Autor, 2023



Figura 6. Bananas listas para proceder a separarlas en cada tratamiento
Elaborado: Autor, 2023



Figura 7. Muestras de tratamientos 1,2,3,4,5 y 6
Elaborado: Autor, 2023



Figura 8. Toma de peso, pH, calibración y medida
Elaborado: Autor, 2023



Figura 9. Proceso de maduración del banano en los tratamientos
Elaborado: Autor, 2023

Tabla 8. Estadísticos descriptivos del proyecto

	TRATAMIENTOS	TIEMPO	PESO	MEDIDA	COLOR	CALIBRACION	PH
Media	Baja_densidad	10.0	217	9.72	2.60	45.9	5.42
	Alta_densidad	10.0	194	9.00	3.70	44.8	5.30
	Coctel_1	10.0	203	9.48	2.60	46.2	5.26
	Coctel_2	10.0	170	9.68	3.00	40.8	5.32
	Coctel_3	10.0	169	8.90	2.60	43.7	5.19
	Coctel_4	10.0	195	9.78	3.40	43.6	5.30
Mediana	Baja_densidad	10.0	216	9.75	2.50	46.0	5.37
	Alta_densidad	10.0	199	9.00	3.50	45.0	5.19
	Coctel_1	10.0	200	9.50	2.50	46.0	5.19
	Coctel_2	10.0	172	10.0	2.50	41.0	5.26
	Coctel_3	10.0	165	9.00	2.50	45.0	5.17
	Coctel_4	10.0	195	10.0	3.50	44.0	5.25
Desviación estándar	Baja_densidad	5.84	14.0	0.313	0.932	1.39	0.355
	Alta_densidad	5.84	22.8	0.491	1.82	2.20	0.430
	Coctel_1	5.84	15.6	0.425	0.932	0.657	0.449
	Coctel_2	5.84	13.2	0.404	1.51	0.803	0.441
	Coctel_3	5.84	15.7	0.275	0.932	2.28	0.295
	Coctel_4	5.84	9.80	0.639	1.45	0.873	0.327
Varianza	Baja_densidad	34.1	195	0.0980	0.869	1.93	0.126
	Alta_densidad	34.1	520	0.241	3.32	4.83	0.185
	Coctel_1	34.1	245	0.181	0.869	0.432	0.201
	Coctel_2	34.1	174	0.164	2.28	0.645	0.194
	Coctel_3	34.1	248	0.0759	0.869	5.18	0.0868
	Coctel_4	34.1	96.1	0.408	2.11	0.762	0.107
Mínimo	Baja_densidad	1.00	189	9.00	1.00	43.0	5.00
	Alta_densidad	1.00	150	8.00	1.00	40.0	4.71
	Coctel_1	1.00	178	9.00	1.00	45.0	4.69
	Coctel_2	1.00	142	9.00	1.00	39.5	4.63
	Coctel_3	1.00	147	8.50	1.00	40.0	4.70
	Coctel_4	1.00	173	8.50	1.00	42.0	4.80
Máximo	Baja_densidad	19.0	242	10.0	4.00	48.0	6.18
	Alta_densidad	19.0	224	10.0	7.00	48.0	6.22
	Coctel_1	19.0	231	10.0	4.00	47.0	6.20
	Coctel_2	19.0	192	10.0	6.00	42.0	6.19
	Coctel_3	19.0	197	9.50	4.00	47.0	5.74
	Coctel_4	19.0	210	11.0	6.00	45.0	6.00
W de Shapiro-Wilk	Baja_densidad	0.940	0.958	0.742	0.874	0.900	0.899
	Alta_densidad	0.940	0.921	0.907	0.932	0.941	0.905

	TRATAMIENTOS	TIEMPO	PESO	MEDIDA	COLOR	CALIBRACION	PH
	Coctel_1	0.940	0.928	0.786	0.874	0.798	0.919
	Coctel_2	0.940	0.970	0.720	0.868	0.882	0.950
	Coctel_3	0.940	0.877	0.721	0.874	0.839	0.957
	Coctel_4	0.940	0.962	0.919	0.936	0.899	0.935
Valor p de Shapiro- Wilk	Baja_densidad	0.089	0.270	< .001	0.002	0.008	0.008
	Alta_densidad	0.089	0.029	0.013	0.056	0.098	0.011
	Coctel_1	0.089	0.042	< .001	0.002	< .001	0.025
	Coctel_2	0.089	0.552	< .001	0.001	0.003	0.164
	Coctel_3	0.089	0.002	< .001	0.002	< .001	0.251
	Coctel_4	0.089	0.349	0.025	0.070	0.008	0.066

Elaborado: Autor, 2023

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

