



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

IMPORTANCIA DE LA INACTIVACIÓN DE LA ENZIMA PEROXIDASA
EN EL BANANO (*MUSA PARADISIACA*), PARA MEJORAR LA
CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

SAGBAY JAYA GLORIA ESTHELA
INGENIERA EN ALIMENTOS

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

IMPORTANCIA DE LA INACTIVACIÓN DE LA ENZIMA
PEROXIDASA EN EL BANANO (*MUSA PARADISIACA*), PARA
MEJORAR LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

SAGBAY JAYA GLORIA ESTHELA
INGENIERA EN ALIMENTOS

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

EXAMEN COMPLEXIVO

IMPORTANCIA DE LA INACTIVACIÓN DE LA ENZIMA PEROXIDASA EN EL
BANANO (*MUSA PARADISIACA*), PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL
PRODUCTO FINAL

SAGBAY JAYA GLORIA ESTHELA
INGENIERA EN ALIMENTOS

VIVANCO CARPIO ERIK RICARDO

MACHALA, 16 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA
16 de febrero de 2022

IMPORTANCIA DE LA INACTIVACIÓN DE LA ENZIMA PEROXIDASA EN EL BANANO (Musa paradisiaca), PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

por Gloria Esthela Sagbay Jaya

Fecha de entrega: 08-feb-2022 11:09a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1757768128

Nombre del archivo: REACTIVO_-_SAGBAY_JAYA_GLORIA_ESTHELA.pdf (813.53K)

Total de palabras: 3120

Total de caracteres: 17429

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, SAGBAY JAYA GLORIA ESTHELA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado IMPORTANCIA DE LA INACTIVACIÓN DE LA ENZIMA PEROXIDASA EN EL BANANO (*Musa paradisiaca*), PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

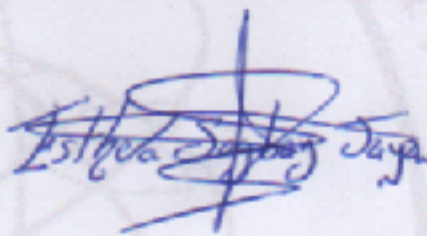
La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 16 de febrero de 2022



SAGBAY JAYA GLORIA ESTHELA
0706758869

DEDICATORIA

Dedico en primera instancia a Dios por brindarme sabiduría y fortaleza en mi carrera universitaria. “Esfuézate y sé valiente. No tengas miedo ni desmayes, que yo soy el Señor tu Dios, y estaré contigo por donde quiera que vayas” Josué 1:9.

A mis padres Rosa Mariana Jaya Tapia, Luis Alberto Sagbay Marca por estar presente en mi proceso de formación, brindándome apoyo y confianza.

A mis Hermanos Cesar, Marcia y Ruth, a mis sobrinos Samy, Luisfer, Ezequiel, Valentina y a todos mis familiares por demostrarme su apoyo incondicional.

En especial, mi querido abuelito José Miguel Reinaldo Sagbay esta victoria es para ti con toda la humildad, aunque no estés presente, vives en mí corazón.

Sagbay Jaya Gloria Esthela.

AGRADECIMIENTO

En especial a la Universidad Técnica de Machala, por haberme brindado una excelente calidad académica con grandes docentes y su calidez humana que han sabido darme una mano amiga para no decaer en el trayecto de mi carrera universitaria.

A la Ing. Verónica Patricia Bravo Bravo, coordinadora de carrera por ser una maravillosa mujer y excelente profesional, estoy inmensamente agradecida por todo el apoyo brindado.

A Industrias Borja Inborja S.A. por permitirme ejecutar mis Practicas Pre-Profesionales un gran personal maravilloso que me acogió y me brindó conocimientos en el campo laboral.

A mi tutor, Ing. Erik Ricardo Vivanco Carpio, por brindarme su apoyo y guiarme para culminar mi investigación con éxito.

A mis amigos Anthony, Alexis, Gaby y Cristhian por no dejarme sola y motivarme a cumplir mi meta y no dejarme caer.

Sagbay Jaya Gloria Esthela.

RESUMEN.

En Ecuador, las exportaciones de banano (*Musa paradisiaca*) representan en gran medida la economía interna y externa del país, por esta razón es aprovechado después de ser rechazado por los exportadores, ya que no cumplen con las normativas ecuatorianas (NTE INEN 2337:2008) establecidas para la elaboración de derivados en la industria alimenticia.

Se conoce que el aprovechamiento de la pulpa se debe al elevado valor nutritivo que resulta apto para el consumo humano obtenido al cumplir la etapa de maduración, no obstante, presentan una estrecha relación con el pardeamiento enzimático que degrada la fruta, debido a la gran cantidad de compuestos fenólicos en su composición química, por lo que son susceptibles a reacciones enzimáticas por acción directa de las polifenol-oxidasas (PPO) generando la pérdida de la calidad del producto final o desaprovechamiento del mismo, es por esta razón que se buscan nuevas alternativas o métodos que inhiban la acción de enzimas en la fruta, emplean métodos físicos tales como el tratamiento térmico o eliminación de oxígeno y, métodos químicos que permiten la adición de agentes quelantes, acidificantes o azufrados. El presente trabajo de carácter investigativo tiene como objetivo analizar los factores físicos y químicos que alteran el puré de banano (*Musa paradisiaca*) ocasionado por la acción de la enzima fenol oxidasa, mediante el uso de artículos científicos con 5 años de anterioridad obtenidos de Elsevier, ScienceDirect, Scopus, Scielo.

Palabras claves: INEN, compuestos fenólicos, PPO, métodos físicos y químicos.

ABSTRACT

In Ecuador, banana (*Musa paradisiaca*) exports largely represent the internal and external economy of the country, for this reason it is used after being rejected by exporters, since they do not comply with Ecuadorian regulations (NTE INEN 2337:2008) established for the production of derivatives in the food industry.

It is known that due to the high nutritional value suitable for human consumption when the maturation stage is reached, even its pulp is used, however, they have a close relationship with the enzymatic browning that degrades the fruit, due to the large amount of phenolic compounds in their chemical composition, so they are susceptible to enzymatic reactions by direct action of polyphenol oxidases (PPO) generating the loss of quality of the final product or wastage of it, it is for this reason that new alternatives or methods are sought that inhibit the action of enzymes in the fruit, use physical methods such as heat treatment or oxygen removal and chemical methods that allow the addition of chelating, acidifying or sulfur agents. The objective of this research work is to analyze the physical and chemical factors that alter the banana puree (*Musa paradisiaca*) caused by the action of the enzyme phenol oxidase, through the use of articles from the scientific community obtained 5 years previously. from Elsevier, ScienceDirect, Scopus, Scielo.

Keywords: INEN, phenolic compounds, PPO, physical and chemical methods.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO.....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
LISTA DE ABREVIATURAS.	7
I. INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS.	10
OBJETIVO GENERAL.	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	10
II. DESARROLLO.	11
2.1. MARCO TEÓRICO	11
2.1.1. EL BANANO	11
2.1.1.2. Propiedades nutricionales del banano	14
2.1.1.3. Composición fisicoquímica del banano	15
2.1.2. PURÉ DE BANANO	16
2.1.2.1. Normativa Técnica Ecuatoriana (INEN)	16
2.1.3. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO DE LA POLIFENOL OXIDASA	17
2.1.3.1. Enzima polifenol oxidasa (PPOs)	18
2.1.3.2. Acción enzimática de polifenol oxidasa	19
2.1.4. INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA DE LA PPOs	19
2.1.4.1. Inhibidores químicos del pardeamiento	19
2.1.4.2. Inhibidores físicos del pardeamiento	20
2. CONCLUSIONES	21
3. RECOMENDACIONES	22
4. BIBLIOGRAFÍA.....	22

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Límites máximos establecidos para los contaminantes _____	16
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Planta de banano (<i>Musa paradisiaca</i>) y sus partes. _____	11
Ilustración 2. Descripción botánica del fruto. _____	12
Ilustración 3. Propiedades nutricionales del banano _____	14
Ilustración 4. Composición fisicoquímica del banano. _____	15
Ilustración 6. Pardeamiento enzimático de las (PPO) _____	17
Ilustración 7. Enzima polifenoloxidasasa _____	18

LISTA DE ABREVIATURAS.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura.

PPOs: Polifenol oxidasa.

AAA: grupo triploide.

I. INTRODUCCIÓN

Según los datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), en 2018, Ecuador se convirtió en el primer país productor y exportador de banano en todo el mundo, puesto que representó el 34,86% de las exportaciones, equivalente a 6,64 millones de toneladas. (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020)

La exportación bananera en Ecuador ha representado desde periodos anteriores hasta la actualidad uno de las principales economías del país, la cual representa el mercado interno de las familias costeras. Se han registrado grandes, medianos y pequeños productores en el sector bananero, concentrándose en las provincias de El Oro, Guayas y Los Ríos, de las cuales, 42% se registra en la provincia de El Oro, seguido de 34% y 16% respectivamente. (Ministerio de Comercio Exterior, 2017)

Según la NTE INEN 2337:2008 el puré de banano, es obtenido de la parte comestible de la fruta que presenta el jugo natural, además es madura y está en buen estado, cuya fruta es sometida a procesos tecnológicos (trituración, tamizaje, entre otros) que respetan las buenas prácticas de manufactura, capaz de fermentarse en el proceso por procesos enzimáticos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

En la actualidad, existen dos industrias encargadas de la producción y exportación del puré de banano ubicadas en las provincias de El Oro y Guayas; Industrias Borja S.A. y Futurcorp, las cuales aprovechan la materia prima no apta para la exportación de proveedores de Los Ríos y El Oro, y las someten a procesos de transformación para exportarlos en diferentes presentaciones a Europa y Asia. (Ganchozo, 2018)

El banano (*Musa paradisiaca*) es altamente susceptible a fermentación por las reacciones de pardeamiento a causa de enzimas oxidasas (PPOs) que alteran el producto

final, el puré. Por lo tanto, el objetivo del trabajo es identificar los factores físicos-químicos que ejercen cuyo efecto y los procesos de inactivación de la enzima, al igual que los principales parámetros de control del puré según la normativa ecuatoriana.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Analizar los factores físicos y químicos que alteran el puré de banano (*Musa paradisiaca*) ocasionado por la enzima peroxidasa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar la composición física-química del banano (*Musa paradisiaca*) variable en las distintas etapas de maduración.
- Evaluar metodológicamente la actividad de la enzima Peroxidasa y sus procesos de inactivación.
- Identificar los parámetros básicos establecidos por la Normativa Técnica Ecuatoriana para la elaboración de puré de banano.

II. DESARROLLO.

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. EL BANANO

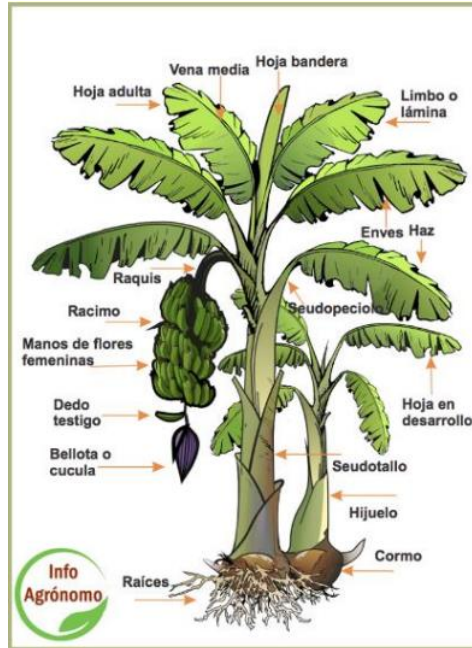


Ilustración 1. Planta de banano (*Musa paradisiaca*) y sus partes.

Fuente: InfoAgrónomo (2018)

El banano es una planta herbácea monocotiledónea y perenne de gran tamaño que puede medir desde 3,5 hasta 7,5 metros de altura, se caracteriza por crecer en climas tropicales y subtropicales, a temperaturas entre 18°C – 30°C por lo que se considera a la fruta como climatérica, es decir, presenta la capacidad de seguir madurando después de ser cosecha. (Garay Aucay, 2019)

Según la literatura, la planta es originaria del sudeste asiático (hace 7000 años), no obstante, debido a su alto consumo por turistas y migrantes se expandió a otras regiones, por lo que, en la actualidad, es altamente exportada y consumida, mayormente en países en vías de desarrollo. Según Simran *et al.* (2018) menciona que corresponde a la familia de las *musáceas* y es considerada la segunda fruta a nivel mundial de más alto consumo, seguido de los cítricos, además, se conoce que, según los datos de la FAO, en

2013 el aporte fue de 108 millones de toneladas que se cosecharon y procesaron. Debido a su distribución por diferentes territorios, existen alrededor de 60 familias de banano del género *musa*, la variación que representa el 95% de exportación es el denominado Cavendish, por su alto contenido de azúcares y carecimiento de semillas. (Horna Delgado & Saldaña Garibay, 2019)

La variedad de Cavendish es considerada AAA, de gran importancia a nivel nacional y mundial, se caracteriza por presentar un pseudotallo alto, frutos de alta calidad, pero con tamaño mediano, sus hojas son anchas lo que favorece su resistencia a fuertes vientos, además se considera resistente a la sequía. (Armando Vargas, Watler, Morales, & Vignola, 2017)

2.1.1.1. Descripción botánica del fruto

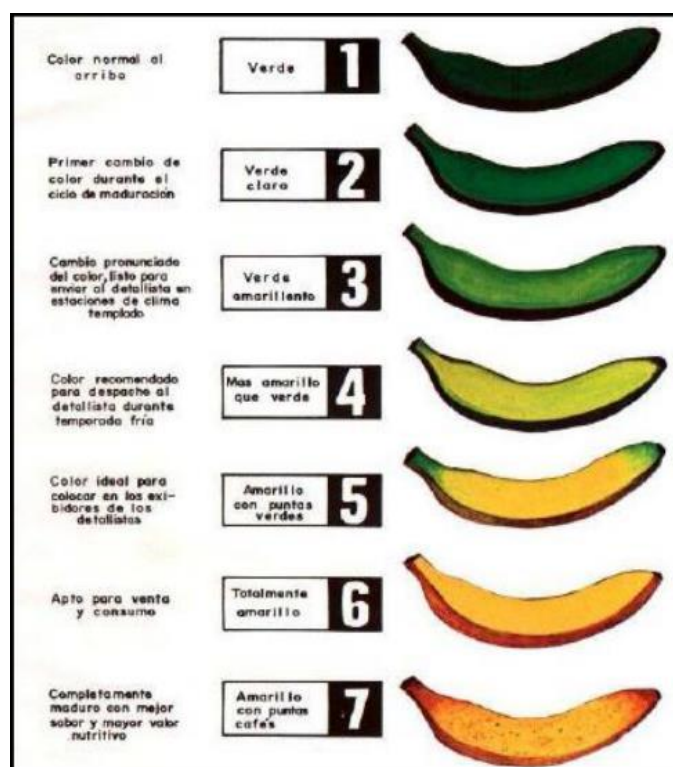


Ilustración 2. Descripción botánica del fruto.

Fuente: Ramírez Céspedes, Tapia Fernández, & Calvo Brenes (2011)

El banano presenta un peso neto promedio de 80 hasta 120 gramos (g), debido a esta característica suele doblarse geotrópicamente, determinando así la forma del

racimo (curvilínea), su textura es dura, y los colores que presentan van en dependencia a su grado de madurez siendo amarillo, amarillo verdoso, rojizo o rojo lo cual está estrechamente relacionado con el sabor dulce. (Horna Delgado & Saldaña Garibay, 2019)

Su forma es polimórfica y los racimos tienen de 5 a 10 manos, compuestas de 2 hasta 20 frutos cada una, la parte comestible del banano se denomina pericarpio, la cual no necesita de polimerización para desarrollar la pulpa. Se conoce que la gran parte de los frutos procedentes de la familia *musáceas* son estériles y los óvulos son atrofiados, sin embargo, pueden observarse en la pulpa, la carencia de semillas se debe a las modificaciones cromosómicas que se generan en el proceso de maduración, y por poseer genes de esterilidad femenina. (Mozombite Tello, 2019)

El fruto de la *Musa paradisiaca* en el proceso de maduración torna de verde a amarillo, la pulpa a su vez cambia su consistencia a suave. (Yupangui Tenesaca, 2016), de acuerdo con Carrillo-Carillo *et al.* (2019) el banano se caracteriza por su alto contenido de almidones, el cual se encuentra recubierto de una cáscara que, en dependencia al estado de madurez de la planta, se presentará el color, siendo amarillo, verde o marrón los más frecuentes.

2.1.1.2. *Propiedades nutricionales del banano*

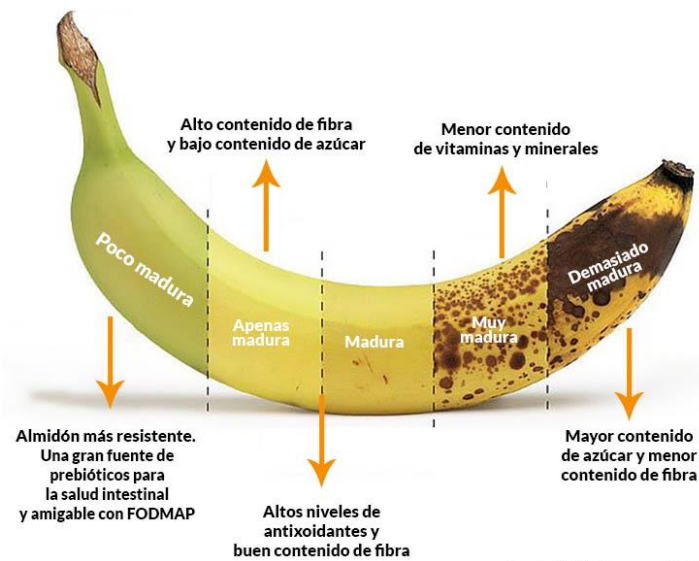


Ilustración 3. Propiedades nutricionales del banano

Fuente: High Performance Nutrition (2019)

Oluwatomida & Jide Afolayan (2019) aclararán que los principales metabolitos son carbohidratos, ácidos grasos, aminoácidos y fibra dietética, los cuales participan en los procesos de crecimiento y procesos fisiológicos, mientras que los metabolitos secundarios; esteroides, fenoles y carotenoides, participan en la polimerización y protección de tejidos vegetales.

El valor nutricional otorgado a la fruta se debe a su alto contenido de hidratos de carbono, puesto que alcanza valores de 20%, por lo cual es fácil de digerir, presenta valores de digestibilidad de 54% - 80%. Cuando el fruto es inmaduro es alto en almidón, bajo en azúcar y contiene inulina (fructooligosacárido) que alcanza el tracto intestinal final y favorece el tránsito intestinal al no ser degradado por enzimas digestivas. La maduración convierte el almidón en azúcar (glucosa, fructosa y sacarosa) al cual se le otorga el alto nivel energético. Además, contiene lípidos, proteínas, magnesio; 0,3%, 1,2% respectivamente, Vitamina B₆ y concentraciones mínimas de potasio (K⁺); 400mg/100 g de pulpa. (Mozombite Tello, 2019)

2.1.1.3. Composición fisicoquímica del banano

	Por 100 g de porción comestible	Por ración (160 g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	94	99	3.000	2.300
Proteínas (g)	1,2	1,3	54	41
Lípidos totales (g)	0,3	0,3	100-117	77-89
AG saturados (g)	0,11	0,12	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	0,04	0,04	67	51
AG poliinsaturados (g)	0,09	0,10	17	13
ω -3 (g)*	0,052	0,055	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (ω -6) (g)	0,039	0,041	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	0	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	20	21,1	375-413	288-316
Fibra (g)	3,4	3,6	>35	>25
Agua (g)	75,1	79,3	2.500	2.000
Calcio (mg)	9	9,5	1.000	1.000
Hierro (mg)	0,6	0,6	10	18
Yodo (μg)	2	2,1	140	110
Magnesio (mg)	38	40,1	350	330
Zinc (mg)	0,23	0,2	15	15
Sodio (mg)	1	1,1	<2.000	<2.000
Potasio (mg)	350	370	3.500	3.500
Fósforo (mg)	28	29,6	700	700
Selenio (μg)	1	1,1	70	55
Tiamina (mg)	0,06	0,06	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,07	0,07	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	0,8	0,8	20	15
Vitamina B₆ (mg)	0,51	0,54	1,8	1,6
Folatos (μg)	22	23,2	400	400
Vitamina B₁₂ (μg)	0	0	2	2
Vitamina C (mg)	10	10,6	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	18	19,0	1.000	800
Vitamina D (μg)	0	0	15	15
Vitamina E (mg)	0,2	0,2	12	12

Ilustración 4. Composición fisicoquímica del banano.

Fuente: Moreiras, Carbajal, Cabrera, & Cuadrado (2013)

La composición fisicoquímica del banano varía dependiendo los factores a los cuales se asocian; lugar de cultivo, estado de maduración, condiciones climáticas; temperatura, altitud, luminosidad, nutrición, entre otros. Según Horna Delgado & Saldaña Garibay (2019) la fruta en estado inmaduro, verde, presenta alto contenido de almidón (20-22%) considerada como materia seca, sin embargo, cuando madura posee un alto contenido en azúcares simples, abundando la sacarosa (70%), glucosa (20%) y menor proporción la fructosa (14%). Según ...la cascara del banano presenta de 6-9% de proteínas cruda, fibra dietética (43,2 a 49,7%) y 3% de almidón. (Oguntoyinbo, Olumurewa, & Omoba, 2020)

Además, mencionó que los parámetros de acidez y pH se elevan durante el proceso de maduración de la fruta, puesto que se produce la síntesis de ácidos orgánicos; tartárico, ascórbico, fumárico, cítrico, oxálico, málico, entre otros, siendo el ácido cítrico y málico

los de mayores concentraciones, no obstante, durante las dos primeras etapas de maduración los valores de madurez alcanzan los 58% aproximadamente, y en etapas posteriores, es decir, en el estado de madurez N° 6, el pH desciende, por lo que es fácil detectarlo a través del nivel sensorial. (Horna Delgado & Saldaña Garibay, 2019)

2.1.2. PURÉ DE BANANO

Desde 1985 el Ecuador ha exportado puré de banano de alta calidad, la provincia de El Oro se dedica al monocultivo de banano que no cumplen con los requisitos de calidad para ser exportados. El puré es un producto semielaborado sintetizado por frutas frescas con óptima maduración que no se han fermentado, el tiempo de vida se extiende debido al tratamiento térmico (esterilización) para la eliminación de microorganismos patógenos, asegurando así un producto inocuo y de calidad. (Yupangui Tenesaca, 2016) En algunos casos, en el proceso de fabricación se le incorpora ácido cítrico para equilibrar el pH del fruto y del ácido ascórbico permitiendo mantener su color característico. (Garay Aucay, 2019)

2.1.2.1. Normativa Técnica Ecuatoriana (INEN).

Tabla 1. Límites máximos establecidos para los contaminantes

	Límite máximo	Método de ensayo
Arsénico, As mg/kg	0,2	NTE INEN 269
Cobre, Cu mg/kg	5,0	NTE INEN 270
Estaño, Sn mg/kg *	200	NTE INEN 385
Zinc, Zn mg/kg	5,0	NTE INEN 399
Hierro, Fe mg/kg	15,0	NTE INEN 400
Plomo, Pb mg/kg	0,05	NTE INEN 271
Patulina (en jugo de manzana)**, mg/kg	50	AOAC 49.7.01
Suma de Cu, Zn, Fe mg/kg	20	
* En el producto envasado en recipientes estañados		
** La patulina es una micotoxina formada por una lactona hemiacetálica, producida por especies del género <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> y <i>Byssoclamys</i> .		

Fuente: INEN, (2008)

Para la elaboración de puré a partir de frutas, es importante conocer la definición según la normativa INEN 2337:2008, la cual define al puré como producto sintetizado a partir de la pulpa carnosa de la fruta que no sea fermentada, pero susceptible a

fermentación, elaborada a partir de procesos tecnológicos; trituración, molienda, desmolido, entre otros, y, a su vez, cuyo proceso certifique buenas prácticas de manufactura. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

Entre los requisitos que deben cumplir, la pulpa debe presentar las características sensoriales de la fruta, además la presencia de sólidos solubles mínimo debe ser de 21,0 ° Brix. Además, debe cumplir con las cantidades límites de contaminantes para asegurar su consumo. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

2.1.3. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO DE LA POLIFENOL OXIDASA

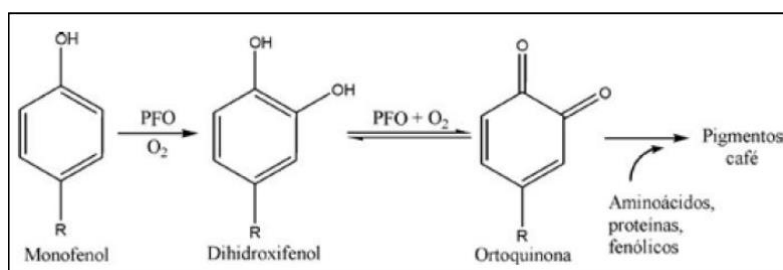


Ilustración 5. Pardeamiento enzimático de las (PPO)

Fuente: Garay Aucay, (2019)

Según Dávila M., Cortés R., & Gil G., (2016) el pardeamiento enzimático se caracteriza por la reacción de oxidación de compuestos fenólicos presentes en la composición a quinonas, por acción del oxígeno como sustrato, estos productos al considerarse altamente reactivos son sintetizados a melaninas por polimerización dando lugar a un pigmento café fácilmente identificable. Se conoce que la calidad del banano está en dependencia de la actividad del pardeamiento enzimático y este, a su vez, está relacionado directamente a la cantidad de fenoles presentes en el fruto. (Selvarajan, Veena, & Manoj Kumar, 2018)

Durante los procesos metabólicos se produce la liberación de gas natural, gas etileno el cual es desencadenante de las reacciones enzimáticas, principalmente de la PPO. (N'Guessan, Kouadio, & Gonnety, 2018)

Por otro lado, Garay Aucay (2019) menciona que las enzimas que llevan a cabo el proceso son de tipo polifenol oxidasa (PPO) o denominadas fenolasas, las cuales requieren la presencia de cobre para generar la reacción, entre los compuestos fenólicos que participan en las dos etapas del pardeamiento enzimático la hidroxilación, en la que participan compuestos fenólicos como el catecol, ácido clorogénico, ácido cafeico, flavonoides, hidroquinonas y antocianinas, para ser posteriormente oxidados y obtener los pigmentos café característicos de la segunda etapa.

2.1.3.1. *Enzima polifenol oxidasa (PPOs)*

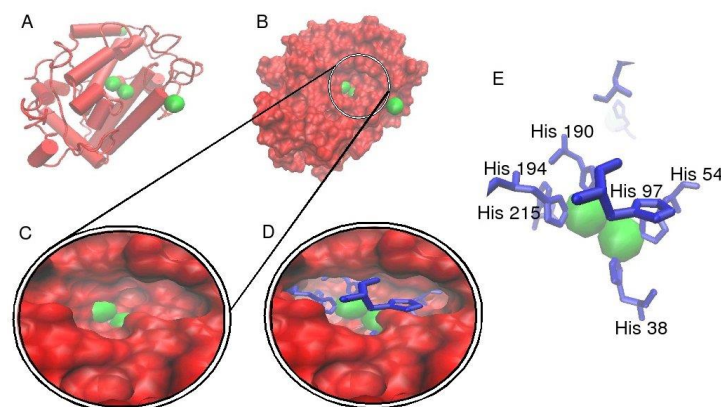


Ilustración 6. Enzima polifenoloxidasa

Fuente: Lurueña, (2011)

Las enzimas polifenol oxidasas (PPOs) o fenolasas fueron aisladas por primera vez de los champiñones, son metaloproteasas almacenadas en los cloroplastos (plástidos) de las células vegetales, constituidas por 2 átomos de cobre (Cu^{+2}) representa un 0,2% el grupo prostético (Gutiérrez, 2000) en su centro activo con un aspecto piramidal trigonal, además, están unidas a aminoácidos de histidina y, posteriormente a aminoácidos de naturaleza hidrofóbica con presencia de anillos aromáticos que participan en la interacción con los substratos. El cobre (Cu^+) ubicado en el centro activo reacciona con el oxígeno (O_2) para la conversión del monofenol a *o*-quinonas con un producto intermediario, el *o*-difenol. (Vega, Salazar, Bautista, & Muñoz, 2020)

2.1.3.2. Acción enzimática de polifenol oxidasa

La PPOs se activan posterior al proceso de cosecha y transporte de la fruta (*Musa paradisiaca*), ya que no están sometidas a procesos de conservación, en consecuencia facilita el daño mecánico a nivel tisular y celular por actividad del metabolismo o presencia de microorganismos (Jadán Piedra, 2017), por ende, genera cambios en las características organolépticas y pérdidas nutricionales, sin embargo, este último está asociado mayoritariamente a la oxidación del ácido ascórbico.

Las variaciones percibidas en las propiedades organolépticas del banano aumentan la susceptibilidad a factores exógenos tales como el pH, oxígeno y temperatura que conllevan al incremento de actividad enzimática de la PPO, por esta razón, los procesos de conservación son limitados. (Vega, Salazar, Bautista, & Muñoz, 2020)

2.1.4. INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA DE LA PPOs

James K. Palmer realizó los primeros estudios sobre las propiedades de las PPOs en la *Musa paradisiaca*, posteriormente fueron compararon dichas actividades con las de diferentes fuentes vegetales, con la finalidad de explorar la inactivación de las PPOs, para la generación del pardeamiento enzimático es necesario la presencia de O₂, sustrato y enzima, sin embargo, la acción del sustrato es improbable, por esta razón, los estudios investigativos se han centrado en la eliminación del oxígeno molecular o la inhibición enzimática. (Horna Delgado & Saldaña Garibay, 2019)

Según Wohlt, Schwarz, Schieber, & Bader-Mittermaier (2021) el tratamiento térmico es un procedimiento eficaz y confiable para la inactivación del pardeamiento enzimático, sin embargo, persiste la degradación de los componentes fitoquímicos y disminuye la calidad del banano, por esta razón, las industrias alimenticias buscan alternativas para conservar la composición química, sabor y valor nutritivo.

2.1.4.1. Inhibidores químicos del pardeamiento

2.1.4.1.1. Derivados del azufre

Los compuestos azufrados; sulfitos (SO_3^{2-}) y bisulfitos (HSO_3^-) son empleados como agentes reductores para prevenir la conversión de los difenoles en *o*-quinonas y evitar el pardeamiento en el producto, puesto que se unen irreversiblemente a las quinonas para la formación de las sulfoquinonas. No obstante, según Yupangui Tenesaca (2016) su uso se suspendió por manifestar efectos secundarios en los consumidores principalmente alergia. Es por esta razón que el Codex Alimentario (2009) estableció los límites permisibles en las NORMAS PARA LAS CONFITURAS, JALEAS Y MERMELADAS (CXS 296-2009) con un valor de 50mg/kg de SO_3^{2-} .

2.1.4.1.2. Agentes quelantes

Los agentes quelantes tienen la función principal de unirse irreversiblemente a los iones metálicos de Cu^{++} que se presentan en el sitio activo del polifenol oxidasa, evitando el pardeamiento. Entre los principales agentes utilizados están el EDTA, fosfatos y los ácidos orgánicos. (Garay Aucay, 2019)

2.1.4.1.3. Agentes acidulantes

Los acidulantes actúan descendiendo el pH óptimo de las enzimas, lo cual inactiva su funcionalidad, sin embargo, requieren emplearse con otro agente acidulante para lograr la inactivación completa de las PPOs, en algunos casos, se emplea un antioxidante para potenciar el efecto del ácido ascórbico. (Yupangui Tenesaca, 2016) Entre los agentes más empleados están; el ácido cítrico, fosfórico y málico. (Garay Aucay, 2019)

2.1.4.2. *Inhibidores físicos del pardeamiento*

2.1.4.2.1. Eliminación de O_2

La limitación de oxígeno en el proceso de pardeamiento enzimático se realiza empleando un sistema al vacío o sistemas que emplean atmósferas modificadas que permitan conservar la calidad natural de los purés de banano. (Yupangui Tenesaca, 2016)

2.1.4.2.2. Escaldado

El tratamiento térmico o escaldado se fundamenta en la activación o inactivación de las proteínas/ enzimas de las frutas o vegetales, puesto que al incrementar la temperatura optima de las enzimas ($> 50^{\circ}\text{C}$) produce la desnaturalización proteica, manteniendo la calidad de los productos. (Yupangui Tenesaca, 2016)

2. CONCLUSIONES

En definitiva, existen diferentes parámetros que alteran la calidad de la materia prima utilizados en la elaboración del puré, entre los principales factores físicos están básicamente el procesamiento de la fruta desde su cosecha hasta su preparación (manipulación, trituración, molienda, etc.) afectando la textura, valor nutritivo, pH, acidéz y, a su vez alteran la composición química, en efecto, activa las PPOs provocando la conversión de los compuestos fenólicos en quinonas y, posteriormente a melaninas protagonistas del color pardo en el banano.

El pardeamiento del banano se incrementa cuando se expone tiempos prolongados al ambiente o en el procedimiento debido a la acción enzimática, sin embargo, las industrias alimenticias han elaborado alternativas que inhiban la acción de las enzimas involucradas en el pardeamiento, cuyo fundamento es la eliminación o inhibición del oxígeno y las PPO, empleando compuestos azufrados que actúen como agentes reductores; agentes quelantes o acidulantes, también, existen otras alternativas como el tratamiento térmico que genere la desnaturalización de las enzimas, por ende, su inactivación.

En la comercialización y exportación del puré de banano es imprescindible cumplir con los parámetros impuestos por las Normativas NTE INEN 2337:2008 tales como la presencia de solidos solubles, acidez, la inexistencia de metales pesados y microorganismos patógenos para evitar las ETA a nivel mundial.

3. RECOMENDACIONES

- Realizar indagaciones y estudios sobre el efecto directo que provoca la activación del polifenol oxidasa durante las etapas de almacenamiento.
- Realizar estudios evaluativos sobre la acción de la actividad enzimática en distintas variedades de banano.
- Realizar evaluaciones macroscópicas para la evaluación de las características organolépticas del banano.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Armando Vargas, C., Watler, W., Morales, M., & Vignola, R. (Diciembre de 2017). *Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)*. Obtenido de PRÁCTICAS EFECTIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE IMPACTOS POR EVENTOS CLIMÁTICOS EN EL CULTIVO DE BANANO EN COSTA RICA: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8205.pdf>
- Carrillo-Carrillo, M., Castorena-Alemán, J. D., García-Jiménez, F. d., & García-Gonzales, J. M. (Junio de 2019). Deshidratación de plátano (*Musa paradisiaca*) por medio de radiación solar en un secador directo. *Revista de Sistemas Experimentales*, 6(19), 19-23.
doi:10.35429/JOES.2019.19.6.19.23
- Codex Alimentario. (2009). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de NORMA PARA LAS CONFITURAS, JALEAS Y MERMELADAS: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B296-2009%252FCXS_296s.pdf
- Dávila M., R. M., Cortés R., M., & Gil G., J. H. (2016). Cambios físicos y fisicoquímicos durante el almacenamiento en plátano impregnado al vacío con soluciones antioxidantes. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 14(2), 125-

134. doi:10.18684/BSAA(14)125-134

Ganchozo, A. (4 de Abril de 2018). *Revista Lideres*. Obtenido de Ellos exportan puré de banano: <https://www.revistalideres.ec/lideres/exportan-pure-banano-exportaciones-ecuador.html>

Garay Aucay, M. G. (2019). *REACCIONES DE PARDEAMIENTO PRESENTES DURANTE EL PROCESAMIENTO DE PURÉ DE BANANO QUE AFECTAN SU CALIDAD Y SUS POSIBLES SOLUCIONES*. Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13586/1/GARAY%20AUCAY%20MICHAEL%20GUILLERMO.pdf>

Gutiérrez, J. B. (2000). *Ciencia Bromatológica. Principios generales de los alimentos*. Madrid: Diaz de Santos S.A. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=94BiLLKBJ6UC&printsec=frontcover&dq=cinetica+enzimatica+de+la+PPO+pdf&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjSicr169f1AhVmQzABHapdAsMQ6AF6BAgGEAI#v=onepage&q&f=false>

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*. Lambayeque - Perú: FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS. Obtenido de https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/9133/Horna_Delgado_M%c3%b3nica_Jacquelin_y_Salda%c3%b1a_Garibay_Jessenia_Melissa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NECTARES, BEBIDAS DE FRUTAS Y VEGETALES. REQUISITOS*. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2337.pdf>

Jadán Piedra, F. (2017). Control del pardeamiento enzimático en manzanas cortadas (Red delicious) mediante un sistema de envasado activo. *Enfoque UTE*, 8(2), 66-77. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n2.158>

- Lurueña , M. A. (25 de Noviembre de 2011). Obtenido de ¿Por qué algunas frutas se oscurecen cuando las cortamos?: <http://www.gominolasdepetroleo.com/2011/11/>
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). *INFORME SECTOR BANANERO ECUATORIANO*. Quito. Obtenido de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-esp%C3%B1ol-04dic17.pdf>
- Moreiras , O., Carbajal, Á., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos*. Piramide.
- Mozombite Tello, L. M. (2019). *Caracterización botánica y evaluación preliminar del rendimiento en tres ecotipos de Musa paradisiaca L.* Tarapoto-Perú. Obtenido de <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3601/AGRONOMIA%20-%20Liz%20Ane%20Marisol%20Mozombite%20Tello.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- N'Guessan, A. A., Kouadio, O. K., & Gonnety, J. T. (2018). Effect of Chemical and Thermal Treatments on Browning Inhibition of Senescent Plantain (*Musa paradisiaca*) Puree for Semolinas Preparation. *American Journal of Biochemistry*, 8(4), 75-84.
doi:10.5923/j.ajb.20180804.02
- Oguntoyinbo, O. O., Olumurewa, J. V., & Omoba, O. S. (2020). Chemical Composition, Dietary fiber and Antioxidant Activity of Fermented Ripe Banana Peel Flour. *J. Food. Stab*, 3(2), 27-42. doi:10.36400/J.Food.Stab.3.2.2020-0034
- Oluwatomida, B., & Jide Afolayan, A. (November de 2019). Comparative Evaluation of the Nutritive, Mineral, and Antinutritive Composition of *Musa sinensis* L. (Banana) and *Musa paradisiaca* L. (Plantain) Fruit Compartments. *Plants*, 8(12), 1-14.
doi:<https://doi.org/10.3390/plants8120598>
- Ramírez Céspedes, C., Tapia Fernández, A. C., & Calvo Brenes, P. (2011). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE FRUTA DE BANANO DE ALTURA QUE SE PRODUCE EN EL CANTÓN DE TURRIALBA, COSTA RICA. *Revista intersedes*, 114-136.
- Sánchez, A. M., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2020). *Sector Bananero Ecuatoriano*. Tungurahua. Obtenido de <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/08/Sector-bananero-ecuatoriano-final.pdf>

- Selvarajan, E., Veena, R., & Manoj Kumar, N. (September de 2018). Polyphenol Oxidase, Beyond Enzyme Browning. *Microbial Bioprospecting for Sustainable Development*, 203-222. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-0053-0_10
- Simran, A., Saleem, S., Rakesh, G., & Naseer, A. (2018). Effects of Anti-Browning Pretreatments on Browning of Banana Pulp. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(4), 242-249. doi:<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.027>
- Vega, N. A., Salazar, S. A., Bautista, L. T., & Muñoz, G. E. (2020). Evaluación del efecto inhibidor de la enzima polifenol oxidasa en una salsa de aguacate (Persea americana). *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 58-62. doi:<https://doi.org/10.31908/19098367.1775>
- 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, 1-19. doi:<https://doi.org/10.3390/>
- Yupangui Tenesaca, M. G. (2016). *MÉTODOS UTILIZADOS PARA EVITAR EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO Y NO ENZIMÁTICO EN EL PURÉ DE BANANO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA*. Machala: UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7588/1/yupangui.pdf>