



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

REACCIONES DE PARDEAMIENTO PRESENTES DURANTE EL
PROCESAMIENTO DE PURÉ DE BANANO QUE AFECTAN SU
CALIDAD Y SUS POSIBLES SOLUCIONES

GARAY AUCAY MICHAEL GUILLERMO
INGENIERO EN ALIMENTOS

MACHALA
2019



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

REACCIONES DE PARDEAMIENTO PRESENTES DURANTE EL
PROCESAMIENTO DE PURÉ DE BANANO QUE AFECTAN SU
CALIDAD Y SUS POSIBLES SOLUCIONES

GARAY AUCAY MICHAEL GUILLERMO
INGENIERO EN ALIMENTOS

MACHALA
2019



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

EXAMEN COMPLEXIVO

REACCIONES DE PARDEAMIENTO PRESENTES DURANTE EL PROCESAMIENTO
DE PURÉ DE BANANO QUE AFECTAN SU CALIDAD Y SUS POSIBLES
SOLUCIONES

GARAY AUCAY MICHAEL GUILLERMO
INGENIERO EN ALIMENTOS

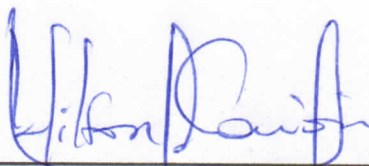
CARRION ESPINOSA WILSON EMMANUEL

MACHALA, 05 DE FEBRERO DE 2019

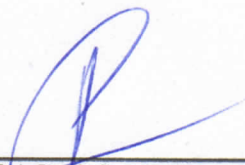
MACHALA
05 de febrero de 2019

Nota de aceptación:

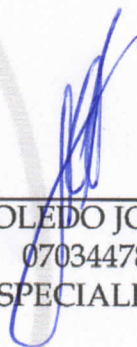
Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado Reacciones de pardeamiento presentes durante el procesamiento de puré de banano que afectan su calidad y sus posibles soluciones, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.



CARRION ESPINOSA WILSON EMMANUEL
0704725688
TUTOR - ESPECIALISTA 1



MATUTE CASTRO NUBIA LISBETH
0703695478
ESPECIALISTA 2



SIGUENZA TOLEDO JOAQUIN DARWIN
0703447854
ESPECIALISTA 3

Fecha de impresión: martes 05 de febrero de 2019 - 08:28

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Proyecto-de-Puré-de-banano-pardeamiento (Avance)
(Autoguardado).docx (D47089656)
Submitted: 1/21/2019 9:58:00 PM
Submitted By: mgaray_est@utmachala.edu.ec
Significance: 2 %

Sources included in the report:

<http://www.fao.org/3/a-i5116s.pdf>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7699/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-15.pdf>
<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/362/216>

Instances where selected sources appear:

5

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

El que suscribe, GARAY AUCAY MICHAEL GUILLERMO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Reacciones de pardeamiento presentes durante el procesamiento de puré de banano que afectan su calidad y sus posibles soluciones, 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.

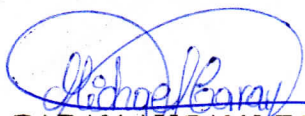
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

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.

El autor 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, 05 de febrero de 2019



GARAY AUCAY MICHAEL GUILLERMO
0750231318

DEDICATORIA

Este trabajo quisiera dedicar a los pilares fundamentales en mi vida, mis padres, especialmente mi madre, que con sus consejos y formación han conseguido siempre alentarme a seguir, es por esto que pienso que este trabajo también es suyo, ya que ellos fueron los promotores principales.

Michael Guillermo Garay Aucay

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ayudarme en todas las circunstancias que he pasado a lo largo de mi vida, creo firmemente que es el primer ser que se lo merece.

También quisiera agradecer a mis padres por ser mi apoyo durante toda mi vida y ser quienes me guiaron y formaron. Además, quisiera agradecer a mi tutor de proyecto por su aporte al presente trabajo.

Michael Guillermo Garay Aucay

RESUMEN

En este proyecto se identificaron las reacciones de pardeamiento que se pueden presentar en la elaboración de puré de banano, describiendo las condiciones que favorecen a las mismas, de igual manera se describen las condiciones que inhiben estas reacciones no deseadas. Se presenta un diagrama de flujo del procesamiento del puré de banano a escala industrial donde se detalla cada uno de los parámetros en las diferentes etapas y cuáles son las causas que provocan el pardeamiento en cada una de ellas, además que se plantean las soluciones dependiendo del origen del problema.

Existen dos tipos de reacciones de pardeamiento (enzimáticas y no enzimáticas). Sin embargo, se pudo concluir que la reacción de pardeamiento que más afecta al puré de banano es la enzimática, es por esto que en las etapas planteadas se diseñan formas físicas y químicas, además de parámetros de control para contrarrestarla (dosificación de solución de ácidos orgánicos que ayuda en la adición de ácido ascórbico como antioxidante en producto final, además de la disminución del pH; el precalentamiento que contribuye con la inhibición de la enzima polifenoloxidasasa por el aumento de la temperatura del alimento; el desairado evita la oxidación enzimática por la ausencia del oxígeno en el producto). Por otro lado, durante el procesamiento el pardeamiento no enzimático se presenta como la reacción de Maillard y la caramelización de azúcares, las cuales son catalizadas por las elevadas temperaturas, por esto durante la esterilización se establecieron límites en las temperaturas.

PALABRAS CLAVES: puré de banano, pardeamiento, oxidación, polifenoloxidasasa, reacción de Maillard, caramelización.

ABSTRACT

In this project the browning reactions that can occur in the banana purée elaboration were identified, describing the conditions that favor them, likewise the conditions that inhibit these unwanted reactions are described. A flowchart of banana mash processing at an industrial scale is presented where each of the parameters is detailed in the different stages and what are the causes that cause the browning in each one of them, besides the solutions are proposed depending on the Origin of the problem.

There are two types of browning reactions (enzymatic and non-enzymatic). However, we could be concluded that the browning reaction that most affects the banana mash is the enzymatic, that is why in the proposed stages physical and chemical forms are designed, in addition to control parameters to counteract it (dosage of acid solution organic that helps in the addition of ascorbic acid as an antioxidant in the final product, in addition to the decrease in pH, the preheating that contributes to the inhibition of the polyphenoloxidase enzyme by increasing the temperature of the food, the deaerated prevents enzymatic oxidation by the absence of oxygen in the product). On the other hand, during the processing the non-enzymatic browning is presented as the Maillard reaction and the caramelisation of sugars, which are catalyzed by the high temperatures, therefore, during the sterilization, temperature limits were established.

Keywords: banana puree, browning, oxidation, polyphenoloxidase, Maillard reaction, caramelization.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 El banano	3
1.1.1 Producción de banano en el Ecuador	3
1.1.2 Exportaciones de banano desde Ecuador	4
1.1.3 Composición fisicoquímica del banano.	5
1.2 Puré de banano	6
1.2.1 Tipos de purés	6
1.3 Normativa ecuatoriana para puré de frutas	6
1.4 Reacciones de pardeamiento en los alimentos	7
1.5 Pardeamiento enzimático	7
1.5.1 Inhibidores químicos del pardeamiento enzimático	8
1.5.2 Inhibidores físicos del pardeamiento enzimático	9
1.6 Pardeamiento no enzimático	10
1.6.1 Reacción de Maillard	10
1.6.2 Caramelización	14
1.6.3 Oxidación del ácido ascórbico	14
1.7 Colorimetría en alimentos	15
1.7.1 Escalas de medición de color	15
1.7.2 Colorímetros	16
2. DESARROLLO	17
2.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de puré de banano	17
2.2 Descripción del diagrama de flujo	18
3. RESULTADOS	22
3.1 Identificación de las etapas donde puede presentarse el pardeamiento y sus soluciones	22
4. CONCLUSIONES	24
5. BIBLIOGRAFÍA	25

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Planta de banano.	3
Ilustración 2. Escala de Von Loesecke para medir maduración en frutas de banano	5
Ilustración 2. Mecanismo de reacción de la polifenoloxidasa	8
Ilustración 3. Formación de base de Schiff	11
Ilustración 4. Ciclización de la base de Schiff	11
Ilustración 5. Transposiciones de Amadori y de Heyns.	12
Ilustración 6. Síntesis de diversos compuestos a partir de una cetosamina.	13
Ilustración 7. Productos que se generan en la reacción de Maillard.	14
Ilustración 8. Vías de degradación oxidativa del ácido ascórbico.	15
Ilustración 9. Coordenadas de color en el sistema Hunter Lab.	16

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Superficie cosechada (Ha) de banano en las provincias del Ecuador en el 2017	4
Tabla 2. Producción (Tm) de banano en las provincias del Ecuador en el año 2017	4
Tabla 3. Principales mercados del banano ecuatoriano según los volúmenes de embarques 2018 (Enero – Junio).....	4
Tabla 4. Características fisicoquímicas del banano en diferentes estados de madurez (EM)	5
Tabla 5. Especificaciones fisicoquímicas del puré de banano en dos industrias de la provincia de El Oro.	6
Tabla 6. Especificaciones para pulpa o puré de frutas.	7
Tabla 7. Condiciones que favorecen las reacciones de oscurecimiento	7
Tabla 8. Etapas del procesamiento del puré de banano que pueden causar su pardeamiento y sus soluciones.....	22

INTRODUCCIÓN

El banano después de cultivos como el trigo, arroz y maíz es uno de los principales en el mundo. Se cultiva en países en vías de desarrollo que se encuentran en regiones tropicales y es destinado a países con altos ingresos. En Ecuador la producción de banano se expandió luego de la Segunda Guerra mundial, debido a que el país precisaba sustituir la industria del cacao que colapsó en la década de 1920. Para el año 1952, el Ecuador ya era el mayor exportador de banano a nivel mundial. (Elbehri et al., 2015)

El puré de banano es la pulpa de esta fruta que ha sido sometido a un proceso de molido para disminuir sus partículas, además de homogenización para tener un producto uniforme, que con la ayuda de ácidos y un tratamiento térmico mantiene estable su color y su vida útil.

En la provincia de El Oro se existen dos industrias que elaboran puré de banano, Diana Food Ecuador e Industrias Borja, las cuales toman como materia prima los bananos que no cumplieron con las características para ser exportados, pero que sin embargo se encuentran en buenas condiciones, los cuales son madurados para luego ser procesados.

La normativa que regula las características fisicoquímicas, microbiológicas, aditivos agregados, entre otros datos del puré de banano en el Ecuador es la NTE INEN 2 337:2008 (Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos)

El banano durante su procesamiento es susceptible a diferentes reacciones que ocasionan su pardeamiento afectando su color y calidad, esto puede ocasionar problemas de aceptación por parte de los clientes.

Por lo tanto, en este proyecto se identifican las reacciones de pardeamiento presentes durante el procesamiento del puré de banano que afectan su calidad para de esta manera plantear sus respectivas soluciones.

La contribución que ofrece el presente proyecto es reconocer el tipo de reacciones de pardeamiento que se presentan en el puré de banano según la etapa del proceso en que se produce, para de esta manera corregir a tiempo este defecto, con esto las industrias que procesan este producto proveerán a sus clientes puré de banano con un mejor color, el cual será mucho más aceptable.

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar las reacciones de pardeamiento presentes durante el procesamiento del puré de banano que afectan su calidad para plantear sus respectivas soluciones.

Objetivos específicos

- Definir los tipos de pardeamientos enzimático y no enzimáticos que se pueden presentar en los alimentos, tanto en su procesamiento como en su almacenamiento.
- Describir el proceso de elaboración del puré de banano mediante un diagrama de flujo para identificar las etapas en las que ocurren las reacciones de pardeamiento.
- Proponer soluciones a las reacciones de pardeamiento del puré de banano que se identificaron en el procesamiento utilizando métodos físicos o químicos para contrarrestar su actividad.

MARCO TEÓRICO

1.1 El banano



Ilustración 1 Planta de banano.

El banano es una planta perteneciente al género *Musa*, específicamente *Musa acuminata* (genoma A) y *Musa balbisiana* (genoma B), las cuales se presentan en las diversas variedades. Su nombre científico es *Musa Sapientum*. Los lugares donde se producen son regiones tropicales, con temperaturas que van de 18 °C a 30 °C, además que tienen una gran disponibilidad de agua y con buen sistema de drenaje (Elbehri et al., 2015).

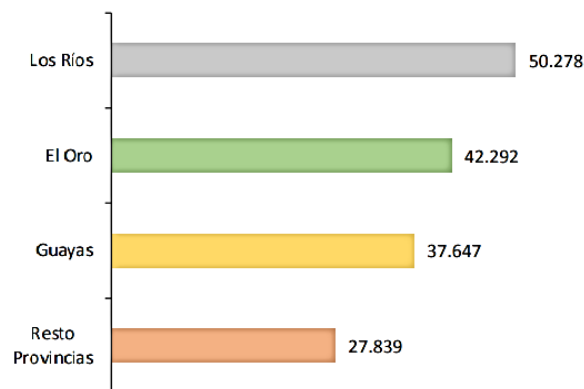
El banano es importante en la economía de los países que cultivan esta fruta, como lo son países Latinoamericanos, del Caribe, Asia y África (Nadal Medina, Manzo Sánchez, Orozco Romero, Orozco Santos, & González Guzmán, 2009)

1.1.1 Producción de banano en el Ecuador

En el sector bananero durante el año 2017 se presenta una reducción en la superficie cosechada de 12.35 %, lo cual representa 22.280 hectáreas, lo que condujo a una disminución de la producción de banano del 3,69% con relación al año anterior. El banano destinado a la exportación se sitúa principalmente en la Costa. Las principales provincias productoras son: Los Ríos, Guayas y El Oro (INEC, 2017)

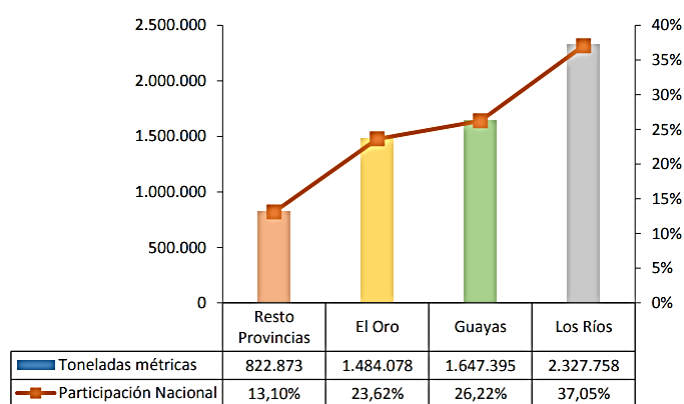
En los siguientes gráficos se presenta la superficie cosechada en hectáreas y la producción en Toneladas métricas de banano durante el 2017.

Tabla 1. Superficie cosechada (Ha) de banano en las provincias del Ecuador en el 2017



Fuente: (INEC, 2017)

Tabla 2. Producción (Tm) de banano en las provincias del Ecuador en el año 2017



Fuente: (INEC, 2017)

1.1.2 Exportaciones de banano desde Ecuador

Ecuador exporta banano a diferentes partes del mundo, a continuación se detallan los destinos de las exportaciones en el último año desde enero hasta junio.

Tabla 3. Principales mercados del banano ecuatoriano según los volúmenes de embarques 2018 (Enero – Junio)

	VOLUMEN	%
MAR DEL NORTE / BALTICO	45,397,963	21.80
RUSIA	45,041,388	21.63
MEDIO ORIENTE	27,595,729	13.25
MEDITERRANEO	25,924,843	12.45
ESTADOS UNIDOS	22,919,663	11.01
CONO SUR	15,435,157	7.41
ORIENTE	11,720,807	5.63
EUROPA DEL ESTE	8,343,767	4.01
AFRICA	3,851,302	1.85
OCEANIA	2,010,132	0.97
TOTAL	208,240,751	100.00

Fuente: (Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE), 2018)

1.1.3 Composición fisicoquímica del banano.

La composición fisicoquímica del banano varía según diferentes factores, entre los principales están: variedad, estado de maduración, lugar del cultivo, etc. (Martínez-Cardozo, Cayón-Salinas, & Ligarreto-Moreno, 2016)

Una característica de la maduración del banano es la conversión del almidón en azúcares sencillos, de los cuales el 70% es sacarosa (Liew & Lau, 2012).

Tabla 4. Características fisicoquímicas del banano en diferentes estados de madurez (EM)

E.M.	pH	Acidez titulable (g/100 g)	Sólidos solubles °Bx	Índice de madurez
1	5,62±0,11 ^a	0,13±0,02 ^a	1,11±0,38 ^a	8,61±2,21 ^a
2	5,45±0,12 ^{ab}	0,17±0,01 ^b	6,00±0,67 ^b	34,57±2,16 ^b
3	5,23±0,08 ^{bc}	0,19±0,01 ^{bc}	11,56±0,77 ^c	59,76±0,42 ^c
4	5,05±0,09 ^{cd}	0,22±0,01 ^{cd}	14,22±0,77 ^d	63,68±0,17 ^d
5	4,93±0,03 ^d	0,25±0,00 ^{de}	16,00±0,00 ^d	64,00±0,00 ^d
6	4,46±0,04 ^e	0,28±0,01 ^e	18,22±0,77 ^e	64,32±0,11 ^d
7	4,29±0,02 ^e	0,28±0,02 ^f	20,67±1,34 ^f	64,58±0,14 ^d

Fuente: (Torres, Montes, Pérez, & Andrade, 2013).

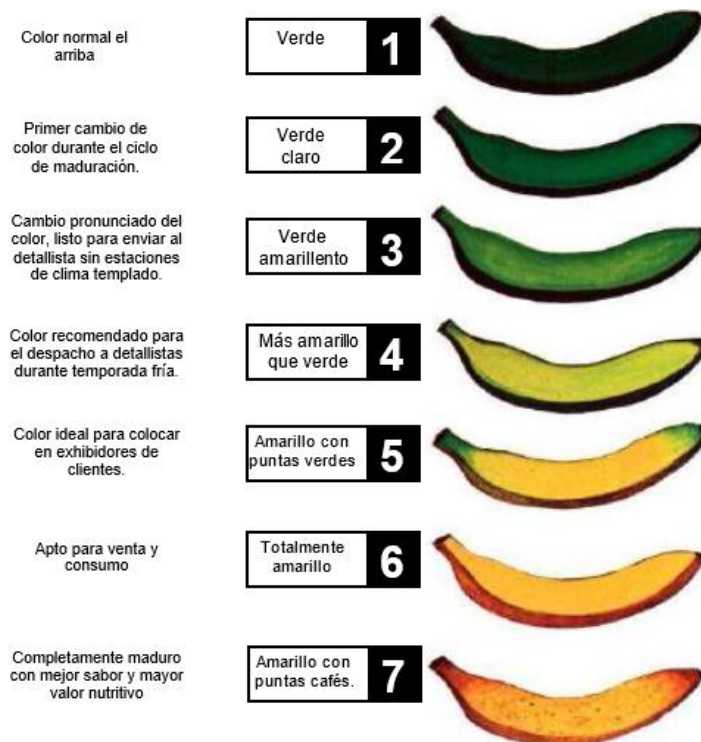


Ilustración 2. Escala de Von Loesecke para medir maduración en frutas de banano

Fuente: (Céspedes Ramírez, Tapia Fernández, & Calvo Brenes, 2010)

1.2 Puré de banano

El puré de banano es un producto que se obtiene a partir de bananos con una madurez óptima, a los cuales se les ha añadido ácido cítrico para regular el pH y ácido ascórbico para conservar su color característico. Además que se posee una alta calidad aséptica debido al tratamiento térmico al que fue sometido (Navas & Costa, 2014).

1.2.1 Tipos de purés

En la provincia de El Oro las industrias que elaboran puré de banano son: Industrias Borja, que se encuentra ubicada en la Parroquia de Barbones, perteneciente a el cantón El Guabo; por otro lado se encuentra Diana Food, ubicada en la Parroquia de La Peaña, que pertenece al cantón Pasaje, las cuales exportan a diferentes países ofreciendo varios productos, pero esencialmente son 2 tipos (puré de baja acidez y acidificado) con variaciones en los ácidos utilizados o casos que suelen ser con o sin semillas, en la siguiente tabla se detallan las especificaciones de ambos productos para cada industria.

Tabla 5. Especificaciones fisicoquímicas del puré de banano en dos industrias de la provincia de El Oro.

Parámetros	Industrias Borja		Diana Food	
	Puré de banano baja acidez	Puré de banano acidificado	Puré de banano baja acidez	Puré de banano acidificado
Grados Brix	22 - 26	22 - 26	21 - 25	21 - 25
pH	4.5 - 4.7	4.2 - 4.4	4.6 - 5.1	4.2 - 4.5
Acidez total (% ac. Cítrico)	0.3 - 0.35	0.4 - 0.7	0.22 - 0.40	0.45 - 0.60
Ácido ascórbico (ppm)	200 - 500	150 - 350	400 - 600	600 - 1000
Color	L	-	65 mínimo	65 mínimo
	A	-	-2 - +3	-2 - +2
	B	-	18 - 35	18 - 35

Fuente: El autor

1.3 Normativa ecuatoriana para puré de frutas

La normativa ecuatoriana a la que se remite el puré de banano es la NTE INEN 2337 “JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NECTARES, BEBIDAS DE FRUTAS Y VEGETALES. REQUISITOS”. En la cual se define el puré de fruta como: “El producto carnoso sin fermentar, pero susceptible a fermentación que se obtiene a través de procesos tecnológicos a partir de la

parte comestible de frutas maduras enteras o peladas que se encuentran en buenas condiciones” (INEN, 2008)

Tabla 6. Especificaciones para pulpa o puré de frutas.

Fruta	Nombre botánico	Sólidos solubles mínimos NTE INEN 380
Banano	Musa spp.	21

Fuente: (INEN, 2008)

1.4 Reacciones de pardeamiento en los alimentos

En el procesamiento de los alimentos acontecen varias reacciones que influyen sobre las características fisicoquímicas de los alimentos, en algunos casos beneficiándolos y en otros casos perjudicando sus atributos sensoriales, el color es uno de los más afectados y el primero que se percibe en un alimento. Los cambios de color en los alimentos pueden ser deseados en algunas ocasiones e indeseables en otras. Es por esto que es fundamental conocer cuáles son las reacciones que se producen y sus posibles causas para controlarlas. (Badui Dergal, 2013)

Las reacciones de pardeamiento se clasifican en dos: reacciones enzimáticas y no enzimáticas. El primer grupo involucra la actividad de la polifenol oxidasa, mientras que el segundo implica la reacción de Maillard, caramelización y la oxidación del ácido ascórbico. (Badui Dergal, 2013)

Tabla 7. Condiciones que favorecen las reacciones de oscurecimiento

Mecanismo	O₂ necesario	Grupos aminos necesarios	Temp. elevada	pH óptimo	Azúcares reductores
<i>Caramelización</i>	no	no	sí	Alcalino/ácido	sí
<i>R. Maillard</i>	no	sí	no	alcalino	sí
<i>Ox. Ac. Ascórb.</i>	sí	no	no	Ligeramente ácido	no
<i>Polifenol oxidasa</i>	sí	no	no	Ligeramente ácido	no

Fuente: (Badui Dergal, 2013)

1.5 Pardeamiento enzimático

Este tipo de pardeamiento es provocado en la mayoría de los casos por la enzima polifenol oxidasa (PPO), y es considerado como el principal problema que causa la pérdida de calidad de frutas y hortalizas semiprocesadas (Orrego, Vallejo, Manrique, González, & Ocampo, 2016).

Se presenta en varios vegetales y se lo observa cuando el tejido es cortado, golpeado o aplastado, debido a que existe una ruptura en las células exponiéndose los sustratos fenólicos en contacto con el oxígeno del ambiente, que luego son transformados por enzimas en melaninas, cuyos compuestos se caracterizan por un color marrón (Barreiro M & Sandoval, 2006).

El grupo de las enzimas que catalizan estas reacciones de pardeamiento se les ha asignado el término de fenolasas, tienen la característica de necesitar la presencia de oxígeno y cobre para llevarlas a cabo (Barreiro M & Sandoval, 2006)

Existe un sinnúmero de compuestos fenólicos que se encuentran en los alimentos que actúan como sustrato para la producción del pardeamiento enzimático, tales como: Catecol, L-tirosina, ácido cafeico, ácido clorogénico, hidroquinonas, antocianinas, flavonoides, etc. La reacción de pardeamiento se desarrolla en dos etapas: hidroxilación y oxidación (Barreiro M & Sandoval, 2006).

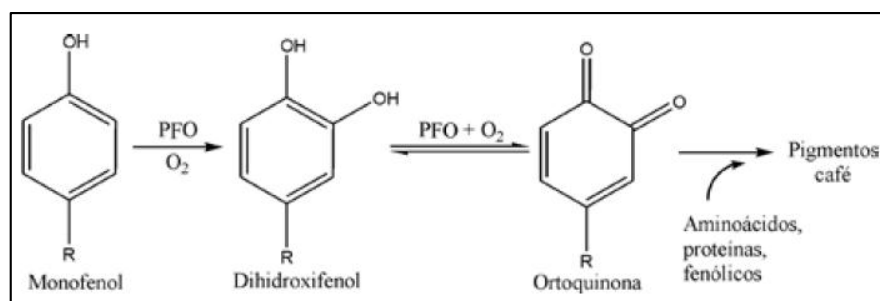


Ilustración 3. Mecanismo de reacción de la polifenoloxidasas

Fuente: (GARCÍA W., GIRALDO G, HURTADO T., & MENDIVIL, 2006)

1.5.1 Inhibidores químicos del pardeamiento enzimático

Los inhibidores químicos son restringidos considerando su toxicidad, costo y su influencia en las características organolépticas (Gil Garzón, Rojano, & Guerrero, 2012).

La clasificación es la siguiente:

- **Agentes reductores**

La forma en que estos compuestos previenen el pardeamiento enzimático es a través de la reducción de o-quinonas a difenoles, los cuales no presentan tonalidades oscuras, la otra manera es transformando las o-quinonas en compuestos más estables no coloreados (Gil Garzón et al., 2012). Algunos compuestos que pertenecen a este grupo son:

- **Derivados de azufre.** Estos compuestos además de poseer propiedades antimicrobianas también previenen el pardeamiento enzimático y no enzimático,

entre los cuales se encuentran bisulfito (HSO_3^-) y sulfitos (SO_3^{2-}) que compiten con la Polifenoloxidasas, esto se debe a que el sitio activo de la enzima reaccionan con estos compuestos. Por otro lado, estos compuestos reaccionan con las quinonas y forman sulfoquinonas y previenen irreversiblemente a la polifenoloxidasas (Gil Garzón et al., 2012)

- **Ácido L-ascórbico.** También conocido como vitamina C, es un compuesto reductor, además de buen secuestrante de oxígeno molecular para evitar la reacción con la polifenoloxidasas

- **Acidulantes**

Estos compuestos sirven para descender el pH por debajo del óptimo de actividad de la enzima polifenoloxidasas, entre los más usados se encuentran el ácido cítrico, málico y fosfórico. Se suelen emplear acompañados de un antioxidante (Gil Garzón et al., 2012).

- **Agentes quelantes**

Estos compuestos remueven los iones del sitio activo de la enzima polifenoloxidasas y de esta forma terminan inactivando esta enzima. Los compuestos que conforman este grupo son: fosfatos, EDTA, ácidos orgánicos, etc (Gil Garzón et al., 2012).

1.5.2 Inhibidores físicos del pardeamiento enzimático

- **Temperatura**

Según Gasull & Becerra, (2006) en su estudio “Caracterización de Polifenoloxidasas Extraída de Pera (*cv. Packam’s Triumph*) y Manzana (*cv. Red Delicious*)” determinó que incubando la enzima polifenoloxidasas de pera y manzana a 30°C por un tiempo de 30 minutos, esta permanece intacta, sin embargo al elevar la temperatura a 50°C por 20 minutos la enzima reduce su actividad un 40%, quedando totalmente inactiva aplicando una temperatura de 70 ° C por 10 minutos.

En otro estudio, “Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas Lam.*)”, según Arrazola-Paternina, Alvis-Bermúdez, & García-Mogollon, (2016) aplicando una temperatura de 85°C por 180 segundos se observa una reducción de la actividad de la polifenoloxidasas de dos variedades de batatas: la colorada y la blanca en un 86,8% y un 86,17% respectivamente.

1.6 Pardeamiento no enzimático

Existen 3 tipos de pardeamiento donde no intervienen las enzimas: reacción de Maillard, caramelización y oxidación del ácido ascórbico.

1.6.1 Reacción de Maillard

Este tipo de pardeamiento no enzimático engloba a un grupo de reacciones donde se generan varios compuestos, entre los cuales se encuentran las melanoidinas que presentan un color que va de amarillo a un café oscuro y que hacen que se vean afectados el sabor, aroma y el valor nutritivo en los alimentos que se presentan, incluso pueden generar compuestos potencialmente carcinógenos, como la acrilamina (Badui Dergal, 2013).

Se genera por la reacción de grupos aminos con azúcares reductores, aldehídos y cetonas. Esta reacción se puede presentar en el calentamiento de un alimento en cualquier etapa de su procesamiento (Barreiro M & Sandoval, 2006).

Parámetros que afectan la reacción de Maillard

- **Temperatura**

Al aumentar la temperatura, de igual manera aumenta la tasa de reacción (Barreiro M & Sandoval, 2006). Aunque debido a su baja energía de activación (16 a 30 kcal/mol) se puede observar hasta en refrigeración (Badui Dergal, 2013).

- **pH**

Esta reacción se puede presentar tanto en medio ácido como alcalino, favoreciendo más un pH alcalino (siendo el óptimo de 10) (Badui Dergal, 2013).

- **Actividad de agua**

La actividad de agua óptima para que se produzca la reacción de Maillard se encuentra en un rango de 0,60 a 0,90. (Badui Dergal, 2013)

- **Presencia de azúcares**

Los azúcares que favorecen la reacción son los reductores, ya que participan junto a los aminoácidos, por otro lado los azúcares no reductores no lo hacen (Barreiro M & Sandoval, 2006).

Etapas de la reacción de Maillard

➤ Condensación del azúcar reductor con el grupo amino

En esta etapa el grupo carbonilo de un azúcar reductor se condensa con un grupo amino libre de un aminoácido. Para que un grupo carbonilo de un azúcar reductor sea atacado por un grupo amino de un aminoácido con un par de electrones, éste debe tener una estructura abierta y de esta manera formar la base de schiff. (Badui Dergal, 2013)

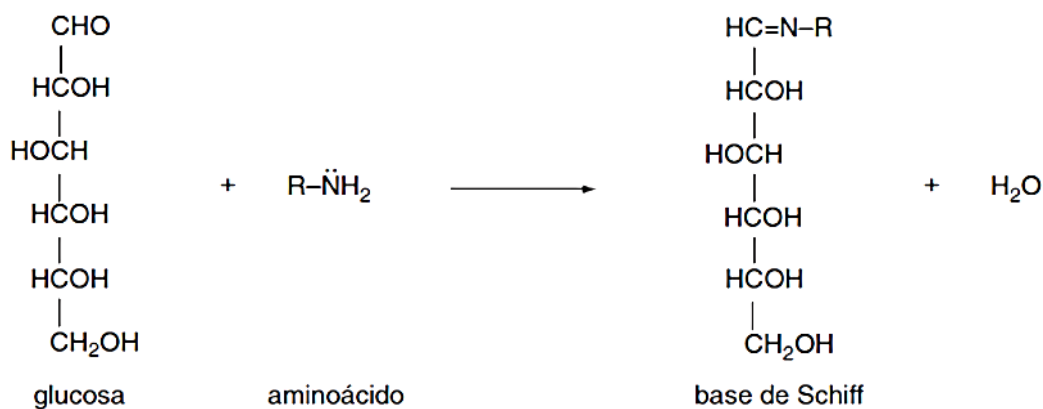


Ilustración 4. Formación de base de Schiff

Fuente: (Badui Dergal, 2013)

La base de Schiff se cicla formando de esta manera una glucosilamina que dependiendo del azúcar puede ser aldósamina o cetósamina en caso de ser una aldosa o cetosa respectivamente. También depende del aminoácido que interviene, un ejemplo es el caso de la glicina que al unirse a una glucosa tomaría el nombre de glucosil-glicina. (Badui Dergal, 2013)

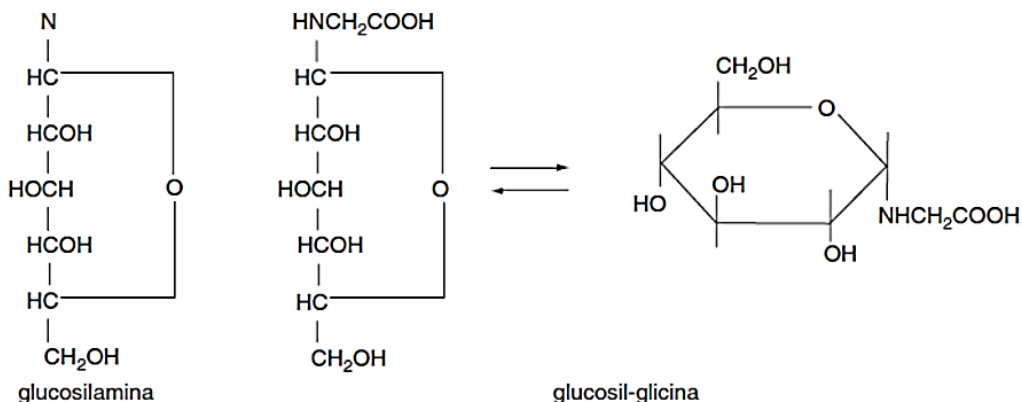


Ilustración 5. Ciclización de la base de Schiff

Fuente: (Badui Dergal, 2013)

➤ **Transposición de los productos de condensación**

Las aldosaminas y cetosaminas producidas son inestables en este punto, las primeras se isomerizan mediante el mecanismo de Amadori y las segundas por la transposición de Heyns, ambas son reversibles. Los ejemplos son la glucosamina transformándose en fructosamina o 1-amino-1-desoxifruktosa, por otro lado las cetosaminas se transforman a 2-amino-2-desoxialdosa. (Badui Dergal, 2013)

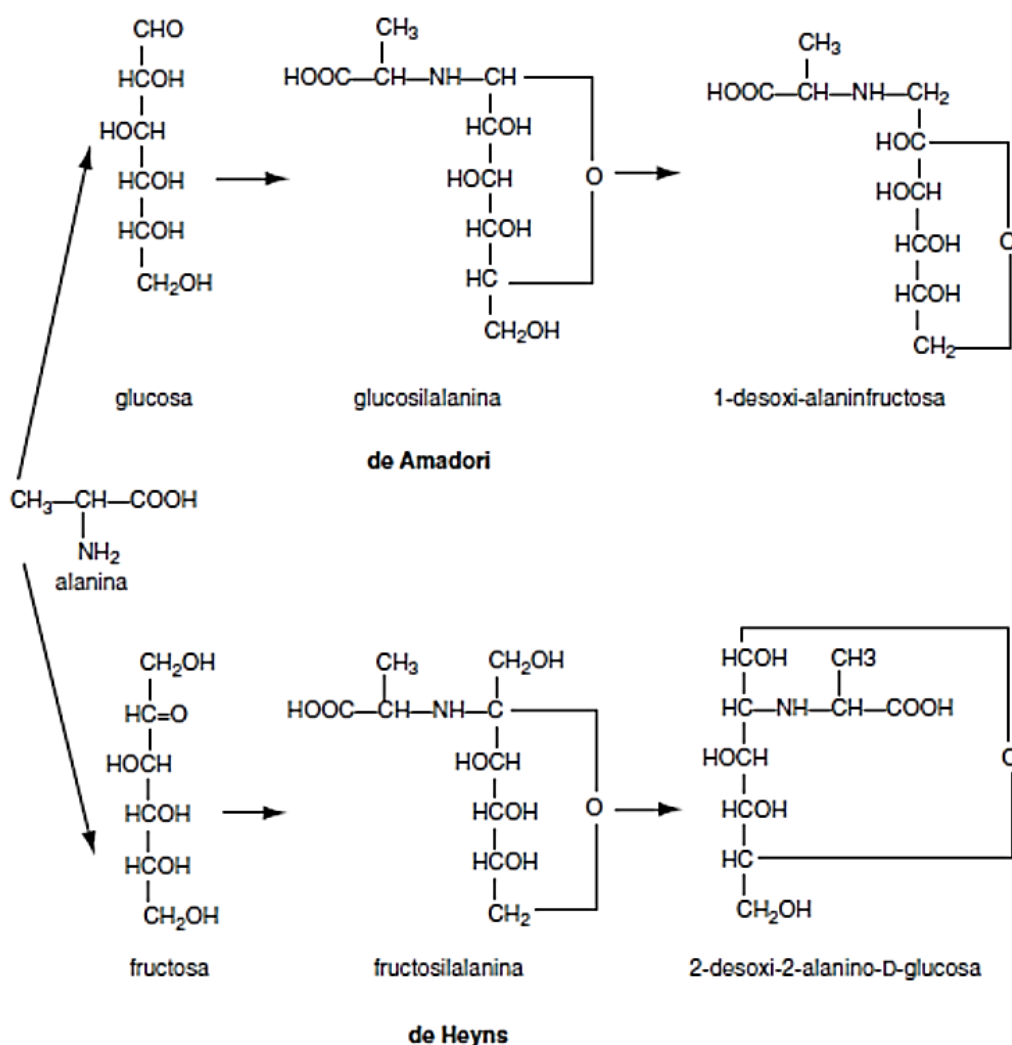


Ilustración 6. Transposiciones de Amadori y de Heyns.
Fuente: (Badui Dergal, 2013)

➤ **Reacción de los productos de la transposición**

La primera reacción que se presenta en esta etapa es la deshidratación de los azúcares a través de isomerización enólica, sintetizándose furfural, además de reductonas y dehidrorreductonas. (Badui Dergal, 2013)

En esta etapa también aparecen mecanismos de fragmentación de los azúcares enólicos, favoreciendo la formación de un sinnúmero de compuestos como: ácidos, aldehídos, cetonas y alcoholes. En su mayoría las sustancias que se produjeron son muy reactivas, debido a que son insaturados. (Badui Dergal, 2013)

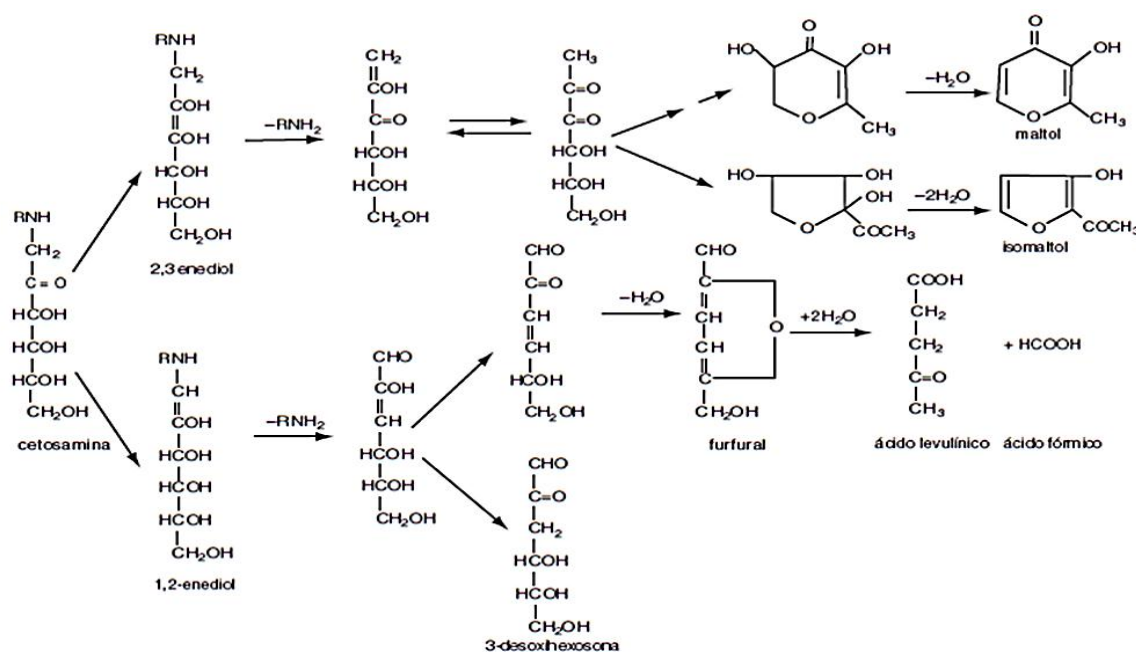


Ilustración 7. Síntesis de diversos compuestos a partir de una cetosamina.

Fuente: (Badui Dergal, 2013)

➤ **Polimerización y formación de sustancias coloreadas.**

Esta es la etapa final de la reacción de Maillard, donde se polimerizan una gran cantidad de compuestos que se formaron en etapas previas, los cuales son insaturados generando las melanoidinas, cuya estructura química es muy compleja. (Badui Dergal, 2013)

Además de la melanoidinas se generan muchos compuestos más que se presentan en distintas etapa de la reacción, a continuación se mencionan. (Badui Dergal, 2013)

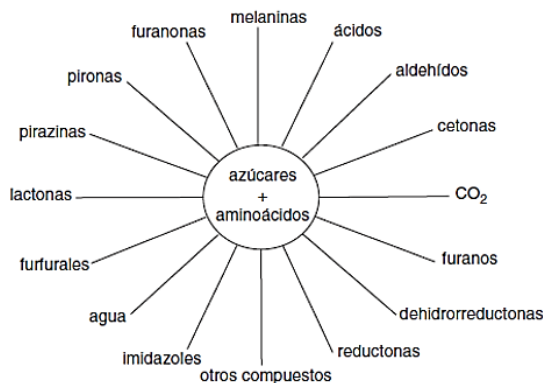


Ilustración 8. Productos que se generan en la reacción de Maillard.
Fuente: (Badui Dergal, 2013)

1.6.2 Caramelización

También se la conoce como pirólisis, se produce cuando los azúcares se llevan a temperaturas sobre su punto de fusión. Esta reacción se puede presentar tanto a pH ácidos como alcalinos, acelerándose con ácidos carboxílicos. (Badui Dergal, 2013)

La caramelización de la sacarosa se presenta cuando se la calienta sobre los 160 °C, produce hidrólisis, deshidratación y dimerización de los compuestos resultantes. Se genera la isosacarosana (sabor amargo), al aumentar la temperatura se forma la caramelana (C₂₄H₃₆O₁₈) (2 moléculas de sacarosa eliminadas de 4 moléculas de agua). Luego se genera el carameleno (C₃₆H₅₀O₂₅) compuesto oscuro y amargo, el calentamiento elevado produce caramelina o humina (C₁₂₅H₁₈₈O₈₀) (Badui Dergal, 2013).

Según Simpson et. al, (2012) la caramelización es favorecida en temperaturas que superan los 120 °C y un pH mayor a 9 y menor a 3, dependiendo del sistema (pH y tipo de azúcar).

1.6.3 Oxidación del ácido ascórbico

A causa de su composición química el ácido ascórbico es susceptible a la degradación. Son varios los factores que inciden, como el pH, concentración de oxígeno, enzimas, catalizadores metálicos, concentración inicial de ácido (Bastías M & Cepero B, 2016).

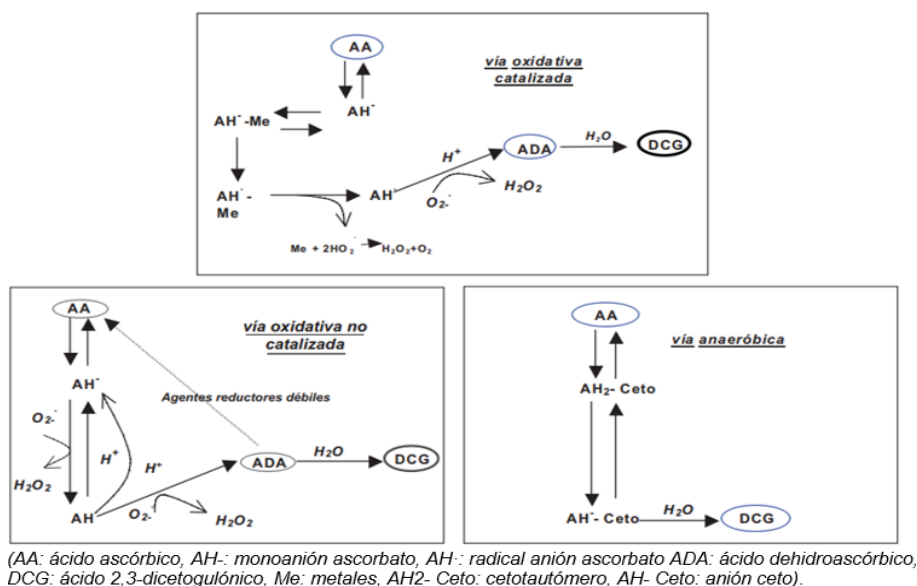
Existen 3 vías de degradación del ácido ascórbico:

La vía oxidativa catalizada se encuentra influenciada por el oxígeno e iones metálicos presentes, tales como: cobre (Cu²⁺) y hierro (Fe³⁺) que aumentan la reacción. En esta vía de degradación se forma un complejo metal-anión que a su vez se une con el oxígeno, para generar

el anión ascorbato (AH^-), anión metálico inicial y H_2O . De esta manera el AH^- reacciona con el oxígeno y se forma ácido dehidroascórbico (ADA) (Serra, H.M., Cafaro, 2007).

La vía oxidativa no catalizada, es en la cual el anión ascorbato (AH^-) es atacado directamente por el oxígeno, produciendo el radical amonio $\text{AH}\cdot$ y $\text{H}_2\text{O}_2\cdot$ que inmediatamente se convierten en ADA y H_2O_2 (Serra, H.M., Cafaro, 2007).

La degradación anaeróbica presenta una rotura directa del puente 1,4 de la lactona sin una oxidación anterior de ácido dehidroascórbico (ADA) (Serra, H.M., Cafaro, 2007)



(AA: ácido ascórbico, AH^- : monoanión ascorbato, $\text{AH}\cdot$: radical anión ascorbato ADA: ácido dehidroascórbico, DCG: ácido 2,3-dicetogulónico, Me: metales, $\text{AH}_2 \cdot \text{Ceto}$: cetotautómero, $\text{AH}^- \cdot \text{Ceto}$: anión ceto).

Ilustración 9. Vías de degradación oxidativa del ácido ascórbico.

Fuente: (Serra, H.M., Cafaro, 2007)

1.7 Colorimetría en alimentos

El color es ocasionado por la incidencia de una radiación electromagnética. El alimento absorbe los fotones, lo que ocasiona que pasen electrones lo que ocasiona una diferencia de energía determinando la longitud de onda (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

El color es un atributo de los alimentos, el cuál es percibido por los seres humanos a través de la luz reflejada en éstos y su percepción permite detectar anomalías y defectos (Delmoro, Muñoz, Nadal, Clementz, & Pranzetti, 2010)

1.7.1 Escalas de medición de color

Existen varias escalas para medir el color de un alimento, los cuales son utilizados por instrumentos para su lectura (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

- **Escala Munsell**

Munsell, desarrollador de esta escala, dividió la luminosidad en 100 unidades en un intervalo de 1 a 100 iniciando con tonos que van de rojo púrpura a rojo. Recorriendo por el 5, rojo; el 25, amarillo; 45, verde; 65, azul; 85 púrpura (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

- **Escala CIE**

Este sistema utiliza tres coordenadas para colocar un color en un espacio. Éstos incluyen CIE XYZ, CIE $L^*a^*b^*$ y CIE $L^*C^*h^\circ$ Los valores XYZ se obtienen multiplicando los valores por el iluminante (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

- **Escala Hunter**

Hunter en 1948 creó este sistema, el cual consta L^* (luminosidad) 0 es negro y 100 blanco, a^* (rojo-verde); los valores positivos para rojo, negativos para verde y 0 neutro y b^* (amarillo azul) los valores positivos para amarillo, negativos para el color azul y 0 neutro (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

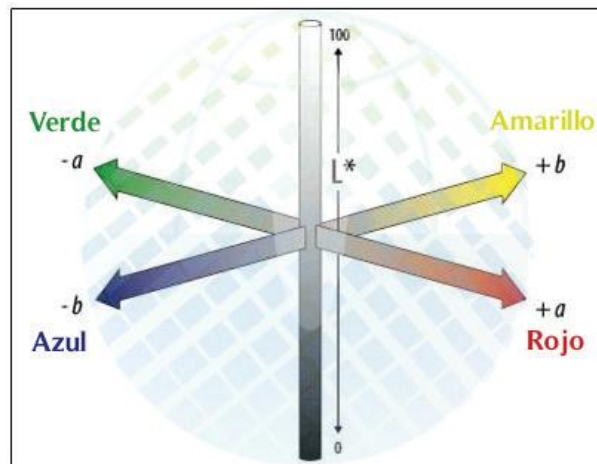


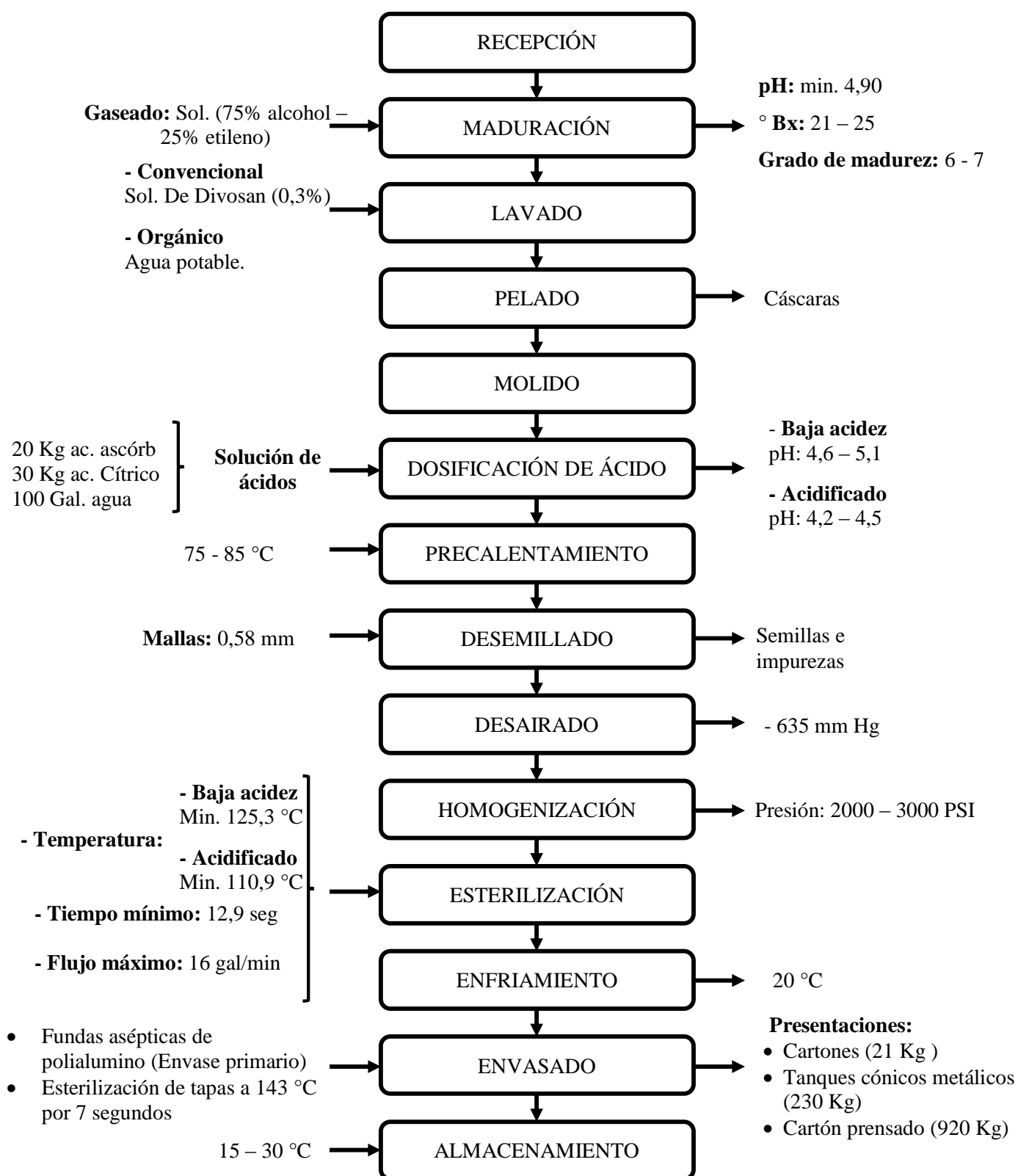
Ilustración 10. Coordenadas de color en el sistema Hunter Lab.
Fuente: (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

1.7.2 Colorímetros

Son equipos que realizan la lectura del color basados en el ojo humano, ya que son triestimulares (tres filtros) para cada longitud de onda (rojo, verde y azul). Existe una variedad de equipos, entre los cuales se pueden mencionar: Hunter Lab, Color Eye, Momcolor, Gardner (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

DESARROLLO

2.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de puré de banana



2.2 Descripción del diagrama de flujo

Recepción de la fruta

Se recibe el banano de los proveedores en camiones, para lo cual se toman muestras al inicio, medio y final de la descarga para revisar las condiciones de la fruta que se receipta, en caso de encontrar fruta en malas condiciones físicas, contaminada por insectos, madura o en estado de descomposición se rechaza la carga.

El banano que haya sido aprobado se descarga de los camiones en racks (bandejas metálicas), para posteriormente ser transportados por un montacargas a una cámara de maduración que se ha asignado con anterioridad.

Maduración

Las cámaras que se encuentran llenas de banano se proceden a ser gaseadas con una solución de 75% de alcohol y 25% de etileno, para lo cual las puertas deben permanecer cerradas por 24 horas, luego de transcurrido ese tiempo se ventila la cámara y se deja en almacenamiento por 2 o 3 días, ejecutando ventilaciones cada 12 horas durante ese tiempo de almacenamiento para luego dejar en ventilación por 24 horas más, dando como total el tiempo de maduración del banano de 4 – 5 días.

Se realizan análisis, tales como pH y grados brix cada 12 horas para apreciar el avance de la maduración y poder saber el momento en el que se debe destinar la fruta al procesamiento, además se puede determinar el grado de madurez según el color de la fruta, el cual está entre 6 y 7 que se indica en la **Ilustración 2**. Además, los análisis fisicoquímicos deben registrar un pH mayor a 4,90 y un grado brix entre 21- 25.

Lavado

El banano que se encuentra listo para ser procesado se transporta en los racks desde las cámaras hasta la tina de lavado con un montacargas, los operarios vacían los racks de banano en la tina, en el caso de que se vaya a elaborar puré de banano orgánico el lavado se lo efectúa únicamente con agua potable; y si por otro lado se elabora puré de banano convencional se prepara para el lavado una solución desinfectante que contiene 0,3% de reactivo Divosan Forte, cuyo principio activo es ácido peracético.

Pelado

Luego del lavado el banano pasa a una banda transportadora que conduce la fruta hasta la sala de pelado, donde el proceso es llevado a cabo manualmente, donde personas separan la cáscara de la pulpa, ambas partes son colocadas en bandas transportadoras diferentes, las cáscaras son conducidas a una volqueta de residuos; mientras que la pulpa se conduce hacia una tolva.

Molido

La pulpa de banano que llega a la tolva pasa a un tornillo sin fin que reduce las partículas para así convertirlo en puré.

Dosificación del ácido

Luego del molido del banano, éste pasa por una tubería la cual también está conectada a una tubería que llega del tanque de ácido, donde se ha realizado la solución de ácidos, que se prepara añadiendo 20 Kg de ácido ascórbico y 30 Kg de ácido cítrico en 100 galones de agua.

La dosificación de la solución de ácidos debe llevar al puré de banano de baja acidez a un pH= 4,6 - 5,1, además de conferir una cantidad de ácido ascórbico de 40-60 mg/100g de puré; para el puré de banano acidificado el producto debe llegar a un pH= 4,2 – 4,5, además de tener una cantidad de ácido ascórbico de 60 - 100 mg/100 g de producto.

Pre calentamiento

El puré es conducido a través de tuberías llegando a un sistema de pre calentamiento que consta de dos intercambiadores de calor de superficie rascada donde elevan la temperatura del producto a 75 -85 °C.

El objetivo de este proceso es la inactivación enzimática de la polifenoloxidasas para evitar el pardeamiento del puré durante su paso por las tuberías, además de facilitar el desairado ya que al llegar el producto al tanque desairador el vapor que se desprende del producto arrastra consigo al aire incrustado.

Desemillado

El puré luego del pre calentamiento pasa a un desemillador, el cual cuenta con una malla de 0,58 milímetros donde pasa y quedan las semillas retenidas en el equipo para luego ser desechadas.

Desairado

El puré pasa a un tanque desairador donde se almacena, éste cuenta con una bomba de vacío que trabaja a -635 milímetros de mercurio, evacuando de esta manera el aire que se encuentra en el producto, este proceso es importante ya que evita el pardeamiento enzimático al dejar sin oxígeno a la polifenoloxidasas, la cual no puede realizar su reacción de oxidación. Además esta etapa ayuda a evitar el desarrollo de bacterias aerobias en el producto.

Homogenización

Con una bomba moyno se impulsa el puré de banano desde el tanque desaireador al homogenizador, cuyo fin es obtener un producto uniforme además de conferirle consistencia, para lo cual el equipo trabaja a 2000 – 3000 PSI.

Esterilización

Este proceso se realiza con el fin de eliminar toda presencia de microorganismo en el producto, de esta forma otorgarle inocuidad, se trabaja a altas temperaturas que pueden ocasionar daños en el producto si se exceden demasiado. Los equipos para esterilizar el puré de banano son intercambiadores de superficie rascada y una serie de tuberías para el sostenimiento de la temperatura de esterilización.

Esta etapa es un punto crítico de control. Dependiendo del producto a elaborar varían las temperaturas de trabajo: para el puré de banano de **baja acidez** la temperatura mínima es de **125,3 °C** y para el acidificado es de **110,9 °C**, trabajando a un caudal máximo de 16 galones por minuto, sosteniendo el producto a la temperatura de esterilización un tiempo mínimo de 12,9 segundos.

Enfriamiento

Luego de salir el puré esterilizado pasa nuevamente a intercambiadores de superficie rascada, sin embargo, esta vez el líquido que circula es agua fría a 2 °C, el cual absorbe el calor del puré que luego de terminado el enfriamiento el puré sale a una temperatura de 20 °C.

Envasado

Para el proceso de envasado se utilizan fundas asépticas se utilizan fundas asépticas de poliamunio, las cuales se colocan en un envase secundario antes del envasado que pueden ser **cartón prensado** en presentaciones de **920 Kg**, en **tanques cónicos** para presentaciones de **230 Kg**, y en **cartón** para presentaciones de **21 Kg**.

El equipo de envasado cuenta con 2 cámaras cerradas donde se introduce las boquillas tapadas de las fundas asépticas y éste procede a esterilizarlas a 143 °C por un tiempo, luego destapa las boquillas en la misma cámara y procede el llenado, al finalizar el llenado automáticamente equipo sella las boquillas las suelta, después los operarios tapan los envases secundarios y colocan sus respectivas etiquetas.

Almacenamiento

El lugar de almacenamiento del puré de banano debe ser seco y estar a una temperatura entre 15 – 30 °C.

RESULTADOS

3.1 Identificación de las etapas donde puede presentarse el pardeamiento y sus soluciones

Tabla 8. Etapas del procesamiento del puré de banano que pueden causar su pardeamiento y sus soluciones

Etapa	Tipo de pardeamiento	Justificación	¿Cómo detectar el problema?	Límites	Solución
Pelado	Enzimático	En el pelado inicia el pardeamiento enzimático, ya que es el primer contacto que tiene la enzima polifenoloxidasasa con el oxígeno del ambiente.	Se debe revisar el color de los bananos que ingresan a la tolva.	Ausencia de pardeamiento	Si se presentan los bananos oscurecidos se debe realizar el pelado con rapidez.
Dosificación de ácido	Enzimático	Esta etapa se puede contribuir a este tipo de pardeamiento debido a la deficiente dosificación de la solución de ácidos (cítrico y ascórbico) en el puré, ya que el pH no descendería lo necesario y daría las condiciones para la actividad de la polifenoloxidasasa.	Revisar el pH luego de la dosificación y en el producto final	<ul style="list-style-type: none"> • Puré de baja acidez pH= 4,6 – 5,1 • Puré acidificado pH= 4,2 – 4,5 	En el caso de estar fuera de rango aumentar la dosificación de la solución de ácidos que ingresa a mezclarse con el puré.
		La baja concentración de ácido ascórbico en el producto no sería la necesaria para actuar como reductor.	Determinar la concentración de ácido ascórbico en el producto final.	<ul style="list-style-type: none"> • Puré de baja acidez Ac. Asc= 400 – 600 ppm • Puré acidificado Ac. Asc= 600 -1000 ppm. 	Aumentar la cantidad de ácido ascórbico que se añade a la preparación de la solución ácida.
Pre calentamiento	Enzimático	Una deficiente temperatura en esta etapa causaría que la enzima polifenoloxidasasa no se inhiba, causando un pardeamiento de tipo enzimático.	Revisar la temperatura del puré a la salida del último termo de esta etapa.	Temperatura > 75 °C	En caso de encontrarse por debajo del límite mínimo regular la temperatura de los termos.
Desairado	Enzimático	Un mal desairado ocasionaría que queden moléculas de oxígeno en el producto, lo que contribuiría a la activación de la polifenoloxidasasa y el desarrollo del pardeamiento enzimático del puré.	Determinar la cantidad de burbujas de aire en el producto final.	Ausencia	Si hay presencia de burbujas de aire revisar la bomba de vacío que debe marcar como máximo - 635 mm. Hg.

Esterilización	No enzimático	Reacción de Maillard	En esta etapa se requiere altas temperaturas para asegurar la inocuidad del producto terminado, sin embargo si no se tiene cuidado se puede sobrepasar por mucho el límite mínimo, ocasionando la reacción de Maillard e incluso caramelización de los azúcares presentes en el producto, ya que las altas temperaturas en el puré de banano son catalizadores de esta reacción.	Revisar la temperatura que se registra en esta etapa.	<ul style="list-style-type: none"> • Puré de baja acidez Temperatura= 125,3 °C – 130 °C Puré acidificado Temperatura= 110,9 °C – 120 °C 	En caso de elevarse demasiado la temperatura tratar de reducirla, sin bajar del límite mínimo.
		Caramelización				

CONCLUSIONES

Existen varios tipos de pardeamiento, sin embargo se los ha clasificado en enzimático y no enzimático, el primero se trata básicamente de la actividad de la enzima polifenoloxidasa sobre los fenoles que se encuentran en ciertos alimentos, transformándolos en sustancias de color café oscuras, por otro lado el segundo engloba tres diferentes tipos de reacciones (Reacción de Maillard, caramelización y oxidación del ácido ascórbico). La reacción de Maillard se trata de la unión de un azúcar reductor a un aminoácido; la caramelización es la deshidratación de los azúcares debido a las altas temperaturas que son sometidos; y por último tenemos a la oxidación del ácido ascórbico, la cual es una reacción de este compuesto con el oxígeno.

El oscurecimiento del puré de banano es ocasionado por no controlar de manera adecuada los parámetros en las diferentes etapas de su procesamiento. El pardeamiento enzimático es el que más afecta a este producto, en la etapa de pelado al dejar expuesto el banano al ambiente por mucho tiempo; en la dosificación de ácidos el problema puede ser un pH elevado, por esto para puré de baja acidez éste debe estar entre 4,6 – 5,1 y para el acidificado 4,2 – 4,5, además la concentración de ácido ascórbico del producto baja acidez debe ser de 400 – 600 ppm, mientras que el acidificado es de 600 - 1000 ppm; en el precalentamiento el parámetro a controlar es la temperatura, la cual debe ser mayor a 75 °C; el desairado es muy importante para la estabilidad del color del producto final, ya que sin oxígeno la polifenoloxidasa no puede oxidar los fenoles, por esto la presión máxima en el tanque desairador es de - 635 mm Hg. Hay otras reacciones de pardeamiento que también pueden afectar al puré de banano como es la reacción de Maillard y la caramelización, que se pueden producir en la esterilización ya que emplean temperaturas mayores a 125,3 °C para el puré de banano de baja acidez y mayores de 110,9 °C para el acidificado, lo recomendado sería no sobrepasar los 130 °C para evitar la caramelización del producto.

Finalmente para controlar el pardeamiento enzimático del puré de banano no es posible lograrlo aplicando solo un método (ya sea físico o químico), sino combinándolos, y para asegurar una mejor eficacia de éstos se deben controlar parámetros durante el procesamiento (pH, temperatura y presión de vacío). Por otro lado para minimizar el pardeamiento no enzimático como la reacción de Maillard y la caramelización, se debe cuidar la temperatura de esterilización en el proceso evitando que sobrepasen lo recomendado.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrazola-Paternina, G., Alvis-Bermúdez, A., & García-Mogollon, C. (2016). Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *10*(1), 80–88. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5125>
- Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE). (Junio de 2018). AEBE. Obtenido de AEBE: <http://www.aebe.com.ec/estadisticas/>
- Badui Dergal, S. (2013). *Química de los alimentos*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Barreiro M, J. A., & Sandoval, A. J. (2006). *Operaciones De Conservación De Alimentos Por Bajas Temperaturas*, Caracas, Venezuela: Equinoccio.
- Bastías M, J. M., & Cepero B, Y. (2016). La vitamina C como un eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos. *Revista Chilena de Nutrición*, *43*(1), 81–86. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100012>
- Céspedes Ramírez, C., Tapia Fernández, A. C., & Calvo Brenes, P. (2010). Evaluación de la calidad de fruta de banano de altura que se produce en el cantón de Turrialba, Costa Rica. *InterSedes: Revista de Las Sedes Regionales*, *XI*(20), 107–127.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., & Pranzetti, V. (2010). El color en los alimentos: Determinación de color en mieles. *Invenio*, *13*(25), 145–152. <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.5b00959>
- Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., Hospido, A., Roibas, L., Skully, D., ... Bustamante, A. (2015). *Cambio Climático y Sostenibilidad del Banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política*. Organización De Las Naciones Unidas Para la Agricultura y La Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5116s.pdf>
- GARCÍA W., C. L., GIRALDO G, G. A., HURTADO T., H., & MENDIVIL, C. O. (2006). Cinética enzimática de la polifenol oxidasa del banano gros michel en diferentes estados de maduración. *FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA.*, *13* (2): 13-19.
- Gil Garzón, M. A., Rojano, B. A., & Guerrero, C. A. (2012). Inhibición de la polifenoloxidasas extraída del banano (cavendish) por medio de algunos derivados del isoespintanol. *Corporación Universitaria Lasallista*, 193–248. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10567/148>
- INEC. (2017). Encuesta De Superficie Y Producción Agropecuaria Continua. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdf
- INEN. (2008). *Jugos, Pulpas, Concentrados, Néctares, Bebidas De Frutas Y Vegetales*.

REQUISITOS (NTE INEN 2 337:2008).

- Liew, C. Y., & Lau, C. Y. (2012). Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy. *International Food Research Journal*, 19(2), 751–758. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.10.008>
- Martínez-Cardozo, C., Cayón-Salinas, G., & Ligarreto-Moreno, G. (2016). Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria.*, 17 (2): 217-227.
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur. Ciencia de Los Alimentos*, 42(2), 39–48. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Nadal Medina, R., Manzo Sánchez, G., Orozco Romero, J., Orozco Santos, M., & González Guzmán, S. (2009). Sociedad Mexicana de Fitogenética., Rocío Revista fitotecnia mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(1), 01–07. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000100001
- Navas, C., & Costa, A. (2014). Diseño de la Línea de Producción de Compotas de Banano. *Facultad de Ingenieria Mecanica y Ciencias de La Produccion- Guayaquil - Ecuador*, 1(1).
- Orrego, C. E., Vallejo, D., Manrique, D. L., González, J. D., & Ocampo, J. C. (2016). Inactivación de peroxidasa en banano (*Musa paradisiaca*) por medio de tratamiento térmico y ultrasónico. *Agronomía Colombiana*, 34(24), 457–460. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58264>
- Serra, H.M., Cafaro, T. (2007). Ácido ascórbico : desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(4), 525–532. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/abcl/v41n4/v41n4a10.pdf>
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica*, 24(3), 51–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>