

PELADO CÁUSTICO DE YUCA

por

LUZ ALBA FLORIÁN ALGARÍN

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

en

EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2009

Aprobado por:

Fernando Pérez-Muñoz, PhD
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Edna Negrón de Bravo, PhD
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Agenol González-Vélez, MS
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Rafael Montalvo-Rodríguez, PhD
Representante Escuela Graduada

Fecha

Edna Negrón de Bravo, PhD
Director del Departamento

Fecha

ABSTRACT

Peeling is one the big challenges of the food industry. The removal of unwanted (inedible) portion of the crop affects the yield and speed of the elaboration process. This research focuses on the development of a cassava caustic peeling process. Samples were immersed in the NaOH caustic solution, washed with pressure water and dipped in citric acid (to neutralize) before vacuum packaging and storage. Experimental design included concentration of the caustic solution (5, 10 and 20%), immersion time in the solution (2, 3.5, 5, 6.5 and 8 minutes), the temperature of the solution (95, 100 and 105°C), concentration of neutralizing solution (1, 2 and 3%), neutralization time (15, 30, 45, 60 minutes) and storage temperature (refrigerator or freezer). Complete peeling was only achieved with the 20% caustic solution for 8 minutes. Complete neutralization required 60 minutes dipping in the 3% citric acid solution. Samples stored under freezing conditions kept better than refrigerated samples in terms of color and texture when boiled and compared to hand peeled boiled samples. After the storage process, the samples peeled with caustic solution method and manually methods were analyzed to determine the units of the peroxidase and polyphenyloxidase enzymes. The result obtained was a deactivation promoted by caustic peeling process at high temperatures. Also, it was developed a sensorial panel where the panelists tested the differences between the cassava peeled by manually method and the cassava peeled with caustic solution, both after a cooking process.

RESUMEN

En la industria de alimentos, el pelado de los alimentos es uno de sus grandes retos. La eliminación de los desechos o material no deseados (no comestibles) afecta el rendimiento y la velocidad del proceso de elaboración. Esta investigación se centra en el desarrollo de un proceso de pelado cáustico de yuca. Las muestras se sumergieron en la solución cáustica de hidróxido de sodio, enjuagado con agua a presión y sumergido en ácido cítrico (para neutralizar) antes del almacenamiento y empaque al vacío. En el diseño experimental se incluyó la concentración de la solución cáustica (5, 10 y 20%), el tiempo de inmersión en la solución cáustica (2.0, 3.5, 5.0, 6.5 y 8 minutos), la temperatura de la solución cáustica (95, 100 y 105 ° C), la concentración de solución neutralizante (1, 2 y 3%), tiempo de neutralización (15, 30, 45, 60 minutos) y temperatura de almacenamiento (refrigerado o congelado). El pelado completo se logra con la concentración del 20% de solución cáustica durante 8 minutos. La neutralización completa requiere 60 minutos de inmersión en la solución de ácido cítrico al 3%. Las muestras almacenadas bajo condiciones de congelación y refrigeración mostraron una conservación similar en términos de color y textura. Luego del proceso de almacenamiento, las muestras peladas con la solución cáustica y las muestras peladas manualmente, fueron analizadas para determinar las unidades de las enzimas de peroxidasa y polifenoloxidasa en las muestras, obteniendo como resultado una desactivación promovida por el proceso de pelado cáustico a altas temperaturas. Para finalizar, se realizó un panel sensorial en el cual los panelistas evaluaron y compararon las diferencias entre la yuca pelada manualmente y la yuca pelada con la solución cáustica, luego de un proceso de cocción.

Derechos del Autor Reservados ©
Luz Alba Florián Algarín
2009

*A Dios, lo mejor de mí.
A mi Hija Mariángel, a mi esposo Leonel
A mis padres, a mis hermanos Vivian, Miguel, María, David y Luis,
mi gran amor y mi triunfo.
Y a todos los que contribuyeron a la realización de mis sueños mi eterna gratitud.*

Luz Alba

AGRADECIMIENTOS

Principalmente gracias a Dios todopoderoso, por permitirme culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

A mis padres por su gran amor y apoyo.

A mi esposo y a mi hija por su comprensión durante el tiempo que le dediqué a este trabajo de Tesis.

A mis hermanos por confiar en mí.

Al Dr Fernando Pérez-Muñoz, por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Edna Negrón miembro de mi comité y directora del programa de CITA por su ayuda en el momento en que la necesité.

Al profesor Agenol González por su valiosa colaboración y buena voluntad en el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Emilio Díaz, por su predisposición permanente e incondicional en aclarar mis dudas en el análisis enzimático.

A mis compañeras y amigas del laboratorio; Miluska y María Teresa por su especial colaboración en este proyecto.

A los miembros del programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos por la oportunidad que me brindaron de poder realizar estudios graduados en la Universidad de Puerto Rico.

A todas mis amistades y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron durante el transcurso de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN	11
1. REVISIÓN DE LITERATURA	14
1.1 Definición de Yuca.....	14
1.2 Clasificación de Yuca.....	15
1.3 Cultivo de Yuca.....	15
1.4 Taxonomía y morfología de la yuca.....	17
1.5 Generalidades.....	18
1.6 Pelado de Yuca.....	20
1.6.1 Pelado manual de yuca.....	22
1.6.2 Pelado Cáustico de Yuca	22
1.7 Pardeamiento.....	26
1.7.1 Pardeamiento no enzimático.....	27
1.7.2 Pardeamiento enzimático.....	30
1.7.3 Control del Pardeamiento	31
1.8 Almacenamiento.....	34
1.8.1 Congelación	34
1.8.2 Refrigeración.....	36
2. MATERIALES Y MÉTODOS	37
2.1 Preparación de la muestra.	37
2.2 Diseño Experimental.....	37

2.3	Pelado de la yuca.....	38
2.3.1	Pelado Manual.....	38
2.3.2	Pelado Cáustico.....	39
2.4.1	Curvas estándares de la polifenoloxidasa y peroxidasa.....	43
2.4.3	Extracción de la enzima.....	46
2.4.4	El análisis sensorial.....	48
3.	RESULTADOS Y DISCUSION	50
3.1	Pelado de la Yuca.....	50
3.1.1	Pelado Manual.....	50
3.1.2	Pelado Cáustico.....	51
3.2	Neutralización.....	56
3.3	Almacenamiento.....	58
3.3.1	Análisis Enzimático.....	58
3.3.1.1	Ensayo Peroxidasa.....	59
3.3.1.2	Ensayo Polifenoloxidasa.....	60
3.3.2	Cambios en Color.....	61
3.3.3	Cambios en Textura.....	64
3.5	El análisis Sensorial.....	65
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
	REFERENCIAS.....	69
	APENDICES	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición Química de la Raíz de Yuca (base húmeda).....	19
Tabla 2. Resultados de Pérdida del Pelado Teórico.....	51
Tabla 3. Resumen Datos Porcentaje de Pérdida	52
Tabla 4. Resumen de Resultados de pH, para determinar condiciones de neutralización.	56
Tabla 5. Datos Preliminares del análisis enzimático para refrigeración (a) y congelación (b).....	59
Tabla 6 Resumen de resultados del colorímetro para muestras refrigeradas y congeladas.	62
Tabla 7 Resumen de resultados de dureza	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. La planta de Yuca.....	14
Figura 2. Cultivo de yuca, Estación Experimental Agrícola de Corozal, UPRM.....	15
Figura 3. Corte transversal de la yuca.....	17
Figura 4. Producción Mundial de Yuca por Región 2006	19
Figura 5. Producción Mundial de Yuca por Año	20
Figura 6. Reacción de formación de N-Glucósido.....	28
Figura 7. Reacción de reordenación de Amadori.....	28
Figura 8. Reacción de Aldehído de Strecker.	29
Figura 9. Serie de reacciones complejas que ocurren en un proceso de caramelización.	29
Figura 10. Transformación de la Difenol oxidasa para producir quinonas.....	31
Figura 11. Pelado Manual de Yuca.....	39
Figura 12. Curva estándar polifenoloxidasa	44
Figura 13. Curva estándar peroxidasa.....	45
Figura 14. Hoja de Evaluación, prueba triangulo	48
Figura 15. Panel sensorial.....	49
Figura 16. Yuca antes y después del pelado cáustico.	51
Figura 17. Grafica del residual experimental para rendimiento.	53
Figura 18. Diagrama de Superficie de Pérdida de Pelado vs Concentración (P/V), Tiempo (min).	54
Figura 19. Diagrama de contorno de pérdida de pelado vs Concentración, Tiempo.....	55
Figura 20 Diagrama de Contorno de pH vs tiempo y concentración de ácido Cítrico	57
Figura 21. a) Yuca Cocida con tratamiento, b) Yuca Cocida sin tratamiento	66

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta*), es una planta originaria de Suramérica y se cultiva en regiones tropicales y subtropicales, cuyas hojas y raíces son comestibles. La raíz de la yuca, constituye una fuente importante de carbohidratos, los cuales son una fuente principal de energía para las regiones tropicales del mundo. La vida útil de la yuca en estado fresco es de unos siete días después de la cosecha (Ceballos, 2002). Por esta razón es necesario estudiar diferentes maneras de conservarla.

Entre los métodos más utilizados para alargar la vida útil de la yuca, se encuentra la inmersión en parafina líquida. Este procedimiento protege al producto de la deshidratación, las fermentaciones, del ataque de patógenos y de la activación parcial de las enzimas, alargando su vida útil de dos a cuatro semanas. Otro método de conservación es la refrigeración, que consiste en almacenar las raíces a temperaturas entre 0 a 2 °C y con una humedad relativa entre 85% y 95%, alargando su vida útil más de cuatro semanas (Sánchez and Lisímaco, 2002).

La producción mundial de yuca para el año 2007, se estimó en 212 millones de toneladas, las cuales superan el estimado del año anterior, en 4 millones de toneladas. Se esperaba que en el 2007 el comercio mundial de yuca alcanzara, aproximadamente, los 12 millones de toneladas de gránulos, frente a un volumen de 10 millones de toneladas en 2006. Este pronóstico está basado en la alta demanda que la yuca ha alcanzado con relación a los cereales (FAO, 2007).

Al aumentar la demanda en la producción de yuca se hace indispensable que la industria establezca procesos rápidos y eficaces, con nuevas tecnologías que nos permitan

aumentar la capacidad de producción y controlar los costos de forma tal que el precio final resulte accesible al consumidor. Actualmente la industria de alimentos cuenta con alta tecnología para llevar a cabo la mayor parte de sus procesos, excepto el proceso de pelado que aún se realiza de forma manual.

El pelado influye directamente con el rendimiento, el tiempo y el costo de producción. En términos generales, las técnicas que se utilizan en la industria de alimentos para pelar son: por abrasión, en llama, a cuchillo eléctrico, con solución cáustica, manual y con vapor. En la industria procesadora de productos a base de yuca, la técnica de pelado es el tradicional (cuchillo manual), el cual se utiliza debido a la irregularidad de esta raíz. En Puerto Rico, este proceso resulta impráctico dado al alto costo de labor manual necesario a escala industrial.

Los informes encontrados en la literatura para los procesos de pelado en la industria de alimentos a base de ñame y papa, sugieren la peladura con solución cáustica, como una alternativa viable, pero no se encuentran estudios para la yuca o mandioca.

Dado estos precedentes, el objetivo general de esta investigación es desarrollar un proceso de pelado cáustico para yuca. Esta nueva técnica permitirá lograr una reducción del costo de la mano de obra y el tiempo de producción de alimentos derivados de la yuca, aumentando de esta forma el rendimiento de estos procesos.

La implementación de este proceso requiere una serie de pasos o trabajos preliminares, en donde los parámetros óptimos para el proceso de pelado cáustico serán obtenidos. Estos parámetros permiten establecer los siguientes objetivos específicos:

- ☞ Determinar parámetros óptimos de tiempo de inmersión, temperatura y concentración de la solución cáustica.
- ☞ Determinar proceso de neutralización de las raíces.
- ☞ Evaluar sensorialmente la yuca pelada, para determinar si hay cambio al compararla con yuca pelada manualmente.
- ☞ Evaluar el almacenamiento de la yuca pelada con el tratamiento de pelado cáustico y compararla con la yuca pelada manualmente, por medio de un análisis espectrofotométrico.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Definición de Yuca

La yuca o mandioca es una raíz cuyo nombre científico es *Manihot esculenta* Crantz; perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*. La yuca es la única en el género *Manihot* que es cultivada y tiene relevancia económica (Ceballos, 2002).

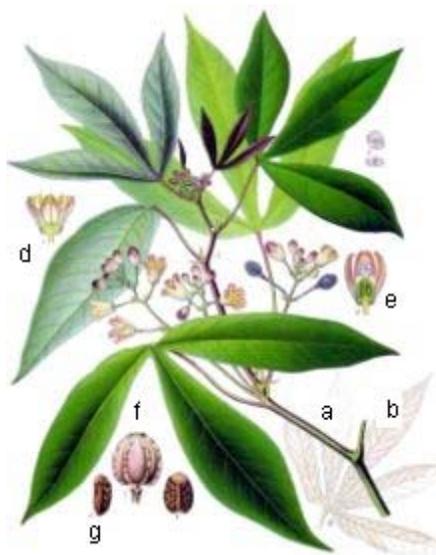


Figura 1. Componentes de la planta de Yuca

La Figura 1 Presenta la planta de yuca, la cual está constituida por:

- a. Rama (hojas). Se produce la fotosíntesis la cual permite la transformación de la energía radiante en energía química.
- b. Tallo. Se utiliza para la multiplicación vegetativa o asexual de la especie, como semilla para la producción comercial del cultivo.
- c. Raíces. Órgano de almacenamiento de energía, tiene diversos usos en la alimentación humana, animal y en la extracción de almidones.
- d. Flor masculina. Tiene un pedicelo recto y muy corto.
- e. Flor femenina. Su pedicelo es más grueso y largo que la flor masculina.

- f. Frutos.
- g. Semillas. Medio de reproducción sexual de la planta.

1.2 Clasificación de Yuca

La yuca es clasificada en dos especies: la yuca amarga *Manihot utilissima* y yuca dulce *M. aipi*. Es difícil distinguir los dos grupos por sus características botánicas, debido a que la distinción entre ellos se basa en el contenido de ácido cianhídrico. La presencia del ácido cianhídrico proporciona el grado de toxicidad de las raíces. El contenido del ácido cianhídrico tiende a ser mayor en suelos pobres y bajo condiciones secas.

1.3 Cultivo de Yuca

El cultivo de la yuca es representado en la Figura 2. La yuca crece en una diversidad de condiciones tropicales: en los trópicos húmedos y cálidos de tierras bajas; en los trópicos de altitud media y en los subtrópicos con inviernos fríos y lluvias de verano. Sin embargo, no tolera condiciones salinas en el suelo. El agua es esencial hasta que la planta está bien establecida. En la tierra húmeda, la brotación se lleva a cabo en la primera semana después de la plantación.



Figura 2. Cultivo de yuca, Estación Experimental Agrícola de Corozal, UPRM

La mayor dificultad en el cultivo de la planta de yuca es el control de la maleza. Es conveniente eliminar las malas hierbas de dos a tres veces hasta que las plantas de yuca estén bien desarrolladas y su sombra impida el crecimiento de la maleza (FAO, 2000).

El costo de producción de yuca, depende de la demanda de mano de obra. La cosecha manual requiere alrededor de 25-30 jornales/hectárea para una cosecha de 25-30 t/ha en una jornada de trabajo de ocho horas. Esta labor de cosecha no incluye la selección y recolección del material de las raíces para plantación, ni el empaque de estas (Ospina y García, 2002).

La cosecha constituye la etapa final del cultivo de yuca, y la época es definida por el agricultor en según su productividad, el contenido de materia seca y de la calidad culinaria de las raíces, del clima y del estado de madurez del cultivo. La cosecha puede ser realizada de forma manual o mecanizada, dependiendo del tamaño de la plantación. En cosecha manual, la primera etapa comprende el corte y la selección del follaje y de la semilla. Se deja sólo una parte del tallo de 20-40 cm de longitud adherida a las raíces para extraerlas más fácilmente del suelo. La segunda etapa comprende la extracción de las raíces y va acompañada de la recolección, limpieza y empaque de las mismas.

En la cosecha mecanizada de la yuca, la función de las máquinas es romper el suelo y aflojar las raíces, lo cual implica una reducción en mano de obra requerida, en costos de producción, el tiempo de recolección por unidad de área y el costo final del producto (FAO, 2000).

1.4 Taxonomía y morfología de la yuca

La yuca o raíz tuberosa está compuesta por varios tejidos. De la parte externa hacia el interior se encuentran la cáscara, la pulpa y las fibras centrales, tal como se muestra en la Figura 3. La cáscara está compuesta por la peridermis y la corteza (esclerenquima y parenquima). La peridermis está compuesta por células de corcho (súber o felema) que envuelven la superficie de la raíz. Por debajo de la peridermis se encuentra la corteza o capa cortical (felodermis); éste es un tejido de 1 a 2 mm de espesor. En la corteza se encuentran comprimidos los tejidos del floema que contienen la más alta concentración de glucósido cianogénico. En esta capa es posible observar los canales laticíferos.

La pulpa es la parte utilizable de la raíz (aproximadamente 80%), por lo que es el tejido de mayor relevancia económica. La pulpa es una masa sólida compuesta por el tejido secundario de xilema, cuyas células contienen almidón en abundancia en forma de gránulos redondos de tamaño desigual. Por otro lado, la pulpa también es conformada de células parenquimáticas (Ceballos y De la Cruz, 2002).

Las fibras centrales están formadas por los vasos del xilema y esclerenquima. Estas afectan la calidad culinaria de las raíces cuando se utilizan para el consumo humano.

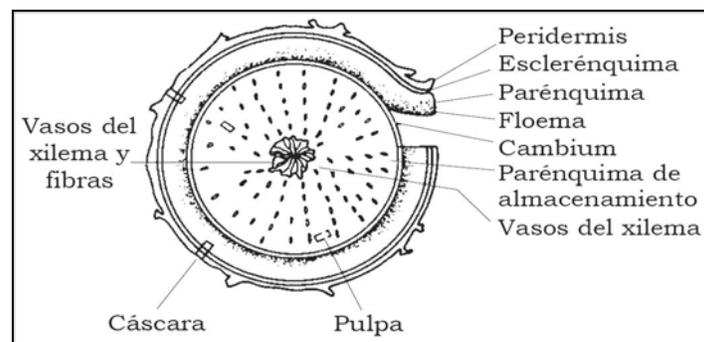


Figura 3. Corte transversal de la yuca

La presencia del glucósido cianogénico (linamarina) en la yuca es uno de los puntos de vital atención debido a que en presencia de enzimas, especialmente de la enzima linamarina, se hidroliza produciendo ácido cianhídrico. Las cantidades de ácido producido pueden ser inofensivas al gusto, pero también pueden llegar a ser mortales. El ácido cianhídrico se produce mayormente en la cáscara de la yuca, sin embargo, otros tejidos de la planta, como las hojas, tienen potencial cianogénico. Este potencial es considerablemente afectado por las condiciones ambientales en donde se da el cultivo, así como la edad de la yuca al momento de la cosecha (Ceballos, 2002). Uno de los parámetros ambientales que afecta, no sólo el contenido de ácido cianhídrico sino también el tamaño de la raíz, es la altitud (Oluwole y Onabolu, 2007). Existen diferentes técnicas para remover los componentes cianogénicos de la yuca, como son la ebullición en agua (100°C), la exposición al vapor (temperaturas superiores a 100 ° C) con posterior horneado y freído, la fermentación y el secado en horno (Montagnac et al, 2008).

1.5 Generalidades

La yuca es el cuarto producto más importante después del arroz, el trigo y el maíz, siendo un componente básico en la dieta diaria de muchas personas. Tanto sus raíces como sus hojas son adecuadas para el consumo humano. Las primeras son fuente de carbohidratos y las segundas de proteínas, minerales y vitaminas, particularmente carotenos y vitamina C. La composición química de la yuca es resumida en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición Química de la Raíz de Yuca (base húmeda)

	Raíz (%)
Humedad	61.0
Proteína	1.2
Grasa	0.4
Carbohidratos	34.9
Fibra	1.2
Cenizas	1.3

Fuente: Montaldo y Tomás, (1985)

Las regiones productoras de yuca, en su mayoría, han explotado la posibilidad de utilizar este cultivo como insumo en los procesos manufactureros y solamente países como Brasil, Indonesia y Tailandia han promovido el desarrollo de la industria de la yuca y sus derivados para satisfacer las necesidades internas y de exportación. Estos países tienen gran ventaja por sus grandes extensiones de tierra, mano de obra a bajo costo, reducción de costos de transporte y un manejo eficiente de la comercialización de sus productos con precios competitivos (FAO, 2007).

Aunque la yuca es originaria de América Latina y el Caribe, esta región aporta solo el 18.3 por ciento de la producción mundial. Las Figuras 4 y 5, registran el promedio de la producción mundial, entre los períodos 2000 - 2006.

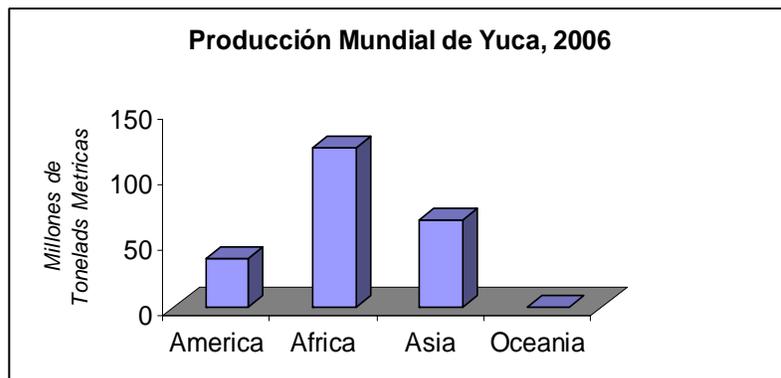


Figura 4. Producción Mundial de Yuca por Región 2006



Figura 5. Producción Mundial de Yuca por Año

1.6 Pelado de Yuca

La raíz de yuca, como cualquier otro alimento en estado fresco, antes de llegar a producto final debe ser pelada, para ser transformada en sus productos derivados alimenticios y no alimenticios. En la elaboración de alimentos, la cáscara de la yuca debe ser removida completamente, sacrificando la menor cantidad posible de pulpa de la raíz.

El principal problema en pelar yuca surge debido a las irregularidades en la superficie de la yuca, y la diferencia apreciable que se presenta en el tamaño, peso y forma de la raíz. Además, también hay diferencias en las propiedades de la cáscara de la yuca, debido a que ésta varía en espesor, textura y fuerza de adhesión de la raíz a la pulpa. Por tal motivo, es difícil realizar el diseño para una máquina de pelado de yuca que sea capaz de efectuar un pelado eficiente. Actualmente, el desarrollo de una máquina de pelar yuca que sea técnica y económicamente rentable, continua siendo un desafío de la ingeniería (Adetan y Adekoya, 2006).

A escala industrial, se han establecido cinco métodos para el pelado de tubérculos, frutas y vegetales, como son: pelado al vapor, pelado manual con cuchillo, pelado por abrasión, pelado cáustico y pelado con llamas.

Pelado al vapor consiste en colocar los alimentos a pelar en un recipiente con vapor a altas presiones (1500kPa). El recipiente posteriormente es rotado con una velocidad de 4-6 rev/min, permitiendo que todo el alimento esté expuesto al vapor por un determinado periodo de tiempo. La alta temperatura genera un rápido calentamiento de la capa de superficie (15-30 seg), pero la baja conductividad térmica de los productos normalmente previene la penetración del calor y el producto no es cocido en el tratamiento, por lo que la textura y el color son preservados. Luego de que los alimentos están en el recipiente a altas presiones de vapor y en rotación, la presión es removida instantáneamente promoviendo la remoción de la cáscara del producto debido a la expansión súbita del vapor que penetró la cáscara.

El pelado manual con cuchillo se basa en hacer que una cuchilla estacionaria ejerza presión contra la superficie de un alimento en rotación con el objetivo de remover la cáscara. De forma alternativa, la cuchilla también puede rotar sobre el alimento. Este método es particularmente adecuado para frutas cítricas en donde la cáscara es fácil de remover y hay pocos daños o pérdidas de fruta.

El pelado por abrasión consiste en pelar el alimento con unos rodillos que en la superficie tienen un material abrasivo como silicona o carbón. En este método se remueve la cáscara por el contacto entre el producto y los rodillos en rotación. Se emplean grandes cantidades de agua para separar la cáscara del producto pelado. La limitación de esta técnica es que gran cantidad de producto se pierde en el pelado en comparación con otros métodos (25% de pérdidas, al compararlo con un 8 a 18% del método de pelado al vapor). Además, para grandes volúmenes de producto se generan

muchos desperdicios diluidos que dificultan su deposición y, por otro lado, disminuyen el área superficial de contacto entre el producto y el material abrasivo.

El pelado cáustico está fundamentado en calentar una solución diluida de hidróxido de sodio (95 - 120°C) donde se sumerge el producto a pelar. Las pérdidas de producto están en el orden de 17%. Este método es generalmente es aplicado a tubérculos.

El pelado con llamas consiste en cargar el producto con una banda transportadora a un horno que se encuentra a altas temperaturas (1000°C), en donde la cáscara es carbonizada y posteriormente es removida en un atomizador de agua a alta presión. El promedio de las pérdidas por este método esta en el orden de 9% (Fellows, 1996)

1.6.1 Pelado manual de yuca

La mayoría de los sistemas en los cuales se ha intentado diseñar una máquina para el pelado de la yuca, por lo general, se centran en la simulación del movimiento de la mano humana. Sin embargo, el pelado manual de yuca con un cuchillo ha demostrado ser ineficaz a escala industrial. Por tal razón, surge la necesidad de investigar métodos alternativos a los que simulen al pelado manual (Adetan y Adekoya, 2006)

1.6.2 Pelado Cáustico de Yuca

El pelado cáustico de yuca es una técnica en la cual se sumerge la raíz en una solución cáustica para lograr pelar, remover o ablandar la piel de ésta. El pelado cáustico se ha empleado comercialmente en la elaboración de alimentos durante muchos años. Sin embargo, al igual que muchos procesos industriales, se conoce poco de este mecanismo. Parámetros de proceso, como la velocidad de pelar con solución cáustica, también se

desconoce; aunque éste no siempre es necesario para desarrollar un proceso comercialmente viable (McFarland y Thomson, 1972).

El método de pelado cáustico ha sido evaluado con diferentes alimentos como son la cidra, yautía, ñame, papa, pimiento, manzanas entre otros logrando resultados satisfactorios en cada uno de ellos (Walter y Schadel, 1982).

En *pimientos*, Bough y Badenhop (1974) utilizaron la inmersión en solución cáustica, para comparar este proceso con el proceso de tostado de los pimientos para la remoción de la cáscara. En este estudio, los pimientos fueron transportados a través de un compartimiento que contenía el hidróxido de sodio 16-18%, la temperatura de inmersión fue 99°C, con un tiempo de inmersión entre 1.4 – 40 segundos. Inmediatamente después de salir de la solución cáustica, el producto pasó por agua a presión para la remoción total de su cáscara.

En otro estudio, el método de pelado cáustico para pimientos fue utilizado para optimizar un proceso donde se eliminara totalmente la piel de los pimientos y se minimizara la pérdida del fruto. Para valorar este método se tomó en cuenta el efecto de la concentración de la solución cáustica del 4 a 12% de hidróxido de sodio, la temperatura del proceso de 80 a 100 ° C y el tiempo de inmersión de 1.5 a 6.5 minutos. Los mejores resultados de pelado de pimientos en solución cáustica se obtuvieron con una concentración de 12% de NaOH, combinada con un tiempo de procesamiento 1.6 a 2 minutos y una temperatura aproximada de 90 ° C (Floros y Wetzstein, 1987).

En *yautías* se evaluaron las condiciones de pelado con solución cáustica. Se consiguió una eficiencia de 95%, cuando se sumergieron durante 6.5 a 10 minutos en una solución de soda cáustica de 15% en una temperatura de 93° C. En este estudio las yautías fueron lavadas en una lavadora de cepillos de fibra luego de la inmersión en la solución cáustica. Cuando las yautías se sumergieron en agua a 66, 71 y 77°C por 30 minutos, antes de tratarlas con soda, las peladuras aumentaron significativamente, disminuyendo el rendimiento (Sánchez y Lísimaco, 1976).

Para *cidra*, se usó una solución de soda cáustica en ebullición. El proceso logró pelar las frutas todavía verdes que ya habían alcanzado su madurez sin necesidad de remover la cáscara a mano. Se utilizaron concentraciones de 10, 15, 20 y 25% de solución cáustica en ebullición, con un tiempo de inmersión de 1 a 9 minutos. Las mejores combinaciones fueron inmersión durante 6 minutos en una solución cáustica en ebullición al 10%, 5 minutos al 15%; 3 minutos al 20 % y 2 minutos al 25%. La merma atribuida al peso de la cáscara desprendida en cada uno de los tratamientos que se estudiaron promedió 19.4, 19.0, 19.6 y 17.5%, respectivamente. Se hicieron algunas modificaciones al tratamiento para que la cidra quedara con una pequeña porción de cáscara, sin alterar la calidad del producto final, estas fueron las siguientes: concentración del 10% un tiempo de inmersión de 5 minutos, 4 minutos en 15%, 2 minutos en el 20%, y 1 minuto en 25% de solución cáustica en ebullición logrando así, un aumento en el rendimiento de pulpa en un 2.7 a 6.7% (Cancel y Rivera-Ortiz, 1971).

El pelado de *ñame* fue estudiado en forma manual y con solución cáustica. En este estudio se emplearon cuatro variedades de ñame (alata, rotundata, trífida y esculenta). Se usó la solución cáustica al 10% con una temperatura de 104°C. La pulpa no retuvo

hidróxido de sodio libre después del pelado y el tratamiento con calor no afectó sus características sensoriales (Steele y Sammy, 1976).

El pelado cáustico de la *papa* también ha sido reportado. Weaver y Huxsoll (1981) reportan la comparación entre el pelado cáustico simple y con el método de doble inmersión. El pelado de doble inmersión comprende dos aplicaciones cáusticas a las papas a una temperatura de 93°C. La primera inmersión se realiza por 20 a 35 segundos para el acondicionamiento de la cáscara seguido se deja en un tiempo de reposo intermedio a temperatura ambiente. La segunda inmersión se realiza por 40 a 45 segundos en este periodo el hidróxido de sodio penetra la cáscara y comienza a aflojarla. La remoción del tejido fue acelerada por el proceso de doble inmersión al compararlo con un método estándar de inmersión simple; disminuyendo así la concentración de la solución cáustica a utilizarse y sin requerir temperatura adicional en el proceso (Weaver y Huxsoll, 1981).

El pelado cáustico de *tomates* de la variedad VF145B-7879 fue estudiado utilizando compuestos de ácidos carboxílicos (C₆-C₈) y sus sales y ésteres y otros surfactantes, emulsionantes, y mezclas patentadas. Se observó que la forma más efectiva de pelado de tomates fue usando C₆-C₈, en ácidos grasos saturados. El proceso de pelado más eficaz fue el pre-tratamiento con 0.5% de ácido octanoico a 65°C durante aproximadamente 1 minuto, seguido por la habitual inmersión en solución cáustica. Esto fue tan efectivo como usar ácido octanoico directamente en el baño cáustico (Neumann y Schultz, 1978).

El pelado cáustico de tomates utilizando NaOH es el método más común utilizado en el medio-oeste de los Estados Unidos. Sin embargo, debido al incremento en el costo de NaOH y problemas de disposición de este, se ha hecho necesaria la búsqueda de nuevas alternativas. Das y Barringer (2006) reportan las ventajas de utilizar soluciones de KOH

para el pelado cáustico de *tomates* versus resultados obtenidos utilizando soluciones de NaOH. Aunque el costo del KOH es mayor que el del NaOH, la concentración necesaria para obtener un pelado eficiente es menor. La utilización de KOH también provee beneficios ambientales, ya que no es perjudicial para la calidad del suelo.

Un estudio comparativo entre el pelado cáustico y el pelado a vapor de tomates fue realizado por García y Barrett (2006). Para los estudios de pelado cáustico utilizaron soluciones de NaOH a una concentración de 18w/v% seguida de un tratamiento al vacío, mientras que para el pelado a vapor las condiciones fueron vapor a 15 psig de presión y 250 °F de temperatura, seguido de un vacío de 22 in Hg. Otra condición de pelado fue presión de vapor de 12 ó 18 psig seguido de vacío de 20 ó 24 in Hg. Los resultados muestran eficiencia y un mayor rendimiento del proceso cuando se utiliza pelado cáustico.

1.7 Pardeamiento

La apariencia, el sabor, la textura y el valor nutricional son cuatro atributos considerados por los consumidores cuando hacen la selección de los alimentos. La apariencia del producto es afectada considerablemente por el color. Este es uno de los primeros atributos empleados por los consumidores como criterio de evaluación de la calidad del producto. Durante la fabricación y almacenamiento muchos de los alimentos desarrollan cambios en la coloración en función de su complejidad química. Existe un grupo de mecanismos los cuales generan el oscurecimiento, ennegrecimiento o pardeamiento de los alimentos, debido a la síntesis de compuestos coloreados que van desde un ligero

amarillo hasta el café oscuro. Estos mecanismos han sido clasificados en forma general como reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático (Badui, 1986).

1.7.1 Pardeamiento no enzimático

El pardeamiento no enzimático se refiere a pardeamiento no producido por enzimas, en el cual un conjunto de reacciones químicas generan un oscurecimiento del alimento. Estas reacciones son denominadas como: reacción de Maillard, y de caramelización. En general, estas reacciones producen cambios organoléptico y pueden conllevar a una disminución del valor nutritivo del producto.

1.7.1.1 Reacción de Maillard.

Esta reacción fue descrita por el químico francés Maillard en 1912, quien observó la aparición de un pigmento oscuro en una solución de glucosa y glicina. Con esa base se denomina reacción de Maillard todos los oscurecimientos no enzimáticos producidos por la reacción de aminas, aldehídos o cetonas, los cuales aparecen frecuentemente durante el calentamiento o almacenamiento prolongado de producto que contengan los anteriores. Las reacciones de Maillard se producen en medio ácido o alcalino, pero mayormente se encuentran asociadas a medios alcalinos. Esta reacción es proporcional a la temperatura y empiezan a ocurrir a partir de niveles de humedad de 10-12%. La reacción de Maillard ocurre en tres etapas principales: (Rakotomalala, 2007)

- a) Un paso inicial: La formación de N-Glucósido, en el cual se produce la unión de un carbohidrato con una proteína debido a la acción del grupo funcional que contiene átomos de nitrógeno.

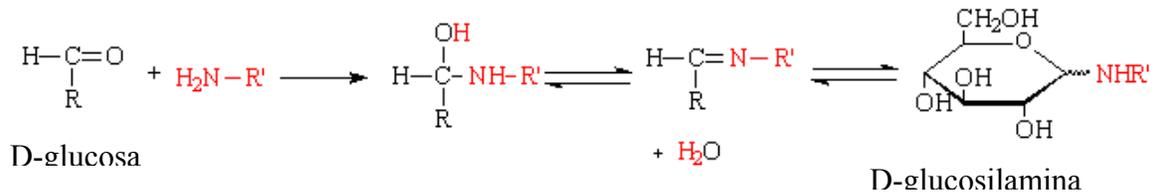


Figura 6. Reacción de formación de N-Glucósido.

- b) Después de la formación del N-Glucósido, el ión de amonio es formado e isomerizado. Esta reacción es conocida como la reordenación de Amadori y forma componentes llamados cetosaminas.

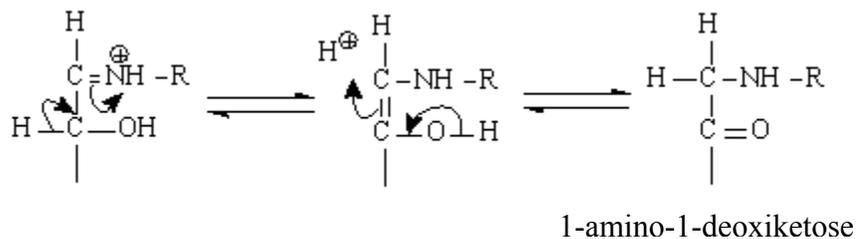


Figura 7. Reacción de reordenación de Amadori

- c) Las cetosaminas producidas son entonces deshidratadas en reductonas y deshidroreductonas como se muestra en la Figura 8, estos componentes son de color caramelo. Estos productos poseen cadenas hidrolíticas cortas que se someten posteriormente a la degradación de Strecker.

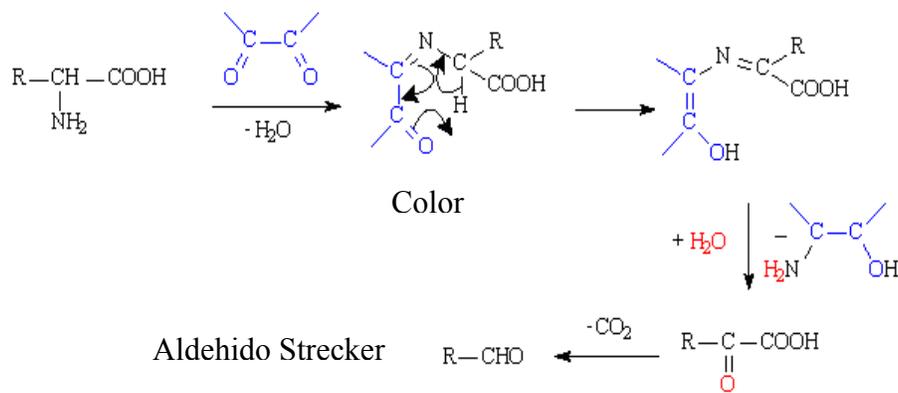


Figura 8. Reacción de Aldehído de Strecker.

1.7.1.2 Caramelización.

La caramelización ocurre debido a la degradación de azúcares, en ausencia de aminoácidos o proteínas, calentados por encima de su punto de fusión (pirólisis); formándose una serie de sustancias volátiles o no volátiles, de sabor característico y color oscuro.

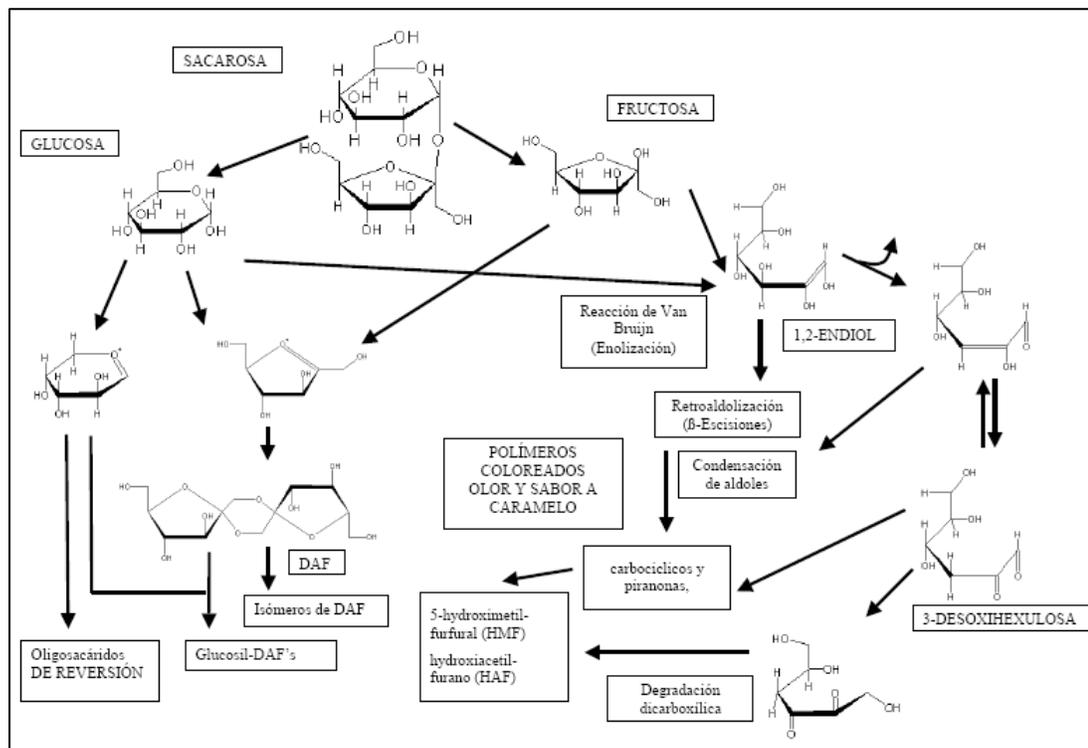


Figura 9. Serie de reacciones complejas que ocurren en un proceso de caramelización.

La caramelización es una serie de reacciones complejas que comienzan a partir de sacarosa, que debido a la acción del calor se hidroliza y se descompone en glucosa y fructosa (figura 9). Reacciones muy similares tienen lugar a partir de otros azúcares o de mezclas de varios (Cambón et al, 2007).

1.7.2 Pardeamiento enzimático

La acción de las enzimas en los alimentos es una de las causas principales de pardeamiento enzimático se refiere a la reacción que afecta el color de los alimentos. Éste es catalizado principalmente por la enzima polifenoloxidasa (1,2 benzenediol; oxidoreductasa oxígeno), que también se conoce como fenoloxidasa. Otra enzima de importancia que también se encuentran en los alimentos es la peroxidasa.

El pardeamiento enzimático es una de las reacciones más ampliamente estudiadas en el área de alimentos. Investigadores en los campos de la ciencia de los alimentos, horticultura y poscosecha, fisiología, microbiología, fisiología de insectos y crustáceos se han dedicado al estudio de estas reacciones por la diversidad de su impacto en esos sistemas (Marshall et al, 2000).

En la Figura 10 se observa la oxidación de sustratos difenólicos a quinonas en presencia de oxígeno y de forma irreversible, catalizados por la actividad de la polifenol oxidasa.

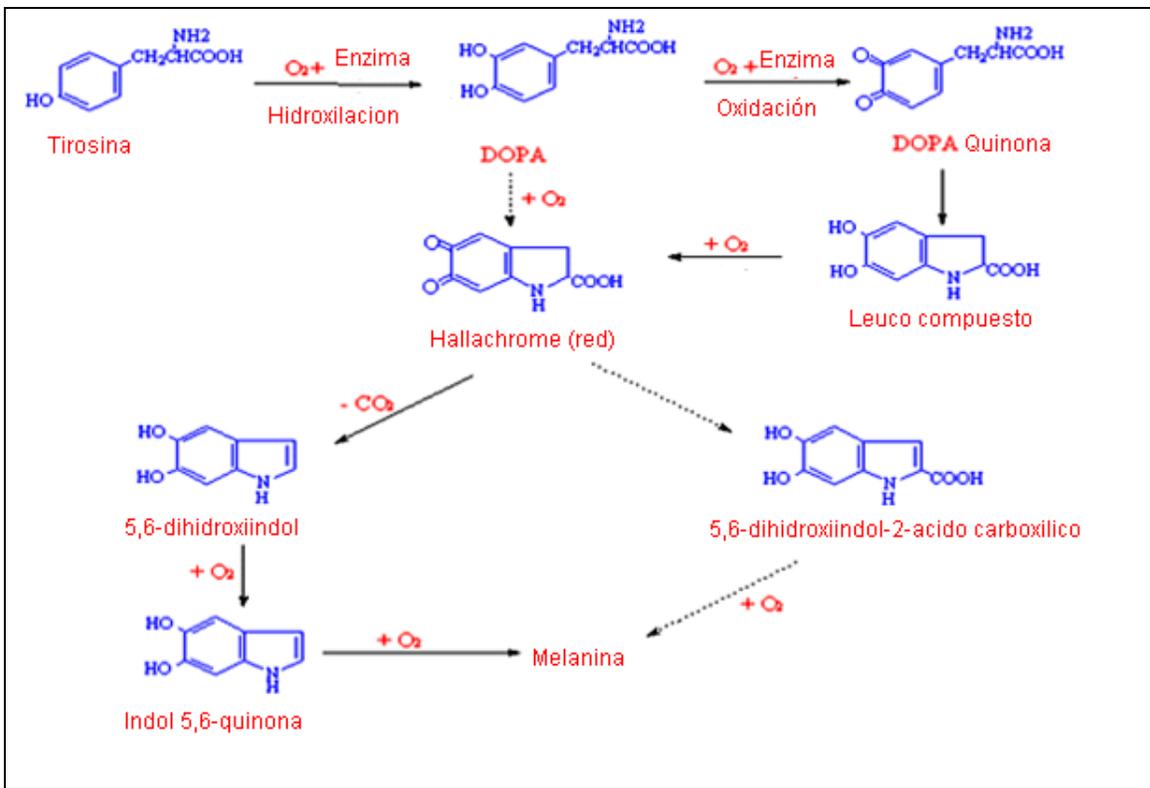


Figura 10. Transformación de la tirosina para producir quinonas.

La producción de quinonas genera la pigmentación de color café en los alimentos. El pardeamiento enzimático no se produce en células vegetales intactas. Una vez que el tejido está dañado por el corte, se genera la formación de compuestos que son los pigmentos que producen el color café. Dichos compuestos alteran las características organolépticas y bioquímicas de frutas y vegetales que son alterados por la formación de pigmentos.

1.7.3 Control del Pardeamiento

Muchos estudios se han centrado en la prevención o inhibición de la actividad de polifenoloxidasas en los alimentos. Diversas técnicas y mecanismos se han desarrollado a lo largo de los años para el control de estas actividades enzimáticas indeseables. Estas

técnicas tratan de eliminar uno o más de los componentes esenciales (oxígeno, enzimas, el cobre o sustrato) de la reacción.

Los tubérculos, al igual que las frutas y vegetales en general, después de ser sometidos a un tratamiento de pelado cáustico, tienden a experimentar pardeamiento enzimático. Cuando el calor de la solución cáustica penetra en el tejido inactiva el sistema respiratorio, pero no es suficiente para la inactivación de la enzima polifenoloxidasasa (PPO), que al reaccionar con o-dihidroxifenoles (DP) causa el pardeamiento enzimático. (Walter and Giesbrecht, 1982)

Walter and Giesbrecht (1982), recomendaron el pre-remojo de papas en agua a una temperatura de 75 - 80°C, por un tiempo de 30 minutos previo a la inmersión en solución cáustica. Esto evitará el pardeamiento enzimático debido a que la temperatura interna sería lo suficientemente alta como para inactivar la PPO y evitar así la reacción de PPO-DP.

La inmersión de frutas o tubérculos, en agua ligeramente salada o en una solución de sacarosa después de pelado en solución cáustica, limita temporalmente la entrada de oxígeno hacia el tejido vegetal y su absorción por este último. Sánchez-Nieva y Hernández (1976), emplean baños de ácido cítrico, para que el pH descienda y retarde el pardeamiento enzimático.

La aplicación de acidulantes es la forma típica de mantener el pH por debajo de lo que se requiere para la actividad catalítica óptima de las enzimas. Acidulantes, como ácido cítrico, málico y fosfórico son capaces de bajar el pH de un sistema lo suficiente para inactivar la polifenoloxidasasa (Richardson y Hyslop, 1985).

Los acidulantes son utilizados a menudo en combinación con otros agentes de antipardeamiento. El ácido cítrico es uno de los acidulantes más utilizados en la industria alimentaria. Normalmente se aplica en los niveles oscilan entre 0.5 y 2 % p/v para la prevención del pardeamiento de frutas y hortalizas. Éste se utiliza a menudo en combinación con ácido ascórbico o sus sales neutras para la quelación de los metales requeridos para la actividad de peroxidasa y polifenoloxidasa (Marshall et al, 2000).

En yautías, la reacción de pardeamiento enzimático pudo controlarse sumergiendo las yautías ya peladas en una solución de ácido cítrico al 1%, previo a sulfatar hasta un nivel de 200 ppm de SO₂. El tratamiento con el ácido cítrico redujo la acción enzimática y el pardeamiento lo suficiente para poder limpiar los tubérculos sin cambios apreciables en el color. La sulfatación evitó totalmente la reacción de pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard). (Gurbuz y Lee, 1997).

En papas crudas, se ha comprobado que los sulfitos causan daños adversos a la salud, por tal razón esta práctica se ha eliminado. La exclusión de los sulfitos para inhibir el pardeamiento enzimático en papas crudas fue aprobado por la FDA en 1990 (Sapers y Miller, 1993).

Los sulfitos son sales inorgánicas, las cuales tienen propiedades antioxidantes y conservantes. Ejemplo de ellos son el dióxido de azufre, sulfato de sodio, potasio, bisulfito de sodio y metabisulfito. Los sulfitos se utilizan en las frutas y hortalizas para evitar el pardeamiento, en el camarón y la langosta para prevenir la melanosis o "punto negro", en los vinos para desalentar el crecimiento bacteriano. Además, los sulfitos se utilizan en productos farmacéuticos para mantener la estabilidad y la potencia de algunos medicamentos (Knodel, 1997).

Las manifestaciones de la sensibilidad al sulfito incluyen una gran variedad de síntomas dermatológicos, pulmonares, gastrointestinales y cardiovasculares. Los asmáticos que tienen un alto grado de hiperreactividad de las vías respiratorias pueden tener un mayor riesgo de tener una reacción a un alimento que contiene sulfito (Lester, 1995).

En 1988, la FDA propuso nuevas reglas que requieren declarar en la etiqueta si hay presencia de sulfitos en los alimentos o están presentes en un nivel detectable, definido como 10 ppm o más (FDA, 1988a).

El USDA prohíbe el uso de sulfitos en carne, ya que puede dar una apariencia de "falsa fresca" de la restauración del color rojo de la carne cruda. Sin embargo, los ingredientes tratados con sulfitos pueden añadirse a la carne en la preparación de algunos alimentos procesados.

Actualmente, sulfito no se consideran GRAS para su uso en las carnes, los alimentos reconocidos como una importante fuente de vitamina B 1 o "frutas y hortalizas destinadas a ser servido crudo a los consumidores o para ser presentado en estado fresco a los consumidores "(FDA, 1988b).

1.8 Almacenamiento.

1.8.1 Congelación

Temperaturas de congelación de -18°C o inferiores a menudo se utilizan para la conservación a largo plazo de los alimentos, debido a que este proceso favorece la desactivación de las enzimas. Por otro lado, Fennema (1975b) atribuye la inhibición del crecimiento de enzimas a cambios de pH relacionados directamente al proceso de congelación. Según su teoría, los cambios en la composición y concentración podrían causar cambios en el pH y, por consecuencia, en la acidez. Otro factor involucrado en la

inactivación de enzimas bajo temperaturas de congelación es la perturbación de los grupos sulfhídrico, los cuales son esenciales para la actividad de algunas enzimas. Discusiones recientes han atribuido la inactivación de la enzima de la congelación a la influencia del agua durante el proceso de congelación. Eliminación de agua disponible durante la congelación provoca cambios que finalmente resultan en una alteración del microambiente de la enzima, de manera similar a la deshidratación.

Al igual que con las altas temperaturas de inactivación, las bajas temperatura de inactivación tienen sus inconvenientes. Congelación provoca cambios en la textura y otras características de frescura. La congelación también puede conducir a la descompartimentación de determinadas enzimas, sustratos y/o activadores como consecuencia de la interrupción de células facilitando así la actividad enzimática en el estado congelado, que es mayor luego de la descongelación de los alimentos (Ashie y Simpson, 1996).

Las temperaturas bajas inhiben los procesos enzimáticos que causan el deterioro fisiológico de las raíces. Para prolongar la conservación del estado fresco de las raíces de yuca, se recurre a la refrigeración, congelación y a las atmósferas llamadas controladas, aunque sería correcto denominarlas condicionadas o dirigidas. La congelación, al igual que la refrigeración, utiliza el descenso de la temperatura para alargar el periodo de conservación de los alimentos, aunque la temperatura de congelación es mucho más baja que las usadas en refrigeración. (Sánchez Nieva y Hernández, 1976).

Para la refrigeración las raíces se almacenan en un cuarto frío a una temperatura de 0 a 2°C con humedad relativa entre 85-95%, mientras que, para las raíces congeladas se

utilizan temperaturas de -18°C y las que se almacenan en congelación rápida a -30°C (Sánchez y Lisímaco, 2002).

Gurbuz y Lee (1997) realizaron un estudio para alargar la vida útil de las papas mínimamente procesadas, utilizando empaque en atmósferas modificadas con gas nitrógeno. Una mezcla de cistina (0.5%) y ácido cítrico (2%) fue eficaz en la prevención del pardeamiento enzimático. Estas condiciones lograron alargar la vida útil del producto bajo temperatura de refrigeración por tres semanas más. Para el control de pardeamiento en yautías, la sulfatación mejoró la calidad de yautías congeladas, evitando el desarrollo de sabores extraños y cambios en el color mientras estaba almacenada a -10°F (-23.3°C) durante más de 200 días.

1.8.2 Refrigeración

Refrigeración supone el almacenamiento temporal de los alimentos a temperaturas por encima de la temperatura de congelación. Algunas verduras como brócoli, bayas, espinacas y guisantes, son almacenadas a temperaturas de refrigeración. Otros productos básicos tales como plátanos, mangos, aguacates, y tomates son susceptibles a lesiones y, por tanto, no se pueden almacenar por debajo de sus respectivas temperaturas críticas (Fennema, 1975a). El proceso de enfriamiento generalmente es realizado con el uso de aire en movimiento, agua, hielo, o de vacío. Preservación y almacenamiento en frío durante la distribución y venta al detal son necesarias para la prevención del pardeamiento en frutas, vegetales y mariscos, de esta manera se obtiene una reducción eficaz en la actividad polifenol oxidasa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de la muestra.

Las muestras de yuca utilizadas para este proyecto fueron de la variedad CM-3311, del proyecto H-094D, del Centro de Investigación y Desarrollo de Corozal de la Estación Experimental Agrícola. Estas fueron transportadas en canastas plásticas hasta el laboratorio de química de alimentos del RUM, almacenadas a temperatura de aproximadamente 20 °C hasta el día siguiente para ser lavadas (remover tierra de la superficie) previo al tratamiento de pelado cáustico.

El número de raíces evaluadas en este estudio fue de 221. En la primera etapa de evaluación definida como pelado cáustico, fueron analizadas 135 raíces. En la segunda etapa de éste proyecto (neutralización) se utilizaron 27 raíces. En la tercera etapa, que corresponde al almacenamiento, se utilizaron 21 raíces a temperatura de refrigeración, 21 raíces a temperatura de congelación y 7 raíces para control. Adicionalmente, se realizaron dos paneles sensoriales donde se emplearon 10 raíces para cada uno.

2.2 Diseño Experimental.

En la primera etapa de este estudio se evaluaron los factores que afectan el proceso de pelado cáustico, como son: temperatura (90, 100 y 105° C), el tiempo de inmersión (2.0, 3.5, 5.0, 6.5 y 8.0 minutos) y concentración de la solución cáustica (10, 15 y 20 % p/v de hidróxido de sodio), para determinar la mayor eficiencia en el proceso de el pelado cáustico.

La segunda etapa fue la neutralización de la yuca tratada. En este paso se buscó ajustar el pH de la yuca a su estado original luego del pelado cáustico. Esto es debido a que

después del enjuague con agua la yuca queda con un pH básico. La tercera etapa es el almacenamiento. Este se efectuó a dos condiciones: refrigeración (0-2°C) y congelación (-18°C).

2.3 Pelado de la yuca.

Se realizaron dos tipos de pelados: manual y con solución cáustica. El pelado manual se define como la pérdida teórica del pelado de yuca en este experimento, y el pelado cáustico define como la pérdida experimental.

2.3.1 Pelado Manual.

Se tomaron tres muestras de yuca, estas muestras primero se lavaron, se escurrieron y luego se pesaron para definir el peso inicial en una balanza Mettler PC2000. Posteriormente, las muestras se pelaron manualmente haciendo un corte a lo largo de la raíz y removiendo la cáscara tal como se ilustra en la Figura 11. Después de peladas las muestras, se pesaron nuevamente para definir el peso final y buscar la pérdida del pelado manual con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje pelado manual} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso inicial}} \times 100$$



Figura 11. Pelado Manual de Yuca

2.3.2 Pelado Cáustico

Después de lavada y escurrida la yuca, el proceso de pelado cáustico empieza pesando la muestra a pelar para conocer su peso inicial. En un plato caliente (CORNING HOT PLATE - MODEL PC500) se coloca un vaso precipitado de 5000 ml con 3000ml de solución cáustica a una concentración determinada y se elevó la temperatura hasta el nivel correspondiente.

La solución de 10 % se preparó tomando 200 gr. de hidróxido de sodio en polvo (pesados en una BALANZA, METTLER AG204), al 99.2% de pureza de la compañía Fischer. Luego es agregado a un matraz volumétrico de 2000 ml y llevado a volumen con agua destilada. Al finalizar es agitado hasta que la solución estuviese homogénea. Similar procedimiento se realizó para preparar las soluciones del 15 y 20% p/v de hidróxido de sodio. Después de alcanzar las condiciones de temperatura de pelado se sumerge una yuca por un determinado tiempo de inmersión (2, 3.5, 5, 6.5 y 8 minutos). Este paso se trabaja por triplicado, hasta hacer todas las combinaciones posibles de las variables que estamos utilizando (tiempo, concentración y temperatura). Después de cada inmersión en solución

cáustica, las raíces se enjuagan con agua para remover el material ablandado por la solución cáustica, se deja escurrir y se pesa (peso final).

Terminados todos los muestreos para los diferentes factores de tiempo, temperatura y concentración de NaOH, se determinó la mejor condición de pelado cáustico basándose en la eficiencia de pelado en la solución cáustica efectuando un análisis de varianza de los resultados obtenidos con un modelo lineal general. Además, se realizó una comparación entre las eficiencias obtenidas por el método de pelado cáustico y el pelado manual. Todos los factores experimentales se evaluaron en este estudio de forma aleatoria, para prevenir que los resultados estuvieran asociados un patrón sistemático del proceso pelado cáustico.

2.3.2.1 Neutralización.

La segunda parte del estudio consiste neutralizar las muestras y, al mismo tiempo, evitar el pardeamiento al que se exponen las raíces tratadas con este método de pelado. Estas muestras, después de peladas con la solución cáustica y enjuagada, quedan con pH básico y deben ser neutralizadas para evitar que la solución continúe actuando sobre la pulpa expuesta. Las raíces evaluadas, se pelaron bajo las condiciones de pelado cáustico seleccionadas en la primera parte del estudio.

La solución de ácido cítrico fue de 1% p/v y se prepararon tomando un matraz volumétrico de 2000 ml, y se le adicionan 20 gramos de ácido cítrico sólido (ácido cítrico monohidratado, acs reagent 99% - sigma-aldrich), Luego se lleva a volumen y se agita hasta que se alcance una solución homogénea. Este proceso se lleva a cabo de igual manera para las concentraciones de 2 y 3% p/v).

En el proceso de neutralización la solución de ácido cítrico preparada fue vertida en un vaso precipitado de 5000 ml, donde las yucas peladas fueron sumergidas individualmente por diferentes tiempos de inmersión (15, 30, 45, 60 minutos) en forma aleatoria. La evaluación de la mejor solución consiste en un examen visual del grado de pardeamiento y su grado de acidez, medidos con un metro de pH (METRO DE pH AR15 - ACCUMET RESEARCH - FISHER SCIENTIFIC). Esta evaluación se realiza aproximadamente 5 minutos luego de retirar la muestra de la solución ácido cítrico de forma tal, que permitiera que la solución remanente en la superficie de la raíz se escurriera.

2.3.2.2 Almacenamiento

La tercera parte de este experimento fue el almacenamiento. Esta se fundamentó en evaluar la mejor forma de almacenamiento para determinar su largo de vida útil. El método de conservación que se utilizó fue el empaque al vacío en condiciones de refrigeración en una nevera a una temperatura de 0 - 2°C o de congelación en un congelador a una temperatura de -18 °C, ubicados en el Laboratorio de Química de Alimentos, RUM.

Las muestras fueron procesadas con las condiciones seleccionadas en los pasos anteriores y almacenadas para ser analizadas en dureza, color, pH y actividad enzimática del refrigerador a los 0, 7, 14, 28 y 56 días y del congelador a los 0, 14, 28, 56 y 112 días. En cada uno de estos días se evalúa lo siguiente por triplicado:

2.3.2.2.1 Dureza.

La dureza mide el esfuerzo necesario para cortar la yuca con los dientes. Esa fuerza se puede medir en libra-f o kilogramos-f. Para este fin se utilizó un Warner-Bratzler. Se tomaron tres yucas peladas de cada tratamiento. Las del congelador fueron primero

descongelas y llevadas a la misma temperatura que las yucas peladas almacenadas en el refrigerador. Después, a las yucas seleccionadas se les extrajo del centro una muestra de aproximadamente 1 centímetro de diámetro y 10 centímetros de largo, y se midió la fuerza ejercida por el Warner-Bratzler en el medio y los extremos de la muestra. De esta forma se tomaron tres medidas para cada una de las tres muestras de cada tratamiento.

2.3.2.2.2 *Color.*

El cambio de color superficial e interno, se midió usando el colorímetro HunterLab Miniscan XE, con una escala L, a y b con un observador de 2° e iluminante de D₆₅. Se tomaron tres muestras de yuca peladas del tratamiento. Las muestras del congelador se dejaron descongelar hasta alcanzar la misma temperatura de las muestras de yuca peladas almacenadas en el refrigerador.

2.3.2.2.3 *pH.*

El pH determina la acidez o basicidad de una solución. La medición del pH de la superficie se realizó colocando el electrodo del potenciómetro directamente en la raíz pelada. El pH del centro de la raíz se obtuvo tomando una muestra de aproximadamente 10 gramos y macerándolas, el electrodo del potenciómetro se ubicó sobre la muestra macerada. Para medir el pH se utilizó el metro de pH, debidamente estandarizado. Estas medidas se realizaron en los días de almacenamiento 0, 7, 14, 28 y 56 para las muestras refrigeradas y los días 0, 14, 28, 56 y 112 para las muestras congeladas.

2.4 Análisis Enzimático.

El análisis enzimático se limita a determinar la concentración de peroxidasa y polifenoloxidasas en las raíces almacenadas. Para esto se utiliza el método espectrofotométrico descrito a continuación.

2.4.1 Curvas estándares de la polifenoloxidasas y peroxidasa.

En la curva estándar se observa el comportamiento de la enzima con el sustrato. Ésta ayuda a determinar el tiempo cuando la enzima se encuentra en su actividad máxima. Por medio de la curva estándar de polifenoloxidasas se determinó que el tiempo máximo de actividad enzimática es de 2 minutos y con la curva estándar de la peroxidasa se determinó que su tiempo máximo de actividad enzimática es de 2 minutos. Para determinar de forma precisa la actividad enzimática usando el método espectrofotométrico se acepta, que el cambio en absorbancia por minuto se encuentre en el rango de 0.01–0.02, por lo que es necesario ajustar la cantidad de enzima que se añade al medio de reacción para lograr un valor que se encuentre dentro del rango recomendado.

2.4.1.1 Curva estándar polifenoloxidasas.

Primero se preparan todas las soluciones que se van a utilizar. Se prepara un amortiguador de fosfato de potasio al 0.05M con un pH de 7.0 en un vaso de precipitado de 100 ml (0.68 gramos de fosfato de potasio y 96 ml de agua desionizada). El pH se ajusta a 7.0 con hidróxido de sodio 0.1M. Una solución de catecol al 0.2M, se prepara en un balón volumétrico de 50 ml, añadiendo 1.10 gr de catecol y se lleva a volumen con

agua deionizada. La solución de enzima tirosinasa se prepara con 10 μL de la enzima diluida en 90 μL del amortiguador de fosfato de potasio 0.05M.

Cuando las soluciones a utilizarse están listas, se prepara un blanco y un ensayo utilizando las siguientes cantidades. Para el blanco se utilizan 90 μL de fosfato de potasio 0.05M, 900 μL de catecol 0.2M y 10 μL de agua desionizada. Para el ensayo utiliza 90 μL de fosfato de potasio 0.05M, 900 μL de catecol 0.2M y 10 μL de la solución de tirosina. La enzima se añade a la solución en el momento antes de comenzar a medir la reacción en el espectrofotómetro con el propósito de medir la reacción completa. Luego de realizar las mezclas se mide el cambio en absorbancia a 420 nm por 2 minutos, tomando lecturas cada 5 segundos (Figura 12).

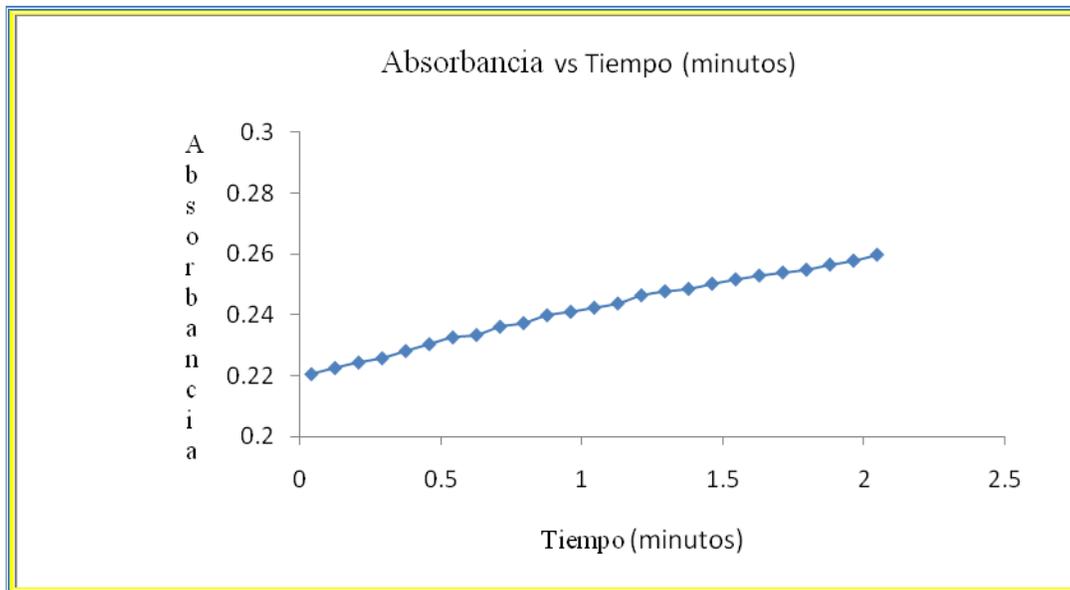


Figura 12. Curva estándar polifenoloxidasas

2.4.1.2 Curva estándar peroxidasa.

Para este análisis se utilizó el procedimiento descrito por la compañía Sigma-Aldrich. Primero se preparan las soluciones a utilizarse. La solución de pirogalol al 1% se prepara en un balón volumétrico de 25 ml donde se adicionan 1.25 gr de pirogalol sólido y se lleva a volumen con agua. Una solución de peróxido de hidrógeno al 0.03%v/v se prepara

en un matraz volumétrico de 100ml adicionándole 0.87 ml de peróxido de hidrógeno al 30% v/v y llevarlo a volumen.

Cuando las soluciones a utilizarse están listas, se prepara un blanco en una celda de 3 mililitros adicionándole 2.10 ml de agua desionizada, 0.32 ml de buffer de fosfato de potasio 0.05M, 0.16 ml de peróxido de hidrógeno al 0.03%, 0.32 ml de pirogalol al 1% y 0.10 ml de agua desionizada. Para las muestras en las celdas de 3 ml se adiciona 2.10 ml de agua desionizada, 0.32 ml de buffer de fosfato de potasio 0.05M, 0.16 ml de peróxido de hidrógeno al 0.03%, 0.32 ml de pirogalol al 1% y 0.10 ml de enzima preparada con una concentración de 0.5 unidades/ml en un amortiguador de fosfato de potasio 0.05M.

La mezcla se coloca en el espectrofotómetro para tomar lecturas de absorbancia a 420 nm, cada 5 segundos, por 2 minutos. Los datos de absorbancia se grafican absorbancia versus tiempo (Figura 13).

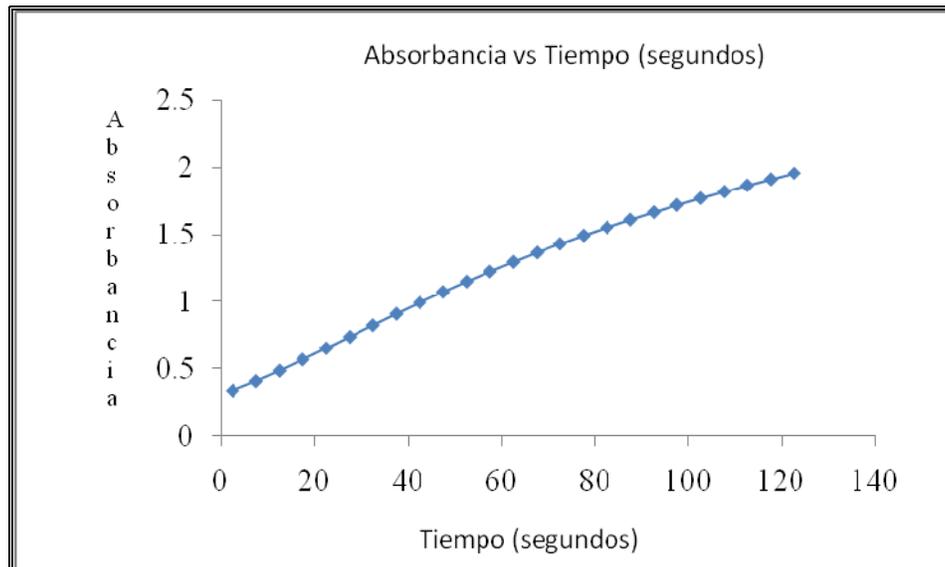


Figura 13. Curva estándar peroxidasa

2.4.3 Extracción de la enzima.

La extracción de las enzimas se consigue utilizando el método descrito por Ramos-Torres (2000). Se descongelan las muestras almacenadas en el ultracongelador, se cortan en pedazos pequeños y se toman 40 gramos de la muestra. Se homogenizan en un procesador de alimentos con 120 ml del amortiguador de fosfato de potasio frío 0.05 M a un pH de 7.0. Al terminar la homogenización, se filtra con papel filtro en un embudo de filtración al vacío. Se toma una muestra del filtrado de 40 ml en un tubo de centrifuga de 50 ml. El filtrado, se centrifuga por 10 minutos a 4000 revoluciones / minuto. Se toma una alícuota de 10 ml del sobrenadante que es el extracto que se va a utilizar para analizar la concentración de ambas enzimas.

2.4.3.1 Ensayo polifenoloxidasas

Para determinar la polifenoloxidasas presente en la yuca, se utiliza 90 µL de fosfato de potasio 0.05M a un pH 7.0, 900 µL de catecol 0.2M y 10 µL del extracto que se obtuvo de la centrifuga. Se coloca en una celda de un mililitro y se lleva al espectrofotómetro configurado para leer el cambio de absorbancia a 420 nm cada 5 segundos por 2 minutos.

El cambio en absorbancia se convierte a unidades de la enzima por miligramos de muestra utilizando la fórmula de conversión de la compañía Sigma-Aldrich.

$$\frac{\text{Unidades}}{\text{ml enzima}} = \left(\frac{m * V_R * 10^3}{\epsilon^{420}} \right)$$

Donde,

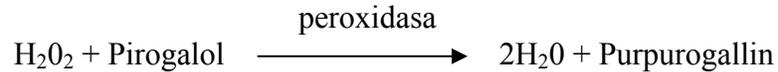
V_R = volumen de reacción (Volumen de catecol + Volumen de enzima)

m = velocidad de reacción inicial (Abs/min)

ϵ = el coeficiente de extinción molar ($\epsilon^{420} = 1.360 \text{ M}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$)

2.4.3.2 Ensayo peroxidasa.

La reacción que se produce para el análisis de peroxidasa es:



En esta reacción, la peroxidasa cumple con la función catalítica de oxidación de pirogalol a purpurogalin.

Para determinar la peroxidasa presente en la yuca, se utilizan 2.10 ml de agua deionizada, 0.32 ml de buffer de fosfato de potasio 0.05M, 0.16 ml de peróxido de hidrógeno al 0.03%, 0.32 ml de pirogalol al 1% y 0.10 ml del extracto que se obtiene de la centrifuga. Éste se coloca en una celda de 3 ml y se lleva al espectrofotómetro configurado para leer la absorbancia a 420 nm, tomando lecturas cada 5 segundos por 2 minutos. Los valores de la actividad enzimática en la yuca, están dados en unidades/ml de muestra y se determina mediante un procedimiento adquirido de la compañía Sigma-Aldrich. Los valores del blanco se obtienen con muestras donde se añade agua deionizada al sustrato en vez de la solución de la enzima.

Donde,

$$\frac{\text{Unidades}}{\text{ml enzima}} = \frac{\frac{dtf \text{ Abs } 420}{\text{seg prueba}} - \frac{dtf \text{ Abs } 420}{\text{seg blanco}}}{(0.1 * 12)} * (3)(fd)$$

seg = segundos de prueba

3 = volumen en mililitros del ensayo

fd = factor de dilución (40 gr muestra/120 ml de fosfato de potasio = 0.3)

12 = coeficiente de extinción de 1 mg/ml de purpurogalina

0.1 = volumen en mililitros de enzima utilizada

2.4.4 El análisis sensorial.

Con este análisis se pretende verificar que los cambios en sabor no fueron significativos en la yuca pelada con solución cáustica respecto a yucas peladas manualmente. Para realizar este análisis se utilizó la prueba triángulo, la cual consiste en identificar la muestra diferente en un grupo de tres muestras, identificadas con números aleatorios de tres dígitos. En la Figura 14, se observa la hoja de evaluación que utilizan los panelistas.



University of Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Colegio de Ciencias Agrícolas
Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Fecha: 21 de octubre de 2008
Tema: Prueba Triángulo
Producto: Yuca hervida
Localidad: Sala de Estudios Graduados de CITA

Número de panelista _____

Información General: El Programa Graduado de Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, está llevando a cabo una investigación relacionada con el Pelado Cautero en Yuca. El propósito de esta prueba triángulo es determinar la diferencia entre el Pelado Manual y el Pelado Cautero de Yuca. Favor de no incluir su nombre, dirección o teléfono en la hoja. Gracias por su colaboración.

Instrucciones: Se le presentan tres muestras de yuca hervida identificadas con números de tres dígitos. Una de las muestras es diferente a las otras. Evalúe las muestras de izquierda a derecha y determine cuál es la muestra diferente en términos de sabor y textura. Escriba los números de las muestras en los espacios provistos e indique su selección (muestra diferente) con una "X" en el espacio correspondiente. Si no puede decidir, asírtelo. En la sección de comentarios describa brevemente si que se diferencia la muestra asignada.

Número de muestra _____
Muestra Diferente _____

Comentarios:

Figura 14. Hoja de Evaluación, prueba triángulo

Se realizaron dos paneles sensoriales: a la semana y al mes de almacenamiento congelado bajo las mismas condiciones de pelado y neutralización. Estas muestras fueron

comparadas con la yuca pelada manualmente con el mismo tiempo de almacenamiento en congelación.



Figura 15. Panel sensorial

Para el panel sensorial, la yuca pelada previamente con solución cáustica, almacenada a temperatura de congelación y la yuca pelada manualmente e igualmente almacenada bajo las mismas condiciones que el tratamiento, se cocinaron en agua de sal a temperatura de ebullición. El tiempo de cocción fue de 14 minutos y 20 minutos para las yucas del control y tratamiento, respectivamente. La diferencia en tiempo de cocción permitió que ambas muestras tuvieran textura similar ya que consistentemente la yuca tratada permanecía dura a los 14 minutos de cocción. Después se trozaron en cubitos de 3 cc, envolvieron en papel aluminio e identificaron con un número aleatorio de tres dígitos (Figura 15). El panel se llevó a cabo en el salón P014 del RUM con 24 panelistas por cada panel sensorial.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Pelado de la Yuca

El pelado de las muestras de yuca se realizó de dos formas: pelando con solución cáustica y haciendo un pelado manual. En el método de pelado manual se empleó como herramienta un cuchillo, con la finalidad de realizar comparación con el rendimiento de pelado entre ambos métodos.

3.1.1 Pelado Manual

El proceso de pelado manual se realizó pesando inicialmente la yuca antes de remover la cáscara con el cuchillo de cocina. Luego de remoción de la cáscara, la yuca es pesada nuevamente. Los datos de pesado de la yuca fueron utilizados para determinar el porcentaje de pérdida del proceso de pelado manual, empleando la fórmula (1).

$$\text{Porcentaje de pérdida del pelado} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad (1)$$

Para calcular el porcentaje de pérdida manual se seleccionaron tres muestras de yuca. En cada una de ellas se determina el porcentaje de pérdida de pelado manual. El promedio de los porcentajes de pérdida se define como la pérdida óptima del pelado de la yuca, Los valores de pérdida obtenidos de este procedimiento se ilustran en la Tabla 2; donde se observa que el promedio obtenido fue de aproximadamente 15.0. Este valor se propone

como la pérdida óptima de pelado, y se toma como punto de referencia para evaluar la pérdida del pelado cáustico.

Tabla 2. Resultados de Pérdida del Pelado Teórico

Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida
1	543.0	457.2	15.8%
2	417.4	356.2	14.7%
3	350.7	300.5	14.3%
		Promedio	14.9%

3.1.2 Pelado Cáustico.

Las yucas escogidas para realizarle el pelado cáustico (Figura 16), primero se lavaron, escurrieron y pesaron. Seguido a esto, se colocaron en una solución cáustica con una concentración (10, 15 y 20% p/v de NaOH), temperatura (90, 100 y 105 °C) y tiempo de inmersión (2.0, 3.5, 5.0, 6.5 y 8.0 minutos). Las combinaciones de estos factores se hicieron por triplicado; evaluando la pérdida del proceso de pelado de yuca para todas las combinaciones de tiempo, temperatura y concentración. La tabla 3 presenta un resumen de los resultados obtenidos.



Figura 16. Yuca antes y después del pelado cáustico.

Tabla 3. Resumen Datos Porcentaje de Pérdida

Temperatura	Tiempo (seg)	<i>Concentración de NaOH</i>		
		10%	15%	20%
95	2.0	0.04	0.78	3.75
95	3.5	0.20	1.81	3.58
95	5.0	0.15	2.50	5.76
95	6.5	0.29	3.25	8.38
95	8.0	1.49	4.00	26.76
100	2.0	0.14	1.00	0.67
100	3.5	0.80	1.14	4.06
100	5.0	0.93	6.84	10.40
100	6.5	1.74	7.82	13.90
100	8.0	8.91	13.90	13.60
105	2.0	0.07	1.89	1.49
105	3.5	0.31	1.75	4.98
105	5.0	0.40	3.69	11.05
105	6.5	0.58	13.36	18.49
105	8.0	2.97	20.59	19.18

Para analizar los resultados de este experimento se utilizó el programa Minitab®15 Statistical, fundamentados en un modelo de diseño de experimento es en bloques totalmente aleatorizados y el análisis estadístico utilizado es “Lineal General”. En la Figura 17 se observa la distribución de los residuales para los análisis experimentales realizados. En dicha figura se aprecia como los experimentos tuvieron una distribución normal y uniforme. Esto confirmó la posibilidad de ser analizados estadísticamente con un alto grado de confiabilidad.

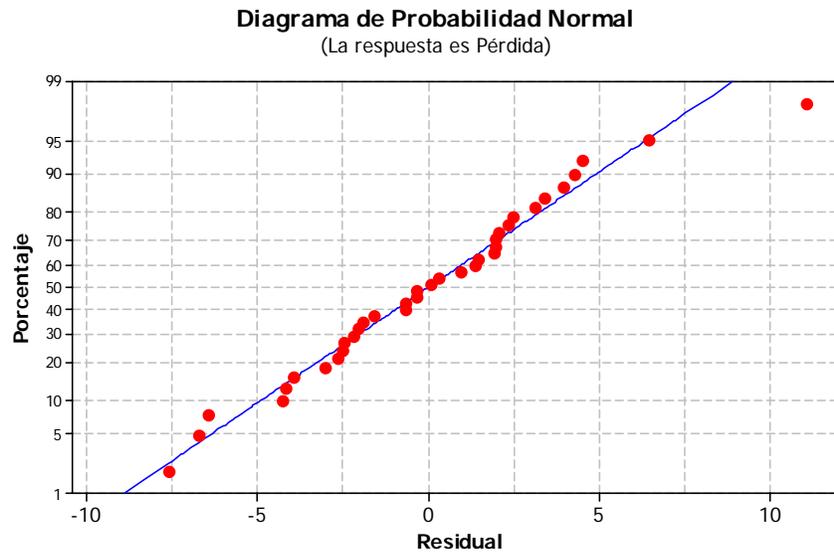


Figura 17. Gráfica del residual experimental para porcentaje de pérdida.

En el apéndice (a) se presentan los resultados de los análisis experimentales, en dicha Tabla R^2 tiene un valor aproximado de 74.71%. Este valor es una medida del nivel de correlación entre el modelo estadístico seleccionado y los datos recopilados. El R^2 obtenido indica que el modelo representa los datos bastante bien. El apéndice (a), muestra valores de P (P-Value) para las variables concentración, temperatura y tiempo, de 0.000, 0.559 y 0.000, respectivamente. Esto sugiere que las variables de concentración y tiempo fueron las de mayor significancia estadística en los experimentos. La temperatura no fue significativa, esto puede ser causado por las fluctuaciones en temperatura que se producían cuando las raíces de yuca se sumergían en la solución cáustica, pues siempre tendía a bajar un poco.

Empleando un modelo lineal general más riguroso, que incluye las interacciones entre los efectos más relevantes en el proceso en este estudio (concentración, tiempo y la interacción entre la concentración y tiempo) el análisis estadístico genera un R^2 de 90.13 %. (Ver Apéndice (b)).

A continuación se describirá de forma detallada los resultados relevantes obtenidos en la evaluación del proceso de pelado cáustico de yuca, haciendo uso de diagramas de superficies y de contorno, y proyectando la respuesta pérdida del pelado en función de las variables tiempo de inmersión en minutos y concentración de la solución cáustica en porcentaje peso/volumen.

En la Figura 18, se ilustra en un diagrama de superficie que el incrementar el tiempo de inmersión, al igual que la concentración, contribuyen a tener mayor una mayor pérdida en el pelado cáustico de la yuca.

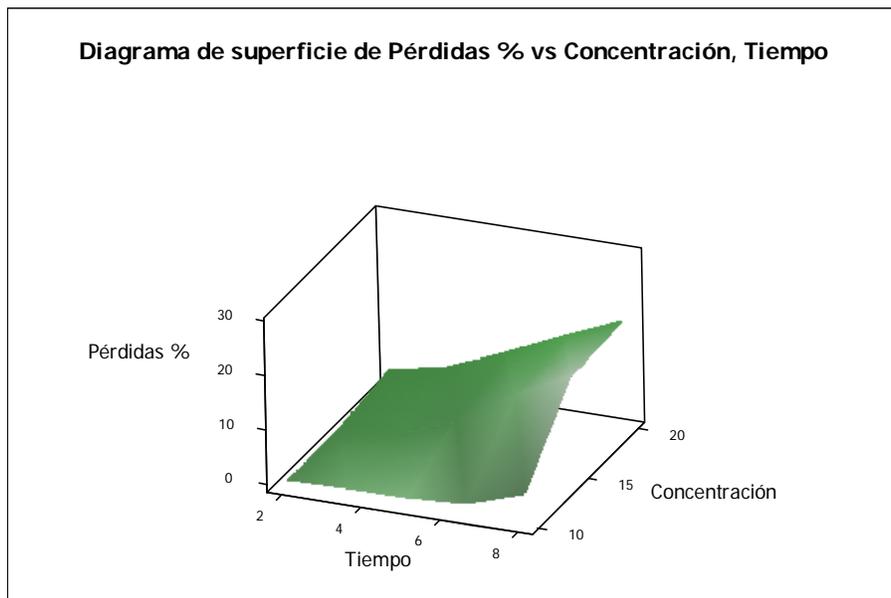


Figura 18. Diagrama de Superficie de Pérdida de Pelado vs Concentración (P/V), Tiempo (min).

El diagrama de contorno de la Figura 19, presenta más claramente que condiciones superiores a 15% p/v de solución cáustica y 7.5 minutos de tiempo de inmersión son bastante apropiados para obtener un buen pelado cáustico de la yuca. Basados en estos resultados se recomienda utilizar las condiciones 8 minutos de tiempo de inmersión y 20% p/v de solución cáustica. Esta combinación permite un punto de operación robusto del proceso que asegure la remoción completa de la cáscara y los compuestos de cianuro que ésta contiene.

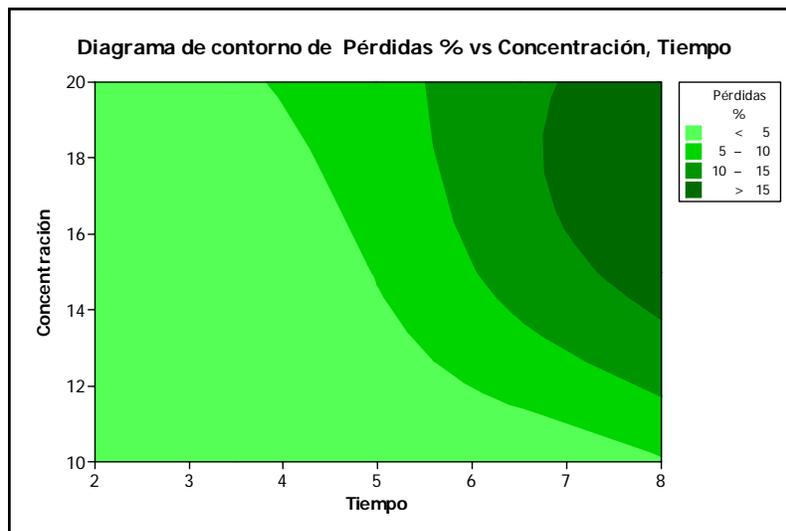


Figura 19. Diagrama de contorno de pérdida de pelado vs Concentración (%P/V), Tiempo (min)

En los procesos de pelado mecánico a escala industrial se obtienen porcentaje de pérdida de pelado superiores a 25% debido a la forma irregular de las raíces (Adetan et al, 2006), lo que implica una pérdida excesiva de pulpa de yuca en el proceso de pelado. En este proyecto de investigación se obtuvieron pérdidas de pelado del 17%, lo cual implica que existen menos pérdidas de pulpa de yuca, pero que es lo suficiente para remover la cáscara de la pulpa, obteniendo un pelado completo de raíz. Basados en los resultados

obtenidos se puede apreciar que el método de pelado cáustico puede generar menos pérdidas de pulpa de yuca, y que puede ser una alternativa de pelado de yuca más efectiva y eficiente al implementarlo en un proceso industrial.

Neutralización.

Las raíces de yuca tienen un pH de aproximadamente 6, las cuales al ser expuestas a la solución cáustica con el propósito de remover la cáscara, quedan con residuos de esta solución en la superficie. Este pelado se efectúa con hidróxido de sodio el cual es una sustancia química de carácter básico altamente corrosiva, que actúa sobre la cáscara, desintegrándola. Después de sumergir las raíces en esta solución y removerle la cascara, estas quedan con pH mayor de 12. El enjuague con agua solo elimina parte de esa solución cáustica; pero no produce una reducción del pH básico. Las raíces al quedar con solución cáustica en la superficie, continúan desintegrándose. Para retornar el pH de la yuca a su pH original se evaluaron varias concentraciones de ácido cítrico y tiempo de inmersión. La tabla 4 resume los resultados obtenidos en cada tratamiento experimental.

Tabla 4. Resumen de Resultados de pH, para determinar condiciones de neutralización.

<i>Tiempo (min)</i>	<i>1% Ácido Cítrico</i>	<i>2% Ácido Cítrico</i>	<i>3% Ácido Cítrico</i>
35	11.35 ± 0.28	9.38 ± 0.23	6.98 ± 0.35
45	11.15 ± 0.21	9.12 ± 0.42	6.53 ± 0.18
60	10.71 ± 0.26	8.19 ± 0.15	5.64 ± 0.19

pH Control 6.00 ± 0.30

Al realizar un análisis estadístico al proceso de neutralización se observó que las variables tiempo de inmersión y concentración de ácido cítrico son significativas en la disminución del pH de la yuca. El análisis estadístico se reporta en el apéndice (c).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico de la tabla de estos experimentos se observó que el tiempo de inmersión adecuado era de 60 minutos y a una concentración de ácido cítrico al 3% p/v como se muestra en la Figura 20.

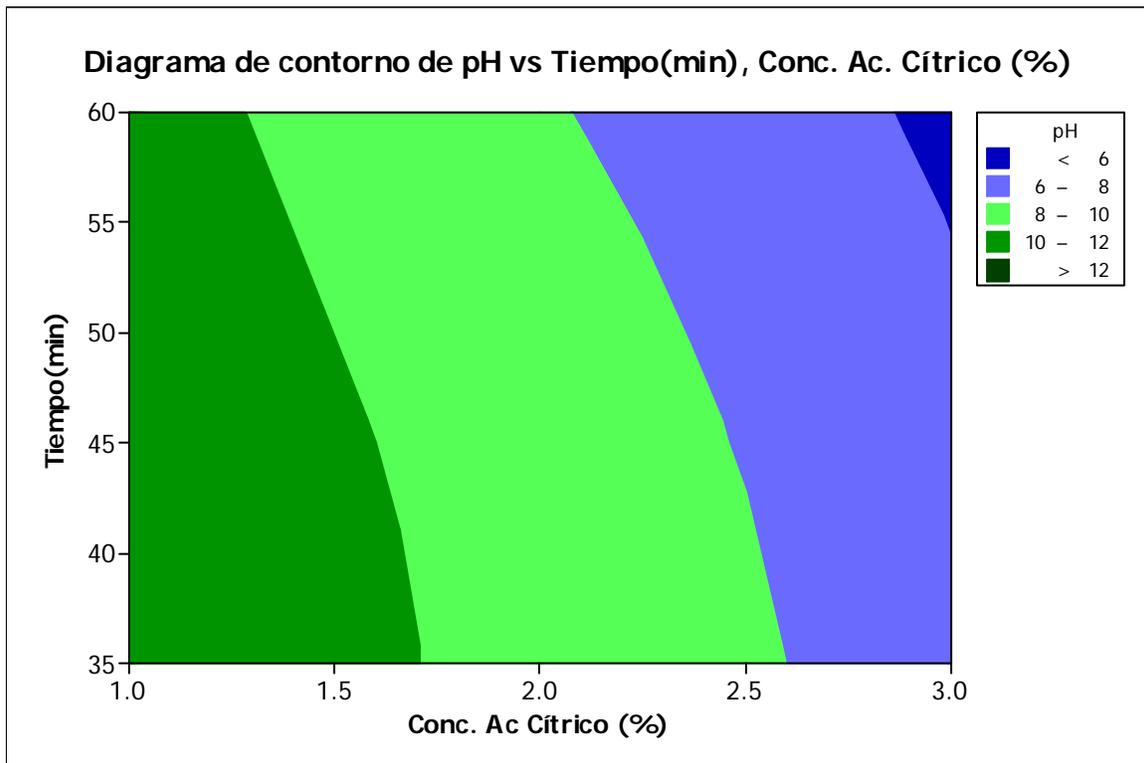


Figura 20. Diagrama de Contorno de pH vs tiempo y concentración de ácido Cítrico

Para corroborar estos resultados se realizó un análisis estadístico LSD (diferencias mínimas significativas), para una concentración del 3% p/v de ácido cítrico versus el tiempo de inmersión, donde el nivel 4 (control) y el nivel 3 (tiempo de inmersión de 60 minutos) mostraron similitud. Ver apéndice (d).

Tomando en consideración estos resultados todas las muestras tratadas con solución cáustica del 20 % p/v de NaOH fueron neutralizadas empleando una concentración de ácido cítrico 3% p/v y un tiempo de inmersión 60 minutos, con el que se logró ajustar el pH de la superficie de yuca a su pH original que es aproximadamente 6.0.

3.2 Almacenamiento.

El almacenamiento de la yuca consistió en guardar las muestras bajo condiciones específicas y controladas, por un periodo de tiempo determinado, para conservar sus propiedades organolépticas. En este estudio se consideraron raíces de yuca peladas manualmente y raíces con el tratamiento de pelado cáustico en (solución de hidróxido de sodio en ebullición a una concentración de 20% p/v, un tiempo de inmersión de 8 minutos) y posteriormente neutralizadas con ácido cítrico al 3% p/v y un tiempo de inmersión de 60 minutos. Las muestras fueron almacenadas en una nevera a temperatura de refrigeración (0 – 2 °C) o en un congelador a temperatura de congelación (-18°C). El tiempo de almacenamiento evaluado fue de 0, 7, 14, 28 y 56 días a temperatura de refrigeración y 0, 14, 28, 56 y 112 días a temperatura de congelación.

3.2.1 Análisis Enzimático.

Los análisis enzimáticos desarrollados en este estudio estuvieron fundamentados en la determinación de la cantidad de enzimas activas de peroxidasa y polifenoloxidasa en unidades de enzima sobre mililitros de enzima.

En la Tabla 5 se presentan los datos preliminares del análisis enzimático para temperaturas de refrigeración y congelación. De la Tabla 5, es destacable que todos los valores de unidad de enzima extraído de las muestras peladas con solución cáustica son inferiores a las unidades de enzimas extraídas de las muestras control que no fueron

expuestas al proceso de pelado cáustico. Esto sugiere que el tratamiento térmico provocado por el proceso logró inactivar las enzimas polifenoloxidas y peroxidasa. Para las muestras almacenadas a temperatura de refrigeración, por un periodo de tiempo de 28 días, se observa un incremento en la actividad enzimática, esto sugiere que existe un potencial de regeneración en las enzimas presentes en las raíces tratadas con solución cáustica y luego almacenarlas a temperatura de refrigeración.

Tabla 5. Datos Preliminares del análisis enzimático para refrigeración (a) y congelación (b)

a) Muestra	<i>Peroxidasa</i>		<i>Polifenoloxidasa</i>	
	Abs/seg	Unid/ml de Extracto.	Abs/min	Unid/ml de Extracto.
Control día 0	0.0060	0.0044	0.0103	0.0069
Día 0	0.0004	0.0002	0.0004	0.0003
Día 7	0.0008	0.0005	0.0000	0.0000
Día 14	0.0001	0.0000	0.0030	0.0020
Día 28	0.0020	0.0014	0.0077	0.0052
Día 56	0.0010	0.0007	0.0006	0.0004
Control día 56	0.0045	0.0033	0.0035	0.0023

b) Muestra	Peroxidasa		Polifenoloxidasa	
	Abs/seg	Unid/ml de Extracto.	Abs/min	Unid/ml de Extracto.
Control día 0	0.0060	0.004	0.0103	0.0069
Día 0	0.0004	0.000	0.0002	0.0001
Día 14	0.0042	0.003	0.0000	0.0000
Día 28	0.0010	0.001	0.0002	0.0001
Día 56	0.0030	0.002	0.0002	0.0001
Día 112	0.0002	0.000	0.0002	0.0001
Control día 112	0.0076	0.005	0.0151	0.0101

3.2.1.1 Ensayo Peroxidasa.

El análisis estadístico del ensayo de peroxidasa (apéndice (e)) no genera diferencias significativas debido a los distintos tiempos y métodos de almacenamiento a los que fueron expuestas las muestras. Esto era de esperarse ya que al observar los datos preliminares (tabla 5), sugieren que la enzima fue inactivada al ser sometida a los tratamientos térmicos del proceso de pelado.

En base a esto, se realizó un análisis para determinar si existe diferencia entre el control y los tratamientos. Puesto que no se encontró diferencia entre los tratamientos, para este análisis se tomaron todos los datos (sin discriminación por tratamiento).

Los resultados de este análisis aparecen en el apéndice (f). Aquí se observa que el tratamiento térmico del proceso de pelado fue eficaz en inactivar las enzimas.

Esto era de esperarse ya que al observar los datos y compararlos con los de la raíz de yuca pelada manual (tabla 11), se aprecia que la enzima fue inactivada al ser sometida a una temperatura de 105 °C por 8 minutos de inmersión en una solución cáustica al 20% p/v de hidróxido de sodio.

3.2.1.2 Ensayo Polifenoloxidasas.

En el análisis estadístico realizado del ensayo de polifenoloxidasas (Apéndice (g)) se observa que las muestras almacenadas a temperaturas de congelación y de refrigeración, no tuvieron diferencias significativas, por lo que la actividad de la enzima de polifenoloxidasas no se ve afectada por el tiempo y los métodos de almacenamiento.

Los resultados del análisis estadístico para la polifenoloxidasas aparecen en el apéndice (h), que al igual que para el análisis de la peroxidasa se realizó un análisis para

determinar si existe diferencia entre el control y los tratamientos. Puesto que no se encontró diferencia entre los tratamientos, para este análisis se tomaron todos los datos (sin discriminación por tratamiento). Aquí se observa que el tratamiento térmico del proceso de pelado fue eficaz en inactivar las enzimas.

En los resultados de análisis enzimático que se obtuvo, las muestras control (sin tratamiento de pelado cáustico a altas temperaturas) almacenadas en los días 0, 56 y 112 por los métodos de almacenamiento de congelación y refrigeración, presentan una cantidad de enzimas de polifenoloxidasas y peroxidasas superior a las muestras tratadas con solución cáustica (20 %p/v), estos resultados sugieren que las enzimas fueron desactivadas a consecuencia de las altas temperaturas del proceso.

Previos estudios han reportado que el incrementar las temperaturas a niveles superiores de 83°C, desactivan las enzimas que producen el pardeamiento enzimático en tubérculos. (Walter y Giesbrecht, 1982).

3.2.2 Cambios en Color

En la tabla 6, encontramos el resumen de los resultados de color de la raíz de yuca pelada con solución cáustica y las raíces peladas manualmente (control) en la escala L, “b” y “a” arrojados por el colorímetro.

En el análisis estadístico del color en la escala L (blanco a negro) se observa que el efecto del tiempo de almacenamiento (días) es significativo, mientras que el método de almacenamiento (refrigeración y congelación) no afecta la respuesta de esta escala. Ver Apéndice (i).

Tabla 6 Resumen de resultados del colorímetro para muestras refrigeradas y congeladas.

Refrigeración	L	a	b
Control día 0	84.28 ^c	0.83 ^b	12.38 ^b
Día 0	74.13 ^a	0.60 ^a	24.74 ^a
Día 7	78.63 ^{ab}	0.46 ^a	22.98 ^a
Día 14	80.31 ^b	1.01 ^a	18.93 ^a
Día 28	74.69 ^{ab}	1.14 ^a	24.04 ^a
Día 56	80.88 ^{ab}	0.76 ^a	21.00 ^a
Control día 56	90.96 ^c	-0.03 ^b	10.41 ^b

Valores con el mismo superscrito en cada columna no son significativamente diferentes.

Congelación	L	a	b
Control día 0	84.28 ^c	0.83 ^b	12.38 ^b
Día 0	74.13 ^a	0.60 ^a	24.74 ^a
Día 14	78.67 ^b	1.83 ^a	23.43 ^a
Día 28	75.29 ^{ab}	0.62 ^a	22.80 ^a
Día 56	75.95 ^{ab}	0.14 ^a	24.24 ^a
Día 112	75.00 ^{ab}	0.66 ^a	21.12 ^a
Control día 56	91.72 ^c	0.16 ^a	11.16 ^b
Control día 112	86.89 ^c	-0.32 ^b	11.26 ^b

Valores con el mismo superscrito en cada columna no son significativamente diferentes

Para saber cuáles son los días diferentes en esta escala L se realizó un análisis estadístico LSD (Apéndice (j)), donde se observa que solo se encuentran diferencias significativas entre los días 0 y 14. Estos cambios en L, aunque estadísticamente significativos, no presentan una tendencia lógica que puede ser atribuida a procesos fisiológicos o microbiológicos. Se asume, por tanto, que dichos cambios son debidos a la variabilidad entre muestras, error de medición y error experimental.

Para la escala “a” (rojo a verde), el análisis estadístico mostró que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis de no diferencias para el factor días. Por otro lado, el método de almacenamiento no afectada la escala de color a. Ver Apéndice (k).

Para explorar aún más los resultados obtenidos, realizamos un LSD para el factor días de almacenamiento (ver Apéndice (l)). El análisis presenta que la variabilidad por día es tal

que no es posible determinar diferencia entre los niveles del factor días. Por tanto, se concluye que los tratamientos no afectan el color rojo (a) en las muestras.

Al analizar los datos del parámetro b (Apéndice (m)) se observa que los resultados para el factor días es marginal. Para entender mejor el efecto de este factor es necesario realizar una prueba LSD.

El análisis estadístico LSD para el factor días (ver apéndice (n)), demuestra que no existen diferencias significativas en esta escala (color amarillo) para los días 0, 7, 14, 28, 56 y 112. Por lo que se puede decir que, el factor días no afecta la escala “b”.

Inmediatamente después de ser tratadas, el color de las raíces de yuca que recibieron pelado cáustico se diferencian notablemente de las yucas control (no tratadas). El tratamiento de pelado cáustico a altas temperaturas (95 a 105 °C) generó en las raíces un color amarillo. Tal como se observó anteriormente, el análisis enzimático demuestra que las enzimas se desactivaron durante el proceso de pelado cáustico. Esto es contrario a lo reportado por Walter and Giesbrecht (1982) quien adjudica el pardeamiento observado a la actividad enzimática.

En nuestra investigación el pardeamiento es atribuible a un pardeamiento no producido por enzimas, se sugiere que el pardeamiento observado es generado por el desarrollo de la reacción de Maillard. Esta reacción ocurre entre azúcares reductores y proteínas al calentar los alimentos. En la composición de la yuca se encuentran azúcares reductoras (2.14%) y proteínas (1.2% base húmeda) que pueden genera el cambio en color después del tratamiento (Quiñonez et al., 2007). Las condiciones que promueven la reacciones de Maillards ocurren generalmente: en medios alcalinos, niveles de humedad superior al 12% y altas temperaturas, condiciones similares a las del proceso de pelado cáustico.

El pardeamiento no enzimático se diferencia del enzimático, debido a que este aparece en el procesamiento de los alimentos donde se les aplica calor, y el pardeamiento enzimático se produce generalmente en frutas y hortalizas recién cortadas y a temperatura ambiente (Izydorczyk, 2005)

Los pigmentos generados por la reacción de Maillard son irreversibles. No obstante, pareció disminuir luego de la neutralización y desaparecer durante la cocción.

3.2.3 Cambios en Textura

En el análisis de textura las medidas realizadas fueron en unidades de kilogramos fuerza (kg-f). En los resultados (tabla 7) se observó que no hubo diferencias significativas en la dureza debido al efecto del método de almacenamiento (Congelación y Refrigeración). Por otro lado, la dureza de las muestras tuvo diferencias significativas por el tratamiento al que fueron expuestas las raíces y por el tiempo de almacenamiento de las raíces (ver apéndice (o)). El análisis estadístico de diferencias mínimas significativas (apéndice (p)), corroboró que hay diferencias entre los días de almacenamiento.

Tabla 7 Resumen de resultados de dureza

Almacenamiento	Congelación	Refrigeración
Control Día 0	10.33	10.33
Día 0	8.54	8.54
Día 7	-----	6.33
Día 14	6.1	6.75
Día 28	5.08	3.82
Día 56	5.21	3.33
Día 112	6.36	-----
Control Día 56	7.1	9.5
Control Día 112	8.33	-----

La dureza de las muestras de yuca peladas manualmente disminuye siguiendo un patrón similar, tanto en las muestras tratadas como las no tratadas con solución cáustica, pero las muestras no tratadas conservaron niveles más altos de dureza. Se presume que esta diferencia es debido a que ésta no fue expuesta a tratamientos de altas temperatura que generan ablandamiento en los alimentos. Por otro lado, los alimentos pueden sufrir daños por almacenamiento en refrigeración o congelación, que se manifiestan de diversas formas, tales como la pérdida de agua y ruptura de tejido (Barreiro y Sandoval, 2000).

Los cambios en textura que mostraron las muestras almacenadas en temperatura de refrigeración y congelación no se pueden adjudicar a las condiciones de almacenamiento.

3.5 El análisis Sensorial.

Las muestras de yucas empleadas en el panel sensorial fueron peladas en una solución cáustica con 20% p/v de concentración de NaOH en ebullición y un tiempo de inmersión de 8 minutos. Posteriormente, las muestras fueron neutralizadas en ácido cítrico 3% p/v por 60 minutos. El panel sensorial se centró en determinar si el consumidor identificaba la muestra diferente de entre tres opciones. Los resultados del panel sensorial mostraron que un 75% de los panelistas lograron identificar diferencias entre una muestra pelada con solución cáustica y una pelada manualmente.

En base a estos resultados se concluye que existe diferencia significativa en la experiencia sensorial entre el tratamiento seleccionado y el control. Entre los comentarios reportados y descritos, los panelistas observaron que las muestras peladas a mano y cocidas, tenían un sabor más salado que las muestras que fueron peladas con solución

cáustica y luego cocida. Otros comentarios mencionaban cambios en sabor, textura y olor entre las muestras evaluadas de yuca después de ser hervidas.

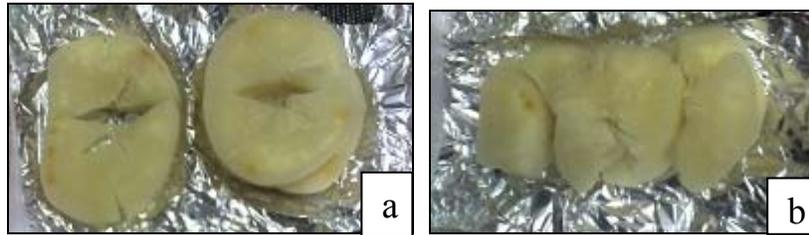


Figura 21. a) Yuca Cocida con tratamiento, b) Yuca Cocida sin tratamiento

Según mencionado anteriormente, las raíces de yuca sometidas a un tratamiento de pelado cáustico experimentan un cambio de color (de blanco a amarillo claro). Los datos de color evidencian que durante el almacenamiento, las raíces no experimentan cambios significativos en color. No obstante, las raíces que fueron seleccionadas para el panel sensorial fueron hervidas y, al parecer, esta cocción favoreció al cambio de color de las raíces tratadas quedando con un color similar a las raíces peladas manualmente. Es decir que al cocinar las yucas peladas con solución cáustica, el color amarillo claro parece desaparecer, quedando del mismo color que la yuca pelada manualmente.

Se plantea la hipótesis de que el proceso de cocción genera las condiciones que promueven la degradación de los compuestos de color y que permite que las muestras de yucas peladas con la solución cáustica retomen el color blanco característico. (Ver Figura 21). De hecho, ninguno de los panelistas incluyó comentarios relacionados a diferencias obvias en el color de las muestras evaluadas, sus comentarios eran dirigidos al sabor y textura de las muestras.

4 CONCLUSIONES

El estudio llevado a cabo en esta investigación se fundamentó en la estandarización de un proceso de pelado cáustico de yuca, del cual, hasta el momento, no se ha encontrado ningún reporte previo en la literatura. Esta investigación fue desarrollada en 3 etapas definidas como: Pelado Cáustico, Neutralización y Almacenamiento. En la primera etapa, se analizó como el pelado cáustico afectó la pérdida en peso por el efecto de las variables: concentración, tiempo de inmersión y temperatura. Los experimentos desarrollados dieron como resultado que los parámetros óptimos fueron 8 minutos en tiempo inmersión y 20% en concentración peso/volumen. El diseño de experimento mostró que las variables significativas en el proceso de pelado cáustico de yuca son concentración y tiempo de inmersión, mientras que la temperatura no es un factor crítico en el proceso.

En la segunda etapa, las raíces expuestas al tratamiento de pelado cáustico del 20 %p/v de NaOH fueron neutralizadas con una solución de ácido cítrico al 3% durante 60 minutos de inmersión, para que retornara a su pH original. Las muestras neutralizadas con una solución de ácido cítrico inferiores a 3% p/v, y con tiempos de inmersión menores a 60 minutos no lograron bajar el pH de las raíces tratadas a su pH original. En las yucas neutralizadas con solución de ácido cítrico al 3% durante 60 minutos de inmersión no se presentaron variaciones en el pH durante el tiempo de almacenamiento, esto demostró que el procedimiento de neutralización seleccionado fue adecuado.

En la tercera etapa, se evaluó el almacenamiento para tiempos de 0, 7, 14, 28 y 56 días a temperaturas de refrigeración y 0, 14, 28, 56 y 112 días para temperaturas de congelación observando cómo se afectaba la dureza y el cambio en color de yuca. Los estudios

realizados mostraron que existen diferencias significativas en la textura de las muestras de yuca por el tiempo de almacenamiento y el tratamiento de pelado cáustico. El método de almacenamiento no genera diferencias significativas en la textura. Las raíces luego del pelado con la solución cáustica de hidróxido de sodio se tornaron a un color amarillo claro. Puesto que los análisis de actividad enzimática sugieren que hubo inactivación el pardeamiento debe ser no producido por enzimas. Se sugiere que el pardeamiento observado resulta de la reacción de Maillard ya que esta reacción ocurre generalmente en medios alcalinos, niveles de humedad superior al 12% y altas temperaturas. Además, requiere la presencia de azúcares reductoras y proteínas. Todos estos factores estaban presentes durante el pelado cáustico de la yuca.

En el panel sensorial los panelistas lograron identificar la diferencia entre una muestra pelada con la solución cáustica y las muestras no tratadas. Los panelistas no comentaron sobre diferencias de color, entre las yucas peladas con solución cáustica y las no tratadas, aunque hicieron comentarios relacionados al sabor y textura de las muestras.

Este trabajo de investigación permite determinar condiciones de operación de importancia en el diseño e implementación de un proceso industrial de pelado cáustico de yuca en continuo.

REFERENCIAS

- Adetan, D., L. Adekoya. (2006) "Theory of a mechanical method of peeling cassava tubers with knives." Volume, DOI:
- Ashie, I. N. A. y B. K. Simpson (1996). "Application of high hydrostatic pressure to control enzyme related fresh seafood texture deterioration." Food Res. Inter **29**: 569-575.
- Badui Dergal, S. (1986). Química de los Alimentos. Alhambra, México, D.F.
- Boneta Montalvo, D. Determinación del oscurecimiento en cuatro variedades de name (Dioscorea sp.) bajo condiciones de almacenamiento y tratamiento post-cosecha. 1999.
- Bough, W. A. y A. F. Badenhop (1974). "A Comparison of Roasting vs Lye Peeling of Pimientos for Generation of Wates and Quality of Canned Products." Journal of Food Science **39**(6): 1107-1109.
- Cambón, Carmen; Martín, Marisol y Rodríguez, Eduardo (2004). Seminario "Ciencia con buen gusto" Físico-Química de la cocina.
- Cancel, L. E., J. Rivera-Ortiz. (1971). "Lye Peeling of Citron (Citrus medical L.)." Journal of Agriculture of University of Puerto Rico: 154-161.
- Ceballos, H. (2002). La Yuca en Colombia y el Mundo: Nuevas Perspectivas para un Cultivo Milenario. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de Producción Procesamiento, Utilización y Comercialización. B. C. Ospina, Hernan, CIAT. **1**.

- Ceballos, H y G. A. De la Cruz (2002). Taxonomía y Morfología de la Yuca. Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. B. C. Ospina, H. Cali, Colombia: 586.
- Das, D. J. y S. A. Barringer (2006). "Potassium Hydroxide Replacement for Lye (Sodium Hydroxide) in Tomato Peeling " Journal of Food Processing & Preservation **30**(1): 15-19.
- FAO (2000). Food and Agriculture Organization. Defensa de la causa de la yuca.
- FAO (2007). Food and Agriculture Organization. Yuca para la seguridad alimentaria y energética
- FDA. 1988a. Sulfiting agents in standardized foods: Labeling requirements. Food and Drug Admin., Fed Reg. 53: 51062-51084.
- FDA. 1988b. Sulfiting agents: Affirmation of GRAS status. Food and Drug Admin., Fed Reg. 53: 51065-51084.
- Fellows, P.J. 1996. Food Processing Technology: Principles and Practices. 1^{ra} edition, Woodhead Publishing, Ltd.
- Fennema, O. R. (1975a). Preservation of food by storage at chilling temperatures. Physical Principles of Food Preservation. M. Dekker. New York: 133-171.
- Fennema, O. R. (1975b). Activity of enzymes in partially frozen aqueous systems. Water Relations of Foods. R. B. Duckworth. New York, Academic Press: 397-413.
- Floros, J. D., H. Y. Wetzstein. (1987). "Chemical (NaOH) Peeling as Viewed by Scanning Electron Microscopy: Pimiento Peppers as a Case Study." Journal of Food Science **52**(5): 1312-1316.

- Garcia, E. y D. M. Barrett (2006). "Peelability and Yield of Processing Tomatoes by Steam or Lye." Journal of Food Processing & Preservation **30**(1): 3-14.
- Gurbuz, G. y C. Y. Lee (1997). "Color of Minimally Processed Potatoes as Affected by Modified Atmosphere Packaging and Antibrowning Agents." Journal of Food Science **62**(3): 572-575.
- Knodel, L.C. 1997. Current Issues in Drug Toxicity; Potential health hazards of sulfites. Toxic Subst. Mech. 16(3): 309-311.
- Lester, M.R. 1995. Sulfite sensitivity: Significance in human health. J. Am. Coll. Nutr. 14(3): 229-232.
- Marshall, Maurice R., Kim, Jeongmok y Cheng-I Wei . Enzymatic Browning in Fruits, Vegetables and Seafoods. FAO,2000 (Food and Agriculture Organization).
- McFarland, D. M. and W. J. Thomson (1972). "Rate Limiting Mechanisms in Caustic Potato Peeling." Journal of Food Science **37**(5): 754-759.
- Montagnac, Julie A.; Davis, Christopher R. y Tanumihardjo, Sherry A. (2008). Processing Techniques to Reduce Toxicity and Antinutrients of Cassava for Use as a Staple Food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety Vol. 8.
- Montaldo, Alvaro y Gunz, Tomás (1985). La Yuca o mandioca. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, J J Montilla, S P Alemán
- Neumann, H. J., W. G. Schultz.(1978). "Peeling Aids and their Application to Caustic Peeling of Tomatoes." Journal of Food Science **43**(5): 1626-1627.

- Oluwole, O. S. A., A. O. Onabolu (2007). "Characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties in Nigeria and Tanzania, and farmers' perception of toxicity of cassava." Journal of Food Composition and Analysis **20**(7): 559-567.
- Ospina, B., M. García (2002). Sistemas Mecanizados de Siembra y Cosecha para el Cultivo de la Yuca U. y. C. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de Producción Procesamiento. Cali, Colombia, CIAT.
- Quiñónez, Rafael; González, Carlos; Polanco, Delia; Perdomo, Brunilda y Araque, Humberto (2007). Evaluación de diferentes tipos de deshidratación de raíz y follaje de yuca amarga (*Manihot esculenta*) sobre su composición química. Zootecnia Tropical 25(1):37-41
- Ramos-torres, B. Prevencion del ennegrecimiento poscosecha en la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) 2001
- Richardson, T. y D. B. Hyslop (1985). Enzymes. Food Chemistry. New York, Marcel Dekker: 371-476.
- Sánchez Nieva, F. y I. Hernández (1976). "Lye Peeling of Taniers (*Xanthosoma* spp)." Journal of Agriculture of University of Puerto Rico: 345-353.
- Sánchez, T. y A. Lisímaco (2002). Conservación y Acondicionamiento de las Raíces Frescas. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de Producción Procesamiento, Utilización y Comercialización, CIAT: 503-526.
- Sapers, G. M. y R. L. Miller (1993). "Control of Enzymatic Browning in Pre-peeled Potatoes by Surface Digestion." Journal of Food Science **58**(5): 1076-1078.
- Sapers, G.M. 1993. Browning of foods: control by sulfites, antioxidants, and other means. Food Technol. 47(10): 75-84

- Segel, I. H. (1976). Biochemical calculations. New York, John Wiley and Sons.
- Steele, W. y G. M. Sammy (1976). "The processing potentials of yams (*Dioscorea* spp.):
I. Laboratory studies on lye peeling of yams." Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico **60**(2): 207-214.
- Rakotomalala, Muriel (2007). Kitchen Chemistry. University of Bristol
- Tappel, A. L. (1966). Effects of low temperatures and freezing on enzymes and enzyme systems. New York, Academic Press.
- Walter Jr, W. M. and F. G. Giesbrecht (1982). "Effect of Lye Peeling Conditions on Phenolic Destruction, Starch Hydrolysis, and Carotene Loss in Sweet Potatoes." Journal of Food Science **47**(3): 810-812.
- Walter Jr, W. M. y W. E. Schadel (1982). "Effect of Lye Peeling Conditions on Sweet Potato Tissue." Journal of Food Science **47**(3): 813-817.
- Weaver, M., C. Huxsoll (1981). "Double-dip caustic peeling of potatoes II: Studies on commercialization." American Journal of Potato Research **58**(7): 355-364.

APÉNDICES

Apéndice (a). Tabla Resultado del análisis estadístico Pelado Cáustico.

General Linear Model: Perdidas % versus Concentración, Temperatura, Tiempo.						
Factor	Type	Levels	Values			
Concentración	fixed	3	10, 15, 20			
Temperatura	fixed	3	95, 100, 105			
Tiempo	fixed	5	2.0, 3.5, 5.0, 6.5, 8.0			
Analysis of Variance for Perdidas%, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Concentración	2	544.34	496.95	248.48	15.33	0.000
Temperatura	2	42.39	19.25	9.62	0.59	0.559
Tiempo	4	706.29	706.29	176.57	10.89	0.000
Error	27	437.68	437.68	16.21		
Total	35	1730.70				
S = 4.02623 R-Sq = 74.71%						

Apéndice (b) Tabla Resultado del análisis estadístico de Pelado Cáustico con la interacción entre la concentración y el tiempo.

General Linear Model: Perdidas % versus Concentración, Tiempo						
Factor	Type	Levels	Values			
Concentracion	fixed	3	10, 15, 20			
Tiempo	fixed	5	2.0, 3.5, 5.0, 6.5, 8.0			
Analysis of Variance for Perdidas %, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Concentración	2	544.34	495.98	247.99	23.39	0.000
Tiempo	4	729.44	758.69	189.67	17.89	0.000
Concentración*Tiempo	8	234.27	234.27	29.28	2.76	0.030
Error	21	222.66	222.66	10.60		
Total	35	1730.70				
S = 3.25621 R-Sq = 90.13%						

Apéndice (c). Tabla Análisis Estadístico de Resultados de Neutralización

General Linear Model: pH versus Conc. Ac Cítrico %, Tiempo (min)						
Factor	Type	Levels	Values			
Conc. Ac %	fixed	3	1, 2, 3			
Tiempo(min)	fixed	3	35, 45, 60			
Analysis of Variance for pH, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Conc. Ac %	2	33.0051	33.0051	16.5025	436.38	0.000
Tiempo (min)	2	1.7761	1.7761	0.8880	23.48	0.006
Error	4	0.1513	0.1513	0.0378		
Total	8	34.9324				

Apéndice (d) Tabla Análisis Estadístico pH versus tiempo de inmersión

One-way ANOVA: pH versus tiempo de inmersión					
Source	DF	SS	MS	F	P
Metodo	3	2.9784	0.9928	14.24	0.001
Error	8	0.5579	0.0697		
Total	11	3.5363			

S = 0.2641 R-Sq = 84.22% R-Sq(adj) = 78.31%

Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-+-----+-----+-----+-----			
1	3	6.9800	0.3477			(-----*-----)	
2	3	6.5367	0.1815			(-----*-----)	
3	3	5.6800	0.1873	(-----*-----)			
4	3	6.0000	0.3000	(-----*-----)			
				-+-----+-----+-----+-----			
				5.40	6.00	6.60	7.20

Apéndice (e) Tabla Análisis Estadístico, Peroxidasa versus Días, Almacenamiento

General Linear Model: Peroxidasa versus Días, Almacenamiento						
Factor	Type	Levels	Values			
Días	fixed	6	0, 7, 14, 28, 56, 112			
Almacenamiento	fixed	2	R, C			
Analysis of Variance for Peroxidasa, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Días	5	0.0000039	0.0000044	0.0000009	0.59	0.719
Almacenamiento	1	0.0000008	0.0000008	0.0000008	0.52	0.523
Error	3	0.0000045	0.0000045	0.0000015		
Total	9	0.0000092				

Apéndice (f) Tabla Análisis Estadístico, Peroxidasa versus Tratamiento

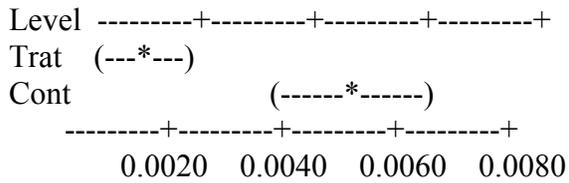
One-way ANOVA: Peroxidasa versus Tratamiento

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamiento	1	0.0000578	0.0000578	45.37	0.000
Error	11	0.0000140	0.0000013		
Total	12	0.0000718			

S = 0.001128 R-Sq = 80.48% R-Sq(adj) = 78.71%

Level	N	Mean	StDev
Trat	10	0.001030	0.001011
Cont	3	0.006033	0.001550

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.001128

Apéndice (g) Tabla Resultado del Análisis Estadístico Ensayo de Polifenoloxidasa

General Linear Model: Polifenoloxidasa versus Días, Almacenamiento						
Factor	Type	Levels	Values			
Días	fixed	6	0, 7, 14, 28, 56, 112			
Almacenamiento	fixed	2	1, 2			
Analysis of Variance for Polifenoloxidasa, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Días	5	0.0000094	0.0000110	0.0000022	0.84	0.599
Almacenamiento	1	0.0000072	0.0000072	0.0000072	2.76	0.195
Error	3	0.0000078	0.0000078	0.0000026		
Total	9	0.0000244				

Apéndice (h) Tabla Análisis Estadístico Polifenoloxidasa versus Tratamiento

One-way ANOVA: Polifenoloxidasa versus tratamiento

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamiento	1	0.0001622	0.0001622	14.71	0.003
Error	11	0.0001213	0.0000110		
Total	12	0.0002835			

S = 0.003321 R-Sq = 57.21% R-Sq(adj) = 53.32%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI
1	10	0.001250	0.002435	(-----*-----)
3	3	0.009633	0.005829	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
 0.0000 0.0040 0.0080 0.0120

Pooled StDev = 0.003321

Apéndice (i) Tabla Resultados del análisis estadístico del color en la escala “L”

General Linear Model: L versus Almacenamiento, Días						
Factor	Type	Levels	Values			
Almacenamiento	fixed	2	C, R			
Días	fixed	6	0, 7, 14, 28, 56, 112			
Analysis of Variance for L, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Almacenamiento	1	27.558	13.301	13.301	2.38	0.136
Días	5	126.864	126.864	25.373	4.54	0.005
Error	23	128.469	128.469	5.586		
Total	29	282.891				

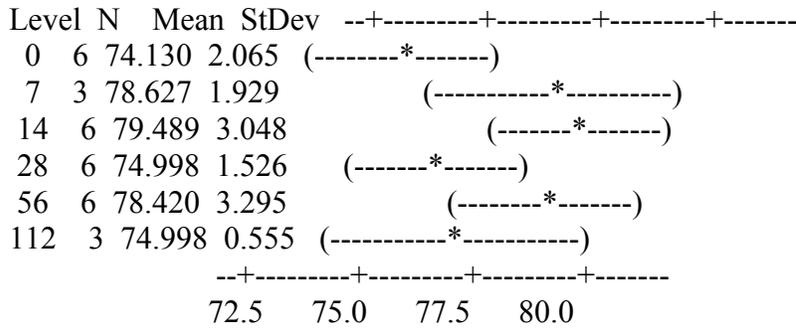
Apéndice (j) Tabla para la escala L versus Días

One-way ANOVA: Escala "L" versus Días

Source	DF	SS	MS	F	P
Días	5	141.12	28.22	4.78	0.004
Error	24	141.77	5.91		
Total	29	282.89			

S = 2.430 R-Sq = 49.89% R-Sq(adj) = 39.44%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 2.430

Apéndice (k) Tabla Resultados del análisis estadístico del color en la escala “a”

General Linear Model: a versus Almacenamiento, Días							
Factor	Type	Levels	Values				
Almacenamiento	fixed	2	C, R				
Días	fixed	6	0, 7, 14, 28, 56, 112				
Analysis of Variance for a, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Almacenamiento	1	0.0044	0.0384	0.0384	0.12	0.732	
Días	5	3.7303	3.7303	0.7461	2.33	0.075	
Error	23	7.3624	7.3624	0.3201			
Total	29	11.0970					

Apéndice (I) Tabla para la escala "a" versus Días

One-way ANOVA: escala "a" versus Días

Source	DF	SS	MS	F	P
Días	5	3.696	0.739	2.40	0.067
Error	24	7.401	0.308		
Total	29	11.097			

S = 0.5553 R-Sq = 33.31% R-Sq(adj) = 19.41%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI
0	6	0.6056	0.2628	(-----*-----)
7	3	0.4650	0.5431	(-----*-----)
14	6	1.4228	0.6236	(-----*-----)
28	6	0.8817	0.8091	(-----*-----)
56	6	0.4544	0.4310	(-----*-----)
112	3	0.6644	0.3994	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
0.00 0.60 1.20 1.80

Pooled StDev = 0.5553

Apéndice (m) Tabla Resultados del análisis estadístico del color en la escala “b”

General Linear Model: b versus Almacenamiento, Días							
Factor	Type	Levels	Values				
Almacenamiento	fixed	2	C, R				
Días	fixed	6	0, 7, 14, 28, 56, 112				
Analysis of Variance for b, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Almacenamiento	1	6.465	15.871	15.871	3.69	0.067	
Días	5	58.729	58.729	11.746	2.73	0.044	
Error	23	98.792	98.792	4.295			
Total	29	163.986					

Apéndice (n) Tabla para la escala "b" versus Días

One-way ANOVA: escala "b" versus Días

Source	DF	SS	MS	F	P
Días	5	49.32	9.86	2.06	0.105
Error	24	114.66	4.78		
Total	29	163.99			

S = 2.186 R-Sq = 30.08% R-Sq(adj) = 15.51%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----	
0	6	24.743	0.786	(-----*-----)	
7	3	22.984	2.695	(-----*-----)	
14	6	21.188	3.149	(-----*-----)	
28	6	23.422	2.015	(-----*-----)	
56	6	22.623	2.244	(-----*-----)	
112	3	21.121	0.995	(-----*-----)	
				-----+-----+-----+-----+-----	
		20.0	22.5	25.0	27.5

Pooled StDev = 2.186

Apéndice (o) Tabla Análisis Estadístico de Resultados de Textura

General Linear Model: Texturometro versus Tratamiento, Almacenamiento, Día						
Factor	Type	Levels	Values			
Tratamiento	fixed	2	control, tratada			
Almacenamiento	fixed	2	C, R			
Día	fixed	6	0, 7, 14, 28, 56, 112			
Analysis of Variance for Texturometro, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tratamiento	1	109.113	81.297	81.297	17.85	0.000
Almacenamiento	1	0.681	1.069	1.069	0.23	0.629
Día	5	182.926	182.926	36.585	8.03	0.000
Error	73	332.450	332.450	4.554		
Total	80	625.170				

Apéndice (p) Tabla de textura vs Días de Almacenamiento.

One-way ANOVA: pH Textura versus días de almacenamiento

Source	DF	SS	MS	F	P
Dia	5	181.09	36.22	7.05	0.000
Error	60	308.09	5.13		
Total	65	489.18			

S = 2.266 R-Sq = 37.02% R-Sq(adj) = 31.77%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----+-----	
0	18	8.544	3.404	(-----*-----)	
7	6	6.333	2.160	(-----*-----)	
14	12	6.458	1.912	(-----*-----)	
28	12	4.450	1.313	(-----*-----)	
56	12	4.275	1.407	(-----*-----)	
112	6	6.367	1.166	(-----*-----)	
				-----+-----+-----+-----+-----+-----	
		4.0	6.0	8.0	10.0

Pooled StDev = 2.266