

Efecto del tratamiento con microondas
e inhibidores en el oscurecimiento enzimático
y carotenoides de plátano macho
(*Musa paradisiaca* L.)

Ma. Covadonga Torre Marina

RESUMEN

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto del tratamiento térmico, aplicando microondas, y el uso de algunos inhibidores químicos, sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas del *plátano macho* (*Musa paradisiaca* L). Durante el desarrollo experimental se determinará el efecto *in vitro* mediante la cinética enzimática específica. La enzima se extraerá y purificará a partir de la pulpa. Con base en los resultados obtenidos, se seleccionarán las mejores condiciones de inhibición y se aplicarán directamente a las rebanadas de plátano macho simulando el tratamiento que se lleva a cabo a escala industrial. El plátano macho representa la principal fuente de energía en ciertas dietas de subsistencia. Es una buena fuente de potasio y de β -caroteno, una fuente respetable de fibra y de vitamina C. El β -caroteno, además de ser el carotenoide de mayor actividad vitamínica (consiste en dos moléculas de vitamina A), tiene propiedades antioxidantes, por ello es importante

extraerlo, cuantificarlo y evaluar el efecto que sobre él tienen el tratamiento térmico por microondas, la fritura y los diferentes inhibidores. Para este efecto se utilizará HPLC. La búsqueda de nuevas alternativas para evitar el pardeamiento del plátano macho, surge de la necesidad de sustituir los *sulfitos*. En 1985 se concluyó que son seguros para la mayoría de las personas, pero plantean un riesgo de severidad impredecible para personas asmáticas y para aquellas que son sensibles a estos conservadores. Cabe señalar que cualquier persona puede desarrollar sensibilidad a los sulfitos en cualquier etapa de su vida. Las respuestas fisiológicas provocadas por los sulfitos van desde problemas para respirar y erupciones, hasta paro respiratorio y cardíaco. Debido a que uno de los usos alternos de los excedentes de la producción de plátano macho son las hojuelas fritas y que éstas, comercializadas como botanas, son consumidas primordialmente por niños, se debe considerar como una limitante en el empleo de aditivos de acuerdo con las regulaciones establecidas conjuntamente por *FAO* y el *CODEX ALIMENTARIUS*.

Palabras clave: plátano macho, oscurecimiento enzimático, polifenoloxidasa, inhibidores, sulfitos

ABSTRACT

THE EFFECT OF MICROWAVE AND INHIBITOR TREATMENT IN THE ENZYMATIC DARKENING

AND CAROTENOIDS OF THE MACHO BANANA (*MUSA PARADISIACA L.*)

The object of this study is to evaluate the effect of heat treatment by microwaves and the use of some chemical inhibitors on the enzymatic activity of the poliphenoloxidase of plantain (*Musa paradisiaca L.*). During the experimental phase the IN VITRO effect will be determined through specific enzymatic kinetics. The enzyme will be extracted and purified from the pulp. Based on the obtained results the best inhibition conditions will be selected and will be applied directly to plantain slices simulating the industrial treatment. Plantain represents the principal source of energy in certain subsistence diets. It is a good source of potassium and β -carotene and a respectable source of fiber and vitamin C. β -carotene, apart from being the carotenoid of greater vitaminic activity (it consists of two molecules of vitamin A), has antioxidant properties; this is the reason why it is important to extract, quantify and evaluate the effect heat treatment by microwaves, frying and the use of inhibitors have on it. HPLC will be used for this effect. The search for new alternatives to avoid the browning of plantain arises from the need to substitute sulfites. In 1985, it was concluded that they were safe for most people, however they represent an unpredictable and severe risk for asthmatic people and for those who are sensitive to these preservatives. It must be said that any person may develop sulfite sensitivity at any stage of his life. The physiological response brought upon by sulfites may go from breathing difficulty

and rash, to breathing and heart failure. Since one of the alternative uses of the production plantain surplus, is as chips commercialized as snacks, they are consumed mainly by children; this must be considered as a limitation for the use of additives according to the joint established regulations of FAO and CODEX ALIMENTARIUS

INTRODUCCIÓN

A pesar del hecho de que la producción mundial de alimentos ha crecido más que la población, los problemas de pobreza y malnutrición entre los habitantes de muchos países en desarrollo persiste, resultando que en 1996 más de 800 millones de personas padecían de desnutrición crónica, según datos de la FAO. En América Latina, la mal-nutrición afecta al 34% de la población urbana y al 53% de la población rural, lo cual significa que en la región hay aproximadamente 64 millones de personas que sufren malnutrición (FAO, 1996).

En México, la desnutrición es la quinta causa nacional de mortalidad infantil. El 46% de los niños mexicanos sufre desnutrición, en los niños indígenas hasta un 73% (ENAL 1996).

Al ser la nutrición un conjunto complejo de fenómenos involucrados en la obtención, asimilación y utilización metabólica por cada una de las células del organismo de los nutrimentos necesarios para la vida, son muchos los

factores que influyen en el estado de nutrición de una persona: hábitos alimentarios, estado de salud, nivel socioeconómico y cultural, condiciones de saneamiento, estabilidad familiar, afectividad, religión, costumbres y disponibilidad de alimentos. Estos factores son, al mismo tiempo, causas y consecuencias de la desnutrición.

Debido a que la desnutrición ataca directamente la integridad del ser humano y le impide aprovechar oportunidades en cualquier campo, la ingestión calórica es uno de los indicadores de pobreza utilizado con mayor frecuencia. La *pobreza extrema* se define como la condición en la cual el consumo promedio de calorías al día es menor al 83% de lo recomendado (2,600 calorías según el INNSZ). La *pobreza moderada* es la imposibilidad limitada de la persona de satisfacer sus necesidades básicas, más del 83% del mínimo de calorías indispensables; pero menos de 100% de lo necesario (Vergara y Quintero, 1990).

Según el reporte anual del Banco Mundial publicado en 1996, el porcentaje de mexicanos que vivía en pobreza era del 85%. Las cifras que se manejan actualmente son: 40 millones de mexicanos que viven en pobreza, de los cuales 23 millones se encuentran incluidos en el rango de pobreza extrema.

La pobreza es más que la pobreza de ingreso; es la denegación de opciones y oportunidades para vivir una vida tolerable. La pobreza implica una problemática mayor a la de un bajo ingreso *per capita*, como: mala salud y educación, privación de conocimientos, incapacidad de ejercer

derechos humanos y políticos. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 1997)

En los países desarrollados, la orientación del trabajo de investigación en tecnología de alimentos se centra en tres grandes rubros: a) identificación del papel de ingestión diaria de alimentos sobre el balance energético, control de peso y obesidad; b) determinación de requerimientos nutrimentales durante las etapas críticas de la vida (infancia, juventud, embarazo, vejez, enfermedad); c) definición del papel de los nutrimentos y componentes de la dieta sobre la regulación genética.

Por otra parte, en los países en vías de desarrollo —como es el caso de México y la mayor parte de Latinoamérica—, un tópico de investigación de vital importancia es el que debe desarrollarse para resolver problemas serios de desnutrición. De esta manera, en estos últimos países, el papel del científico deberá seguir siendo importante para la búsqueda de alternativas en alimentos o combinaciones de éstos que ayuden a vencer el grave problema de la desnutrición.

El desequilibrio en la distribución de alimentos en el mundo, sin ser un área de responsabilidad directa de los científicos y tecnólogos de alimentos, deberá ser un elemento que dirija su trabajo para promover acciones políticas o económicas que ataquen de raíz ese problema. Ésta también es un área de oportunidad en México.

Los nuevos desarrollos tecnológicos deben orientarse principalmente para evitar la pérdida de nutrimentos

durante las etapas del procesamiento, almacenamiento y distribución. Ésta es, en gran medida, la razón del incremento en el trabajo de investigación, en el desarrollo de procesos de conservación no térmicos y en la aplicación de conceptos de la tecnología en los métodos combinados (Welti Chanes, J., 1998).

Muchos de los alimentos nunca se consumen debido a las pérdidas que ocurren en la cadena poscosecha. Las pérdidas en los países en desarrollo pueden ir desde un 15 hasta un 50% en hortalizas y de un 10 a un 20% en cereales. Estas pérdidas representan un desperdicio de trabajo, inversión, alimentos, y una disminución de oportunidades de empleo.

Uno de los retos para lograr la seguridad alimentaria es desarrollar mejores métodos de conservación de alimentos, que minimicen o prevengan las pérdidas por deterioro. La prevención de la pérdida poscosecha requiere de los esfuerzos concertados de tecnólogos, gobierno, organizaciones no gubernamentales y corporaciones internacionales (Onuma, Okezie, 1998).

Así, surge la necesidad de realizar la presente investigación sobre tratamientos alternativos en el procesamiento del plátano.

JUSTIFICACIÓN

La cantidad de plátano industrializada es muy pequeña, comparada con la destinada para el consumo en estado fresco. Sin embargo, es importante el porcentaje de producto que se rechaza —aproximadamente el 20% del envasado para exportación—, debido a su tamaño y a manchas en la cáscara principalmente (Sojo *et. al.*, 1999). También suele haber pérdidas de alrededor del 2% en bodegas, del 10.5% en las cadenas comerciales y del 4% durante la transportación terrestre a escala nacional (Salazar *et. al.*, 1990).

Debido a que es un reto disminuir las pérdidas poscosecha y que se debe aprovechar el plátano que no cumple con las especificaciones de exportación o para consumo en estado fresco, y también para utilizar los excedentes de la producción o diversificar su consumo, se han desarrollado algunas alternativas de comercialización como: purés, hojuelas, alimentos infantiles, harinas como ingredientes funcionales y frituras (Sánchez, 1991 señala que el plátano macho, en estado de madurez 4 —más amarillo que verde— es el más adecuado para elaborar rebanadas de plátano fritas).

Sin embargo, durante su industrialización, el plátano experimenta un oscurecimiento indeseable, debido a que la pulpa queda expuesta al contacto con el oxígeno del medio, como consecuencia de la ruptura del tejido durante las operaciones de pelado y rebanado previas al proceso

definitivo. Esta exposición al oxígeno también puede ocasionar la oxidación del β -caroteno. Antes de su prohibición, el método más común para controlar el oscurecimiento era el uso de sulfitos en cualquiera de sus formas (Sojo *et. al.*, 1999).

En vista de que uno de los usos alternos de los excedentes de la producción de plátano macho son las hojuelas fritas (banana chips, mariquitas, tostones, etcétera, comercializadas como botanas «snacks»), su consumo, primordialmente por niños, debe considerarse como una limitante del empleo de estos aditivos de acuerdo con las regulaciones establecidas conjuntamente por la FAO y el CODEX ALIMENTARIUS. De lo anterior se desprende la necesidad de buscar alternativas diferentes al uso de sulfitos.

GENERALIDADES DE LA MATERIA PRIMA, MOTIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Antecedentes

El plátano es una fruta tropical de consumo popular y gran calidad nutritiva. Se cree que es una de las primeras cultivadas por el hombre. El Sudeste Asiático se considera el lugar de origen de los plátanos. Su cultivo se desarrolló simultáneamente en Malasia y las Islas de Indonesia; sin embargo, el origen exacto no es completamente claro. El plátano comestible es probablemente oriundo de las hús-

medas regiones tropicales del Sudeste de Asia, región que incluye el Norte de la India, Burma, Camboya y parte de la China del Sur, así como las Islas mayores de Sumatra, Java, Borneo; las Filipinas y Taiwan (ASERCA, 1998).

Alejandro Magno lo vio crecer en el valle del Indo 300 años a.C. Llegó a África alrededor de 500 años d.C., a las Islas Canarias en el s. XV y a América en el XVI. Fue cultivado por primera vez en Santo Domingo en 1516. Se convirtió en un importante producto de exportación en el siglo XIX, durante el desarrollo de los barcos con refrigeración (Anderson, J. y Deskins, B. 1995). El enciclopedista romano Plinio, uno de los primeros escritores que describió la especie, informó que los sabios, mientras filosofaban a la sombra del plátano, muchas veces no comían otra cosa que el fruto de esa planta. Posteriormente, durante el siglo XVIII, el botánico Linneo, tomó en cuenta las anteriores características y le dio el nombre de *Musa sapientum* (Musa de los sabios).

El plátano botánicamente es una falsa baya, ya que consiste en semillas poco desarrolladas insertadas entre la pulpa (Meyer,1982). Es una planta herbácea, que crece rápidamente a una altura entre 4.5 y 9 metros. Florece entre 10 y 12 meses después de plantado, y la fruta está madura a los 6 meses aproximadamente (Flores, León, 1968; Peckham y Freeland-Graves, 1987). El tallo es subterráneo y consiste en un rizoma carnoso del que parten una serie de grandes hojas en su zona basal, que se superponen y dan lugar a un falso tronco. Las flores, unisexuales, están cu-

biertas por hojitas protectoras (brácteas): las masculinas son estériles, nacen en la parte alta, y las femeninas, de las cuales se desarrollan los frutos sin fecundación previa, crecen más abajo, reunidas en inflorescencias. Los frutos se agrupan en racimos de hasta 200 unidades (dedos). La planta se propaga a través de brotes que surgen de un tallo subterráneo. Es un cultivo estable que se produce en tierras tropicales alrededor de todo el mundo, durante todo el año.

Los plátanos pertenecen a la familia de las musáceas comprendida dentro del grupo de las monocotiledóneas. Se encuentra clasificada como una fruta de respiración climatérica, ya que presenta un pronunciado incremento en su respiración que coincide con la maduración.

La nomenclatura de las musáceas de frutos comestibles es muy confusa, tanto en los nombres técnicos, como en los comunes. A continuación se muestra su clasificación botánica:

Orden:	Escitaminea o Zingiberales.
Familia:	Musáceas.
Género:	Musa.
Especie:	Subespecie: <i>M. paradisiaca</i> L. Subespecie: <i>M. sapientum</i> L.
Variedades:	<i>Musa sapientum</i> : Cavendish, Roatán, etcétera. <i>Musa paradisiaca</i> : Plátano macho.

Fuente: Flores, León (1968) y Martínez, Maximino (1979)

Como puede observarse, la especie se ramifica en dos subespecies. La primera subespecie es *Musa paradisiaca* L. (*Musa paradisiaca normalis*), conocida como platanero, de frutos grandes, hasta de 30 centímetros que se comen fritos o cocidos, básicamente en México se conoce como plátano macho, plátano pájaro o plátano bárbaro (Yucatán). La segunda, subespecie *Musa sapientium* L. (*Musa paradisiaca sapientium*) es el banano, cuyos frutos aromáticos de sabor dulce se comen crudos, algunos ejemplos son: tabasco, manzano, morado (*M. rosácea*), dominico (*M. cavendishii*), etcétera (COABASTO, 1986). Aunque los nombres técnicos más utilizados son *Musa sapientium* (bananos) y *Musa paradisiaca* (plátanos), los estudios modernos indican que sería más correcto nombrarlos como *M. acuminata* y *M. balbisiana*. De hecho, en algunos artículos ya se puede encontrar esta nueva nomenclatura.

En el presente trabajo sólo se considera la variedad *Musa paradisiaca* L., a la que se le suelen asignar los siguientes nombres populares: plátano macho, plátano verde, cuerno de toro, Harton o Bellado, cooking banana o *plantain* en inglés y *bananier* en francés.

Producción en México

Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el plátano es uno de los principales productos agropecuarios; está considerado como perenne

y en el año de 1999 se registraron 1,563,000 toneladas de consumo aparente. Representó el quinto lugar en cuanto a productos agrícolas consumidos, después del maíz, trigo, soya, y naranja (SAGAR, 1999; INEGI, 1999).

Para ese mismo año, el valor de la producción por plátano fue de 2,652 millones de pesos, lo que constituyó también el quinto lugar dentro de los cultivos perennes, después del café, aguacate, naranja y limón agrio (SAGAR, 1999; INEGI, 1999).

El cultivo de plátano en nuestro país, se ubica en diversos Estados, en 1997 la producción de plátano abarcó a 18 entidades. Sin embargo, a pesar del gran número de entidades que se dedican a dicha actividad, sólo cinco (Chiapas, Veracruz, Tabasco, Michoacán y Colima) han concentrado en lo que va de la década, entre el 76 a 78% de la superficie sembrada y cosechada (ASERCA, 1998).

En cuanto a volumen producido, para el mismo año 1999, se obtuvieron en total 1,715,848 toneladas. En este caso, Chiapas ocupa el primer lugar, le siguen Tabasco, Veracruz, Michoacán, Colima y Jalisco (SAGAR, 1980-1999).

En nuestro país se cultivan una amplia gama de variedades, entre las que destacan Plátano Tabasco o Roatán (enano-gigante), Valery, Manzano, Dominicó, Macho, Blanco y Morado; aunque sólo el Tabasco en mayor medida y el dominico y macho en menor medida, se dedican a satisfacer el mercado externo, mientras que las variedades restantes se destinan exclusivamente a cubrir el consumo interno.

Plátano macho

El plátano macho generalmente no se come crudo, ya que incluso aunque esté maduro es muy almidonoso (Free-land-Graves & Peckham, 1987). Representa la principal fuente de calorías en ciertas dietas de subsistencia para algunos grupos de países en desarrollo (Wills *et. al.* 1982).

A continuación se muestra la composición química para el plátano macho «plantain» y el plátano promedio (tabasco) «banana», reportados por USDA (United States Department of Agriculture, 2001):

Cuadro No. 1
Composición química

Fruta	Valor por 100 g de porción comestible	
	Plátano macho «plantain»	Plátano tabasco «banana»
Agua (g)	65.28	74.26
Energía (Kcal)	122	92
Proteínas (g)	1.30	1.03
Grasas (g)	0.37	0.48
Hidratos de carbono (g)	31.89	23.43
Fibra dietaria (g)	2.30	2.40
Nutrientes inorgánicos (g)	1.17	0.80
Potasio (mg)	499	396
Ácido ascórbico (mg)	18.4	9.1
Vitamina A (Retinol) mcg	113	8
β-caroteno (mcg)	900*	21

* (Bourges *et. al.*, 1996).

Como se desprende del cuadro anterior, en general, el plátano es un alimento altamente energético, pobre en lípidos y proteínas. El plátano macho es mejor fuente de carbohidratos, potasio, ácido ascórbico, vitamina A y β -caroteno que el tabasco. En cuanto a β -caroteno, el aporte del plátano macho, comparado con la zanahoria que contiene 18,250 mcg/100g, no es muy importante, pero contiene 30 veces más β -caroteno que las manzanas (30 mcg/100g) y un poco más de la mitad de lo que contiene el mango (1 500 mcg/100g). Su contenido de fibra es un poco mayor que el del trigo (2.1 g/100 g) y maíz (2 g/100 g).

El ácido orgánico encontrado en mayor proporción es el L-málico; su concentración varía con los diferentes estados de maduración. La astringencia que presenta se debe a los taninos que contiene, tanto en la pulpa como en la cáscara, su cantidad está en función del grado de madurez. La presencia de taninos es una defensa contra depredadores y posibles infecciones. Las principales enzimas presentes son: amilasa, lipasa, proteasa, rafinasa, peroxidasa y polifenoloxidasas.

Cuadro 2
Estados de maduración del plátano

Etapa	Color	Contenido de azúcares totales	Contenido de almidón
1	Verde	0.1 - 0.2 %	21.5 - 19.5 %
2	Verde con trazas de amarillo	2.0 - 5.0 %	19.5 - 16.5 %

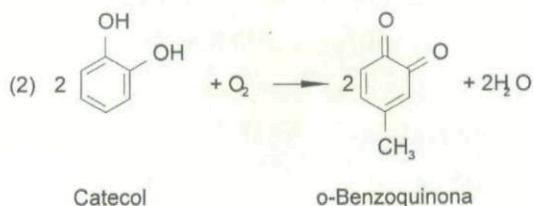
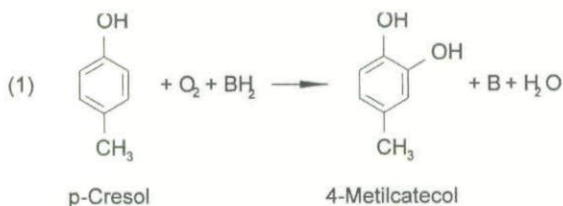
Cuadro 2
Estados de maduración del plátano
(Continuación)

Etapa	Color	Contenido de azúcares totales	Contenido de almidón
3	Más verde que amarillo	3.7 - 7.0 %	18.0 - 14.5 %
4	Más amarillo que verde	6.0 - 12.0 %	15.0 - 9.0 %
5	Punta verde	10.0 - 18.0 %	10.5 - 2.5 %
6	Todo amarillo	16.5 - 19.5 %	4.0 - 1.0 %
7	Amarillo con pecas café	17.5 - 19.0 %	2.5 - 1.0 %
8	Amarillo con grandes áreas café	18.5 - 19.0 %	1.5 - 1.0 %

Se ha encontrado que la dopamina: 3,4 dihidroxi-feniletilamina, es el compuesto fenólico responsable de las reacciones de oscurecimiento enzimático, ya que es el sustrato principal de la polifenoloxidasas (Sojo *et. al.*, 1998; Chang-Peng *et. al.*, 2000). Se encuentra en altas concentraciones en la cáscara 700 mg/g y en menor cantidad en la pulpa 8 mg/g (Thomas & Janave 1986). Se sabe que la formación de melanoidinas, pigmentos resultantes de las reacciones de oscurecimiento por polimerización de las oquinonas, representan en la planta un mecanismo de defensa contra microorganismos (Marqués, L. *et. al.*, 2000).

Polifenoloxidasas

La polifenoloxidasas, *ortodifenol: oxígeno oxidoreductasa* (EC 1.10.3.1), está probablemente presente en todas las plantas, pero se encuentra en concentraciones particularmente altas en los hongos, aguacate, papa, manzana, durazno, hoja de té, grano de café y plátano. La enzima cataliza dos tipos de reacciones que involucran oxígeno molecular. La primera consiste en la introducción de un grupo hidroxilo en un monofenol, en posición orto con respecto al grupo OH existente. Esta actividad se conoce con los nombres de: monofenol hidroxilasa, monofenolasa, tirosinasa o cresolasa (EC. 1.14.18.1). La segunda reacción consiste en la oxidación de orto difenoles a quinonas, y se suele denominar como actividad de polifenoloxidasas, o-difenoloxidasas, o catecolasa (EC. 1.10.3.1).



En la literatura que existe sobre la polifenoloxidasa del plátano (la bibliografía consultada hace referencia exclusivamente a cultivares de la subespecie *sapientum*), hay un gran desacuerdo entre los diferentes autores, ya que algunos reportan que sólo tiene actividad de polifenoloxidasa, siendo la dopamina el principal sustrato. (Palmer, 1963; Galeazzi, 1981). Sin embargo, investigaciones recientes que utilizan enzimas parcialmente purificadas (Thomas & Janave, 1986; Sojo *et. al.*, 1998b), han demostrado que la mayoría de las isoenzimas encontradas poseen tanto actividad monofenolasa como polifenolasa. Probablemente el que en algunas investigaciones no se detecte actividad de monofenolasa pueda deberse a la pérdida de la enzima durante su extracción y purificación (Sojo *et. al.*, 1998a).

Sulfitos

Las sustancias conocidas genéricamente como sulfitos en el ámbito de los aditivos alimentarios, son en realidad seis compuestos: dióxido de azufre (SO_2), sulfito de sodio (Na_2SO_3), bisulfito de sodio y de potasio (NaHSO_3 y KHSO_3) y metabisulfito de sodio y de potasio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ y $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Los sulfitos son compuestos difíciles de sustituir ya que además de ser económicos, han sido utilizados por varios siglos en muy diversas aplicaciones:

- Inhibición del pardeamiento enzimático.

- Prevención de melanosis (manchas negras en los camarones).
- Control del crecimiento de levaduras en vinos.
- Acondicionamiento de las masas.
- Blanqueado de almidones.
- Retención del ácido ascórbico y caroteno en las frutas, al actuar como antioxidantes.
- Mantenimiento de la estabilidad y la potencia de algunos medicamentos.

Sin embargo los sulfitos destruyen la tiamina, por lo que su uso en productos reconocidos como fuente de esta vitamina está prohibido, en el caso de frutas —como el contenido de tiamina no es significativo— se permitía su utilización (Arthey y Ashurst, 1996).

En 1958, cuando el Acta Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos fue enmendada para regular a los conservadores y otros aditivos; la FDA consideró a los sulfitos como GRAS (Generally Recognized As Safe). Sin embargo cuando en 1982 revaluó su seguridad para confirmar su condición de GRAS siempre y cuando se utilizaran dentro de límites específicos; la agencia recibió numerosos reportes de los consumidores y de la comunidad médica, señalando diversos efectos adversos contra la salud. A partir de entonces se ha investigado la relación entre los sulfitos y los diversos problemas de salud reportados, que van desde dificultad para respirar y erupciones, hasta choque anafiláctico. Algunos estudios sugieren que es el dióxido

de azufre el agente responsable de la respuesta fisiológica que ocasiona una broncoconstricción, que puede llevar a un paro respiratorio provocando falta de oxígeno en el cerebro, corazón y otros órganos, y tejidos, existiendo incluso la posibilidad de un paro cardíaco (Papazian, R., 1996; Warner, C.R., *et. al.*, 2000).

En 1985, la FASEB (Federation of American Societies for Experimental Biology) concluyó que los sulfitos son seguros para la mayoría de las personas, pero plantean un riesgo de severidad impredecible para personas asmáticas y aquéllas sensibles a estos conservadores. En este punto es importante considerar que cualquier persona puede desarrollar sensibilidad a los sulfitos en cualquier etapa de su vida y se desconoce qué es lo que desencadena la reacción.

Tratamientos alternativos

Son varios los inhibidores probados como sustitutos de los sulfitos. Entre ellos tenemos los acidulantes: ácido cítrico, málico, acético; los agentes quelantes como el EDTA, los reductores como el ascórbico, inhibidores específicos como el 4-hexil resorcionol y agentes acomplejantes como la polivinilpirrolidona, (Langdon, 1987; Sapers *et. al.*, 1989; Iyengar, 1992; Sapers *et. al.*, 1994; Sojo *et. al.*, 1999).

En el caso del plátano, los mejores inhibidores han resultado ser: dietilditiocarbamato de sodio, cianuro de potasio, ácido L-ascórbico, cisteína, ácido cítrico y acético

(Khan, 1985; Chan-Peng *et. al.*, 2001). Últimamente los estudios se han enfocado hacia el uso de ciclodextrinas y aminoácidos, debido a la tendencia del consumidor a elegir alimentos más naturales y con menos aditivos. (Kahn, 1995; Sojo *et. al.*, 1999),

Otra opción para inactivar a la polifenoloxidasa es el tratamiento térmico (Sapers & Miller, 1995). Sin embargo, en el caso del plátano, se debe tener cuidado ya que temperaturas superiores a los 80° C pueden provocar cambios en el sabor y la textura, además de ocasionar la gelatinización del almidón. Se ha encontrado que la temperatura óptima de la enzima (extraída a partir de la pulpa de *M. sapientum* L.) es de 30° C, y se ha visto que es relativamente estable a 60° C durante 30 minutos. Cerca del 80% de la actividad se retiene después de someterla a 70° C durante 10 minutos (Yang, C.P., *et. al.*, 2000).

Dentro de los tratamientos térmicos se estudia el efecto de las microondas (MO). Una de las principales limitaciones para su aplicación industrial es la dificultad para lograr un calentamiento uniforme; sin embargo se considera una buena opción, ya que se requieren tiempos muy cortos de tratamiento y por lo tanto se producen cambios mínimos en la calidad del producto en lo que a textura y sabor se refiere (Ohlsson, T., 2000).

Otra ventaja en la utilización de MO es la mayor retención de vitamina C que en el método convencional (inmersión en agua caliente o por vapor). Probablemente debido a que se logra la inactivación de la enzima en tan

sólo 10 segundos (99° C) y con menor producción de sabores desagradables en el caso específico de aguacate (Dorantes-Álvarez et al., 2000).

Últimamente Bráncoli *et. al.*, (2000), han estudiado el uso de películas comestibles a partir de polisacáridos (maltodextrinas, metilcelulosa y glicerol), que actúan como barrera contra el oxígeno y tienen un impacto mínimo sobre el sabor de las frutas frescas.

Debido a la presencia que el plátano tiene en la alimentación humana, a los nutrimentos que aporta y al volumen que se desperdicia poscosecha, se vio la necesidad de buscar alternativas para su industrialización. Sin embargo, la industrialización de cualquier alimento debe cumplir con una garantía de inocuidad; por eso la presente propuesta se aboca a sustituir el uso de los sulfitos. A continuación se enuncian los objetivos del proyecto de investigación que actualmente se encuentra en fase de revisión documental.

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto del tratamiento térmico, utilizando microondas, y de algunos inhibidores químicos en el oscurecimiento enzimático y carotenoides de *plátano macho* (*Musa paradisiaca L.*).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer y aislar la polifenoloxidasa de plátano macho por precipitación fraccionada.
- Elegir el mejor inhibidor de oscurecimiento, estableciendo una correlación entre los resultados obtenidos por medio de la cinética enzimática (*in vitro*) y los valores obtenidos por colorimetría de triestímulo.
- Seleccionar el tratamiento de microondas más adecuado, tiempo-intensidad, de acuerdo con el grado de inactivación alcanzado para la enzima. Encontrar la correlación entre los resultados obtenidos por cinética enzimática y los valores obtenidos por colorimetría de triestímulo.
- Evaluar el efecto del tratamiento térmico (microondas) y algunos inhibidores químicos en los carotenoides por HPLC (Cromatografía de alta resolución para líquidos).

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J. & Deskins, B. (1995). *The Nutrition Bible*. New York: William Morrow and Company, Inc.
- Arthey, D. & Ashurst, P. R. (1996). *Procesado de frutas*. Zaragoza, España: Acribia.
- Bráncoli, N.; Boylston, T. & Barbosa-Cánovas, G. (2000). «Browning of Apple Slices Treated with Polysaccharides Films». Cap. 5 p. 225-232. *In: Innovations in Food Processing*. New York: Edited by Gustavo V. Barbosa-

- Canovas & Grahame W. Gould. Technomic. Pub. Co., Inc. Food Preservation Technology Series.
- Bourges, H. (1996). *Tablas de composición de Alimentos*. México: Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán.
- COABASTO (1986). *Diagnóstico de comercialización del plátano*. Dirección de apoyo a Productores. México.
- Dorantes-Álvarez, L.; Parada-Dorantes, L.; Ortiz-Moreno, A.; Santiago-Pineda, T.; Chiralt-Boix, A. & Barbosa-Cánovas, G. (1998). «Effect of antibrowning compounds on the quality of minimally processed avocados». *Food Science and Technology International*. 4: 107-113.
- Dorantes-Álvarez L.; Barbosa-Cánovas, G. & Gutiérrez-López, G. (2000). «Blanching of fruits and Vegetables Using Microwaves». Cap. 12 p. 149-164. *In: Innovations in Food Processing*. New York: Edited by Gustavo V. Barbosa-Canovas & Grahame W. Gould. Food Preservation Technology Series. Technomic. Pub. Co., Inc.
- Flores, León (1968). *Fundamentos Botánicos*. San José de Costa Rica: Instituto Internacional de Ciencias Agrícolas de la OEA.
- Food and Drug Administration (2001). «Chemical Preservatives». *Code of Federal Regulations*. FDA. Title 21, Part 130.
- Food and Drug Administration (2001). «Chemical Preservatives». *Code of Federal Regulations*. FDA. Title 21, Part 182.
- Foulke, J. (1993). «A fresh Look at Food Preservatives». *FDA Consumer magazine*. October. (www.fda.com)

- Freeland-Graves, J. & Peckham, G. (1987). *Foundation of food Preparation*. New York: Macmillan Publishing Co.
- Galeazzi, M. & Sgarbieri, V. (1981). «Substrate Specificity and Inhibition of Polyphenoloxidase (PPO) from a Dwarf Variety of Banana (*Musa Cavendishii*, L.)». *Journal of Food Science* 46: 1401-1406.
- Galeazzi, M.; Sgarbieri, V. & Constantinides, S. (1981). «Isolation, Purification and Physicochemical Characterization of Polyphenoloxidases (PPO) from Dwarf Variety of Banana (*Musa cavendishii*, L.)». *Journal of Food Science* 46: 150-155.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (1999). *Anuario Estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos*.
- Iyengar, R. & McEvily, A. (1992). «Antibrowning agents: alternatives to the use of sulfites in foods». *Trends in Food Science & Technology* 3: 60-64.
- Kahn V. (1985). «Effect of proteins, protein hydrolyzates and aminoacids on o-dihydroxyphenolasa activity of polyphenoloxidase of mushroom, avocado and banana». *Journal of Food Science* 50: 111-114.
- Langdon, T.T. (1987). «Preventing of browning in fresh prepared potatoes without the use of sulfiting agents». *Food Technology*, May, Vol 41, No. 5: 64-67.
- Marqués, L.; Fleuriet, A.; & J Macheis (1994). «Fruit Polyphenol Oxidase: New Data on an Old Problem». Cap. 7 pp. 90-102. In *Enzymatic Browning and Its*

- Prevention*. New York: C.Y. Lee and J.R. Whitaker, Eds. ACS Symposium Series 600.
- Mahan, K. & Escott-Stump, S. (1996). *Nutrición y Dietoterapia de Krause*. México: McGraw Hill Interamericana.
- Martínez, Maximino (1979). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas Mexicanas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Meyer, Marco (1982). *Elaboración de frutas y hortalizas*. México: Trillas.
- Ochse, J. J.; Soule, M. J.; Dijkman, M. J. y Welburg, C. (1976). *Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales*. México: Limusa.
- Ohlsson, T. (2000). «Minimal Processing of Foods with Thermal Methods». Cap. 11 pp. 141-148. In: *Innovations in Food Processing*. New York: Edited by Gustavo V. Barbosa-Canovas & Grahame W. Gould. Food Preservation Technology Series. Technomic. Pub. Co., Inc.
- Onuma, Okezie, (1998). «World Food Security: The Role of Postharvesting Technology». *Food Technology* Vol. 52 No. 1: 64-69.
- Papazian, R. (1996). «Sulfites: Safe for Most, Dangerous for Some». U.S. *Food and Drug Administration*. FDA Consumer magazine. December. (www.fda.com)
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (1997). *Desarrollo humano para erradicar la pobreza*.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). Centro de Estadística Agropecuaria (1999).

Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México.

- Salazar, C. E.; Tovar, G. B.; Gutiérrez, M. P.; Barajas, G. S. & Rodríguez, D. A. (1990). «Estabilización de pulpa de plátano (*Musa paradisiaca*) var. Enano gigante, por métodos combinados». En Boletín de divulgación de los grupos mexicanos. Desarrollo de alimentos de humedad intermedia importantes para Iberoamérica. Programa de ciencia y tecnología. V Centenario CYTED-D. Subprograma de tratamiento y conservación de alimentos.
- Sánchez Pineda, Hermilo (1991). *Elaboración de puré de plátano (m. spp) por métodos combinados en planta piloto.* Tesis de Maestría. México: Escuela Nacional de Fruticultura.
- Sapers, G. M. and Douglas, F. W., Jr. (1987). «Measurement of enzymatic browning at cut surfaces and juice of raw apple and pear fruits». *Journal of Food Science* 52: 1258-1262.
- Sapers, G. M.; Miller, R. L.; Miller, F. C.; Cooke, P. H. & Choi, S. W. (1994). «Enzymatic Browning Control in Minimally Processed Mushrooms». *Journal of Food Science* 59(5): 1042-1047.
- Sapers, G. M.; Miller, R. L. and Choi, S. W. (1995). «Prevention of enzymatic browning in prepeeled potatoes and minimally processed mushrooms». Cap. 18 pp. 223-239. In *Enzymatic Browning and Its Prevention*. New York: C.Y. Lee and J.R. Whitaker, Eds. ACS Symposium Series 600.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (1998). *ASERCA. Claridades Agropecuarias*. No. 58. México.
- Sojo, M. M.; Nuñez-Delicado, E.; García-Carmona, F. & Sánchez-Ferrer A. (1998a). «Partial Purification of a Banana Polyphenol Oxidase Usin Triton x-114 and PEG 8000 for Removal Polyphenols». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 46: 4924-4930.
- Sojo, M. M.; Nuñez-Delicado, E.; García-Carmona, F. & Sánchez-Ferrer A. (1998b). «Monophenolasa Activity of Latent Banana Pulp Polyphenol Oxidase». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 46: 4931-4936.
- Sojo, M. M.; Nuñez-Delicado, E.; García-Carmona, F. & Sánchez-Ferrer A. (1999). «Cyclodextrins as Activator and Inhibitor of Latent Pulp Poliphenol Oxidase». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 47(2): 518-523.
- The World Bank Annual Report (1996). Regional Perspectives. Latin America and the Caribbean. <http://www.woelddbank.org/html/extpb/annrep96/wbar08d.htm>. Agosto 24 de 1997.
- Thomas, P. & Janave, M. T. (1986). «Isoelectric Focusing Evidence for Banana Isoenzymes with Mono and Diphenolasa Activity». *Journal of Food Science* 51(2): 384-387.
- United States Department of Agriculture (2001). *Nutrient Database for Standard Reference*. NDB No. 9277 and 9040. USA.

- Vergara Aceves, Jesús y Quintero, Mari Carmen (1990). *Solidaridad hacia una solución para México*. México: Centro de Estudios Educativos.
- Von Elbe, J.H. y Schwartz, S. (2000). «Colorantes». En: *Química de los alimentos*. Cap. 10. Owen Fennema. España: Acirbia.
- Warner, C.; Diachenko, G. & Bailey, C. (2000). «Sulfites: An Important Food Safety Issue». *Food Testing & Analysis*. August/September.
- Welti Chanes, Jorge (1998). «Investigación en ciencia y tecnología de los alimentos». *Cuadernos de Nutrición*. Volumen 21 (6): 21-28 .
- Wills, R.; Lee, T.; Graham, D.; McGlasson, W. & Hall E. (1982). *Postharvest*. Westport, Conn.: The AVI Publishing Company Inc.
- Yang, Chang-Peng; Fujita, Shuji; Ashrafuzzaman, M. D.; Nakamura, Naoko & Hayashi, Nobuyuki (2000). «Purification and Characterization of Polyphenol Oxidase from Banana (*Musa sapientium* L) Pulp». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(7): 2732-2735.
- Yang, Chang-Peng; Fujita, Shuji; Ashrafuzzaman, M. D.; Nakamura, Naoko & Hayashi, Nobuyuki (2001). «Partial Purification and Characterization of Polyphenol Oxidase from Banana (*Musa sapientium* L) Peel». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (3): 1446-1449.

Copyright of Hospitalidad ESDAI is the property of Universidad Panamericana and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.