



**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTO**

**ELABORACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO PARA LA
FORMULACIÓN DE PRODUCTOS INSTANTÁNEOS TIPO ATOL
CON BAJO Y ALTO CONTENIDO DE FENILALANINA**

Trabajo Especial De Grado
Presentado ante la ilustre Universidad
Central De Venezuela Por el bachiller
MARTINEZ EDWARD, como requisito
Parcial para optar al título licenciado
En Biología

Tutores: DR. ELEVINA PÉREZ
ING. JOSÉ MARÍN

CARACAS OCTUBRE, 2009

DEDICATORIA

A mi madre Naira de Martínez y a mi padre Oscar Martínez quienes siempre me han apoyado toda la vida de manera incondicional, siendo un ejemplo para mí en todo momento. Los quiero con todo el corazón.

A mis hermanos, tíos, primos y amigos incondicionales por estar siempre conmigo y haberme apoyado durante toda la carrera.

A mi Novia Ninibeth Basulto por todo el apoyo que me ha brindado en estos últimos momentos de mi carrera. Se te quiere mi linda con todo el corazón.

GRACIAS POR TODO!

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y a mi padre por todo el apoyo que me brindaron cuando más lo necesite, Gracias.

A mi tutora la Dra. Elevina Pérez y mi tutor Ing. José Gabriel Marín por su ayuda incondicional durante el desarrollo de la tesis de grado.

A mis compañeros de estudios, Richard Romero, Adriana Zorrilla, Lucrecia Requena, Jonathan Ojeda, Liz Pérez, Florangel Vásquez, Ninosmar Soto, Xiomara Xegovia, Bernadette Dafonte, María José Colmenares, a mis compañeros del equipo de Softball y Baseball, a todos mis amigos conocidos durante mi carrera, a todos aquellos que me ayudaron de alguna manera u otra durante toda la carrera muchísimas gracias.

MIL GRACIAS A TODOS!

ÍNDICE GENERAL

TABLA DE CONTENIDO	Pág.
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.	3
TABLA DE CONTENIDO.	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
1.- INTRODUCCIÓN.....	11
2.- ANTECEDENTES.....	13
2.1.-El Banano.....	13
2.1.1.- Morfología de la planta.....	13
2.1.2.- Producción anual.....	14
2.2.- El Plátano.....	15
2.3.- Estudios realizados sobre el plátano y sus derivados.....	16
2.4.- Harina de plátano.....	19
2.5.- Composición química del banano.....	20
2.6.- Atol: Historia y definición.....	22
2.7.- Contenido de aminoácidos presente en el banano.....	22
2.8.- Fenilcetonuria (PKU): Causas y Consecuencias.....	23
2.9.- Control de los niveles de fenilalanina en la sangre.....	26
2.10.- Estudios realizados sobre la fenilcetonuria.....	27
3.- OBJETIVOS.....	29
4.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
4.1.- Materia prima.....	30
4.2.- Métodos.....	30
4.3.- Elaboración de la harina de plátano.....	30
4.4.- Caracterización de la harina de plátano verde.....	32

4.4.1.- Determinación de las características físico-químicas de la harina de plátano	32
4.4.2.- Determinación de las propiedades funcionales de la harina de plátano.....	33
4.4.3.- Determinación del contenido de aminoácidos en la harina de plátano.....	33
4.5.- Formulación y elaboración del producto de reconstitución a temperatura ambiente (instantáneo) con bajo contenido de fenilalanina (PBF).....	34
4.6.- Formulación y elaboración del producto de reconstitución a temperatura ambiente (instantáneo) con alto contenido de fenilalanina (PAF).....	35
4.7.- Evaluación de los parámetros de calidad de los productos elaborados.....	37
4.8.- Evaluación sensorial.....	39
4.9.- Análisis Estadístico.....	39
5.- DISCUSIÓN Y RESULTADOS	40
5.1.- Evaluación de las características físicas y morfológicas del plátano	40
5.2.- Elaboración y caracterización de la harina de plátano.....	40
5.2.1.- Elaboración de la harina de plátano.....	40
5.2.2.- Composición química del plátano.....	41
5.2.3.- Características físico-químicas del plátano.....	43
5.2.4.- Características físicas: color y granulometría del plátano.....	44
5.2.5.- Características reológicas del plátano.....	46
5.2.6.- Contenido de aminoácidos de la harina de plátano.....	50
5.3.- Elaboración y caracterización de los parámetros de calidad de los productos elaborados.....	51
5.3.1.- Evaluación de los parámetros de calidad.....	52
5.3.2.- Características reológicas.....	57

5.3.3.- Determinación del contenido de aminoácidos presentes en los productos elaborados.....	60
5.3.4.- Determinación de minerales y vitamina C de los productos elaborados.....	62
5.3.5.- Evaluación sensorial de los productos elaborados.....	63
6.- CONCLUSIONES.....	65
7.- RECOMENDACIONES.....	67
8.- BIBLIOGRAFÍA.....	68
9.- ANEXOS.....	75
9.1.- Modelo de la planilla de evaluación sensorial.....	75
9.2.- Fotografía de algunos equipos utilizados	76
9.3.- Registro del Análisis de Aminoácidos de la Harina de plátano....	79
9.4.- Registro del Análisis de Aminoácidos del producto con bajo contenido de fenilalanina.....	79
9.5.- Registro del Análisis de Aminoácidos del producto con alto contenido de fenilalanina.....	80
9.6.- Imágenes de los productos elaborados sin reconstituir y reconstituido.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.- Contenido de aminoácidos presente en el banano determinados por Buckley y Sullivan (1964).....	22
Tabla 2.- Contenido de aminoácidos presente en el banano determinados por Brady y col. (1970).....	23
Tabla 3.- Evaluación de las características físicas y morfológicas de la harina de plátano.....	40
Tabla 4.- Rendimiento de la harina de plátano.....	41
Tabla 5.- Composición química de la harina de plátano.....	42
Tabla 6.- Características físico-químicas de la harina de plátano.....	44
Tabla 7.- Color de la harina de plátano.....	45

Tabla 8.- Características reológicas medidas en el Amilógrafo Brabender para la harina de plátano.....	47
Tabla 9.- Contenido de aminoácidos presentes en la harina de plátano....	50
Tabla 10.-Concentración de ingredientes del producto con bajo contenido de fenilalanina.....	51
Tabla 11.- Concentración de ingredientes del producto con alto contenido de fenilalanina.....	52
Tabla 12.- Composición química de las mezclas elaboradas.....	53
Tabla 13.- Características físico-químicas de las mezclas elaboradas.....	55
Tabla 14.- Color de las mezclas elaboradas.....	55
Tabla 15.- Características reológicas medidas en el Amilógrafo Brabender para los productos elaborados PBF y PAF.....	59
Tabla 16.- Contenido de aminoácidos de los productos elaborados.....	61
Tabla 17.- Contenido de hierro, calcio y vitamina C de los productos elaborados.....	63
Tabla 18.- Evaluación sensorial de los productos elaborados.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.- Estructura molecular de la fenilalanina.....	23
Figura 2.- Esquema tecnológico de obtención de la harina de plátano.....	31
Figura 3.- Esquema tecnológico de formulación y elaboración del producto con bajo contenido de fenilalanina.....	35

Figura 4.- Esquema tecnológico de formulación y elaboración del producto con bajo contenido de fenilalanina.....	36
Figura 5.- Granulometría de la harina de plátano.....	46
Figura 6.- Viscosidad aparente de la harina de plátano.....	47
Figura 7.- Amilograma de la harina de plátano en (6%).....	47
Figura 8.- Granulometría de los productos elaborados.....	56
Figura 9.- Viscosidad del producto elaborado con bajo contenido de fenilalanina.....	57
Figura 10.- Viscosidad del producto elaborado con alto contenido de fenilalanina.....	58
Figura 11.- Amilograma del producto elaborado con bajo contenido de fenilalanina.....	58
Figura 12.- Amilograma del producto elaborado con alto contenido de fenilalanina.....	59

RESUMEN

La elaboración de fórmulas infantiles con bajo contenido de fenilalanina a base de harina de plátano verde, le ofrece a los pacientes fenilcetonúricos una opción para mantener su dieta especial. En el mercado venezolano se encuentran pocos productos dirigidos a este tipo de pacientes que, en su mayoría, son importados. El uso de un insumo de producción nacional como lo es el plátano transformado en harina para elaborar estos productos, disminuiría los costos de estos alimentos y mantendría disponibilidad de los mismos en el mercado. La harina de plátano es rica en carbohidratos y fibra, por lo que se dispondría de un alimento de gran valor nutricional. Por otra parte, la formulación de alimentos tipo atol enriquecido con leche completa sería un producto con alto contenido de proteínas, que puede ser dirigido a cualquier sector de la población.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar productos instantáneos a base de harina de plátano verde, con baja y alta concentración de fenilalanina. Para alcanzar los objetivos propuestos, los frutos fueron recolectados en la población de Ocumare de la Costa en el estado Aragua en plantaciones asesoradas por el CENIAP-Maracay (Centro Nacional de Investigación Agropecuaria).

Se elaboró la harina de plátano verde y se formularon dos productos instantáneos tipo atol, con bajo contenido de fenilalanina dirigido a pacientes fenilcetonúricos y con alto contenido de fenilalanina dirigido a la población general. Para la caracterización de la harina de plátano y de los productos elaborados se realizaron análisis físicos y químicos; así como pruebas de evaluación sensorial en los productos elaborados.

Se encontró que la harina de plátano precocida es un producto con bajo contenido de fenilalanina que puede ser utilizado en formulaciones para la elaboración de productos como bebidas instantáneas de buena calidad dirigido a pacientes fenilcetonúricos y se demostró la factibilidad de elaborar dos productos tipo atol con bajo y alto contenido de fenilalanina.

1.- INTRODUCCIÒN

El plátano es el cuarto cultivo comercial más importante después del arroz, el trigo y el maíz, es de gran valor en los países desarrollados, en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, porque los cultivadores y agrónomos han desarrollado nuevos cultivares con altos rendimientos que responden a los métodos de mejoramiento de la planta de fertilización y control de enfermedades e insectos. A través de los años en forma silvestre, diferentes especies de plátanos se han utilizado, a nivel mundial, por el hombre para su consumo (Gwanfogbe y col., 1988). Es considerado un producto básico y de exportación, constituyendo una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo.

El plátano es un fruto de gran valor nutricional, posee alto contenido de carbohidratos indigeribles, vitaminas, minerales y fibra dietaria. Siguiendo la tendencia actual de aprovechar los alimentos al máximo, se puede utilizar la cáscara y la pulpa del plátano, aprovechando el fruto en su totalidad.

En virtud que el consumo de plátano se realiza usualmente en forma directa, y una pequeña proporción es consumida como productos tipo “snack” y colados, la transformación del plátano en harinas constituye una alternativa para mantener una reserva comercial del producto durante todo el año, reduciendo, asimismo, las pérdidas postcosecha. Estas harinas son ingredientes potenciales para el desarrollo de nuevos productos, como lo demuestran algunas investigaciones realizadas (Pacheco, 2001, Pacheco y col., 2008 y Aurore y col., 2009, entre otros).

Entre los productos nuevos que se pueden desarrollar se tiene la elaboración de fórmulas infantiles, las cuales se utilizan en aquellas situaciones en que la lactancia materna no es posible o resulta insuficiente. El término fórmula infantil se emplea para designar productos destinados a la alimentación de los lactantes y que son adecuados para sustituir total o parcialmente a la leche humana, cubriendo las necesidades nutritivas de esta etapa de la vida (Hernández, 2001).

Estas fórmulas infantiles, adicionalmente, pueden estar dirigidas a grupos con requerimientos especiales de alimentación, tal como, los niños fenilcetonúricos. Estos niños necesitan de una dieta especial, ya que presentan en su organismo una deficiencia de la enzima fenilalanina hidroxilasa, la cual se encarga de formar la tirosina a partir de la fenilalanina. Al no formarse la tirosina, se presenta una acumulación de la fenilalanina en la sangre, la cual a partir de cierta concentración, se vuelve tóxica para el cerebro, trayendo como consecuencia retraso mental grave, entre otras consecuencias. En el caso del plátano, el contenido de fenilalanina (Buckley y Sullivan, 1964, Brady y col., 1970) es relativamente bajo, siendo entonces una fuente potencial como base para el desarrollo de productos para este tipo de régimen.

En este proyecto se pretende desarrollar productos a base de harina de plátano, con baja y alta concentración de fenilalanina, usando para ello plátanos verdes de la variedad Hartón Común (*Musa AAB*) provenientes de Ocumare de la Costa, estado Aragua.

2.- ANTECEDENTES

2.1.- EI BANANO

2.1.1.- Morfología de la planta

Los bananos se originaron en Asia y el Pacífico, pertenecen a la Familia Musacea y el Orden Scitaminae (Pinto y Antoni, 1986).

El género *Musa* lo forman plantas herbáceas, cuyo pseudotallo no ramificado está compuesto por la vaina de las hojas; el género *Musa* se divide en cuatro secciones: Callimusa, Australimusa, Eumusa y Rhodochalamys (Sharrock, 1997).

Los bananos derivan de dos diploides silvestres de las especies parentales pertenecientes a la Familia de las Musáceas dentro de la sección Eumusa, *Musa acuminata* (*Musa* AA) y *Musa balbisiana* (*Musa* BB) (Sharrock, 1997).

Los bananos son hierbas perennes gigantes, de 2 a 9 m de altura, con un cono basal, un pseudotallo compuesto de las vainas foliares y una corona terminal de hojas. Las hojas tienen una lámina con longitud de 1,5 a 4 metros de largo y de 0,7 a 1,0 metros de ancho, de nervadura paralela o reticulada. La inflorescencia es la continuación del escapo floral y en él, las hojas están reemplazadas por brácteas, las cuales forman en el extremo de la inflorescencia una masa compacta y permanente. El fruto es una baya que en los bananos cultivados posee partenocarpía; estos frutos se agrupan en manos que crecen en cada nudo floral, formando en conjunto un racimo. (Pinto y Antoni, 1986)

Son estrictamente tropicales, desarrollándose en zonas con temperaturas de 27°C y precipitaciones mensuales de 100mm, con buena exposición solar, protegidos del viento y en suelos profundos, de alta fertilidad y buen drenaje, con un pH de 6,5 a 7. (Pinto y Antoni, 1986).

2.1.2.- Producción anual

La producción de bananos en el 2003 fue estimada alrededor de 102 millones de toneladas métricas, de la cual, el 68% fue clasificado como banana y el 32% como plátano. (FAO, 2003).

Según datos de FAO (2006), la producción mundial de banano fue de 72.557 toneladas métricas en el 2004 y se distribuyó de la siguiente manera: India 23%, Brasil 9%, China 9%, Ecuador 8%, Filipinas 8%, Indonesia 7%, Costa Rica 3%, México 3%, Tailandia 3%, Burundi 2%, Colombia 2%, Vietnam 2% y otros acumulado 21%. El banano en países como India, Brasil, China, así como Venezuela es muchas veces cultivado en parcelas familiares, para ser consumido por ellos mismos y si llegan a obtener un exceso de producción es comercializado a nivel local.

El volumen de las exportaciones mundiales de banano para el 2004, según datos de la FAO (2006), fue de 15.933.940 toneladas métricas, las cuales se distribuyeron como se indica a continuación: Ecuador 29%, Costa Rica 13%, Filipinas 11%, Colombia 9%, Guatemala 7%, Honduras 4%, Panamá 2%, Camerún 2% y otros acumulados 23%. Esta distribución pone de manifiesto que

los principales países exportadores a nivel mundial son: Ecuador, Costa Rica, Filipinas y Colombia.

Según FAO (2006), existen 119 países importadores de banano para el 2004. Con un volumen de importación mundial de 14.652.568 toneladas métricas. La distribución de las importaciones mundiales se indican a continuación: Unión Europea 32%, Estados Unidos 26%, Japón 7%, Federación Rusa 6%, Canadá 3%, China 3%, Argentina 2%, Irán 2%, Polonia 2% y otros acumulados 17%. Estados Unidos es el país individual con mayor volumen de importación con aproximadamente 3,8 millones de toneladas métricas en el 2004. No obstante, el bloque económico con mayor volumen de importación lo constituye la Unión Europea con aproximadamente 4,7 millones de toneladas métricas de banano para dicho año.

Es difícil estimar las áreas de siembra de estos cultivos en Venezuela, debido a que se encuentran dispersas por todo el país, desde pequeñas áreas tipo conucos, hasta grandes áreas de exportación, las siembras más importantes, con cultivos semi-tecnificados, se encuentran en el Sur del Lago de Maracaibo, en Barinas (Socopo) y en el Oriente del país (Agrevo Venezuela 2008). Se estima que la producción de plátano en Venezuela durante los diez últimos años, es de 5850000 toneladas (FAO, 2004; Agrevo, 2008).

2.2.- El plátano (banano de cocción)

Los plátanos (*Musa ssp.*) forman un subgrupo dentro de los bananos comestibles, representan uno de los principales productos alimenticios del trópico

y forman parte de la dieta de muchos países de América Latina y el Caribe (Pacheco, 2002), siendo una gran fuente de carbohidratos y compuestos bioactivos (Martínez y col., 2008).

El plátano tiene forma oblonga, alargada y algo curvada. El peso puede ser desde unos 120 gramos a más de 300 gramos por unidad, dependiendo de la variedad. Presenta una piel gruesa y verdosa y su pulpa es blanca. Se pueden recolectar todo el año y son más o menos abundantes según la estación. Se cortan cuando han alcanzado su desarrollo completo (Pinto y Antoni, 1986).

La mayor parte del plátano comercializado es consumido como fruta fresca, sin embargo, la pulpa se utiliza para la elaboración de colados infantiles, como jugos clarificados y plátanos deshidratados, también se utiliza para la obtención de almidón y para la elaboración de harina para uso alimentario e industrial (Aguirre y col., 2007).

2.3- Estudios realizados sobre el plátano y sus derivados

Aparicio y col. (2005) citan a Skrabanja y col. (1999), los cuales indican que los carbohidratos constituyen la principal fracción de los cereales, leguminosas, tubérculos y frutas inmaduras, lo que representa hasta un 40-80% de la materia seca. El almidón es el principal carbohidrato presente en estas fuentes vegetales y es aislado tradicionalmente de muchas de ellas para diversas aplicaciones (Aparicio y col., 2005). En la actualidad, se ha prestado especial interés a los almidones obtenidos de las musáceas, en particular del plátano en estado verde,

ya que son parcialmente resistentes a la hidrólisis por parte de amilasas digestivas (Pacheco, 2002).

El plátano, en estado verde, puede ser una excelente fuente para la obtención de fibra dietaría, debido a que este puede tener de un 6% a 15% de fibra dietética (Da Mota y col., 2000). Otra ventaja que tiene este fruto es que puede ser aprovechado en su totalidad, ya que es posible procesar tanto la cáscara como la pulpa y así obtener un harina con alto contenido de fibra dietaría (Aguirre y col., 2007).

Faisant y col. (1995), reportan que diversos estudios sugieren que el consumo de plátanos verdes ejerce un efecto beneficioso sobre la salud humana, citados por Martínez y col. (2008).

Pacheco (2002) evaluó el nivel nutricional de hojuelas de plátanos fritos y la digestibilidad del almidón de plátano; se determinó que la curva de hidrólisis del almidón en las hojuelas fritas fue menor que lo señalado por Pacheco y col., (1998) para harina de plátano verde a los 60 y 120 minutos, por lo que podría inferirse que el proceso calórico de fritura disminuyó la hidrólisis. Estos resultados ubican a las hojuelas fritas de plátano verde como una fuente de carbohidratos de digestión lenta. Pacheco (2002) concluye que las hojuelas fritas de plátano verde comercializadas en Venezuela son fuentes de fibra dietética y almidón resistente, nutrientes que pueden ser beneficiosos para la salud, pero contienen alto contenido de grasa, y la hidrólisis del almidón muestra una resistencia a ser degradado, por lo cual puede ser considerado un alimento de digestión lenta.

Pacheco (2001) evaluó el valor nutricional de sopas deshidratadas de harina de plátano verde y hortalizas, concluyendo que las mismas son bajas en grasa y contienen un alto porcentaje de fibra dietética total y almidón resistente, y podrían ser recomendadas como un alimento para regímenes especiales de alimentación. Igualmente, se demostró que es posible, por un proceso tecnológico sencillo, transformar y conservar, por períodos de tiempo mayores, el plátano verde en forma de harina para sopas con muy baja humedad y por la hidrólisis lenta del almidón en las sopas se podría diversificar el consumo de esta musácea.

Martínez y col., (2008) realizaron un estudio sobre el efecto de la harina de plátano como ingrediente en la preparación de pastas, determinando que este tipo de alimento podría ayudar a incrementar el índice de alimentos disponibles para los pacientes glicémicos. Adicionalmente, las pastas que tienen harina de plátano presentan un alto contenido de compuestos indigeribles (almidón resistente y polisacáridos no amiláceos) que pueden ser beneficiosos para la salud intestinal.

Aparicio y col. (2007) formularon galletas con almidón resistente de plátano y, al igual que Martínez y col. (2008), concluyeron que los productos formulados con almidón de plátano son ricos en carbohidratos y puede ser útil en el desarrollo de nuevos productos para sectores de la población que requieren alimentos bajos en calorías y con requisitos glicémicos.

2.4- Harina de plátano

La harina se define como el polvo resultante de la molienda de diversos granos como, maíz, trigo, arroz, así como de otro tipo de materias primas que luego de un proceso de secado, se pueden moler y pulverizar (Pelayo, 2000).

La producción de harinas se considera un proceso sencillo y de bajo costo que permite obtener productos con mejores características de almacenamiento, ya que al eliminar la mayor parte del agua de la fruta, se disminuye también la actividad de agua, facilitando su conservación a temperatura ambiente en empaque adecuado (Madrigal y col., 2007).

Las características más importantes del proceso para la producción de harinas a partir de plátano y banano es que requiere un equipo sencillo, no necesita la cadena del frío, puede aplicarse con el excedente de producción, permite el aprovechamiento de la fruta de rechazo y puede apoyar al control de la oferta y precio de la materia prima (Madrigal y col., 2007).

La elaboración de harinas a base de plátano se ha convertido en una tendencia, para desarrollar distintos productos para el aprovechamiento del fruto al máximo y para darle un valor agregado a su cultivo. Da Mota y col. (2000) establecieron que se podían convertir en harina los frutos de banana verde excedentes, debido a que su producción era mucho más fácil y rápida y menos costosa que el aislamiento del almidón. Adicionalmente, la harina de plátano verde puede ser una fuente importante de polifenoles, compuestos que son considerados como antioxidantes naturales (Vergara y col., 2007).

Pacheco y col. (2008) elaboraron harinas de plátano. Los autores emplearon cuatro métodos de deshidratación para producir y luego caracterizar y comparar harinas elaboradas con plátano de la variedad Harton/Horn inmaduro (verde). Con los resultados obtenidos señalan que el proceso de deshidratación afectó significativamente ($p \leq 0,05$) la composición proximal y las características físicas de las harinas deshidratadas. Las propiedades reológicas y funcionales fueron diferentes en cada una de las harinas obtenidas, mostrando un comportamiento de fluido no Newtoniano pseudoplástico en solución. Concluyendo que dado que el plátano es un cultivo importante en zonas tropicales y subtropicales, la elaboración de harinas con diferentes propiedades funcionales a partir de la fruta perecedera las valoriza como ingredientes para diferentes productos alimenticios, como sería el caso de la harina deshidratada con el deshidratador de doble tambor para usarla como ingrediente en alimentos “instantáneos” o de rápida cocción.

2.5- Composición química del banano

Kayisu y col. (1981) reportó los siguientes valores obtenidos del análisis proximal de pulpa de banano verde, obteniendo los siguientes resultados (en bs): humedad, 73,5%, proteínas, 1%, cenizas, 0,9% almidón, 20,7%, azúcares: glucosa, 0,25%, fructosa, 0,05%, sacarosa, 0,6%, y un total de azúcares de 0,8%. Para la harina de plátano verde (en bs), obtuvo los siguientes valores: humedad, 4,5%, proteínas, 3,8%, cenizas, 3,4% almidón, 78%, azúcares: glucosa, 0,7% fructosa, 0,2%, sacarosa, 2,1%, y un total de azúcares de 3%.

Se pueden encontrar variaciones en la composición química de los bananos, esto se puede deber a diferencias en las regiones de cultivo, las prácticas agronómicas empleadas y a las variedades empleadas en el estudio (Cerqueira y col., 2004).

Sharrock y Charlotte (2000) realizaron un trabajo sobre la composición química del banano y su contribución en la dieta diaria, concluyendo que esta fruta puede ser usada como una fuente rápida de energía para los deportistas, infantes y personas mayores; adicionalmente consideran que es una buena fuente de vitaminas A, B1, B2 y C, así como de hierro y calcio. Los autores citan al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, quienes reportan los siguientes valores nutricionales del plátano en 100 gramos de materia comestible: vitamina A, 11.127 IU, vitamina C, 18,4 mg, vitamina B1, 0,052mg, Vitamina B2, 0,054mg, hierro, 0,6mg y calcio, 3 mg. Por otra parte el INN (2001) sugiere la ingesta de 489 mg/día de calcio, 14 mg/día de hierro y 41 mg/día de vitamina C, para niños que van desde 6 meses a 9 años, para que estos tengan un buen desarrollo y crecimiento.

Los estudios sobre la composición química y física de algunos cultivares de plátano y banano, durante la postcosecha en África, han mostrado que los carbohidratos se reducen, los azúcares y el ácido málico aumentan, la relación pulpa/cáscara incrementa y el diámetro y el peso del fruto se reducen (Faulkes y col., 1978; Fernández y col., 1979; Marriot y col., 1981; Vivian y Mendoza, 1990; Firmín, 1991; Offem y Thomas, 1993, citados por Arcila y col., 2002) Arcila y col., (2002) mostraron que, durante la maduración, se registraron pérdidas de peso en

el fruto entre 10 a 20%, el contenido de carbohidratos disminuyó de 76 a 60% y los niveles de azúcares se incrementaron durante la maduración de 4 a 38% (frutos muy maduros).

2.6- Atol: Historia y definición

El atol es una mezcla de harina y agua o leche en proporciones tales que al final de la cocción presenta una moderada viscosidad. De origen prehispánico consumido en México y Guatemala, principalmente, y en otros países de Centroamérica. Originalmente se elaboraba únicamente en base harina de maíz, pero ahora se le puede encontrar como formulas instantáneas, en base a harina de arroz, trigo y plátano (Pelayo, 2000). Estas formulas son generalmente patentes.

2.7- Contenido de aminoácidos presentes en pulpa de banano

Buckley y Sullivan (1964) determinaron, mediante extracción con etanol acuoso, los siguientes contenidos de aminoácidos en la pulpa de banano:

TABLA 2. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS PRESENTE EN EL BANANO DETERMINADO POR BUCKLEY Y SULLIVAN (1964)

Aminoácido	% de aminoácidos
Ác. Aspártico	1,03
Prolina	0,18
Ác. Glutámico	1,04
Glicina	0,24
Alanina	0,38
Valina	0,37
Leucina	0,51
Isoleucina	0,17
Tirosina	0,25
Fenilalanina	0,17
Lisina	0,4
Histidina	2,1
Arginina	1,42

Por otra parte, Brady y col., (1970) extrajeron con ácido tricloroacético frío, los siguientes valores de aminoácidos en la pulpa de banano:

TABLA 3. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS PRESENTE EN EL BANANO DETERMINADO POR BRADY Y COL. (1970)

Aminoácido	% de aminoácidos
Ác. Aspártico	2,44
Treonina	0,36
Ác. Glutámico	1,35
Glicina	0,55
Alanina	0,56
Valina	0,11
Arginina	1,25
Isoleucina	0,12
Tirosina	0,07
Fenilalanina	0,1
Lisina	1,07
Histidina	6,09
Arginina	1,25
Asparagina	3,33
Glutamina	4,27
Leucina	0,2
Serina	0,55

2.8- FENILCETONURIA (PKU): causas y consecuencias

La fenilalanina es un aminoácido esencial, lo que quiere decir que no puede ser sintetizado por el cuerpo humano o que lo hace en cantidades insuficientes para cubrir sus necesidades básicas, con lo que deben ser ingeridos de forma regular.

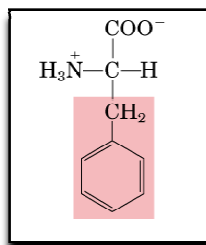


Fig 1. Estructura molecular de la fenilalanina. Tomado del Lehninger (2004).

La fenilcetonuria (PKU) constituye un error innato del metabolismo de aminoácidos, causado por la deficiencia autosómica recesiva de la enzima hepática fenilalanina hidroxilasa (PAH, EC 1.14.16.1). (Scriver CR y col. 2003, citados por Mahfaud y col. 2008)

Los individuos homocigotos recesivos carecen de la enzima Fenilalanina hidroxilasa (PAH), que convierte el aminoácido fenilalanina en otro aminoácido, la tirosina. En consecuencia, estos individuos convierten la fenilalanina en productos tóxicos que se acumulan y dañan el sistema nervioso central. El resultado final es retardo mental grave. Un niño suele ser sano al nacer debido a que la madre, que es heterocigótica, produce enzimas suficientes para impedir la acumulación antes del nacimiento. Sin embargo, durante la lactancia y a principios de la infancia, los productos tóxicos terminan por causar daño irreversible en el sistema nervioso central. (Solomon y col. 2000). A este trastorno metabólico se le denomina fenilcetonuria (PKU, por las siglas en inglés).

Los síntomas iniciales aparecen durante los primeros meses de vida, con retraso psicomotor, falta de interés por el medio, microcefalia, trastornos de la conducta, automutilaciones y autismo. (Ormazabal y col., 2004, citados por Mahfaud y col., 2008). La patogenia del daño neuronal en esta enfermedad aun no está clara. Se ha postulado que concentraciones elevadas de fenilalanina en el cerebro inhiben competitivamente el transporte de aminoácidos aromáticos a través de la barrera hematoencefálica, afectando la síntesis proteica, al crecimiento de dendritas y a la mielinización. Adicionalmente, la síntesis de neurotransmisores (serotonina, dopamina y noradrenalina) se reduce debido a la

disminución competitiva de la hidroxilación de triptófano y la tirosina. (Mahfaud y col., 2008)

El diagnóstico y tratamiento precoces durante el primer mes de vida permiten prevenir todas las secuelas antes descritas. El tratamiento de la PKU clásica y moderada se fundamenta en una dieta restringida en fenilalanina, suplementada con una fórmula especial libre de fenilalanina (Mahfaud y col., 2008).

La incidencia promedio de la PKU es de 1 por 10.000 recién nacidos y existen diferencias según el área geográfica y el grupo étnico. En Venezuela, a través del Programa de Pesquisa Neonatal que se viene realizando desde el año 1985 en el Instituto de Estudios Avanzados (IDEA), se han analizado a 506.385 neonatos y se ha encontrado una incidencia de 1/27.989. En total se han diagnosticado 38 pacientes PKU (Mahfaud y col., 2008).

Existen al menos 3 grandes grupos (fenotipos) de pacientes con deficiencia de PAH, en relación a la tolerancia de la fenilalanina de la dieta a los 5 años de vida:

Fenotipo severo: suelen tener al diagnóstico niveles de fenilalanina en plasma mayores de 30mg/dl, toleran 10-20mg de fenilalanina/kg/día a los 5 años de vida (aporte de menos de 400mg de fenilalanina/día) (Hernández, 2001).

Fenotipo moderado: los niveles plasmáticos al diagnóstico están entre 20-30mg/dl y toleran 20-30mg/kg/día a los 5 años de vida (aporte de 400 a 600mg de fenilalanina/día) (Hernández, 2001).

Fenotipo suave: tiene una fenilalaninemia plasmática al diagnóstico entre 7 y 20mg/dl y llegan a tolerar 30-50mg de fenilalanina/kg/día a los 5 años de vida (aporte de 600-900 mg de fenilalanina/día) (Hernández, 2001).

2.9- Control de los niveles de fenilalanina en sangre

En los individuos homocigóticos para la fenilcetonuria es de gran importancia el control de la cantidad de fenilalanina presente en su sangre para disminuir la acumulación de productos tóxicos en su organismo y evitar el daño al sistema nervioso central. Es así como, en menores de 6 años, se requieren valores óptimos menores a 6mg/dl (360 μ M) por semana en los primeros 3 meses de vida; cada 15 días de 4 a 24 meses de vida y, mensualmente, a partir de los 2 años de vida. A partir de los 6 y hasta los 9 años deberán ser menores a 9 mg/dl (540 μ M) y de 9 años en adelante deberán ser menores a 10,5mg/dl (700 μ M) (Hernández, 2001).

En el decenio de 1950, se descubrió que si los lactantes con PKU recibían una dieta especial baja en fenilalanina en etapa temprana, los síntomas podían aliviarse. Se han desarrollado pruebas bioquímicas para la PKU y la identificación de los neonatos afectados a través de un examen de sangre sencillo está generalizada en países como Estados Unidos, donde se examina a más de 90% de todos los niños.

Debido a estos programas de identificación y a la disponibilidad de un tratamiento adecuado, miles de niños se han salvado de un grave retardo mental. La mayoría de estos niños pueden dejar la dieta en la adolescencia, si bien siguen acumulando fenilalanina, el período sensible ha pasado. Sin embargo, el éxito del tratamiento PKU durante la niñez plantea un nuevo problema cuando la mujer está en estado adulto. Si una mujer homocigótica que se ha salvado del retraso mental se embaraza, las altas concentraciones de fenilalanina en su sangre pueden dañar el cerebro de su feto, aunque esté sea heterocigótico. Por ende, la mujer debe reiniciar su dieta antes de embarazarse (Solomon y col., 2000).

Un estudio colaborativo de los niños tratados para la fenilcetonuria se llevó a cabo de 1967 a 1984. Los resultados del estudio mostraron fuertes indicios que se debe mantener una dieta baja en fenilalanina al menos hasta la adolescencia (Rouse y Azen, 2004).

2.10.- Estudios realizados sobre la Fenilcetonuria

Rouse y Azen (2004) estudiaron el efecto del alto contenido de fenilalanina en la sangre materna la importancia de un control en la dieta antes de la preconcepción y durante el embarazo; estos autores encontraron que los defectos en los nacimientos eran causados por varios agentes, incluyendo los factores genéticos y ambientales. Concluyeron que la nutrición es una cuestión sumamente importante en las personas fenilcetonúricas, que no es solamente importante en los niños en crecimiento, sino que también lo es para las mujeres que están en período de embarazo.

Rouse y Azen (2004), citan a Lenke y Levy (1980), quienes reportaron un incremento en nacimientos defectuosos, debido a que las madres fenilcetonúricas no habían llevado una dieta estricta durante el embarazo. La tasa de retraso mental fue de 92%, microcefalia 73%, niños con bajo peso 40% y cardiopatías un aumento del 12%.

Mahfaud y col., (2008) estudiaron hallazgos clínicos y espectro mutacional en pacientes venezolanos con diagnóstico tardío de fenilcetonuria, concluyendo que en Venezuela se realiza el estudio neonatal de PKU, pero el programa no cubre toda la población neonatal, los autores destacan la importancia del estudio neonatal en el bienestar de los niños y el uso del diagnóstico molecular para mejorar la orientación terapéutica y la asesoría genética de la familia.

La elaboración de fórmulas infantiles con bajo contenido de fenilalanina a base de harina de plátano verde, le ofrece a los pacientes fenilcetonúricos una opción para mantener su dieta especial. En el mercado venezolano se encuentran pocos productos dirigidos a este tipo de pacientes y, en su mayoría, son importados. El uso de un insumo de producción nacional como lo es el plátano transformado en harina, disminuiría los costos de estos alimentos y mantendría una reserva de los mismos en el mercado. Adicionalmente, la harina de plátano es rica en carbohidratos y fibra dietaria, por lo que se dispondría de un alimento de gran valor nutricional. Por otra parte, la formulación de alimentos tipo atol enriquecido con leche completa sería un producto con alto contenido de proteínas que puede ser dirigido a cualquier sector de la población.

3.- OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Formular productos alimenticios con bajo y alto contenido de fenilalanina a partir de la harina obtenida de Musa AAB plátano cultivar Hartón común y una fuente de proteína.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar las características físicas y morfológicas de los frutos.
2. Obtener harina de los frutos *Hartón común* de Musa AAB, subgrupo plátano.
3. Evaluar la composición proximal, la composición química y las características físicas y físico-químicas de la harina obtenida.
4. Determinar el perfil de aminoácidos de la harina obtenida.
5. Formular una mezcla deshidratada instantánea para elaborar productos alimenticios del tipo atol, utilizando como ingrediente principal la harina obtenida del plátano.
6. Evaluar los parámetros de calidad de la mezcla para la elaboración de los atoles.
7. Realizar la evaluación sensorial de los atoles elaborados.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.- Materia prima

Los frutos empleados en la obtención de la harina fueron recolectados en la población de Ocumare de la Costa en el estado Aragua, con la asesoría de los investigadores del área de musáceas del CENIAP-Maracay (Centro Nacional de Investigación Agropecuaria). Para la selección de los frutos a recolectar, se tomó como criterio que se encontraran en su punto óptimo de madurez fisiológica, es decir, máximo crecimiento y desarrollo alcanzado por el fruto en la planta.

4.2.- Evaluación de las características físicas y morfológicas del plátano

Los plátanos fueron evaluados en tamaño peso y diámetro. Para ellos se procederá a su medición y pesaje usando una cinta métrica y una balanza de precisión.

4.3- Elaboración de la harina de plátano verde

Los plátanos verdes seleccionados y cosechados con un grado de madurez de 1 (verde), según la escala de Von Loesecke (1950), fueron acondicionados para la elaboración de la harina. Para ello, 60 Kg de plátano fueron lavados, luego pelados y, posteriormente, troceada la parte comestible. Una vez acondicionados, los trozos de alrededor de 2,5 milímetros de espesor se sumergieron en una solución de ácido cítrico al 1% por 2 minutos (Pacheco, 2001) para evitar el proceso de oscurecimiento enzimático, luego se dejaron escurrir. Posteriormente, se llevaron a un deshidratador convencional marca The National Drying

Machinery Co., por 5 horas a 45° C, usando bandejas perforadas. Las hojuelas obtenidas fueron molidas en un molino de martillo, modelo D Comminuting Machine, The Fitzpatrick Company, Chicago, USA, hasta obtener una harina que luego se tamizó a 60 mesh y almacenó en frascos herméticos a temperatura ambiente para su análisis posterior. Una vez obtenida la harina, se pesó y se relacionó este valor con el peso de la parte comestible y el peso total del fruto, expresando ambos como porcentaje de rendimiento. Asimismo, se calculó el porcentaje de desperdicio relacionando el peso de la cáscara con el peso total de plátano.

En la Figura 2 se muestra el esquema metodológico descrito por Pacheco (2001) utilizado para la obtención de la harina de plátano.

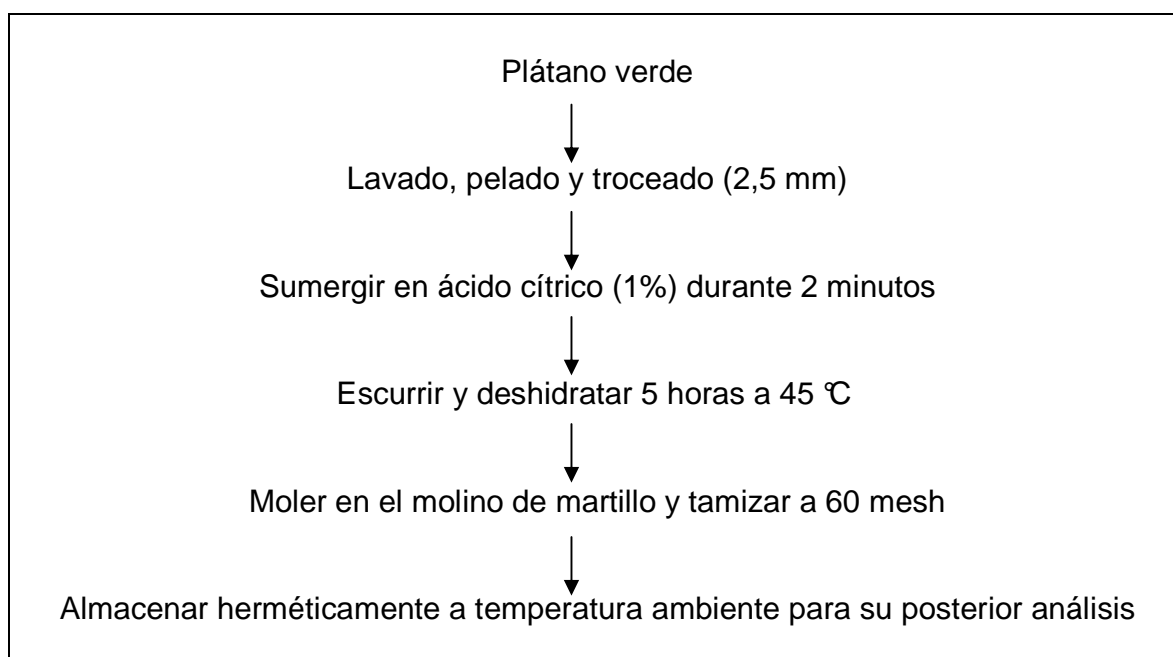


FIGURA 2. ESQUEMA TECNOLÓGICO DE OBTENCIÓN DE LA HARINA DE PLÁTANO (PACHECO, 2001).

4.4- Caracterización de la harina de plátano verde

Los siguientes análisis químicos se realizaron según los métodos oficiales descritos por la AACCC del año 1993: Humedad, N° 44-19, proteína cruda (%N x 6,25), N° 46-13, cenizas, N° 08-17, fibra cruda N° 32-10 y azúcares reductores y no reductores, N° 80-60. La determinación de grasa cruda se realizó siguiendo la metodología descrita por Schoch (1964) y el porcentaje de carbohidratos totales se realizó por la sustracción del contenido de humedad, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y cenizas en 100 g de muestra.

4.4.1.- Determinación de las características físico-químicas de la harina de plátano

La determinación de la acidez titulable y el pH se realizaron según los métodos oficiales de la AACCC (1993), N° 02-52 y 02-31, respectivamente.

La granulometría se realizó utilizando un juego de tamices ASTM, equivalentes a 40, 60, 80 y 120 mesh.

El color se midió a través de las metodologías descritas en el manual de laboratorio Hunter (2001), empleando un colorímetro Hunter modelo D- 2T ADP-9000, equipado con una placa estándar con los parámetros $L^*= 94,64$, $a^*= -1,24$ y $b^*=2,27$. Se determinó además el índice de blancura (IB), el cual representa la blancura total de la muestra y se calculó de acuerdo a ecuación usada por Chin-Lin y col., (2003):

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

4.4.2.- Determinación de las propiedades funcionales de la harina de plátano

La consistencia se realizó siguiendo la metodología descrita por Cagampang y col., (1973). La viscosidad se determinó usando un viscosímetro Brookfield (modelo DV-II+ DV-II+ Pro, Middleboro, USA) en una suspensión acuosa de harina de plátano a 30 y 50°C, (Smith, 1967).

Las propiedades viscoamilográficas se realizaron a través de la interpretación de las curvas amilográficas que se obtuvieron en un amilográfico Brabender. El análisis gráfico de los amilogramas resultantes se efectuó de acuerdo al método descrito por Mazur y col. (1957). La densidad se determinó según el método descrito por Subramanian y Viswanathan (2007). Para esto, se tomó un cilindro graduado de 100ml, el cual se pesó y se aforó previamente, luego se añadió la muestra al cilindro y se pesó. La densidad se determinó a partir de la relación de masa del contenido a volumen del cilindro.

El índice de absorción de agua (IAA) se realizó según el método descrito por Anderson (1982). El IAA se tomó como el peso del remanente y se reportó en gramos del gel/g de muestra.

4.4.3.- Determinación del contenido de aminoácidos en la harina de plátano

El procesamiento de las muestras involucra dos etapas, la primera consiste en la hidrólisis ácida de cada muestra. Durante este proceso, los aminoácidos en la muestra son liberados por la ruptura de los enlaces peptídicos de las proteínas presentes. El perfil de aminoácidos y el contenido de fenilalanina fue determinado por cromatografía líquida de alta eficiencia o HPLC (Weiss y col 1998), con

derivatización post-columna (serie 200 de la casa Perkin Elmer). La preparación se realizó en una columna de intercambio iónico, seguida de la derivatización de los eluidos. La columna empleada para la separación, es una columna de intercambio catiónico de 3,0 x 250 mm perteneciente a la casa Pickering Laboratories.

4.5.- Formulación y elaboración del producto de reconstitución a temperatura ambiente (instantáneo) con bajo contenido de fenilalanina (PBF)

El esquema utilizado (Fig. 3) para la elaboración del producto con bajo contenido de fenilalanina (PBF), se llevó a cabo tomando como modelo la metodología seguida por Esquivel (1989), para la preparación de chicha instantánea; la misma fue adaptada para la formulación del producto. La formulación del producto (PBF), corresponde a 60% harina de plátano, 38,2 % azúcar, 0,74% sal, 0,94% calcio, 0,072% hierro y 0,041 % vitamina C. La adición de calcio se realizó usando como ingrediente lactato de calcio, el cual aporta trece gramos de calcio por cada cien gramos de lactato de calcio, el hierro se usó en la forma de sulfato de hierro, y la vitamina C como ácido ascórbico. Para la determinación de las concentraciones de los ingredientes de enriquecimiento, se consideró el requerimiento diario sugerido por el INN (2001) y se calcularon para un aporte del 25 % de este requerimiento, esto considerando que el producto elaborado no va a ser el único consumido por la persona en todo el día.

Para su preparación se mezcló la harina de plátano obtenida con agua en una relación de agua-harina 10:1. Una vez realizado la adición de agua, se

homogenizó el engrudo y se deshidrató en el deshidratador de doble tambor marca Sterling Speedtrol, Modelo 20, serial 810, Sterling Power System, Inc., Indiana, USA, a 75 psig. Una vez culminado el proceso de deshidratación, la harina deshidratada se molió en un pica-todo marca Oster, posteriormente, se colocaron los respectivos saborizantes (sal y azúcar) y se enriqueció con vitamina C, hierro y calcio. Una vez agregados todos los componentes, se colocó en una mezcladora por 30 minutos, se tamizó en un tamiz de 60 mesh y se almacenó en bolsas con doble cierre para su posterior análisis y utilización.

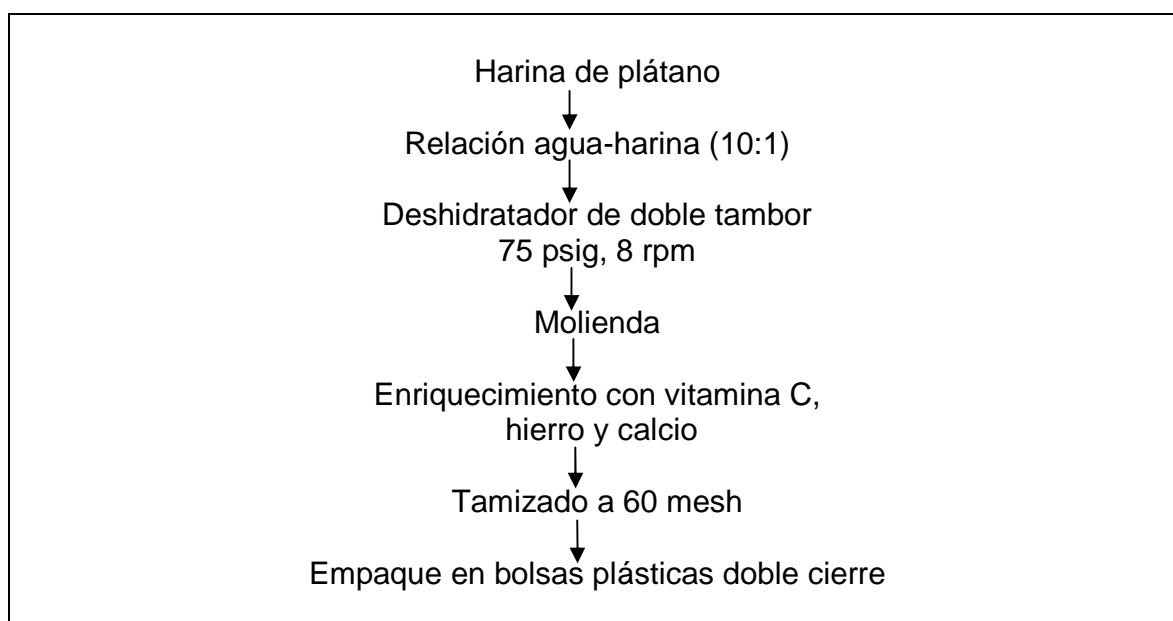


FIGURA 3. ESQUEMA TECNOLÓGICO DE FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DEL PRODUCTO CON BAJO CONTENIDO DE FENILALANINA

4.6.- Formulación y elaboración del producto de reconstitución a temperatura ambiente (instantáneo) con alto contenido de fenilalanina (PAF)

De igual manera que para el PBF, se utilizó como modelo y se adaptó la metodología descrita por Esquivel (1989) (Fig. 4) para la elaboración del producto

con alto contenido de fenilalanina. La formulación utilizada para el PAF, corresponde a una mezcla inicial de 70% harina de plátano ya secada en el deshidratador de doble tambor a 75 psig y 30% de leche completa (harina b).

Para la formulación final con alto contenido de fenilalanina, se mezcló la harina b (70% de harina y 30 % de leche) en una proporción de 68% con 31% azúcar, y 1% sal, harina codificada como PAF. Se procedió de la misma manera que para la formulación del producto alimenticio con alto contenido de fenilalanina, harina codificada como PAF, con la diferencia que a la harina de plátano verde, una vez que se ha colocado en el deshidratador de doble tambor, se le agregó leche completa comercial, para aumentar el contenido proteico, y no se enriqueció con vitamina C, hierro y calcio, esto último debido a que la leche completa ya contiene calcio, y la vitamina C al ser adicionada en el producto, da un sabor amargo al mismo.

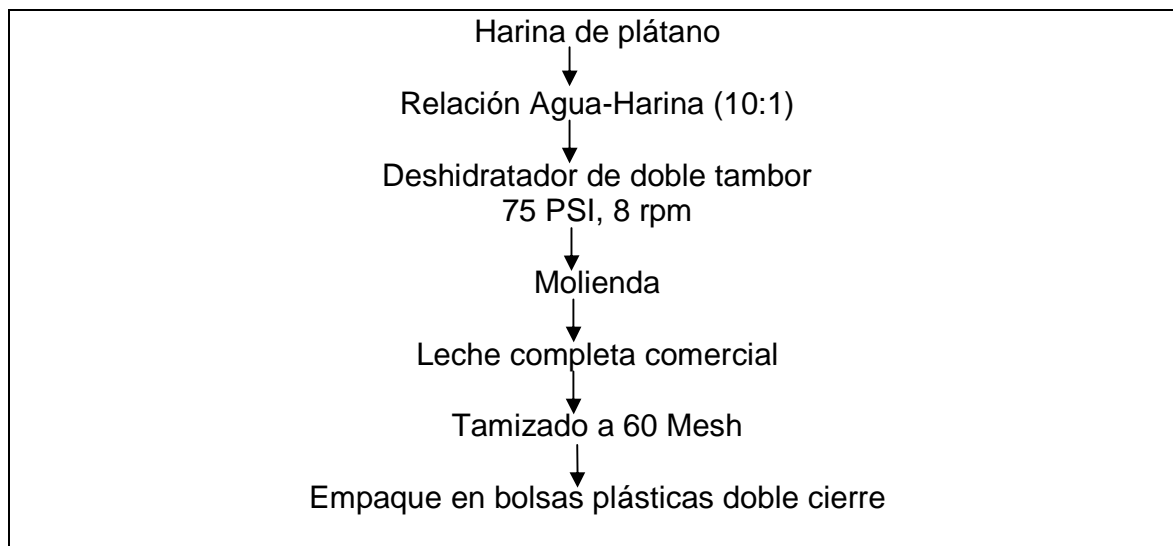


FIGURA 4. ESQUEMA TECNOLÓGICO DE FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DEL PRODUCTO CON BAJO CONTENIDO DE FENILALANINA.

4.7.- Evaluación de los parámetros de calidad de los productos elaborados

Los siguientes análisis químicos se realizaron según los métodos oficiales descritos por la AACCC del año 1993: Humedad, N° 44-19, proteína cruda (%N x 6,25), N° 46-13, cenizas N° 08-17. Carbohidratos totales por diferencia según la fórmula $100 - (\text{humedad} + \text{ceniza} + \text{grasa} + \text{proteínas})$.

Se calculó en cada producto las calorías totales aportadas por cada 100 g de alimento; para ello se emplearon los factores 4, 9 y 4 para proteínas, grasa y carbohidratos, respectivamente. (INN, 2001)

La caracterización físico-química de los productos elaborados es decir, la acidez titulable y pH, se realizaron según los métodos oficiales de la AACCC (1993) N° 02-52 y 02-31, respectivamente.

La granulometría se realizó utilizando un juego de tamices ASTM, equivalentes a 40, 60, 80 y 120 mesh. Color se llevo a cabo siguiendo la metodología descrita en el manual de laboratorio del Hunter (2001), empleando un colorímetro marca Hunter, modelo D- 2T ADP- 9000, equipado de una placa estándar con los parámetros $L = 94.64$, $a = -1.24$ y $b = 2.27$.

La consistencia se realizó utilizando un consistometro Boswick, la cual se reportó como el recorrido en centímetros en un tiempo de 30 segundos. La viscosidad se determinó usando un viscosímetro Brookfield (modelo DV-II+ DV-II+ Pro, Middleboro, USA), en una suspensión acuosa de harina de plátano calentadas a 30 y 50°C, (Smith, 1967).

Las propiedades viscoamilográficas se realizaron a través de la interpretación de las curvas amilográficas que se obtuvieron en un amilográfico Brabender. El análisis gráfico de los amilogramas resultantes se efectuó de acuerdo al método descrito por Mazur y col. (1957).

La densidad se determinó según el método descrito por Subramanian y Viswanathan (2007). Para esto, se tomó un cilindro graduado de 100ml, previamente pesado y se aforado, luego se añadió la muestra al cilindro y se peso. La densidad se determinó a partir de la relación de masa a volumen del contenido del cilindro. El índice de absorción de agua (IAA) se realizo según el método descrito por Anderson (1982), de igual manera como se hizo para la harina de plátano.

Las determinaciones de calcio se realizaron mediante espectrofotometría de emisión de luz. El hierro se determinó por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica método de la AOAC 963.09 del año 1990. Por otro lado, la determinación de ácido ascórbico se realizo mediante la metodología descrita por la AACC 86-10 (1993).

El perfil de aminoácidos y el contenido de fenilalanina se determinaron de la misma manera que se realizó para la harina de plátano, utilizando la técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC, por sus siglas en ingles). (Weiss y col 1998).

4.8.- Evaluación sensorial

Se utilizó el método preferencial con escala hedónica verbal de 9 puntos para realizar la evaluación sensorial de los productos elaborados, usando como control un atol instantáneo del mercado. Los parámetros sensoriales evaluados fueron, color, aroma, sabor y aceptación global del producto. Las pruebas fueron realizadas en el Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos (ICTA) en las cabinas de evaluación sensorial. La escala hedónica anexa a la prueba, incluye valores comprendidos de 1 a 9; (1) “me disgusta extremadamente” y (9) “me gusta extremadamente” y un punto neutro (5) que corresponde a “me es indiferente”, los resultados obtenidos se sometieron a un análisis estadístico Anova y posteriormente Duncan. Se conto con un total de 30 panelista de 20 años en adelante. Los códigos utilizados para la evaluación fueron 178 para el producto con bajo contenido de fenilalanina, 343 para el producto con alto contenido de fenilalanina y el control.

4.9.- Análisis estadísticos

Los resultados reportados son los promedios de tres determinaciones, y se calculo la desviación estándar de cada uno de ellos. La evaluación sensorial se evaluó mediante un análisis de varianza a una vía utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS versión 5.1. A las muestras que presentaron diferencias o efectos significativos se les realizó la prueba de rango múltiple de Duncan, para determinar en el caso que fue necesario, cuales muestras fueron diferentes estadísticamente a un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0,05$).

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- Evaluación de las características físicas y morfológicas del plátano

La Tabla 3 resume la evaluación de las características físicas y morfológicas de los plátanos utilizados para la elaboración de la harina. Como se puede observar, cada parámetro evaluado presenta una alta desviación estándar, indicando el grado de dispersión que hay en cada uno de estos parámetros, siendo el peso de los plátanos el que presenta una mayor desviación estándar. Esto debido a la gran variabilidad que hay entre cada fruto evaluado. Estos parámetros son de suma importancia para la construcción de equipos automáticos y semiautomáticos que podrían ser utilizados industrialmente para la elaboración de harinas a base de plátano verde.

TABLA 3. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOLÓGICAS DEL PLÁTANO

Arco exterior (cm)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Peso (g)
25,23 ± 2,57	15,39 ± 1,02	18,90 ± 2,36	340,17 ± 64,74

5.2.- Elaboración y caracterización de la harina de plátano

5.2.1.- Elaboración de la harina de plátano

La Tabla 4 muestra el rendimiento de la harina obtenida: 25,97%; este valor es similar al reportado por Aguirre y col. (2007), quienes procesaron 24,32 Kg de

plátano de la variedad *Musa paradisiaca* L. Obteniendo 6,17 Kg de harina, para un 25,37 % de harina de plátano. Este parámetro nos indica cuán productivo puede ser la elaboración de harina a base de plátano verde, el valor obtenido indica un alto porcentaje de rendimiento, tomando en cuenta que la pulpa de plátano verde posee un alto contenido de humedad (59%), por lo que se evidencia que hay poca pérdida durante el procesamiento e indica que sería muy rentable a nivel industrial, la elaboración de harinas utilizando un insumo nacional.

TABLA 4. RENDIMIENTO DE LA HARINA DE PLÁTANO OBTENIDA.

Plátanos Procesados (kg)	Pulpa Procesada (kg)	Harina Obtenida (kg)	Rendimiento (%)
61,95	37,17	16,09	25,97

Media \pm desviación estándar n=190

5.2.2.- Composición Química

En la Tabla 5 se presentan los resultados de la composición química de la harina de plátano, expresados en base seca; el contenido de humedad fue de 9,97%, el contenido de proteína cruda 2,35%, 0,51% de extracto etéreo, 2,18% en contenido de cenizas, 0,69% de fibra cruda, 84,75% de carbohidratos totales (por diferencia), 1,23% de azúcares reductores y 3,13% de azúcares no reductores.

Pacheco y col. (2008) reportan valores de 11,75% de humedad, 2,02% de cenizas 0,31% de grasa cruda, 3,08% de proteína cruda, 1,27% de azúcares reductores y 4,23% de azúcares totales para harina de plátano verde de la variedad hartón común, secada en deshidratador de bandeja de aire convencional.

Por otra parte, Pacheco (2001) reporta valores de 2% de cenizas para harina de plátano de la variedad *Musa paradisiaca* L. secada en deshidratador de bandeja con circulación de aire a 80°C, posible razón por la cual se obtuvo valores de 5,47% de humedad, 0,31% de grasa cruda, 3,80% de proteína cruda y 1,27% de azúcares reductores.

Aguirre y col. (2007) reportan valores de 12,6% de humedad, 4,64% de cenizas, de 3,24% de grasa cruda y 4,03% de proteína cruda para harina de plátano de la variedad *Musa paradisiaca* L. secada a 50 °C durante 3 días.

Juárez y col. (2006) reportan valores de 7,1% de humedad, 4,7% de cenizas, 2,7% de grasa cruda y 3,3% de proteínas para harina de plátano de la variedad *Musa paradisiaca* L. secada a 50 °C.

Estas diferencias encontradas se pueden deber a las regiones de cultivo, a las prácticas agronómicas empleadas, a las variedades estudiadas y al proceso de deshidratación usado para la elaboración de la harina (Cerqueira y col., 2004)

TABLA 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE PLÁTANO

COMPONENTE	%
Humedad	9,97 ± 0,06
Proteína cruda ^{a, c}	2,35 ± 0,04
Grasa cruda ^a	0,51 ± 0,06
Cenizas ^a	2,18 ± 0,09
Fibra cruda ^a	0,69 ± 0,02
Carbohidratos totales ^b	84.75
Azúcares reductores ^{a, d}	1,23 ± 0,06
Azúcares no reductores ^{a, e}	3,13 ± 0,06

Media ± desviación estándar n=3

a = % base seca

b = calculados por diferencia

c = N x 6,25

d=g de maltosa / 100 g de harina

e=g de sacarosa /100 g de harina

5.2.3.- Características físico-químicas

La caracterización físico-química de la harina de plátano, consistió en los ensayos de acidez titulable y determinación de pH. En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos, en la misma se observa un valor de 0,0042% de acidez expresado como porcentaje de ácido málico y con valores de pH de 5,31. Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, el color y en la estabilidad de los mismos. La determinación y control de pH es de gran importancia en las industrias de alimentos: en la utilización y control de microorganismos y enzimas.

Los análisis de gravimetría para la determinación de la densidad arrojaron como resultado una densidad de 0,48 g/ml. La cuantificación de la densidad en las harinas permite el establecimiento de la propiedad de las harinas funcionales, con relación al transporte y el almacenamiento, también es importante en el diseño de maquinarias. (Pacheco y col., 2008)

Pacheco y col. (2008) reportan valores muy similares de pH=5,1 y densidad 0,71 g/ml para la harina de plátano de la variedad *Musa paradisiaca normalis* secada en deshidratador de bandejas. La consistencia del gel desarrollada por la harina de plátano fue de 40 mm y se obtuvo un índice de absorción de agua de 3,32 g de gel/ g de muestra.

TABLA 6. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA HARINA DE PLÁTANO

CARACTERÍSTICAS	HARINA DE PLÁTANO
Acidez Titulable a	0,0042 ± 0,04
pH	5,31 ± 0,09
Densidad (g/ml)	0,48 ± 0,07
Consistencia (mm)	40 ± 0,03
Índice de Absorción de Agua (g de gel/g de muestra)	3,32 ± 0,02

Media ± desviación estándar n=3
a= expresado como porcentaje de ácido málico

5.2.4- Características físicas: color y granulometría

En la Tabla 7 se observan los valores obtenidos del color de la harina de plátano, el cual fue medido usando el colorímetro Hunter. Se midieron los tres parámetros de color L*, a*, b*. El parámetro L* mide la reflexión total de luz cuando ésta incide en ángulo de 45 °C; si la muestra es blanca la reflectancia será 100 y si es negra será cero. El valor obtenido para este parámetro fue L* = 87,06.

El parámetro a* mide el matiz e indica la longitud de ondas predominante, valores negativos de a* mide el verde, en tanto, los positivos, el rojo, el valor obtenido para este parámetro fue a*= 1,58. El parámetro b* mide la intensidad del color y va del azul si el valor es negativo, y amarillo si el valor es positivo (Hunter, 2001), el valor obtenido fue b*=9,96. Por último, el índice de blancura, indica la blancura total de la muestra, el cual fue IB = 83,59, siendo este valor menor que el parámetro L*.

Estos resultados indican que la harina de plátano presenta un color blanco amarillento. El color es un parámetro físico importante en la calidad de las harinas (Pacheco y col., 2008)

TABLA 7. COLOR DE LA HARINA DE PLÁTANO

Parámetro	Harina de Plátano
L*	87,06
a*	1,58
b*	9,96
IB	83,59

L: negro=0, blanco=100; a*: + = rojo, - = verde; b*: + = amarillo, - = azul
IB = Índice de blancura

Los resultados de la granulometría para la harina de plátano se muestran en la Figura 5; los mismos indican un porcentaje de partículas que presentan un tamaño de 40 mesh = 12,5%, 60 mesh = 3,6%, 80 mesh = 33,4%, 120 mesh 4,3% y mayor a 120 mesh= 46,2%, siendo este último el que presenta un mayor porcentaje, lo cual se debe, posiblemente al proceso de molienda utilizado. La granulometría de una harina representa un parámetro de calidad, ya que indica el tamaño de partículas predominantes en la misma, siendo el tamaño de 60 mesh el estándar establecido por todas las industrias de alimentos.

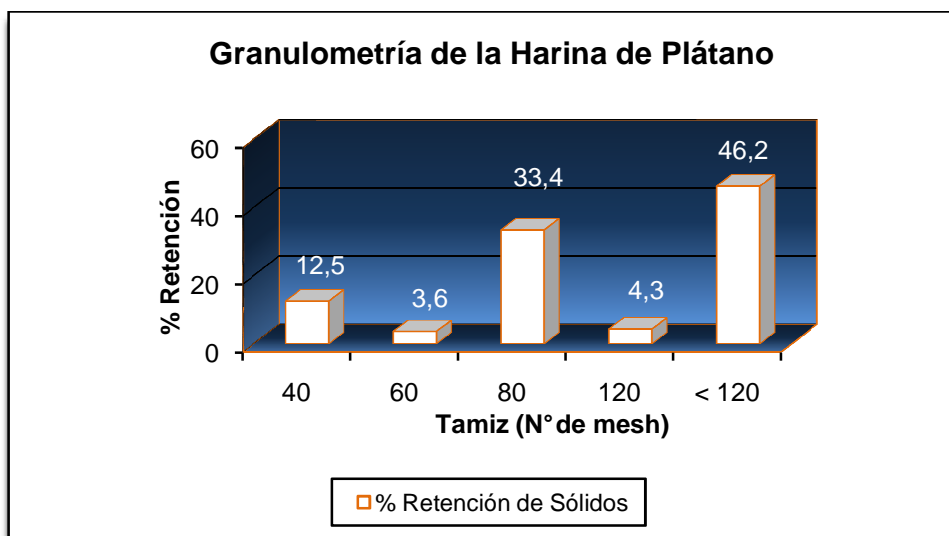


FIGURA 5. GRANULOMETRÍA DE LA HARINA DE PLÁTANO

5.2.5.- Características Reológicas

Los resultados de la viscosidad aparente medida, a 30 y 50 °C, medida en un viscosímetro brookfield con la aguja # 4 se muestran en la Figura 6. En general, el comportamiento de la harina de plátano a 30 y 50 °C muestra una misma tendencia de disminución de la viscosidad al aumentar la fuerza de corte, siendo menores los valores de viscosidad a 50 °C, con respecto a la curva de 30 °C. La muestra alcanzó valores máximos de viscosidad de 82.444 cP y 88.166 cP y mínimos de 10.960 cP y 12.173 cP para 50 y 30 °C, respectivamente. La viscosidad es el principal parámetro que caracteriza las propiedades de flujo de fluidos, tales como líquidos y semi-sólidos. La muestra de harina de plátano se comporta como un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico, ya que las curvas de viscosidad descritas cumplen con una tendencia exponencial.

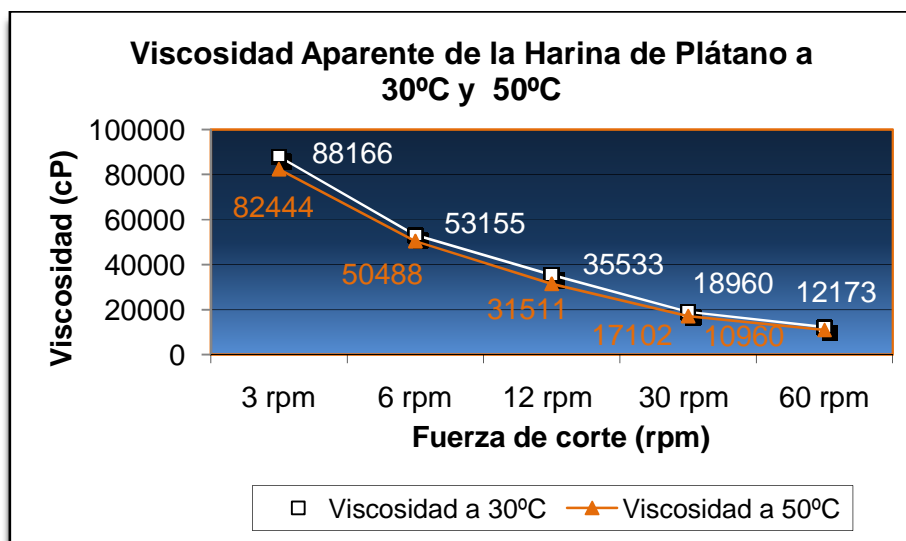


FIGURA 6. VISCOSIDAD APARENTE DE LA HARINA DE PLÁTANO

El perfil de gelatinización de la harina de plátano se realizó a una concentración del 6%, los resultados se muestran en la Figura 7 y la Tabla 8.

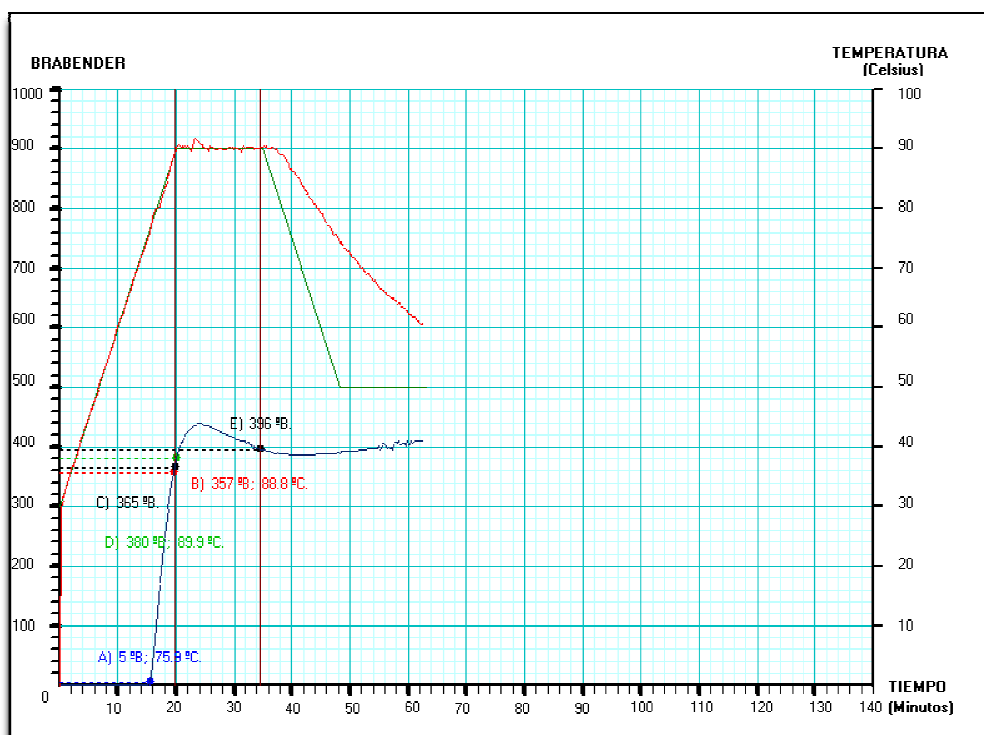


FIGURA 7. AMILOGRAMA DE LA HARINA DE PLÁTANO EN (6%)

TABLA 8. CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS PARA LA HARINA DE PLÁTANO MEDIDAS EN EL AMILÓGRAFO BRABENDER

PARAMETROS	HARINA DE PLÁTANO
Viscosidad inicial (UB) (A)	5
Temperatura inicial de Gelatinización (°C)	75,9
Pico de Viscosidad máxima (B)	440
Temperatura pico máximo de viscosidad	91
Viscosidad a 90°C (C)	365
Viscosidad a 90°C x 30 min (D)	396
Viscosidad a 50°C (E)	396
“Breakdown” o estabilidad (B-D)	44
“Setback” o asentamiento (E-D)	0

Un amilograma registra las modificaciones de la viscosidad de una suspensión de agua y harina, durante el calentamiento lento. Cuando una suspensión acuosa de almidón se calienta empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas del almidón, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrogeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua, el gránulo comienza a hincharse, aumentar de volumen y empieza a perder su birrefringencia (Dergal, 1999).

Los resultados encontrados indican que la harina de plátano desarrolló una viscosidad inicial de 5 UB a 76,9 °C, siendo el pico de viscosidad máxima de 440 UB, a 91 °C; este parámetro representa la gran capacidad que tiene el almidón de plátano de hincharse antes de romperse, indicando de esta manera que los enlaces intermicelares del gránulo de almidón son resistentes. Garcea y Cal

(1992) señalan que el incremento de la viscosidad durante las etapas iniciales de gelatinización, depende de diversos factores como son los tipos y la magnitud de las fuerzas que mantienen la estructura del almidón, por otra parte, Hoover y col. (1985) indican que también dependen del poder de hinchamiento de los gránulos y de la lixiviación de la amilosa, citados por Achundia (2005).

El calentamiento al inicio de los 90 °C fue de 365 UB a los 20 min, esto indica que la ruptura de los almidones se inicia antes de llegar a la temperatura final de gelatinización. La viscosidad después de calentar a 90 °C durante 30 min corresponde a 396 UB; este valor se mantuvo por debajo con respecto al pico de viscosidad máxima y la viscosidad después de ser enfriada a 50°C, es de 396 UB.

El “breakdown” (B-D) arrojó un valor de 44 UB, este fenómeno da una cuantificación de la estabilidad de los gránulos de almidón, valores cercanos a 0 UB indican una mayor estabilidad del gránulo de almidón. Rasper (1980) citado por Anchundia (2005), indica que el “breakdown” es un índice de fragilidad de los gránulos de almidón durante el calentamiento frente a determinadas fuerzas de corte y lo definió como la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad al final del período de calentamiento mientras mayor sea el “breakdown” menor será la estabilidad frente a las fuerzas de cortes durante el periodo de calentamiento. En cuanto al “Setback” o asentamiento (E-D), se registro un valor de 0 UB. Se presume que la harina de plátano tiene baja capacidad de formar geles y menor tendencia a retrogradar en comparación con el almidón puro.

5.2.6- Contenido de Aminoácidos de la harina de Plátano

En la tabla 9 se observan los resultados obtenidos de la determinación de aminoácidos de la harina de plátano, se obtuvo un contenido de fenilalanina de 0,049%, siendo este valor mayor que el reportado por, Buckley y Sullivan (1964) los cuales determinaron mediante extracción con etanol acuoso 0,17% en el contenido de fenilalanina y el reportado por, Brady y col. (1970) quienes extrajeron con ácido tricloroacético frío, 0,1% de fenilalanina en la pulpa de banano, estas diferencias se pueden deber a la variedad en estudio así como el método utilizado para la determinación de aminoácidos.

Los niveles de tolerancia de fenilalanina en las personas fenilcetonúricas son de: Niños de 6 meses, 50 - 80 mg/kg/día, de 6 meses - 2 años, 30 - 60 mg/kg/día, de 2 años a 4 años 15 - 40mg/kg/día y de 4 años, 7 - 25 mg/kg/día. Como se aprecia el valor obtenido para este aminoácido se encuentra por debajo de los niveles de tolerancia permitido, por lo cual permite utilizar la harina de plátano para la elaboración de productos para personas fenilcetonúricas.

TABLA 9. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE LA HARINA DE PLÁTANO.

Aminoácido	% de aminoácidos
Ác. Aspártico	0,079
Treonina	0,041
Ác. Glutámico	0,125
Glicina	0,052
Alanina	0,056
Valina	0,057
Metionina	0,017
Isoleucina	0,034
Tirosina	0,032
Fenilalanina	0,049
Lisina	0,057
Histidina	0,052
Arginina	0,131

5.3.- Elaboración y caracterización de los parámetros de calidad de los productos elaborados.

Para la elaboración de las mezclas para atol, una vez secada la harina en el deshidratador de doble tambor, se procedió a la incorporación de los saborizantes (sal y azúcar), donde se evaluó la concentración de cada componente, para esto se realizaron una serie pruebas como se observa en las Tablas 10 y 11 en donde se agregó azúcar y sal en distintas concentraciones. La evaluación y selección fue realizada por un panel a nivel de laboratorio. En estos ensayos, se seleccionó el nivel de dulzura adecuado, así como la consistencia óptima para obtener la mezcla ideal característica de un producto tipo para el atol. La mezcla ideal para la harina codificada como PBF fue la prueba numero 7, la cual contenía 38,5% de azúcar, 0,5% de sal y 61% de harina de plátano pregelatinizada.

TABLA 10. CONCENTRACIÓN DE INGREDIENTES PARA EL PRODUCTO CON BAJO CONTENIDO DE FENILALANINA (PBF)

Pruebas	Azúcar (%)	Sal (%)	Harina de plátano Pregelatinizada (%)	Respuesta
1	15	0,5	84,5	Falta de Azúcar
2	20	0,5	79,5	Falta de Azúcar
3	25	0,5	74,5	Falta de Azúcar
4	30	0,5	69	Falta de Azúcar
5	35	0,5	64	Falta de Azúcar
6	40	0,5	59	Mucha Azúcar
7	38,5	0,5	61	Ideal de Azúcar y Sal

La mezcla ideal para la harina codificada como PAF fue la prueba número 6 que contenía 31,5% de azúcar, 0,5% de sal y 68% de harina de plátano pregelatinizada

TABLA 11. CONCENTRACIÓN DE INGREDIENTES PARA EL PRODUCTO CON ALTO CONTENIDO DE FENIALALNINA (PAF)

Pruebas	Azúcar (%)	Sal (%)	Harina de plátano Pregelatinizada + leche (%)	Respuesta
1	15	0,5	84,5	Falta de Azúcar
2	20	0,5	79,5	Falta de Azúcar
3	25	0,5	74,5	Falta de Azúcar
4	30	0,5	69	Falta de Azúcar
5	35	0,5	64	Mucha Azúcar
6	31,5	0,5	68	Ideal de Azúcar y Sal

5.3.1 Evaluación de los parámetros de calidad

En la Tabla 12 se presentan los resultados de la composición química de los productos elaborados, expresados en base seca, excepto la humedad. El contenido de humedad fue de 4,77% y 4,10 %; proteína cruda, 1,65% y 5,49%; cenizas, 4,03% y 3,46% los productos PBF y PAF, respectivamente.

Como se puede observar en la tabla 12, el PAF presenta mayor contenido de proteína que el PBF, siendo esta diferencia estadísticamente significativa, debido a que este último no fue mezclado con leche para aumentar el contenido proteico, como sí se hizo para el PAF.

Los alimentos con alto contenido proteico son de gran valor nutricional, ya que las proteínas son macromoléculas que sirven como componentes estructurales de células y tejidos, de modo que el crecimiento y conservación de los organismos dependen del aporte adecuado de estos compuestos; adicionalmente, muchas proteínas fungen como enzimas, moléculas que regulan millares de reacciones químicas distintas que ocurren en el organismo vivo. Asimismo, se reporta que ambos productos presentan un aporte energético similar, 364,84 Kcal/100g y 374,2 Kcal/100g para el PBF y PAF respectivamente.

TABLA 12. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS PRODUCTOS ELABORADOS

Componente	PBF (%)	PAF (%)
Humedad	4,77 ± 0,06 ^a	4,10 ± 0,03 ^b
Proteína a, b	1,65 ± 0,04 ^a	5,49 ± 0,03 ^b
Cenizas a	4,03 ± 0,06 ^a	3,46 ± 0,02 ^a
Carbohidratos Totales	89,56	86,95
Calorías (Kcal/100g)	364,84	374,2

Media ± desviación estándar n=3

PBF: Producto bajo contenido de fenilalanina

PAF: Producto alto contenido de fenilalanina

a = % base seca

b = N x 6,25

La misma letra en la misma fila indica que no hay diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Letras distintas en la misma fila indica que son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En la Tabla 13 se presentan los resultados obtenidos de las características fisicoquímicas de los productos elaborados; en la misma se observa valores de 0,005% y 0,004% de acidez para el PBF y para el PAF, respectivamente. En lo que respecta el pH se observa una diferencia significativa, siendo el valor de pH

del PAF (5,93) mayor que el del PBF (4,65), ya que este último se enriqueció con ácido ascórbico y, por esta razón, se observa una disminución notable en el pH. En cuanto al producto con alto contenido de fenilalanina, los valores de pH son muy parecidos a las de la harina de plátano sin pregelatinizar (5,31).

Los análisis de gravimetría para la determinación de la densidad arrojaron como resultado una densidad de 0,43 g/ml y 0,44 g/ml para el PBF y el PAF respectivamente, en comparación con la HP, la cual registró una densidad de 0,49 g/ml son valores muy parecidos, sin embargo, Pacheco y col. (2008) citan a Thomas y Atwell (1999), los cuales indican que cuando se usa un deshidratador de doble tambor el proceso de gelatinización que sufre la harina afecta considerablemente la densidad de las harinas, debido a que se pierde completamente la estructura granular del almidón; adicionalmente, este sufre un reordenamiento que conduce a la reducción del peso por unidad de volumen.

El índice de absorción de agua (IAA) determinado para los productos elaborados fue de 5,49 g de gel/g de muestra y 5,64 g de gel /g de muestra para el PBF y PAF, respectivamente; el IAA se puede utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos. El almidón gelatinizado es más soluble, que el almidón nativo, por esta razón los valores de IAA obtenidos para el PAB y PAF, son mayores que para la harina de plátano (3,37g de gel/g de muestra). La determinación de la consistencia permite clasificar los distintos almidones de acuerdo a su contenido de amilosa, se obtuvieron valores de consistencia de 11,37 mm y 10,1 mm para el PBF y PAF respectivamente.

TABLA 13. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS PRODUCTOS ELABORADOS

CARACTERÍSTICAS	PBF	PAF
Acidez Titulable	0,005 ± 0,07 ^a	0,004 ± 0,06 ^a
pH	4,65 ± 0,04 ^a	5,93 ± 0,05 ^b
Densidad (g/ml)	0,43 ± 0,04 ^a	0,44 ± 0,04 ^a
Consistencia (mm)	10,1 ± 0,14 ^a	11,37 ± 0,21 ^b
Índice de absorción de agua (g de gel/g muestra)	5,94 ± 0,02 ^a	5,64 ± 0,04 ^a

Media ± desviación estándar n=3

PBF: Producto con bajo contenido de fenilalanina

PAF: Producto con alto contenido de fenilalanina

La misma letra en la misma fila indica que no hay diferencias significativas. ($p \leq 0,05$)

Letras distintas en la misma fila indica que son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En la Tabla 14 se observan los valores obtenidos del color de las mezclas elaboradas, el cual fue medido de la misma manera que se hizo para la harina de plátano. Los valores obtenidos fueron $L^* = 87,52$ y $87,09$, $a^* = 1,79$ y $1,53$, $b^* = 8,08$ y $9,68$, respectivamente. El índice de blancura obtenido para el PAF ($83,79$) es similar al de la harina de plátano ($83,59$) en cambio el del PBF ($85,03$) es mayor, esto se puede deber a los componentes utilizados para el enriquecimiento del producto como el calcio, así como la adición de la azúcar. Con lo registrado se puede decir que al igual que para la harina de plátano, las mezclas elaboradas presentan un color blanco amarillento.

TABLA 14. COLOR DE LOS PRODUCTOS ELABORADOS

PARÁMETRO	PBF	PAF
L^*	87,52	87,09
a^*	1,79	1,53
b^*	8,08	9,68
IB	85,03	83,79

L: negro=0, blanco=100; a^* : + = rojo, - = verde; b^* : + = amarillo, - = azul

IB= índice de blancura

PBF: Producto con bajo contenido de fenilalanina

PAF: Producto con alto contenido de fenilalanina

Los resultados de la granulometría para los productos elaborados se muestran en la Figura 8; en general, ambas muestras presentan la misma tendencia, se obtuvo un porcentaje de partículas de tamaño 40 mesh = 15,7% y 4,8%, 60 mesh = 11,9% y 12,1%, 80 mesh 13,7% y 12,8%, 120 mesh = 8,7% y 8,2% y partículas de tamaño mayor a 120 mesh = 50 % y 62,1% para el PBF y PAF, respectivamente. Ambas muestras presentan un mayor porcentaje de partículas de tamaño mayor a 120 mesh. Este parámetro indica cuán homogéneo es el tamaño de las partículas presentes en los productos elaborados, como se puede observar, ambos productos son bastantes homogéneos, ya que el mayor porcentaje de partículas son mayores a 60 a mesh.

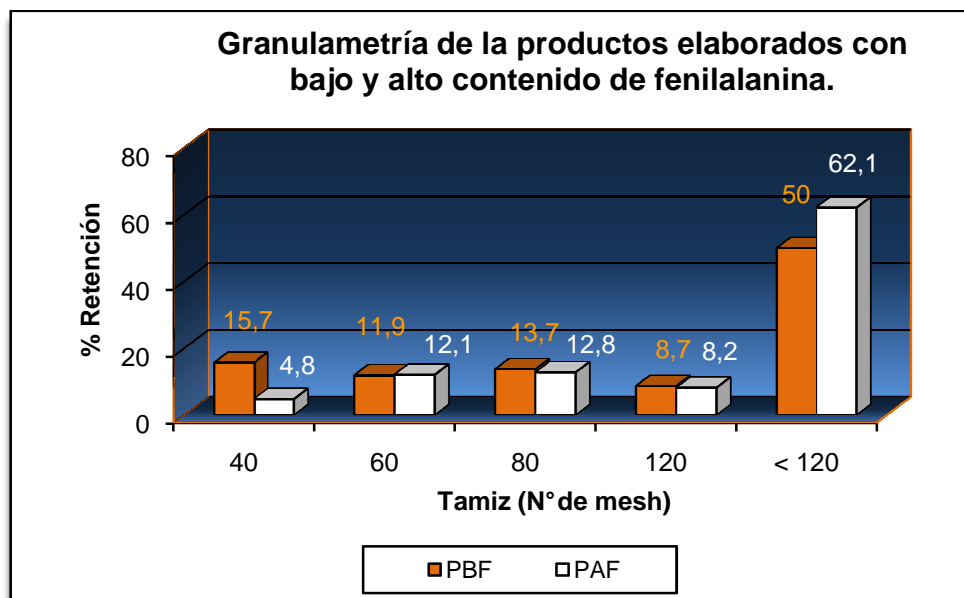


FIGURA 8. GRANULOMETRIA DE LAS PRODUCTOS ELABORADOS

PBF: Producto con bajo contenido de fenilalanina
PAF: Producto con alto contenido de fenilalanina

5.3.2.- Características Reológicas

Los resultados de la viscosidad aparente de PBF y PAF medida a 30 y 50 °C con la aguja # 4 se muestran en las Figuras 9 y 10 respectivamente. En general, el comportamiento de los productos elaborados a 30 y 50 °C muestran la misma tendencia de disminución de la viscosidad al aumentar la fuerza de corte, siendo menores los valores de viscosidad a 50 °C, con respecto a la curva de 30 °C. De igual manera que la harina de plátano los productos elaborados se comportan como un fluido pseudoplástico. Ya que las curvas de viscosidad descritas cumplen con una tendencia exponencial.

Los productos elaborados presentan una disminución en la viscosidad aparente con respecto a la harina de plátano; esto coincide con lo reportado por González y Pérez (2003), los cuales reportan una disminución de la viscosidad aparente en almidones de yuca pregelatinizados, en comparación con el almidón nativo.

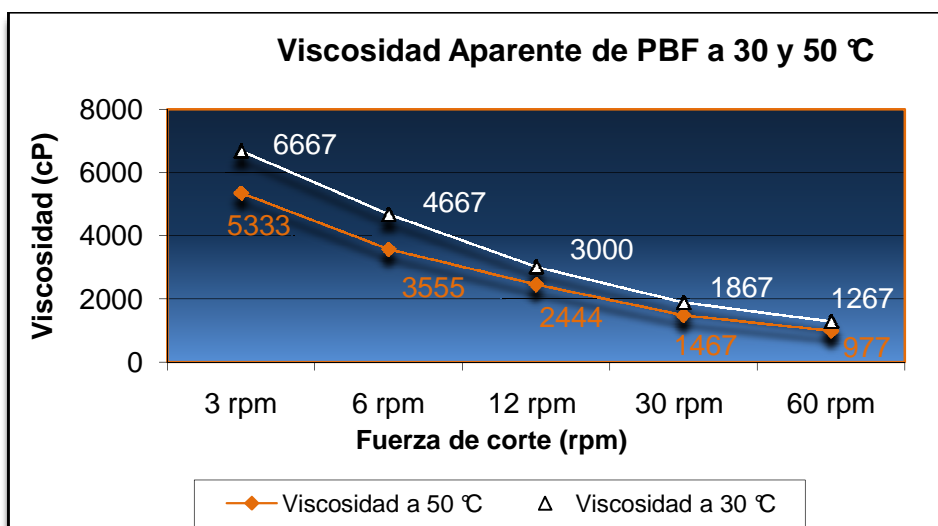


FIGURA 9. VISCOSIDAD APARENTE DEL PRODUCTO PBF

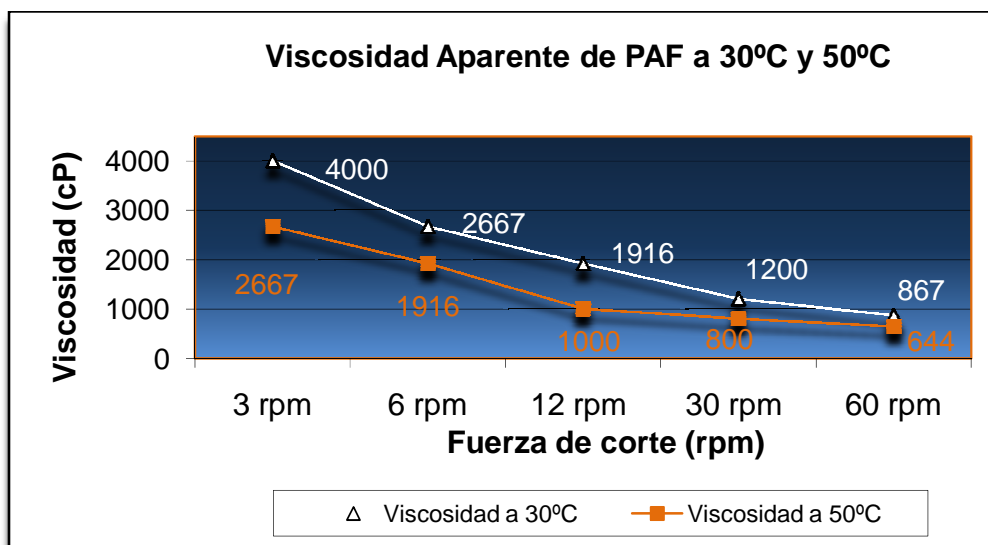


FIGURA 10. VISCOSIDAD APARENTE DEL PRODUCTO PAF

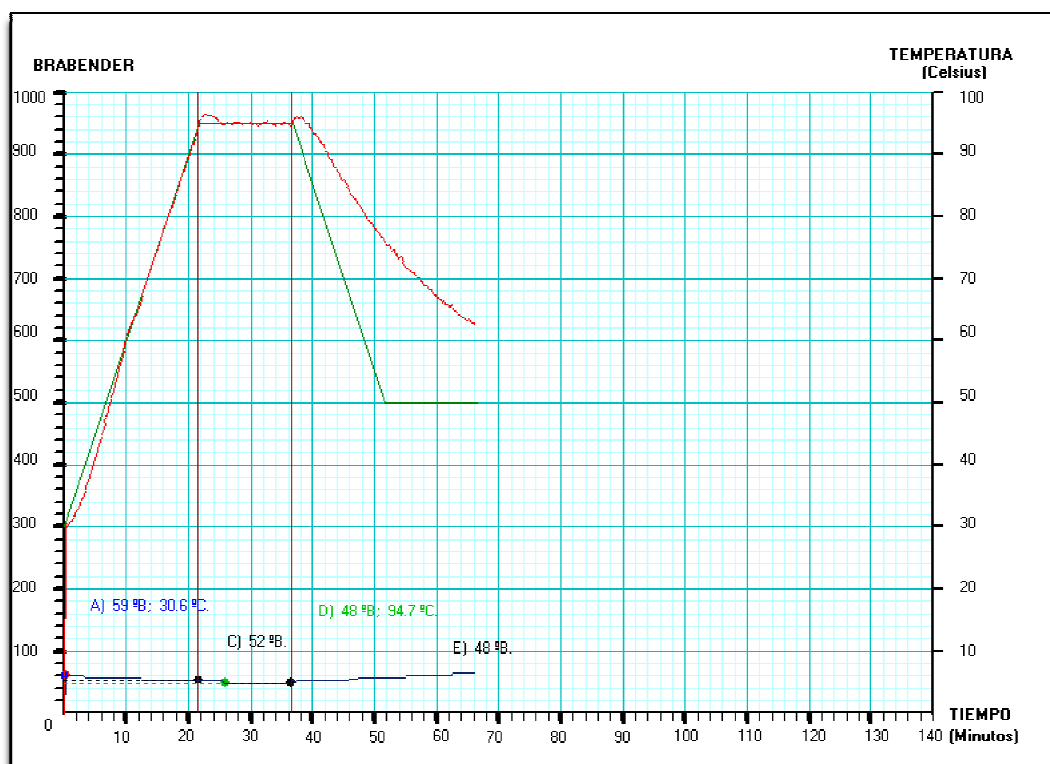


FIGURA 11. AMILOGRAMA DEL PRODUCTO ELABORADO PBF EN (9%)

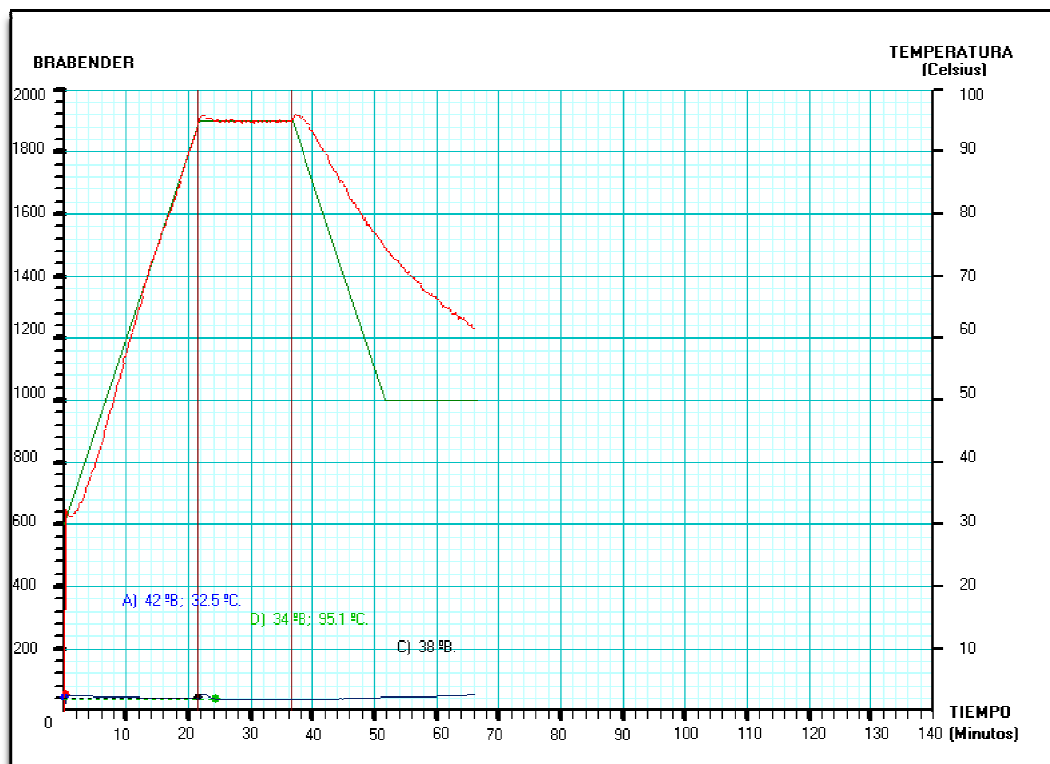


FIGURA 12. AMILOGRAMA DEL PRODUCTO ELABORADO PAF EN (9%)

TABLA 15. CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS MEDIDAS EN EL AMILÓGRAFO BRABENDER PARA LOS PRODUCTOS ELABORADOS PBF Y PAF

PARÁMETROS	PBF	PAF
Viscosidad inicial (UB) (A)	59	42
Temperatura inicial de Gelatinización (°C)	30,6	32,5
Pico de Viscosidad máxima (B)	NR	NR
Temperatura pico máximo de viscosidad	NR	NR
Viscosidad a 90°C (C)	52	38
Viscosidad a 90°C x 30 min (D)	48	34
Viscosidad a 50°C (E)	48	NR
“Breakdown” o estabilidad (B-D)	0	0
“Setback” o asentamiento (E-D)	0	0

Los resultados registrados en el amilografo brabender (Tabla 15, Figura 11 y 12), indican que los productos elaborados desarrollaron una viscosidad inicial de 59 UB a 30,6 °C y 42 UB a 32,9°C para el PBF y PAF, respectivamente, sin registrar pico de viscosidad máxima en ambas muestras; estos resultados encontrados son lo esperado, ya que los productos elaborados fueron sometidos previamente a un proceso de pre-gelatinización para obtener productos instantáneos. Es por esta razón que se alcanzan valores de viscosidad inicial mas a rápido a menos temperatura que la que se necesita para la harina de plátano sin pre-gelatinizar dando un producto viscoso, pero muy fluido.

El calentamiento al inicio de los 90 °C fue de 52 UB a los 21 min para el PBF y 38 UB a los 21 min para el PAF. La viscosidad después de calentar a 90 °C durante 30 min corresponde a 48 UB y 34 UB para el PBF Y PAF.

El fenómeno de “breakdown” (B-D) arrojó un valor de 0 UB para el PBF y el PAF, por lo que se puede decir que ambos productos presentan una gran estabilidad de los gránulos de almidón durante el calentamiento frente a determinadas fuerzas de corte. En cuanto al “Setback” o asentamiento (E-D), se registro un valor de 0 UB para el PBF y el PAF.

5.3.3.- Determinación del contenido de aminoácidos presente en los productos elaborados

Los resultados del contenido de aminoácidos en los productos elaborados se muestran en la Tabla 16, en donde se observa un contenido de fenilalanina de 0,36 y 2,23 mg/g de harina para el PBF y el PAF, respectivamente. Como se

puede observar, el PAF contiene mayor contenido del aminoácido fenilalanina en comparación con el PBF, debido a que a éste se le incorporó leche completa, para aumentar el contenido de proteínas y esta la razón por la cual se observa un aumento en este aminoácido en particular, así como en todos los demás aminoácidos presentes. También se debe destacar que de los 13 aminoácidos determinados en los productos, 8 son esenciales, es decir que no pueden ser sintetizados por el organismo, aumentando de esta manera el valor nutritivo de los productos elaborados.

TABLA 16. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE LOS PRODUCTOS ELABORADOS

Aminoácido	mg de a.a/g de harina PBF	mg de a.a/g de harina PAF
Ác. Aspártico	0,79	3,83
Treonina	0,26	1,74
Ác. Glutámico	0,91	6,88
Glicina	0,30	1,23
Alanina	0,31	1,74
Valina	0,50	2,89
Metionina	0,17	1,15
Isoleucina	0,20	1,70
Tirosina	0,29	2,1
Fenilalanina	0,36	2,23
Lisina	0,32	3,24
Histidina	0,27	1,30
Arginina	0,54	2,95

PBF: Producto con bajo contenido de fenilalanina
PAF: Producto con alto contenido de fenilalanina

5.3.4.- Determinación de minerales y vitamina C de los productos elaborados

Los resultados del contenido de hierro, calcio y vitamina C, en los productos elaborados se muestran en la Tabla 17, en donde se obtuvo un contenido de calcio de 0,06% y 0,065 %; 0,0123% y 0,0035% de hierro y 0,0376% y 0,0074%, de vitamina C para el PBF y el PAF, respectivamente. Estos valores alcanzados se encuentran 15% por debajo del 25% del requerimiento diario sugerido por el INN (2001).

Pacheco (2001) reporta valores de 0,0006% de calcio y 0,0013% de hierro, en harina de plátano verde, valores más bajos que los encontrados en los productos elaborados en este estudio, debiéndose a que estos últimos fueron enriquecidos con hierro y calcio. Por otra parte, Wall (2006) cita a Wimalasiri y Wills (1983), los cuales detectaron 0,0014 % de vitamina C en pulpa de plátano usando UV-Vis a 214 nm. Por otro lado, Wall (2006) cita a Vanderslice y col. (1990) quienes reportaron valores de 0,0033 % de vitamina C, utilizando la detección fluorométrico.

El sulfato de hierro es ampliamente utilizado para fortificar alimentos sólidos deshidratados que son conservados en envases térmicos aislantes de la humedad, como lo son las formulas infantiles. También es usado para fortificar harinas y productos panificados que se consuman rápidamente. (Alvares, 2003)

TABLA 17. CONTENIDO DE HIERRO, CALCIO Y VITAMINA C DE LOS PRODUCTOS ELABORADOS

Mineral y Vitamina	PBF	PAF
Calcio (%)	0,06 ± 0,01 ^a	0,065 ± 0,007 ^a
Hierro (%)	0,0123 ± 0,07 ^a	0,0035 ± 0,08 ^b
Vitamina C (%)	0,0376 ± 0,17 ^a	0,0074 ± 0,11 ^b

Media ± desviación estándar n=3

PBF: Producto con bajo contenido de fenilalanina

PAF: Producto con alto contenido de fenilalanina

La misma letra en la misma fila indica que no hay diferencias significativas. ($p \leq 0,05$)

Letras distintas en la misma fila indica que son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$)

5.3.5.- Evaluación sensorial de los productos elaborados

En la Tabla 18 se encuentran los resultados promedios de 2 evaluaciones realizadas a cada uno de los atributos sensoriales de los atoles elaborados, dentro de los que se incluyó: color, aroma, sabor y aceptación global.

La prueba se realizó en 2 grupos de 15 panelistas para la participación en total de 30 panelista; se les presentó las muestras en 3 vasos pequeños identificados con los códigos respectivos, 178 para el producto con bajo contenido de fenilalanina, 343 para el producto con alto contenido de fenilalanina y la muestra control.

En todos los casos se aceptó la característica de sabor de los atoles, en cuanto a la aceptación global el atol con alto contenido de fenilalanina y el control obtuvieron los máximos valores alcanzados de 7, mientras que el atol con bajo contenido de fenilalanina alcanzó un valor de 6.

Solo se encontró diferencias significativas en la característica de color del atol con bajo contenido de fenilalanina, en donde se obtuvo un valor de 4, el cual representa la respuesta “me disgusta ligeramente”. El color que se genera en este producto puede deberse a la presencia del hierro; de igual manera se tomaron todas las sugerencias recomendadas por los panelistas para la mejora del mismo, lo que se menciona en las recomendaciones.

TABLA 18. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LOS PRODUCTOS ELABORADOS

Muestra	Color	Aroma	Sabor	Aceptación global
Control	7 ^a	7 ^a	7 ^a	7 ^a
PBF (178)	4 ^b	6 ^a	7 ^a	6 ^a
PAF (343)	7 ^a	7 ^a	7 ^a	7 ^a

La misma letra en la misma columna indica que no hay diferencias significativas. ($p \leq 0,05$)

Letras distintas en la misma columna indica que son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$)

6.- CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos confirman la factibilidad de usar un proceso tecnológico sencillo para transformar y conservar por períodos de tiempo prolongados al plátano verde en forma de harinas para el desarrollo de productos con muy baja humedad.
- El uso de un insumo de producción nacional como lo es el plátano transformado en harina, disminuiría los costos de los alimentos dirigidos a pacientes fenilcetonúricos y, adicionalmente, mantendría una reserva de los mismos en el mercado.
- Las propiedades reológicas de la harina de plátano verde, indican una alta estabilidad de los gránulos de almidón en la harina durante el proceso de cocción a altas temperaturas, una condición importante para la transformación industrial.
- Tratar la harina de plátano en un deshidratador de doble tambor, le confiere a la harina la propiedad de un producto pre-cocido, de fácil y rápida reconstitución a temperatura ambiente, ventaja importante para los productos listos para comer.

- La harina de plátano precocida es un producto que puede ser utilizado en formulaciones para la elaboración de productos como bebidas instantáneas, en la cual se requiera un desarrollo rápido de viscosidad, sin que se necesite para ello de un proceso de cocción.

- El contenido de fenilalanina presente en la harina de plátano permite el desarrollo de diferentes productos destinados a personas fenilcetonúricas.

- El enriquecimiento con minerales y vitaminas, puede ocasionar posibles interacciones entre cada nutriente o con el alimento, trayendo como consecuencia cambios desagradables en las características sensoriales del alimento, los cuales pueden influir considerablemente en su aceptación por parte del consumidor.

- El atol elaborado con bajo contenido fenilalanina, es un producto que puede ser utilizado por los pacientes fenilcetonúricos, como complemento de su dieta diaria.

7.- RECOMENDACIONES

- Evaluar la biodisponibilidad de los minerales hierro y calcio, así como la vitamina C que fueron incorporados a los productos elaborados, y de esta manera determinar si son absorbidos completa o parcialmente por el consumidor.

- Evaluar el empaque adecuado para que los productos elaborados se conserven por mucho más tiempo.

- Realizar un tratamiento en la harina de plátano y en los productos elaborados a base de harina de plátano, para eliminar por completo el contenido de fenilalanina presente en los mismos.

- Mejorar el color del producto elaborado con bajo contenido de fenilalanina, así como adicionar saborizantes como chocolate, vainilla, para mejorar la aceptabilidad del mismo.

8.- BIBLIOGRAFÍA

1. AACC (American Association of Cereal Chemists). 1993. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Novena Edición. St. Paul, MInn USA.
2. Anchundia, M. 2005. Obtención de almidón acetilado de batata (*Ipomoea bata*) Caracterización y uso en la formulación de un producto alimenticio tipo pudín. Tesis de pregrado de la facultad de ciencias de la Universidad Central de Venezuela.
3. Anderson, R, 1982. Water absorption and Solubility and Amylograph Characterist of Roll-Cooked Small grain products. *Cereal Chem. Today*, **59(4)**: 265-269.
4. AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 1990. Oficial Methods of analysis of the AOAC. Decimo quinta Edición. Washington , USA.
5. Aparicio, A., Huicochea, E., Tovar, J., Suarez, F., Meraz, F., Bello, L. 2005. Resistant Starch-rich Powders Prepared by Autoclaving of Native and Lintnerized Banana Starch: Partial Characterization *Starch/Stärke* **57**: 405–412.
6. Aparicio, A., Sayago, S., Vargas, A., Tovar, J., Ascencio, T., Bello, L. 2007. Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich lintnerized banana starch. *J. Food Compos. Anal.* **20**: 175–181.
7. Aurore, G., Parfait, B., Fahrasmane, L. 2009. Bananas, raw materials for making processed food products, *Trends Food Sci.* **20**:78-91

8. Brady, C., Palmu, J., O'Connell, P., Smith, M. 1970. An increase in protein synthesis during ripening of banana fruit. *Phytochem.* **9**:1037-47.
9. Buckley, E., Sullivan, W. 1964. Report, Thayer Summer Science Programme, Thayer Academy, Braintree, Massachusetts.
10. Cagampang, G., Perez, C., Julio, B. 1973. A gel consistency for eating quality of Rice. *J. Food Sci. Agric.* **24(12)**: 1589-1594.
11. Cerqueira, S., Folqgatti, S., Mtasura, U., Cardoso, R. 2004. Evaluation of dehydrated banana obtained from fruits of different genotypes. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **40(6)**: 573-579.
12. Chin-Lin Hsua, Wenlung Chenb, Yih-Ming Wenga, Chin-Yin Tsenga. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chem.* **83**: 85–92.
13. Da Mota, V., Lajolo, M., Ciacco, C., Cordenusi, R. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch/Starke*, **52**: 63-68.
14. Dergal, S. 1999. Química de los alimentos. 3^{era} edición Longman de México, S.A México- México 648 p.
15. Esquivel, M. 1989. Elaboración de harinas precocidas de maíz para preparar chichas instantáneas. Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
16. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2003. FAOSTAT statistics database, Agriculture, Rome, Italy.

17. González. Z., Pérez E. 2003. Evaluación Físicoquímica Y Funcional De Almidones De Yuca (*Manihot Esculenta* Crantz) Pregelatinizados Y Calentados Con Microondas. *Acta Cien. Ven.* **54**: 127-137.
18. Gwanfogbe, P.N., Cherry, J.P., Simmons, J.G., James, C. 1998. Funtionality and Nutritive Value Of composite Plantain (*Musa paradisiaca*) Fruit and Glandless Cottonseed Flours. *Tropic Sci.* **28**: 51-66.
19. Hernández. M. 2001. Alimentación Infantil. Tercera edición. Editorial Díaz de Santos, España.
20. Hunter Laboratory Manual. 2001. Hunter Associates Laboratory Universal software version 3.8 ISO 9001 certified. Hunter Associates, USA.
21. I.N.N (Instituto Nacional de Nutrición) 2001. Tabla de Composición de Alimentos. Serie Cuadernos Azules. Ministerio de Salud y Desarrollo Social. Caracas, Venezuela. **52**: 61
22. Juárez, E., Agama, E., Yago, S., Rodríguez, G., Bello, L. 2006. Composition, Digestibility and Application in Breadmaking of Banana Flour. *Plant Food Hum Nutr.* **61**: 131–137.
23. Kayisu, K., Hood, L., y Vansoest, P. 1981. Characterization of starch and fiber of banana fruit. *J. Food Sci.* **46**: 1885-1890.
24. Lehninger, A., Nelson, D., Cox, M. 2004. Principles of Biochemistry. Segunda Edición. Editorial Worth. New York, U.S.A.

25. Mahfoud, A., Lucca, M., Domínguez, C., Arias, I., Casique, L., Araujo, K., Rodríguez, T., Bottaro, M., Colmenares, A., López, M., Merzon, R. 2008. Hallazgos clínicos y espectro mutacional de pacientes venezolanos con diagnóstico tardío de fenilcetonuria. *Neurol.* **47**:5-10
26. Martínez, O., Sáyago, S., Ágama, E., Goñi, I., Bello, L. 2008. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chem.* **113 (1)**: 121-126.
27. Mazur, E., Schoch, T., Kite, F. 1957. Graphical analysis of the brabender viscosity curves of the various starches. *Cereal Chem.* **34(8)**: 141-151.
28. Pacheco, E. 2001. Evaluación nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde. Digestibilidad *invitro* de almidón. *Acta Cien. Ven.* **52**: 278-282.
29. Pacheco, E. 2002. Evaluación nutricional de hojuelas fritas y estudio de la digestibilidad del almidón del plátano verde (*Musa spp.*) *Revista de la Facultad de Agronomía.* (Maracay) **28**:175-183.
30. Pacheco, E., Maldonado, E., Pérez, E., Schroeder, M. 2008. Production and Characterization of Unripe Plantain (*Musa paradisiaca* L.) Flours. *Interciencia* **33(4)**: 209-296.
31. Pelayo R. 2000. Diccionario Enciclopédico. Octava edición. Editorial Larousse México D.F.
32. Pinto, F., Antoni, M. 1986. Manual de Practicas De Fruticultura. editorial IICA, San José (Costa Rica). ISBN92-9039-074-3 92-9039-074-3.

33. Rouse, B., Azen, C. 2004. Effect of high maternal blood phenylalanine on offspring congenital anomalies and developmental outcome at ages 4 and 6 years: the importance of strict dietary control preconception and throughout pregnancy. *J. Pediatr.* **144**:235-9
34. Schoch, T. 1964. Fatty substances in starch. In methods in carbohydrate chemistry. (Wistler. R. L. Ed.). New York: Academy Press. **5**:56-61.
35. Sharrock, S. 1997. The banana and its relatives. Focus paper III. Networking banana and plantain. Annual Report. INIBAP. pp, 52-55.
36. Sharrock, S., Charlotte, L. 2000. Nutritive Value of Banana. Networking banana and plantain. Annual Report. INIBAP. pp, 28-31.
37. Smith, R. 1967. Characterization and analysis of starches. En Starch: Chemistry and Technology. (R. L. Whistler y E. F. Paschall, Ed.) New York: Academia Press. **2**: 569-635.
38. Solomon, E., Berg, L., Martin, D., Ville. C. 2000. Biología de Ville. Cuarta edición. Editorial Mcgraw-Hill intermamericana. Distrito Federal, México.
39. Subramanian, S., Viswanathan., R. 2007. Bulk density and friction coefficients of selected minor millet grains and flours. *J. Food Eng.* **81**: 118-126.
40. Vergara, N., Granados, E., Ágama, E., Tovar, J., Ruales, J., Bello, L. 2007. Fibre concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *Lebensm-Wiss Technol*, **40**: 722–729.
41. Von Loesecke, H.W. 1950. *Bananas* (2^o ed.). New York: Interscience.

42. Wall, M. 2006 Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *J Food Comp. Anal* **19**: 434–445
43. Weiss, M., Mannenberg, M., Juranville, J., Lahm H. W., Fountoulakis, M. 1998. Effect of the hydrolysis method on the determination of the amino acid composition of proteins. *J. Chromatogr. A*. **795**: 263-275.

CONSULTAS EN LINEA

44. Álvarez, L. 2003 Enriquecimiento masivo de minerales y vitaminas en lo alimentos. Informes técnicos EPSI. UAB.
<http://www//magna.uab.es/epsi/alimentaria/laura-alvarez.pdf>
45. Aguirre, A., Bello, L., González, R., Álvarez, A. 2007. Modificación química del almidón presente en la harina de plátano macho (*Musa Paradisiaca L.*) y su efecto en el contenido de fibra dietética. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos.
<http://respyan.uanl.mx/especiales/2007/ee-12-2007/documentos/CNCA-2007-09.pdf>
46. Agrevo Venezuela - Servicios - Cultivos – Plátano y Cambur.
http://www.resnet.net/agrevo/02b05_cont.html. [Consulta:14 de Octubre de 2008]

- 47.** Arcila, PM., Giraldo, GG., Celis, F. y Duarte, J. 2002. Cambios físicos y químicos durante la maduración del plátano dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la región cafetera central colombiana. En: Acobart. Memorias del XV reunión de Bananeros de Colombia.
http://musalit.inibap.org/pdf/IN030078_es.pdf
- 48.** FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2006. Bases de Datos FAOSTAT.
<ftp://faostat.fao.org>. [Consulta:14 de Agosto de 2009]
- 49.** Madrigal, L., Alanís, M., Justo, M., García, C., Vázquez, J., Rodríguez, M., Moreno, V. 2007. Producción y Caracterización Físico-química de Harinas de Bananos FHIA-17, FHIA-23 y Plátano FHIA-20, para su incorporación en panificación.
<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/documentos/A048.pdf>

9.- Anexos

9.1.- Evaluación sensorial de los productos elaborados.

Nombre: _____ Fecha: _____

A continuación se le entregan tres muestras de atol de plátano para que usted evalúe su color, olor, sabor y aceptación global. Con este fin, colocara en la fila en que aparece el código de la muestra el número que le corresponde de la siguiente escala hedónica:

9. Me gusta extremadamente
8. Me gusta mucho
7. Me gusta moderadamente
6. Me gusta ligeramente
5. Me es indiferente
4. Me disgusta ligeramente
3. Me disgusta moderadamente
2. Me disgusta mucho
1. Me disgusta extremadamente

Por favor tomar agua y comer un trozo de galleta entre muestras.

Código muestra	Color	Aroma	Sabor	Global
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

Comentarios:

Gracias por su Colaboración.

9.2.- Fotografía de algunos equipos utilizados



VISCOSÍMETRO
BROOKFIELD



BALANZA
ANALITICA



AMILOGAFRO DE
BRABENDER



DESHIDRATADOR DE DOBLE TAMBOR



PROCESO DE PREGELATINIZACION DE LA HARINA EN DESHIDRATADOR DE DOBLE TAMBOR



PROCESO DE PREGELATINIZACION DE LA HARINA EN DESHIDRATADOR DE DOBLE TAMBOR



DESHIDRATADOR DE
BANDEJA PERFORADA

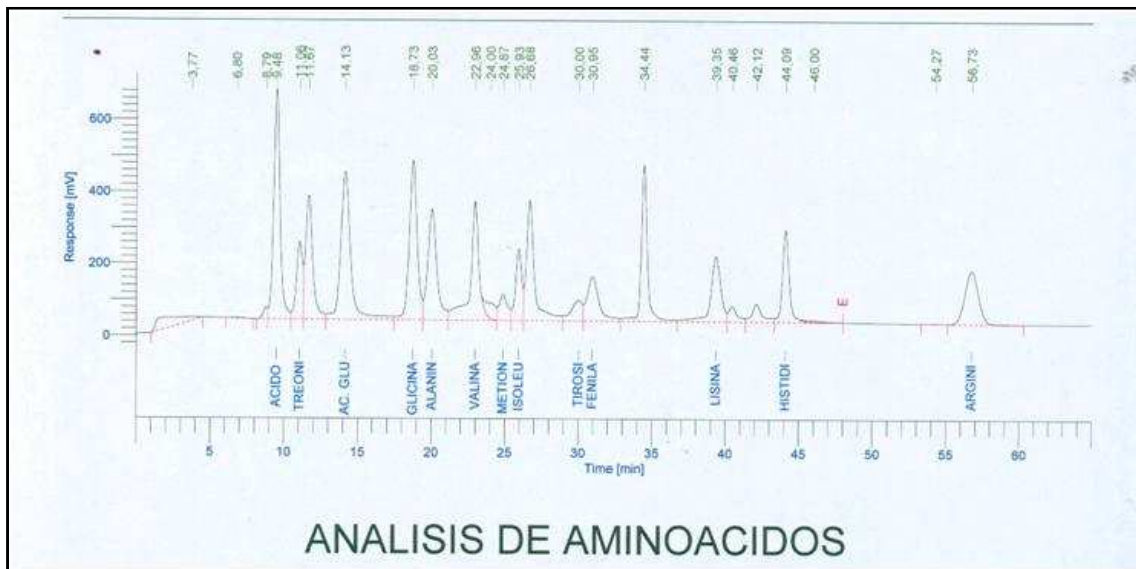


PLANTA PILOTO DE
FABRICACION DE
ALIMENTOS

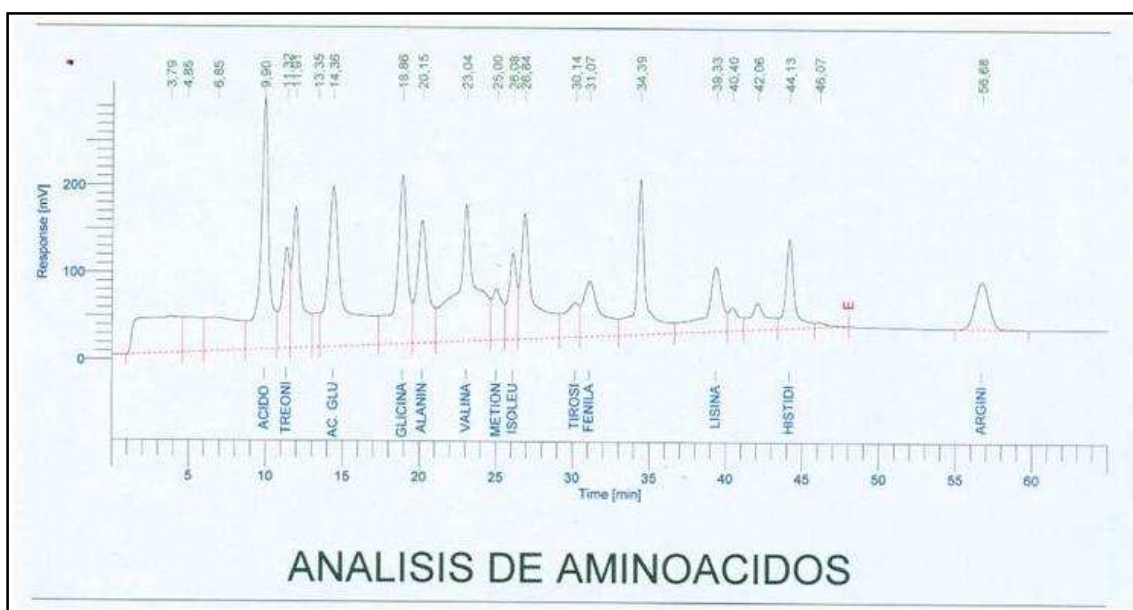


MOLINO DE MARTILLO

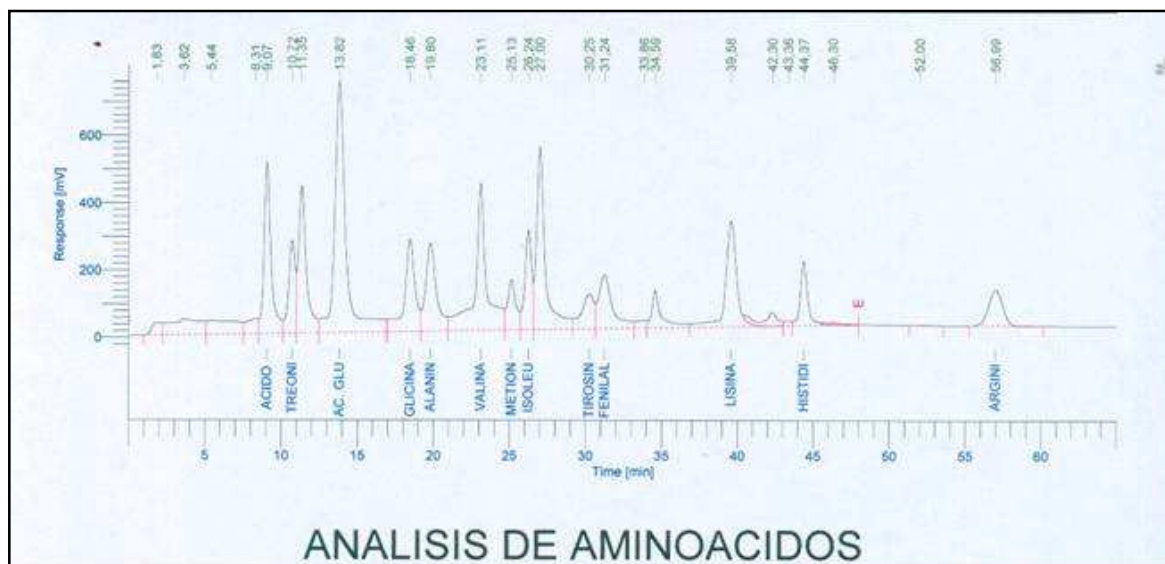
9.3.- Registros obtenidos del análisis de aminoácidos de la harina de plátano.



9.4.- Registro obtenido del análisis de aminoácidos del producto elaborado con bajo contenido de fenilalanina.



9.5.- Registro obtenido del análisis de aminoácidos del producto elaborado con alto contenido de fenilalanina.



9.6.- Imágenes de los productos elaborados

