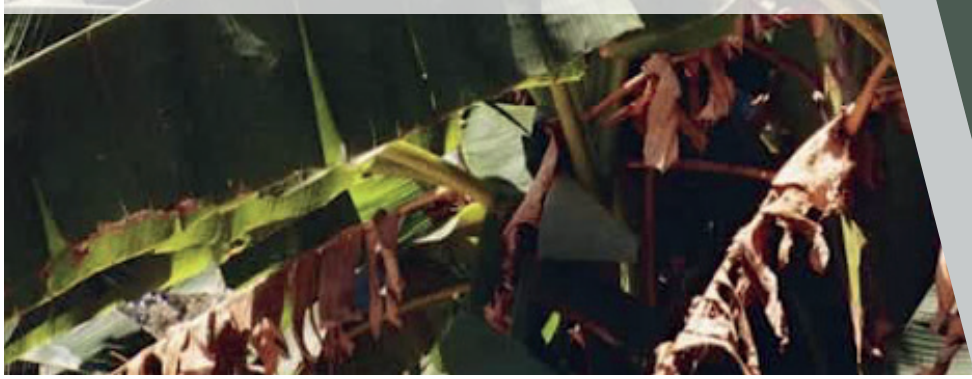




Almidón de banano y su potencial tecnológico en la elaboración de pastas alimenticias

**Omar Martínez Mora
Santiago Bravo Aguilar**





© **Omar Martínez Mora**

emartinez@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala

<https://orcid.org/0000-0002-5148-7563>

Santiago Bravo Aguilar

mbravo@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala

<https://orcid.org/0009-0001-5190-0135>

© Editorial Grupo Compás, 2025

Guayaquí, Ecuador

www.grupocompas.com

<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2025-10-24

ISBN: 978-9942-33-959-1

DOI: <http://doi.org/10.48190/9789942339591>

Distribución online

 Acceso abierto

Cita

Martínez, O., Bravo, S. (2025) Almidón de banano y su potencial tecnológico en la elaboración de pastas alimenticias. Editorial Grupo Compás

Este libro es parte de la colección de la Univesidad Técnica de Machala y ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

ÍNDICE

ÍNDICE	2
Resumen	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
El banano, origen y distribución	12
Características del banano	13
El Almidón	16
Generalidades	16
Características nutricionales del almidón	21
a. Almidón digestible (AD)	23
b. Almidón resistente (AR)	24
Propiedades funcionales del almidón de interés tecnológico	26
Proceso de gelatinización	26
Viscosidad	29
Sustituto de grasa	30
Obtención de almidón de banano	31
Pastas alimenticias	33
Generalidades	33
Calidades de las pastas alimenticias	34
Características físicas y químicas de las pastas alimenticias relacionadas con la calidad	35
Materias primas	36
Harinas compuestas	38
Reología de harinas	39

Determinación de propiedades reológicas de las harinas compuestas mediante el Mixolab® o mixógrafo de Chopin	41
Absorción de agua	43
Amasado	43
Fuerza de gluten	43
Actividad amilolítica	44
Tecnología para la elaboración de pastas alimenticias por extrusión	44
Evaluación sensorial	46
Pruebas sensoriales afectivas	46
Prueba de comparación múltiple	47
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	48
Materia prima	48
Métodos de evaluación	48
Aislamiento del almidón	48
Apariencia microscópica del gránulo de almidón de banano.....	49
Evaluación físico-química del gránulo de almidón de banano	49
Evaluación de almidones resistentes y digestibles del banano	50
Evaluación funcional del gránulo de almidón de banano	50
Perfil reológico de mezclas granular durum–almidón de banano	51
Flujo tecnológico empleado para la elaboración de pastas alimenticias con granular durum y almidón de banano	52
Análisis físico-químico y microbiológico de la formulación seleccionada.....	54
Pruebas de cocción.....	55
Tiempo óptimo de cocción	55

Pérdida de peso por cocción	55
Porcentaje de hinchamiento.....	55
Evaluación sensorial de las pastas alimenticias	56
Tratamiento matemático y representación de los resultados.....	58
Factibilidad económica preliminar.....	58
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
Rendimiento en almidón de banano	61
Tamaño y forma de los gránulos de almidón de banano	62
Composición química del almidón de banano obtenido.....	64
Evaluación funcional del almidón de banano	68
Temperatura de gelatinización de los almidones de banano	68
Viscosidad máxima de los almidones de banano	71
Composición química proximal de la harina del granular durum ..	74
Perfil de desempeño reológico en el mixógrafo de Chopin de las mezclas granular durum con almidón de banano	76
Índice de absorción de agua.....	76
Índice de amasado	78
Índice de fuerza de gluten	79
Índice de viscosidad.....	80
Índice de resistencia a la amilasa	82
Índice de retrogradación.....	83
Pruebas de cocción de las pastas alimenticias utilizando almidón de banano en sustitución parcial del granular durum.....	85
Tiempo óptimo de cocción	85
Pérdida de peso por cocción	87

Porcentaje de hinchamiento de las pastas	89
Evaluación sensorial de las pastas alimenticias utilizando almidón de banano en sustitución parcial del granular durum	90
Prueba de aceptación /rechazo	91
Prueba de comparación múltiple	92
Composición nutricional de las pastas alimenticias	93
Evaluación microbiológica de las pastas alimenticias	98
Estudio de la proyección de factibilidad económica preliminar	98
3.12.1 Estudio de mercado	98
Tamaño y localización	101
Maquinaria y equipos utilizados para la planta elaboradora de pastas alimenticias utilizando granular durum / almidón de banano	102
Inversiones.....	103
Presupuesto de ingresos y costos	104
Evaluación económica	105
CONCLUSIONES	105
Recomendaciones	108
Referencias bibliográficas.....	108

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo fundamental evaluar el potencial tecnológico del almidón de banano como ingrediente alternativo en la elaboración de pastas alimenticias, analizando sus propiedades físico-químicas, funcionales y su impacto en la calidad del producto. Se estudiaron las variedades Cavendish, Filipino, Valery y Orito, a quienes se les extrajo el almidón mediante el método húmedo (Bello - Pérez y col. 2002). La apariencia microscópica del gránulo de almidón fue determinada mediante microscopía electrónica de barrido JSM.6300 Scanning. Las características físico químicas mediante las normas AOAC (2005). El almidón resistente y digestible, mediante ataques enzimáticos (Goñi et al 1996). La temperatura pico de gelatinización, así como la viscosidad máxima, fueron determinadas por Diferencial calorimétrica de barrido (equipo marca DSC6 Perkin) y amilografía (amilógrafo de Brabender), respectivamente. El perfil reológico fue medido por el método de mixolab, Chopin normalCC-173(2006). Las pastas fueron elaboradas mediante la norma técnica ecuatoriana NTE INEN1375,2000 utilizando una extrusora marca Monferrina de 80 a 100 kg de capacidad. El análisis físico químicos de las pastas fueron mediante las normas AOAC (2005) y los microbiológicos por métodos AOAC 997.02.2005. En lo que respecta a al tiempo óptimo de cocción, este fue determinado mediante lo sugerido por Arquero (2009). La aceptación/rechazo de las pastas, desde el punto sensorial, fue la propuesta por Watts y col., (1992). El tamaño, la forma de gránulos de almidón, temperatura de gelatinización y viscosidad máxima, fue de 25 a 35 μm ; forma redondeada; 77,7 a 80 $^{\circ}\text{C}$ y de 259 a 270 UB, respectivamente. Según los resultados

obtenidos, el almidón nativo de banano de las variedades estudiadas puede ser incorporados en la elaboración de pastas alimenticias hasta el 30 % de sustitución de harina de trigo por almidón de banano, sin que sus características sensoriales y de cocción muestren diferencias significativas con las tradicionales ($p > 0,05$).

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Ecuador se encuentra entre los primeros países productores y exportadores del banano a nivel mundial. Cifras de la producción de este alimento en el año 2024 demuestran la importancia que representa este producto agrícola para el país. La exportación de banano constituye el 32 % del comercio mundial de esta fruta y el 3,84 % del producto interno bruto (PIB) total del Ecuador (BCE, 2024). También, la gran producción bananera genera trabajo para alrededor de un millón de familias ecuatorianas, esto implica la trascendencia social que tiene el banano. Se estima que existen más de 2,5 millones de personas localizadas en nueve provincias que dependen de la industria bananera (FAO, 2024).

Las exportaciones bananeras de Ecuador están asumidas por la comercialización del fruto (*Musa sapientum*) que cumple las exigencias normativas de primera calidad, estas son: longitud máxima de 18 cm y calibre 39 – 46 mm (BCE, 2013). Por otra parte, aquellos frutos que no cumplen los parámetros citados, se denominan bananos de rechazo y representan el 30 % del volumen de la producción total.

En el Ecuador el uso del banano de rechazo es limitado (Zambrano, 1998) y se destina principalmente el 71 % para alimentación de bovinos y cerdos; 14 % para alimentación humana y el 9 % transformado industrialmente en alcohol. Existen pocas investigaciones destinadas al aprovechamiento del banano de rechazo en el área de alimentos. Tomalá y col., (2009) realizaron un estudio sobre la obtención de harina de banano de rechazo y su empleo en la producción de alimentos balanceados; Noblecilla (2008), estudió al banano de rechazo

como alimento en la dieta de los habitantes de la provincia de El Oro, y comprobó que son varias las recetas que emplean el banano como materia prima en la elaboración de alimentos tradicionales, remontándose desde la época colonial, mientras Guevara y col., (2012), desarrollaron un proceso fermentativo mediante hidrólisis endógena inducida para producir etanol a partir de banano verde no apto para exportación, el proceso dio similares resultados a los rendimientos que presenta la caña de azúcar.

El almidón, es un hidrato de carbono sintetizado por la planta como sustancia de reserva de energía, formado por la mezcla de dos polímeros: amilosa y amilopectina, el primero de estructura lineal y el segundo sumamente ramificado (Prieto y col., 2010). Los almidones desde el punto de vista nutricional son importantes para el ser humano, por su significativo aporte energético a la dieta. Para la industria alimentaria es un ingrediente valioso por la diversidad de propiedades funcionales de interés tecnológico que posee. Se estima que anualmente se extraen unos 60 millones de toneladas de almidón de distintas variedades de cultivos, que se utilizan en la elaboración de múltiples productos: como agentes estabilizadores en sopas y alimentos congelados, revestimiento para comprimidos, geles, aglutinante, adhesivo, agente de cohesión, por citar algunos ejemplos (Croghan y Mason, 1998).

Al respecto, el banano verde posee un elevado porcentaje de almidón, esto sumado a la gran cantidad de fruta no exportable a causa de las rigurosas normas de calidad, dan como resultado la existencia de una importante fuente potencial de almidón, y por ende, una interesante conversión de esta materia prima de bajo costo, en productos de mayor valor. Como fuente de

almidón, el banano verde es muy competitivo; según el estudio realizado por Bello y col. (2002), se informan contenidos del 70 %, cantidad comparable con la que presentan algunos cereales como el maíz (60 – 80 %) y los tubérculos (60 – 90 %), además, su obtención se puede realizar por medio de tecnologías sencillas.

La aplicación comercial del almidón de banano en el Ecuador tiene muchas posibilidades de tener éxito en el contexto alimentario, aspecto que debe impulsar las investigaciones encaminadas a la obtención de nuevos productos que utilicen este ingrediente como uno de sus componentes principales, no obstante, para cumplir esto, se deberá conocer las características nutricionales, funcionales y organolépticas de los alimentos que lo contenga. En ese sentido, varias investigaciones han informado valores del contenido en almidón resistente y digestible presentes en almidón nativo de banano por el orden del 25 al 30 % y del 70 al 75 %; respectivamente (Ovando, 2009 y Pérez, 2010). Los porcentajes en almidón resistente que presenta el banano son beneficiosos para la salud de los seres humanos. En lo que respecta a las propiedades funcionales, Casarrubias y col., (2012) reportaron valores de temperatura máxima de gelatinización de 77,4 °C y viscosidad máxima de gelatinización de 350 UB, importante información desde el punto de vista tecnológico, para el uso del almidón de banano como espesante y estabilizante en alimentos. En cuanto a la formulación de alimentos, Gallegos y col., (2013) concluyeron que la adición de almidón de banano hasta el 15 % en sustitución parcial de la harina de trigo en la elaboración de galletas, estas fueron aceptadas organolépticamente; Moreira (2013), evaluó el nivel de aceptación de hamburguesas elaboradas con adición de almidón de banano, obteniendo

resultados satisfactorios. Sin embargo, de los datos antes mencionados se debe resaltar un aspecto importante: todas las investigaciones citadas utilizaron almidón de banano de la variedad *Musa paradisiaca*. En este sentido, no se encontraron publicaciones científicas relacionadas con las propiedades reológicas del almidón proveniente del fruto verde del *Musa sapientum* y tampoco las relacionadas con el empleo del mismo en la elaboración de alimentos.

Uno de los productos más importantes de la canasta básica en el Ecuador son los derivados de la harina de trigo, como el pan y las pastas alimenticias. Sin embargo, la producción de trigo en el país es muy pequeña, solo se produce el 2 % del total que anualmente el Ecuador importa (500 mil toneladas de trigo) para satisfacer la demanda nacional. Por tal motivo, el estado debe erogar cada año elevadas cantidades de divisas en el mercado internacional para su compra (FAO, 2013).

La incorporación de almidón de banano (*Musa spp.*) como sustituto parcial de la harina de trigo en la elaboración de pastas alimenticias, representa una alternativa tecnológica a tomar en cuenta, especialmente en regiones tropicales donde el banano es abundante y de bajo costo. Esta estrategia no solo contribuye a la valorización de subproductos agroindustriales, sino que también responde a la creciente demanda de productos funcionales y alternativas libres o reducidas en gluten.

Desde el punto de vista tecnológico, el almidón de banano presenta propiedades funcionales de interés, tales como alta capacidad de hinchamiento, buena retención de agua y formación de geles estables, características que pueden contribuir positivamente a la textura y firmeza de la pasta cocida. No obstante, debido a la ausencia de gluten, su incorporación

debe ser parcial para evitar comprometer la estructura y la integridad del producto final, ya que el gluten es fundamental en la formación de una red cohesiva y elástica que otorga resistencia a la cocción y buena manipulación durante el procesado.

Estudios han demostrado que sustituciones parciales de harina de trigo por almidón de banano permiten obtener pastas con características sensoriales aceptables y con ventajas nutricionales, como mayor contenido de almidón resistente, lo que podría traducirse en un índice glucémico más bajo y beneficios potenciales para la salud intestinal.

Desde el punto de vista del proceso, el almidón de banano no requiere modificaciones sustanciales en la línea de producción de pastas convencionales, lo que facilita su integración industrial. Sin embargo, es recomendable ajustar parámetros de sustitución y medición de las características nutricionales y reológicas de las mezclas, así como, de los atributos sensoriales de las pastas obtenidas.

La utilización de almidón de banano como sustituto parcial de la harina de trigo en la producción de pastas alimenticias es tecnológicamente factible, siempre que se optimicen las formulaciones y parámetros de proceso. Esta práctica puede generar productos innovadores con valor agregado, sostenibles y alineados con tendencias actuales de salud y aprovechamiento de recursos locales.

El banano, origen y distribución

El banano pertenece a la familia *Musaceae* y el centro de origen del mismo se plantea fue el sureste de Asia y las islas del Pacífico, extendiéndose desde la India hasta Papúa Nueva Guinea, incluyendo Malasia e Indonesia (MAGAP, 2010). Desde entonces, ha ido evolucionando y se ha transformado hasta convertirse en la fruta carnosa, con pocas semillas y de agradable sabor que hoy conocemos (Quito, 2007).

Los principales países importadores de banano son: países de la Comunidad Europea, Estados Unidos, Japón y Canadá. La India (Martín, 2009) es el principal productor mundial de banano, con alrededor de 11 millones de toneladas anuales, destinadas en su mayoría al mercado interno. El Ecuador y Colombia representan los principales exportadores de banano en América, a los que sigue Venezuela, que en la actualidad ha superado el millón de toneladas anuales. El Ecuador genera casi un tercio de las exportaciones globales, donde el volumen de producción mundial de bananos sólo es superado por el trigo (*Triticum aestivum*), el arroz (*Oryza sativa*) y el maíz (*Zea mays*), de acuerdo con la FAO (2012).

Características del banano

Este fruto se cosecha verde (madurez fisiológica), con un diámetro aproximado de 25 a 55 mm y un largo mínimo de 18 cm, como se observa en la figura 1.



Figura 1. Banano inmaduro (*Musa sapientum*)

Fuente: Los autores

La composición química del banano varía con el tipo de cultivar y el estado de madurez (tabla 1). Cuando se madura es rico en vitaminas A, C, E, K y del complejo B. Asimismo, contiene minerales como Ca, Fe, Na, Mg y P (Adepoju y col., 2012); sin embargo, se caracteriza principalmente por poseer un gran contenido en potasio, aproximadamente 370 mg por cada 100 g de pulpa. Por ende, es recomendado en la dieta humana para suplir los requerimientos diarios de este último mineral, importante para la salud humana. Por consiguiente, el banano como fruto se consume para restituir la energía, combatir el cansancio y evitar la deshidratación (Ordóñez, 2005).

Tabla 1. Valor nutricional de banano inmaduro (g/100 g)

<i>Nutriente</i>	<i>Cantidad</i>
Humedad	74,26
Hidratos de carbono	23,43
Proteína	1,09
Grasas	0,33
Minerales	0,84
Fibra alimentaria	2,6
Vitamina C	8,7mg
Hierro	0,26mg
Potasio	358 mg
Fósforo	22 mg
Manganeso	0,27 mg

Fuente: Adepoju y col., 2012

El principal hidrato de carbono que constituye el banano verde es el almidón (García, 2009). Como cultivo del trópico húmedo, el banano tiene altas exigencias en cuanto a temperaturas y precipitaciones; sus niveles óptimos se encuentran a 25 °C y a una altura de 1 500 a 4 000 metros sobre el nivel del mar, respectivamente. El banano se cultiva en diferentes regiones subtropicales del mundo. Hoy en día, en el cultivo comercial, tienen mayor importancia las variedades del grupo *Musa sapientum*. Además de las variedades comerciales muy divulgadas en las regiones tropicales, existe un gran número de variedades locales muy diferentes, que se emplean en diversas formas de producción y en disímiles lugares, las que se pueden combinar entre ellas, como Cavendish, Filipino, Orito y Valery (Vitadelia, 2012). En la provincia de El Oro, Ecuador, estas variedades son cultivadas con eficiencia por las condiciones climáticas y de suelo de la región.

El Almidón

Generalidades

El almidón es producido por las plantas superiores para el almacenamiento de energía y después de la celulosa, es probablemente el hidrato de carbono más abundante e importante desde el punto de vista comercial (French, 1969). Este hidrato de carbono ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria, además de que se le ha dado un gran número de usos industriales (Brown, 2004).

Se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética (DaMotaycol, 2000). Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente; el caso del plátano es una señal muy clara en este sentido: en estado verde o inmaduro, el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono, ya que los azúcares son muy escasos; a medida que la fruta madura, el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas, y mediante otros sistemas enzimáticos se sintetizan la sacarosa y la fructosa que se encuentran cuando llega a la plena maduración.

El almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Zhao y Whistler, 1994; Aguilar, 2007). Es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y formador de geles) en la industria alimentaria. El almidón es único entre los hidratos de carbono, pues está formado por pequeñas partículas, llamadas gránulos. Estos gránulos están constituidos por dos tipos de

polímeros: amilosa (estructura lineal) y amilopectina (estructura ramificada). En la figura 2 se muestran la representación gráfica de ambos polímeros.

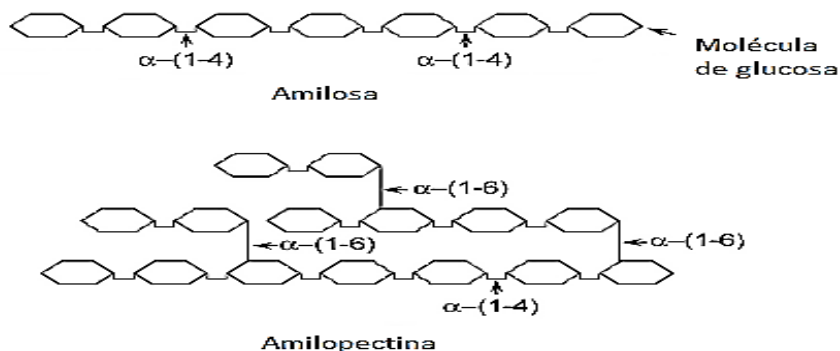


Figura 2. Representación de las estructuras de la amilosa y la amilopectina.

La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α -(1 $\rightarrow$ 4), que establece largas cadenas lineales con 200 a 2 500 unidades, y pesos moleculares hasta 1 000 000 Da. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Takeda, Shirasaka y Hizukuri, 1984). Por su parte, la amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1 $\rightarrow$ 6), localizadas cada 15 - 25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones Da, aunque se han reportado

pesos de entre 300 000 y 500000 Da (Takeda y Hizukuri, 1987; Takeda, Takeda y Hizukuri, 1993).

Las características de los gránulos se diferencian bastante entre sus diferentes fuentes. Las moléculas de almidón sintetizadas por la planta se depositan en capas sucesivas alrededor de un hilo central para formar gránulos compactos y rígidos (figura 3), que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y obtención de los almidones industriales (Benítez, 2008).

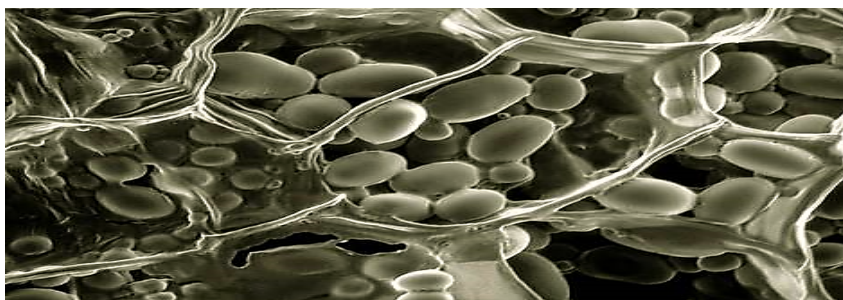


Figura 3. Gránulos de almidón en el mesocarpio de frutas.

Fuente: Los autores

Los contenidos en amilosa y amilopectina de los principales almidones nativos de cereales, tubérculos y banano se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Contenido de amilosa y amilopectina de distintos almidones nativos.

<i>Fuente</i>	<i>% Amilosa</i>	<i>% Amilopectina</i>
Papa	23	77
Yuca	20	80
Trigo	20	80
Arroz	15a35	65a85
Sorgo	25	75
Maíz	25	75
Banano	17	83

Fuente: Badui,2006.

En el banano, los gránulos de almidón se encuentran en el interior de las células que constituyen la pulpa, los cuales se ubican principalmente en la parte central y a todo lo largo del fruto. Estas células se unen con otras por medio de sustancias pépticas, polímeros que las rodean proporcionándoles rigidez y textura; por consiguiente, los gránulos de almidón se encuentran rodeados o atrapados por estos polímeros, lo cual dificulta su extracción (Pérez y col., 2012).

El almidón extraído de banano es un producto nuevo comparado con los almidones más utilizados comercialmente, su empleo en la industria alimenticia no se encuentra tan difundido (Bonilla y Morúa, 2001). En la industria farmacéutica aún no se utiliza porque en la actualidad se carece de algunos estudios que avalen las características más importantes que puedan ser aprovechadas en la producción de fármacos como

materia prima inerte (Troy, 2006).

Se sabe que el almidón experimenta transformaciones y da estructuras físicas diversas que influye en sus propiedades (figura 4).

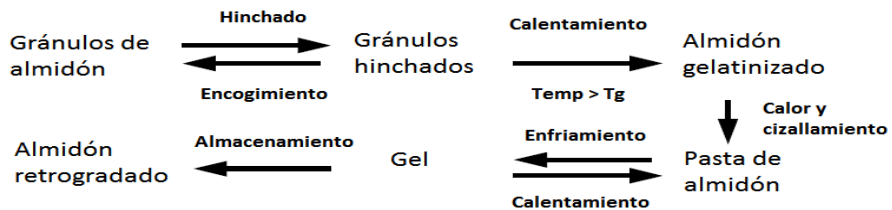


Figura 4. Transformaciones de las estructuras de almidón.

Fuente: Los autores

El almidón granular, después de ser remojado en agua, puede absorber hasta 30 % en peso. El agua absorbida está presente en la región amorfa del gránulo. Este proceso es reversible, y el agua puede ser evaporada durante el secado a temperaturas inferiores de la gelatinización. Al calentar el agua con los gránulos de almidón, estos eventualmente pierden la estructura cristalina helicoidal doble. Este proceso es denominado como la gelatinización. La gelatinización del almidón es un proceso irreversible, y cada tipo de almidón tiene su propia temperatura característica de gelatinización. Cuando el almidón gelatinizado continua calentándose en exceso de agua, los gránulos se hinchan, se incrementa la viscosidad de la solución y se convierte en una pasta. Al enfriarse, la viscosidad aumenta en la medida que la temperatura decrece, y las moléculas de almidón en la pasta desarrollan una red y se gelifican. Después de un período de almacenamiento extendido o ciclos repetidos

de congelación y de derretimiento, las moléculas de almidón en la pasta o el gel se cristalizan, y el proceso es conocido como retrogradación (Murphy, 2000).

Características nutricionales del almidón

El almidón se diferencia de los demás hidratos de carbono por su calidad nutrimental. Es una sustancia de reserva alimenticia de las plantas y proporciona alrededor del 50 % de las calorías consumidas en la dieta (Zhang y col., 2005). Desde el punto de vista nutritivo, los almidones presentes en los alimentos generalmente son hidrolizados y absorbidos como glucosa en el intestino.

Tharanathan (2005) refiere algunos factores que determinan la asimilación de estos hidratos de carbono en la dieta habitual que interfieren en la digestión y absorción del almidón en los alimentos. Estos factores los clasifica en 2 tipos:

1. Intrínsecos: propiedades del alimento.

Son aquellos factores que propician que el almidón tenga una digestión lenta dentro del intestino delgado, debido a las características físicas del propio alimento, que dificultan el acceso de la amilasa pancreática para su hidrólisis (contenido de amilosa, amilopectina, lípidos, proteínas). Esto tiene como consecuencia que su absorción sea reducida y que la respuesta de glucosa postprandial e insulina sea modificada y sus efectos retardados. Cuando la hidrólisis es fuertemente inhibida, el almidón físicamente inaccesible pasa al colon para ser fermentado y, en algunos casos, puede ser eliminado en las heces sin ser asimilado en su totalidad.

2. Extrínsecos: masticación y tránsito a través del intestino delgado.

Los factores extrínsecos determinan la accesibilidad física de las enzimas hacia el almidón contenido dentro de las estructuras rígidas del propio alimento en el intestino delgado. Esto es debido a que la disponibilidad está influenciada por variables externas que modifican la susceptibilidad del almidón a la hidrólisis por la amilasa pancreática.

Otros aspectos a considerar son la concentración de amilasa en el intestino, la cantidad de almidón y la presencia de otros componentes de los alimentos que puedan retardar la hidrólisis enzimática y reducir su grado de digestibilidad. Dentro de la digestibilidad del almidón, se encuentran los digestibles y los resistentes.

a. Almidón digestible (AD)

El almidón es uno de los principales hidratos de carbono en la dieta (Aoy y col., 2007), y contribuye con el 60–70 % de los hidratos de carbono disponibles o glucémicos. La digestión del almidón se inicia a través de la amilasa salival (pH óptimo de acción es 6,9), secretada por las glándulas parótidas y submandibulares (Aparicio y col., 2008). Esta enzima hidroliza el almidón en disacáridos y oligosacáridos. La amilasa salival, al llegar al estómago, es inactivada por las condiciones ácidas que este presenta. Al pasar el almidón y sus productos de hidrólisis al intestino delgado, se inicia la actividad de la amilasa pancreática (sintetizada en el páncreas), para luego desembocar en el duodeno (Vásquez, 2013).

En el duodeno, continúa la hidrólisis de los enlaces α -(1→4) del almidón y sus productos, por la presencia de la α -amilasa pancreática (Zaed y col., 2009). Los residuos de esta hidrólisis para la amilosa son: glucosa, maltosa y maltotriosa, mientras que para la amilopectina: glucosa, maltriosa y α -dextrinas, según señalan García y Pacheco (2009) y Testery Morrison (2004). Los productos de la acción de la amilasa salival y amilasa pancreática se difunden del lumen hacia el borde en cepillo del intestino delgado, donde actúan sobre ellos las enzimas di- y oligosacarasa, los complejos de sacarasa-isomaltasa y las glucoamilasas. Como resultado de la hidrólisis, se obtiene glucosa, la cual es absorbida y transportada al torrente sanguíneo vía vena hacia el hígado (Bjorck, 1996).

Investigaciones recientes sobre el almidón digestible refieren la importancia de tomar en cuenta la cantidad de almidón digestible presente en leguminosas y musáceas que más convengan. De esta manera, se cubren requerimientos nutricionales y calóricos en la dieta de la población (Periago y Casa, 1997).

b. Almidón resistente (AR)

Hasjim y JayLin (2009) estudiaron la resistencia del almidón de banano a la hidrólisis enzimática en individuos sanos. Se encontró que un 84 % del almidón ingerido fue capaz de alcanzar el íleon terminal, demostrando ser resistente a la hidrólisis por las amilasas. Estudios anteriores reportaron que un 17 % del almidón es capaz de escapar por las heces fecales (Pacheco y Giusepina, 2005).

El almidón resistente (AR) es la proporción que escapa de la hidrólisis enzimática en la digestión y se puede encontrar tanto

en los alimentos crudos como también en los procesados, provenientes de diversas fuentes como cereales, leguminosas y musáceas. El AR se ha definido como la suma del almidón y productos de degradación del almidón que no se absorben en el intestino delgado. En otras palabras, el AR es la porción de almidón (aproximadamente un 15 %) que no es fácilmente digerida y, por lo tanto, supera el intestino delgado (Asp, 1997).

García y col. (2008) señalaron que el almidón resistente se comporta en el colon como un sustrato importante para la fermentación bacteriana, donde se demostró su influencia en la producción de ácidos grasos de cadena corta (butirato). Además, se reporta que el AR produce efectos positivos sobre la salud del individuo, entre los que se destacan los siguientes:

1. Efecto hipoglucémico.
2. Mejora el perfil lipídico en la sangre.
3. Aumenta la saciedad y reduce el aporte de energía.
4. Incrementa la absorción de micronutrientes.
5. Reduce la incidencia de cáncer de colon.
6. Interactúa sinérgicamente con otros componentes.

Es de gran importancia, asimismo, conocer el hecho de que el AR ha demostrado que tiene funciones prebióticas (promoción y protección de probióticos), contribuyendo a la regulación de la flora intestinal.

Como regla general, los almidones que contienen más amilosa producen más AR y son también más susceptibles a la

retrogradación. Estas funciones presentadas por el AR muestran una similitud con las de la fibra dietética, por lo que se pueden considerar como un componente más dentro de esa familia.

Propiedades funcionales del almidón de interés tecnológico

Proceso de gelatinización

El estudio de las propiedades funcionales de los almidones es importante, debido a que, dependiendo de ellas, pueden determinarse sus posibles usos y formas óptimas de extracción y purificación. Además, en la preparación de alimentos, los almidones son parcial o completamente gelatinizados e interactúan con otros componentes, por lo que resulta fundamental investigar su comportamiento en estos sistemas (Bersh, 2011).

Entre las propiedades más importantes se encuentran la gelatinización, la solubilidad, el poder de hinchamiento y su viscosidad. Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo (Cabrera y col., 2007).

Durante el proceso de gelatinización, el orden molecular dentro de los gránulos se destruye gradual e irreversiblemente. Por esta razón, la temperatura de gelatinización es característica para cada tipo de almidón y depende fundamentalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa del almidón (Eerlingen y Delcour, 1995). La gelatinización ocurre cuando los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas de los

gránulos de almidón se rompen, y estos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible del agua. Esto usualmente ocurre en un rango de temperatura, ya que no todos los gránulos se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo: algunos son más resistentes que otros. Los gránulos grandes gelatinizan primero, y los pequeños después; estos últimos requieren una mayor temperatura, aunque esto no constituye un patrón universal (Rivas, 2008).

Posteriormente a la gelatinización se alcanza la viscosidad máxima. Este proceso incluye el hinchamiento granular, la salida de los componentes moleculares del gránulo y, eventualmente, el rompimiento total de los gránulos (Ottenhof, 2003). Ambas propiedades son las más importantes para el uso del almidón en la industria alimentaria y varían de un almidón a otro dependiendo de la fuente de la cual fueron extraídos.

Las propiedades de una pasta de almidón están determinadas por el tipo y concentración de almidón, la relación amilosa-amilopectina, la distribución del diámetro del gránulo y el procedimiento de cocción, entre otros factores. En la figura 5 se puede observar la variación de la viscosidad en función del tiempo, debido a los cambios en los gránulos de almidón durante el calentamiento.

Las pastas de almidón pueden contener gránulos sin hinchar, parcialmente hinchados, así como moléculas disueltas de almidón y almidón retrogradado (Pacheco y Giusepina, 2005). El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón está influenciado por diferentes concentraciones de almidón dañado, generado en los procesos de molienda y aislamiento, ya que los gránulos dañados y deformados mecánicamente absorben más agua que los intactos. También pueden influir las

diferencias en los contenidos de lípidos y amilosa, así como la organización del gránulo (Espinoza y Jane, 2009).

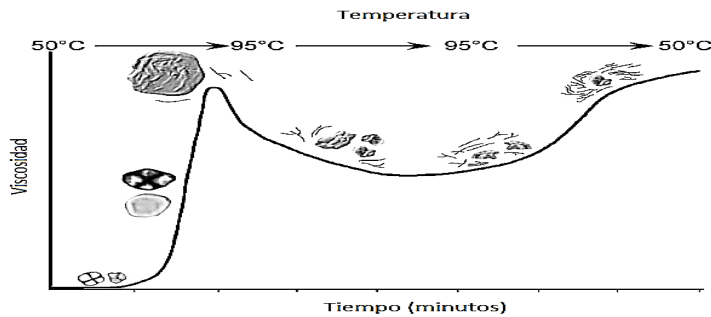


Figura 5. Cambios en los gránulos de almidón debido al calentamiento en agua y las variaciones de la viscosidad medidas en un viscosímetro

El retorno a la estructura ordenada cuando el almidón gelificado se enfría se conoce como retrogradación y se debe principalmente a las moléculas de amilosa cuando se aproximan y forman zonas cristalinas (Ligth, 1990). En la fase inicial dos o más cadenas de amilosa pueden formar un simple punto de unión el cual puede desarrollarse en regiones más extensas y ordenadas. Los polímeros solubles del almidón y los fragmentos granulares insolubles presentes se vuelven asociar, eventualmente, se forman agregados cristalinos acompañados por un incremento gradual de la rigidez, opacidad en la suspensión y la separación de fases entre el polímero y el agua (sinéresis), según Biliaderis (1992) y Rodríguez y col., (2006). La retrogradación afecta a la textura, aceptación y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón (Zambrano, 1998).

El proceso de la retrogradación está influido por la

concentración de almidón y la manera que se enfría la dispersión de almidón gelatinizado. Si la pasta disminuye la temperatura lentamente, las moléculas de amilosa tienen suficiente tiempo para alinearse, de tal manera que varios enlaces de hidrógeno pueden formarse entre cadenas paralelas adyacentes. Por otro lado, una solución concentrada caliente, cuando se enfría rápidamente origina un gel rígido irreversible o las soluciones diluidas que forman precipitados opacos al disminuir la temperatura lentamente (Baudi, 2006).

Viscosidad

Cuando se incorpora almidón a una matriz alimenticia con exceso de agua, ocurre el fenómeno de hinchamiento, formación de pasta y finalmente la disolución de algunos componentes de almidón con el correspondiente incremento de la viscosidad. Este comportamiento, generalmente se monitorea mediante instrumentos mecánicos diseñados para este fin. Entre los que son utilizados normalmente en la industria alimentaria para medir este comportamiento tenemos el visco-amilógrafo de Brabender (figura 6). Con este instrumento se obtienen curvas de comportamiento de soluciones del almidón durante el calentamiento programado, que representan los cambios de viscosidad durante el ciclo de calentamiento y después enfriamiento. Permite así determinar la temperatura de gelatinización, la viscosidad máxima, viscosidad de la pasta, grado de retrogradación, entre otros (French, 1983).

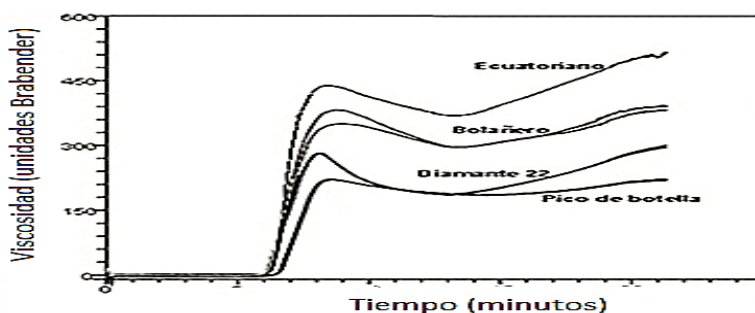


Figura 6. Viscoamilograma típico mostrando las diferencias de viscosidad entre almidones

de variedades diferentes de bananos.

Fuente: French, 2003

Esta propiedad es muy importante para la formulación de sopas, mermeladas, aderezos, entre otros, siendo utilizado como agente espesante.

Sustituto de grasa

Las grasas, con preferencia a los hidratos de carbono, han sido el macronutriente asociado a la obesidad, ya que su consumo excesivo contribuye a una ingesta elevada de calorías. De este modo, los alimentos bajos en grasas y el empleo de sustitutos de grasas pueden ayudar a reducir las calorías ingeridas.

Las grasas contribuyen a la apariencia, sabor, sensación bucal, textura de la mayoría de los productos alimenticios; suministran los ácidos grasos esenciales y son portadoras de las vitaminas

liposolubles (Akoh, 1995). La cantidad y tipo de grasa presente en los alimentos determinan su característica y la aceptación por el consumidor. Por tanto, un sustituto debe ser completamente inocuo, pero capaz de mantener las características organolépticas y funcionales del producto convencional con elevado nivel de grasa.

Entre los diversos ingredientes empleados con este fin, se encuentran los almidones y derivados, a partir de geles con gránulos de tamaños entre 3 y 5 μm en diámetro, similar al glóbulo de grasa, lo que contribuye a la sensación bucal de suavidad y cremosidad (Kilcast y Clegg, 2002).

Obtención de almidón de banano

En su estado verde o inmaduro, el fruto del banano tiene hasta un 70 % de almidón en base seca, cantidad que es comparable con la que presentan algunos cereales como el maíz, el arroz (60–80 %) y tubérculos (60–90 %) (Aurore y Fahrasmaneb, 2009).

El almidón extraído de banano es un producto nuevo, comparado con los almidones más utilizados comercialmente. Además, es fácil de obtenerlo con tecnologías sencillas (Góngora, 2013). Estudios sobre el aislamiento y caracterización del almidón de banano, a nivel de laboratorio, han sugerido que dicho almidón puede tener interesantes características físico-químicas, funcionales y de biodisponibilidad, como por ejemplo una textura suave y una muy buena retención de humedad (Pérez y Marín, 2009).

Una alternativa para el aprovechamiento de los residuos postcosecha y la utilización del banano inmaduro de rechazo lo

constituye el proceso de obtención de almidón a partir de estas materias primas (Cabrera y col., 2007; Mazzeo y col., 2008).

Los métodos tradicionales de extracción industrial de almidón no son aplicables directamente en todas las especies vegetales, debido a que, en éstas, el almidón se encuentra acompañado de otros compuestos químicos como proteínas, lípidos y fibra, por lo que es necesario realizar ajustes con respecto a estos constituyentes, como es el caso del banano (Flores y col., 2004). Diferentes estudios de investigaciones sobre el tema de la obtención de almidón de banano se han realizado. Uno de los métodos aplicados por estos investigadores fue método de extracción húmeda (Kent, 1996 e Islas y col., 2007). Flores y col., (2007) encontraron que, por el método húmedo, el rendimiento del almidón de banano a nivel de planta piloto estaba entre 63 y 71 % en base seca. Este método emplea una decantación y posterior secado entre 48 y 50 °C necesario para realizar la reducción del diámetro del gránulo de almidón mediante un molino de martillo hasta alcanzar un diámetro de 0,047 mm aproximadamente. Resumiendo, el método húmedo para la extracción del almidón consta de las siguientes etapas:

- Selección y pesado.
- Lavado con agua potable y aplicación de desinfectante con hipoclorito de sodio al 1 % durante 10 minutos.
- Pelado.
- Rebanado.
- Tratamiento químico (sumersión en solución de ácido ascórbico al 2 % por 5 minutos).
- Maceración.
- Licuefacción y tamizado de lechada.
- Decantación de la lechada.

- Secado en bandejas a 40 °C, por 10 horas.
- Pulverización y tamizado.
- Empaque.

Pastas alimenticias

Generalidades

Las formas básicas de los productos de pasta como espagueti, lasaña, macarrones y otros, no se han alterado mucho durante siglos. Su preparación consiste en una masa cuyo ingrediente básico es el granular durum que se une con agua, siendo la adición optativa de sal, huevos y otros ingredientes para la elaboración de la masa, la que posteriormente se conforma y se seca para dar un producto que se cuece en agua hirviente antes de su consumo (Antognelli, 1980).

Si bien cualquier material farináceo puede ser utilizado, la formulación occidental de este producto sigue la tradición heredada de Italia, esto es, el empleo de trigo extraduro (*Triticum durum*), trigo indispensable para obtener el granular durum, que no es más que las sémolas mezcladas con las harinas de colas obtenidas en su proceso de molturación.

Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1375:2000, se entiende como pastas alimenticias o fideos a los productos no fermentados obtenidos por la mezcla de agua potable con granulado *durum* y/o la inclusión de otros derivados amiláceos como materia prima sucedánea apta para consumo humano, los cuales se someten a un proceso de prensado o de extrusión, con un posterior secado o deshidratación del producto.

La norma establece que el contenido máximo de humedad no deberá sobrepasar el 13 %, el contenido de proteínas no debe ser superior al 10,5 %, y como calidad microbiológica, se exige la ausencia de *Escherichia coli*, así como también valores inferiores a 10^2 unidades formadoras de colonias (UFC) de mohos y levaduras.

Calidades de las pastas alimenticias

De acuerdo a la calidad de la harina y a la cantidad porcentual de las sémolas de trigo que entran en la composición de la pasta, estas se pueden catalogar en las siguientes calidades: calidad extra, calidad fina o de primera, y calidad comercial o de segunda (Gil, 2010):

- Calidad extra: se emplea exclusivamente sémola de grano de trigo extraduro en una proporción del 55 al 60 %.
- Calidad fina o de primera: es la calidad de mayor consumo; se elabora con una incorporación de sémola de grano de trigo extraduro del 40 al 50 %.
- Calidad comercial o de segunda: estas calidades son más bastas y, en su composición, entran importantes porcentajes de harinas de otras fuentes amiláceas.

El aspecto y sabor difieren sensiblemente de las calidades anteriores.

Características físicas y químicas de las pastas alimenticias relacionadas con la calidad

Las pastas alimenticias deben cumplir los siguientes índices físicos y químicos, como detalla Astaiza y Elizalde (2010):

- Humedad: no menor al 9 % y no mayor al 13 %.
- Proteína: contenido mínimo de proteínas del 11,5 %.
- Ceniza: contenido de ceniza entre 0,6 y 0,85 %.
- Color: debe ser el característico del producto según su composición.
- Olor y sabor: no debe tener olor extraño ni sabor ajeno a la pasta.
- Consistencia: la pasta debe ser de consistencia dura, de fractura vidriosa.
- Aspecto: la pasta no debe presentar manchas, ni rupturas longitudinales o reticulares por deficiencias en la etapa de secado.
- Color: amarillo cremoso translúcido característico, libre de manchas.
- Textura: lisa y sin rugosidades provocadas por un secado deficiente.

- Prueba de cocción: se evalúa mediante la determinación de parámetros como: tiempo óptimo de cocción, volumen de agua absorbido, cantidad de sólidos disueltos en el agua, aumento de volumen y estado físico de la pasta después de la cocción.

Materias primas

La globalización y la competencia dentro de la industria de pasta incitan a los fabricantes a la producción de productos que mantengan su calidad con el paso del tiempo, sea entre regiones en un país, o de país a país. Por otra parte, los consumidores se están volviendo más exigente en cuanto a la variabilidad en la calidad del producto. Por tanto, para lograr un producto final de calidad, los tecnólogos deben comenzar empleando materias primas que posean las características deseadas de calidad, lo contrario puede conducir al fracaso comercial. Las principales características del trigo extraduro son: desde el punto de vista de clasificación botánica, pertenece al reino de las gramíneas, de la familia de las "Poaceae", género "Triticum", que en latín significa triturado, fraccionado. Se cataloga en el grupo de trigos tetraploides, por presentar 28 cromosomas en sus células reproductoras.

El trigo *amber durum* (trigo extraduro) es idóneo para la elaboración de las pastas alimenticias por su alto contenido en proteínas solubles e insolubles, y por presentar estas últimas características reológicas de escasa extensibilidad y elasticidad, índices primordiales en este tipo de producto (pastas alimenticias).

Se procesa industrialmente con el mismo equipamiento similar al empleado para el trigo harinero (*Triticum vulgare*), utilizado para la obtención de harina de panificación, pero se diferencia en su proceso tecnológico de molturación, al disponer de mayores áreas de purificación que tienen como objetivo final obtener la mayor cantidad de sémolas purificadas, con el menor porcentaje de cenizas, y así conformar el granular *durum*, materia prima de color amarillo y estructura vítrea, que se compone de la mezcla de 80 % de sémolas con el 20 % de harinas de colas producidas en este proceso de reducción gradual (Edwards, 2012). En este sentido, la refinación inadecuada de la sémola trae como consecuencia defectos en la apariencia de la pasta, al mostrar manchas oscuras en la superficie, defecto que influye en la comercialización (Feillet y col., 2000).

En la tabla 3 se detalla la composición química del granular *durum*.

Tabla3.Composiciónquímica típica del granular durum

<i>Características</i>	<i>(g/100 g)</i>
Humedad	12,94
Proteínas	13,20
Cenizas	0,53
Grasa	0,23
Almidón	57,75
Azucares reductores	0,17
Azucares totales	5,50
Fibra dietética	4,50

Fuente: Edwards, 2012

Sin embargo, este ingrediente por excelencia de la pasta, la sémola de durum, requiere de condiciones climáticas relativamente estrictas, lo que significa en ocasiones se tenga poca oferta y disponibilidad y por ende, un precio elevado. De modo que la búsqueda de otras alternativas de reemplazo es una de las áreas de interés en estas últimas décadas (Berghofer y Schoenlechner, 2000).

Harinas compuestas

Las harinas compuestas son mezclas preparadas principalmente con base de harina de trigo para la fabricación de productos panificados, de la repostería general y pastas alimenticias, que contienen todos los ingredientes y aditivos necesarios en la mezcla, que sirven para cumplir una determinada función técnica de elaboración de los mismos (Plasch y Bingen, 2008).

El término harinas compuestas fue creado en 1964 por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), cuando se reconoció la necesidad de buscar una solución para los países que no producen trigo (Amundarain, 2005). Estas harinas también pueden prepararse a base de cereales y productos de origen vegetal distintos del trigo.

Hay dos clases de harinas compuestas, la primera es una mezcla de harina de trigo con otras harinas diferente a esta (hasta en 40%), pudiéndose agregar otros componentes. La segunda clase de harinas compuestas son aquellas que no contienen trigo y se preparan mezclando harinas obtenidas de tubérculos con harina de soya en menor nivel, u otras fuentes de proteína como suplemento.

Este concepto de uso de harinas compuestas ha sido objeto de numerosos estudios, al respecto se pueden citar: la incorporación de harina de arroz en la fabricación de fideos (Kharaman y col., 2008; Martí y col., 2010), el empleo de harina de guisantes (Wang y col., 1999), uso combinado de harina de amaranto y almidón de maíz para producir pastas (Chillo y col., 2007), el empleo de harina de soya tostada como sustituto parcial de sémola de trigo durum en la producción de pastas (Baiano y col., 2011). Sin embargo, no se encontraron estudios relacionados el uso de almidón de banano en la producción de pastas.

El aprovechamiento de estas harinas, destinadas a la obtención de ingredientes con características nutricionales y funcionales, da un enfoque importante en el desarrollo de sistemas alimenticios hacia poblaciones con poca disponibilidad de niveles de energía y de nutrientes (Rodríguez, 2010).

Reología de harinas

La reología es la ciencia de las materias deformables y sus propiedades están en relación al esfuerzo, fatiga y deformación con el tiempo (Santo y col., 2010). Permite pronosticar el comportamiento de los distintos tipos de harinas para su uso en los diferentes procesos tecnológicos de elaboración de productos alimenticios. También permite evaluar el comportamiento de una harina o mezcla de harinas sometida al amasado y a procesos de calentamiento y enfriamiento.

Con la finalidad de evaluar este comportamiento se han desarrollado diversas técnicas instrumentales, tales como aquellas basadas en pruebas de torsión y tensión. Estas técnicas

son efectivas para determinar propiedades físicas fundamentales (Jiménez, 2007).

En este sentido, en el mercado existen diferentes equipos de medición que permiten la determinación de las características reológicas de las harinas como el farinógrafo, mixógrafo, alveógrafo, amilógrafo (Campos y col., 1997; Dobraszczyk y Morgenstern, 2003; Zaidel y col., 2010), y así tener un conocimiento acerca del posible comportamiento durante el proceso tecnológico de elaboración (Zounis y Quail, 1997).

Recientemente, la firma Chopin Technologies Co. desarrolló un nuevo instrumento capaz de medir las propiedades reológicas de las masas a partir de harinas, denominado Mixolab® o mixógrafo. Este equipo mide en tiempo real el torque (N·m) producido durante la mezcla de la harina con el agua, registrando la variación del mismo durante las etapas programadas por el protocolo experimental diseñado por el fabricante, que se relacionan con importantes propiedades como el desarrollo, la absorción de agua, el índice de amasado, el índice de gluten, la viscosidad, la resistencia a la amilasa y el índice de retrogradación (Anónimo, 2005).

A continuación, serán descritos los principales aspectos de la metodología analítica de este equipo instrumental.

Determinación de propiedades reológicas de las harinas compuestas mediante el Mixolab® o mixógrafo de Chopin

La relevancia en la industria de cereales es pronosticar el comportamiento de los distintos tipos de harinas para su uso en los diferentes procesos, mediante la valoración de diversas mediciones reológicas que revelen las propiedades plásticas de la masa y la disposición al trabajo mecánico en los procesos de mezclado (Álvarez y col., 2010).

El mixógrafo de Chopin suministra un análisis global de estos componentes, así como de sus interacciones, en un solo ensayo estandarizado (Chopin Technologies, 2006). *Mixolab profiler* es la metodología que ha sido desarrollada específicamente para el control de calidad en los laboratorios cerealistas. El procedimiento utiliza la curva del Mixolab® estándar y calcula el perfil típico de la harina analizada, donde cada fase del ensayo califica a la harina con un índice entre cero y nueve (Hadnadev, 2011). Una curva típica se muestra en la figura 7.

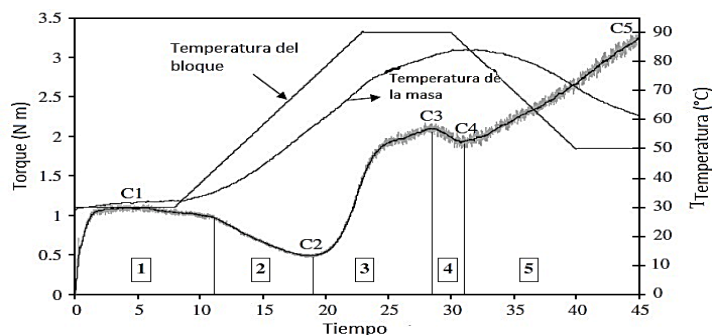


Figura 7. Curva típica registrada en el Mixolab® empleando el protocolo propuesto por Chopin Technologies.

Fuente: Hadnadev, 2011

La misma está separada por cinco etapas diferentes. En la primera etapa de mezclado pueden ser medidas las características: estabilidad, elasticidad y absorción de agua. Durante esta etapa se observa un incremento del torque hasta alcanzar un máximo y la masa puede resistir la deformación durante un tiempo. La consistencia de la masa disminuye al continuar el mezclado, lo cual es un indicador de debilitamiento de la proteína (etapa 2). A mayor caída de la consistencia, menor calidad de la proteína, pues la misma no resiste el cizallamiento del mezclado. Con el incremento de la temperatura, primero hay un descenso de la consistencia y después un aumento. Este incremento se debe principalmente a la gelatinización del almidón (etapa 3). Durante esta etapa, los gránulos de almidón se hinchan debido a la absorción de agua, ocurriendo la lixiviación de moléculas de amilosa, las que contribuyen a incrementar la viscosidad. En la cuarta etapa, la consistencia disminuye como resultado de la enzima amilasa. Esta disminución dependerá de la actividad amilolítica. La quinta etapa, con la disminución de la temperatura, se observa un

aumento de la consistencia como resultado de la formación de gel y/o retrogradación.

Absorción de agua

El potencial de hidratación de las harinas se ve reflejado en su capacidad de adsorber agua hasta formar una masa viscoelástica. Hayta y Schofield (2005) indicaron que el almidón dañado es el gran responsable de las diferencias en absorción de agua. Aunque, este fenómeno de absorción es determinado en menor medida además por el contenido en proteínas y almidones sin dañar.

Amasado

El comportamiento durante el amasado o mezclado es una característica que indica la resistencia de la masa a dicho proceso. A niveles intermedios de humedad y con agitación continua, el sistema harina-agua se vuelve menos húmedo y pegajoso, se constituye así de esta forma una masa cohesiva y elástica. Al mezclar por largos periodos, la masa se vuelve más resistente a la extensión, lo cual se conoce como el desarrollo completo de la masa (Rodríguez y col., 2006).

Fuerza de gluten

El índice de gluten proporciona una idea de la fuerza de la harina en relación a la cantidad y calidad de la proteína insoluble que contiene. Las proteínas insolubles de la harina de trigo están formadas por las gluteninas y gliadinas que conforman la mayoría de las proteínas totales de la harina, en unión a las proteínas solubles (Anderson, 2011).

Actividad amilolítica

La influencia de la actividad amilásica es de gran importancia en las características de la harina. La α -amilasa disminuye rápidamente la viscosidad de la masa del almidón gelatinizado e hidroliza el almidón entre 55 y 65 °C y la inactivación de las enzimas durante el proceso de cocción a 75 °C (Torres y col., 2007).

Tecnología para la elaboración de pastas alimenticias por extrusión

Los pasos a seguir para la obtención de pastas alimenticias cortas donde se aplica la tecnología propuesta por Sandoval (2009), se detalla a continuación:

- **Recepción:** Esta operación radica en la inspección del granular durum, como el color, peso y el almacenamiento temporal. La adquisición de materia prima de óptima calidad evita alguna alteración o contaminación, importante para garantizar la inocuidad y la calidad del producto final.
- **Pesado:** Consiste en el pesaje de los ingredientes de acuerdo a la formulación de la pasta a elaborar. Estos datos iniciales servirán para determinar rendimientos. Se recomienda pesar los aditivos en una balanza técnica.
- **Mezclado y Amasado:** El amasado del granular durum con agua permite obtener una masa pastosa. Además del agua, se adicionan colorantes y conservantes. Este proceso sirve para hacer más homogénea la incorporación del

almidón con la harina, de esta manera se obtiene una buena masa o pasta, de textura suave, elástica, lisa y sin asperezas. De esta forma se evita que, al ser moldeada, presente estrías, resquebrajaduras y otras irregularidades. Es evidente que un eficiente amasado contribuirá a lograr una estructura uniforme y buen sabor en la pasta terminada. Esta operación demanda alrededor de 10 a 15 minutos.

- Extrusión: Según la forma de la pasta, se aplica una presión de 104 kPa. Se utilizan moldes de bronce y acero inoxidable cubiertos de teflón.
- Secado: Esta operación se realiza en la cámara de secado con el objetivo de disminuir el contenido de humedad del producto hasta llegar al 12 o 13%, de manera que las pastas dispongan de un tiempo largo de vida útil, mantengan su forma y se almacenen sin deterioro. Las pastas alimenticias son higroscópicas, es decir, son sensibles a las más pequeñas variaciones atmosféricas, de ahí la necesidad de controlar el secado en la cámara como exigencia tecnológica.
- Enfriado: Una vez retirado el producto de la cámara de secado, se enfría en un lugar seco y fresco (temperatura ambiente aproximadamente 20 °C). El tiempo empleado varía según las condiciones climáticas, pero en general, se puede fijar de dos a tres horas.
- Pesado-sellado: El producto será pesado según las exigencias del mercado. Posteriormente es colocado en fundas de material plástico o celofán traslúcido y, finalmente, selladas. Esto permitirá asegurar su buena

conservación e higiene durante su almacenamiento, transporte y expendio.

- Almacenado: El producto deberá almacenarse en lugares con idóneas condiciones de temperatura y humedad relativa.

Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es el análisis de alimentos y otros materiales por medio de los sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín *sensus*, que quiere decir sentido (Espinoza, 2007).

La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, entre otros. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que la persona que efectúa las mediciones lleva consigo sus propios instrumentos de análisis, o sea, sus cinco sentidos (Meilgaard y col., 2007).

Pruebas sensoriales afectivas

En la evaluación sensorial, las pruebas afectivas que se realizan a un producto determinado se las desarrolla con consumidores potenciales (personas no entrenadas en técnicas sensoriales), en condiciones que no les sean ajenas o extrañas para utilizar o consumir el producto en estudio (Meilgaard y col., 2007).

Entre los métodos afectivos se encuentran:

- Prueba de aceptación/rechazo: Esta prueba consiste en suministrar al juez un producto, y que éste proporcione una respuesta positiva o negativa de su preferencia al consumo. Es una prueba sencilla y rápida que proporciona una idea general de la aceptación o rechazo del producto. Tiene como limitación que se requiere de gran número de evaluaciones para considerar los resultados como representativos de la respuesta poblacional.

Los datos se procesan registrando la cantidad de personas que aceptan la muestra contra el número de rechazos y, a través de la tabla de estimación de significancia, conocer si la aceptación es significativa o no (Espinoza, 2007).

Prueba de comparación múltiple

Consiste en comparar uno o varios productos en estudio con la muestra patrón. Las muestras no necesariamente deben ser homogéneas, es decir, pueden compararse productos diferentes. El máximo de muestras que deben evaluarse por sesión se determina por la naturaleza del estímulo, el tipo de consumidor e incluso la ambientación en la que dicha prueba se desenvuelva (Sancho, 2013).

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Los frutos de banano seleccionados fueron tomados después de alcanzar la madurez de cosecha según lo establecido por Moreno (2009). Los bananos utilizados en la investigación fueron aquellos que no cumplieron las exigencias para su exportación, es decir, los denominados bananos de rechazo o subproducto de la actividad bananera del Ecuador. Muestras de 200 kg de banano de rechazo se tomaron de un lote para cada variedad.

Métodos de evaluación

Aislamiento del almidón

A partir del banano inmaduro *Musa sapientum* de las variedades: Cavendish, Filipino, Orito y Valery, se empleó el método de molienda húmeda para la obtención de almidón a escala piloto con esta materia prima, según lo propuesto por Bello-Pérez y col. (2002). El procedimiento del método consistió en los siguientes pasos:

1. Se inició pesando lotes de 200 kg del fruto.
2. Se separó la cáscara de la pulpa y esta se cortó en rodajas de 1 cm.
3. Las rodajas fueron sumergidas en una solución con ácido ascórbico al 2% m/v.
4. Se realizó la molienda húmeda, empleando una licuadora semi-industrial; el producto resultante se cribó en mallas de calibre 0,841; 0,149 y 0,047 mm.

5. En cada malla el residuo se lavó hasta que el líquido de lavado no presentó residuo aparente de almidón.
6. La suspensión obtenida se separó por precipitación y luego de decantado, al almidón se le realizó un secado por medio de un horno con ventilación forzada a temperatura entre 48 y 50 °C por 48 horas.

Apariencia microscópica del gránulo de almidón de banano

Se utilizó un microscopio electrónico de barrido con alto vacío de la marca JSM-6300 Scanning Microscope, con alcance de 300 000 magnificaciones y resolución de 30 kV. El equipo dispuso de un detector de energía dispersiva de rayos X.

Las muestras (0,5 g) para el análisis a escala de laboratorio se recubrieron con una película delgada de oro y se midió el tamaño y forma del gránulo. Se obtuvieron las lecturas a 2 000 aumentos hasta alcanzar en la pantalla del equipo la imagen de la molécula del gránulo de almidón. Las imágenes se imprimieron para su posterior procesamiento de análisis, y así conocer el tamaño y forma de los gránulos de almidón de la musácea. Las mediciones se realizaron por triplicado para cada variedad de almidón.

Evaluación físico-química del gránulo de almidón de banano

Se determinaron a escala de laboratorio las características físico-químicas de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC (2023):

Humedad (Método 925.10)

Cenizas (Método 923.03)

Proteínas (Método 920.87)

Grasa cruda (Método 920.85)

Hidratos de carbono totales por diferencia

Contenido de amilosa aparente por el método de Hoover y Ratnayake (2002)

Contenido de amilopectina por diferencia al 100% del contenido de amilosa

Evaluación de almidones resistentes y digestibles del banano

La cuantificación del almidón resistente se realizó midiendo la fracción no hidrolizada, según lo establecido por Goñi y col. (1996). Se inició con un ataque de pepsina, emulando condiciones estomacales, y luego sometiendo esta fracción al ataque de la amilasa pancreática (Holm y col., 1985). Posteriormente, se emplearon técnicas de espectrofotometría UV-visible, mediante el espectrofotómetro marca Biotek con una longitud de onda de 650 nm, para medir el almidón digestible. Al almidón resistente se le sometió a un ataque amilolítico para luego medirlo con el mismo equipo.

Evaluación funcional del gránulo de almidón de banano

•Temperatura pico de gelatinización

Se utilizó el método de gelatinización mediante calorimetría diferencial de barrido (CDB), a través del equipo marca DSC6 Perkin Elmer a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min con un rango de temperatura de 30 a 120 °C. Para ello, se pesaron 2 mg de almidón en un porta-muestras de aluminio y

se adicionó agua con una microjeringa en relación 1:3 m/v (almidón/agua). Después de sellar los porta-muestras, se dejaron reposar por una hora para realizar a continuación las mediciones de calorimetría diferencial de barrido. Se utilizó un porta-muestras vacío como referencia patrón. La temperatura inicial (T_i), temperatura pico (T_p), temperatura final (T_f) y la entalpía de gelatinización (ΔH) se evaluaron a través de termogramas resultantes (Parker y Ring, 2001).

●Viscosidad máxima

Para determinar la viscosidad máxima se inició midiendo en un vaso de precipitado 400 mL de una suspensión de almidón al 6% en base seca. La suspensión se colocó en un visco-amilógrafo de la marca Brabender. Comenzó el análisis elevando la temperatura gradualmente desde 30 °C hasta 95 °C a una aceleración constante de 1,5 °C/min. La temperatura se mantuvo durante 15 minutos y posteriormente se descendió hasta 50 °C. El valor final se calculó a partir de los amilogramas obtenidos como señala la metodología descrita por Dufour y col. (2009).

Perfil reológico de mezclas granular durum- almidón de banano

Se usó el método Mixolab, Chopin norma ICC-173 (2006), empleado para la determinación de las características reológicas de harinas y harinas compuestas. Se estudiaron las relaciones granular durum/almidón de banano mostradas en la Tabla 4. Los resultados del perfil reológico en los diferentes tratamientos sirvieron para definir la selección de la mejor sustitución, en base

al nivel de significación de los diferentes porcentajes granular durum–almidón de banano en relación a la muestra control, que posteriormente fueron sometidas a evaluación sensorial.

Tabla 4. Tratamientos granular durum/almidón de banano en la elaboración de pastas alimenticias.

<i>Tratamiento</i>	<i>% Mezclas</i>
T0	control 100%GD - 0%AB
T1	85%GD - 15%AB
T2	70%GD - 30%AB
T3	55%GD -45%AB

Leyenda: GD - granular durum, AB almidón de banano

Flujo tecnológico empleado para la elaboración de pastas alimenticias con granular durum y almidón de banano

Se empleó el flujo tecnológico que se muestra en la Figura 9. Se realizaron pruebas preliminares para conocer el porcentaje de agua adecuado en las formulaciones para la elaboración de las pastas alimenticias. Posteriormente, de acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas preliminares, se mantuvo constante un 30% de este ingrediente en todas las formulaciones realizadas en el estudio. Las pastas alimenticias cortas del tipo “fusilli” se elaboraron por extrusión, según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1375:2000, utilizando una extrusora marca

Monferrina de 80 a 100 kg de capacidad. El diagrama de flujo tecnológico empleado para la elaboración se ilustra en la Figura 8.

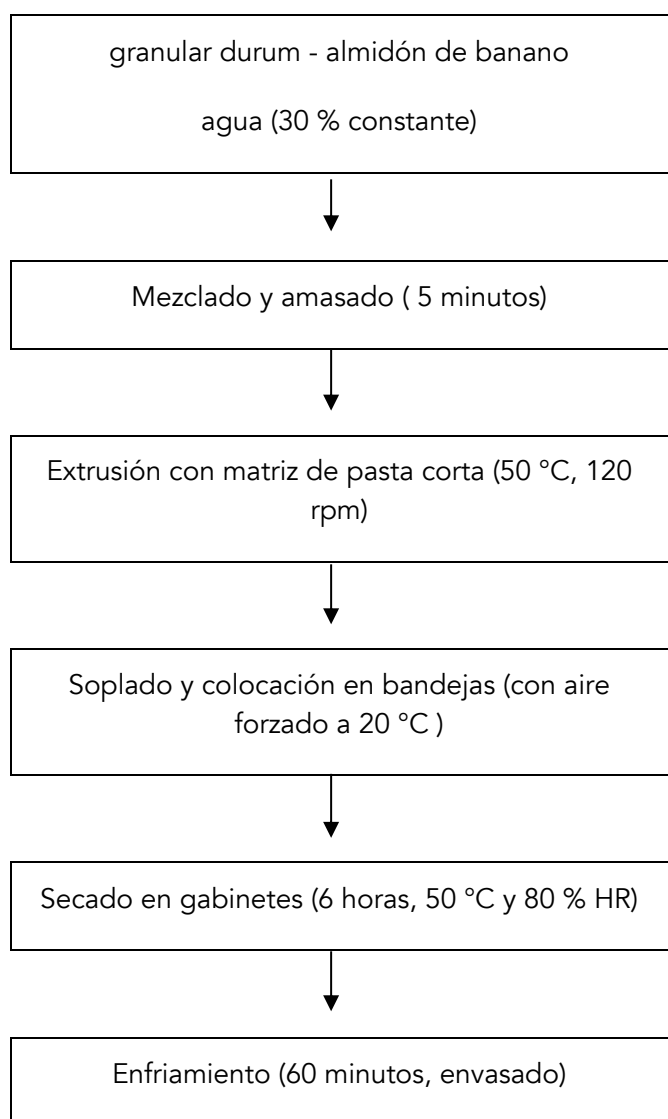


Figura 8. Flujo tecnológico para la elaboración de pastas alimenticias utilizando granular durum – almidón de banano.

Análisis de pastas alimenticias

Análisis físico-químico y microbiológico de la formulación seleccionada

•Análisis físico-químico

Se determinó humedad, proteína, grasa, cenizas y carbohidratos totales. Los métodos empleados para la determinación físico-química de las pastas alimenticias se detallan en el numeral 2.3.3.

•Análisis microbiológico

Para la evaluación microbiológica se utilizaron los métodos que se describen en la tabla siguiente.

Tabla5. Métodos empleados en la evaluación microbiológica de pastas alimenticias utilizando almidón de banano como sustituto parcial del granular durum.

Microorganismos	Método AOAC
Mohos y levaduras	AOAC 2014.05 – 3M Petrifilm RYM Plate
Coliformes totales	AOAC 991.14 – 3M Petrifilm Coliform/E. coli Plate
Escherichia coli	AOAC 991.14 (con distinción de colonias azules)

Fuente: AOAC, 2023

Pruebas de cocción

Los resultados de las pruebas de cocción en las diferentes formulaciones sirvieron para la selección de la mejor sustitución, en base al nivel de no significancia ($p>0,05$) comparadas con la muestra control.

Tiempo óptimo de cocción

Se pesaron 50 g de pasta alimenticia corta tipo *fusilli*, elaboradas con los diferentes porcentajes de mezclas granular durum – almidón de banano y la muestra control. Estas se introdujeron por separado en agua hirviendo, removiéndose esporádicamente para evitar el pegado de las mismas. Luego, se inspeccionó el estado de la pasta cocida tomando como criterio fundamental la presencia gelatinizada de su nervio central, lo cual se denomina tiempo óptimo de cocción, según la técnica establecida por Arquero (2009).

Pérdida de peso por cocción

Se calculó la cantidad de sólidos disueltos en el agua de cocción para cada nivel de sustitución del granular durum por el almidón de banano en la pasta. Para su determinación, el agua de cocción se decantó en un recipiente, que posteriormente se procedió a secar —parte de esta agua— por un tiempo aproximado de 20 horas a 100 °C, hasta obtener peso constante, según la metodología descrita por Arquero (2009).

Porcentaje de hinchamiento

Se tomaron 50 g de las diferentes muestras de la pasta seca elaboradas y se sometieron a cocción hasta alcanzar la

gelatinización del nervio central, según la técnica establecida por Arquero (2009). Se escurrió el líquido de cocción y se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente (20 °C). Seguidamente, se registró el peso de la pasta cocida (drenada) y el de la pasta seca, utilizando una balanza analítica de la marca Mettler. El porcentaje de hinchamiento de las pastas se comprobó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Hinchamiento} = \frac{\text{peso pasta cocida} - \text{peso de pasta seca}}{\text{peso de pasta seca}} \times 100$$

Evaluación sensorial de las pastas alimenticias

Se realizaron dos pruebas: una de aceptación/rechazo y otra de comparación múltiple. Para preparar las muestras en ambas pruebas, estas fueron sometidas a cocción en agua hirviendo durante 10 minutos. Inmediatamente después, fueron escurridas en un colador y servidas en un lapso no mayor a 15 minutos después de su preparación.

A continuación, se detalla la metodología sugerida por Watts y col. (1992) para la determinación de aceptación/rechazo, así como para comparación múltiple.

Prueba de aceptación/rechazo

Participaron en la prueba, en promedio, 120 consumidores potenciales para evaluar la pasta elaborada, quienes emitieron su opinión mediante la boleta de aceptación/rechazo mostrado en el anexo de evaluación sensorial (Anexo 1a). Esta prueba se

aplicó de forma individual a cada uno de los tratamientos diseñados en la Tabla 4, los cuales se presentaron identificados mediante un código de tres cifras.

Prueba de comparación múltiple

Se empleó un panel de evaluadores semi-adiestrados compuesto por 15 estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador, todos ellos consumidores habituales de este tipo de producto alimenticio. Este grupo fue seleccionado y adiestrado de acuerdo con la metodología propuesta por Espinosa (2007), que toma en cuenta la selección y la identificación de sabores básicos y pruebas de sensibilidad visual.

Posteriormente, la etapa de adiestramiento fue realizada con muestras de pastas comerciales e identificación de los principales indicadores de calidad, utilizando pruebas triangulares y análisis secuencial. Con la finalidad de aumentar el grado de familiarización de los jueces con el producto, se realizaron varias sesiones de trabajo durante las cuales se les presentaron muestras con diferentes tiempos de cocción (8, 10 y 12 minutos) y con diferentes grados de sustitución de la harina de trigo por almidón de banano.

Para el desarrollo de la prueba, a los panelistas se les presentó una muestra de pasta alimenticia tipo *fusilli* 100 % granular durum como referencia, la cual podían catar tantas veces como fuera necesario, y cuatro muestras a evaluar (elaboradas con cada una de las variedades de banano estudiadas, más la propia referencia como incógnita), todas codificadas con números aleatorios de tres cifras. Se les pidió evaluar la diferencia entre

las muestras codificadas y la referencia, empleando la boleta de evaluación mostrada en el anexo de evaluación sensorial (1b).

El nivel de diferencia seleccionado por los jueces fue transformado a una escala numérica, en la cual 1 representaba “ninguna diferencia” y 5 representaba “diferencia extrema”. La prueba se realizó por triplicado. Los resultados fueron expresados como la media de las calificaciones otorgadas por los jueces e interpretados según la escala de categoría empleada.

Tratamiento matemático y representación de los resultados

Los resultados fueron procesados utilizando el paquete estadístico SPSS versión 19.0. Se calculó el análisis de varianza y comparación múltiple por el método de Tukey. Todas las corridas experimentales fueron realizadas por triplicado, señalando los valores de significancia $p \leq 0,05$ (X/DS, $n=3$). Se emplearon para representación gráfica de los resultados los programas Origin 50 y Microsoft Excel 2010.

Factibilidad económica preliminar

Para establecer la factibilidad económica de emplazar una unidad productora de pastas alimenticias (pastificio), utilizando almidón de banano como sustituto parcial del granular *durum* en la provincia de El Oro – Ecuador, fue necesario desarrollar los siguientes pasos ordenados, de acuerdo a lo establecido por De la Torre y Zamarrón (2002).

Estudio de Mercado

Primeramente, se determinó la disposición de consumo de pastas alimenticias elaboradas con granular *durum* y almidón de banano, por parte de los potenciales consumidores. El mercado meta o de destino fueron las familias del cantón Machala de la provincia de El Oro. El tamaño de la muestra de los jueces potenciales consumidores se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N}{(1 + \alpha^2 XN)}$$

n= Tamaño de muestra

N= Población proyectada

α = Error de muestra (0,04)

La herramienta de información primaria para establecer el volumen de compra, la presentación del producto y el precio fue mediante la aplicación de la encuesta que se ilustra en el Anexo 2.

Tamaño y localización

El tamaño seleccionado para la producción de pastas alimenticias estuvo en relación con el cálculo de la demanda, y fueron las unidades obtenidas en un año normal de producción (Sapag y Sapag, 2000).

La localización contempló los siguientes aspectos: servicios básicos, condiciones legales y sociales. La macrolocalización es

la provincia de El Oro, cantón Machala, y la microlocalización fue el sector "10 de septiembre".

Inversiones

La inversión del proyecto fue definida por el conjunto de recursos financieros necesarios para llevar a cabo la instalación y el montaje del proyecto (inversión fija) en una dirección, y el funcionamiento (capital de trabajo) en otra dirección.

Presupuesto de ingresos y costos

El precio de venta se fijó en función de los costos de producción y el costo de oportunidad del capital (COC). Para determinar el costo total de producir pastas alimenticias, en mezclas granular *durum* / almidón de banano, fue necesario previamente determinar los costos fijos y los costos variables (Morales, 2002).

Metodológicamente, fue necesario, para el cálculo del presupuesto de ingresos y costos, construir tablas de cuentas para cada costo.

Evaluación

Se basó en el cálculo de la relación beneficio/costo R (B/C), indicador que reflejó la utilidad obtenida por cada unidad monetaria invertida. Se obtuvo de dividir los ingresos totales obtenidos para los costos totales de producir las pastas alimenticias, según la ecuación que se muestra:

$$R(B/C) = \frac{\text{Ingresos totales}}{\text{Costos totales}}$$

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento en almidón de banano

Los rendimientos de almidón obtenidos, al aplicarse el método de extracción de molienda húmeda, fueron similares con las variedades Orito, Cavendish y Valery, y ligeramente inferior con la variedad Filipino, como se puede observar en la tabla 6.

Tabla 6. Rendimiento en almidón (base seca)

<i>Cultivar de banano</i>	<i>% almidón</i>
Cavendish	65,79 ^a (0,76)
Valery	64,62 ^a (0,35)
Filipino	59,37 ^b (0,77)
Orito	67,63 ^a (0,36)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar ($n = 3$). Valores con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Estos rendimientos son muy cercanos al contenido de almidón del banano inmaduro, el cual es del 70 % según los datos de composición química del banano (Amaya, 2011) lo cual indica que prácticamente se recupera todo el almidón nativo con la

operación de molienda húmeda efectuada en el presente trabajo. Resultados similares de rendimiento obtenidos por otros investigadores fueron informados por Cervera y col., (2008).

Tamaño y forma de los gránulos de almidón de banano

Las características morfológicas de los almidones de diferentes orígenes varían con el genotipo y las prácticas de cultivo. La variación en el tamaño y la forma de los gránulos es atribuida al origen biológico (Svegmark y Hermansson, 1993) y ha sido empleada para su identificación.

Como se aprecia en la Figura 9, la forma de los gránulos alcanzados en todos los casos fue similar, con predominio de la forma ovalada y superficie alisada. No obstante, existieron ciertas diferencias en cuanto a las dimensiones: la variedad Cavendish presentó gránulos homogéneos de menor tamaño; de manera similar ocurrió con la variedad Valery, aunque estos se mostraron mayores. Por otro lado, las variedades Orito y Filipino revelaron los gránulos de mayor tamaño; no obstante, presentaron también gránulos pequeños, es decir, exhiben una mayor variabilidad.

Al comparar con otras fuentes de almidón, los tamaños de estas variedades se encuentran en el mismo intervalo que el almidón de trigo (22–55 μm) (Murphy, 2000). Esto favorecerá la homogeneidad de las formulaciones almidón de banano / granular durum, destinadas a la elaboración de pastas alimenticias por extrusión.

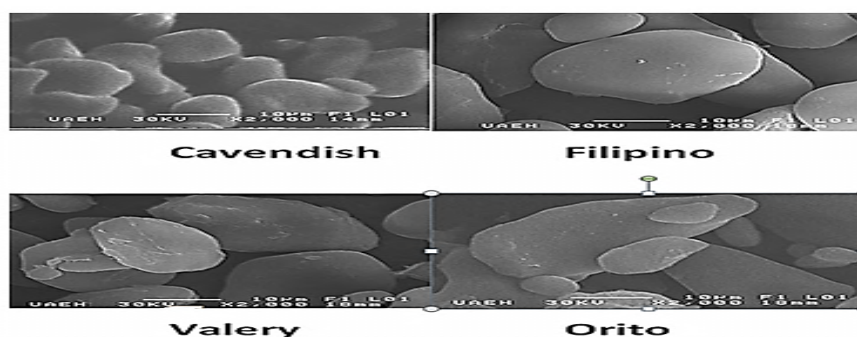


Figura 9. Microfotografía (x 2 000) de los gránulos de almidón de banano inmaduro (*Musa sapientum*) de las cuatro variedades seleccionadas.

Fuente: Los autores

La siguiente tabla resume las características morfológicas encontradas en estas variedades.

Tabla7. Tamaño promedio y forma de los gránulos de almidón de banano.

<i>Cultivar</i>	<i>Intervalo de Tamaño (μm)*</i>	<i>Forma</i>
AF	30 a 40 (2)	Oval y esférico
AV	15 a 30 (2)	Oval y esférico
AC	10 a 15 (1)	Oval y esférico
AO	30 a 40 (3)	Oval y esférico

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar ($n = 3$).

Leyenda: AF Almidón Filipino; AV Almidón de Valery; AC Almidón de Cavendish y AO Almidón de Orito.*micrómetrosx2000aproximaciones.

Composición química del almidón de banano obtenido

La humedad, se puede señalar que la misma se encontró entre valores del 9 y 10 %, lo cual representa un resultado acorde con el diseño de secado empleado. Se observó, además, la no aparición de diferencias significativas entre las muestras analizadas.

De igual manera ocurre con el contenido de proteínas y de almidón sobre la composición química presente en los almidones obtenidos de variedades de bananos analizados. Como se ilustra en la tabla 8, únicamente las muestras difieren significativamente en los contenidos de grasa y cenizas. En general, la concentración de estos compuestos minoritarios no supera el 2 %, lo que indica que el proceso de obtención empleado mediante molienda húmeda fue satisfactorio, lográndose almidones de alta pureza. Resultados similares han sido informados por Bello (2002), aunque con almidones obtenidos de la variedad *Musa paradisaca* L.

Tabla 8. Composición química porcentual del almidón de banano obtenido.

Muestra	%Humedad	%Grasa	%Proteína	%Cenizas	% Almidón total
AF	10,18 ^a (0,81)	0,71 ^a (0,05)	0,93 ^a (0,09)	0,62 ^a (0,04)	87,56 ^a (0,72)
AV	9,83 ^a (0,65)	0,31 ^c (0,02)	0,82 ^a (0,09)	0,45 ^b (0,04)	88,59 ^a (0,54)
AC	9,32 ^a (0,90)	0,44 ^b (0,03)	0,86 ^a (0,07)	0,63 ^a (0,01)	88,75 ^a (0,22)
AO	10,33 ^a (1,10)	0,42 ^b (0,04)	0,90 ^a (0,19)	0,42 ^b (0,07)	87,93 ^a (0,66)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con letra distinta son significativamente diferentes (p < 0,05).

Leyenda: AF Almidón de Filipino; AV Almidón de Valery; AC Almidón de Cavendish; AO Almidón de Orito.

Continuando con la caracterización de los almidones, la tabla 9 presenta los contenidos de amilosa y amilopectina. Las variedades de banano filipino, valery y cavendish no presentaron diferencias significativas en cuanto al contenido de

amilosa entre sí; sin embargo, la variedad orito fue la que mostró menor concentración.

La proporción amilosa/amilopectina de las variedades de banano estudiadas fue 15:85, excepto la de orito, con una relación 20:80. Valores similares exhiben los almidones de mandioca y arroz, y cercanos al de papa, mientras que los cereales como el trigo exhiben relaciones diferentes, como 25:75 (Badui, 2006).

La importancia de la relación amilosa/amilopectina radica en su influencia sobre el comportamiento reológico de los almidones, ya que se relaciona con la absorción de agua y la formación de geles (Nikuni, 1982). La amilosa, como constituyente soluble del almidón, es responsable de las propiedades viscosas y es capaz de formar redes tridimensionales cuando se enfría la solución, originando así geles; en cambio, un almidón sin amilosa solo espesa, pero no forma geles (Shi y Seib, 1992).

De acuerdo con estos resultados, se puede inferir que los almidones de las variedades filipino, valery y cavendish formarán geles más firmes que el de la variedad orito, en igualdad de concentraciones de almidón.

Tabla 9. Contenido de amilosa aparente y amilopectina del almidón de banano.

<i>Variedad</i>	<i>% amilosa aparente</i>	<i>% amilopectina</i>
AF	15,65 ^a (0,31)	84,35 ^b (4,23)
AV	14,80 ^a (0,81)	85,20 ^b (6,13)
AC	15,30 ^a (1,51)	84,70 ^b (2,82)
AO	10,22 ^b (0,71)	89,78 ^a (3,11)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar ($n = 3$). Valores medios en la misma columna con letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Leyenda: AF Almidón de Filipino; AV Almidón de Valery; AC Almidón de Cavendish; AO Almidón de Orito.

Almidón resistente y almidón digestible

La tabla 10 muestra que, para los almidones de las distintas variedades de banano examinadas, el contenido de almidón resistente estuvo en el rango entre 49 al 58%, mientras el almidón digestible se encontró en el intervalo del 41 al 50 %.

En los inicios del proceso de secado, hay un exceso de agua que puede contribuir a la gelatinización irreversible del almidón, por esa razón, en la presente investigación se tuvo la precaución de mantener la temperatura de secado del almidón inferior a los 60 °C. De acuerdo con Jane (2004), los gránulos de almidón nativo son capaces de absorber agua hasta el 30 % de su masa cuando se remojan, por lo que la existencia de casi un 50 % de almidón digestible en todos los almidones, indica la presencia de gránulos capaces de absorber agua sin llegar a gelatinizar e incrementar así su susceptibilidad al ataque enzimático, ya que el método propuesto por Goñi y col., (1996) tiene como característica, que la muestra no se somete a ningún proceso que modifique el almidón nativo. Bajo esta premisa, los resultados son más reales, porque la acción enzimática (amilolisis) ocurre en condiciones a las cuales el almidón no se ha gelatinizado por el propio diseño del método analítico.

Tabla10. Contenido de almidón resistente y digestible (g/100 g) de los almidones estudiados.

<i>Variedad</i>	<i>Almidón resistente</i>	<i>Almidón digestible</i>
AF	56,84 ^a (1,78)	43,16 ^b (3,13)
AV	58,57 ^a (3,94)	41,43 ^b (3,56)
AC	49,33 ^b (2,07)	50,67 ^a (4,34)
AO	52,81 ^b (2,66)	47,19 ^a (3,31)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con letra distinta son significativamente diferentes (p <0,05).

Evaluación funcional del almidón de banano

Temperatura de gelatinización de los almidones de banano

Las transiciones que suceden durante el calentamiento de las suspensiones acuosas de almidón han sido extensamente investigadas mediante la calorimetría diferencial de barrido, conocida por sus siglas en inglés como DSC. La figura 10 muestra las curvas calorimétricas correspondientes a los almidones de banano estudiados.

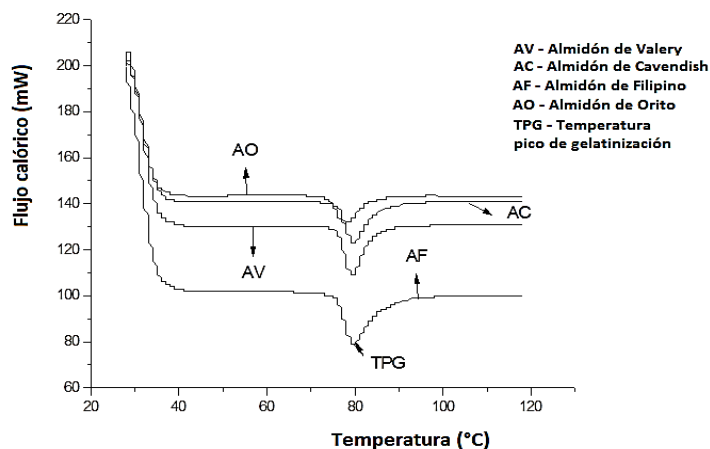


Figura 10. Curvas de transición de fases de los almidones de banano de las variedades: Filipino, Valery, Cavendish y Orito mediante la calorimetría diferencia de barrido.

Fuente: Los autores

Se puede observar la similitud entre ellas, exhibiendo un solo pico endotérmico durante el barrido de temperatura que se corresponde con la transición de gelatinización, en la que colapsa la estructura cristalina de los gránulos. El área bajo la curva permite calcular la entalpía de gelatinización, asociada a la energía necesaria para que los gránulos pierdan completamente su organización cristalina (Krueger y col., 1987; Kim y col., 1995).

La tabla 11 resume los resultados del estudio mediante la DSC. En cuanto a la temperatura de transición (temperatura inicial de gelatinización), que se relaciona con el grado de cristalinidad (Barichello y col., 1990), estas fueron similares (72 – 75 °C), lo cual indica que no hay diferencias de este atributo entre los almidones estudiados, aunque sí es superior a la de otros

almidones como por ejemplo trigo (50 – 57 °C), arroz (57 – 62 °C), maíz (62 – 66 °C) según lo reportado por Jane y col., (1999), Sodhi y Singh (2002), Jenkins y Donald (1998) respectivamente; este resultado sugiere que los gránulos de almidón de banano *Musa sapientum* exhiben mayor grado de cristalinidad que los mencionados, haciéndolos más resistentes a la gelatinización, ya que esta ocurre inicialmente en las regiones amorfas, donde los enlaces por puente de hidrógeno son más débiles (Singh y col., 2005).

El otro parámetro de interés es la temperatura pico de gelatinización, que tampoco dio diferencias significativas entre las variedades estudiadas (77 – 80°C), similar a la informada por Tribess (2009) en almidones de la especie *paradisiaca*, pero de igual modo, más elevada que la de los almidones de papa, maíz, arroz y trigo, todas en el intervalo de 57 a 69 °C (Jenkins y Donald, 1998, Jane y col., 1999; Li y Yeh, 2001; Sodhi y Singh, 2002); esta temperatura se asocia a la calidad de la estructura cristalina, mientras mayor sea la temperatura pico, más cohesiva y estable es la región cristalina (Cooke y Gidley, 1992), por lo que en resumen se puede afirmar que estos almidones tienen mayor grado de cristalinidad (más regiones cristalinas), con estructuras muy estables y coherentes.

Finalmente, en cuanto a la entalpía de gelatinización se encontró que hay diferencias entre las variedades, con el siguiente orden: Filipino y Cavendish < Valery < Orito, las que también son superiores a las entalpías de los almidones de otras fuentes ya mencionadas, con valores de ΔH de gelatinización entre 9 y 17 J/g, (Singh y col., 2003), resultado que se corresponde con el análisis de los anteriores parámetros.

Desde el punto de vista tecnológico, las diferencias observadas en las entalpías de gelatinización entre las variedades estudiadas indican un mayor consumo de energía para la variedad Orito, prácticamente el doble, en comparación con las variedades Cavendish y Filipino, que fueron las de menor entalpía.

Tabla11. Parámetros de gelatinización de los distintos almidones de banano por la calorimetría diferencial de barrido.

<i>Variedad</i>	<i>Ti (°C)</i>	<i>TPG (°C)</i>	<i>Tf (°C)</i>	<i>ΔH (J/g)</i>
AF	73,4 ^a (3,3)	80,0 ^a (2,8)	98,2 ^a (3,3)	20,05 ^c (5,1)
AV	75,0 ^a (4,5)	79,6 ^a (2,3)	88,1 ^b (2,8)	36,08 ^b (2,0)
AC	72,4 ^a (2,7)	79,9 ^a (3,7)	98,1 ^a (4,4)	26,00 ^c (3,5)
AO	72,1 ^a (5,4)	77,7 ^a (1,6)	83,0 ^b (4,3)	53,6 ^a (1,0)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con letra distinta son significativamente diferentes (p < 0,05).

Ti: Temperatura inicial de gelatinización; TPG: Temperatura pico de gelatinización; Tf: Temperatura final de gelatinización; ΔH: Entalpía de gelatinización.
 Leyenda: AF: Almidón de Filipino; AV: Almidón de Valery; AC: Almidón de Cavendish; AO: Almidón de Orito.

Viscosidad máxima de los almidones de banano

Los valores de viscosidad máxima de la suspensión de almidón de banano al 6 % y a la temperatura de 95 °C, no fueron significativamente diferentes, encontrándose entre 260 – 270 U. B. como se aprecia en la tabla 12.

Tabla12. Viscosidad máxima (unidades Brabender) a 95°C de los almidones de banano.

Variedad	Viscosidad máxima
AF	265 ^a (13)
AV	259 ^a (17)
AC	261 ^a (22)
AO	270 ^a (14)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Leyenda: AF Almidón de Filipino; AV Almidón de Valery; AC Almidón de Cavendish; AO Almidón de Orito.

La viscosidad máxima es una característica funcional de los almidones como consecuencia del proceso de hinchamiento de los gránulos por la absorción de agua, ruptura de los gránulos y salida hacia el exterior de las cadenas de amilosa que posibilita la formación de estructuras tridimensionales (Henning y col., 1976). Contribuyen a esta propiedad térmica diversos factores: la morfología de los gránulos, el contenido de amilopectina, ya que la amilosa actúa tanto como

diluyente e inhibidor del hinchamiento (Tester y Morrison, 1990), los pesos moleculares promedio de la amilosa y la amilopectina, así como las condiciones que se realizan las mediciones: concentración de almidón, tasa de calentamiento, tasa de esfuerzo cortante (Nurul y col., 1999); por esta razón la estimación de esta característica se realiza por la vía experimental.

Viscosidades máximas similares han sido informadas por Sánchez (2005), quien analizó igualmente muestras de almidón de banano, pero de la especie *paradisiaca*. La viscosidad máxima de los almidones estudiados es comparable con la de los almidones de trigo y de maíz, ambos calificados de viscosidad media, las cuales se encuentran alrededor de 300 U.B., aunque menor que los almidones de papa y de mandioca, los cuales alcanzan valores superiores a 1 000 U.B. (Badui, 2006). De acuerdo con este resultado, se puede plantear que los almidones de las variedades de banano estudiadas pueden ser empleados en aplicaciones similares donde se utiliza el almidón de maíz como agente modificador de la textura, específicamente cuando es usado como agente espesante.

En la figura 11 se muestran las curvas de viscosidad de cada variedad. Los cambios en el perfil de viscosidad pueden ser útiles para explicar cómo un proceso tecnológico afectará las propiedades del almidón.

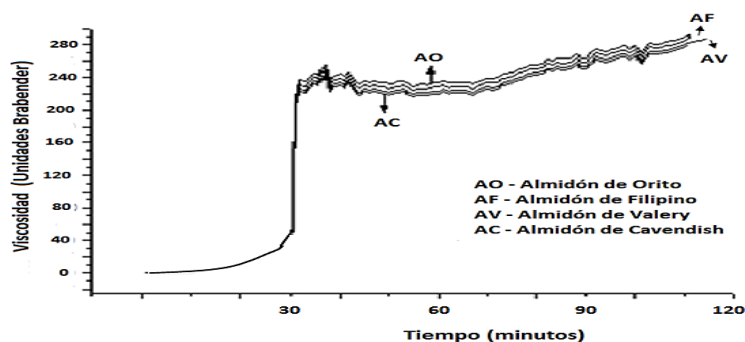


Figura 11. Viscoamilograma de los almidones de banano de las variedades Filipino, Valery, Cavendish y Orito

Fuente: Los autores

Al respecto, debe señalarse otra propiedad importante de estos almidones, la estabilidad que exhiben a temperaturas elevadas ($> 90^{\circ}\text{C}$), ya que mantienen la viscosidad después de alcanzado el pico máximo, etapa en la curva de viscosidad que se sostiene el esfuerzo cortante a la temperatura de 95°C (corresponde al intervalo de 30 a 60 minutos en la figura 11). Esta propiedad es útil en los procesos tecnológicos que involucren el bombeo en caliente del almidón gelatinizado, ya que no habrá disminución en la viscosidad debido a la desintegración de los gránulos.

Composición química proximal de la harina del granular durum

La composición química de la harina del granular *durum* utilizada en la presente investigación se detalla en la siguiente tabla.

Tabla13. Composición química del granular durum¹

<i>Macronutriente</i>	<i>Porcentaje</i>
Humedad	12,00
Proteína	12,54
Grasa	0,81
Cenizas	0,63
Hidratos de carbono	74,02

Fuente: Certificado análisis de la empresa Superior.

¹Composición (80 % semolinas +20 % harinas de cola del trigo canadiense amber durum)

Como se observa en la tabla, el trigo granular *durum* empleado en los ensayos de pastas presentó los valores típicos, pues proviene de la molturación de un trigo extraduro de excelente calidad. El granular *durum* obtenido presentó niveles de humedad y proteínas dentro de los valores esperados, y el contenido de cenizas fue inferior al máximo permitido (0,9 %) para este tipo de harina, de amplio uso en la preparación de pastas alimenticias (Gómez y col., 2011).

Como era de esperarse, el porcentaje mayor en la composición química fue el contenido de hidratos de carbono, ya que, como en todas las harinas, en el granular *durum* este es el componente de mayor presencia.

Perfil de desempeño reológico en el mixógrafo de Chopin de las mezclas granular durum con almidón de banano

El mixógrafo o Mixolab®, instrumento desarrollado por Chopin Technologies Company, tiene la capacidad de medir las propiedades físicas de mezclas de harinas, como fuerza, estabilidad, etc. y también la contribución que tiene el almidón en tales mezclas. La curva registrada por el instrumento refleja los cambios que ocurren en la masa debido a la acción combinada de la fuerza a que se somete durante el mezclado y la temperatura, de manera que se obtiene un patrón estandarizado de las etapas: mezclado, mezclado excesivo, gelatinización y gelificación. Las curvas así obtenidas brindan información del efecto que tienen los ingredientes de la mezcla en las propiedades físicas y posible comportamiento durante el proceso tecnológico. Por tal razón, es útil en la evaluación instrumental de la calidad de harinas de trigo, así como sus mezclas con otros ingredientes, lo que permite investigar la influencia en las propiedades físicas de las masas resultantes (Kahraman y col., 2008).

Índice de absorción de agua

La adición de almidón de banano al granular durum no influyó en la absorción de agua de la mezcla resultante, ya que no se observaron diferencias significativas respecto al control en pruebas de observación realizada anteriormente como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla14. Índice de absorción de agua de las formulaciones de granular durum con diferentes porcentajes de almidón de banano.

Tratamiento		Índice de absorción de agua (N.m)			
T0		7,25 ^a (0,50)			
	Filipino	Orito	Cavendish	Valery	
T1	7,50 ^a (0,57)	7,25 ^a (0,50)	7,25 ^a (0,50)	7,50 ^a (0,57)	
T2	7,50 ^a (0,57)	7,25 ^a (0,50)	7,25 ^a (0,50)	7,50 ^a (0,57)	
T3	7,50 ^a (0,50)	7,50 ^a (0,57)	7,50 ^a (0,57)	7,50 ^a (0,57)	

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano.

Otros investigadores también han informado un comportamiento similar con harinas de cereales, con valores de absorción de agua entre 7 y 8 empleando el mixógrafo Chopin (Sandoval, 2009 y Lascano, 2010). Según los índices alcanzados en las formulaciones estudiadas, se puede inferir que durante la primera etapa de mezclado, los gránulos de almidón mantienen su integridad, dada las características cristalinas que tiene de acuerdo con los resultados de la DSC discutidos anteriormente, pues la presencia de gránulos dañados, así como de proteínas son los dos factores principales que contribuyen a incrementar a la cantidad de agua absorbida de acuerdo con lo señalado por Nair y col. (2011).

Índice de amasado

Durante la primera etapa en que se mezclan los componentes (harina de trigo durum y almidón) con el agua, se observa un aumento en el torque hasta alcanzar un máximo; a continuación, la masa puede resistir la deformación o no, lo cual permite evaluar la absorción de agua y la estabilidad de la masa (Anónimo, 2005). Una masa estable viene dada por valores de torque/consistencia (N·m) altos y sostenidos. Los resultados experimentales del índice de amasado (IAM) se muestran en la tabla 15. Se observa que todas las formulaciones, respecto al control, no presentaron diferencia significativa; esto es, la adición de almidón de banano no debilita la consistencia de la mezcla resultante. Esto se justifica por la buena calidad de la proteína del trigo *durum* y también porque los almidones de banano estudiados resisten el esfuerzo cortante a temperaturas elevadas sin que se dañen los gránulos de almidón, como se demostró en las experiencias para determinar la viscosidad máxima con el viscoamilógrafo Brabender (acápite 3.5.2). Los valores de IAM se encontraron entre 4,25 y 4,75, lo cual concuerda con los datos reportados por Sandoval (2009).

El presente estudio, al igual que la investigación citada en cuanto a este índice, utilizó la misma metodología de amasado descrita en el protocolo de uso del Mixolab® de Chopin Technologies.

Tabla 15. Índice de amasado de las formulaciones granular *durum* con diferentes porcentajes de almidón de banano.

Tratamiento		Índice de amasado (N·m)			
T0		4,50 ^a (0,50)			
T1	Filipino	Orito	Cavendish	Valery	
	4,50 ^a (0,50)	4,75 ^a (0,50)	4.50 ^a (0,50)	4,50 ^a (0,57)	
T2	4,50 ^a (0,57)		4.50 ^a (0,50)	4,50 ^a (0,57)	
			(0,57)		
T3	4,25 ^a (0,57)	4,50 ^a (0,57)	4.50 ^a (0,50)	4,50 ^a (0,57)	
			(0,57)		

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano.

Índice de fuerza de gluten

En la tabla 16 se exponen los resultados del índice de fuerza de gluten. El análisis de los mismos evidencia que la adición de almidón afecta la fortaleza de gluten, ya que al aumentar el porcentaje de este ingrediente en la mezcla trigo durum -- almidón de banano, el índice de fuerza de gluten disminuyó significativamente. No se observó influencia de la variedad de banano en este índice. La incorporación de hasta 15 % de almidón no afecta a este índice, si se compara con el control. Concentraciones mayores dan como resultado una disminución significativa respecto al control.

Este comportamiento se justifica por el efecto de dilución en la proteína total de la mezcla al añadir el almidón, que prácticamente no aporta proteína.

Este índice relaciona la capacidad de la masa a extenderse durante la fabricación de la pasta, y también con la elasticidad y fortaleza (Anderson y Bekes, 2011), propiedades básicas para lograr un producto de calidad comercial.

Tabla 16. Índice fuerza de gluten de las formulaciones granular durum con diferentes porcentajes de almidón de banano.

Tratamiento	Índice de fuerza de gluten (Nm)			
T0	2.45 ^a (0,05)			
	Filipino	Orito	Cavendish	Valery
T1	2,44 ^a (0,05)	2,44 ^a (0,03)	2,41 ^a (0,04)	2,40 ^a (0,05)
T2	1,50 ^b (0,08)	1,74 ^b (0,02)	1,60 ^b (0,01)	1,65 ^b (0,07)
T3	1,27 ^c (0,03)	1,26 ^c (0,02)	1,25 ^c (0,02)	1,49 ^c (0,06)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano.

Índice de viscosidad

Esta información se corresponde con la etapa de aumento de la temperatura, después del mezclado a la temperatura de 30 °C. Cuando la masa alcanza temperaturas por encima de 50 °C, la viscosidad aumentará rápidamente como resultado del

hinchamiento de los gránulos de almidón. En la curva registrada por el Mixolab®, la viscosidad máxima (denominada índice de viscosidad) está asociada a la interacción proteína-proteína del granular *durum* y a las interacciones almidón-almidón y almidón-proteína.

En la tabla 17 se presentan los resultados de este indicador en las distintas mezclas de granular *durum* con almidón de banano. Con todas las variedades de banano, el índice de viscosidad aumentó significativamente en función del porcentaje de almidón, como consecuencia principalmente de la interacción almidón-almidón (gelatinización), aunque el factor variedad de banano no resultó significativo.

Lascano (2010) reportó valores del índice de viscosidad por encima de cinco, mientras que en esta investigación este índice fue inferior; esto hace suponer que en la investigación realizada por Lascano posiblemente existió un alto contenido de gránulos de almidón dañados, lo que incrementa la consistencia pastosa de la masa (Rodríguez y col., 2005).

Tabla 17. Índice de viscosidad de las formulaciones granular *durum* con diferentes porcentajes de almidón de banano.

Tratamiento		Índice de viscosidad (N·m)			
o					
T0		2.25 ^c (0,50)			
	Filipino	Orito	Cavendish	Valery	
T1	2,50 ^c (0,57)	2,25 ^c (0,50)	2,75 ^c (0,50)	2,75 ^c (0,50)	
T2	3,75 ^b (0,50)	3,50 ^b (0,57)	3,25 ^b (0,20)	3,50 ^b (0,57)	
T3	4,50 ^a (0,57)	4,75 ^a (0,50)	4,50 ^a (0,20)	4,75 ^a (0,50)	

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta

letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano.

Índice de resistencia a la amilasa

Tabla 18. Índice de resistencia a la amilasa en las formulaciones de trigo durum con diferentes porcentajes de almidón de banano.

Tratamiento	Índice de resistencia a la amilasa (Nm)			
T0	2,50 ^d (0,50)			
	Filipino	Orito	Cavendish	Valery
T1	3,50 ^c (0,57)	3,75 ^c (0,50)	3.25 ^c (0,50)	3,30 ^c (0,57)
T2	4,75 ^b (0,50)	4,50 ^b (0,57)	4.50 ^b (0,57)	4,25 ^b (0,50)
T3	5,75 ^a (0,50)	5,50 ^a (0,57)	5.75 ^a (0,50)	5,75 ^a (0,50)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar ($n = 3$). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano. El índice de resistencia amilásica se encuentra estrechamente relacionado con el valor de la viscosidad. Cuanto más alto es este índice, más viscosa será la masa debido a una pobre actividad amilolítica, responsable del rompimiento de la cadena de amilosa en fragmentos y, por ende, de la disminución de la viscosidad.

Los resultados de la tabla 18 expresan que, en todos los casos estudiados, a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución del granular *durum*, hay una mayor resistencia a la amilasa. El factor variedad de banano no influyó significativamente en este índice.

Índice de retrogradación

En el protocolo de trabajo del Mixolab®, la etapa final de enfriamiento permite evaluar el fenómeno de retrogradación de la masa, ya que se observa un aumento de la consistencia debido a la formación de gel. Este índice se asocia con la vida de anaquel, pues la retrogradación afecta la textura de los productos derivados de cereales (Murphy, 2000). Por otra parte, también es un indicador de la formación de almidón resistente, el cual tiene un efecto beneficioso a la salud. Los resultados de la presente investigación se muestran en la tabla 19, en la que se puede observar que en la medida que el porcentaje de almidón añadido se incrementa, el índice de retrogradación aumenta significativamente, aunque el factor variedad de banano no ejerce influencia alguna.

Tabla 19. Índice de retrogradación de las formulaciones granular durum con diferentes porcentajes de almidón de banano.

<i>Tratamiento</i>		<i>Índice de retrogradación (Nm)</i>			
T0		2,75 ^a (0,50)			
T1	Filipino	Orito	Cavendish	Valery	
	3,75 ^c (0,50)	3,25 ^c (0,50)	3.50 ^c (0,57)	3,75 ^c (0,50)	
T2	4,75 ^b (0,50)	4,25 ^b	4.50 ^b	4,75 ^b	
		(0,50)	(0,57)	(0,50)	
T3	5,75 ^a	5,25 ^a	5.50 ^a	5,75 ^a	
	(0,57)	(0,57)	(0,57)	(0,50)	

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes (p < 0,05). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano.

Según el método descrito en el protocolo del Mixolab® (Anónimo, 2005), un valor usual de este índice se encuentra en el intervalo de 2 a 4. Valores superiores indican que, en los productos a base de harina de trigo o harinas compuestas, la retrogradación puede incidir en la conservación, debido a que los polímeros solubles del almidón y los fragmentos granulares insolubles presentes se re-asocian después del calentamiento (Belloy y col., 2006).

En resumen, tomando en consideración la información obtenida por medio del Mixolab® de las mezclas harina de trigo durum y almidón de banano, porcentajes de adición de hasta el 30 % no

alteran la calidad de la mezcla en cuanto a la absorción de agua y la estabilidad de la masa, mientras que la fuerza de gluten, el índice de viscosidad y el índice de retrogradación no se afectan seriamente respecto al control, lo que sugiere que las propiedades físicas de los almidones de banano no deben desfavorecer la que tiene la harina de trigo durum para la producción de pastas.

Pruebas de cocción de las pastas alimenticias utilizando almidón de banano en sustitución parcial del granular durum

Tiempo óptimo de cocción

El tiempo óptimo de cocción (tabla 20) aumenta en función del porcentaje de almidón de banano añadido. La causa de este aumento se debe a que los almidones de banano estudiados poseen temperaturas de gelatinización elevadas, superiores a la del almidón de trigo, por lo que es de esperar que, a medida que este ingrediente se encuentra en mayor proporción en la mezcla, se necesite más energía para su completa gelatinización y, por tanto, más tiempo de cocción.

De Noni y Pagani (2010) reportaron que el tiempo óptimo de cocción para pastas alimenticias aumenta a medida que se incorporan harinas compuestas a la masa. Del mismo modo, Sandoval (2009) señaló que los valores de tiempo óptimo de cocción para pastas cortas elaboradas únicamente con granular *durum* estuvieron entre 10 y 12 minutos, y destacó que este tiempo es relativamente pequeño debido a que la amilosa presente en sus almidones se encuentra alrededor del 25 %, lo que favorece una rápida gelatinización. En este sentido, se

comprobó que la incorporación de almidón de banano hasta el 30 % no supera notablemente el límite de 12 minutos.

Otro factor que contribuye a prolongar el tiempo de cocción es el proceso de extrusión seleccionado para la producción de pastas; con la extrusión se obtienen estructuras más compactas y menos porosas, lo que dificulta la transferencia de agua hacia el interior y la consecución de la gelatinización (Puppín y col., 2012). Finalmente, no se observó influencia significativa de la variedad de banano en este índice.

El tiempo de cocción de las pastas constituye actualmente un parámetro importante desde el punto de vista de calidad, ya que simplifica el trabajo en la cocina. Los valores mostrados en la tabla 20 están dentro del rango de tiempo de cocción que, según las etiquetas de las pastas comerciales que se venden en Ecuador, se encuentra entre 10 y 16 minutos.

Tabla 20. Influencia del porcentaje de almidón en mezclas con trigo durum sobre el tiempo de cocción óptimo.

<i>Tratamiento</i>	<i>Tiempo óptimo de cocción (minutos)</i>			
T0	10,2 ^{bc} (0,5)			
	Filipino	Orito	Cavendish	Valery
T1	10,6 ^c (1,5)	10,8 ^c (0,8)	10,1 ^c (0,9)	10,4 ^c (0,1)
T2	11,7 ^b (1,3)	12,1 ^b (1,4)	11,8 ^b (0,8)	12,7 ^b (1,1)
T3	13,6 ^a (1,4)	14,8 ^a (0,8)	13,8 ^a (0,1)	14,1 ^a (1,1)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta

letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano.

Pérdida de peso por cocción

Torres y col. (2007) informaron que la sustitución parcial del granular durum por otra fuente sucedánea repercute en la calidad de las pastas alimenticias, mencionando como una de las afectaciones las pérdidas de peso durante la cocción. Este comportamiento se reproduce en la presente investigación, de acuerdo con los resultados presentados en la tabla 21.

La adición de almidón influye significativamente en la pérdida de peso, no así la variedad del banano. Las pérdidas por cocción encontradas en el presente trabajo fueron desde el 8,13 % (control) hasta el 15,11 % (incorporación de 45 % de almidón).

La adición de harinas o almidones de otras fuentes distintas al trigo, en la elaboración de pastas alimenticias, altera la fortaleza de toda la estructura de la pasta alimenticia cocida, pues disminuye el contenido de gluten por el efecto de dilución; esto origina la migración de sólidos desde la pasta hacia el agua de cocción (Carini y col., 2009). El inconveniente principal que supone esta situación es la modificación de la textura de este producto, que puede ser más pastosa debido a la presencia de polisacáridos amiláceos en el agua de cocción que acompaña la pasta.

De acuerdo con los resultados de este ensayo, la sustitución del granular durum hasta un 30 % por almidón de banano no produce pérdidas importantes de peso.

Tabla 21. Pérdida de peso por cocción de las pastas alimenticias elaboradas con granular durum/almidón de banano.

<i>Tratamiento</i>		<i>Pérdida de peso por cocción (g)</i>		
T0		8,13 ^d (0,11)		
	Filipino	Valery	Cavendish	Orito
T1	9,10 ^{cd}	8,94 ^d	9,77 ^c	8,88 ^d
	(0,33)	(0,22)	(0,11)	(0,44)
T2	11,03 ^b	12,03 ^b	13,02 ^b	10,71 ^b
	(0,89)	(0,88)	(0,98)	(0,47)
T3	13,40 ^a	14,08 ^a	15,11 ^a	14,14 ^a
	(4,10)	(1,00)	(1,30)	(1.13)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano.

Porcentaje de hinchamiento de las pastas

El porcentaje de hinchamiento de las pastas se relaciona con las características del índice de absorción de agua que posee el almidón. Durante la cocción, los gránulos de almidón absorben agua, lo que implica un aumento en el volumen de este producto. En la tabla 22 se muestran los resultados del porcentaje de hinchamiento obtenido después de la cocción de las pastas alimenticias, de los diferentes tratamientos.

El porcentaje de hinchamiento de la muestra control fue de 125,20. Se observó que la mezcla con 30 % de almidón, además de tener los porcentajes de hinchamiento más elevados,

también mostró que la influencia del factor variedad de banano resultó significativa, presentando un mayor incremento de volumen las variedades Filipino y Orito respecto a Cavendish y Valery.

De igual modo a lo observado en el ensayo anterior, la incorporación de hasta un 30 % de almidón, si bien incrementa el volumen de la pasta respecto al control, este aumento no es lo suficientemente significativo como para cambiar notablemente la apariencia de la pasta.

Tabla 22. Porcentaje de hinchamiento por cocción de las pastas alimenticias elaboradas con granular durum / almidón de banano.

Tratamiento		Hinchamiento (%)			
T0		125,20 ^d (8,20)			
	Filipino	Valery	Cavendish	Orito	
T1	130,40 ^c (11,50)	125,40 ^d (7,60)	130,09 ^c (5,90)	123,77 ^d (9,83)	
T2	150,70 ^b (10,30)	130,03 ^d (3,89)	141,79 ^a (9,77)	150,14 ^b (7,12)	
T3	170,55 ^a (15,00)	165,11 ^a (1,07)	155,81 ^a (13,30)	180,77 ^a (11,77)	

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 (control); = 100 % granular durum; T1= 85 % granular durum – 15 % almidón de banano; T2= 70 % granular durum – 30 % almidón de banano; T3 = 55 % granular durum - 45 % almidón de banano.

Evaluación sensorial de las pastas alimenticias utilizando almidón de banano en sustitución parcial del granular durum

De acuerdo con los resultados del análisis instrumental por medio del Mixolab® y los indicadores relacionados con el comportamiento durante la cocción de las pastas conteniendo porcentajes variables de almidón de banano, se seleccionó la formulación correspondiente de 70 % trigo durum y 30 % de almidón de banano, como límite máximo de sustitución de trigo durum, para realizar la evaluación sensorial de los restantes atributos organolépticos relacionados con la calidad de las pastas alimenticias.

Prueba de aceptación /rechazo

En la tabla 23 se muestran los resultados de la prueba de aceptación-rechazo de las pastas alimenticias tipo *fusilli* con 30 % de sustitución de granular durum por almidón de banano de cada una de las variedades estudiadas. Así mismo la tabla muestra que, todas las pastas elaboradas fueron aceptadas, ya que el valor de chi cuadrado obtenido fue mayor que el tabulado. Es de notar que el control tuvo una aceptación similar a las restantes variantes con adición de almidón, es decir, no fue del 100 %, lo que puede interpretarse como que, dentro del grupo de evaluadores, existen consumidores que probablemente no gustan de este tipo de producto alimenticio.

Tabla 23. Resultados de la prueba aceptación/rechazo de las pastas elaboradas con cada variedad de almidón de banano seleccionado ¹

<i>Tipo de almidón</i>	<i>Total de juicios</i>	<i>Aceptan</i>	<i>Chi cuadrado</i>	<i>Tabulado</i>
Control	120	80	12,7	
Filipino	28	79	6,6	
Cavendish	128	77	4,6	3,84
Orito	128	78	5,1	
Valery	130	78	5,6	

Los resultados informados se corresponden con las pastas elaboradas a partir de 70 % de trigo *durum* y 30 % de almidón de banano de cada variedad seleccionada.

Prueba de comparación múltiple

El objetivo de esta prueba fue detectar qué cambios organolépticos se produjeron con la sustitución de la harina de trigo por el 30 % del almidón de banano de cada variedad estudiada. Como puede apreciarse en la tabla 24, los panelistas identificaron adecuadamente la pasta 100 % de trigo *durum* introducida en el conjunto a evaluar, pero sin estar identificada como control, ya que los valores medios obtenidos para los cuatro atributos estudiados representan la categoría "ninguna diferencia", lo que sirvió para comprobar que el desempeño del panel fue confiable.

Tabla 24. Comparación múltiple de las cualidades organolépticas de las pastas alimenticias con 30 % de sustitución de granular *durum* por almidón de banano de cada variedad.

Variante	Atributo			
	Color	Sabo	Olor	Textura
Control	1,0	1,0	1,0	1,0
Durum/ Filipino	2,0	2,0	1,0	2,0
Durum/ Cavendish	2,0	2,0	1,0	2,0
Durum/ Valery	2,0	2,0	1,0	2,0
Durum/ Orito	1,0	1,0	1,0	1,0

Los valores informados corresponden al promedio de los juicios emitidos por el grupo de evaluadores ($n = 15$). Leyenda de la escala: 1 - ninguna diferencia; 2 – ligera diferencia; 3 – diferencia moderada; 4 – considerable diferencia; 5 – extrema diferencia.

Al analizar los resultados de la tabla anterior, los atributos color, sabor y textura no cambiaron notablemente, pues recibieron puntuaciones que se encontraban en la categoría de “ligera diferencia”, aunque en lo referente al sabor, los evaluadores reportaron un sabor ligeramente dulce. En cuanto al olor, los evaluadores no apreciaron diferencias en este atributo. La pasta elaborada con el almidón Orito no se diferenció de la pasta control, de acuerdo con las valoraciones de los evaluadores.

Composición nutricional de las pastas alimenticias

La composición nutricional en base seca de las pastas elaboradas con las distintas variedades de almidón de banano (porcentajes de sustitución 15 y 30 %) se presentan en las tablas 25 – 28.

Tabla 25. Composición nutricional (g/100 g base seca) de la pasta elaborada con almidón de la variedad Orito.

Porcentaje de almidón	% Proteína	% Grasa	% Cenizas	% Hidratos de carbono totales
Control (0%)	14,25 ^a (0,05)	0,92 ^a (0,03)	0,72 ^a (0,03)	84,11 ^a (0,57)
15 %	11,49 ^b (0,02)	0,74 ^b (0,06)	0,59 ^b (0,01)	87,18 ^b (0,53)
30 %	9,34 ^c (0,15)	0,57 ^c (0,03)	0,52 ^c (0,02)	89,77 ^c (0,51)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores medios en la misma columna con distinta letra son significativamente diferentes (p < 0,05).

Tabla 26. Composición nutricional (g/100 g base seca) de la pasta elaborada con almidón de la variedad Filipino.

Porcentaje de almidón	% Proteína	% Grasa	% Cenizas	% Hidratos de carbono totales
Control (0 %)	14,25 ^a (0,05)	0,92 ^a (0,03)	0,72 ^a (0,03)	84,11 ^c (0,57)
15 %	11,36 ^b (0,02)	0,82 ^b (0,01)	0,49 ^c (0,01)	87,32 ^b (0,50)
30 %	8,58 ^c (0,15)	0,54 ^c (0,03)	0,56 ^b (0,02)	90,33 ^a (0,53)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n=3). Valores medios en la misma columna con letra distinta son significativamente diferentes (p < 0,05).

Tabla 27. Composición nutricional (g/ 100 g base seca) de la pasta elaborada con almidón de la variedad Cavendish.

<i>Porcentaje de almidón</i>	<i>% Proteína</i>	<i>% Grasa</i>	<i>% Cenizas</i>	<i>% Hidratos de carbono totales</i>
Control (0 %)	14,25 ^a (0,05)	0,92 ^a (0,03)	0,72 ^a (0,03)	84,11 ^b (0,57)
15 %	11,27 ^a (0,15)	0,84 ^b (0,02)	0,47 ^b (0,02)	87,42 ^a (0,51)
30 %	10,77 ^c (0,15)	0,78 ^c (0,02)	0,46 ^b (0,02)	88,00 ^a (0,51)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n=3). Valores medios en la misma columna con letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Tabla 28. Composición nutricional (g/100 g base seca) de la pasta elaborada con almidón de la variedad Valery.

<i>Porcentaje de almidón</i>	<i>% Proteína</i>	<i>% Grasa</i>	<i>% Cenizas</i>	<i>% Hidratos de carbono totales</i>
Control (0 %)	14,25 ^a (0,05)	0,92 ^a (0,03)	0,72 ^a (0,03)	84,11 ^c (0,57)
15 %	11,63 ^b (0,15)	0,78 ^b (0,01)	0,48 ^b (0,03)	87,11 ^b (0,49)
30 %	10,90 ^c (0,10)	0,79 ^b (0,02)	0,49 ^b (0,02)	87,82 ^a (0,10)

Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n=3). Valores medios en la misma columna con letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

El contenido de humedad de todas las pastas elaboradas, incluyendo las variantes con sustitución de trigo durum por almidón de banano, fue inferior al 12 %. Del análisis de los datos presentados en las tablas se observó el siguiente comportamiento respecto al control (pasta con 100 % de trigo durum), e independientemente del tipo de almidón de banano empleado:

- El contenido de proteína disminuyó significativamente con el porcentaje de incorporación de almidón en la formulación de la pasta, debido al efecto de dilución, pues este ingrediente prácticamente no aporta proteína (concentración inferior al 1 %, tabla 8);
- Como consecuencia de lo anterior, la concentración de hidratos de carbono totales se incrementó significativamente con la adición de almidón;
- El contenido de minerales (cenizas) disminuyó significativamente, ya que los almidones empleados tienen como característica concentraciones bajas de minerales.
- De modo similar ocurrió con el contenido de grasa en las pastas.

Estos resultados eran esperados por la propia composición química característica de los almidones obtenidos. Desde el punto de vista nutricional, el contenido calórico de las pastas no varió, independientemente del porcentaje de sustitución de trigo durum por almidón, siendo el mismo alrededor de 400 kcal (1,67 kJ), si bien el contenido de proteína disminuyó aproximadamente entre 18 y 25 % en dependencia del porcentaje de sustitución (15 y 30 %). No obstante, de acuerdo con los resultados de la evaluación sensorial discutidos con anterioridad, las pastas elaboradas con el porcentaje mayor (30 %) mantienen los

principales atributos organolépticos típicos de este producto, al igual que el comportamiento durante la cocción, lo que permite afirmar que se puede formular pastas más económicas, mediante la sustitución parcial de trigo durum por almidón de banano de la especie *sapientum*.

Desde el punto de vista normativo, tomando como referencia la Norma Técnica Ecuatoriana (2000), el contenido de humedad de todas las formulaciones de pastas elaboradas cumplió el índice reglamentado de ser inferior al 14 %, ya que el contenido de humedad se encontró entre el 9 y 12 %, correspondiendo al diseño de secado empleado.

Con respecto al contenido de proteínas, la mencionada norma técnica ecuatoriana (NTE) establece un porcentaje de proteína mínimo de 10,7 % base seca para pastas con harinas compuestas; esta especificación se cumplió en las mezclas hasta el 30 % con los almidones de las variedades Valery y Cavendish, no observándose lo mismo con las variedades Orito y Filipino, que con ese porcentaje de sustitución los contenidos de proteína en la pasta fueron inferiores al 10 % en base seca. Por tanto, con estas dos variedades, es recomendable la incorporación de porcentaje menores, alrededor del 20 %. En cuanto a la especificación de contenido de cenizas, la NTE establece como límite máximo 0,90 % base seca para las pastas elaboradas con harinas compuestas; en esta investigación todas las formulaciones con almidón cumplieron esta especificación, ya que los contenidos de cenizas fueron muy inferiores al límite máximo establecido, entre 0,4 y 0,6 %. Acerca del contenido de grasa, la NTE no establece ninguna especificación.

Evaluación microbiológica de las pastas alimenticias

La calidad microbiológica de las pastas elaboradas con la incorporación de almidón fue satisfactoria en todas las variantes ensayadas, como consecuencia de la aplicación correcta de los tiempos y de la temperatura de secado seleccionada.

Todos los resultados del análisis microbiológico de las pastas alimenticias estuvieron por debajo del rango máximo que establece la Norma Técnica Ecuatoriana (2000), la cual define los siguientes límites máximos: Mohos y levaduras: 500 UFC/g; Coliformes totales: 100 UFC/g; E. coli: ausencia. Un elevado contenido de humedad en el producto final favorece el desarrollo de hongos, los cuales pueden ocasionar el deterioro de las pastas, decoloración, presencia de mohos en la superficie y malos olores, por citar algunos ejemplos.

Por su parte, el crecimiento de levaduras puede causar procesos fermentativos que incrementan la acidez en el producto, lo que trae como consecuencia el rechazo del producto final (Killy Turnbull, 2004).

Estudio de la proyección de factibilidad económica preliminar

Los resultados del estudio de la proyección de la factibilidad económica para el emplazamiento de una planta elaboradora de pastas alimenticias, utilizando como materia prima almidón de banano en sustitución parcial del granular durum, se detallan a continuación.

Estudio de mercado

Según datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC, 2024), el cantón Machala, provincia de El Oro, contó con 42 700 familias (cada familia con cinco integrantes en promedio). Por conveniencia metodológica, a esta población se le aplicó una encuesta (anexo 2) y, con la ayuda de la técnica del muestreo simple, fue posible obtener una muestra significativa de 600 familias.

En la tabla 29 se cuantifica el número de familias que consumen habitualmente pastas alimenticias en el cantón Machala, provincia de El Oro.

Tabla 29. Disposición de consumo de las pastas alimenticias en el cantón Machala – Provincia de El Oro.

DECISIÓN	NUMERODE ENCUESTAS	%
SI	510	85
NO	90	15
TOTAL	600	100

Fuente: Encuesta directa, Cantón Machala junio 2024

De la tabla 29 se observa que el 85 % de los encuestados respondieron que las pastas alimenticias forman parte de su dieta habitual, mientras que el 15 % indicó que no las consume. A las 510 personas que afirmaron consumir habitualmente este

tipo de alimento, se les consultó si estarían dispuestas a comprar y consumir pastas alimenticias elaboradas con granular durum y almidón de banano. Los resultados se presentan en la tabla 30.

Tabla 30. Aceptación en el consumo de pasta alimenticia a base de harina de trigo y almidón de banano.

DECISIÓN	NÚMERO DE ENCUESTADOS	%
SI	446	87,45
NO	64	12,55
TOTAL	510	100

Fuente: Encuesta directa, Cantón Machala junio 2024

El 87,45 % de los encuestados respondieron afirmativamente que consumirían esta pasta alimenticia elaborada a base de la sustitución parcial del granular durum por almidón de banano, mientras que un 12,55 % respondieron que no lo consumirían. Esto conlleva a decir que más de las tres cuartas partes de los encuestados favorecieron con agrado la ingesta de este nuevo producto.

Por otra parte, la demanda insatisfecha se establece como la diferencia que existe entre la oferta y la demanda, según lo planteado por Chain (2007). La investigación *in situ* observó que no se encontró en los supermercados oferta de las pastas alimenticias elaboradas a base de granular durum y almidón de banano como se lo concibe en la presente investigación, razón por la cual, la demanda insatisfecha es igual a la demanda, es

decir, que existen 47 687 familias que estarían dispuestas a comprar pastas alimenticias tipo Fusilli, según el cálculo que se ilustra en el anexo 3.

Tamaño y localización

- Tamaño

En relación al estudio de mercado (encuestas), se ha seleccionado un tamaño de pastificio, el cual, con un promedio de 270 días/año, con un turno de 8 horas/día, podría procesar 84 064,19 kg, valor equivalente a producir 739 764,87 fundas de 113,5 g de pastas alimenticias tipo Fusilli.

- Macrolocalización

La macrolocalización de la planta elaboradora de pastas alimenticias utilizando almidón de banano en sustitución parcial del granular durum, se ubicará en la provincia de El Oro, cantón Machala, como se muestra en la figura 13.



Figura 12. Macro localización de la planta elaboradora de pastas alimenticias utilizando almidón de banano en sustitución parcial del granular durum. Provincia de El Oro, cantón Machala

- Micro localización

Debido a que la ciudad de Machala no cuenta con un parque industrial, se procedió a la búsqueda de un sitio que cumpla con los mínimos requerimientos para la microlocalización de la planta elaboradora de pastas alimenticias en el cantón Machala, para lo cual se tuvo en consideración los siguientes factores (Morales, 2002): servicios básicos, mano de obra, costos de transporte y condiciones legales (municipio de Machala). La planta estará ubicada en el sector “10 de Septiembre”; en las calles 5ta Norte y Vehicular, como se muestra en la figura 14.

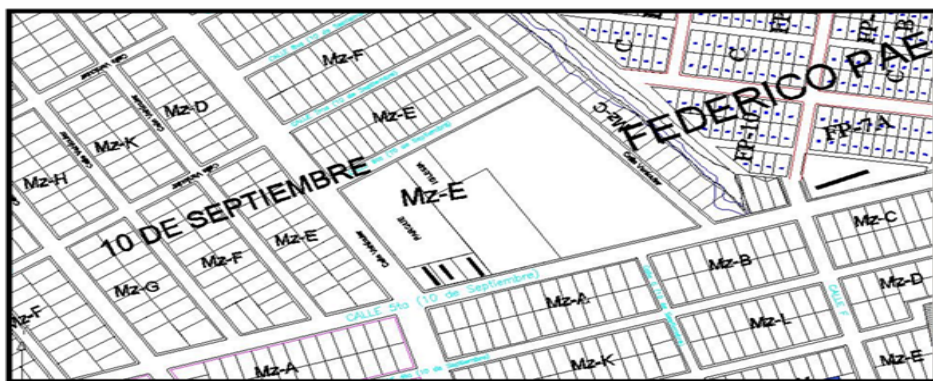


Figura 13. Micro localización de la planta elaboradora de pastas alimenticias elaboradas con almidón de banano en sustitución parcial del granular durum, en el cantón Machala.

Maquinaria y equipos utilizados para la planta elaboradora de pastas alimenticias utilizando granular durum / almidón de banano

Las máquinas y equipos utilizados para la obtención de pastas alimenticias, en formulación granular durum / almidón de banano, por extrusión, son: ventiladores, mezcladora, extrusor, cortadora, transportador de enfriamiento y selladora. En el anexo 4, se detallan las especificaciones y usos de los mismos.

Inversiones

Para poder determinar la inversión total, previamente se debió calcular tres grandes rubros: el activo fijo tangible, activo fijo intangible y el capital de operación (Chain, 2007). A continuación, se detalla cada uno:

Activo fijo tangible

El total del activo fijo tangible asciende a \$ 87.397,26 (dólares americanos). En el anexo 5 se detallan los bienes necesarios para la producción de pastas alimenticias.

Activo fijo intangible

El rubro monetario para poder cumplir con el activo fijo intangible es de \$7.217,00 (dólares americanos). En el anexo 6 se detallan los mismos.

Capital de Operación

Se necesitan \$ 190.520,26 (dólares americanos), para poder cubrir los costos de operación de un año normal de producción

de pastas alimenticias utilizando almidón de banano en sustitución parcial del granular durum, ver anexo 7.

Presupuesto de ingresos y costos

Presupuesto de Ingresos

La elaboración del presupuesto de ingresos partió del dimensionamiento de la demanda total de pastas alimenticias (estudio de mercado) y de la producción para un año normal (tamaño). Se prevé vender 739.764,87 fundas de cuatro onzas (113,5 g). El precio de venta al público será de \$0,50 por presentación y los ingresos totales alcanzarán los \$369.882,43 (dólares americanos). Se consideró una vida útil del proyecto de diez años.

Presupuesto de costos

Se calculó los costos fijos y variables los mismos que equivalen a \$41.900,57 y \$163.731,79; respectivamente, dando un costo de total \$205.632,36 (dólares americanos), ver anexo 8.

Flujo neto de caja

Los valores del flujo neto de caja son positivos: \$ 171.021,49, debido a que se empieza a producir las pastas y aparecen los ingresos que superan a los costos (ver anexo 9).

La inversión total necesaria para producir pastas alimenticias utilizando granular durum / almidón de banano, alcanzó un valor total de \$ 285.134,52 (dólares americanos).

Evaluación económica

El emplazamiento de un pastificio en el cantón Machala, provincia de El Oro, utilizando las mezclas estudiadas, será viable económicamente, en relación a su beneficio-costo (B/C). Esto nos indica, a través de su cálculo, que por cada unidad monetaria invertida se obtendrá 0,79 unidades como ganancia neta, lo cual puede ser observado en el anexo 10

CONCLUSIONES

La aplicación de la molienda húmeda como método de extracción fue un proceso satisfactorio, ya que prácticamente se obtiene más del 90 % del almidón presente en los bananos. En cuanto a las variedades estudiadas, los mejores resultados se lograron con Cavendish, Orito y Valery. El estudio morfológico de los gránulos de almidón arrojó que estos presentaban forma ovalada y superficie alisada. Las variedades Orito y Filipino fueron las que mostraron gránulos de dimensiones mayores así como la presencia de gránulos más pequeños. Sin embargo, los gránulos de las variedades Valery y Cavendish presentaron menor dimensión, exhibiendo menor variabilidad. La composición de amilosa/amilopectina fue similar entre las variedades Cavendish, Filipino y Valery, 15/85, excepto Orito, cuya relación fue 10/90. Todas las variedades estudiadas tienen como característica una temperatura de gelatinización elevada, alrededor de 80 °C, superior a la de los almidones de otras fuentes, lo que se relaciona con una estructura cristalina estable, con gran cohesión. De igual modo ocurre con la entalpía de gelatinización, observándose además, que hay diferencias entre variedades, siendo la variedad Orito la de mayor entalpía. Las principales características visco-elásticas de los almidones estudiados fueron la viscosidad máxima que mostró ser similar a la del almidón de maíz con satisfactoria resistencia al esfuerzo cortante como indicador de la cohesión de los gránulos durante la gelatinización. Del estudio de desempeño reológico, se comprobó que el nivel máximo de sustitución del almidón de banano por el granular durum no debe exceder el 30 % en todas las variedades, para la obtención de pastas alimenticias con la debida calidad. Al someter a cocción las pastas alimenticias,

utilizando almidón de banano / granular durum, se determinó que a partir del 30 % de sustitución el tiempo óptimo de cocción se incrementa notablemente respecto a la pasta sin adición de almidón. Un comportamiento similar se observó con el grado de hinchamiento, el otro índice relacionado con la calidad de la pasta durante el proceso de cocción. Las pastas alimenticias con incorporación de hasta el 30 % de almidón de banano, en sustitución del granular durum fueron evaluadas satisfactoriamente en las pruebas de aceptación y rechazo realizadas por los consumidores potenciales. No se encontraron diferencias notables en los atributos sensoriales de color, sabor, olor y textura mediante las pruebas de comparación múltiples. Desde el punto de vista de las especificaciones de calidad en cuanto al contenido de proteína, de acuerdo con la normativa ecuatoriana vigente, la sustitución de hasta el 30 % de granular durum se comprobó que las formulaciones con los almidones de las variedades Valery y Cavendish cumplen los límites mínimos establecidos en la norma, no aconteciendo lo mismo con las variedades Orito y Filipino, por lo que en estos casos el porcentaje de sustitución debe ser inferior. En cuanto a las restantes especificaciones establecidas en la norma, todas las pastas elaboradas se encontraban dentro de los límites. El emplazamiento de una elaboradora de pastas alimenticias utilizando almidón de banano por granular durum, en el cantón Machala, provincia de El Oro, es viable económicamente en relación al indicador económico beneficio/costo. El mismo nos indica que por cada unidad monetaria invertida, se obtendrá 0,79 unidades monetarias como ganancia neta en el proceso de venta de este alimento.

El precio de venta de una funda de pastas tipo fusilli (113,5 g), elaboradas en la presente investigación, es de \$0,50 (dólar), comparado con los \$0,80 (dólar) del producto que se expende comercialmente en el Ecuador.

Recomendaciones

Del estudio realizado, se recomienda la aplicación a mayor escala de los resultados obtenidos, con vista a contribuir en la solución de los grandes excesos de subproductos que en la actualidad existente en la exportación del banano en el Ecuador. La aplicación a mayor escala de los resultados daría como consecuencia el sufragar al mantenimiento de la soberanía alimentaria, sosteniendo con ello el cambio de matriz productiva. Realizar pruebas de estabilidad, para el establecimiento de la vida útil de las pastas alimenticias, utilizando almidón de banano en sustitución parcial del granular durum.

Referencias bibliográficas

- Adepoju, O., Sunday, B. y Folaranmi, O. (2012). Nutrient composition and contribution of plantain (*Musa paradisiaca*) products to dietary diversity of Nigerian consumers. *African J. Biotechnol.* 11, pp. 13601 – 13605.
- Aguilar, C. (2007). Optimización del proceso de modificación del almidón de maíz ceroso por extrusión y el uso de mezclas de almidones modificados con mucilago de nopal para la encapsulación de aceite esencial de naranja empleando el secado por aspersión. Tesis Universidad de Pachuca de Soto, 30 pp., México.
- Akoh, C.C. (1995). Lipid based fat substitutes. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 35, pp. 405 – 438.
- Álvarez, J., Arendt, E., y Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudo cereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends Food Sci. Tech.*, 21, pp. 106-113.
- Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., y Rada, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de Ñame, Yuca y Papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica.*, 19, pp. 19-20.
- Amaya, C., Osorio, F., Agama, E., Yee, H., y Bello, L. (2011). Physicochemical and digestibility properties of double-modified banana (*Musa paradisiaca* L.) starches. *Agric. Food Chem. J.*, 59, pp.1376-1382.
- Amundarain, M. (2005). Elaboración de galletas dulces con sustitución total y parcial de harina de trigo por harina

"*Maranta arundinacea*". Trabajo de Ascenso. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

Anderson, O. y Bekes, F. (2011). Incorporation of high-molecular-weight glutenin subunits into dough using 2 gram mixograph and extensigraph. *Cereal Sci. J.*, 54, pp. 288-295.

Antognelli, C. 1(980). The manufacture and applications of pasta as a food ingredient: a review. *Food Tech. J.*, 15, pp. 125 – 145.

AOAC INTERNATIONAL. (2023). Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL (22nd ed.). AOAC INTERNATIONAL. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>

Ao, Z., Simsek, K., Zhang, G., Venkatachalam, M., Reuhs, B.L. y Hamaker, B.R. (2007). Starch with a slow digestion property produced by altering its chain length, branch density and cristaline structure. *Agric. Food Chem. J.*, 56, pp. 4540 – 4547.

Aparicio, A., Gutiérrez, F., García, F., y Bello, L. (2008). Physicochemical and functional properties of cross-linked banana resistant starch. Effect of pressure cooking. *Starch/Starke.*, 60, pp. 286 – 291.

Arqueros, V. (2009). *Cómo optimizar el Control de Calidad de Pastas: Materias primas y producto terminado*". GRANOTEC, Argentina.

- Artz, W.E. y Hansen, S.L. (1996). Current development in fat replacers. In: Food Lipids and Health, Eds. McDonald, R. E. y Min, D. B., Marcel Dekker, Inc., New York.
- Asp, N.G. (1997). Resistant starch - an update on its physiological effects. En: Dietary Fiber in Health and Disease, eds. D. Kritchevsky y C. Bonfield, New York: Plenum Press, pp. 201-210.
- Astaiza, M., Ruiz, L., y Elizalde, A. (2010). Elaboración de pastas alimenticias enriquecidas a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* wild.) y zanahoria (*Daucus carota*). Revista Bio Agro. 8, pp. 43-53.
- Aureora, G., y Fahrensmaneb, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. Trends in Food Sci. & Technol., 20, pp, 78 – 91.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos, Editorial PEARSON EDUCACIÓN, México.
- Baiano, A., Lamacchia, C., Fares, C., Terracone, C. y La Notte, E. (2011). Cooking behaviour and acceptability of composite pasta made of semolina and toasted or partially defatted soy flour. LWT Food Science and Technology, 44, pp. 1226 – 1232.
- Barichello, V., Yada, R.Y., Coffin, R.H. y Stanley, D.W. (1990). Low temperature sweetening in susceptible and resistant potatoes: starch structure and composition. Food Sci.J., 54, pp. 1054-1059.

- BCE (Banco Central del Ecuador). (2013). Estadísticas de comercio exterior. Disponible en: www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/comercioexterior.jsp.
- Bello, L. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (var. Macho). *Agro Ciencia*, 1, pp. 169-180.
- Bello, L., Méndez M, M., Acevedo, E. (2006). Almidón: definición, estructura y propiedades, Editorial da Universidad de São Paulo, Brasil.
- Bello, L., Sánchez, M., Núñez, C. Rodríguez, S. y Román, A. (2010). Effect of pearled in the isolation and the morphological, physicochemical and rheological characteristic of barley starch. *Carbohydrate Polymers*, 81, pp. 63-65.
- Benítez, T. (2008). Caracterización morfológica y térmica del almidón obtenido por diferentes métodos de aislamiento. Tesis para la obtención del grado de licenciado en alimentos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Berghofer, E. y Schoenlechner, R. (2002). Grain amaranth; en: *Pseudo-cereals and less common cereals. Grain properties and utilization potential*. Eds. Belton P. y Taylor J., Springer Verlag, Berlin Heidelberg. Alemania, pp. 219-241.
- Bersh, A. (2011). Determinación de las características fisicoquímicas y funcionales de harinas y almidones nativos, obtenidos a partir de frutos de cambur, híbridos FHIA-18 (*Musa AAB*) e Ibota (*Musa AAA*). Tesis para la obtención del grado de licenciado en alimentos. Universidad Central de

Venezuela. Estado Aragua, Venezuela.

- Biliaderis, C. (1992). Structures and phase transitions of starch in food system. *Food Technol.*, 46, pp. 98-109.
- Bjorck, I. (1996). *Carbohydrates in Food*, Ed. University of Lund, Sweden.
- Bonilla, A. y Morúa, G. (2001). Extracción y caracterización parcial del almidón de banano verde utilizando una pectinasa. *Rev. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8, pp. 15-16.
- Brown, I. (2004). Applications and uses of resistant starches. *AOAC. J.*, 87, pp. 727-732.
- Cabrera, A., Madrigal, L. y Vázquez, J. (2007). Extracción y caracterización química del almidón de plátano y banano de las variedades FHIA- 01, 20, 21 y 23. Documento IX Congreso de Ciencia de Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Colima, pp. 306-314.
- Campos, D.T., Steffe, J.F. y Perry, K.W.N.G. (1997). Rheological behaviour of undeveloped and developed wheat dough. *Cereal Chem.*, 74, pp. 489-494.
- Carini, E., Vittadini, E., Curti, E. y Antoniazzi, F. (2009). Effects of different shaping modes on physic-chemical properties and water status of fresh pasta. *Food Eng. J.*, 93, pp. 400-406.
- Casarrubias, G.; Méndez, G. y Rodríguez, L. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, 46, pp. 455-466.

- Cervera, S., Pasion, W. y Trujillo, O. (2008). Obtención de Jarabe a partir de la pulpa de banano verde, mediante la hidrólisis ácida de sus almidones, aplicando ácido clorhídrico y ácido sulfúrico. Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.
- Croghan, M. y Mason, W. (1998). 100 years of starch innovation. Food Sci. & Technol. Today, March, pp. 17–24.
- Chain, S. (2007). Proyectos de Inversión: Formulación y evaluación. Editorial Pearson, México.
- Chillo, S., Laverse, J., Falcone, P.M. y Del Nobile, M.A. 2007. Effect of carboxymethylcellulose and pregelatinized corn starch on the quality of amaranthus spaghetti. Journal of Food Engineering, 83, pp. 492-500.
- Chopin Technologies. (2006). Mixolab Applications Handbook: Rheological and enzymatic analysis. Villinueva, Francia.
- Cooke, D. y Gidley, M.J. (1992). Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization and origin of the enthalpic transition. Carbohydrate Res., 227, pp. 103-112.
- Cruz, K. (2012). Modelado del proceso de hidrolisis enzimática de almidones gelatinizados del fruto de la planta de banano. Tesis maestría Universidad Nacional de Colombia.
- Da Mota, R.V., Lajolo, F. M., Ciacco, C. y Cordenunsi, B.R. (2000). Composition and functional properties of banana flour from different varieties". Starch, J., 52: 63-68.

- De Bernardi, L. (2012). Fécula de Mandioca. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Argentina. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com>.
- De La Torre, J. y Zamarrón, C. (2002). Evaluación de Proyectos de Inversión. Editorial Pearson, México.
- De Noni, I. y Pagani, M. 2010. Cooking properties and heat damage of dried pasta as influenced by raw material characteristics and processing conditions. Food Sci. Nutrition. 50, pp. 465-472.
- Dobraszczyk, B.J. y Morgenstern, M.P. (2003). Rheology and the breadmaking process: review. Cereal Sci. J., 38, pp. 229-245.
- Duchessi, P. (2000). Cómo crear valor para el cliente el arte y la ciencia. Ed. Panorama, México.
- Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A., Sánchez, T., Reynes, M., Pain, J. P., González, A. y Díaz, A. (2009). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. Thermal and functional characterization of cultivated Colombian *Musaceae* (*Musa sp.*). Agric. Food Chem. J., 57, pp. 7870-7876.
- Edwards, B. (2012). Quality of Western Canadian Wheat. Canadian Grain Commission, J., pp. 30-33.
- Englyst, N.; Hudson, G.; y Englyst, N. (2000). Starch analysis in food. En: Encyclopedia of Analytical Chemistry. John Wiley & Sons, Ltd.

- Erlingen, R y Delcour J. (1995). Formation, analysis, structure y properties of type III enzyme resistant starch. *Cereal Sci. J.*, 21, pp. 1-8.
- Espinosa, J. M. (2007). Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Universitaria, Habana, Cuba.
- Espinoza, V. y Jane, L. (2009). Physicochemical characteristics of starches from unripe fruits of mango and banana. *Starche-starke*, 61, pp. 291-299.
- FAO. (2012). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Disponible en: <http://www.fao.org/catalog/inter-s.htm>.
- FAO. (2013). Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. No.1., marzo.
- Fasasi, O., Eleyinmi, A. y Yarekua, M. (2007). Effect of some traditional processing operations on the functional properties of African breadfruit seed (*Treculia africana*) flour. *Food Sci. Technol. J.*, 40, pp. 513-519.
- Feillet, P., Autran, J. C. y Icard-Verniere, C. (2000). Pasta brownness': an assessment. *Cereal Sci. J.*, 32, pp. 215-33.
- Flores, E. F. J., García, E., Flores, M.C., Núñez, R., González, A. y Bello. L.A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezuela*, 55, pp. 86 -90.
- French, D. (1969). Physical and chemical structure of starch and glycogen", en: *Carbohydrates and their Roles*, Ed. H.W. Schultz et al., The Avi Publishing, Westport, Conn.

- French, D. (1983). Physical and chemical organization of starch granules. In: *Starch: Chemistry and Industry*. Eds. Whistler, R. L., Paschall, E. F. y BeMiller, J. N., Academic Press, New York.
- Gallegos, J., Rocha, E., González, R., Ochoa, L., Corzo, N., Bello, L., Medina, L. y Peralta, L. (2013). Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.*, 119, pp. 1544-1549.
- García, A. y Pacheco, E. 2009. Hidrólisis enzimática in vitro y microscopia electrónica de la harina horneada y extruida de arracacha. *Agronomía Trop.*, 59, pp. 297-308.
- García, G. 2009. Cátedra de tecnología de frutas y hortalizas: transpiración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, 12 pp.
- García, O. 2008. Hacia una definición de fibra alimentaria. *Rev. Venezolana de Nutr.*, 21, pp. 25-30.
- Gil, A. 2010. Tratado De Nutrición. Tomo II. Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. Editorial Médica Panamericana, España Madrid.
- Gómez, E., Guerra, M., Arias, J., Mujica, D. y Francisca G. 2011. Elaboración de una pasta de harina compuesta utilizando sémola e hidrolizado de germen desgrasado de maíz (*Zea mays* L.). *Rev. Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, pp. 73-84.
- Góngora, M. 2013. Estudio de las características espesantes y viscosantes del almidón de banano, comparado con los almidones utilizados comercialmente. Disponible en:

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3213.pdf.

- Goñi, I., García, L., Mañas, E. y Saura, F. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chem.*, 56, pp. 445-449.
- Guevara, C., Arenas, H., Mejía, A., y Peláez, C. 2012. Obtención de Etanol y Biogás a Partir de Banano de Rechazo. *Información Tecnológica*, 23(2): 20-21.
- Hadnadev, T.D., Torbica, A.; y Hadnadev, M. 2011. Rheological properties of wheat flour substitutes/alternative crop a assessed by Mixolab. *Proc. Food Sci.*, 1, pp.328-330.
- Hasjim, J. y Jay Lin, J. 2009. Production of Resistant starch by Extrusion Cooking of acid-modified normal-maize Starch. *Journal of Food Science*, 74, pp. 556-562.
- Hayta, M. y Schofield, J. 2005. Dynamic reological behavior of wheat glutens during heating. *Sci. Food Agricult. J.*, 89(12): 1992-1998.
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., y Betancur, D. 2008. Caracterización físico-química de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia. Tecnol. Aliment. Campinas*. 28, pp. 718-726.
- Henning, V. H. J., Lechert, M. y Goemann, W. 1976. Examination of swelling mechanism of starch by pulsed NMR method. *Starch*, 28, pp. 10-14.
- Holm, J., Bjorck, I., Asp, N., Sjoberg, L. y Lundquist, I. 1985. Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam-cooking and popping of wheat. *Cereal Sci. J.*, 3: 193-200.

- Hoover, R. y Ratnayake, W. 2002. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil navy bean and pinto bean cultivars grow in Canada. *Food Chem.*, 78, pp. 489-498.
- Huang, D. P. y Rooney, L. W. 2001. Starches for Snack Foods, en: *Snack Foods Processing*, Lusas, E. W. y Rooney, L. W. (eds.), CRC Press LLC.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). 2024. Estadísticas poblacionales de la provincial de El Oro. Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/el_oro.pdf. Consultado Enero 2024.
- Islas, J. J., Rodríguez, S. L., Agama, E., Pacheco, G. y Bello L. A. 2007. Evaluación de algunas propiedades químicas de un polvo rico en fibra preparado a partir de harina integral de plátano. Documento IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, México, pp. 115 – 121.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M. y Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, 76, pp. 629–637.
- Jane, J.L. 2004. Starch: Structure and properties, en: *Functional properties of food saccharides*, ed. Piotr Tomasik, CRC Press LLC. pp. 89 – 108.

- Jenkis, P., y Donald, A. 1998. Gelatinisation of starch: a combined SAXS/WAXS/DSC and SANS. *Carbohydrate Research*, 308 (1): 133-147.
- Jiménez, G. 2007. Comunicación personal gerente de producción. Empresa Lucchetti Chile S.A., Santiago de Chile.
- Kent, N. L. 1996. *Tecnología de Cereales*. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España. pp. 194 -195.
- Kahraman, K., Sakiyan, O., Ozturk, S., Koksel, H., Sumnu, G. y Dubat, A. 2008. Utilization of Mixolab1 to predict the suitability of flours in terms of cake quality. *Eur Food Res. Technol.*, 227, pp. 565-570.
- Kilcast, D. y Clegg, S. 2002. Sensory perception of creaminess and its relationship with food structure. *Food Qual. & Pref.*, 13, pp. 609-623.
- Kill, R.C. y Turnbull, C. 2004. *Tecnología de la elaboración de pasta y sémola*. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España.
- Kim, S. Y., Wiesenborn, D. P., Orr, P. H. y Grant, L. A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *Food Sci. J.*, 60, pp. 1060-1065.
- Krueger, B. R., Knutson, C. A., Inglett, G. E. y Walker, C. E. 1987. A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behaviour of corn starch. *Food Sci.J.*, 52, pp. 715-718.

- Lascano, A. 2010. Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales: Cebada (*Hordeum vulgare*), Maíz (*Zea mays*), Quinua (*Chenopodium quinoa*), Trigo (*Triticum vulgare*) y tubérculo: Papa (*Solanum tuberosum*) nacionales. Tesis de grado Ingeniería Alimentos. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Li, J. y Yeh, A. 2001. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. Food Eng. J., 50, pp. 141-148.
- Light, J. M. 1990. Modified food: Why, What, Were, and How. Cereal Food World, 35, pp.1081-1092.
- MAGAP.2012. Sector Agropecuario del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca. Disponible en: <http://www.magap.gob.ec>.
- Marchylo, B. A. y Dexter, J. E. 2001. Pasta production, chapter 6, en: Cereals processing technology. Ed. G. Owens; Woodhead Publishing Ltd., pp. 114-135.
- Martí, A., Seetharaman, K. y Pagani, M. A. 2010. Rice-based pasta: a comparison between conventional pasta-making and extrusion e cooking. Cereal Sci. J., 52, pp. 404-409
- Martin, F. 2009. Estado y Mercado en la historia del Ecuador. Revista Nueva Sociedad, 221, pp.130-135.
- Mazzeo, M. M., Alzate, G. A. y Marín, M. M. 2008. Obtención de almidón a partir de residuos postcosecha del plátano Dominic Hartón (*Musa AAB Simmonds*). Vector, 3, pp.57-69.

- Meilgaard, M., Civille, G. V., y Carr, T. 2007. Sensory evaluation techniques. Editorial Boca Ratón, Florida, USA.
- Mojet, E. 2005. Sensory memory and food texture. Food Qual. & Pref. J. 16, pp. 251-266.
- Morales, C. y Morales J. 2002. Proyectos de inversión en la práctica, formulación y evaluación. Editorial Fondo Perú.
- Moreira, K. 2013. Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (*Musa paradisiaca*) y plátanos (*Musa sapientum*) para la producción de alimentos destinados al consumo humano. Tesis en opción al grado de ingeniero químico. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Moreno, J. 2009. Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano en la región de Magdalena. Medellin, Colombia. Editorial Colombia.
- Murphy, P. 2000. Chapter 3 Starch, en: Handbook of hydrocolloids, eds. G. O. Phillips y P. A. Williams, Woodhead Publishing Ltd, pp. 61-86.
- Nair, SB., Jyothi, A.N., Sajeew, M.S. y Misra, R. 2011. Rheological, mechanical and moisture sorption characteristics of cassava starch – konjac glucomannan blend films. Starch–Starke, 63, pp. 728 - 736
- Nikuni, Z. 1982. Studies on starch granules, Die Starke, 30, pp.1-12.

- Noblecilla, W. 2008. Estudio y análisis del banano y propuesta gastronómica en la provincia de El Oro. Tesis previa a la obtención del título de administrador gastronómico. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
- Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 1375. 2000. Pastas alimenticias o fideos. Requisitos.
- Nurul, I. M., Mohd-Azemi, B. M. N. y Manan. D. M. A. 1999. Rheological behavior of sago (*Metroxylon sagu*) starch paste. Food Chem., 64, pp.501-505.
- Ordoñez, A. 2005. Diseño de un proceso para la maduración acelerada de banano utilizando "etefon" como agente madurador. Tesis Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- Ottenhof, M. A. 2003. Multi-technique study of the retro-gradation of concentrated starch system. Ph. D. Thesis, Division of Food Science, University of Nottingham, United Kingdom.
- Ovando, M. 2009. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. Food Chem., 113: 121-126.
- Pacheco, E. y Giusepina, T. 2005. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. Revista Interciencia, 30, pp. 300 – 304.
- Parker, R. y Ring, S. 2001. Aspects of the physical chemistry of starch. Cereal Sci. J., 34, pp. 1-17.

- Pérez, A., Bello, L., García, B., Montejano, G., Barbosa, G. y Regalado, C. 2012. Effect of structural characteristics of modified waxy corn starches on rheological properties, film-forming solutions, and on water vapor permeability, solubility, and opacity of films. *Starch/Stärke*. 64, pp. 27 – 34.
- Pérez, E.; y Marín, J. 2009. Situación actual de las harinas de banano: Usos potenciales en la agroindustria nacional. *Revista Producción Agropecuaria*, 2, pp. 15-17.
- Periago, M. y Casa, J. 1997. Non- starch polysaccharides and in vitro starch digestibility of raw and cooked chick peas. *Food Sci. J.*, 62, pp. 93-96.
- Plasch, G. y Bingen, S. 2008. Mezclas y harinas preparadas. Soluciones prácticas: Disponible en: <http://www.muehlenchemie.de/downloads-expertenwissen/mc-convenience-plasch-esp.pdf>, Alemania.
- Prieto, M., F., Trejo, C. C., Prieto, G., F., Méndez, M., M., Bello-Pérez, L., y Román, G. A. 2010. Acetilación y caracterización del almidón de cebada. *Revista Latinoamericana de recursos naturales*, 6 (1):32-43.
- Puppin, Z.R., Assuncao, B., Gandolfi, L., Selva, G., Martins, M. y Pratesi, R. 2012. Green banana pasta: An alternative for gluten-free diets. *Academy Nutr. Dietetics J.*, 112, pp.1068-1072.
- Quito, D. 2007. Estudio comparativo de dos biofertilizantes líquidos en condiciones in vitro e invernadero en plantas de

banano y su efecto en el desarrollo de la sigatoka negra (*Micosphaerella fijensis* Morelet). Tesis Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción, Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Reinaldo, J., Velasco, W., Mera, J. y Villada, H. 2008. Producción de dextrinas a partir de almidón nativo de yuca por ruta seca en una agroindustria rural. Rev. Información Tecnológica. 19, pp.16-17.

Rivas, M., Méndez, M., Montalvo, M., Sánchez, M. y Núñez, M. 2008. Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado. Revista Agrociencia, 42, pp. 490-499.

Rodríguez, C. 2011. Análisis estadístico de la producción y el consumo de trigo en el Ecuador. Disponible: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2138/1/4198.pdf>

Rodríguez, E., Fernández, A. y Ayala A. 2005. Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. Rev. Ingeniería e Investigaciones, 57, pp. 72-78

Rodríguez, E., Fernández, A. Alonso, A. y Ospina, B. 2006. Reología de suspensiones preparadas con harina de yuca precocida". Rev. Ingeniería y Desarrollo, 19, pp. 87-93

Rodríguez, E., Sandoval, A. y Fernández, A. 2007. Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida. Rev. Colombiana de Química, 36, pp.13-30.

Salinas, Y., Martínez, F.; Bustos, M., Soto, R., Ortega, P., y Arellano, L. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre

antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia*, 37, pp. 617-628.

Sánchez, M.; García, L., Velázquez Del Valle, M. y Gutiérrez, F. 2005. Rendimiento de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*) estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55, pp. 86-87.

Sancho, J. 2013. Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Disponible: http://es.wikibooks.org/wiki/An%C3%Analisis_Sensorial_de_Alimentos. Consultado Julio 2013.

Sandoval, G. 2009. Desarrollo de mezclas farináceas de cereales (Maíz, Quinoa y Cebada) y papas ecuatorianas como sustitutos parciales del trigo importado para la elaboración de pan y fideos. Informe técnico final. Secretaria nacional de ciencia y tecnología, Ecuador.

Santo, V., Benassi, M., Visentainer, J. y Matioli, G. 2010. Quinoa and Flaxseed: Potential ingredients in the production of bread with functional quality. *Brazilian Archives Biol. & Technol.*, 53, pp. 981-986.

Sapag, N., y Sapag, C. 2000. Preparación y evaluación de proyectos. Editorial Mc Graw Hill.

Shi, Y. C. y Seib, P. A. 1992. The structure of four waxy starches related to gelatinization and retrogradation, *Carbohydrate Research*, 227: 131-145.

- Shujun, W.; Wenyuan, G.; Wei, J. y Peigen, X. 2006. Crystallography, morphology and thermal properties of starches from four different medicinal plants of *Fritillaria* species. *Food Chem.*, 96, pp. 591-596.
- Singh, N. L., Kaur, N., Sodhi, S. y Sekhon, K. 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars, *Food Chem.*, 89(2): 253–259.
- Sodhi, N. S. y Singh, N. 2002. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chem.*, 80, pp. 99-108.
- Svegmark, K. y Hermansson, A. M. 1993. Microstructure and rheological properties of composites of potato starch granules and amylose: a comparison of observed and predicted structure. *Food Structure*, 12, pp. 181-193.
- Takeda, Y. y Hizukuri, S. 1987. Structure of branched molecules of amyloses of various origins, and molar fractions of branched and unbranched molecules. *Carbohydr. Res.*, 165, p.139.
- Takeda, C., Takeda, Y. y Hizukuri, S. 1993. Structure of the amylopectin fraction of amylomaize. *Carbohydr. Res.*, 246, p. 273.
- Takeda, Y., Shirasaka, K., y Hizukuri, S. 1984. Examination of the purity and structure of amylose by gel-permeation chromatography. *Carbohydr. Res.*, 132, p.83
- Tester, R.F., Karkallas, J., y Qi, X. 2004. Starch–composition, fine structure and architecture. *Cereal Sci. J.*, 39, pp.151-165.

- Tester, R. F. y Morrison, W. R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. *Cereal Chemistry*, 67, pp.558–563.
- Tharanathan, R.N. 2005. Starch value addition by modification. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 45: 371-384
- Tomalá, J., Mancero y R., Pisco, J. 2009. Análisis de factibilidad al proceso de elaboración de harina de banano para balanceado en la provincia del Guayas. Tesis Facultad ICHE, Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Torres, A.; Frías, J.; Granito, M., y Vidal-Valverde, C. 2007. Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: chemical and sensory evaluation. *Food Chem*. 101, pp. 202-214.
- Torres, A., Parra, J., Fernández, R. y Valero, Y. 2014. Efecto de la suplementación de sémola de trigo con *arthrospiraplatensis* sobre calidad, aceptabilidad y composición física y química de espaguetis. *Revista Vitae*. 21, pp. 81-89.
- Torres, G., y Sánchez, D. 2009. Caracterización visco-elástica de masas y variedades de trigos suaves. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, México.
- Tribess, T. 2009. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *Food Sci. & Technol*. 42, pp.1022-1025.
- Troy, D. 2006. Remington: The Science and Practice of Pharmacy, 21a. Edición. Editorial Lippincott, Williams & Wilkins, USA.

- Vásquez, R. 2013. Efecto de la modificación química del almidón de plátano obtenido a partir de 2 diferentes variedades sobre el contenido de AR: caracterización físico-química, de digestibilidad, térmica, estructura y morfológica. Tesis Universidad Papaolapan, México.
- VITADELIA. 2012. Bananas: algunas características y propiedades 2008. Disponible en: <http://www.vitadelia.com>.
- Wang, N., Bhirud, P. R., Sosulski, F. W., y Tyler, R. T. 1999. Pasta-like product from pea flour by twin-screw extrusion. Food Sci. J., 64, pp. 671-677.
- Watts, B., Ylimaki, G., Jeffery, L. y Elías, L., 1992. Métodos sensoriales básicos para la elaboración de alimentos. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Canadá.
- Zaed, A.; Swift, M. y Sutherland, A. 2009. A stereos elective synthesis physoperuvine using a tandem aza-claisen rearrangement and ring closing metathesis reaction. Org. Biomol. Chem., 13, pp. 2678-2680.
- Zaidel, D. N. A., Chin, N. L. y Yusof, Y. A. 2010. A review on rheological properties and measurements of dough and gluten. Appl. Sci. J., 10, pp. 2478-2490.
- Zambrano, S. C. 1998. Otimizacao das condiciones de hidrólise ácida do amido de Mandioca para obtencao de sustitos de gordra: Caracterizacao de hidrolisados e aplicacao em bolos. Tese doutor em Tecnología de Alimentos. Universida de Estadual de Campinas. Brasil. p.125.

- Zhang, P., Whistler, R., BeMiller, J. y Hamaker, B. 2005. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility. *J. Carbohydr. Polymers*, 59, pp.443-458.
- Zhao, J. y Whistler, R. L. 1994. Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers. *Food Technol.*, 48, pp. 104-105.
- Zounis, S. y Quail, K. J. 1997. Predicting test bakery requirements from laboratory mixing tests. *Cereal Sci. J.*, 25, pp.185-196.

ANEXOS

ANEXO 1a

Boleta de la Prueba de aceptación/rechazo

Nombre y apellidos _____

Fecha _____

Ud., ha recibido una muestra de pasta alimenticia. Pruébela e indique con una (x) si la comería o no.

Código _____ Sí ____ No ____

Observaciones

ANEXO 1b

Boleta de la Prueba de comparación múltiple

Nombre _____ Fecha _____

Ud. ha recibido una muestra de referencia (R), la cual va a comparar en cuanto a color, sabor, olor y textura con las muestras codificadas recibidas. Pruebe las muestras de izquierda a derecha. Recuerde que el vaso de agua que se le presenta es para que sea usado como agente de enjuague entre una degustación y otra. Marque con una (X) según el grado de diferencia que Ud. encuentre.

Atributo: _____

	Códigos			
Grado de diferencia				
Ninguna				
Ligera				
Moderada				
Mucha				
Extrema				

Observaciones

ANEXO 2

Encuestas dirigidas a las familias del Cantón Machala, Provincia de El Oro, para conocer el grado de aceptación por consumir pastas alimenticias, utilizando almidón de banano como sustituto parcial de harina de trigo.

1. ¿Consumen usted pastas alimenticias?

SI ☐ NO ☐

2. Si su respuesta es sí, que tipo de pasta consume mayormente?.

- Tallarines ☐
- Conchita ☐
- Fusilli ☐
- Otros ☐

Especifique.....

3. Cuantas veces a la semana consume pastas alimenticias?

- Una vez ☐
- Dos veces ☐
- Tres veces ☐
- Cuatro veces o más ☐

4. La cantidad que usted utiliza para una preparación en relación a fundas

- Grande ☐
- Mediana ☐
- Pequeña ☐
- otras especifique.....

5. Consumiría usted una pasta alimenticia que contenga almidón de banano con harina de trigo.

SI ☐

NO ☐

ANEXO 3

Cálculo para obtener el total de demanda del producto

Demanda Insatisfecha = Oferta- demanda

DI= 0 -Demanda

DI= Demanda

DI= 74,33%

446 familias dispuestas a consumir el producto

X=74,33%

64157Número de familias en el Cantón Machala

47687 familias de Cantón Machala, que consumirían una pasta alimenticia elaborada con harina de trigo y almidón de banano

ANEXO 4

Maquinaria y equipos utilizados para la elaboración de pastas alimenticias por extrusión

MAQUINARIA Y EQUIPOS	ESPECIFICACIÓN	USOS
Ventiladores	De acero inoxidable	Ubicados en el área de secado, ayudan a circular el aire caliente y eliminar la humedad de las pastas alimenticias.
Mezcladora	Capacidad de mezclar hora: 100 - 120 kg. motor de 1 hp.	Mezcla el almidón de banano con el granular durum
Extrusor	De acero macizo con recirculación de agua fría. Producción horaria: 80 - 100 kg.	Termina de mezclar la masa y la precocce

Cortadora	Se adapta al extrusor, producción horaria: 120 - 150 kg. Motor de ½ hp.	Dispuesto con matrices que le dan la forma a la pasta.
Transportador de enfriamiento	Son utilizados en varias etapas del proceso de elaboración de la pasta.	Tanto antes como después de la extrusión
Selladora	Trabaja con resistencias eléctricas.	Sella fundas plásticas

ANEXO 5

Activo fijo tangible

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>UNIDADES</i>	<i>COSTO TOTAL (\$.)</i>
Terreno	600m ²	4.800,00
Construcciones	-----	16.000,00
Máquinas, equipos y herramientas	-----	27.257,00
Muebles y enseres de planta	-----	425,50
Muebles y equipos de oficina	-----	8.969,56
Vehículos	1	22.000,00
Otros activos	-----	-----
SUBTOTAL		79.452,06
Imprevistos (10% activo fijo tangible)		7.945,20

TOTAL	87.397,26
-------	-----------

Fuente: Almacenes, Concesionarios, Hypermarket, Municipio
de Machala 2023

ANEXO 6

Activo fijo Intangible

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>COSTO TOTAL (\$.)</i>
Gastos Preoperativos	142,00
Gastos de Estudio y constitución de la Empresa	5.000,00
Carga de maquinaria y arranque de planta	1.950,00
Registro Sanitario	50,00
Matrícula del Vehículo	75,00
TOTAL	7.217,00

ANEXO 7

Capital de operación

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (\$.)
COSTO DE FABRICACIÓN:	
	64.294,66
COSTO DIRECTO	
Materia prima	56.838,66
Mano de Obra Directa	7.456,00
GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	103.882,71
Mano de Obra Indirecta	11.808,00
Materiales Indirectos	80.434,80
Suministros	900,00
Mantenimiento y reparación de equipos	10.300,00
Útiles de aseo y limpieza para planta	439,91
GASTOS DE ADMINISTRAR:	14.700,89
Sueldo del personal administrativo	13.752,00

Materiales de oficina	258,98
Teléfono	250,00
Útiles de aseo y limpieza	439,91
GASTOS DE VENTAS:	7.642,00
Sueldo del vendedor – Chofer	4.800,00
Promoción del producto	1.000,00
Consumo de Gasolina y Lubricante	1.482,00
Útiles de aseo y limpieza	360,00
TOTAL	190.520,26

Fuente: Imprenta Rocafuerte, Híper Marquet.

ANEXO 8

Presupuesto de costos

<i>ESPECIFICACIÓN</i>	<i>COSTO FIJO (\$)</i>	<i>COSTO VARIABLE (\$)</i>	<i>COSTO TOTAL (\$.)</i>
1. COSTOS DE PRODUCCIÓN			181.769,47
a) Costo Directo			
Materia prima		56.838,66	56.838,66
Mano de obra directa		7.456,00	7.456,00
b) Gastos Indirectos de Fabricación:			
Mano de obra indirecta	11.808,00		11.808,00
Materiales Indirectos		80.434,80	80.434,80
Suministros	200,00	700,00	900,00
Mantenimiento y reparación de equipos	300,00	10.00,00	10.300,00

Seguros	6.820,68		6.820,68
Útiles de aseo y limpieza	439,91		439,91
Depreciaciones		6.771,42	6.771,42
Imprevistos			
2. COSTOS DE OPERACIÓN			23.862,89
a) Gastos de Administración			
Sueldos Administrativos	13.752,00		13.752,00
Materiales de oficina	258,98		258,98
Teléfono	120,00	130,00	250,00
Útiles de aseo y limpieza	39,00	400,91	439,91
b) Gastos de Ventas			
Sueldo de ventas	4.800,00		4.800,00
Promoción	2.520,00		2.520,00
Consumo de gasolina y lubricante	482,00	1.000,00	1.482,00

Útiles de aseo y limpieza	360,00		360,00
TOTAL	41.900,57	163.731,7 9	205.632,36

ANEXO 9

Calculo de la relación beneficio / costo

$$R\left(\frac{B}{C}\right)x = \frac{\text{Ingresos totales (dólares)}}{\text{Costos totales (dólares)}}$$

$$R\left(\frac{B}{C}\right) = \frac{369.882,43 \text{ (dólares)}}{205.632,26 \text{ (dólares)}}$$

$$R\left(\frac{B}{C}\right) = 1,79$$

ISBN: 978-9942-33-959-1



Compás
capacitación e investigación