



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

“CALIDAD, PERTINENCIA Y CALIDEZ”

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUIMICAS Y DE LA SALUD

ESCUELA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS**

TEMA:

**“EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE
ALMIDÓN DE LA FRUTA DE PAN (*Artocarpus altilis*) COMO
POTENCIAL COMPONENTE EN ALIMENTOS, EN LA
PROVINCIA DE EL ORO, 2015”**

AUTOR:

DAVID ANDRES VILLASEÑOR ORTIZ

TUTOR:

PhD. OMAR MARTÍNEZ MORA

MACHALA - EL ORO - ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación titulado **“EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE ALMIDÓN DE LA FRUTA DE PAN (*Artocarpus altilis*) COMO POTENCIAL COMPONENTE EN ALIMENTOS, EN LA PROVINCIA DE EL ORO, 2015”** fue elaborado por **DAVID ANDRES VILLASEÑOR ORTIZ** con sugestión a las normas de proyectos de investigación, por lo que autorizo su presentación.

PhD. Omar Martínez Mora

TUTOR

CESIÓN DE DERECHO DE AUTORÍA

Yo, **DAVID ANDRES VILLASEÑOR ORTIZ**, con cedula de identidad **070332701-5**, egresado de la escuela de ingeniería en alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, responsable de la presente memoria técnico científica titulada **EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE ALMIDÓN DE LA FRUTA DE PAN (*Artocarpus altilis*) COMO POTENCIAL COMPONENTE EN ALIMENTOS, EN LA PROVINCIA DE EL ORO, 2015**. Certifico que la responsabilidad de la investigación, resultados y conclusiones del presente trabajo pertenecen exclusivamente a mi autoría, una vez que ha sido aprobado por el tribunal de sustentación de tesis autorizando su presentación.

Deslindo a la Universidad Técnica de Machala de cualquier plagio y cedo mis derechos de autor la Universidad Técnica de Machala para que ella proceda a darle el uso que crea conveniente.

David Andrés Villaseñor Ortiz

C.I. 070332701-5

RESPONSABILIDAD

Yo, **DAVID ANDRES VILLASEÑOR ORTIZ**, certifico que la responsabilidad de la investigación, los resultados y conclusiones del presente trabajo de titulación titulado **“EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE ALMIDÓN DE LA FRUTA DE PAN (*Artocarpus altilis*) COMO POTENCIAL COMPONENTE EN ALIMENTOS, EN LA PROVINCIA DE EL ORO, 2015”** pertenecen exclusivamente al autor.

David Andrés Villaseñor Ortiz

C.I. 070332701-5

DEDICATORIA

Dios, permítame dedicar este trabajo a mis amados padres terrenales, Diego y Jane. Ya que gracias a estos benditos seres soy lo que hasta ahora he podido demostrar, nunca me alcanzará la vida para compensar el esfuerzo representado en tanto amor que ellos han vertido en mí.

Para Emma y Galo allá en el cielo, Fausto y Teresa. Todos ellos en mi corazón.

A quienes más admiro, Paola y Diego y mis preciosos sobrinos.

Así como también para la mujer que yo más amo aparte de mi madre, la mujer más valiente del mundo por decidir caminar junto a mí, y por qué cada vez me motivas a dar lo mejor de mí, Lilibeth.

David Andrés Villaseñor Ortiz

AGRADECIMIENTO

Una de la forma más noble en demostrar mi total agradecimiento, es guardar un eterno respeto hacia algunas personas que brindaron su voluntad durante mi formación académica. Mi estimado maestro, catedrático y amigo Dr. Omar Martínez, por haber inculcado la investigación como la herramienta más sólida para el desarrollo profesional, por el trabajo en nuestras publicaciones y por enseñarme el camino a seguir.

Para todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron de mi estancia en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Nutrición – México, sea totalmente favorable. Para mis atentos compañeros y el Dr. Alanís del Laboratorio de alimentos funcionales y nutraceuticos. Así como también mi más profundo agradecimiento a los Doctores Esther Ramírez y José Áreas, por haberme dado su confianza, un cálido hogar y el apoyo necesario para mi investigación; así como también por haberme enseñado su mágico país.

Agradezco de antemano a quienes conforman mi querida Universidad Técnica de Machala, estoy muy orgulloso de surgir y ahora formar parte de los profesionales de la Carrera de Ingeniería en alimentos.

David Andrés Villaseñor Ortiz

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
CESIÓN DE DERECHO DE AUTORÍA.....	III
RESPONSABILIDAD	IV
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	XII
SUMMARY	XIII
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos.....	5
HIPOTESIS.....	6
Hipótesis Alternativa.....	6
Hipótesis Nula.....	6
1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. Origen y generalidades de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>).	7
1.1.1. Generalidades del fruto	8
1.1.2. Composición química y proximal.	9
1.2. Generalidades del Almidón.....	12
1.2.1. Amilosa	13
1.2.2. Amilopectina.....	14
1.3. Características nutricionales del almidón.....	17
1.3.1. La vía metabólica del almidón.....	18
1.3.1.1. <i>Intrínsecos o propiedades del alimento.</i>	19
1.3.1.2. <i>Extrínsecos o masticación y tránsito a través del intestino delgado.</i>	19
1.3.2. El almidón como componente funcional para la nutrición humana.	20
1.3.2.1. <i>Almidón digestible (AD)</i>	20
1.3.2.2. <i>Almidón resistente (AR)</i>	21
1.3.3. B-glucanos	22
1.3.3.2. <i>Parámetros reológicos</i>	24

1.3.4.	Gelatinización	24
1.3.5.	Retrogradación	26
2.	MÉTODOLOGIA	30
2.1.	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	30
2.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
2.2.1.	Investigación Descriptiva.....	30
2.3.	DISEÑO EXPERIMENTAL	30
2.3.1.	Población, Muestra y Selección de la Muestra	30
2.3.2.	Toma de Muestra.....	30
2.4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	31
2.4.1.	Aislamiento del almidón	31
2.4.2.	Forma Microscópica del granulo de almidón.....	31
2.4.3.	Caracterización Físico-química y nutricional	32
2.4.3.1.	<i>Humedad (Método 925.09).</i>	32
2.4.3.2.	<i>Cenizas (Método 923.03).</i>	33
2.4.3.3.	<i>Proteínas (Método 954.01).</i>	33
2.4.3.4.	<i>Grasa cruda (Método 920.39).</i>	33
2.4.4.	Contenido de Fibra dietética	33
2.4.4.1.	<i>Método Enzimático-gravimétrico.</i>	33
2.4.4.2.	<i>Determinación</i>	33
2.4.4.3.	<i>Cálculos</i>	35
2.4.4.4.	<i>Determinación del blanco</i>	35
2.4.5.	Cálculo de fibra dietética total	35
2.5.	CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL	36
2.5.1.	Contenido de β -glucano (Método Enzimático-Espectro métrico).....	36
2.5.1.1.	<i>Kit Megazyme</i>	36
2.5.1.2.	<i>Instrumentos</i>	37
2.5.1.3.	<i>Reactivos y acondicionamiento</i>	37
2.5.1.4.	<i>Determinación</i>	38
2.5.1.5.	<i>Cálculos</i>	39
2.6.	Contenido de almidones resistentes (Método Enzimático-gravimétrico)	39
2.6.1.	kit Megazyme.....	40

2.6.2. Instrumentos.....	41
2.6.3. Reactivos y acondicionamiento:.....	42
2.6.4. Reactivos (no suministrados en el kit)	43
2.6.5. Determinación (a) Hidrólisis y solubilización del almidón no resistente.....	44
2.7. Medición de almidón resistente.	44
2.7.1. Para las muestras que contienen > 10% RS contenido;.....	45
2.7.2. Para muestras que contienen < 10% RS contenido;.....	45
2.8.1. Cálculos Almidones resistentes (AR)	46
2.9. RECURSOS EMPLEADOS	47
2.9.2. Recursos Humanos.....	47
2.9.3. Equipos y Materiales.....	47
2.9.4. Reactivos.....	47
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
3.1. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO PORCENTUAL EN BASE SECA DEL ALMIDÓN DE LA FRUTA DE PAN.....	48
3.2. TAMAÑO Y FORMA DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE LA FRUTA DE PAN.	49
3.3. Composición Físico-química y nutricional del almidón de fruta de pan.	49
3.4. Caracterización funcional del almidón de la fruta de pan.	50
3.4.1. Contenido de β -glucano	50
4. CONCLUSIONES	53
5. RECOMENDACIONES	54
ANEXOS	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta (A) y presencia de látex (B) de: <i>Artocarpus altilis</i> . (Fuente el autor).....	7
Figura 2. Regiones del fruto: centro (a), pulpa o perianto (b) y semilla o fruto (c).	8
Figura 3. Semillas de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>) (A) y estructura dicotiledónea (B).....	9
Figura 4. a) Estructura química de la amilosa b) conformación helicoidal de la amilosa c) complejo amilos-iodo.....	14
Figura 5. a) Estructura química de la amilopectina; b) Cadenas A, B y C de la amilopectina, b1) longitud de las cadenas A, B, B1 y c) arreglo estructural de las regiones amorfas y cristalinas; dirección de los racimos de las cadenas de amilopectina en el gránulo.....	16
Figura 6. Estructura de B-glucanos.....	23
Figura 7. Estudio sobre la reducción del nivel de colesterol en voluntarios.	23
Figura 8. Curva típica de analizador rápido de viscosidad del almidón nativo y representación de la formación de un gel de almidón.....	26
Figura 9. a) Asociación de los OH de las cadenas de amilosa y la amilopectina durante la gelatinización del almidón de papa y arroz; b) asociación entre las cadenas de amilosa y las cadenas cortas de la amilopectina durante la retrogradación del almidón de papa y arroz.	28
Figura 10. Microscopía electrónica de barrido. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-México. Almidón de la fruta de pan. A) 500x aprox.; B) 2000 aprox.; C) 5500 aprox.	32
Figura 11. Porcentaje de rendimiento de la fruta de pan.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química y proximal de harina de <i>Artocarpus altilis</i>	10
Cuadro 2. Aporte de minerales en harina de <i>Artocarpus Altilis</i>	11
Cuadro 3. Tamizaje fitoquímico realizado a la harina de <i>Artocarpus Altilis</i>	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimientos del almidón obtenidos en base seca de la futa de pan.	49
Tabla 2. Composición Físico-química de el almidón de fruta de pan (media ($p < 0,05$), SD; N=3) .	49
Tabla 3. Contenido de β -Glucano en el almidón de fruta de pan (media ($p < 0,05$), SD; N=3)	50
Tabla 4. Valores de los almidones resistentes (AR), almidones digeribles (AD), almidones totales (AT) y muestra control (MC). (Media ($p < 0,05$), SD; N=3)	51

RESUMEN

La fruta de pan (*Artocarpus Altilis*), de importante valor energético y por su contenido en almidón, podría ser incluida en productos con requerimientos funcionales en cuanto a la salud gastrointestinal como: fibra dietética, proteína, almidones resistentes y β -glucanos. El objetivo principal del estudio fue evaluar nutricional y funcionalmente el almidón de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) aislado de plantaciones de la provincia de El Oro. El estudio partió por el aislamiento del almidón en la planta piloto de la Universidad Técnica de Machala, mediante el procedimiento expuesto por (Bello-Pérez, A., 2000). Se trasladaron las muestras a los laboratorios del departamento de Nutrición de la Universidad del Estado de Hidalgo en México. Los resultados indican que el rendimiento porcentual del almidón con relación fruta entera fue (42,8 – 44,2%), presentó 1,70% de cenizas, 10,53% de humedad, 17,21% en proteína, 4,3% de grasa, 12,29% de fibra dietética, 38,41% en almidones totales; de los cuales el 37,05% pertenece a los almidones resistentes y 1,36% a los almidones disponibles. Por otra parte el contenido de β -glucanos fue (4,36%), valor por encima a la avena (4,2%) y otras fuentes caracterizadas por contener estos componentes. Finalmente se podría sugerir que, el almidón de la fruta de pan en la variedad (*Artocarpus Altilis*), podría ser incorporado en alimentos que requieran características funcionales en almidones resistentes β -glucanos.

Palabras clave: Funcional, extracción, fibra, gastrointestinal, nutrimental.

SUMMARY

Breadfruit (breadfruit) in major energy value and its starch content could be included in products with functional requirements regarding gastrointestinal health as dietary fiber, protein, resistant starches and β -glucans. The main objective of the study was to assess nutritional and functional starch breadfruit (breadfruit) isolated plantation in the province of El Oro. The study began by isolating the starch in the pilot plant Technical University of Machala, by the procedure set forth by (Bello-Pérez, A., 2000). The samples to the laboratories of the Department of Nutrition at the University of the State of Hidalgo in Mexico moved. The results indicated that the percent yield of the relative whole fruit starch was (42.8 to 44.2%), filed 1.70% ash, 10.53% moisture, 17.21% protein, 4.3 % fat, dietary fiber 12.29%, 38.41% in total starches; of which 37.05% belong to resistant starches and starches 1.36% available. Moreover the content of β -glucans was (4.36%), a value above oats (4.2%) and other sources characterized by containing these components. Finally one could suggest that starch breadfruit in variety (breadfruit), it could be incorporated into functional foods that require features in resistant starches β -glucans.

Keywords: Functional, extraction, fiber, gastrointestinal, nutritional.

INTRODUCCIÓN

Una de las políticas nacionales enmarcadas en la constitución del estado y dentro de las estrategias del buen vivir, se encuentra el llamado “Cambio de la matriz productiva”, que vislumbra el paso de una economía extractivista y exportadora de materias primas, al paso de una economía autosustentable, basada en el valor agregado y el rechazo a la dependencia en importaciones.

Durante el 2012, el Ecuador superó los 200 millones de dólares en importación de trigo proveniente de Canadá y Estados Unidos, esto representó un total de 570.000 toneladas de este cereal, cuyo 70% fue utilizado para panadería y repostería.

Estudios oficiales del Gobierno Nacional estiman un ahorro de 15 millones de dólares por la sustitución de un 10% de harina de trigo por algún producto nacional, pero se necesita investigar nuevas fuentes de materias primas, estudiar su composición para que esta no perjudique la calidad de los productos.

Una posible alternativa de industrialización es la fruta de pan (*Artocarpus Altilis*), que crece en la zona tropical, sus frutos son grandes y ovalados. Sus semillas (fase comestible) de agradable sabor. Previos estudios han demostrado que poseen un elevado contenido en proteínas, fibras y almidón. Estos últimos son hidratos de carbono de notable valor energético, el más abundante en la naturaleza después de la celulosa. No obstante solo el 25% de este fruto es aprovechado en la alimentación humana, el resto se desperdicia por la baja demanda y desconocimiento de sus propiedades.

Desde un punto de vista tecnológico, los almidones se destacan por su funcionalidad como agentes espesantes, estabilizantes y gelificantes; mejorando la textura, apariencia y consistencia de los productos donde sean adicionados. Desde la perspectiva nutrimental el almidón es una fuente de rápida absorción en el organismo humano, sin embargo no todo puede ser asimilado, existe una parte resistente a la digestión, denominados almidones resistentes (AR) (Langkilde et al 2002). Varios autores señalan el efecto positivo en la salud humana la ingesta de almidones resistentes u análogos de fibra, relacionándolos con la

disminución del colesterol, mejora de la digestión, reducción de la tasa de absorción de glucosa, entre otros (LECUONA VILLANUEVA, 2004).

Por todo lo anteriormente argumentado, es necesario consolidar este trabajo efectuando la “Evaluación nutricional y funcional de la *Fruta de Pan*” de acuerdo a los intereses nacionales, como alternativa de industrialización, componente potencial en alimentos y evaluar ciertas propiedades nutracéuticas como son los almidones resistentes que provean beneficios superiores a los que aportan algunos nutrientes tradicionales.

PROBLEMA

Según datos revelados por el ministerio de Salud, el 72% de los ecuatorianos mayores de 19 años sufren de sobre peso. Más de 4.400 personas fallecen al año a causa de la diabetes y cáncer de colon, uno de los principales factores predisponentes es la ingesta de dietas con bajo contenido en fibra e incluso el exceso de arroz y pan en nuestras dietas están incrementando estas cifras.

Nuestro país posee diversas fuentes botánicas ricas en fibra y almidón que pueden ser incluidas en la alimentación, lamentablemente la mayoría de estas no son aprovechadas.

En la actualidad se carece de estudios de caracterización científica de frutos y plantas que logren encontrar compuestos funcionales que ayuden en el cuidado del organismo humano.

JUSTIFICACIÓN

Desde hace un tiempo atrás el Ecuador ha venido incentivando la producción agrícola, con nuevas políticas relacionadas a una economía auto sustentable, pese aquello aun dependemos de las importaciones. En los últimos años varios analistas plantean soluciones como el remplazo de productos extraeros con productos nacionales. Pues se necesita que se empiece a sustituir por nuestros productos agrícolas y si para evitar excesivas importaciones.

Uno de los inconvenientes en sustituir harina de trigo por cualquier otra fuente de hidrato de carbono, es la pérdida de propiedades reológicas de las masas en general, este es uno de los principales obstáculos que hace desistir al sector industrial, por tal razón como futuros profesionales en alimentos intervenimos para buscar alternativas de industrialización totalmente rentables y que no solo mantengan las propiedades de las masas, sino que también tenga un porte beneficioso en cuanto a la salud gastrointestinal.

En este caso como lo es la fruta de pan, que a pesar de que es una alternativa, encaminada a contribuir con la alimentación humana más del 70% de este producto (a nivel nacional) se pierde por baja demanda y escaso conocimiento de su valor nutricional.

Por todos lo anteriormente planteado, urge respaldar de la mejor manera con una investigación que permita evaluar las características físico-químicas, nutricionales y funcionales del almidón de la fruta de pan y poder determinar su comportamiento como componente potencial en los alimentos.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar nutricional y funcionalmente el almidón de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) como potencial componente en alimentos.

Objetivos Específicos

- Obtener almidón nativo a partir de la fruta de pan (*Artocarpus altilis*) de plantaciones locales, El Oro - Ecuador.
- Evaluar características nutricionales del almidón.
- Evaluar comportamientos funcionales.

HIPOTESIS

Hipótesis Alternativa

El almidón de la fruta de pan es un componente de alto valor funcional en alimentos.

Hipótesis Nula

El almidón de la fruta de pan no es un componente de alto valor funcional en alimentos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Origen y generalidades de fruta de pan (*Artocarpus altilis*).

El género *Artocarpus* comprende alrededor de 50 especies de árboles siempre verdes y caducifolios pertenecientes a la familia de las Moráceas (PUA, y otros, 2008). Es una planta majestuosa cuya altura está entre los 9 y 21 m; sus hojas son de color verde oscuro brillante, dispuestas de forma alternada, largas, de forma ovalada con pronunciadas incisiones, en ramas adultas y jóvenes, respectivamente. Es un árbol monoico, cuyas flores emergen de las ramas mayores. Todas sus partes contienen abundante látex, blanco y pegajoso (CRANE & BALERRDI, 2000).

Figura 1. Planta (A) y presencia de látex (B) de: *Artocarpus altilis*. (Fuente el autor).



Fuente: (Villaseñor, 2015).

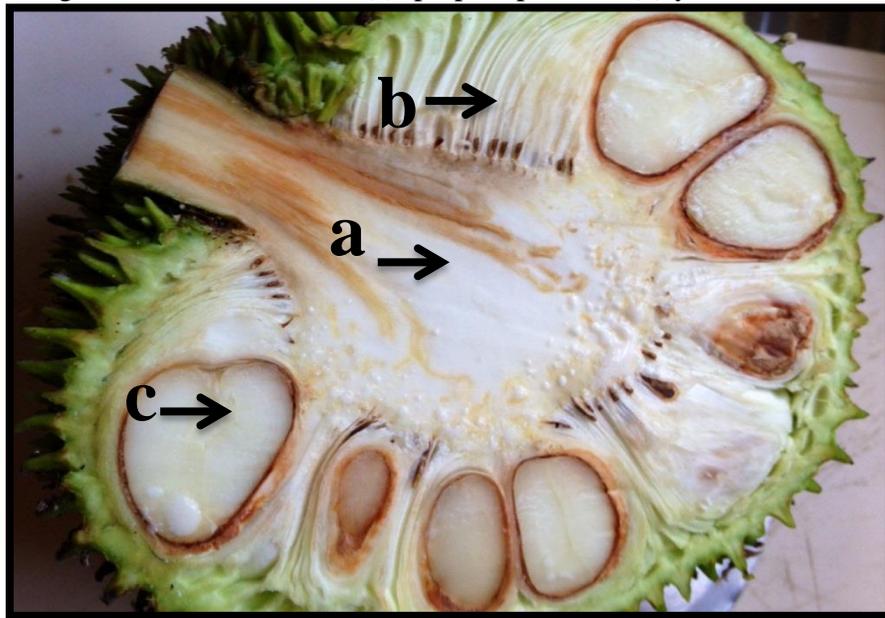
Artocarpus altilis sin. *Artocarpus communis*, *A. incisa*; Se estima su origen en la región laya y que los polinesios lo llevaron consigo colonizando el pacífico, de frondoso follaje, cuyas ramas ascendentes de hojas verdes con profundas incisiones alcanzando 75 cm de longitud (BURNIE, y otros, 2006). Crece naturalmente en los bosques húmedos tropicales y subtropicales, por encima de los 1 300 m de altura (KHAM, 20004); aunque la calidad de los frutos, especialmente maduros, es superior en elevaciones hasta los 200 m.s.n.m. (CRANE

& BARLERDI, 2000). Excelente ejemplo como alimento muy valorado en lagunas zonas del mundo y desconocido en otras, arboles de resistente comportamiento, pero tan poco conocimiento general sobre ellos (MORTON, 1987).

1.1.1. Generalidades del fruto

Los frutos son compuestos o agregados, de pequeños a muy grandes (1,4 a 6 kg) (MORTON, 1987; Jagadeesh, 2007; CRANE & BALERRDI, 2000) coinciden en que puede distinguirse tres regiones primarias (Figura 2), las cuales son: el eje o centro del fruto, con numerosas células laticíferas y no comestible; el perianto, que forma la mayor parte del fruto y a la vez está conformada por la región comestible fresca, una región media fusionada (formando el anillo del sincarpo) y la región externa córnea no comestible de color verde y amarillo al madurar. La tercera región corresponde al fruto verdadero (semillas) que es desarrollado desde el carpelo del ovario y está rodeado por el perianto fresco (Ong, 2006).

Figura 2. Regiones del fruto: centro (a), pulpa o perianto (b) y semilla o fruto (c).



Fuente: (Villaseñor, 2015).

En la etapa verde, el fruto es duro y el interior es blanco y algo fibroso. Cuando madura, la fruta es algo suave, el interior se torna de color crema o amarillo pardo, también dulcemente fragante. Las semillas son irregularmente ovaladas y redondeadas, llegan a medir alrededor de (1 a 3 cm) de largo y poseen una cobertura muy delgada color marrón

con rayas más oscuras, que se oxida fácilmente cuando es cortada (MORTON, 1987). El centro del futo es de color blanco hueso (Figura 3), muy lizo y recae en la denominación ‘Magnoliopsida’ o dicotiledónea, donde almacena los nutrientes como parte de la planta embrionaria dentro de la semilla (Pendergast, 2013).

Figura 3. Semillas de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) (A) y estructura dicotiledónea (B).



Fuente: (Villaseñor, 2015).

1.1.2. Composición química y proximal.

Morton, J., (1987), la fruta de pan se da de forma permanente durante todo el año, siendo los meses de junio a septiembre donde los frutos obtienen su máximo rendimiento tanto en tamaño como en semillas. Haciendo de este una alternativa económica y de gran valor nutricional frente a cultivos convencionales; como por ejemplo el contenido de proteína cruda es de (5.1 a 5.8%) superando los niveles de la harina de maíz y de yuca (Buitrago & Gil, 2001). Y se acercan a los de la harina de raíz de boniato (Rostagno, 2005)

El contenido de fibra bruta se encuentra alrededor de (7,74 %), lignina y celulosa es superior al del maíz, el sorgo, el trigo, la cebada y la harina de plátano (Dale, 2006; Leyva, Ortiz, Martí, & Valdivié, 2013) El contenido de extracto etéreo es extremadamente bajo (0,71 %), por lo que este alimento en la práctica no aporta ácidos grasos esenciales a los animales; sin embargo, es una excelente fuente de almidón (56,43 %), sacarosa, glucosa y fructosa.

(Valdivié & Álvarez, 2003) Obtuvieron un 58 % de almidón en este alimento. El valor de los carbohidratos reportan alrededor de 77,25 % MS, en correspondencia con lo indicado por (Acero, 1995), quien planteó que la concentración de este nutriente es superior a la de la papa, la yuca y el plátano, y similar a la del maíz, el arroz y el trigo.

Cuadro 1. Composición química y proximal de harina de *Artocarpus altilis*.

Nutriente (%)	Concentración
Materia seca, (base seca).	88,79
Proteína bruta, (base seca).	5,80
Extracto etéreo, (base seca).	0,71
Fibra bruta, (base seca).	7,74
F. neutro detergente, (base seca).	27,82
F. ácido detergente, (base seca).	17,7
Lignina, (base seca).	6,17
Celulosa, (base seca).	11,13
Carbohidratos totales, (MS).	77,25
Almidón, (MS).	56,43
Sacarosa, (MS).	13,66
Glucosa, (MS).	14,5
Fructuosa, (MS).	13,0

Fuente: (Leyva, Ortiz, Martí, & Valdivié, 2013).

La harina del fruto del árbol del pan realiza un buen aporte de minerales (Cuadro 2), ya que supera al maíz en cuanto a Fe, Cu y Zn, lo iguala en Mg y es ligeramente inferior en Ca, K y Mn (Dale, 2006).

Cuadro 2. Aporte de minerales en harina de *Artocarpus Altilis*.

Nutriente	Concentración
Calcio, %	0,98
Fosforo total, %	0,14
Potasio, %	1,63
Magnesio, %	0,09
Azufre, %	0,07
Hierro, ppm	120,0
Zinc, ppm	6,0
Magnesio, ppm	0,44
Cobre, ppm	3,03
Vitamina A, UI/mg	283,00
Tiamina, mg/100g	0,12
Riboflavina, mg/100g	0,30
Vitamina C, mg/100g	6,50

Fuente: (Leyva, Ortiz, Martí, & Valdivié, 2013).

Por su parte, Ragone (1997) determinó el contenido de nutrientes del fruto del árbol del pan en diferentes formas de elaboración (crudo, asado, hervido, fermentado y en pasta),

destinadas al consumo humano en la Polinesia, y señaló que es rico en carbohidratos y constituye una buena fuente de vitaminas y minerales.

(Leyva, Ortiz, Martí, & Valdivié, 2013) Muestran los resultados de su investigación y señalan que el tamizaje fitoquímico realizado a la harina del fruto del árbol del pan no posee triterpenos ni flavonoides, pero presenta taninos y saponinas, como lo plantea en el siguiente (cuadro 3).

Cuadro 3. Tamizaje fitoquímico realizado a la harina de *Artocarpus Altilis*.

Factor antinutricional	Presencia/ ausencia	Cuantificación (g/100 g de MS)
Taninos condensados	+	4,24
Saponinas	+	0,33
Triterpenos	-	-
Flavonoides	-	-

Fuente: (Leyva, Ortiz, Martí, & Valdivié, 2013).

1.2. Generalidades del Almidón

Después de la celulosa, el almidón es el polisacárido de reserva más abundante en la naturaleza, formado por agregados semicristalinos insolubles en agua fría llamados gránulos, representando la principal fuente de energía para el hombre. Los gránulos de almidón se encuentran naturalmente organizados en partículas pequeñas cuya morfología, composición química, estructura súper molecular (disposición de las macromoléculas en el estado sólido), vulnerabilidad al ataque enzimático y reacción química, son características especiales de cada especie vegetal (Rivas González, 2012). El almidón en estado nativo presenta diferencias en la apariencia y microestructura de los gránulos (French, 1984). El intervalo de tamaño de los gránulos almidón va de 0.5 a 100 μm , se han encontrado reportes en los cuales el tamaño de los gránulos osciló entre 10.6 y 16.5 μm (Hernández-Medina, 2007). Estas características están muy relacionadas con a las propiedades funcionales, se ha reportado que los gránulos de almidón con menor tamaño presentan una mayor solubilidad y una alta capacidad de adsorción de agua (Singhal, 1988). Los gránulos de almidón pueden presentar diversas

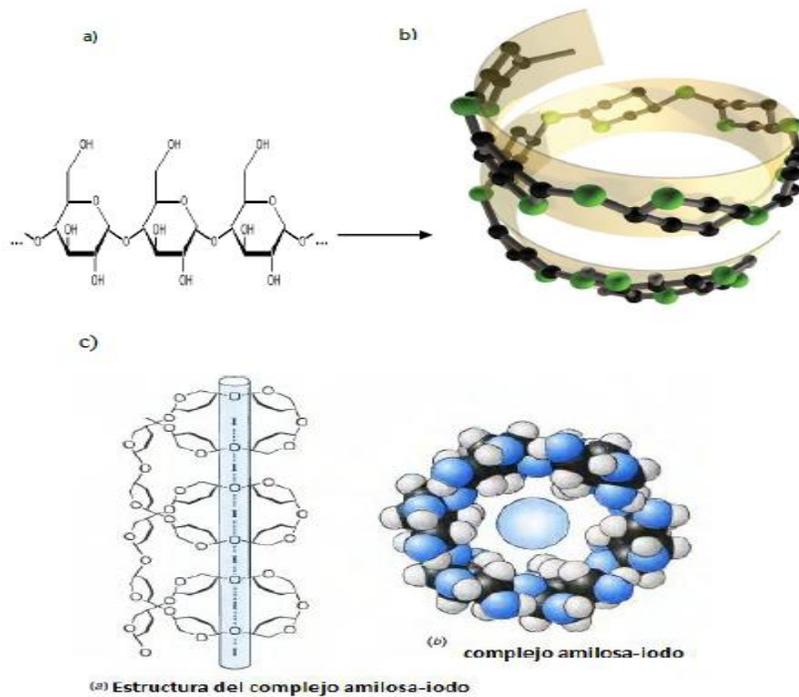
formas: elongadas, esféricas o aplanadas con un surco longitudinal (Donald, 2001; Smith, 2001); se han encontrado gránulos helicoidales con un hilo excéntrico; mientras que en cereales son poliédricos o polimórficos; otra forma que pueden presentar es esférica truncada y poligonal, entre otras (Hernández-Medina, 2007). El almidón consiste principalmente de dos homopolímeros de α -glucosa estructuralmente diferentes: la amilosa y la amilopectina (Buleon, 1998; Vermeulen, 2005).

1.2.1. Amilosa

(Rosales, 2012) La amilosa es un polímero lineal, producto de la condensación de D-glucopiranosas unidas por enlaces α (1-4), los cuales constituyen un 99% de la molécula, mientras que los enlaces α (1-6) se encuentran en 1 % (Figura 1a). La estructura de la amilosa ha sido muy estudiada, en la cual se ha encontrado que presenta algunas ramificaciones; el número de las ramificaciones de las moléculas de amilosa depende del tamaño molecular y la fuente botánica de la que se obtenga (Jane J. , 2006). Es soluble en agua a temperatura de 70 a 80 °C. También se han encontrado reportes en donde la amilosa presenta un grado de polimerización (GP) que va de 324 a 4920, con puntos de ramificación que van desde 9 a 20 unidades de glucosa; y con un peso molecular que va desde 1×10^5 a 1×10^6 g/mol (Buleon, 1998; Tester, 2004). Se ha reportado que la amilosa se encuentra interdispersa en las moléculas de amilopectina. El orden de la estructura molecular, es debido al arreglo de las dobles hélices localizadas en la región cristalina, pero no participan en la formación de los cristales de almidón.

La configuración de la amilosa en solución ha estado en controversia por lo que se han propuesto tres modelos a) helicoidal, b) hélice interrumpida, c) espiral al azar (Figura 4b). En función a esas características se ha concluido que en solución a temperatura ambiente, la rotación de los enlaces D-glucosídicos presentan impedimento estérico y la estructura que se puede encontrar es en forma helicoidal ó hélice interrumpida. Se considera que las regiones helicoidales son rígidas y presentan de 10 a 15 giros por región (Whistler R. L., 1984). La amilosa tiende a asociarse con iodo dando lugar a la formación del complejo amilosa-iodo (Figura 1c), dando como resultado una coloración azul de la dispersión obtenida, la hélice de la amilosa consiste de seis unidades de anhidroglucosa por vuelta con una inclinación de 0.8 nm y una cavidad helicoidal de 0.5 nm de diámetro (Hoover, 2001).

Figura 4. a) Estructura química de la amilosa b) conformación helicoidal de la amilosa c) complejo amilosa-iodo.



Fuente: (Villaseñor, 2015).

1.2.2. Amilopectina

La amilopectina es el mayor componente en los almidones, que además de enlaces α (1-4) los cuales representan un 92-96 %, presenta enlaces α (1-6) en sus puntos de ramificación (4-5 %), dichos enlaces se dan forma a lo que se conoce como la estructura de los racimos. (Figura 5a) (Hizukuri, 1986; Jane J. a., 1993).

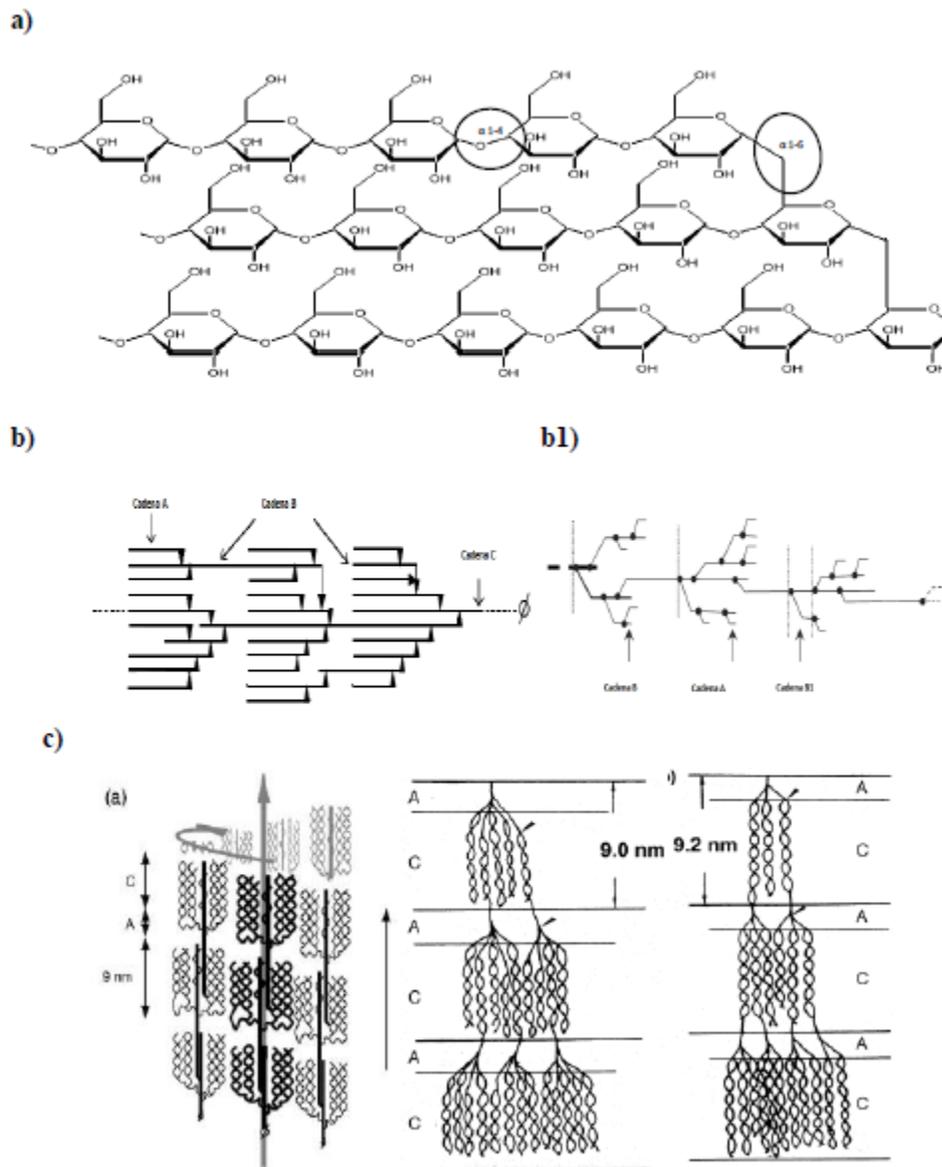
Dentro de la literatura se ha constatado que el peso molecular de la amilopectina fluctúa en un intervalo de 7.0×10^7 a 5.7×10^9 g/mol (Hizukuri, 1986) y las ramificaciones se localizan aproximadamente cada 15-25 unidades de glucosa. Por otro lado también se ha reportado que las cadenas que conforman la amilopectina son de tres tipos y pueden ser distinguidas por su tamaño: a) cadenas cortas A con grado de polimerización (GP) de 14-18 unidades de glucosa, b) cadenas interiores largas B (GP = 45-55), y c) cadena con un GP mayor de 60, que posee el extremo reductor (Figura 5b) (Manners, 1989).

En diversos estudios realizados ha sido posible identificar lamelas amorfas y cristalinas en la amilopectina, en donde los racimos conformados por las dobles hélices de las cadenas se encuentran empaquetadas y el espacio entre ellas es de 9-10 μm ; por otro lado; se ha encontrado que la longitud de las cadenas varía según la fuente botánica de la que se obtenga el almidón (Figura 5c) (French, 1984; Yamaguchi, 1979; Srichuwong, 2007). A nivel molecular la lamela cristalina es atribuida al empaquetamiento de las dobles hélices de las cadenas arregladas en pequeños cristales (Thys, 2008).

El fraccionamiento del almidón en sus dos componentes, la amilosa y la amilopectina, puede llevarse a cabo por diferentes métodos, porque presentan características estructurales diferentes, así como también; el grado de ramificación, peso molecular y distribución de la amilosa y la amilopectina.

Todo esto provoca diferencias en el comportamiento de difusión y solubilidad, propiedades hidrodinámicas y reacciones. El almidón nativo posee propiedades fisicoquímicas y funcionales que son necesarias para determinada aplicación.

Figura 5. a) Estructura química de la amilopectina; b) Cadenas A, B y C de la amilopectina, b1) longitud de las cadenas A, B, B1 y c) arreglo estructural de las regiones amorfas y cristalinas; dirección de los racimos de las cadenas de amilopectina en el gránulo.



Fuente: (Bertof 2000; Srichuwong y Jane, 2007 y Alvani *et al.*, 2011)

1.3. Características nutricionales del almidón

El almidón es uno de los principales carbohidratos en la dieta (Ao, y col., 2007), y contribuye con el 60 – 70 % de los carbohidratos disponibles o glucémicos.

La función del almidón en la nutrición humana es la de combustible celular, para que el almidón pueda aportar su riqueza nutritiva al organismo, necesita su correcto desdoblamiento en azúcares simples (glucosa) que pueden utilizar las células. Cuando el organismo advierte exceso de glucosa disponible, el hígado y los músculos almacenan los excedentes, recombinando dichos azúcares simples en forma de glucógeno (estructura polisacárida de reserva) o como grasa (tejido adiposo). Cuando hay carencia de azúcares, el organismo se ve obligado a recurrir al glucógeno o a los tejidos (proteínas) para producir energía. Es decir, la adecuada presencia de azúcares permite reservar proteínas para construir estructuras. Vale agregar que además de nutrir las células de todo el organismo, los azúcares también sirven para regular el metabolismo de las grasas (oxidación) o para completar procesos de desintoxicación hepática.

Antiguamente los cereales se comían sin moler. Algunos granos se recolectaban antes de su completa madurez, cuando todavía no todos los azúcares se habían convertido en almidón. Hoy en día hacemos eso sólo con algunas legumbres frescas (arvejas, habas). Una vez que el grano ha madurado, si bien es práctico su almacenaje, para utilizarlo se hace necesario provocar el proceso de inversión del almidón en azúcares simples y asimilables. El proceso más natural es la germinación de las semillas. Con humedad, temperatura y ausencia de luz solar, el germen despierta, poniendo en marcha la natural cascada enzimática que la naturaleza previó para transformar el almidón en azúcares simples.

El germinado era un sistema muy usado en la antigüedad. Por ejemplo, los soldados romanos solían llevar en la cintura una reserva de semillas, que por acción de la humedad y el calor corporal, germinaban y suministraban una excelente reserva nutritiva en medio de las largas travesías. Otro ejemplo era el pan de las comunidades esenias, descrito en los evangelios y apenas comentado.

El desarrollo de la agricultura y la capacidad de almacenar reservas en forma de granos, fue cambiando los hábitos humanos de consumo. En primer lugar comenzó a modificarse la genética de los granos más populares: de la primitiva selección manual, se pasó luego a la domesticación de especies no originales (exportación de cultivos a nuevos ambientes), a las hibridaciones agrícolas (cruce entre variedades), hasta llegar a la manipulación genética (transgénicos obtenidos por biotecnología). Hoy se desarrollan determinadas variedades de trigo para que alcancen elevadas concentraciones de gluten, proteína responsable de su respuesta esponjosa y liviana en la panificación. Estas alteraciones han crecido exponencialmente en las últimas décadas, a partir de la “revolución verde”, y los cereales más populares han cambiado sustancialmente muchas estructuras (sobre todo a nivel proteico) con respecto a las variedades originales, con las cuales evolucionó el ser humano.

1.3.1. La vía metabólica del almidón.

Empieza con a las enzimas orgánicas que intervienen en el desdoblamiento del almidón, las primeras y más importantes están en la saliva, cuya acción convierte las estructuras polisacáridas (almidón) en disacáridas (maltosa). La amilasa salival (conocida antiguamente como ptialina) tiene un pH neutro (7) que es óptimo para este proceso. Su acción se ve interrumpida cuando el bolo alimenticio llega al estómago y se encuentra con el pH ácido de los jugos gástricos. De allí que algunos sugieren no mezclar almidones y elementos ácidos en la misma comida. En cualquier caso, es obvio que la lenta y cuidada masticación resulta elemental para el buen desdoblamiento de los almidones, sobre todo en presencia de la habitual permeabilidad intestinal que veremos a continuación. Comprobar los efectos de una buena masticación es muy sencillo de experimentar: basta tomar un bocado de cereal cocido neutro, es decir sin aporte de sal o azúcar que puedan modificar su sabor. A medida que pasen las masticaciones y la saliva vaya actuando sobre el almidón, podremos ir notando como aparece gradualmente un delicado sabor dulzón que se va intensificando: es la conversión del insípido almidón en azúcares más sencillos (maltosa).

Luego de pasar por el estómago, los almidones del bolo alimenticio reciben en el intestino la benéfica influencia de nuevas enzimas secretadas por el páncreas: la amilasa pancreática. Bajo la presencia de las amilasas, los almidones se convierten en dextrina y

maltosa (disacárido). Finalmente, por acción de la maltasa (enzima sintetizada en la vellosidad intestinal), la maltosa se convierte en un carbohidrato simple: la glucosa (monosacárido). Aun así, se estima que un 20% de los almidones de las legumbres no puede ser digerido en el intestino delgado y debe ser procesado por la flora del colon. Cuando la flora colónica está desequilibrada, cosa que ocurre habitualmente, se advierte la clásica flatulencia, que injustamente se adjudica a las legumbres.

Tharanathan y Mahadevamma, 2003; refieren algunos factores que determinan la asimilación de estos carbohidratos en la dieta habitual y que interfieren en la digestión y/o absorción del almidón en los alimentos. Estos factores son divididos en 2 tipos:

1.3.1.1. Intrínsecos o propiedades del alimento.

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

1.3.1.2. Extrínsecos o masticación y tránsito a través del intestino delgado.

Los factores extrínsecos, determina 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. Otro aspecto a considerar es 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 su grado de digestibilidad.

1.3.2. El almidón como componente funcional para la nutrición humana.

Son aquellos que proveen un beneficio a la salud superior al que aportan los nutrientes tradicionales que contenga, además mejoran la salud intestinal mediante la interacción y modificación de la microbiota en el intestino. Se caracterizan por un alto contenido de fibra que no tienen un componente estrictamente nutricional ni calórico y también promueven efectos fisiológicos benéficos sobre el tracto gastrointestinal y ayudan a regular los niveles de glucosa y colesterol en sangre.

El déficit de fibra conlleva a la aparición de enfermedades crónicas funcionales como estreñimiento, diverticulitis, apendicitis, síndrome de colon irritable y cáncer de colon. Desde un enfoque nutricional, la susceptibilidad a la digestión humana es el proceso en el que se basa tres claras categorías en la clasificación de los almidones: a) almidones de digestión rápida o digestible y b) almidones indigestibles o almidones resistentes (Englyst y col., 1992).

1.3.2.1. Almidón digestible (AD)

La digestión del almidón inicia a través de la amilasa salival (pH óptimo de acción es 6,9), secretada por las glándulas parótidas y submandibulares (Slaughter y col., 2001). Esta enzima hidroliza el almidón en disacáridos y oligosacáridos. La amilasa salival al llegar al estómago, es inactivada por las condiciones ácidas que éste 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 (Heller, 1998).

En el duodeno, continúa la hidrólisis de los enlaces α -(1-4) del almidón y sus productos, por la presencia de la alfa – amilasa pancreática (Heller, 1998). Los residuos de esta hidrólisis para amilosa son: glucosa, maltosa y maltotriosa, mientras que para amilopectina: glucosa, maltotriosa y alfa – dextrinas según Eliasson, 1996; y Tester y col., 2004. Los productos de la acción de la amilasa salival y amilasas pancreáticas se difunden del lumen hacia el borde de cepillo del intestino delgado, actuando sobre ellos las enzimas di y oligosacáridos, 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, I. 1996).

En investigaciones recientes sobre el almidón digestible (Vargas y col., 2006), refieren la importancia de tomar en cuenta la cantidad de almidón digestible presente en leguminosas y musáceas que más convenga, de esta manera se cubre requerimientos nutricionales y calóricos en la dieta de la población.

1.3.2.2. Almidón resistente (AR)

Faisant y col. 1995 y Lehman y col., 2002, realizaron trabajos con la resistencia del almidón de banano a la hidrólisis enzimática en individuos sanos. De ahí descubrieron que un 84 % del almidón ingerido alcanzaba el íleon terminal, demostrando ser resistente a la hidrólisis por las amilasas. Luego, reportaron que un 17 % de almidón se puede escapar por las heces fecales (Pacheco y col., 1998).

De la hidrólisis enzimática de la digestión escapa el almidón resistente, pudiendo encontrar tanto en los alimentos crudos como también procesados de cereales, leguminosas y musáceas. El almidón resistente (AR) recientemente se le puede decir que es como la suma del almidón y productos de degradación del almidón que no se absorben en el intestino delgado, es decir, el AR es la porción de almidón de un 15 por ciento que no es fácilmente digerida y por lo tanto supera el intestino delgado (Eerlingen. y Col. 1995).

Las investigaciones realizadas sobre el AR en seres vivos mostraron que hay AR que se depositan en el intestino grueso y resisten la digestión en el estómago y el intestino delgado, actuando como un sustrato para la fermentación microbiana. Los productos finales de este proceso son los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), hidrógeno, dióxido de carbono y el metano. El almidón resistente AR fue conceptualizado por EURESTA definiéndolo como la cantidad total de almidón y de sus productos de degradación resistentes a la digestión en el intestino delgado de individuos sanos (Escarpa y González, 1997 y Osorio, 2003). Investigaciones recientes (Jenkins, y col., 1998; Tharanathan y Mahadevamma,

2003; Nugent, 2005; y Sajilata, 2006), reportan que el AR produce efectos positivos sobre la salud del individuo. Entre los que se han reportado:

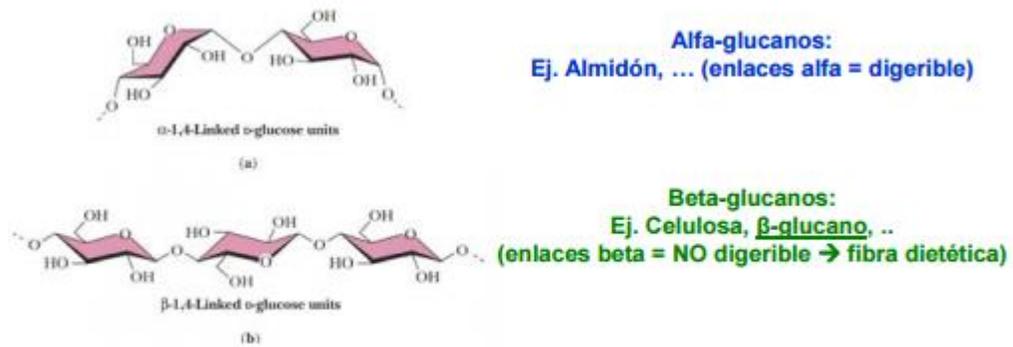
- Efecto hipoglucémicos.
- Mejora el perfil lipídico en la sangre
- Aumenta la saciedad y reduce el aporte de energía
- Incrementa la absorción de micro nutrientes
- Reduce la incidencia de cáncer de colón
- Interacciones sinérgicas con otros componentes
- Mejora la digestión

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 amilasa producen más AR después de la retrogradación, que los que tienen más contenido de amilopectina. Es decir, los almidones ricos en amilasa son generalmente más resistentes a la digestión y también más susceptibles a la retrogradación. Estas funciones presentadas por el AR muestran una similitud con las de la fibra dietética, por lo que le confieren, como un componente más dentro de la familia fibra dietética.

1.3.3. B-glucanos

Son polisacáridos de monómeros D-glucosa ligados con enlaces glucosídicos. Los beta-glucanos son un grupo muy diverso de moléculas que pueden variar en relación a su masa molecular, solubilidad, viscosidad, y configuración tridimensional. Normalmente, se presentan como celulosa en las plantas, el salvado de los granos de cereales, la pared celular de levadura del panadero, algunos hongos, setas y bacterias. Algunas formas de beta-glucanos son útiles en la nutrición humana como agentes de textura y como suplementos de fibra soluble.

Figura 6. Estructura de B-glucanos



Fuente: (Carbajal, 2009).

1.3.3.1. Beneficios para la salud

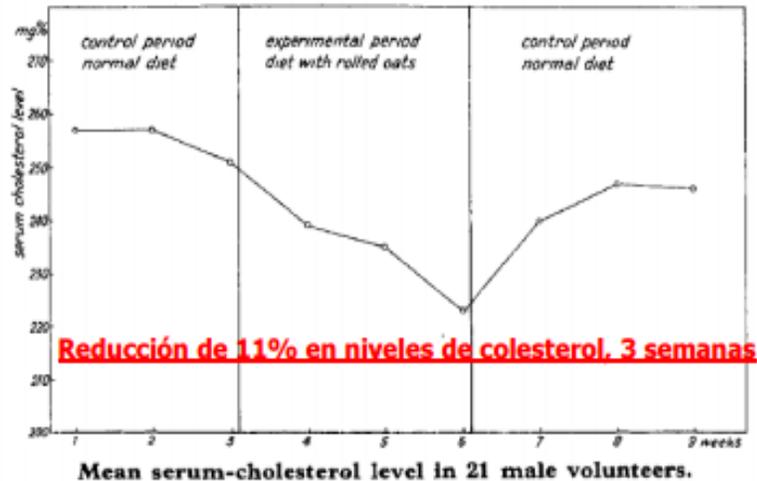
- Reduce los niveles de colesterol total y LDL-col \diamond previene la EC.
- Reduce la tasa de absorción de glucosa y regula la glucemia y la insulinemia postprandial.
- Regula la presión arterial.
- Regula el apetito y ayuda a controlar el peso corporal.
- Mejora la salud gastrointestinal (efecto prebiótico).

Figura 7. Estudio sobre la reducción del nivel de colesterol en voluntarios.

Central Institute for Nutrition
and Food Research T.N.O.,
Utrecht, The Netherlands.

A. P. DE GROOT **CHOLESTEROL-LOWERING EFFECT OF**
R. LUYKEN **ROLLED OATS**
N. A. PIKAAR.

21 hombres
30-50 años
140 g de avena
3 semanas



Fuente: (Groot, Luyken, & Pikaar, 1963).

1.3.3.2. Parámetros reológicos

Efectivamente la viscosidad, claridad de los geles, solubilidad, capacidad de retención de agua e hinchamiento, son algunas de las propiedades importantes para aplicabilidad en la industria de los alimentos.

Cuando este polímero se somete a tratamientos hidrotérmicos, sufre cambios fisicoquímicos y estructurales, que provocan cambios en la organización de las moléculas de amilosa y la amilopectina: Debido a que son calentados a temperaturas cercanas a la gelatinización, en la cual los enlaces de puente de hidrogeno que hay entre la región cristalina de los gránulos son destruidos, posteriormente se lleva a cabo la introducción de agua e hidratación de los segmentos de las moléculas de amilopectina, esto es el resultado del hinchamiento y solubilidad de sus componentes (Whistler & BeMiller, 1997).

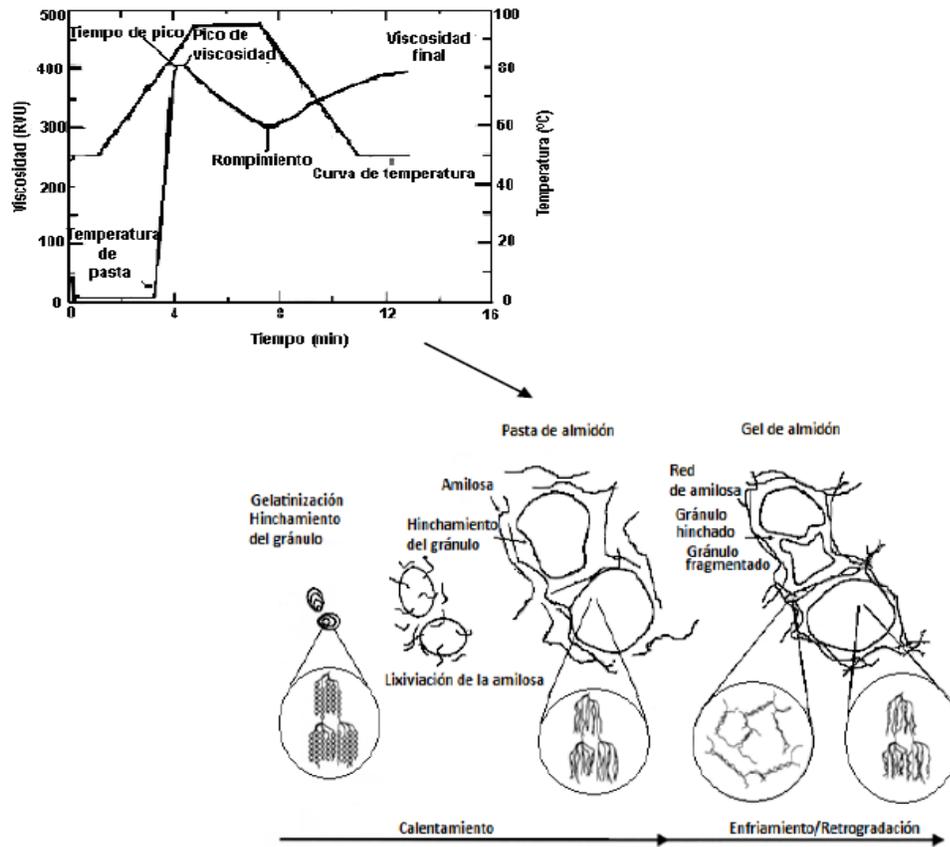
La desorganización estructural de los almidones se explica mediante los estudios de gelatinización y retrogradación.

1.3.4. Gelatinización

La gelatinización es el resultado de la modificación del arreglo estructural de sus componentes, que ocurre cuando los gránulos de almidón en solución acuosa son sometidos a calentamiento lo que provoca el hinchamiento hasta su límite máximo (30-50 % almidón en base seca), este proceso puede ser reversible a temperaturas cercanas a la temperatura de gelatinización, por otro lado, el colapso de la estructura cristalina es un proceso irreversible (French, 1984; Lai, 1991).

Otros cambios irreversibles que ocurren durante la gelatinización son la pérdida de birrefringencia y la solubilización de amilosa (Figura 7), este comportamiento puede representarse en una curva de viscosidad, la cual puede ser obtenida por un analizador rápido de viscosidad (ARV), donde se muestran los parámetros como el pico de viscosidad máxima y el tiempo en que se obtiene, así como, la temperatura de formación de pasta o de gel (viscosidad final) antes del rompimiento y la lixiviación de la amilosa (Atwell, 1988; Mitchell, 1997).

Figura 8. Curva típica de analizador rápido de viscosidad del almidón nativo y representación de la formación de un gel de almidón.



Fuente: Mitchell *et al.*, 1997; Srichuwong y Wang, 2007

Por otro lado se conoce que el hinchamiento de los gránulos es una característica propia de la amilopectina, mientras que la amilosa restringe dicho comportamiento dando como resultado picos de viscosidad de pasta bajos analizados en ARV.

(Tako, 2009) Sugieren que durante la gelatinización y la retrogradación de los almidones de papa y arroz se lleva a cabo la asociación de los O6 de la amilosa y el OH2 de las cadenas cortas de la amilopectina (cadenas A y B1) por medio de puentes de hidrogeno, las cuales no están involucradas en la asociación intramolecular.

1.3.5. Retrogradación

La retrogradación se lleva a cabo por la insolubilización y la precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente entre sí

por puentes de hidrógeno a través de sus grupos hidroxilos; esto puede llevarse a cabo por diversos factores que van a depender de la concentración y temperatura del sistema.

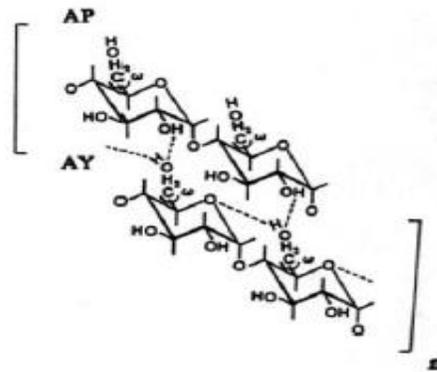
La retrogradación se manifiesta por la formación de precipitados o geles que afectan la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón. A pesar de que la amilosa y la amilopectina están sujetas a la retrogradación, al parecer la amilopectina es la molécula que más influye en los cambios que se suscitan en los alimentos que contienen almidón cuando se almacenan (Biliaderis, 1994) Numerosos estudios muestran que la estructura de la amilopectina afecta las propiedades de retrogradación de las pastas o geles del almidón waxy (Chung, 2008).

Por otro lado, también se ha encontrado que el contenido de cadenas tipo A, explica que la presencia de estas provocan una retrogradación más lenta que las cadenas tipo B. (Jane J. C., 1999; Shi, 1992) reportaron que las cadenas largas con grado de polimerización (GP) > 50 aceleran la retrogradación mientras que las cadenas cortas (GP 6- 9) retardan dicho fenómeno.

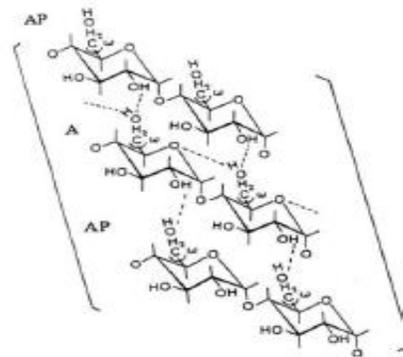
El fenómeno de retrogradación es un proceso complejo que depende de diversos factores como: el pH, la presencia de solutos como lípidos, sales, azúcares, tipo y concentración del almidón, regímenes de cocimiento y enfriamiento.

Figura 9. a) Asociación de los OH de las cadenas de amilosa y la amilopectina durante la gelatinización del almidón de papa y arroz; b) asociación entre las cadenas de amilosa y las cadenas cortas de la amilopectina durante la retrogradación del almidón de papa y arroz.

a)



b)



Fuente: Tako *et al.*, 2009

Cuando la suspensión de almidón se gelatiniza y se enfría, se produce la retrogradación, implicando cambios en la estructura cristalina y por consiguiente en sus propiedades mecánicas. En un estudio de calorimetría diferencial de barrido realizado por (Paredes-López, 1994) en almidón de amaranto, encontraron una menor tendencia a la retrogradación después de almacenarlo durante siete días; sin embargo, los valores entálpicos aumentaron, hasta alcanzar valores más altos que los de maíz ceroso y normal.

En todos los casos, los gráficos mostraron endotermas más amplias las cuales iniciaron a temperaturas menores a la de gelatinización, debido a la posible formación de cristales

pequeños imperfectos. También encontraron que la amilopectina del almidón de amaranto presentó una baja tendencia a la retrogradación después de haber sido almacenada durante 21 días. El almidón es ampliamente utilizado en la industria de los alimentos, así como también en la industria no alimentaria, con la finalidad de obtener productos de calidad, sin afectar las características originales del producto, las fuentes principalmente utilizadas para la extracción de este polisacárido son las que se conocen como fuentes convencionales que a continuación se describen.

2. METODOLOGIA

2.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación se realizó en la Unidad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la cual se encuentra localizada en México.

2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.2.1. Investigación Descriptiva

En el presente trabajo investigativo se cuantificó la cantidad de almidón que contiene la fruta de pan (*Artocarpus Altilis.*), además de su composición físico-química y nutricional mediante una serie de análisis cuantitativos y cualitativos del laboratorio.

2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

2.3.1. Población, Muestra y Selección de la Muestra

Todo proceso analítico, depende de una óptima toma de muestras la cual es fundamental para los resultados. En esta fase se pueden realizar errores que invaliden parcial o totalmente dicho proceso. La toma de muestra de la fruta de pan (*Artocarpus Altilis.*) se debe tener una correcta selección, evitar la recolección de fruta en mal estado para evitar una serie de interferencias que se pueden dar al transcurso del proceso a la cuantificación de almidón.

2.3.2. Toma de Muestra

Las muestras fueron tomadas de los cultivos del cantón pasaje, los frutos inmaduros fueron seleccionados de forma totalmente aleatoria de diferentes árboles se obtuvo de la fruta de pan (*Artocarpus Altilis.*).

Luego fueron llevadas a Planta Piloto de Alimentos de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala , se pesaron lotes entre 100 - 150 kg de fruta y se separó la cáscara, se cortaron rodajas de 1 cm, después el fruto se colocó dentro de un contenedor con ácido cítrico al 0,3%.

2.4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

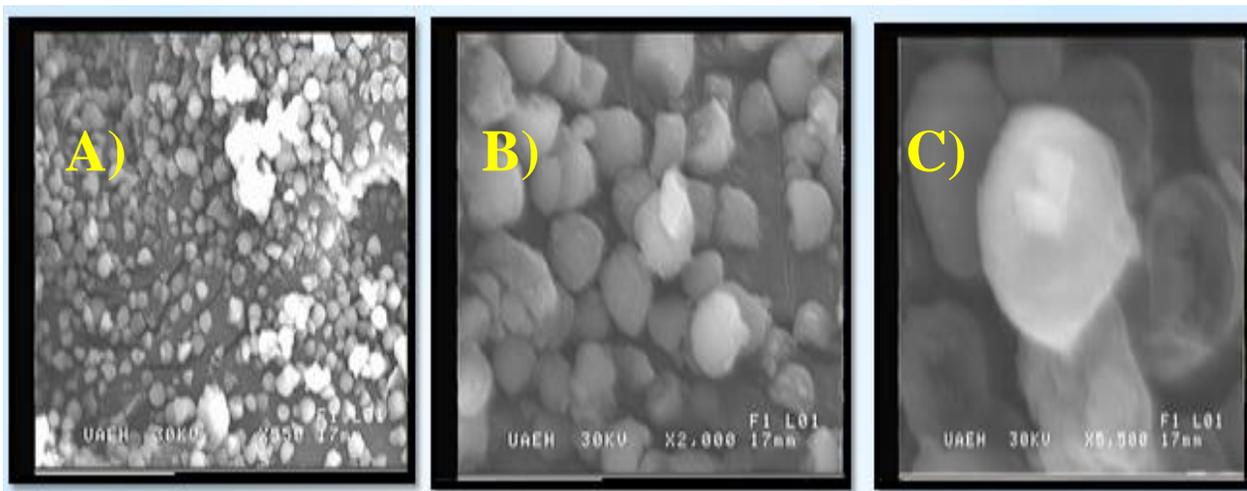
2.4.1. Aislamiento del almidón

El almidón se obtuvo de la fruta de pan *Artocarpus Altilis*, se determinó el contenido de azúcares reductores (método Felhing) dando valores no detectables, confirmando que el mayor porcentaje de la fracción de carbohidratos lo constituye el almidón. El método de obtención de almidón utilizado fue el propuesto por Bello – Pérez (2004) con algunas modificaciones para implementación a escala de planta piloto. Se pesaron lotes entre 100 y 150 kg de fruta y se separó la cáscara, se cortaron rodajas de 1 cm, después el fruto se colocó dentro de un contenedor con ácido cítrico al 0,3%. Se realizó una molienda en húmedo, con recambio de agua, se utilizó una licuadora semi-industrial marca Hobart con capacidad para 20 lts de 110 voltios, a velocidad máxima por dos minutos, posteriormente el fruto molido se cribó sucesivamente en mallas de 20, 40, 100 y 200 U.S. En cada malla el residuo se lavó hasta que el líquido de salida no tuviera residuo aparente de almidón. La suspensión obtenida se separó por precipitación del almidón, luego de decantado, se le realizó un secado por medio de una estufa de marca MEMMERT (rango de temperatura de 30 °C a 200 °C; a 110 voltios) a temperatura de entre 48 y 50 °C, por 48 horas, para evitar posibles gelatinizaciones, luego se almacenó en fundas herméticas a temperatura menores a 25 °C, hasta su posterior análisis.

2.4.2. Forma Microscópica del granulo de almidón

Se utilizó un microscopio electrónico de barrido de alto vacío, marca JEOL modelo SSM 6300 con alcance de 300,000 magnificaciones, spot 5.20 10⁻² a 10⁻⁵ amp., resolución de 30 Kv, equipo con un detector de energía dispersiva de rayos (x) (EDS) marca NORAN (perteneciente a la Unidad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo – México). Las muestras de almidón de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) fueron depositadas sobre una cinta adhesiva de grafito que posteriormente fueron recubiertas con una capa delgada de oro (0.5 mm) para mejorar la conductividad y obtener mejor resolución.

Figura 10. Microscopía electrónica de barrido. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-México. Almidón de la fruta de pan. A) 500x aprox.; B) 2000 aprox.; C) 5500 aprox.



Fuente: (Villaseñor, 2015).

2.4.3. Caracterización Físico-química y nutricional

Se trabajó en los laboratorios del departamento de Nutrición de la Universidad del Estado de Hidalgo – México. Se determinó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC (1997) comprendiendo los siguientes análisis:

2.4.3.1. *Humedad* (Método 925.09).

Se calculó mediante la pérdida de peso después de secar la muestra a 105 °C por 4 horas.

Fórmula:

$$\% \textit{Humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

Donde:

- P₁= Peso de la placa más muestra.
- P₂= Peso de la placa más muestra seca
- m= Peso de la muestra.

2.4.3.2. Cenizas (Método 923.03).

Se calculó como el peso permanente después de calcinar la muestra en la mufla a 550 °C.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P_1 - P_0)}{P} \times 100 \times \frac{85}{100 - H}$$

Donde:

- > P₁= Peso del crisol más las cenizas
- > P₀= Peso del crisol
- > P= Peso inicial de la porción de muestra
- > H= Humedad de la muestra (%)

2.4.3.3. Proteínas (Método 954.01).

Se determinó con el sistema Kjeltex (Tecator), calculando el contenido de proteína como nitrógeno x 6.25.

2.4.3.4. Grasa cruda (Método 920.39).

Se cuantificó mediante el sistema Soxtec después de una hora de extracción con hexano.

2.4.4. Contenido de Fibra dietética

2.4.4.1. Método Enzimático-gravimétrico.

Previamente desgrasadas las muestras, se gelatiniza con α - amilasa térmicamente estable y luego digerida enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para remover la proteína y el almidón. La fibra dietética soluble es precipitada por la adición de etanol, el residuo total se filtra, se lava, se seca y se pesa. En el residuo en duplicado se determina proteína, y en el otro cenizas (Official Methods of Analysis., 1990).

2.4.4.2. Determinación

1. Pesar en duplicado alrededor de 1 g de muestra en un vaso de precipitados de 400 mL. El peso de las muestras no debe diferir en más de 20 mg. Registrar m en el cuaderno foliado del Laboratorio de Aditivos y Contaminantes.
2. Agregar 50 mL de tampón fosfato pH 6,0 a cada vaso.

3. Controlar el pH y ajustar a $\text{pH } 6 \pm 0,2$ si fuese necesario.
4. Adicionar 0,1 mL de la solución de α -amilasa. Cubrir el matraz con papel aluminio, colocarlo en un baño de agua y hervir durante 15 minutos. Agitar a intervalos de 5 minutos. El contenido debe llegar a $95 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$. 7.3.5. Enfriar la solución a temperatura ambiente.
5. Ajustar pH a $7,5 \pm 0,2$ con aproximadamente 10 mL NaOH 0,275 N.
6. Adicionar 5 mg de proteasa. Cubrir el matraz con papel aluminio e incubar 30 minutos a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ con agitación continua.
7. Enfriar y añadir 10 mL de HCl 0,325 N. 7.3.9. Medir el pH y agregar gotas de ácido sí fuese necesario. El pH final debe ser $4,0 - 4,6$.
8. Añadir 0,3 mL amiloglucosidasa, cubrir con papel aluminio e incubar 30 minutos a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ con agitación continua.
9. Adicionar 280 mL de etanol al 95 % precalentado a $60 \text{ }^\circ\text{C}$.
10. Dejar precipitar a temperatura ambiente por 60 minutos.
11. Pesarse el crisol que contiene celite, humedecerlo y redistribuir el celite en el crisol usando etanol al 78 % y aplicar succión.
12. Mantener la succión y transferir cuantitativamente el precipitado al crisol.
13. Lavar el residuo sucesivamente con tres porciones de 20 mL de etanol al 78 %, dos porciones de 10 mL de etanol al 95 % y dos porciones de 10 mL de acetona. Se puede formar goma con algunas muestras, atrapando el líquido. Si así fuera, rompa la película de la superficie con espátula para mejorar el filtrado. El tiempo de filtración y lavado variará de 0,1 a 6 horas, con un promedio de 1 1/2 hora por muestra. Se pueden evitar tiempos largos de filtración, mediante una succión intermitente y cuidadosa.
14. Secar el crisol que contiene el residuo durante la noche en estufa de vacío a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ o en estufa de aire a $105 \text{ }^\circ\text{C}$.
15. Enfriar en desecador y pesar. Restar el peso del crisol y del celite para determinar el peso del residuo. Registrar m1 en el cuaderno foliado del Laboratorio de Aditivos y Contaminantes. Analizar proteínas usando $N \times 6,25$ como factor de conversión en el residuo de una de las muestras de los duplicados. Registrar P en el cuaderno foliado del Laboratorio de Aditivos y Contaminantes.

16. Calcinar el residuo de la segunda muestra del duplicado durante 5 horas a 525 °C.
17. Enfriar en desecador y pesar.
18. Restar el peso del crisol y del celite para determinar cenizas. Registrar C en el cuaderno foliado del Laboratorio de Aditivos y Contaminantes.
19. Efectuar la determinación del blanco en duplicado y en las mismas condiciones descritas en el procedimiento para el análisis de muestras.

2.4.4.3. Cálculos

2.4.4.4. Determinación del blanco

B = blanco, mg = masa del residuo - PB - CB

Donde:

- Masa del residuo = promedio de masa del residuo (mg) para la determinación blanco.
- PB y CB = masa (mg) de proteína y cenizas, respectivamente en los residuos de los blancos.

2.4.5. Cálculo de fibra dietética total

% FDT = [(masa del residuo - P - C - B)/ masa de la muestra)] x 100

Dónde: - m = masa de la muestra = promedio de la masa de 2 muestras (mg).

- m1 = masa del residuo = promedio de las masas de las muestras determinadas en duplicado (mg).
- P y C = masa (mg) de proteína y cenizas, respectivamente en los residuos de las muestras.
- B = blanco, indicado.

2.5. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL

2.5.1. Contenido de β -glucano (Método Enzimático-Espectro métrico).

Fundamento: (1-3)(1-6)- β -D-glucano, (1-3)(1-4)- β -D-glucano y (1-3)- β -D-glucanoson disolución / hidratado en hidróxido de potasio N2 con agitación y la solución es posteriormente ajustada a pH 4.0-4.5 con buffer.7 de acetato de sodio de 1,2 M la mezcla es incubada con mezcla de enzimas Glucazyme™ (β -glucanasas, β -glucosidasa y chitinase) de 16 h a 40 ° C. Después de dilución y centrifugación, se extrae una alícuota para determinación de la glucosa con el reactivo de GOPOD (© Megazyme , 2013).

2.5.1.1. Kit Megazyme

Un kit Megazyme contiene el método de ensayo completo:

Botella 1: preparación de Glucazyme™ (exo-1, 3- β -glucanasa, exo-1, 3- β -glucanasa, β -glucosidasa y chitinase suspensión), 2,2 mL. Estable > 4 años a 4° C.

Botella 2: GOPOD reactivo tampón. Tampón (48 mL, pH 7.4), ácido p-hidroxibenzoico y azida de sodio (0.4% w/v).

Estable > 4 años a 4° C.

Botella 3: GOPOD reactivo enzimas. Glucosa oxidasa y peroxidasa y 4-aminoantipirina. Congelación de polvo seco.

Estable > 5 años a -20 ° C.

Botella 4: D-glucosa solución estándar (1,5 mg/mL, 5 mL) en 0.2% w/v ácido benzoico.

Estable > 5 años a temperatura ambiente.

Botella 5: Control de preparación de β -glucano de levadura (~ 2 g, β -glucano contenido indicado en la etiqueta de la botella).

Estable > 5 años a temperatura ambiente.

Botella 6: Control preparación de almidón (~ 2 g, 96% almidón dwb).

Estable > 5 años a temperatura ambiente.

2.5.1.2. Instrumentos

1. 12 tubos de ensayo (redondo fondo, 16 x 100 mm, 14 mL de capacidad).
2. tapón de tubos, 16 x 125 mm (Fisher Scientific Cat. No. TKV-173-030B) además de las tapas (Cat. No. TKV-178-020V).Fisher Scientific.
3. micro-pipetas, 100 µlitre (e.g. Gilson Pipetman ® o Rainin EDP-2 ® motorizado dispensador).
4. pipeta volumétricas, e.g. Eppendorf Multipette ® - con 5,0 mL Combitip ® (para dispensar alícuotas de 0,4 mL de 2 M KOH y 0,2 mL de una mezcla de enzimas Glucanex™) con 25 mL Combitip ® [para dispensar alícuotas de 1,5 mL de tampón de acetato de sodio de 1,2 M (pH 3.8) y 4,0 mL de reactivo de GOPOD].
5. agitador además barras de agitador (5 x 15 mm).
6. balanza analítica.
7. espectrofotómetro situado a 510 nm.
8. agitador vórtex.
9. baño de agua termostatzado a 40° C.
10. Centrifugar banco (requiere velocidad 3.000 rpm; es decir, approx.1,500 g), con los titulares de tubo para acomodar tubos 20 x 125 mm.

2.5.1.3. Reactivos y acondicionamiento

- **tampón de acetato de sodio (200 mM, pH 5.0).**

Añadir 11,6 mL de ácido acético glacial (1,05 g/mL) a 900 mL de agua destilada y ajustar a pH 5.0 utilizando 4 M (16 g/100 mL) solución de hidróxido de sodio. Ajustar el volumen a 1 litro. Estable para ~ 1 año a 4° C.

- **tampón de acetato sodio (1,2 M, pH 3.8).**

Añadir 69,6 mL de ácido acético glacial (1,05 g/mL) a 800 mL de agua destilada y ajustar a pH 3.8 uso de 4 M de hidróxido de sodio. Ajustar el volumen a 1 litro con agua destilada. Estable por > 2 años a temperatura ambiente.

- **Hidróxido de potasio (2 M).**

Añadir 112 g de KOH a 800 mL de agua destilada y disolver por agitación. Ajustar el volumen a 1 litro. Almacenar, a temperatura de refrigeración.

2.5.1.4. Determinación

- muestra de levadura molino u otro material para pasar de una pantalla de 0,5 mm usando un molino ultracentrífugo Retsch, o similar.
- Añada muestra molida (aproximadamente 20 mg, pesado con precisión con aproximación de 0,1 mg) un 16 x 100 mm tubo de cultivo marca Fisher.
- Anote el peso. Toque el tubo para asegurarse de que todas las caídas de muestra a la parte inferior del tubo.
- Agregar 0,4 mL de 2 M KOH y una barra de agitación 5 x 15 milímetros. Revuelva el contenido durante 30 minutos en un baño de agua helada sobre un agitador magnético (Figura 1).
- Agregue 1,6 mL de tampón de acetato de sodio de 1,2 M (pH 3.8), mezclar bien y luego añadir 40 µL de Glucazyme™ y tapa los tubos. Continúe batiendo en el baño de agua helada durante 2 min y luego transferir los tubos a un conjunto de baño de agua a 40° C e incubar (sin revolver) durante la noche (~ 16 h).
- Añadir 10 mL de agua a cada tubo y mezcle bien el contenido. Centrifugar los tubos a 3000 rpm en una centrifugadora de banco durante 10 minutos 6. Cuidadosamente transferir alícuotas de 0,1 mL de la muestra por duplicado a la parte inferior de los tubos de 16 x 120 mm.
- Agregue 4 mL del reactivo GOPOD a cada uno de los tubos de reacción, los controles, las normas y espacios en blanco de reactivo e incubar los tubos durante 20 min a 40° C.

- Leer la absorbancia a 510 nm de cada solución contra un blanco del reactivo. Nota: Con cada conjunto de determinaciones, incluyen al menos un control levadura preparación. También incluyen espacios en blanco de reactivo y el nivel de glucosa de 150 µg (por cuadruplicado).
- El reactivo blanco consiste en 0,1 mL de tampón de acetato de sodio (200 mM, pH 5.0) + 4,0 mL glucosa oxidasa/peroxidasa reactivo.
- La norma D-glucosa consta de 0,1 mL D-glucosa estándar (1,5 mg/mL) + 4,0 mL glucosa oxidasa/peroxidasa de reactivo.

2.5.1.5. Cálculos

$$\beta - \text{glucano} \left(\% \frac{W}{W} \right) = \Delta E \times F \times \frac{12.04}{0.1} \times \frac{100}{W} \times \frac{1}{1000} \times \frac{162}{180}$$

$$\beta - \text{glucano} \left(\% \frac{W}{W} \right) = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 10.836$$

Dónde:

- ΔE = absorbancia leer contra el blanco del reactivo.
- F = conversión de absorbancia a µg (150 µg de D-glucosa) estándar dividida por la absorbancia GOPOD de este 150 µg).
- 12.04/0.1 = corrección de volumen (0,1 mL de 12,04 mL).
- 1/1000 = conversión de µg a mg. W = peso de la muestra analizada en mg. 100/W = Factor β -glucano de presentar como un porcentaje del peso de la muestra.
- 162/180 = factor de conversión de D-glucosa libre a anhydro-DGlucosa como ocurre en β -glucano.

2.6. Contenido de almidones resistentes (Método Enzimático-gravimétrico)

Fundamento: Las muestras se incuban en baño de agua sacudiendo con α -amilasa pancreática y amilogucosidasa (AMG) por 16 horas a 37° C, durante el cual el almidón no resistente es solubilizado e hidrolizado a D-glucosa por la acción combinada de las dos enzimas. La reacción es terminada por la adición de un volumen igual de etanol o alcohol industrial (IMS,

etanol desnaturalizado) y el RS se recupera como en el residuo de centrifugación. Después esto se lava dos veces por suspensión acuosa IMS o etanol (50% v/v), seguido de centrifugación. Se extrae líquido libre por decantación. RS en el residuo precipitado se disuelven en 2 M KOH agitando vigorosamente en un baño de agua helada sobre un agitador magnético. Esta solución se neutraliza con tampón de acetato y el almidón se hidroliza cuantitativamente a glucosa con AMG. D-glucosa se mide con el reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOPOD), y esta es una medida de contenido de RS en la muestra. El almidón no-resistente (almidón solubilizado) se determina por juntar el sobrenadante original y los lavados, ajustar el volumen a 100 mL y medir el contenido de D-glucosa con GOPOD (AOAC , 2002).

2.6.1. kit Megazyme

Botella 1: Amiloglucosidasa [12 mL, 3300 U/mL de almidón soluble (200 U/ml en p-nitrofenil β -maltoside *)] a pH 4.5 y 40 ° C. AMG solución debe ser esencialmente libre de niveles detectables de D-glucosa libre. Caducidad > 3 años a 4° C.

Botella 2: A-amilasa pancreática (pancreatina, 10 g, 3 Ceralpha unidades/mg).

Durabilidad > 3 años a-20 ° C.

Botella 3: GOPOD reactivo tampón. Tampón (48 mL, pH 7.4), ácido p-hidroxibenzoico y azida de sodio (0.4% w/v).

Durabilidad > 4 años a 4° C.

Botella 4: GOPOD reactivo enzimas. Glucosa oxidasa y peroxidasa y 4-aminoantipirina. Polvo liofilizado.

Durabilidad > 5 años a-20 ° C.

Botella 5: D-glucosa solución estándar (1,0 mg/mL, 5 mL) de ácido benzoico 0.2% (w/v).

Durabilidad > 5 años a temperatura ambiente.

Botella 6: Control de almidón resistente. Contenido de almidón resistente indicada en la etiqueta.

Durabilidad > 5 años a temperatura ambiente.

2.6.2. Instrumentos

- Pulido molino - centrífuga, equipado con 12 dientes rotor y un tamiz de 1,0 mm o dispositivo similar. Alternativamente, puede utilizarse un molino ciclón para pequeñas muestras.
- Picadora - manual o eléctrico, equipado con una pantalla de 4.5 milímetros.
- Banco de centrífuga - capaz de sostener 16 x 120 mm tubos de ensayo de vidrio con calificación de aproximadamente 1500 g (~ 3.000 rpm).
- Temblando baño de agua (Grant OLS 200) (Grant Instruments Ltd. de Cambridge) (o similar) puso en marcha lineal a 100 revoluciones por minuto en el dial (equivalente a una velocidad de batido de 200 golpes/min), un recorrido de 35 mm y 37° C.
- El agua del baño - capaz de mantener 50 + 0,1 ° C.
- Agitador vórtex.
- Agitador.
- Barras de agitador magnético – 5 x 15 milímetros.
- Medidor de pH.
- Stop-reloj/temporizador (digital).
- Balanza analítica (correcto a 0,1 miligramos).
- Espectrofotómetro - capaz de operar a 510 nm, preferiblemente equipado con celda de flujo (10 mm de longitud de ruta).
- Pipeta - capaz de entregar 100 µL; con puntas desechables. Alternativamente, puede utilizarse dispensador portátil motorizada.
- Pipeta volumétricas - equipado con puntas 50 mL capaces de entregar 2,0 mL, 3,0 y 4,0 mL.
- Corning tubos de cultivo - tapón de rosca, 16 x 125 mm [Fisher Scientific gato no. TKV-173-030B (tubos); TKV-178-020V (caps)], Fisher Scientific.
- Vidrio tubos de ensayo - 16 x 100 mm, 14 mL de capacidad.

- Plástico "lonchera", gran baño suficiente para sostener el estante del prueba-tubo y servir como un agua helada (ver figura 1).
- Termómetro - capaz de leer $37 + 0,1^{\circ} \text{C}$ y $50 + 0,1^{\circ} \text{C}$.
- Volumétricos matraces - 100 mL, 200 mL, 500 mL, 1 L y 2 L de capacidad.

2.6.3. Reactivos y acondicionamiento:

- Usar el contenido de la botella 1 (AMG; Solución 1) según lo proveído. Esta solución es viscosa y por lo tanto debe eliminarse con un dispensador de desplazamiento positivo, por ejemplo, Eppendorf Multipette® con 5,0 mL Combitip® (para dispensar alícuotas de 0,1 mL). Durabilidad > 3 años a 4°C .
- **Diluir AMG** (300 U/mL). Diluir 2 mL de solución concentrada de AMG (1 botella) a 22 mL con el tampón de maleato de sodio de 0.1 M (0.1 M, pH 6.0; Reactivo 1; No se suministra). Se dividen en alícuotas de 5 mL y congelado en envases de polipropileno entre el uso de la tienda. Estable a los ciclos repetidos de congelación/descongelación y durante 5 años a -20°C .
- **Urgente antes del uso**, suspender 1 gramo del contenido de la botella 2 (α -amilasa pancreática) en 100 mL de tampón de maleato de sodio (100 mM, pH 6.0; Reactivo 1; No se suministra) y revuelve durante 5 minutos añadir 1,0 mL de AMG (300 U/mL) diluir y mezcle bien. Centrifugue a $> 1.500 \text{ g}$ por 10 min y decantar con cuidado la solución sobrenadante. Utilice esta solución (solución 2) en el día de preparación.
- Diluir el contenido de la botella 3 (GOPOD reactivo tampón) a 1 L con agua destilada (esto es solución 3). Use inmediatamente.
- Disolver el contenido de la botella 4 en 20 mL de solución 3 y esto Transferir cuantitativamente a la botella que contiene el resto de la solución 3. Cubrir la botella con papel de aluminio para proteger el reactivo adjunto de luz. Esto es reactivo para la determinación de glucosa (GOPOD reactivo). Estable para ~ 3 meses a $2-5^{\circ} \text{C}$ o > 12 meses a -20°C .
- Si este reactivo debe almacenarse en estado congelado, preferiblemente se deben dividir en partes alícuotas. No congelar/descongelar más de una vez.
- Cuando el reactivo recién preparado puede ser rosa de color amarillo o ligero. Se desarrollará un color rosa más fuerte durante 2-3 meses a 4°C . La absorbancia de la solución debe ser menos de 0.05 cuando leyó frente agua destilada.

- Utilice el contenido de las botellas 5 y 6 como las suministradas. Durabilidad > 5 años a temperatura ambiente.

2.6.4. Reactivos (no suministrados en el kit)

Los reactivos deben ser grado de pureza analítica.

- **Tampón de maleato sodio** (100 mM, pH 6.0) mas cloruro de clorhidrato de calcio y sodio azida de 5 mM (0.02% w/v).

Disolver 23,2 g de ácido maleico (Sigma cat no. M- 0375) en 1600 mL de agua destilada y ajustar el pH a 6.0 con hidróxido de sodio de 4 M (160 g/litro). Añadir 0,74 g de cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y 0,4 g de azida de sodio y disolver. Ajustar el volumen a 2 L. estable durante 12 meses a 4° C.

- **Tampón de acetato sodio** (1,2 M, pH 3.8).

Añadir 69,6 mL de ácido acético glacial (1,05 g/mL) a 800 mL de agua destilada y ajustar a pH 3.8 uso de 4 M de hidróxido de sodio. Ajustar el volumen a 1 L con agua destilada. Estable durante 12 meses a temperatura ambiente.

- **Tampón de acetato de sodio** (100 mM, pH 4.5).

Añadir 5,8 mL de ácido acético glacial a 900 mL de agua destilada y ajustar a pH 4.5 con 4 M de hidróxido de sodio. Ajustar el volumen a 1 L con agua destilada. Durabilidad 2 meses a 4° C.

- **Hidróxido de potasio en solución** (2 M).

Añadir 112,2 g KOH a 900 mL de agua desionizada y disolver por agitación. Ajustar el volumen a 1 tienda L. en un recipiente cerrado herméticamente. Durabilidad > 2 años a temperatura ambiente.

- **Etanol en estado líquido** (o IMS) (aprox. 50% v/v).

Agregar 500 mL de etanol (95% v/v o 99% v/v) o industrial desnaturalizado que comprende (IMS; etanol desnaturalizado; ~ etanol 95% v/v más metanol 5% v/v) en

500 mL de H₂O. Guarde en un frasco bien sellado. Estable por > 2 años a temperatura ambiente.

2.6.5. Determinación (a) Hidrólisis y solubilización del almidón no resistente.

- Pesar exactamente una muestra de mg 100 + 5 directamente en cada tubo de tapón de rosca (tubo de cultivo Corning; 16 x 125 mm) y golpee suavemente el tubo para asegurar que la muestra caiga a la parte inferior.
- Añadir 4,0 mL de α -amilasa pancreática (10 mg/mL) que contiene AMG (3 U/mL) (solución 2) a cada tubo.
- Tapar los tubos firmemente, mezclar en un vórtex y adjuntarlos horizontalmente en un baño de agua con agitación, alinear en la dirección del movimiento (vea las figuras 2 y 3).
- Incubar los tubos a 37° C con agitación continua (200 golpes/min) exactamente 16 hrs (Nota: para movimiento lineal, un ajuste de 100 en el baño de agua es equivalente a 200 golpes/min; 100 adelante y reversa 100).
- Retirar los tubos del baño y quitar el exceso de agua superficial con toalla de papel. Retire los tapones de tubo y tratar los contenidos con 4,0 mL de etanol (99% v/v) o IMS (99% v/v) con agitación vigorosa en un vórtex.
- Centrifugar los tubos a 1.500 g (aprox. 3.000 rpm) durante 10 minutos (sin tapa).
- Decantar cuidadosamente el sobrenadante y resuspender el pellet en 2 mL de etanol al 50% o el 50% IMS con agitación vigorosa en un vórtex. Añadir otros 6 mL de 50% IMS, mezclar los tubos y centrifugar nuevamente a 1.500 g durante 10 minutos.
- Decantar el sobrenadante y repetir una vez más este paso suspensión y centrifugación.
- Decantar el sobrenadante e invertir los tubos sobre un papel absorbente para drenar el exceso de líquido.

2.7. Medición de almidón resistente.

- Añada un agitador magnético (5 x 15 mm) y 2 mL de 2M KOH a cada tubo y resuspendidas pelotillas (y disolver la RS) removiendo durante aprox. 20 min en un baño de hielo/agua sobre un agitador magnético (Figura 1).

- Añada 8 mL de tampón de acetato de sodio de 1,2 M (pH 3.8) a cada tubo con agitación en el agitador magnético. Inmediatamente añadir 0,1 mL de AMG (solución 1; 3300 U/mL), mezclar bien y colocar los tubos en un baño de agua a 50° C.
- incubar los tubos durante 30 minutos con la mezcla intermitente en un vórtex.

2.7.1. Para las muestras que contienen > 10% RS contenido;

Transferir el contenido del tubo cuantitativamente a un matraz aforado de 100 mL (utilizando una botella de lavado de agua). Use un imán externo para retener la barra agitadora en el tubo mientras la solución del tubo con el lavado de la botella de agua de lavado. Ajustar a 100 mL con agua destilada y mezclar bien. Centrifugar una parte alícuota de la solución a 1.500 g durante 10 minutos.

2.7.2. Para muestras que contienen < 10% RS contenido;

- Directamente Centrifugar los tubos a 1.500 g durante 10 minutos (sin dilución). Para dichas muestras, el volumen final del tubo es aproximadamente 10,3 mL (sin embargo, este volumen dependerá sobre todo si se analizan las muestras húmedas, y espacio apropiado para el volumen debe dejarse en los cálculos).
- VI. transferir alícuotas de 0,1 mL (por duplicado) de la diluida (paso iv) o los sobrenadantes sin diluir (paso v) en tubos de ensayo de vidrio (16 x 100 mm), añadir 3,0 mL de reactivo de GOPOD (solución 4) e incubar a 50° C durante 20 min.
- VII. medir la absorbancia de cada solución a 510 nm contra el blanco del reactivo.
- Preparar soluciones en blanco reactivo mediante la mezcla de 0,1 mL de tampón de acetato de sodio de 100 mM (pH 4.5) y 3.0 mL de reactivo GOPOD.
- Preparar normas D-glucosa (por cuadruplicado) mediante la mezcla de 0,1 mL de D-glucosa (1 mg/mL) y 3.0 mL de reactivo GOPOD.

2.8. (c) medición de almidón resistente-no (Solubilizado).

- Combinar las soluciones sobrenadante obtenidas por centrifugación de la incubación inicial (a) [vii] con los sobrenadantes obtenidos de los siguientes dos lavados etanol de 50% [(a) viii y ix (a)] y ajuste el volumen con tampón de acetato de sodio 100 mM (pH 4.5) en un matraz aforado de 100 mL. Mezclar bien.

- Incube alícuotas de 0,1 mL de esta solución (por duplicado) con 10 µL de la solución diluida de AMG (300 U/mL) en 100 mM sodio maleato de tampón (pH 6.0 por 20 min a 50° C.) Añadir 3,0 mL de reactivo de GOPOD (solución 4) e incubar los tubos por un adicional 20 min a 50° C.
- Medir la absorbancia a 510 nm contra un blanco del reactivo.
- Calcular el contenido de almidón no resistente (disolución).
- Contenido de almidón total es la suma de almidón resistente y el almidón no resistente (disolución).

2.8.1. Cálculos Almidones resistentes (AR)

Para muestras que contienen > 10% RS:

$$AR \text{ (g/100g de muestra)} = \Delta E \times F \times \frac{100}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180}$$

$$AR = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 90$$

(Para muestras que contienen < 10% RS):

$$AR \text{ (g/100g de muestra)} = \Delta E \times F \times \frac{10.3}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180}$$

$$AR = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 9.27$$

Almidón Digestible (AD):

$$ANR \text{ (g / 100g de muestra)} = \Delta E \times F \times 100/0.1 \times 1/1000 \times 100/W \times 162/180$$

$$ANR = \Delta E \times F/W \times 90$$

Almidón Total:

Almidón total = almidón resistente + almidón no resistente.

2.9. RECURSOS EMPLEADOS

2.9.2. Recursos Humanos

- Investigador
- Ayudantes
- Tutor

2.9.3. Equipos y Materiales

- Balanza analítica, con sensibilidad de 0,1 mg.
- Baños termostáticos: (a) a ebullición y (b) ajustable a 60 °C con agitación directa en el interior de cada matraz de digestión para dar un movimiento constante al matraz de digestión durante la hidrólisis enzimática.
- Bomba de vacío.
- Crisol con placa porosa, porosidad N° 2 o equivalente de 40 - 60 mm.
- Desecador con silicagel o similar.
- Estufa de vacío a 70 °C o alternativamente estufa de aire de acuerdo a lo indicado en la referencia.
- Mufla a 525 °C. 6.1.8. Tamiz de 0,3 - 0,5 mm.
- Potenciómetro
- Vórtex
- Material usual de Laboratorio.

2.9.4. Reactivos

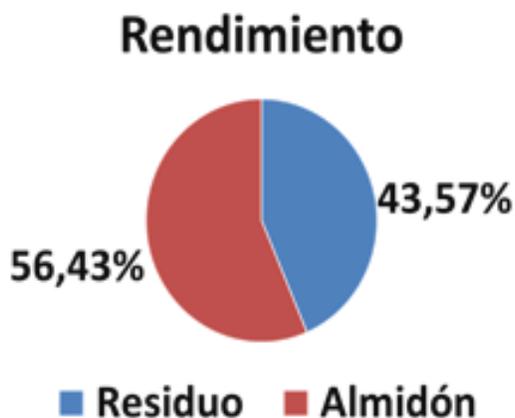
- Etanol al 95 %, p.a.
- Etanol al 78 %. Mezclar un volumen de agua con cuatro volúmenes de etanol al 95 %.
- Acetona p.a.
- Tampón fosfato 0,08 M, pH 6,0: Disolver 1,4 g de fosfato dibásico de sodio anhidro (Na_2HPO_4) (o 1,753 g dihidratado) y 9,68 g de fosfato monobásico de sodio monohidratado (NaH_2PO_4) (o 10,94 g dihidratado) en alrededor de 700 ml de agua. Diluir a 1 L con agua. Chequear el pH con pHmetro.
- α - amilasa termoestable. Mantener refrigerada.
- Proteasa. Mantener refrigerada.
- Amiloglucosidasa. Mantener refrigerada.

- Hidróxido de sodio 0,275 N. Disolver 11,00 g de NaOH en 700 ml de agua en un matraz volumétrico de 1 L. Diluir a volumen con agua.
- Ácido clorhídrico 0,325 N Diluir una solución stock de HCl de título conocido. por ejemplo, 325 mL de HCl 1 N a 1 L con agua.
- Celite C - 211, lavado con ácido.
- Eter de petróleo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO PORCENTUAL EN BASE SECA DEL ALMIDÓN DE LA FRUTA DE PAN.

Figura 11. Porcentaje de rendimiento de la fruta de pan.



Fuente: Villaseñor, 2015.

Como podemos apreciar en la figura 12 el rendimiento porcentual en base seca del almidón con relación fruta entera fue (56,43%), que difiere con otros autores los que reportaron un rendimiento de (60 %). Esta diferencia podría deberse a que en nuestro estudio se llevó a escala piloto, mientras que los otros autores reportan rendimientos teóricos de laboratorio.

Tabla 1. Rendimientos del almidón obtenidos en base seca de la fruta de pan.

	Almidón	Residuo
Media	56,4300	43,5700
N	3	3
Desv. típ.	,01000	,01000

Fuente: Villaseñor, 2015.

Como podemos apreciar en la tabla 1 el rendimiento porcentual en base seca del almidón de fruta de pan (media ($p<0,05$), SD; N=3).

3.2. TAMAÑO Y FORMA DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE LA FRUTA DE PAN.

Las características que presentaron los gránulos de almidón de fruta de pan en referencia a su tamaño y forma es regular, los gránulos no se encuentran retrogradados ni destruidos, esto se debe a que el método de extracción no modifica los gránulos. El tamaño de los almidones se encontró en el intervalo de 25-30 μm , se los puede relacionar con los de trigo, el mismo que posee tamaños que van desde las 25 a 55 μm , los grandes y pequeños desde 2 a 10 μm . Esto favorecería la homogeneidad como componente en alimentos.

3.3. Composición Físico-química y nutricional del almidón de fruta de pan.

Tabla 2. Composición Físico-química de el almidón de fruta de pan (media ($p<0,05$), SD; N=3)

	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasa	Fibra	Carbohidratos
Media	10,5325	1,6841	17,2000	5,1667	12,2933	53,3000
N	3	3	3	3	3	3
Desv. típ.	,04241	,02728	,51421	,15275	,56580	,28618

Fuente: Villaseñor, 2015.

Como podemos apreciar en la tabla 2 la composición del almidón de la fruta de pan presentó (1,68%) de cenizas, (10,53%) de humedad, (17,2%) en proteína, (12,29%) en fibra, (5,17%)

en grasa y (53,3%) en hidratos de carbono totales, constatando un buen aporte nutricional, como lo consta en la siguiente tabla de composición química proximal del almidón de la fruta de pan.

Estos valores difieren de estudios realizados en Nigeria por (Akambi T.O, 2009), debido a que sus muestras fueron previamente acetiladas, a fin de mejorar la purificación para almidones de usos no alimenticios.

3.4. Caracterización funcional del almidón de la fruta de pan.

3.4.1. Contenido de β -glucano

Tabla 3. Contenido de β -Glucano en el almidón de fruta de pan (media ($p < 0,05$), SD; N=3)

Componente	Proporción
β - glucano	4.39 \pm 0.046

Fuente: Villaseñor, 2015.

Como podemos apreciar en la tabla 3 el contenido de β -glucano en la fruta de pan fue del 4.39%, valores mayores a los presentados por otros autores en cereales como la avena (4.0%). No existen antecedentes bibliográficos de β -Glucano en fruta de pan, por lo que estos datos permiten la caracterización de estas semillas y con el fin de tener un valor agregado de estos productos.

3.4.2. Contenido en: almidones resistentes (AR), almidones digeribles (AD) y almidones totales (AT):

Tabla 4. Valores de los almidones resistentes (AR), almidones digeribles (AD), almidones totales (AT) y muestra control (MC). (Media ($p < 0,05$), SD; N=3)

MC		AR	AD	AT
53,81	Media	37,8941	1,3673	39,2614
	N	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.
53,89	Media	36,8198	1,3673	38,1871
	N	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.
53,91	Media	36,4291	1,3478	37,7769
	N	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.
Total	Media	37,0477	1,3608	38,4085
	N	3	3	3
	Desv. típ.	,75861	,01128	,76661

Fuente: Villaseñor, 2015.

Como podemos apreciar en la tabla 4 se encuentran los valores pertenecientes al contenido de AR, AD y AT contra una muestra control (MC) previamente caracterizada en el kit Megazyme, la cual es un ensayo independiente que se lo realizó por triplicado, paralelo a las muestras de almidón de la fura de pan. De esta manera se puede llevar un control de cada ensayo. Además se observa que en los valores de AR, AD y AT mantienen una media (p) por debajo del 0,5. Y en cuanto a la muestra control está dentro del rango de exactitud planteado por el kit Megazyme.

En la presente investigación, se tuvo precaución de que la temperatura de secado del almidón, no excediera los 50 °C para evitar el inicio de la gelatinización, pues en caso contrario, se provocaría el comienzo de este proceso. Este fenómeno descrito, induce a la disminución de la actividad hidrolítica en la α amilasa pancreática como resultado del

análisis realizado de simulación del extracto digestivo de los seres humanos. Los valores encontrados en el presente trabajo son muy importantes desde el punto de vista nutricional y funcional. Los almidones resistentes u análogos de fibra, se encuentran como responsables de múltiples beneficios para la salud y prevención de enfermedades.

Por otra parte los almidones disponibles o digeribles se encuentran en un porcentaje no superior del 3% con relación a los almidones resistentes, siendo los almidones totales el ciento por ciento.

No existen antecedentes bibliográficos de Almidones resistentes en fruta de pan, pero se lo puede comparar con distintas fuentes botánicas, siendo la fruta de pan el más alto después del almidón de Banano ecuatoriano (45,61%).

4. CONCLUSIONES

- La fruta de pan en su variedad (*Artocarpus altilis*), de la zona sur del Ecuador, alcanzó altos rendimientos de extracción de almidón, si se comparan a los reportados por otros autores. Esto se debe al control de la temperatura (45-48 °C), previniendo de posibles retrogradaciones.
- Los gránulos del almidón de fruta de pan, tuvieron una forma oval y esférica con tamaños alrededor de 30 µm.
- El almidón de fruta de pan, presenta valores nutritivos superiores a la semilla en su estado natural, esto se debe a su concentración en base seca por pérdida de humedad. Además que representa una fuente significativa de fibra dietética.
- Los B-glucanos presentes en la fruta de pan, superan a los valores funcionales de otras fuentes como la avena.
- El contenido en almidón resistente ante el almidón disponible se sitúa en un 96,46 %. Esto demuestra la excelente disponibilidad funcional para la elaboración de productos alimenticios con características saludables.
- Estos resultados nos permiten la caracterización de esta materia prima en cuanto a sus contenidos de componentes funcionales.
- El almidón de la fruta de pan en la variedad (*Artocarpus altilis*) estudiada, representa una fuente natural de compuestos nutricionales y funcionales de bajo aporte calórico con beneficios superiores a los que aportan los alimentos convencionales.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar las propiedades nutricionales y funcionales de almidón de la fruta de pan de otras regiones del mundo, para poder corroborar con otros autores.
- Se espera que este trabajo sirva como base para nuevas investigaciones con el fin de elaborar alimentos que demanden características nutricionales y funcionales superiores a las que aportan algunos nutrientes tradicionales.
- La sociabilizar el método de extracción del almidón, como tecnología de transferencia para distintos sectores productores del Ecuador, como estrategia para diversificar las materias primas ricas en hidratos de carbono.

6. BIBLIOGRAFIA

1. © Megazyme . (2013). BETA-glucano K-EBHLG, 03/13 (50 ensayos por Kit) . © *Megazyme internacional Irlanda* .
2. Acero, D. (1995). Proyecto árbol del pan. . *Universidad Distrital*.
3. AOAC . (2002). Contenido de almidones resistentes . *Método AACC 32-40*.
4. Aranal. (1999). Tecnología de almidones para alimentos. *Folleto*.
5. Atwell, W. A.-M. (1988). *The terminology and methodology associated with basic starch phenomena*. Cereal Food World. 33(3): 306-311. .
6. BeMiller, J., & Whistler, R. (s.f.). Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. *Starch*.
7. Biliaderis, C. G. (1994). *Effect of polyhydroxy compounds on structure formation in waxy maize starch gels: a calorimetric study*. Carbohydrate Polymers. 23:193-202.
8. Buitrago, J., & Gil, J. L. (2001). La yuca en la alimentación avícola . *Cuadernos avícolas*.
9. Buleon, A. P. (1998). *Starch granules: structure and biosynthesis. Mini review*. International Journal Biology and Macromolecule 23:85112.
10. BURNIE, G., FORRESTER, S., GUEST, S., HARMONY, M., HOBLEY, S., JACKSON, G., . . . SCHIEN, G. (2006). GUÍA ILUSTRADA DE PLANTAS. En *BOTÁNICA*. RAMDOM HOUSE AUSTRALIA.
11. Chung, H. J. (2008). *Effects of molecular size and chain profile of waxy cereal amylopectins on paste rheology during retrogradation*. Carbohydrate Polymers. 71: 365-371.
12. CRANE, & BARLERDI. (2000). La Jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) en Florida. Departamento de Ciencias Hortícolas, . *Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida*.

13. CRANE, J., & BALERRDI, F. (2000). (Artocarpus heterophyllus Lam.) EN FLORIDA. *MIAMI-DADE COUNTY*.
14. Dale, N. (2006). Feedstuffs ingredient analysis table. *University of Georgia, Athens*.
15. Donald, A. M. (2001). Plasticization and self assembly in the starch granule. *Cereal Chemistry*. 78 : 307-314.
16. French, D. (1984). Organisation of starch granules. In: Starch: Chemistry and Technology. *Whistler, R. L., BeMiller, J. N., and Pashchall, E. F. (Eds.)*.
17. Groot, A., Luyken, R., & Pikaar, N. (1963). Cholesterol-lowering effect of rolled oats. Págs. 303 – 304.
18. Hernández-Medina, M. T.-U.-G.-A. (2007). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en la península de Yucatan, Mexico. *Memorias del IX Congreso de ciencia de los alimentos*.
19. Hizukuri, S. (1986). Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydrate Research*.
20. Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2001. 45: 253–267.
21. Jagadeesh, S. B. (2007). Chemical Composition of Jackfruit (Artocarpus heterophyllus Lam. *Wester Ghats of India. Food Chemistry*.
22. Jane, J. (2006). *Current understanding on starch granule structures*. . The Japanese Society of Applied Glycoscience. 53: 205-213.
23. Jane, J. a. (1993). Internal structure of the potato starch granule revealed by chemical gelatinization. *Carbohydrate Research*. 247:279–290.

24. Jane, J. C. (1999). *Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch*. Cereal Chemistry. 76:629-637.
25. KHAM, M. (2004). Effects of seed mass on seedling success in *Artocarpus heterophyllus* L. a tropical tree species of north-east India. *Acta Oecologica*.
26. Lai, L. S. (1991). *Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review)*. Biotechnology Progress. 7:251-266.
27. LECUONA VILLANUEVA, A. (2004). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón de *Vigna unguiculata*. 97.
28. Leyva, C., Ortiz, A., Martí, O., & Valdiviá, M. (2013). Inclusion of meal from *Artocarpus altilis* fruit in diets. *Pastos y Forrajes, Vol. 36, No. 4*.
29. Manners, D. J. (1989). Recent developments in our understanding of amylopectin structure. *Carbohydrate Polymers. 11:89-112*.
30. Mitchell, J. R. (1997). *The role of molecular weight in the conversion of starch, Starch: Structure and functionality*. Frazier, P. J., Donald, A. M. and Richmond, P. (Eds.). Cambridge. The Royal Society of Chemistry. p. 68-76.
31. MORTON, J. F. (1987). Fruits of Warm Climates. *Ripe breadfruit (Artocarpus altilis)*.
32. Official Methods of Analysis. (1990). Metodo enzimático gravimétrico - contenido de fibra dietética. *15 th Edition*.
33. Ong, B. T. (2006). Chemical and flavour changes in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) cultivar J3 during ripening. *Postharvest Biology and Technology*.
34. Paredes-López, O. B.-P. (1994). *Amylopectin: structural, gelatinization and retrogradation studies*. Food Chemistry. 50:411-418.

35. Pendergast, M. (2013). *eHow (en español)*. Recuperado el 03 de 09 de 2014, de http://www.ehowenespanol.com/arbol-pan-monocotiledonea-dicotiledonea-info_278472/
36. PUA, C., Hamid, N., Sheikh-Abd, C., Mirhosseini, H., Rahman, R., & Rusul, G. (2008). Storage stability of jackfruit *Artocarpus heterophyllus* powder packaged in aluminium laminated polyethylene and metallized co-extruded biaxially oriented polypropylene during storage. *Journal of Food Engineering*.
37. Rivas González, M. (2012). ALMIDÓN ACETILADO DE PLÁTANO: CARACTERIZACIÓN. *PROGRAMA DE POSGRADO EN ALIMENTOS DEL CENTRO DE LA REPÚBLICA (PROPAC)*.
38. Rosales, M. (2012).
39. Rostagno, S. H. (2005). Tablas brasileñas para aves y cerdos. *Composición de alimentos y requerimientos nutricionales 2da edición*.
40. SEMPLADES. (2012). Revolución productiva a través del conocimiento y el talento humano. *Transformación de la Matriz Productiva*, 26.
41. Shi, Y. a. (1992). *The structure of four waxy starches related to gelatinization and retrogradation*. *Carbohydrate Research*. 227: 131-145.
42. Singhal, R. S. (1988). Amaranth-an underutilized-review. *international journal of food science & technology*. 23(2): 125-139.
43. Smith, A. M. (2001). The biosynthesis of starch granules. *Biomacromolecules*. 2:335-341.
44. Srichuwong, S. a. (2007). Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: A Review. *Food Science biotechnology*. 16(5):00.

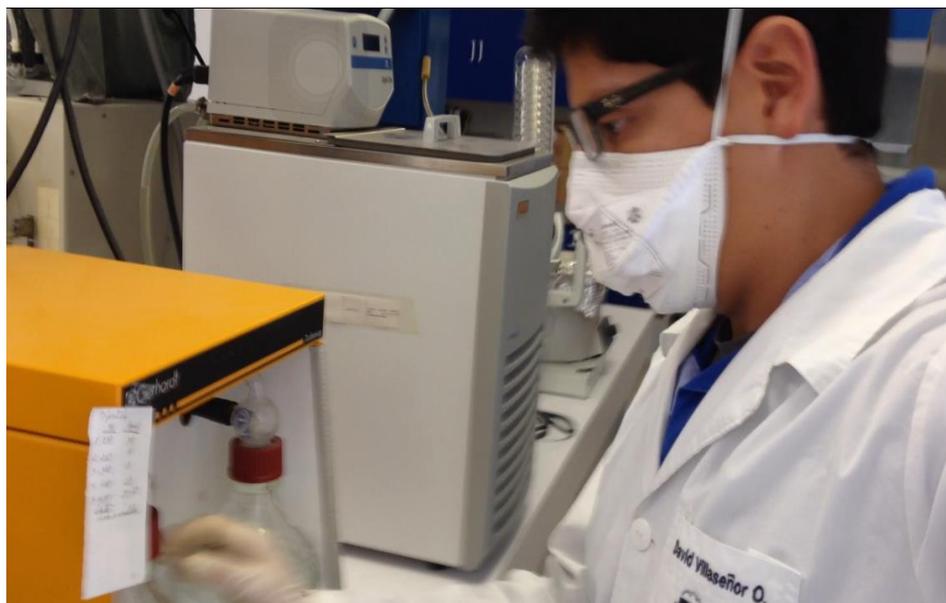
45. Tako, M. T. (2009). *Rheological characteristics of Halberd wheat starch*. *Starch/ Stärke*. 61: 275-281. .
46. Tester, R. F. (2004). *Starch- composition, fine structure and architecture*. *Journal of Cereal Science*.39:151-165.
47. Thys, C. S. (2008). *Effect of the alkaline treatment on the ultrastructure of C-type starch granules*. *Biomacromolecules*. 9: 1894-1901.
48. Valdiviá, M., & Álvarez, R. (2003). Utilización del árbol del pan (*Artocarpus communis*) en pollos de engorde. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 37:169.
49. Vermeulen, R. B. (2005). *Gelatinisation related structural aspects of small and large wheat starch granules*. *Carbohydrate Polymers*.62:170-181.
50. Whistler , R., & BeMiller, J. (1997). *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. Saint Paul: ACC. pp. 117-151.
51. Whistler, R. L. (1984). *Molecular structure of starch*. In. *Starch: Chemistry and technology*. Whistler, R. L, BeMiller, J. N. and Phaschall E. F. (eds). Academic Press, Inc. New York.
52. Whistler, R. L. (1997). Carbohydrate chemistry for food scientists. *Starch (pp. 117–152)*.
53. Yamaguchi, M. K. (1979). Electron Microscopic observation of waxy maize starch. *Journal Ultrast Research*. 69:249-261.

ANEXOS

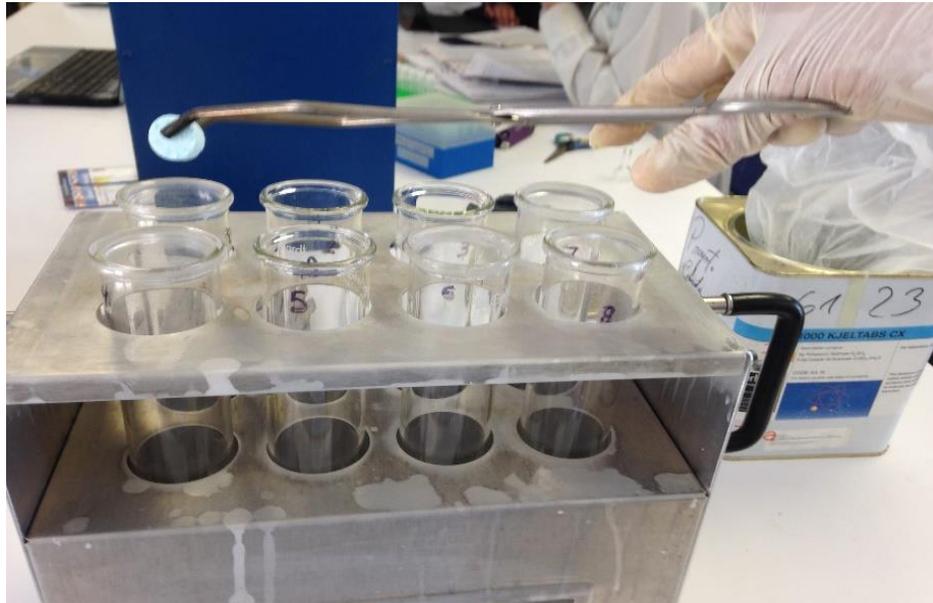
Anexo 1. Preparación de las muestras para análisis del almidón.



Anexo 2. Control de temperatura para la determinación de proteína.



Anexo 3. Pastilla para catalizar muestras de proteínas



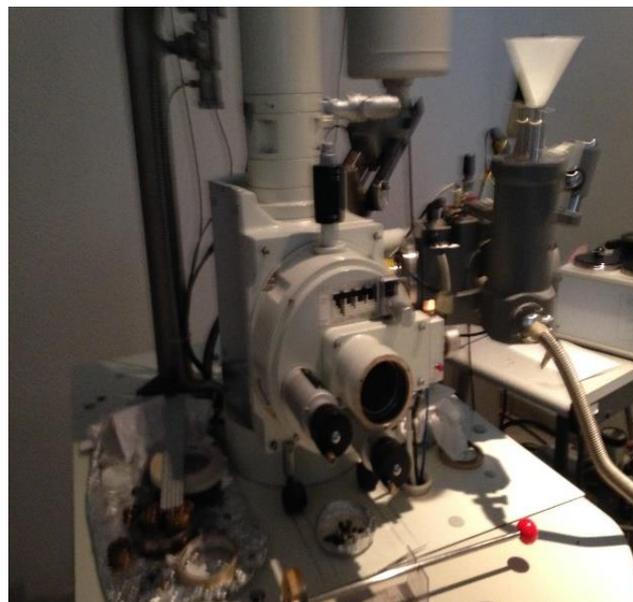
Anexo 4. Filtrado al vacío, determinación de fibra dietética



Anexo 5. Crisoles con Celita para filtrado de muestras



Anexo 6. Microscopio electrónico de barrido



Anexo 7. Metalización con oro para microscopía electrónica de barrido

