UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación de la harina de chachafruto como ingrediente para la elaboración de un producto de panadería libre de gluten

Gabriela Silva Gama

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Química y Ambiental
Bogotá, Colombia
2020

Evaluación de la harina de chachafruto como ingrediente para la elaboración de un producto de panadería libre de gluten

Gabriela Silva Gama

Tesis como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Química

Director:

Profesor: Néstor Ariel Algecira Enciso.

Codirector:

Profesor: Luis Felipe Gutiérrez Álvarez.

Línea de Investigación:

Alimentos

Grupo de Investigación:

Procesos químicos y bioquímicos.

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Química y Ambiental

Bogotá, Colombia

2020

Dedicatoria

A mi familia

Quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi padre Carlos Alberto mis hermanos Carlos y Luz Marina por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Resumen

Los productos de panadería son un alimento de consumo masivo, debido a que una persona consume anualmente 90 kilos de pan, según la Organización Mundial de la Salud. Aunque los productos de panificación utilizan harina de trigo la cual contiene gluten, las personas son intolerantes específicamente a las proteínas del gluten que generan enfermedades como colon irritable, y problemas gastrointestinales.

Debido a todo esto, se presenta una necesidad de productos de panificación libres de gluten, con nuevos componentes para aumentar nutrientes y compuestos bioactivos, estas propiedades son disponibles para los consumidores con trastornos relacionados con el gluten.

Este estudio demostró que la utilización de harina de chachafruto (*Erythrina edulis triana*) y otras fuentes como amaranto y arroz sirven para la elaboración de galletas libres de gluten. Sin embargo, la adición de la harina de chachafruto, amaranto y arroz cambió considerablemente algunos parámetros de las mezclas para 15% harina de chachafruto y el 85% harina de amaranto las proteínas con 8.00 ± 2.52% y cenizas con 1.80 ± 0.02%, y para la mezcla de 15% harina de chachafruto y el 85% harina de arroz cambio 7.38 ± 2.16% y 1.39 ± 0.00% respectivamente.

La harina de chachafruto puede ser utilizada efectivamente como reemplazante de la harina de trigo, debido a que los resultados obtenidos muestran que las mezclas con otras harinas libres de gluten como la harina de amaranto, harina de arroz, favorecen la fabricación de galletas, el reemplazo total de la harina de trigo, por harinas sin gluten demostró que las galletas, elaboradas con la mezcla de harinas libres de gluten, muestran características tecnológicas similares a las galletas de harina de trigo en cuanto a color y textura aportando un valor nutricional, para mejorar la alimentación de las personas.

Palabras clave

Producto de panadería, alimento, consumo masivo, nutricionales, intolerancia, gluten, harina de chachafruto, características, tecnológicas.

Abstract

Bakery products are a mass consumption food, because a person consumes 90 kilos of bread annually, according to the World Health Organization. Although bakery products use wheat flour which contains gluten, people are specifically intolerant to gluten proteins that generate diseases such as irritable bowel, and gastrointestinal problems.

Because of this, there is a need for gluten-free bakery products, with new components to increase nutrients and bioactive compounds, these properties are available to consumers with gluten-related disorders.

This study showed that the use of flour from chachafruto (Erythrina edulis triana) and other sources such as amaranth and rice are used to make gluten-free cookies. However, the addition of chachafruto flour, amaranth and rice changed considerably some parameters of the mixtures for 15% chachafruto flour and 85% amaranth flour proteins with 8.00 ± 2.52% and ash with 1.80 ± 0.02%, and for the mixture of 15% chachafruto flour and 85% rice flour change 7.38 ± 2.16% and 1.39 ± 0.00% respectively.

The chachafruto flour can be used effectively as a replacement for wheat flour, because the results show that mixtures with other gluten free flours such as amaranth flour, rice flour, favor the manufacture of biscuits, the total replacement of wheat flour, by gluten-free flours showed that the biscuits, made with the mixture of gluten-free flours, show similar technological characteristics to wheat flour biscuits in terms of color and texture providing a nutritional value to improve people's diet.

Keywords

Bakery product, food, mass consumption, nutrition, intolerance, gluten, chachafruto flour, characteristics, technologies.

Contenido

Resumen……..……...4

Contenido 6
Lista de Figuras..... 8
Lista de Tablas 9
Lista de Gráficos 10
Introducción 12
1. Marco teórico.....14
1.1 Enfermedad Celiaca.....14
1.2 Elaboración de productos de panificación 16
1.3 Alternativas de productos con otras harinas.....18
1.3.1 Almidón 19
1.4 Las leguminosas 21
1.5 Chachafruto.....22
1.5.1 Taxonomía 23
1.5.3 Carbohidratos.....25
1.5.4 Aminoácidos.....26
1.6 Aplicaciones con chachafruto.....28
1.7 Caracterización de harinas y masas.....30
1.7.1 Mixolab Standar 30
1.7.2.1 Índice de absorción de agua.....33
1.7.2.2 Índice de amasado 33
1.7.2.3 Fuerza de gluten 34
1.7.2.4 Índice de viscosidad del gel de almidón.....34
1.7.2.5 Índice de resistencia a la amilasa.....34
1.7.2.6 Retrogradación del almidón.....35
2. Objetivo General.....36
Objetivos específicos 36
3. Materiales y Métodos 37
3.1 Materiales 37
3.2 Métodos 38
3.2.1 Elaboración de la harina.....38
3.2.2 Evaluación de las propiedades tecnológicas y reológicas de la masa 43
3.2.3. Análisis reológicos.....43
3.3 Propiedades tecnológicas de las galletas.....45
3.4 Ingeniería Conceptual 46
4. Resultados y Discusión 47
4.1 Propiedades funcionales 50
4.2 Caracterización de las masas.....54
4.2.1 Absorción de agua 56
4.2.2 Índice de amasado 56
4.2.3 Índice de gluten.....56

4.2.4 Índice de viscosidad 57
4.2.5 Resistencia de la amilasa 57
4.2.6 Modificación del almidón 57
4.3 Caracterización de masas por el Mixolab estándar 58
4.3.1 Desarrollo de la masa en C1 59
4.3.2 Calidad de la proteína C2. 59
4.3.3 Gelatinización del almidón C3. 60
4.3.4 Actividad de la amilasa C4. 60
4.3.5 Retrogradación del almidón C5. 60
4.4 Propiedades reológicas 61
4.5 Análisis de calorimetría diferencial de barrido DSC 63
4.6 Microscopia electrónica de barrido 65
4.6.1 Formulación 66
4.7 Propiedades tecnologicas de las galletas 67
4.7.1 Perfil de textura 69
4.7.2 Propiedades tecnologicas de las galletas durante su almacenamiento 70
4.7.3 Análisis sensorial 71
4.8 Ingeniería conceptual 74
4.8.1 Perfil del cliente 74
4.8.2 Descripción general 74
4.8.3 Capacidad de producción 74
4.8.4 Normatividad 75
4.8.5 Proceso de fabricación 75
4.8.6 Estudio financiero y económico 77
4.8.6.1 Costos de producción 78
4.8.6.2 Mano de obra 79
4.8.6.3 Servicios y gastos 80
5. Conclusiones y Recomendaciones 82
5.1 Recomendaciones 83

Lista de Figuras

Figura 1.1 Procedimiento general para la elaboración de un producto de panificació…….5
Figura 1.2 Componentes del almidón…..……20
Figura 1.3 Frutos y flores del árbol de Erythrina edulis……...24
Figura 1.4 Partes de la semilla de Chachafruto……25
Figura 1.5 Curva de Mixolab……31
Figura 1.6 Perfil del Mixolab……...33
Figura 1.7 Vaina y semilla del chachafruto……37
Figura 1.8 Tamaño de las semillas de chachafruto……38
Figura 1.9 Obtención de la harina de chachafruto……..…39
Figura 1.10 Microscopia de la mezcla de harina de chachafruto……..66
Figura 1.11 Microscopia de las masas……..67
Figura 1.12 Producto terminado de los diferentes tipos de galleta…..……68
Figura 1.13 Esquematización del proceso de elaboración de harina de chachafruto y galletas de chachafruto y arroz…….……76

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Influencia de diferentes bases de harinas en el pan…….....…....18
Tabla 1.2 Composición nutricional de distintas harinas…….……22
Tabla 1.3 Taxonomía Erythrina edulis…….....23
Tabla 1.4 Contenido de nutrientes del chachafruto en base seca…….....25
Tabla 1.5 Aminoácidos presentes en 100 gramos……...26
Tabla 1.6 Requerimientos diarios de aminoácidos……..27
Tabla 1.7 Comparación del perfil de aminoácido en 100 g de muestra seca……....…..27
Tabla 1.8 Investigaciones realizadas sobre aplicaciones del chachafruto……..28
Tabla 1.9 Peso de las semillas de chachafruto……...…....38
Tabla 1.10 Pesos de las muestras retenidas……..……39
Tabla 1.11 Formulación para las galletas……...…....43
Tabla 1.12 Evaluación de los parámetros de aceptabilidad…….....47
Tabla 1.13 Análisis químico proximal de la harina de chachafruto, arroz, y amaranto en base seca……..…….....48
Tabla 1.14 Análisis químico proximal de las mezclas de chachafruto, arroz y amaranto en base Seca.....50
Tabla 1.15 Propiedades funcionales de diferentes tipos de harinas.....51
Tabla 1.16 Propiedades funcionales de las mezclas…….…..53
Tabla 1.17 Propiedades tecnológicas de las harinas.....54
Tabla 1.18 Propiedades tecnológicas de las mezclas.....55
Tabla 1.19 Caracterización del comportamiento reológico de las diferentes mezclas de harinas en el Mixolab Profiler.....56
Tabla 1.20 Caracterización de las masas en Mixolab estándar.....59
Tabla 1.21 Colorimetría en galletas.....69
Tabla 1.22 Parámetros tecnológicos de las galletas durante el almacenamiento.....71
Tabla 1.23 Descripción de los equipos.....77
Tabla 1.24 Muebles y equipos de oficina……..…...…..78
Tabla 1.25 Costos de equipos, maquinaria y muebles……..…….....78
Tabla 1.26 Costos de materia prima.....79
Tabla 1.27 Servicios y gastos.....80
Tabla 1.28 Inversión.....80
Tabla 1.29 Índices económicos.....81

Lista de Gráficos

Gráfico 1.1 Resultados de Mixolab Profiler en 6 mezclas de harinas……...56
Grafico 1.2 Region viscoelástica de las mezclas.....62
Gráfico 1.3 Barrido de frecuencia.....64
Gráfico 1.4 Termograma DSC de las mezclas de 15% chachafruto, 85% amaranto y la mezcla de 15% chachafruto y 85% arroz.....65
Gráfico 1.5 Parámetros texturales de las galletas.....70
Gráfico 1.6 Análisis sensorial sabor.....72
Gráfico 1.7 Análisis sensorial color.....73
Gráfico 1.8 Análisis sensorial textura.....73

Lista de Acrónimos

AT	Almidón total
B/C	Beneficio / costo
CRA	Capacidad de retención de agua
FAO	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GMP	Gluten macro polímero
I.A.A	Índice de absorción de agua
I.A.L	Índice de absorción de lípidos
I.S.A	Índice de solubilidad en agua
OMS	Organización Mundial de la Salud
RH	Residuo húmedo
RS	Residuo seco
VA	Valor actual
VPN	Valor presente neto
TIR	Tasa interna de retorno

Introducción

El chachafruto es el fruto del árbol llamado *Erythrina edulis* ésta planta catalogada como leguminosa y su fruto como legumbre.
Esta legumbre es considerada como un alimento esencial ya que posee nutrientes y proteínas, y es una opción de alimentación que complementa la carne y los lácteos. Su contenido de grasa es bajo y de proteínas alto.
El chachafruto ha sido recomendado por la FAO por su alto contenido de aminoácidos esenciales. (FAO, 2015)

Los productos de panadería son considerados base de la alimentación y son de consumo masivo. La gran mayoría de los productos de panificación son preparados con harina de trigo. Actualmente, una persona consume 90 kilos al año, en Bogotá se consumen 82 kilos OMS (2017). En los últimos tiempos las personas han presentado intolerancia al gluten más específicamente a las proteínas del gluten (glutenina y gliadina), que se encuentra en el trigo y en otros cereales como la avena, el centeno y la cebada. Una de las propiedades más relevantes de la glutenina es que construye redes proteicas, aportando la estructura al producto una vez horneado. En cuanto, a la gliadina es una proteína vegetal llamada prolamina que posee propiedades de movilidad en geles electroforéticos; es decir que reacciona con movimientos ante incitaciones químicas. En el proceso de elaboración, la gliadina determina la unión de la mezcla evitando que se deshaga el pan. (Ensin, 2010)

Debido a que existe la necesidad de hacer productos de panificación libres de gluten el chachafruto es una alternativa importante ya que, las semillas no contienen gluten y, son ricas en vitaminas como ácido ascórbico, tiamina, minerales (especialmente hierro y calcio), proteínas 11%, carbohidratos 85%. (Acero, 2002)

En la actualidad, a nivel mundial el consumo de productos de panadería presenta una variación. La ingesta de gluten afecta la salud provocando enfermedades como obesidad, gastritis diabetes y problemas gastrointestinales. (Euromonitor, 2014)

Dado que ha aumentado la oferta de productos sin gluten, ya que nutricionalmente por su alto contenido de minerales, son alimentos beneficiosos para la salud como el chachafruto con un alto valor nutracéutico. (Kaplan, 2006)

Actualmente las organizaciones de la salud aconsejan una alimentación balanceada y saludable, conforme a las necesidades del cuerpo humano se necesita una dieta apropiada y equilibrada que incluya carbohidratos, lípidos, proteínas, fibra, vitaminas y minerales. De tal manera que una mala alimentación puede ocasionar anemia y problemas intestinales: por tal motivo se requiere complementar la ingesta diaria una opción es elaborar un producto con alto contenido proteico utilizando harina de chachafruto que cuenta con 11 % de proteína, esto comparado con la harina de trigo que contiene solo 7 % de proteína en 100 gramos.

Existe un interés por el consumo de productos menos modificados y más naturales. El chachafruto se encuentra dentro de esta variedad de alimentos, por lo tanto en los nuevos mercados es un producto promisorio, se han realizado investigaciones sobre este alimento mostrando sus diferentes usos. Es por eso que en este estudio se evaluó la utilización de la harina de chachafruto, en la elaboración de un producto de panificación libre de gluten.

1. Marco teórico

En la actualidad, las personas han presentado intolerancia al gluten más específicamente a las proteínas del gluten llamadas glutenina y gliadina. Hay un gran interés por conocer nuevas fuentes que brinden una mejor alimentación, entre ellos el chachafruto, el cual es completamente natural y no contienen gluten. (Escamilo, 1994)

La gran mayoría de productos de panificación en su elaboración utilizan harina de trigo, la cual tiene una composición de almidón 70% ,15% agua, 12% proteínas, 1,5% grasas, y 0,6% minerales. Cabe resaltar 12% de proteínas ya que, la reacción de dos de ellas gluteninas y las gliadinas producen el gluten. (Gordon, 1986)

La glutenina o gluteína es una de las proteínas del gluten. Se encuentran en el trigo y en otros cereales como la cebada, centeno y avena. Una de sus propiedades más relevantes es cuando construye, cadenas proteicas con enlaces poliméricos que se forman al amasar, aporta la estructura de los productos de panificación una vez horneado.

En cuanto a la gliadina se trata de una prolamina que posee propiedades de movilidad electroforética es decir, que reacciona con movimientos ante determinados estímulos químicos, de solubilidad en los alcoholes fuertes. En el proceso de amasado es la responsable de la adherencia de la masa impidiendo el desmigaje del producto.

1.1 Enfermedad Celiaca

Consiste en una intolerancia a las proteínas del gluten. Se asocia con el consumo de harina de trigo especialmente una proteína llamado gliadina, también del centeno secalinas, de la cebada *hordeina* y del *triticale* que es la combinación de trigo y centeno. (Ausina A, 1994)

Provoca una atrofia severa en la mucosa del intestino delgado superior que impide la absorción de nutrientes a nivel del tracto digestivo. Además se presenta como una enfermedad inmune y autoinmune, es decir el sistema inmunitario ataca las células sanas del cuerpo, por error en vez de proteger el sistema de infecciones y enfermedades, identifica las células saludables como enemigas y las ataca. (Dieterich W, 1997)

Teniendo en cuenta que el sistema- inmune, consiste en tejidos, órganos y células, esta enfermedad autoinmune puede afectar muchas partes del organismo. Esta intolerancia es permanente, perdura por toda la vida y se presenta en personas genéticamente predispuestas a padecerla en las que es importante la predisposición genética. Parece que la ausencia de consumo de leche materna, la ingesta de dosis elevadas de gluten, también el consumo temprano de estos cereales en la dieta, son factores de riesgo para su desarrollo. (Holmes G, 1996)

Se manifiesta, por desnutrición grave y diarrea intensa. Provoca una degeneración severa de la mucosa del intestino delgado superior. Como consecuencia, en el tracto digestivo hay una disminución de nutrientes principalmente sales y vitaminas. Esta enfermedad provoca anemia, osteoporosis, dolor abdominal y defectos en el esmalte dentario. Suele confundirse como síndrome de colon e intestino irritable. (Polanco I, 1996)

Existe una etapa difícil que es cuando, el paciente no mejora después de suprimir el gluten de su dieta. Es importante descartar la posibilidad que el paciente esté ingiriendo gluten de manera inadvertida.

El único tratamiento de esta enfermedad es la dieta sin gluten, debe ser estricta y para toda la vida, ya que la enfermedad no se cura. Esta dieta implica no consumir alimentos que contengan trigo, cebada y centeno. La avena debe descartarse ya que se contamina con el trigo durante su cultivo, molienda y preparación. Se puede reemplazar por arroz, papa y legumbres como el chachafruto, ya que puede aportar una mayor cantidad de nutrientes. (NIH, 2004)

Debido al padecimiento de las personas a todos estos síntomas, se presenta alternativas de productos de panificación libres de gluten, con nuevos componentes para aumentar nutrientes y compuestos bioactivos, con propiedades disponibles para los consumidores con trastornos relacionados con el gluten. Ingredientes bioactivos, como los pseudocereales que se conocen como legumbres, nueces e ingredientes a base de frutas y verduras, que se utilizan para desarrollar productos sin gluten con buenas propiedades físicas y sensoriales. (Araya M, 2006)

1.2 Elaboración de productos de panificación

En la elaboración de un producto de panificación es recomendable seguir el procedimiento presentado, en la figura 1.1:

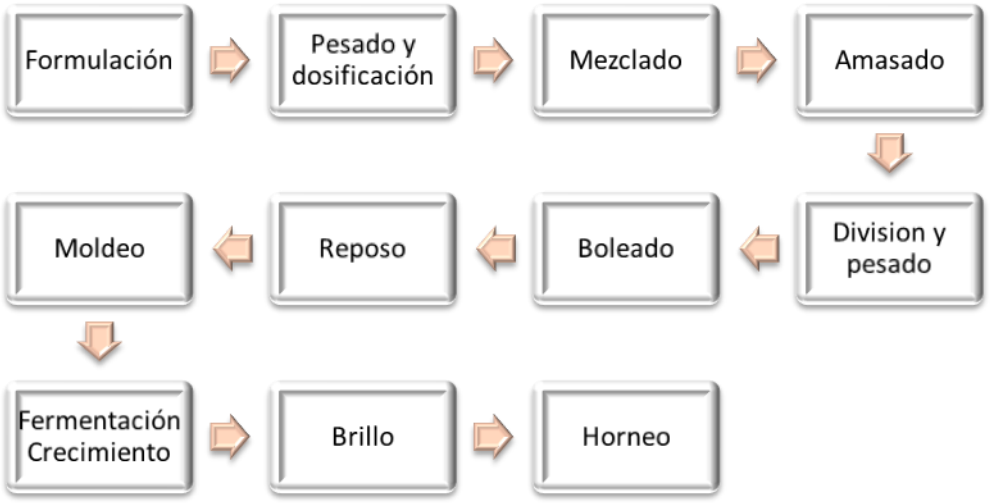


Figura 1.1 Procedimiento general para la elaboración de un producto de panificación
Fuente: (ICONTEC, 2005)

Se generaliza la importancia que tiene cada una de las operaciones unitarias en la industrialización del pan y sus productos.

En el proceso de elaboración de un producto, el primer paso es la formulación para determinar la cantidad precisa de ingredientes, ya que si se agrega en exceso un ingrediente el resultado final cambia la consistencia del producto. (León, 2013).

En pesado y dosificación es la cantidad de las diferentes materias primas en unidades de medida similares que requiere la formulación, son cantidades exactas de los ingredientes, dadas por una formulación para obtener el producto seleccionado. Para la distribución correcta de ingredientes se realiza el mezclado se combinan los ingredientes para formar una masa homogénea, esta se acondiciona para producir en la masa la maduración con mayor elasticidad.

Amasado tiene dos finalidades: Mezclar de forma homogénea agua, harina, sal, levadura y eventualmente mejoradores, trabajar esta mezcla a fin de airearla y hacerla flexible y elástica. Además de lograr la mezcla de los distintos ingredientes y conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, las características plásticas de la masa así como su oxigenación. En este momento ocurre la hidratación de la harina que se realiza mediante

la expansión de CO_2 que son las burbujas dentro de la masa. Estas burbujas se forman de la levadura, los azúcares liberados de los gránulos de almidón hidratados, por el complemento de la enzima amilasa que posee la harina. Esta masa se expande, convirtiéndose más fuerte. (Rodríguez. M, 2006)

División y pesado es dar a las piezas el peso justo. Si se trata de piezas grandes se suelen pesar a mano. Si se trata de piezas pequeñas se puede utilizar una divisora hidráulica.

Boleado consiste en dar forma de bola al fragmento de masa y su objetivo es reconstruir la masa tras la división. (Sumner. J, 2013).

Reposo es dejar descansar la masa para que se recupere de la desgasificación sufrida durante la división y boleado. (Eliasson. A ,1993)

Moldeo es dar la forma que corresponde a cada tipo de producto. Pero antes de meterla en el horno hay que darle forma. Y al darle forma se extrae el CO_2 del interior. Fermentación consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares fermentables en etanol, esto ocurre en un cuarto de fermentación. Para que la masa quede esponjosa se necesitan las burbujas que suben la masa. La levadura que se utiliza para crear esas burbujas recibe el nombre de *Saccharomices cerevisiae*. La levadura consume los azúcares de la amilasa, que básicamente se encuentran en el almidón, y produce etanol y CO_2 .La levadura necesita un tiempo para digerir los azúcares de la harina y poder así excretar el CO_2 que hará que la masa suba. Para conseguirlo hay que dejar reposar la masa. (Donovan, 2010)

Horneo o cocción es la transformación de la masa fermentada en producto (Cepeda ,1991). Una vez en el horno, cuando la temperatura alcanza unos 70 ℃, la levadura muere permitiendo que el agua penetre en su estructura. Cuando la temperatura alcanza los 200℃ las reacciones de caramelización y, de Maillard ocurren en los azúcares y aminoácidos. Interviniendo en la formación del color de la corteza, a través de la formación de las dextrinas, maltosa y dextrosa acentúan el color dorado de la corteza. Por dilatación de los gases que contiene, aumenta mucho el crecimiento de la masa. Es en este punto es donde el sabor y olor del producto aparecen. (Hamer, 2005)

El aumento de temperatura de la masa se produce de manera gradual desde el exterior hacia el interior del producto. El aumento de la temperatura acelera las reacciones de amilosis. Primero se forma una fina película en la superficie, que se mantienen flexible gracias al vapor de agua condensado sobre la masa. (Bernabé, 2009)

1.3 Alternativas de productos con otras harinas

Existen algunas alternativas como el maíz y el arroz, son utilizados tanto el almidón y harina. También se encuentran las harinas de raíces, tubérculos, leguminosas. (Delgado, 2006).

A continuación se presenta la Tabla 1.1 donde se muestra diferentes tipos de harina y los efectos que tienen sobre el producto de panificación.

Tabla 0.1.1 Influencia de diferentes bases de harinas en el pan

Referencia	Producto	Harina Base	Aditivos	Efectos
Axel *et al*., 2015	Pan	Quinoa	*Lactobacillus amylovorus*	Mejora el volumen del pan y endurece la miga.
Costantini *et al.* 2014	Pan	Alforfón común, tartárico	Harina de Chía	Aumento de proteínas, fibras dietéticas insolubles.
De la Barca *et al*. 2010	Pan y galletas	Maíz y arroz	Harina de Amaranto	Aumento de cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos.
Demirkesen et al., 2013	Pan y torta	Arroz	Harina de Castaña	Estructura más uniforme del pan.
Demirkesen et al., 2014	Pan y galletas	Arroz	Harina de castaña y xantano	Disminución de la dureza. El retraso en el endurecimiento del pan por pérdida de humedad, entalpía de retrogradación y cristalinidad de masa total del almidón en gluten.
Korus *et al*. 2015	Pan	Almidón de maíz y patata	Harina de bellota	Aumentar el contenido de proteínas, minerales, fibra dietética y aumentar el volumen del pan, características

				mejoradas de la miga del pan.
Krupa *et al*. 2010	Pan	Almidón de maíz y patata	Almidón nativo e hidrotermal	El almidón nativo y modificado tiene varios efectos. El almidón hidrotérmicamente modificado reduce la dureza de la miga y aumenta su elasticidad, no extiende su frescura durante el almacenamiento.
Krupa-Kozak *et al*., 2011	Pan	Almidón de maíz y patata	Harina de trigo sarraceno	Efectos positivos en la calidad del pan, índice de volumen específico y pan tamaño. El aumento de la concentración de harina de trigo sarraceno aumento paralelo de proteínas y micro elementos, especialmente en cobre y manganeso.

Fuente Grupo de cereales, tubérculos y legumbres (2006)

1.3.1 Almidón

El almidón consiste en dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes como se observa en la figura 1.2.

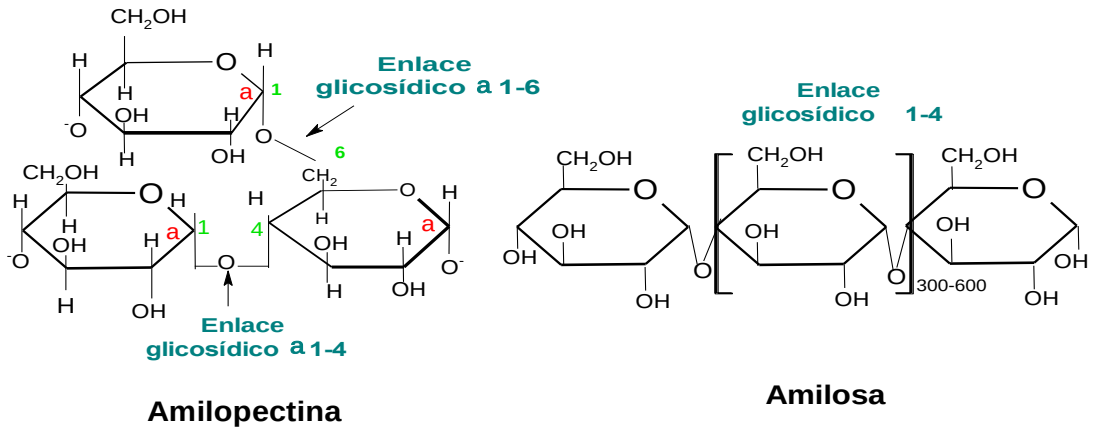


Figura 1.2 Componentes del almidón

La molécula de amilosa no es soluble en agua pero puede formar micelas por su capacidad de enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo de yodo. (Knutzon, 1994)

Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta. (Guan, 2004)

Al inicio del proceso de mezclado, algunos fenómenos físicos como la hidratación tienen lugar, la estructura de la masa se forma cuando las proteínas y los gránulos de almidón absorben agua. (Angioloni, 2006). La deficiencia de gluten significa que el ingrediente más importante para formar la estructura del pan es el almidón. Las propiedades funcionales del almidón dependen de varios factores como la capacidad de absorción de agua, el cultivar, la relación amilopectina - amilosa y su gelatinización, importantes en muchas aplicaciones alimenticias ya que determinan la textura y la palatabilidad. (Witczak, 2010). La red creada por el almidón debe ser lo suficientemente grande para prevenir el escape de las burbujas de gas o su coalescencia durante la fermentación y horneo, pero suficientemente móvil para permitir que la masa aumente de tamaño. (Onyango, 2011).

1.4 Las leguminosas

El reemplazo parcial o total de la harina de trigo por otras harinas alternativas, provenientes de semillas de leguminosas y cereales, aportan una mejor composición nutricional al producto.

Las leguminosas son los granos maduros y secos que están contenidos dentro de una vaina, el fruto es la legumbre. Existen dos grupos dependiendo de su contenido lipídico se clasifican en leguminosas oleoginosas ya que poseen un alto contenido lipídico y leguminosas grano de bajo contenido lipídico.

Oleaginosas: poseen una gran cantidad de proteínas con un alto valor biológico. Tiene pocos hidratos de carbono y alto contenido de lípidos. En esta clase se encuentran la soya, cacahuates, nuez, maní. (Marques, 1999)

Grano: disponen de una gran cantidad de hidratos de carbono, minerales como fosforo, hierro y calcio, además de vitaminas del complejo B y proteínas, algunas leguminosas en grano son los garbanzos, lentejas, judías y chachafrutos. (Tharanathan, 2003)

Los nutrientes de las leguminosas son proteínas con un contenido entre el 20-35%. Las principales proteínas de las leguminosas son las albuminas que son solubles en agua y las globulinas solubles en soluciones salinas, se encuentran en los órganos proteicos que se divide en vicina y legumina, en las legumbres se encuentra en mayor proporción la vicina. Las albuminas son proteínas funcionales y estructurales contienen cisteína y metionina pero en menor cantidad, por lo tanto se complementan bien con los cereales que no poseen lisina pero si metionina y cisteína. (Schuster, 2015)

En cuanto al contenido de carbohidratos varía en 50 a 60%, se encuentran en las legumbres y cereales. Los carbohidratos solubles y digeribles son el almidón, pentosas, dextrinas, sacarosa y gomas, encargados de la suavidad, sabor y olor en productos de panificación. Los carbohidratos disponibles en los alimentos como los monosacáridos, disacáridos, polisacáridos se digieren en el tracto gastrointestinal, luego son absorbidos por el enterocito y finalmente metabolizadas. La digestión del almidón de las leguminosas es lenta debido a que, se encuentra empaquetado y posee un alto contenido en amilasa. (Gil, 2003)

Por otro lado, el contenido de lípidos de las leguminosas corresponde a mínimas cantidades de entre 1,5 a 2,5% como las habas, lentejas, fríjoles, sin embargo el maní y la soya contienen entre 18 a 23%. Además, contiene grasa saludable como ácidos

grasos esenciales poliinsaturados como el linoleico y oleico el cual se le atribuye beneficios en controlar y disminuir el colesterol. (Boza, 1991)

En la Tabla 1.2 se pueden observar la composición nutricional de diferentes harinas

Tabla 1.2 Composición nutricional de distintas harinas (datos en porcentaje)

Harina	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra
Soya en 100 g	37.3	23.25	13	17.3
Chachafruto en 100g	20.50	0.5	68.20	5.13
Garbanzo en 100g	20.4	5.5	55.8	13.6
Trigo en 100g	11.7	2.0	61	10.3
Arroz en 100g	7.5	2.6	81.3	3

Fuente: USDA Food Composition Database, (2017)

Como se puede observar en la Tabla 1.2, las harinas obtenidas a partir de leguminosas tienen un mayor contenido proteico, en fibra que la harina de trigo. Por otra parte, el contenido en carbohidratos menor. Y, la harina obtenida de cereales como el arroz posee el mayor contenido de carbohidratos que las legumbres. (Torres, 2014)

1.5 Chachafruto

Una alternativa importante es el chachafruto (*Erythrina edulis*), es un árbol multipropósito nativo de los Andes tropicales. Tanto sus frutos como sus hojas se usan para alimento. La especie *Erythrina edulis* es una de las ciento doce especies de leguminosas fabáceas pertenecientes al género *erythrina*. El nombre del genero *erythrina* proviene del griego *erythros* que significa rojo en alusión al color de sus flores y el epíteto *edulis* del vocablo latino *edulis* que significa comestible en referencia a su fruto. (Barrera. N, 1999)

El chachafruto o frijol de árbol es una legumbre, las semillas se destacan por su alto contenido proteico, entre otros valores nutritivos el sabor es especialmente agradable al paladar. La transformación de la flor a legumbre sucede en 65 días. Estas vainas pueden tener de 1 hasta 12 semillas de forma cóncava de color café, formada por dos cotiledones de color blanco verdoso. La testa es decir la cascara de la semilla es lisa y según el proceso de maduración y la variedad, va del color rosado a un tono vino tinto, puede medir cada una entre 4 a 5 cm de largo, 2 a 3 cm de grosor y pesar unos 30

gramos. Cuando la semilla esta seca el porcentaje de proteína es de 21%, carbohidratos totales 51%, almidón 39%, grasa 1%. (Barrera, 1999)

El chachafruto tiene diferentes usos entre los que se destacan para el consumo humano, las semillas se usan en múltiples recetas como productos de panadería, repostería, encurtidos, productos para uso industrial, entre otros. Además, a través del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se han fabricado 25 tipos de harinas de leguminosas locales, de las cuales 18 son derivadas del chachafruto, en todo tipo de combinaciones posibles como con follaje, concha, semillas con y sin cutícula, cocinados y sin cocinar. (Duarte. L, 2002)

Desde el punto de vista terapéutico, sirve para prevenir la osteoporosis cuando se consume regularmente, elimina toxinas del organismo, sirve como regenerador celular, alivia o cura la cistitis y se usa en tratamiento de cáncer. La descripción botánica del chachafruto, una de las especies de las *Erythrina* identificadas de la familia Fabácea, subfamilia papilionoidae. Por otro lado, un estudio de las propiedades funcionales de la harina de chachafruto, es la capacidad de retener el agua para la emulsificación, la siembra de chachafruto contribuye en la conservación del medio ambiente y en especial de cuencas hidrográficas. (Ensin, 2010)

1.5.1 Taxonomía

El chachafruto su taxonomía se resumen a continuación en la Tabla 1.3:

Tabla 1.3 Taxonomía Erythrina edulis

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Papilionoidae
Tribu	Phaseoleae
Genero	Erythrina
Especie	Erythrina edulis
Nombre común	Chachafruto, poroto, balú

Fuente: Universidad EIA (2017)

Erythrina edulis, llamado como: triana, chachafruto, balú, basul, pallar, sachaporoto o frijol de árbol, es un árbol leguminoso de la familia *Fabaceae*, originario de la zona de Suramérica y se encuentra usualmente como sombra de los cafetales. Es una especie

que se encuentra de forma natural y cultivada en las tres cordilleras de Colombia. Su producción es de 36 toneladas de leguminosa por cada 10.000 metros cuadrados, En Colombia se emplea como banco de proteínas ya que, se producen 80 toneladas de forraje el cual posee 23 % de proteína. (Barrera,1994)

El árbol de chachafruto posee una altura máxima de catorce metros, el diámetro de su tronco es de sesenta centímetros. Tiene espinas en su tronco y ramas, empieza a madurar a los dos años con una vida útil de cincuenta años.

Crece en suelos de texturas sueltas, negras y franco-arenosas como suelos arcillosos y dentro de un rango óptimo altitud de 2.600 metros sobre el nivel del mar. El árbol necesita mil cuatrocientos milímetros de agua al año, puede sembrar a pleno sol o a la sombra durante los primeros seis meses.

La utilización del chachafruto es completa para distintos fines por ejemplo la vaina para alimentar gallinas, las hojas para el ganado, los tallos se usan como abono y las semillas cocinadas o crudas para alimentos de consumo humano.

Posee hojas alternas las cuales están divididas por tres folíolos, el terminal es más grande que los laterales, las hojas caducas están en las ramas de las flores, tres racimos terminales de cuarenta y cinco centímetros de longitud, que soportan las flores de color rojo y anaranjado ver figura 1.3. El tamaño de las vainas de color verde oscuro es de ocho a treinta centímetros.

Figura 1.3 Frutos y flores del árbol de *Erythrina edulis*

La semilla es de forma ovalada con dos cotiledones, de color verde de siete centímetros de longitud con un diámetro de tres centímetros, seis semillas por vaina y un kilogramo son cuarenta semillas. Su cubierta o testa es de tono pardo rojizo ver figura 1.4. (Acero, 2002)

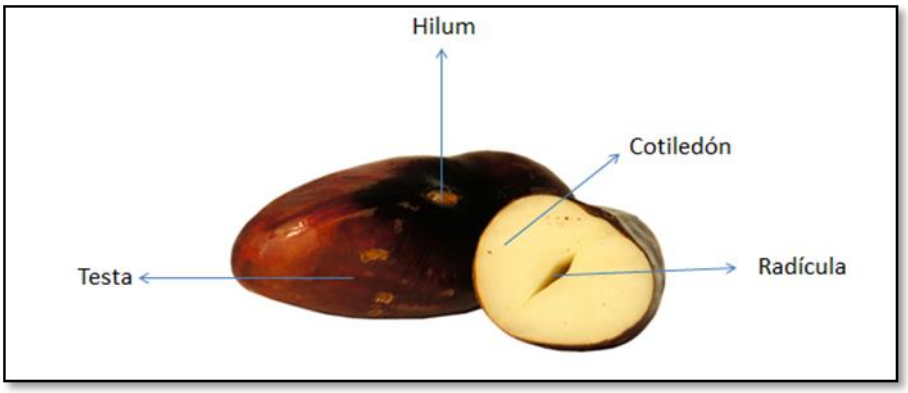


Figura 1.4. Partes de la semilla de chachafruto
Fuente (Acero, 2002)

1.5.2 Contenido nutricional

El chachafruto es una legumbre de alto contenido en proteínas y carbohidratos, contiene fosforo, calcio, vitamina C y bajo contenido de grasas observe Tabla 1.4:

Tabla 1.4 Contenido de nutrientes del chachafruto en base seca

Nutrientes	***Contenido en 100 gramos***
Agua	60.47
Proteína	20.0
Grasa	0.10
Carbohidratos	13.30
Fibra	5.13
Cenizas	1

Fuente: Delgado (2006)

Como se puede observar en la Tabla 1.4, el contenido de proteína se encuentra alrededor de 20 % y en grasas de 0.10% este contenido (Delgado, 2006)

Las principales proteínas del chachafruto son las albuminas y globulinas que se dividen en vicilina y legumina, la vicilina es la mayor fracción proteica. Las albuminas tienen cisteína y metionina en menor proporción se complementan bien con los cereales. (Boye, 2010)

1.5.3 Carbohidratos

Los carbohidratos del chachafruto son el 51% y se clasifican en tres grupos, los monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, los cuales son de almacenamiento y los otros dos conforman la estructura de la pared celular. Por otro lado desde el valor

nutricional los carbohidratos conforman dos grupos carbohidratos disponibles que son los digeridos enzimáticamente en el intestino delgado, y los carbohidratos no disponibles que son fermentados por la micro flora del intestino grueso. Los carbohidratos disponibles comprenden los monosacáridos, disacáridos y el almidón mientras que los no disponibles son los oligosacáridos y componentes estructurales.

1.5.4 Aminoácidos

Los aminoácidos que posee, el chachafruto se clasifican en no esenciales es decir que el organismo puede sintetizar y esenciales aquellos que obtenemos de fuentes externas.
A continuación se presenta en la Tabla 1.5 el listado de aminoácidos que poseen 100g. La principal diferencia entre los dos grupos es que los aminoácidos esenciales deben ser ingeridos diariamente, mientras que los aminoácidos no esenciales, son aportados por la dieta en cantidades suficientes. (Acero, 2002)

Tabla 1.5 Aminoácidos presentes en 100 gramos

Aminoácidos esenciales	mg	Aminoácidos no esenciales	mg
Lisina	6.91	Alanina	7.73
Leucina	8.24	Arginina	5.63
Isoleucina	5.20	Ácido aspártico	19.47
Metionina	1.31	Ácido glutámico	17.42
Fenilalanina	4.99	Prolina	5.25
Treonina	5.84	Glicina	5.44
Triptófano	0.66	Serina	5.71
Valina	5.57		
Histidina	5.84		

Fuente: (Acero, 2002)

En cuanto a los aminoácidos esenciales, es importante la cantidad aportada, como se observa en la Tabla 1.6 el requerimiento mínimo y el aportado por 100 gramos de chachafruto, ya que el organismo requiere proporciones específicas entre los diferentes aminoácidos esenciales para ejercer correctamente las funciones de crecimiento, mantenimiento y reparación. (Brumovsky, 2007)

Tabla 1.6 Requerimientos diarios de aminoácidos

Aminoácido	Requerimiento diario mínimo en gramos	Gramos de aminoácido por cada 100 gramos de chachafruto
Lisina	0.80	0.94
Triptófano	0.25	0.31
Fenilalanina	1.10	0.73
Valina	0.80	1.07
Metionina	0.20	0.17
Leucina	1.10	1.28
Isoleucina	0.70	0.77
Treonina	0.50	0.73
Proteína	61.5	21

Fuente: Ficha técnica (Balú, 2018)

Otro aspecto es el perfil de aminoácidos de *Erythrina edulis* (Chachafruto) comparado con el huevo, frijol y alverjas observe la Tabla 1.7:

Tabla 1.7 Comparación del perfil de aminoácidos en 100 g de muestra seca

Producto	Lisina	Histidina	Treonina	Valina	Metionina	Isoleucina	Leucina	Tirosina	Fenilalanina	Triptófano
Huevo	6.97	2.43	5.12	6.85	3.36	6.29	8.50	4.16	5.33	1.49
Chachafruto	6.91	5.84	5.84	5.57	1.31	5.20	8.24	5.50	4.99	0.66
Frijol	6.24	-	3.87	4.22	1.17	3.73	6.51	2.70	4.72	0.56
Alverja	6.9	-	3.58	4.08	0.88	3.20	6.37	3.34	4.22	0.74

Fuente: (Barrera,1994)

Como se observa en la tabla 1.7 no hay diferencias significativas entre el contenido de lisina, treonina y leucina presentes en el chachafruto y el huevo. Los valores de histidina y tirosina en el chachafruto se encuentran por encima de los valores mostrados para el huevo. Por su parte, el contenido de metionina es menor, lo cual es de esperarse ya que siendo el chachafruto una legumbre, carece de aminoácidos azufrados. El contenido de

triptófano también es considerablemente bajo cuando se compara con el huevo, sin embargo colocándolo frente al resto de las legumbres mostradas en la tabla 1.7, el contenido de cada aminoácido es mayor en el chachafruto, sugiriendo que su proteína es de mayor valor biológico, que en las otras dos legumbres.

1.6 Aplicaciones con chachafruto

Existe un interés por el consumo de productos menos modificados y más naturales. El chachafruto se encuentra dentro de esta variedad de alimentos, por lo tanto en los nuevos mercados es un producto promisorio (Jaffé, 2012*)* Adicionalmente se han realizado investigaciones sobre este alimento mostrando sus diferentes usos como se observa en la Tabla 1.8. (Guerrero Useda & Escobar Guzmán, 2015)

Tabla 1.8 Investigaciones realizadas sobre aplicaciones del chachafruto

Autor		Titulo	Hallazgos
Barrera (1998)	Recetario	"Recetas con chachafruto".	Uso en frituras, sopas, complemento con otras harinas para arepas, empanadas, buñuelos y tortas. Para los cultivos aporta al suelo nitrógeno y potasio.
Gómez (2012)	Trabajo de grado de maestría	"Caracterización como marcadores moleculares de algunas especies del genero Erythrina presentes en Colombia"	115 especies de Erythrina en el mundo. En Colombia existen 13 especies. Usos de estas especies: cerca viva, sombra para los cultivos, alimento humano por el contenido nutricional y animal se emplea el forraje.
Quintero (2012)	Artículo	"Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto"	Formas esféricas y ovoides en el almidón que indican presencia de amilosa, en el análisis termogravimétrico de la harina la perdida de humedad ocurrió a los 119.99˚ C, análisis proximal humedad 12.33%, proteína 18.5%.
Umaña (2013)	Artículo	"Caracterización de harinas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten"	La harina de chachafruto posee un potencial alto para ser empleada en procesos de panificación, el comportamiento en la fermentación fue adecuado. La harina mostro un cambio térmico de temperatura entre los 49 y 70 ºC, por lo tanto se determinó que los componentes del chachafruto aportan fuerza y poca extensibilidad.
Castañeda (2014)	Tesis de posgrado	"Evaluación de harinas de chachafruto (*Erythrina edulis) y Quinua* (*Chenopodium quínoa w*) como extensores en el	Extensor en la fabricación de las salchichas tipo Frankfurt por el porcentaje proteico en las semillas tienen 23% de proteína. Aminoácidos esenciales semejantes al

		proceso de elaboración de salchichas tipo Frankfurt”	huevo. Las salchichas elaboradas con harina de chachafruto al 6 y 9% presentaron la dureza y masticabilidad más bajas comparadas con las demás salchichas. Es posible usar la harina de quinua y el chachafruto en cantidades de 3 al 6 % equivalentemente para no generar efectos negativos sobre las propiedades sensoriales.
Inciarte (2015)	Articulo	“Presencia del Chachafruto (*Erytrina edulis Triana ex Micheli*) en el estado de Mérida, Venezuela”.	Condiciones para el cultivo de la *Erytrina edulis*. Usos en panadería y repostería. Ambientalmente contribuye en el aporte de potasio al suelo, beneficiando las cuencas hidrográficas. Alimentación animal en truchas, caballo, cabras, conejos. Medicinalmente sirve para eliminar toxinas del organismo, prevención de la osteoporosis, alivia y cura la cistitis, y se usa como tratamiento contra el cáncer.
Vargas (2016)	Trabajo de grado pregrado	“Caracterización fisicoquímica de pan molde blanco con sustitución parcial de harina de pajuro *Erythrina edulis*”	El contenido hallado de proteína 21%, humedad 11.8%, al mezclar 85% de harina de trigo con 10 % harina de pajuro. Incluso aumento del volumen en el pan molde 2%. La mayor aceptación fue con sustituciones de 10 y 15% de harina de pajuro.
Espitia (2018)	Trabajo de grado pregrado	“Aprovechamiento del chachafruto (*Erythrina edulis*) en la obtención de bebidas fermentadas y alimentos complementarios”.	La estandarización de la extracción de la leche, la mejor manera de obtener una leche limpia y un aprovechamiento al máximo del fruto era llevarlo a la licuadora y tener un paso por doble filtro. Innovar en la preparación de productos lácteos, siendo la base de estos una leche de origen vegetal. Siendo este fruto uno de los más ricos en proteína y otras vitaminas, no generó la consistencia que tienen diferentes productos de origen animal, siendo estos estabilizados por diferentes coagulantes o espesantes, teniendo el resultado esperado.
Espinoza (2018)	Trabajo de grado pregrado	“Análisis químico proximal de granos y harina de “Pajuro” (*Erythrina edulis*) y elaboración de una bebida proteica con sabor a chocolate”	Análisis proximal de la harina carbohidratos 69.89%, proteínas 17.13%, calcio 1.19 g/kg, fosforo 8.85g/kg, potasio 57.26 g/kg, zinc 140.28 mg/kg, hierro 37.50 mg/kg.

1.7 Caracterización de harinas y masas

El análisis de Mixolab profiler determina las propiedades reológicas de la masa durante el proceso de amasado a diferentes temperaturas; además permite predecir el comportamiento futuro de las harinas y permite anticipar rápidamente valores como: volumen, humedad y otros parámetros. (Montoya & Giraldo, 2010)

El Mixolab mide en tiempo real el par de torsión (fuerza presente) (Newton por metro (Nm)), producido por la masa entre los brazos del equipo. La información que proporciona este análisis es: comportamiento de la mezcla ,hidratación, estabilidad la calidad de la proteína, la gelatinización del almidón, la actividad de la amilasa y la retrogradación del almidón, todos estos datos son transformados en seis índices cualitativos fácilmente utilizables para el establecimiento de los criterios de las especificaciones: índice de absorción, índice de gluten, índice de amilasa, índice de amasado, índice de viscosidad, índice de retrogradación CHOPIN-TECHNOLOGIES. (Ronquillo, 2012)

El Mixolab presenta dos tipos de resultados en cuanto al análisis general de una masa, estos son el Mixolab estándar donde se presenta una curva que mide cinco parámetros y el perfil del Mixolab (Mixolab Profiler) que es un traductor de la curva que presenta el Mixolab estándar.

1.7.1 Mixolab Standar

Este análisis entrega la información completa de la materia prima, como el comportamiento de la proteína, del almidón y de las interacciones (aditivos, enzimas). Eso permite armar modelos predicativos de la calidad. En la figura 1.5 se muestra un ejemplo de la curva resultado del Mixolab, también se observan las zonas que responden a:

C1: Comportamiento de la mezcla o desarrollo

C2: La calidad de la proteína

C3: La gelatinización del almidón

C4: La actividad de la amilasa

C5: La retrogradación del almidón

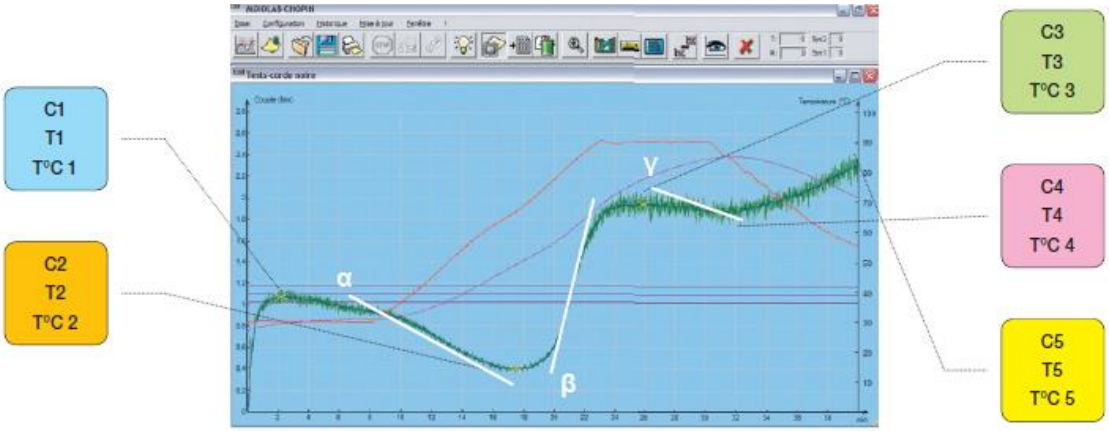


Figura 1.5 Curva de Mixolab
Fuente: Mixolab aplications handbook (2012)

El comportamiento de la masa en los cinco parámetros (C1, C2, C3, C4, C5) que se obtienen de la curva del Mixolab, se explica de la siguiente manera:

a) Comportamiento en C1, a 30 °C (Chopin+, 8 primeros minutos)

El proceso inicia con el efecto de amasado en donde la red de gluten crece y se hace lo suficientemente fuerte para soportar al CO_2 que se produce en el momento de la fermentación. A 30 °C y bajo el efecto del amasado, las proteínas se aglomeran en súper estructuras proteicas (GMP - Gluten Macro Polymer). El índice de GMP aumenta. La red de gluten se desarrolla, lo que se traduce en un aumento rápido del par hasta C1.

b) Comportamiento entre C1 y C2, entre 30 y 50 °C (Chopin+, entre el minuto 8 y el minuto 15).

Entre C1 y C2, la red proteica que esta dispersada sigue concentrándose en estos momentos, el almidón no se gelatiniza. Entre C1 y C2, los gránulos se “inflan” debido al aumento de temperatura. La matriz proteica, muy bien repartida alrededor de los gránulos de C1 tiende a aglomerarse en C2 y 30°C rodea menos gránulos de almidón, lo que corresponde a la disminución del par registrado por el Mixolab. La aglomeración de las proteínas se acelera hasta aproximadamente 45-50 °C gracias a la activación gradual de los enlaces débiles (hidrógeno, iónico). Esto contribuye al reforzamiento de la red de gluten. Entre 45°C y C2, puede producirse una inversión del proceso de aglomeración (disminución de los GMP), iniciándose una fase de ruptura de la superestructura. Debido a esto la masa se ablanda, esta fase se asimila a cuando el pan está en el horno por lo que la producción del gas se acelera (actividad de amilasa es más fuerte). La red de gluten se deforma siendo capaz de retener el gas, logrando que el volumen aumente.

c) Comportamiento entre C2 y C3, entre 55 y 60°C (Chopin+, entre el minuto 15 y el minuto 22)

Entre C2 y C3, los gránulos de almidones se deforman considerablemente y comienza el fenómeno de gelatinización, lo que se traduce en un aumento importante y rápido de la viscosidad, y por tanto del par registrado por el Mixolab. En efecto, los gránulos de almidón más pequeños se gelatinizan completamente, mientras que los más grandes aún permanecen visibles en esta fase. La proporción de los tipos de almidón, influye en la cinética de gelatinización (C2 C3, beta). De forma general, un trigo con una calidad superior de almidón y/o una actividad amilásica más baja tendrá un C3 más elevado.

d) Comportamiento entre C3 y C4, a 90°C (Chopin+, entre el minuto 23 y el minuto 32)

Entre 55 y 90°C, las proteínas siguen aglomerándose. A partir de 55°C, el gluten pierde la capacidad de crear enlaces internos cuando la masa queda en reposo. Esto ilustra perfectamente la desnaturalización de las proteínas que dejan de formar un enlace continuo. Más allá de 50°C, los puentes disulfuros se rompen, lo que puede explicar la disminución de la cantidad de GMP. Por lo tanto, el par medido procede esencialmente del almidón gelatinizado. Entre C3 y C4, la gelatinización del almidón llega a ser completa. Los gránulos están muy deformados y ocupan la mayor parte de la estructura. Se forman aglomerados almidón/proteína. Cuanto mayor sea la diferencia C3-C4, mayor es la licuefacción/actividad amilásica. La gelatinización del almidón es importante para fijar la estructura de la miga. Lo cual depende de la proporción amilosis/amilopectina. Unas medidas muy bajas de C3, C4 y C5 para la panificación deben llevar lógicamente a la producción de panes de poco volumen con una miga pegajosa.

e) Comportamiento entre C4 y C5, de 90 a 50°C (Chopin+, entre el minuto 33 y el minuto 45)

La recristalización de la amilopectina es el parámetro más importante que explica la retrogradación. No obstante, la amilosis, que retrograda en los primeros momentos, predice el comportamiento futuro de la amilopectina. Los gránulos se componen principalmente de almidón, y la proteína viene a llenar los intersticios. Dado que la retrogradación de la amilopectina es influida por la velocidad de retrogradación de la amilosa, el aumento del par entre C4 y C5 es un muy buen indicador de la velocidad de asentado del producto final.

1.7.2 Mixolab Profiler

Convierte el gráfico estándar en una herramienta sencilla de control de calidad calculando índices de calidad, en la figura 1.6 se puede observar el perfil del Mixolab y la valoración de 0 a 9, de acuerdo a los seis índices resultantes que son: absorción de agua, comportamiento en el amasado, comportamiento del gluten, gelatinización del almidón (viscosidad), actividad amilástica y retrogradación del almidón. (Dubat, 2013)

Figura 1.6 Perfil del Mixolab

Fuente: (Chopin technologies, 2012)

1.7.2.1 Índice de absorción de agua

La absorción de agua hace referencia a la cantidad de agua que se debe, añadir a una harina para producir una masa con la consistencia óptima; y da idea de cuánto va a rendir la harina en la producción de pan, a mayor absorción de agua, mayor rendimiento. Si se agrega una cantidad excesiva de agua, el pan que se obtiene es de miga suelta, ligero y elástico; pero si por lo contrario, el agua es reducida, el pan producido se seca y endurece rápidamente. Mientras más alto el índice mayor es la absorción de agua. (Lascano, 2010)

1.7.2.2 Índice de amasado

Este índice es una característica que indica la resistencia de la masa a dicha operación. Durante esta etapa la mezcla de harina, agua, que es una pasta espesa y viscosa; se convierte en masa suave y viscoelástica caracterizada por tener un tacto seco y sedoso, y fácilmente ser extendida como una membrana delgada y continua. A niveles intermedios de humedad y con agitación continua, el sistema harina – agua se vuelve

menos húmedo y pegajoso, constituyéndose en una masa cohesiva y elástica, todo esto es debido al estado del almidón de la harina al contacto con el agua. Al mezclar por largos períodos, la masa se vuelve más resistente a la extensión lo cual se conoce como el desarrollo completo de la masa. (Lascano, 2010)

1.7.2.3 Fuerza de gluten

Este índice da una idea de la fuerza de las proteínas, se refiere a la calidad de la proteína y no a la cantidad. Los componentes que mayoritariamente determina la calidad panadera del trigo son las proteínas formadoras de gluten, estas proteínas son las gluteninas y gliadinas. Se considera que las gliadinas le dan extensibilidad y viscosidad a las masas, mientras que las gluteninas le dan elasticidad y fuerza. A mayor índice más fuerza tiene el gluten, pues aquel depende de la fuerza de los enlaces entre las cadenas de gluten. (Sandoval, Álvarez, Paredes, & Lascano, 2012)

1.7.2.4 Índice de viscosidad del gel de almidón

La viscosidad implica un hinchamiento de los gránulos de almidón y es el resultado del aumento de la temperatura en presencia de agua. Todo esto se puede expresar en una sola idea que es que mientras más alto es el índice más viscosa es la masa enfrentando el calentamiento y la actividad amilástica es menos fuerte. (Sandoval et al, 2012)

1.7.2.5 Índice de resistencia a la amilasa

Según Lascano (2010), este índice depende directamente de la actividad amilástica; el grano de trigo en su forma natural contiene α amilasas y β-amilasas, que actúan en combinación; la α amilasa desdobla el almidón en dextrinas, y, la β-amilasa es la responsable de producir maltosa, que es aprovechada por la levadura para su fermentación a partir de dextrinas y almidón. El inconveniente es que la β-amilasa se inactiva antes que la α-34 amilasa, que actúa entre aproximadamente 71 y 75 ºC generando un exceso de dextrinas, que producen un pan pegajoso y de corte difícil. Mientras más alto es el índice menos fuerte la actividad amilástica (caída de consistencia menos fuerte). El contenido de amilasas debe ser controlado porque mucha actividad amilástica produce masas blandas, pegajosas y difíciles de trabajar; y un bajo índice demostrara una actividad amilásica importante.

Un índice de 5 es para un trigo que no tiene una gran actividad amilásica, alrededor de 3-4, esta aconsejado de tener cuidado, y por debajo de 2 la muestra tiene una cantidad alta de amilasas y la masa será pegajosa y de corte difícil. (Dubat, 2013)

1.7.2.6 Retrogradación del almidón

En este proceso se produce una trasformación en donde las moléculas gelatinizadas de almidón se reasocian para formar una estructura cristalina de dobles hélices, lo que quiere decir que, el almidón está en un estado muy inestable y empieza a ceder parte del agua, sus celdas se encogen, se hacen menos elásticas y más secas, lo que es desfavorable para los productos de panificación porque todo este proceso se resume a que se produce el envejecimiento de pan, se pierde la calidad de la miga y eso afecta a la vida anaquel del producto. (Toaquiza, 2011)

Índice de absorción de lípidos (I.A.L) Representa la relacion física de la grasa por atracción capilar y al enlace de la cadena apolar. La densidad del aceite fue de 0,86 g/ml. Se calculó el índice de absorción de lípidos (% de I.A.L). (Bermúdez, 1994)

2. Objetivo General

Evaluar la utilización de la harina de chachafruto, en la elaboración de un producto de panificación libre de gluten.

Objetivos específicos

1) Caracterizar la harina y las masas de chachafruto en términos de sus propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales.
2) Analizar las propiedades tecnológicas del producto elaborado, durante el almacenamiento en condiciones controladas.
3) Establecer la ingeniería conceptual para la obtención de producto con base en harina de chachafruto.

3. Materiales y Métodos

Diseño experimental

El diseño experimental corresponde a bloques aleatorios. Todos los análisis experimentales se realizaron en orden aleatorio dividiéndolos en bloques homogéneos y después se establecieron aleatoriamente a un grupo de tratamiento.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se evaluaron mediante un análisis de varianza (unidireccional ANOVA) con la prueba de las diferencias menos significativas de Fisher (LSD) y con un nivel de significación del 95% ($p < 0,05$). El análisis estadístico completado con el software Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, EEUU).

3.1 Materiales

Se trabajó con chachafruto, el chachafruto obtenido en la central de abastos en Bogotá (Cundinamarca, Colombia) del local El Milenio que trae el chachafruto de Fusagasugá. Las harinas de amaranto y de arroz fueron adquiridas en el local Dayelet, fuente local.
Para la obtención de la harina de chachafruto se trabajó en las instalaciones de la planta de vegetales del ICTA de la Universidad Nacional de Colombia y cuyas condiciones eran temperatura 14℃, humedad relativa 80%. Las semillas vienen en vainas como se observa en la figura 1.7 y lo primero que se debe hacer es remover las semillas de las vainas para el proceso estas semillas deben ser duras y su testa lisa.

Figura 1.7 Vaina y semilla del chachafruto

Las semillas después de desvainarlas se encontraron diferentes tamaños como se observa en la figura 1.8 se pesaron y se obtuvieron rangos de pesos entre 8 gramos a 30 gramos como se muestra en la Tabla 1.9.

Figura 1.8 Tamaño de las semillas de chachafruto

Tabla 1.9 Peso de las semillas de chachafruto

Tamaños	**Cantidades**	**Peso g**
Grandes	3	30 ± 0.08
Medianas	2	20 ± 1.02
Pequeñas	3	8 ± 0.05

3.2 Métodos

3.2.1 Elaboración de la harina

Como se observa en la figura 1.9 la harina de chachafruto se consigue separando las semillas de la vaina, luego se lavan y desinfectan para eliminar impurezas y se llevan a escaldado con agua caliente durante 5 minutos. Posteriormente se realiza el pelado mecánico y se remueve la testa manualmente, después se cortan las semillas en forma de rodaja en la cortadora Hobart® con un espesor de 3 mm, y se pasan a un deshidratador de bandejas con medidas exteriores de (154 x 55 x 95) cm y medidas interiores (113 x 55 x 43 cm) y las bandejas de (46 x 34 x 2 cm). El secado se lleva acabo a temperaturas de 50 y 60 ˚C aproximadamente por 12 horas, según lo recomendado por Dufour et al. (2009)

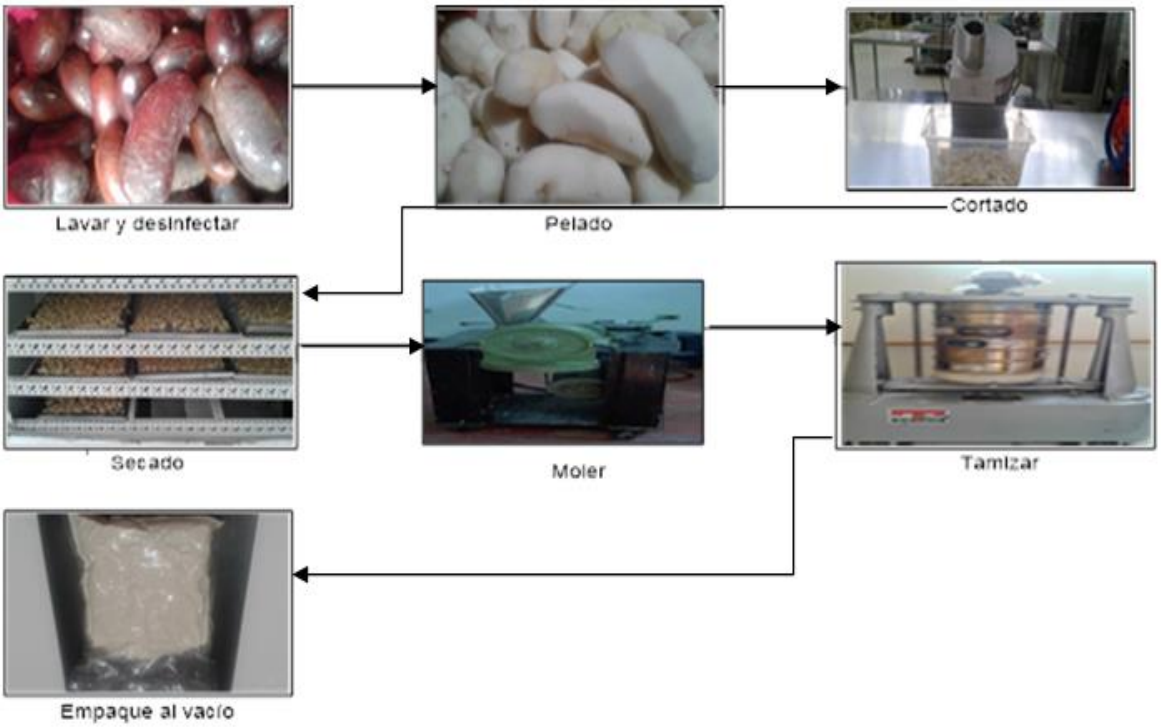


Figura 1.9 Obtención de la harina de chachafruto

El producto seco se muele en un molino pulverizador industrial, se tamiza hasta tener una harina fina.

Con los siguientes números de malla en la Tabla 1.10 muestra los gramos de la harina que quedo en cada tamiz.

Tabla 1.10 Pesos de las masas retenidas

Tamiz serie Tyler	**Masa retenida g**
45	10.50
60	27.00
70	24.60
80	38.20
100	108.50
140	145.70
Base	145.0
Total	499.5

Se obtuvo harina fina esta se empaco al vacío en bolsas de 500 gramos, para que no pierda sus cualidades nutricionales y para que tenga un tiempo de vida más largo. Adicional a lo anterior se realizó el análisis proximal a la harina del chachafruto. La cantidad de proteína por el procedimiento de Kjeldahl, AOAC 950.36, la humedad por gravimetría AOAC 935.29, el porcentaje de cenizas por medio de la calcinación de la muestra en mufla AOAC 923.03. El porcentaje de carbohidratos se determinó por rendimientos de los porcentajes de humedad, proteína, grasa, ceniza.

El contenido de grasa se determinó por el método Soxhlet de la AOAC, primero se estabilizó el peso del balón el cual se lavó con NaOH 10%, se enjuagó con agua destilada y se purgó con el solvente de extracción se llevó al horno a 105 °C durante 12 horas para asegurar el peso estable. Se enfrió el balón en una cápsula de desecación. Se pesó alrededor de 3g de la muestra previamente secada en papel filtro y se envolvió se colocó en los cartuchos, los cuales fueron colocados dentro del tubo de extracción, seguidamente se armó el sistema Soxhlet, para lo cual previamente se registró los pesos de cada balón vacío y se adicionó 90 mL de éter de petróleo. Después se conectó al sistema Soxhlet, el flujo de agua de condensación y se encendió el sistema de calefacción, graduando la temperatura a 250 °C de manera que el reflujo del solvente tuviera una tasa de 100-150 gotas por minuto. Se extrajo por 3 horas al terminar se retiraron los balones llevándolos al rota vapor (BÜCHI Rotavapor – Modelo R-114) hasta que el contenido se evaporó, luego se llevaron los balones al horno a 105 °C por 30 minutos en seguida se colocaron en el desecador, finalmente se pesó cada balón y se determinó el porcentaje de grasa. (Nielsen, 2003). Con esta fórmula:

$$\%\ \text{Grasa}_{\text{b.s.}} = \frac{(\text{Peso de grasa (g)})}{(\text{Peso de la muestra seca (g))}} \times 100$$

$$= \frac{(\text{Peso de balón con grasa extraída (g) - Peso de balón vacío (g))}}{(\text{Peso de la muestra seca (g))}} \times 100$$

Determinación del contenido de fibra:

Para la fibra se pesó tres muestras desengrasadas de 1 gramo de cada harina en vasos precipitados se añadió 50 mL de tampón fosfato de pH 6 en cada vaso, luego 0.10 mL α- Amilasa, se cubrieron los vasos con papel aluminio y se colocaron en agua hirviendo, se agitó suavemente por intervalos de 5 minutos. Se incubó durante 15 minutos hasta que la temperatura interna de los vasos llegara a 95 °C, luego se dejó enfriar a temperatura ambiente.

Se ajustó el pH de las soluciones a 7.5 añadiendo 10mL de 0.275N NaOH a cada vaso, se le agregó 0.1mL de proteasa y se cubrió con papel aluminio y se colocaron en un baño de agua a 60°C con agitación continua, se dejó enfriar a temperatura ambiente, se ajustó el pH a 4 añadiendo 10mL de 0.325M HCl. Luego se agregó 0.1mL amiloglucosidasa, después se filtró con 78% de etanol y se succionó suavemente la celita se transfirió el precipitado a los crisoles, el residuo se lavó con 20 mL de etanol al 80%, dos porciones de 10mL de etanol al 95% y dos porciones de 10mL de acetona, los crisoles se secaron en el horno por 12 horas a 105 °C, posteriormente se enfrió en el desecador después se pesó como peso del residuo + celita +crisol. Con tres residuos de cada muestra se determinó proteínas. Con tres muestras de los crisoles y tres blancos durante 5 horas en la mufla a 525°C se dejó el desecador para enfriarse y se pesó como ceniza + celita + peso del crisol. (Papadima. S, 1999). Con la siguiente fórmula se determinó:

B = Peso del residuo en el blanco – peso de la proteína en el blanco – peso de la ceniza en el blanco

$$\% \text{ Fibra dietética total} = \frac{[\text{Peso del residuo (mg)} - \text{Peso de la proteína (mg)} - \text{Peso de la ceniza (mg)} - B]}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Almidón Total:

Se cuantifico el contenido de almidón total por el método de J. Holm enzimático de Termamyl (amiloglucosidasa / α -amilasa). Para ello se pesaron 250 mg de muestra se colocaron en tubos centrifuga con 15 mL de agua destilada se agregó la enzima 50 µl se mezcló con un agitador magnético, después se colocaron los tubos en un baño de agua hirviendo a 97 ºC por 15 minutos y se mezcló cada 5 minutos.

Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se continuo agitando ya frio se transfirió la muestra a un frasco volumétrico de 25 mL, se aforó con agua destilada, con 1 mL de la muestra se pasó a un tubo de centrifuga se agregó 1 mL de agua destilada y 4 mL de reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa a la muestra, al blanco, se incubó a 37 ºC por 60 minutos, homogenizando cada 30 minutos. Luego se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos. Se calibró el espectrofotómetro y se leyó la absorbancia en un rango de 450 nm de longitud de onda, se calculó con la siguiente fórmula. (Holm. J, 1986)

$$\% \text{ AT} = \frac{\mu\text{g de glucosa} \times 10^{-3} \times 25 \times 100 \times 0{,}9}{\text{Peso de la muestra (mg)}} \times 100$$

Todos los análisis de caracterización química se realizaron por triplicado. (AOAC, 2012)

Propiedades tecnofuncionales:

Capacidad de retención de agua: Se pesó y dispersó 1g de harina en 30 mL de solución de cloruro de sodio NaCl al 2.0%. Es importante adecuar la solución a pH 7 neutro, luego durante 10 minutos se agitó y se dejó hidratar durante 18 horas. Después se centrifugó a 2000 rpm por 30 minutos, se separó el sobrenadante y se transfirió el residuo a un crisol y se pesó, obtenido el valor del residuo húmedo (RH). Luego se secó el residuo a 100 °C por 24 horas y se pesó, este valor es el residuo seco (RS). Se determinó la capacidad de retención de agua con la siguiente fórmula. (Smith et al, 1976)

$$CRA = \frac{RH\ (g) - RS\ (g)}{RS\ (g)}$$

Índice de absorción de lípidos: Se mezcló 1 g de la harina con 10 mL aceite vegetal se agitó durante 30 minutos, posteriormente se centrifugó a 3000 rpm (Centrífuga Universal Rotofix Hettich®, Alemania), se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (Rodríguez. J, 1996). Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%\ I.A.L = \frac{Peso\ del\ sedimento\ (g) - Peso\ muestra\ (g)}{Peso\ muestra(g)} \times 100$$

Indice de absorcion de agua (I.A.A): Se pesaron 0,5 gramos de muestra en un tubo de ensayo, se adicionó 10ml de agua y se agitó durante 30 minutos. Luego se centrifugó durante 10 minutos a 3000 rpm; se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento

(Henao. S, 2004) Con la fórmula:

$$I.A.A = \frac{Peso\ del\ sedimento(g) - Peso\ de\ la\ muestra(g)}{Peso\ de\ la\ muestra(g)}$$

Indice de solubilidad en agua % I.S.A: Se pesaron 2 g de muestra, se añadió 50mL de agua destilada y se agito durante 15 minutos. Se tomó una alicuota de 10g de la suspension que se formó y se centrifugó a 3000 rpm por 15 minutos, el sobrenadante se decantó y se secó a 100°C durante 24 horas. (Ospina. B, 2005). Se determinó con la siguiente fórmula:

$$\%\ I.S.A = \frac{Peso\ del\ sobrenadante\ (g) - Peso\ seco\ del\ sobrenadante(g)}{Peso\ de\ la\ muestra(g)} \times 100$$

3.2.2 Evaluación de las propiedades tecnológicas y reológicas de la masa

La densidad de la masa se determinó con una temperatura de 20 °C con cups de volumen conocido. El valor de densidad se calculó como la relación del peso (g) de la masa colocada en los cups llenos y la capacidad de volumen del contenedor.

Capacidad de hinchamiento (CH): Es la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua. Se pesaron 2.5 g de muestra en una probeta graduada y se adicionó un exceso de agua (30 mL) y se agitó manualmente. Se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente de 27 °C ± 0.5, y luego se midió el volumen final de la muestra.

Acidez

Se midió 20 g de la muestra en un Erlenmeyer y se añadió 30 mL de agua destilada y se homogenizó, luego se añadió 3 gotas de fenolftaleína se tituló con NaOH 0,1 N hasta que apareció un color rosa pálido. Se determinó con la siguiente fórmula:

$$\%\text{acidez}\ (_{\text{eq.ácido } H_2SO_4}) = \frac{[\text{V NaOH (mL) x N NaOH x Peso equivalente (g) de ácido sulfúrico}]}{(\text{Peso de la muestra (g) x 1000})} \times 100$$

Donde V NaOH es el volumen de solución gastada en la titulación;
N NaOH Normalidad de NaOH

pH Se pesó 10 g de la muestra y se añadió 100 mL de agua destilada se homogenizó se decantó el sobrenadante y se filtró. Con el filtrado, se leyó el pH.

3.2.3. Análisis reológicos

Los análisis reológicos se realizaron por medio del uso del Mixolab que es una herramienta de análisis que permite caracterizar el comportamiento reológico de una masa sometida al amasado a diferentes temperaturas, los análisis fueron realizados por la empresa Molinos Las Mercedes S.A.S siguiendo la metodología descrita por la AACC 54-60-01. Se analizaron seis muestras diferentes sustituyendo la harina de trigo por harina de chachafruto, harina de arroz y harina de amaranto, en los siguientes porcentajes: 15% harina de chachafruto- 85% harina de arroz, 15% harina de

chachafruto- 85 % harina de amaranto, 20% harina de chachafruto - 80% harina de arroz, 20% harina de chachafruto- 80% harina de amaranto, 30% harina de chachafruto- 70% harina de amaranto, 30% harina de chachafruto- 70% harina de arroz. Se analizó por medio de la curva del mixolab estándar y el resultado de los seis índices del Mixolab profiler.

Los parámetros analizados en la curva del Mixolab estándar fueron: absorción de agua para el desarrollo de la masa (%), estabilidad (min), C1-amasado o comportamiento de la mezcla, C2-calidad de la proteína, C3-gelatinización del almidón, C4-actividad de la amilasa y C5-retrogradación del almidón, como se observa en el anexo 1.

En el Mixolab profiler se analizaron los seis índices que son: índice de absorción de agua, índice de amasado, fuerza de gluten, índice de viscosidad de gel de almidón, índice de resistencia a la amilasa y la retrogradación del almidón. (Clair. L, 2009)

Para la reometría se utilizó un reómetro dinámico (Anton Paar, Messtechnik, Stuttgart, Alemania). Se realizaron barridos de frecuencia para analizar el comportamiento viscoelástico de las mezclas. Para ello se utilizó una geometría plato dentado con un diámetro de 25 mm. La muestra se colocó entre los platos que se situaron a 2 mm uno de otro, y el exceso fue cuidadosamente removido. Los bordes expuestos fueron cubiertos con vaselina para evitar la deshidratación de la muestra.

Antes de comenzar con el barrido de frecuencia, la masa se dejó reposar por 5 minutos para permitir la relajación de los esfuerzos residuales. El ensayo se realizó en un rango de frecuencias de (0,1 a 10 Hz), a una deformación constante (0,05%) que corresponde al rango viscoelástico lineal de las muestras, y una temperatura de 25 ºC. La geometría utilizada fue placas dentadas. Los barridos de frecuencia se determinaron por duplicado, sobre masas diferentes. (Sowmya, Jeyarani et al, 2009)

Calorimetría diferencial de barrido DSC

Se realizó con un equipo DSC NETZSCH® 200 PC. Se pesaron 10 ± 0.5 mg de muestra de las mezclas sin tratamientos previos se colocaron en capsulas de aluminio que se sellaron y se dejaron reposar por 30 minutos para homogenizar la mezcla. El calentamiento se controló con una velocidad de calentamiento de 5 ºC por minuto empezando desde los 30 °C hasta 100 °C bajo una atmósfera de nitrógeno, programado con sistema de control de interno del equipo Los termogramas fueron analizados mediante el software Universal Analysis 2000 de TA Instruments. (Coral. P, 2009)

Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Las muestras de las mezclas se llevaron 5 días antes ya que las muestras debieron ser recubiertas con un metálico de oro en el laboratorio, la morfología de las mezclas de las harinas se realizó con un microscopio electrónico de barrido marca JEOL®, con alto vacío y una resolución de 5 nm en modo de alta tensión. Los análisis fueron realizados a 20 kV de tensión de aceleración de electrones y 12 - 20 Pa de presión de la cámara en las muestras, obteniendo imágenes en las superficies de fractura con la señal de electrones secundarios. (Lucas, 2010)

3.3 Propiedades tecnológicas de las galletas

Colorimetría

Para la aplicación de este análisis, se empleó un sistema CIELAB con un colorímetro. Se ubicó la muestra en una superficie plana de base blanca. Se tomó tres lecturas de cada muestra, desde la parte superior, inferior y parte media. Se determinaron valores de L* luminosidad (Negro 0/Blanco 100), a* (verde-/rojo+) y b* (azul-/amarillo+).

Perfil de textura

A las muestras enteras de galletas se les aplicó una prueba de compresión unidireccional con la finalidad de medir los parámetros de fracturabilidad: fuerza a la que la galleta empezó a quebrarse (kg. m^2. s^{-2}); y dureza: fuerza máxima a la que la galleta se quebró totalmente (kg. m^2. s^{-2}). Se utilizó un analizador de textura TA.TX2i ®. Plus, Stable Micro System, acoplado al software Texture Expert Exceed versión 2.64; dotado de una plataforma de aluminio, sobre la cual se colocaron las galletas, con una celda de carga de hasta 500 N; la velocidad del proceso fue determinada mediante ensayos previos y se fijó en 5 mm/s. Las galletas tenían un espesor de 5 mm y un diámetro de 40 mm aproximadamente. Se realizaron 3 repeticiones de cada muestra. (Alvis, A. 2011)

Mediciones durante el almacenamiento

Actividad de agua del producto se calculó durante ciertos días el día 1 ,7 y 14, utilizando un hidrómetro. Todas las mediciones se realizaron a temperatura ambiente (~25 ºC).

Contenido de humedad por el método de gravimetría AOAC 935.29.

Color las galletas se llevaron al colorímetro los días 1,7 y 14 durante su almacenamiento.

Análisis sensorial

Se realizó un análisis sensorial a las galletas para identificar el porcentaje de aceptabilidad como se muestra en la Tabla 1.12.

Tabla 1.12 Evaluación de los parámetros de aceptabilidad

Producto	Galleta control 100% harina de trigo			Galleta 15% harina de chachafruto 85% harina de amaranto			Galleta 15% harina de chachafruto 85% harina de arroz		
	Sabor	Color	Textura	Sabor	Color	Textura	Sabor	Color	Textura
Me gusta mucho									
Me gusta moderadamente									
Me gusta ligeramente									
Ni me gusta ni me disgusta									
Me disgusta ligeramente									
Me disgusta moderadamente									
Me disgusta mucho									

3.4 Ingeniería Conceptual

En la ingeniería conceptual el análisis estadístico de rentabilidad se realizó por partes primero se describió el perfil del cliente, descripción general del procedimiento para la harina y las galletas, se mostró la capacidad de producción, la normatividad vigente, el proceso de fabricación, y por último el estudio financiero y económico en el cual se mostró los costos de la producción, mano de obra, servicios, gastos y la inversión del proyecto donde se calcularon los índices evaluación en Excel:

Valor actual (VA) = VPN. (Tasa x flujos futuros)

Valor presente neto (VPN) = VA – inversión = si el resultado es >0 es rentable

Tasa interna de retorno (TIR) = TIR x flujos económico

Beneficio / costo (B/C) = VA/ la inversión con signo positivo = resultado es >1 es rentable.

4. Resultados y Discusión

Para obtener la harina de chachafruto primero se separó las semillas de las vainas, luego a la semilla se le retiró la testa manualmente.

La harina obtenida a partir de las semillas procesadas en el laboratorio obtuvo un rendimiento del 20%; en efecto de 25 kg de semilla procesada se obtuvieron 5 kg de harina. Este rendimiento coincide con los resultados arrojados por Ovalle (2005) los cuales fueron del 18%.

Supera los valores reportados por Acero (2002) de un 13 %. Esto se debe al molino que se utiliza. Se debe tener en cuenta el molino, para que la semilla se muela bien y quede una harina lo más fina posible.

Los resultados del análisis proximal del grano y de la harina de chachafruto son mostrados en la Tabla 1.13. Estos se expresan como porcentaje ± la desviación estándar obtenidos del promedio de los resultados de cada análisis por triplicado en base seca.

Tabla 1.13 Análisis proximal de las harinas de chachafruto, arroz, y amaranto en base seca

Tipo de harina	Humedad (%)	Grasa (%)	% Almidón total	Fibra (%)	Proteina (%)	Ceniza (%)	Carbohidratos Totales (%)
Harina de chachafruto	8.17 ± 0,02c	0.42 ± 0,08b	46.7 ± 0.6b	0.96 ± 0,45e	11.90 ± 0,17e	6.44 ± 0,01a	80.26 ± 0,19b
Harina de amaranto	10.67 ± 0,04b	1.67 ± 0,07a	57.6 ± 0.09a	10.16 ± 0,76d	8.28 ± 3,33f	1.11 ± 0,02b	78.74 ± 1,56c
Harina de arroz	11.16 ± 0,07b	0.76 ± 0,02b	79.4 ± 0.1c	0.91 ± 0,17e	7.46 ± 2,85f	0.57 ± 0,02b	90.27 ± 1,39a

Los valores con la letra e en la misma columna no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

En su composición química la harina de chachafruto obtuvo un porcentaje de humedad de 8.17%. Que concuerdan con los resultados de humedad de 8.37% para la harina de chachafruto arrojados por Arango et al (2012).

Para el porcentaje de grasa la harina que reflejó mayor contenido fue la de amaranto con 1.67%, comparado con 0.42% a 0.76% de grasa correspondiente a la harina de chachafruto y arroz respectivamente.

En cuanto al porcentaje de almidón total la harina de chachafruto con 46.7% el menor valor y el más alto fue para la harina de arroz con 79.4 %.

El mayor porcentaje de proteína lo presentó la harina de chachafruto con 11.9%. A su vez el contenido de cenizas se encontró el mayor porcentaje con 6.4% para la harina de chachafruto ya que, ésta contiene minerales como hierro 0.98 mg y calcio 13 mg, frente a la harina de amaranto con 1.1% y la harina de arroz con 0.57%.

Con los carbohidratos totales resultó que la harina de chachafruto obtuvo 80.26%. Según Duarte (2000), la harina de chachafruto presentan un valor alto de carbohidratos (>50%).
La harina de arroz tuvo el mayor porcentaje de carbohidratos totales con 90.27%.
Estos valores fueron contrastados con un estudio realizado por Barreda (1992) para la harina de chachafruto, el cual reporta valores similares de carbohidratos (78.20%), proteínas (13.50%) y cenizas (7.64%).

Comparando los valores a los hallados por Surco (2010) en la harina de trigo el valor de la humedad de 14.04%, proteína es de 9.10%, almidón total 70%, demostrando que la harina de chachafruto tiene mayor porcentaje de proteína con 11.9% y menor porcentaje de almidón con 46.7%, solo la harina de arroz tiene un porcentaje mayor de almidón total con 79%.
El porcentaje de carbohidratos totales y el porcentaje de almidón total para las harinas resultaron significativamente diferentes ($p>0,05$), siendo la harina de arroz la que mostró mayor porcentaje de carbohidratos totales y almidón total.

Como se observa en la Tabla 1.14 las mezclas no reflejaron porcentajes de humedad con mayor diferencia. En cambio los porcentajes de fibra de las mezclas de harina de amaranto y chachafruto oscilan entre 7 y 8%, y las mezclas de harina de arroz y chachafruto 0.9%. Esto se, puede atribuir a que la harina de amaranto contiene cantidades significativas de fibra (según la FAO se clasifica como alimento fuente de fibra con un mínimo de 3% y máximo 6%). (Trujillo, 1998)

El contenido de proteína más alto fue la mezcla de harina de chachafruto y amaranto con un porcentaje de 9%, ya que el chachafruto contiene 11% y el amaranto 8%. El porcentaje de grasa en las mezclas de harina de chachafruto y amaranto fue de 1.4 % y con la mezcla de arroz y chachafruto presentó 0.6% debido a que la harina de arroz contiene 0.7% y la de chachafruto 0.4%.

El porcentaje de almidón total más alto que se presentó fue para la mezcla de 15% harina de chachafruto 85% de harina de arroz con 74.49±0.17%. El menor porcentaje de almidón fue para la mezcla de 30% de harina de chachafruto y 70% harina de amaranto con 54.35± 0.24%.

Frente a la harina de trigo el contenido de grasa de 0.28% según lo reportado por Surco (2010). Con el contenido de cenizas las mezclas no presentaron mayor diferencia entre 2%. Los carbohidratos totales la mezcla de mayor porcentaje con el 89% es la de chachafruto y arroz y la de menor porcentaje 79% la mezcla de chachafruto y amaranto.

Tabla 1.14 Análisis químico proximal de las mezclas de chachafruto, arroz y amaranto en base Seca

Tipo de harina	Humedad (%)	Grasa (%)	% Almidón total	Fibra (%)	Proteina (%)	Ceniza (%)	Carbohidratos Totales (%)
Mezcla 30% harina de chachafruto y 70% harina amaranto	9.92 ± 0,03a	1.30 ± 1,19fg	54.35 ± 0.24b	7.40 ± 0,66g	9.37 ± 2,38h	2.71 ± 0,022bc	79.20 ± 0,99a
Mezcla 30% harina de chachafruto y 70% harina arroz	10.26 ± 0,05ef	0.66 ± 0,56ef	69.59 ± 0.25f	0.92 ± 0,25ef	8.79 ± 2,04abc	2.33 ± 0,005bc	87.27 ± 0,91de
Mezcla 20% harina de chachafruto y 80% harina amaranto	10.17± 0,03f	1.42 ± 1,35h	55.44 ± 0.19de	8.32 ± 0,69h	9.01 ± 2,69gh	2.18 ± 0,023bc	79.05 ± 1,13a
Mezcla 20% harina de chachafruto y 80% harina arroz	10.56 ± 0,06g	0.69 ± 0,62ef	72.86 ± 0.2g	0.92 ± 0,22ef	8.35 ± 2,31ab	1.74 ± 0,004a	88.27 ± 1,04cd
Mezcla 15% harina de chachafruto y 85% harina amaranto	10.26 ± 0,03ef	1.32 ± 1,27fg	55.99 ± 0.16de	7.76 ± 0,63g	8.00 ± 2.52ab	1.80 ± 0,021a	81.10 ± 1,06bc
Mezcla 15% harina de chachafruto y 85% harina arroz	9.59 ± 0,05a	0.63 ± 0,58ef	74.49 ± 0.17h	0.82 ± 0,19ef	7.38 ± 2,16a	1.39 ± 0,0037a	89.75 ± 0,98h

Los datos se expresan como media ± SD de los ensayos triplicados. Los valores de la misma columna con diferente letra tuvieron diferencias significativas (p> 0.05).

4.1 Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales de las harinas se muestran en la Tabla 1.15 se reportan los valores promedios de índice absorción de lípidos (I.A.L), el más alto es para la harina de arroz con 1.96% y el de las otras harina resulto alrededor de 1.66% a 1.85% para la harina de chachafruto y amaranto, lo cual indica que son harinas que fomentan la absorción y retención de grasa, lo que en consecuencia, podría ayudar a mantener la estabilidad de la masa.

El mayor porcentaje para la capacidad de retención de agua (% C.R.A) fue de 2.96% de la harina de arroz, y el más bajo con 2.61% que corresponde a la harina de chachafruto, esto señala que las proteínas de harina de arroz, de amaranto y de chachafruto que están en un porcentaje de retención agua entre un rango de 2.50 a 3.00 interaccionan mejor con el agua y por ende van a influir en la adherencia de la masa y la textura final del producto.

La harina de amaranto muestra los resultados más altos para el índice de absorción de agua (IAA) con 2.89 g/g, el índice de solubilidad de agua (% ISA) 26.50% mientras que, la harina de chachafruto obtuvo el menor valor de % ISA 16.636 y de IAA de 2.51 g/g.

El porcentaje de índice de solubilidad de agua para las harinas resultaron significativamente diferentes (p>0,05), para la harina de amaranto la que indicó mayor % ISA.

Además, los resultados reportados por Rodríguez (2012) para la harina de trigo muestran valores inferiores frente a las harinas de chachafruto, amaranto y arroz. La harina de trigo presento un **IAA** de 1.92 g/g, el **% ISA** 2.09.

Tabla 1.15 Propiedades funcionales de diferentes tipos de harinas

Muestra	% I.A.L	% C.R.A	IAA g/g	% ISA
Harina de chachafruto	1.66 ± 3,83de	2.61 ± 4.42ab	2.51 ± 0.47b	16.36 ± 1.02a
Harina de amaranto	1.85 ± 3.23de	2.82 ± 1.40ab	2.89 ± 0.56b	26.5 ± 0.48c
Harina de arroz	1.96 ± 4.30de	2.96 ± 2.40ab	2.43 ± 0.02b	20.79 ± 0.2b

Los valores de la misma columna con diferente letra tuvieron diferencias significativas (p> 0.05).

En la Tabla 1.16 se observa que los resultados de índice de absorción de lípidos I.A.L más alto se presentó en la mezcla de 20% harina de chachafruto y 80% harina de arroz fue de 1.90% muy similares a las mezclas de harina de chachafruto y de harina de arroz alrededor de 1.87%. Las mezclas de harina de chachafruto y harina de amaranto presentaron un índice de 1.82%. Este índice muestra la capacidad de las proteínas de estas mezclas para formar enlaces. La absorción de los lípidos se debe a la retención física de la grasa por atracción capilar y al enlace de la cadena apolar. (Singh, 2008)

El mayor porcentaje de capacidad de retención de agua de las mezclas de harinas de chachafruto y harina de arroz se presentó con la proporción de 15% harina de chachafruto y 85% harina de arroz con 2.90%, la mezcla con menor porcentaje fue para la que contenía 30% harina de chachafruto y 70% harina de amaranto con 2.75%.
Estos resultados indican que las mezclas de harinas de amaranto contienen menor contenido de amilopectina es por ello que presentan menor porcentaje de retención de agua, pero al comparar con el índice de solubilidad en agua (% ISA) indica que las mezclas con mayor índice son las de harina de chachafruto y harina de amaranto con 24.97% y las mezclas con harina de chachafruto y harina de arroz alrededor de los 20.12% lo que significa que las mezclas de chachafruto y amaranto tuvieron mayor atracción entre las moléculas y la cantidad de componentes solubles liberados de la mezcla fue mayor debido a la hidratación.(Añon, 2001)

El índice de absorción de agua indica el volumen ocupado por la harina despues de expandirse en exceso de agua lo que sería el gel formado el más alto IAA fue 2.83 ±0.54 g/g para la mezcla de 15% harina de chachafruto y 85% de harina de amaranto y el más bajo con 2.44± 0.08 g/g para las mezclas de harina de chachafruto y harina de arroz. Esto significa que la mezcla de chachafruto y amaranto poseen más grupos hidrofilicos y forman más geles entre las macromoléculas. (Gómez & Aguilera, 1984)

Tabla 1.16 Propiedades funcionales de las mezclas

Muestra	% I.A.L	% C.R.A	IAA g/g	% ISA
Mezcla 30% harina de chachafruto y 70% harina amaranto	1.797 ± 3.41c	2.759 ± 2.30a	2.77 ± 0.53c	23.45 ± 0.64f
Mezcla 30% harina de chachafruto y 70% harina arroz	1.872 ± 4.15e	2.856 ± 3.00d	2.45 ± 0.15ab	19.46 ± 0.44cd
Mezcla 20% harina de chachafruto y 80% harina amaranto	1.821 ± 3.35d	2.780 ± 2.00b	2.81 ± 0.54de	24.47 ± 0.58ab
Mezcla 20% harina de chachafruto y 80% harina arroz	1.902 ± 4.20f	2.891 ± 2.80e	2.44 ± 0.11a	19.90 ± 0.36cd
Mezcla 15% harina de chachafruto y 85% harina amaranto	1.641 ± 2.99a	2.791 ± 1.85c	2.83 ± 0.54d	24.97 ± 0.56ab
Mezcla 15% harina de chachafruto y 85% harina arroz	1.721 ± 3.79b	2.909 ± 2.70f	2.44 ± 0.08a	20.12 ± 0.32e

Los valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la Tabla 1.17 se observa que la harina con el más alto pH es la harina de amaranto con 6.75 seguida por la harina de arroz con 6.25. En cuanto a la harina de chachafruto el promedio de pH fue de 5.58 más ácido por lo tanto tendrá un sabor ligeramente más amargo.

Los valores de acidez (% ácido sulfúrico) de las harinas se encontraron en los rangos de 0.08 a 2.36%. Estos valores son habituales para las harinas las cuales no deben exceder el 2 % de acidez. (Salvador, 2006)

La densidad aparente de las harinas está entre 0.97 g/ml para la harina de amaranto, 0.93 g/ml para la harina de chachafruto y 0.88 g/ml para la harina de arroz.

Estos valores son altos, debido a que poseen una granulometría fina.

La capacidad de hinchamiento de los tipos de harinas estuvo entre 0.87 a 0.92%, el más alto para la harina de arroz.

Además los resultados de la harina de trigo realizados por Valencia (2006) mostraron una capacidad de hinchamiento de 2.0%, el pH de 6.2, y la acidez de 0.92%, no muestran diferencias significativas al compararla con la harina de chachafruto y arroz.

Tabla 1.17 Propiedades tecnológicas de las harinas

Muestra	pH	Acidez (% H_2SO_4)	Densidad aparente (g/ml)	Capacidad de hinchamiento (%)
Harina de chachafruto	5.58 ± 0.06b	1.23 ± 0.55b	0.93 ± 1.02b	0.90 ± 1.25c
Harina de amaranto	6.75 ± 0.02b	0.08 ± 0.06a	0.97 ± 0.87b	0.87 ± 0.94c
Harina de arroz	6.25 ± 0.04b	2.36 ± 0.17c	0.88 ± 0.98b	0.92 ± 0.82c

Los valores de la misma columna con diferente letra tuvieron diferencias significativas (p> 0.05)

En la Tabla 1.18 se observa que la mezcla con más alto pH fue para 15% harina de chachafruto y 85% harina de amaranto con 6.57. Se evidencia que las mezclas con harina de amaranto tienen mayor pH. (Rao, 1998)

El porcentaje de acidez es bastante bajo en las mezclas, sin embargo no se evidencia una diferencia significativa con las letras cd ($p > 0,05$) para las mezclas de harina de chachafruto y amaranto entre ellas, siendo un poco mayor la acidez en las mezclas de harina de chachafruto y harina de arroz. Donde se observa que las mezclas con mayor porcentaje de harina de arroz y chachafruto son más ácidas debido a que pueden incidir los ácidos orgánicos libres, los ácidos grasos del chachafruto.

La densidad aparente de las mezclas varió entre 0.87 a 0.96 g/ml. La mezcla con mayor densidad aparente fue la mezcla de harina de amaranto con 0.96 g/ml, y la de menor fue para harina de arroz con 0.87 g/ml. Por lo tanto la mezcla de harina de chachafruto y amaranto ocupó menor volumen y por lo tanto su densidad es más alta y la mezcla con harina de arroz ocuparon mayor volumen, estos indica que a mayor volumen que ocuparon la harina menor será su densidad. Estos valores son aceptables para este tipo de mezcla.

Los valores de capacidad de hinchamiento de las mezclas que presentaron mayor valor fueron para las de harina de chachafruto con harina de arroz obtuvieron valores de 0.92 ± 0.17 para un tiempo de 2 horas y los valores con harina de amaranto fluctuaron en 0.87 ± 0.8 para el mismo tiempo. En las mezclas no existen diferencias significativas entre (ef y

de), en la **absorción de agua** por lo tanto estas mezclas sirven como estabilizadores por su elevado índice de absorción de agua anteriormente analizado oscila entre 2.4 y 2.8 g/g. (Franco, 2006)

Tabla 1.18 Propiedades tecnológicas de las mezclas

Muestra	pH	Acidez (% H_2SO_4)	Densidad aparente (g/ml)	Capacidad de hinchamiento (%)
Mezcla 30% harina de chachafruto y 70% harina amaranto	6.39 ± 0.03ef	0.42 ± 0.39cd	0.95 ± 0.04ab	0.87 ± 0.87de
Mezcla 30% harina de chachafruto y 70% harina arroz	6.04± 0.04a	2.02 ± 0.28ef	0.89 ± 0.06cd	0.91 ± 0.14ef
Mezcla 20% harina de chachafruto y 80% harina amaranto	6.51 ± 0.02ef	0.31 ± 0.18cd	0.96 ± 0.04ab	0.86 ± 0.16de
Mezcla 20% harina de chachafruto y 80% harina arroz	6.11 ± 0.04b	2.12 ± 0.24ef	0.88 ± 0.068cd	0.92 ± 0.07ef
Mezcla 15% harina de chachafruto y 85% harina amaranto	6.57 ± 0.01f	0.25 ± 0.05cd	0.94 ± 0.05ab	0.85 ± 0.04de
Mezcla 15% harina de chachafruto y 85% harina arroz	6.14 ± 0.03bc	2.19 ± 0.22f	0.87 ± 0.07cd	0.92 ± 0.17ef

Los valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

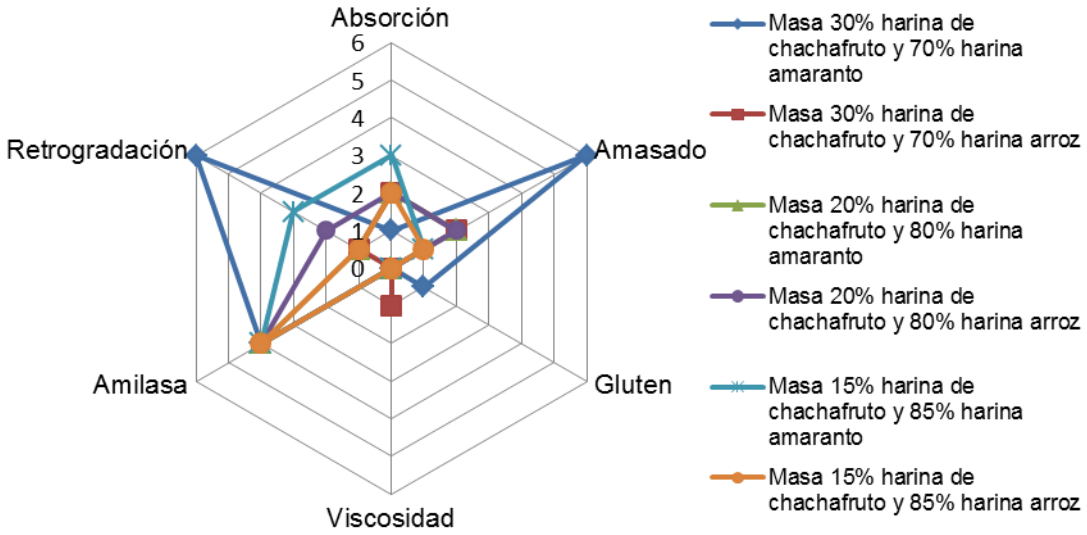
4.2 Caracterización de las masas

Análisis por medio del uso del equipo Mixolab Profiler. Como se resume en la Tabla 1.19, el gráfico 1.1 (Anexo 1). Se registran los resultados experimentales de los índices de: absorción de agua, amasado, fuerza de gluten, viscosidad, resistencia de la amilasa y retrogradación del almidón, obtenidos mediante el empleo del equipo Mixolab Profiler, en mezclas con diferentes porcentajes de sustitución de harinas.

Tabla 1.19 Caracterización del comportamiento reológico de las diferentes mezclas de harinas en el Mixolab Profiler

Tipo de masa	Absorción	Amasado	Gluten	Viscosidad	Amilasa	Retrogradación
Masa 30% harina de chachafruto y 70% harina amaranto	1	6	1	0	4	6
Masa 30% harina de chachafruto y 70% harina arroz	2	2	0	1	0	1
Masa 20% harina de chachafruto y 80% harina amaranto	2	2	0	0	4	1
Masa 20% harina de chachafruto y 80% harina arroz	2	2	0	0	4	2
Masa 15% harina de chachafruto y 85% harina amaranto	3	1	0	0	4	3
Masa 15% harina de chachafruto y 85% harina arroz	2	1	0	0	4	1

Gráfico 1.1 Resultados de Mixolab Profiler en 6 mezclas de harinas



4.2.1 Absorción de agua

La absorción de agua de cuatro mezclas obtuvo un valor de 2; la mezcla de 15% harina de chachafruto y 85% de amaranto alcanzó un valor de 3 el más alto entre la mezclas, lo que significa que las mezclas no absorben mucha agua. Este tipo de mezclas según la absorción de agua son ideales para productos como hojaldre con un rango de absorción de 2 a 3 y galletería con rangos de 1 a 2. (Han. L ,2013)

La absorción, es muy importante para la calidad del producto final, ya que si el agua no se liga de manera correcta a la estructura del almidón, puede perder agua en el horneo y por lo tanto el producto de panadería será seco y se endurecerá más rápidamente.

4.2.2 Índice de amasado

El resultado alcanzado en tres de las masas fue un valor de 2, y en dos masas con un índice de 1 en estas masas la estabilidad en el amasado es poca lo que quiere decir que a menor índice menor estabilidad en el amasado. En la masa de 30% chachafruto y 70% de amaranto con un índice de amasado de 6 este valor es erróneo debido a que la harina de chachafruto, amaranto y arroz no contiene gluten esto se pudo presentar debido a que en el momento de realizar el análisis en el Mixolab este tenía en su interior rastros de harina de trigo 30%, por ende presentó un amasado tan alto, se realizaron los correctivos para seguir con el análisis. La variación que se presenta en las otras masas se debe principalmente a que no tenían gluten. Según (Álvarez, 2012) a mayor cantidad de gluten se produce mayor amasado y asi las masas son capaces de soportar el estiramiento durante la fermentación. Por lo tanto estas masas no son resistentes.

4.2.3 Índice de gluten

Los valores obtenidos en las mezclas son de 0 debido a que estas harinas no contienen gluten. Estas masas no tienen plasticidad ni elasticidad, es decir no tiene fuerza en los enlaces entre la gluteína y la gliadina proteínas del gluten para generar una red y realizar la fermentación. En la masa conformada por 30 %chachafruto y 70% amaranto se obtuvo un índice de 1 lo que indica que este valor es la fuerza de los enlaces moleculares.

4.2.4 Índice de viscosidad

La viscosidad implica una deformación del almidón que ocurre cuando se mezcla la harina con agua y se aumenta la temperatura. (Bennion E, 1969)
Según los valores presentados en la tabla 1.19, cinco de las masas tienen un mismo índice de viscosidad con un valor de 0 y sola la masa de 30% harina de chachafruto y 70% harina arroz con un valor de 1 lo que quiere decir que el comportamiento de las moléculas de almidón de la masa es semejante, mientras más bajo es el índice menos viscosa es la masa.

4.2.5 Resistencia de la amilasa

El índice en las mezclas de harina de chachafruto con amaranto y chachafruto con arroz es de 4, mientras que en masa 30% harina de chachafruto y 70% harina arroz es de 0, lo que quiere decir que entre más alto el índice menos fuerte es la actividad amilásica. Esto se debe a que durante la molienda se haya producido una alta cantidad de almidón roto, que facilita la acción enzimática sea menor. (Lagomersino, A. 2011)

4.2.6 Modificación del almidón

Cuando el almidón al contacto con el agua se gelatiniza las moléculas se agrupan formando una estructura de doble hélice cristalina. (Cauvain S, 1998)

El almidón inconsistente transfiere agua por lo tanto, las celdas se comprimen y se solidifican siendo cada vez menos maleables lo cual es malo para un producto de panificación ya que, no es posible darle forma. En contraste esto se revierte añadiendo más agua porque el almidón absorbe agua en el horneado. (Trappey E ,2015)

Mientras más alta es la modificación menos tiempo de vida útil tendrá el producto de panadería, la masa de 30% chachafruto y 70% amaranto tiene un índice de 6 y la masa de 15% harina de chachafruto y 85% harina de amaranto un valor de 3 por lo que el producto elaborado con estas masas puede sufrir envejecimiento, más rápido pierde la calidad de la miga y por lo tanto se afecta a la vida útil del producto. Las otras masas presentan un índice de 2 y de 1 por lo tanto el producto tendrá una vida útil más larga y según la retrogradación del almidón es adecuado para galletas.

4.3 Caracterización de masas por el Mixolab estándar

Los análisis con el Mixolab se realizaron a mezclas de chachafruto y amaranto en las siguientes proporciones 30:70, 20:80, 15:85 y mezclas de chachafruto y arroz con 30:70, 20:80, 15:85. Como se presenta en la Tabla 1.20 los valores obtenidos se reportaron en Nm (Newton por metro) que caracteriza la magnitud del torque, calcula la rotación que provoca la fuerza sobre la masa, proporcionando la estimación de la amplitud, el tiempo de la estabilidad de la masa.

Tabla 1.20 Caracterización de las masas en Mixolab estándar

Curva	Masa 30% Harina de chachafruto y 70% Harina amaranto		Masa 30% Harina de chachafruto y 70% Harina arroz		Masa 20% Harina de chachafruto y 80% Harina amaranto		Masa 20% Harina de chachafruto y 80% Harina arroz		Masa 15% Harina de chachafruto y 85% Harina amaranto		Masa 15% Harina de chachafruto y 85% Harina arroz	
	%H	Hidratación %	%H	Hidratación %	%H	Hidratación %	%H	Hidratación %	%H	Hidratación %	%H	Hidratación %
	10.9	50.8	10.9	55.0	10.8	55.0	11.3	55.0	10.7	56.5	11.3	55.0
	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
	0.05	10.95	0.06	5.82	0.06	4.52	0.07	5.20	0.06	3.32	0.09	3.47
	TIEMPO (min)	PAR (Nm)	TIEMPO (min)	PAR (Nm)	TIEMPO (min)	PAR (Nm)	TIEMPO (min)	PAR (Nm)	TIEMPO (min)	PAR (Nm)	TIEMPO (min)	PAR (Nm)
C1	1.62	1.10	1.95	1.06	2.15	1.08	2.55	1.12	1.90	1.07	2.08	1.10
C2	17.83		19.45		45.02	0.02	16.05		11.08		15.58	
C3	43.93	2.10	21.67	0.52	23.00		40.98	1.65	36.52	2.03	39.53	0.50
C4	30.0		22.03	0.25	30.00		30.00		37.70	1.11	30.00	
C5	45.02	1.99	45.02		45.02	0.02	45.03	0.01	45.02	0.02	45.02	

C1: Desarrollo de la masa; C2: calidad de la proteína; C3: Gelatinización del almidón; C4: Actividad de la amilasa; C5: retrogradación del almidón.

En la curva C1 corresponde a la estabilidad e hidratación de la mezcla. Muestra el desarrollo de la masa; si una masa tiene mayor tiempo de amasado, significa que es una harina fuerte. (Sandoval, 2012)

El tiempo de amasado óptimo sería de 4 a 5 minutos y harinas que tiene un valor inferior a eso son harinas débiles. En este caso todas las masas registran un tiempo entre 1 a 3 minutos por lo tanto estas masas son débiles, es decir que ofrecen débiles cualidades para forman un pan ya que, carecen de gluten pero son adecuadas para la elaboración de galletas. (Lascano, 2010)

4.3.1 Desarrollo de la masa en C1

El valor de C1 es similar al que se obtendría en un farinograma, este permite saber las características del amasado, el tiempo del amasado y la estabilidad de la masa. En cuanto el Par o torque ideal en esta primera curva deberá ser de 1.1, debido a que según Toaquiza (2011), sería igual que obtener 500 unidades brabender que son las unidades del farinograma, ya que representa la proporción de agua para alcanzar la estabilidad de la masa.

Los resultados obtenidos en estas primera curva las mezclas obtuvieron un tiempo entre un rango de 1.62 – 2.55 minutos y un torque entre 1.06 – 1.12 par (Nm) que se mantiene en un rango normal por lo que se puede inferir que las mezclas tiene un par o torque normal pero el tiempo en el que llegan a 1.1 no supera los tres minutos por lo tanto las harinas son débiles.

La estabilidad del amasado de las mezclas presentó rangos de (3:32 a 10:95 minutos) significa que es una harina débil y presentará una fermentación menos larga, ya que estas masas no contienen gluten. Esto refleja a menor tiempo de estabilidad mayor debilidad estructural del gluten en la masa. (Lascano, 2010) Además, si el tiempo de amasado es muy prolongado la masa se oxigenará y producirá que los pigmentos se degraden provocando migas blancas.

4.3.2 Calidad de la proteína C2.

Aquí se indica el debilitamiento de las proteínas. En este caso el Par debe bajar hasta 0,5 Nm ya que este valor proporcionara una masa de tenacidad adecuada para productos voluminosos, lo que indica que debido a la acción térmica aumenta la temperatura y disminuye la consistencia. Pero si el número es superior a 0,6 Nm proporcionará una tenacidad de la masa elevada y un producto de poco volumen.

La masa que registra un Par es la mezcla que tiene 20% harina de chachafruto 80% de amaranto con un par de 0.02 Nm. Esto quiere decir que se pierde gran calidad de proteína debido a la sustitución lo que hace que no se exista una gran cantidad de gluten, o se forme la red de gluten, no se atrape gran cantidad de CO_2 y el producto no pueda atrapar ese gas por lo que no permite que se genere volumen en el producto.

4.3.3 Gelatinización del almidón C3.

En este análisis hay un incremento de temperatura, lo que simula que el producto ya está dentro del proceso de horneado, y se procede a efectuar la gelatinización del almidón por lo que se produce un aumento en el Par debido a que aumenta la viscosidad de la masa y está bastante ligado a la calidad de almidón que se encuentre en las harinas.

De forma general, una harina con una calidad superior de almidón y una actividad amilástica más baja tendrá un C3 más elevado. Dentro de los resultados de C3 se puede decir que el almidón presente en las mezclas es muy bueno ya que el más alto es de 2.10 Nm de la mezcla de 30% chachafruto y 70 % amaranto y difiere de la harina de trigo en 0,10 Par (Nm) aproximadamente. En cuanto se incrementa el grado de reemplazo con la harina de chachafruto la calidad del almidón aumenta ya que, el almidón de chachafruto es considerado un almidón de alta calidad, esto se comprueba en las características físicas del producto elaborado. Esta etapa es importante debido a, que va a fijar la miga la cual afectará a la textura, si es que el Par es muy bajo quiere decir que la masa es ideal para productos de poco volumen y de miga pegajosa. (Zanella, 2005)

4.3.4 Actividad de la amilasa C4.

La amilasa es una enzima que va a cortar y desdoblar el almidón en dextrinas que son moléculas más pequeñas. Las dextrinas empezarán actuar durante el proceso de cocción durante la gelificación del almidón donde al enfriarse la masa aumenta su consistencia y también influirá en el volumen de la masa, es decir, que si hay mayor actividad amilásica el producto se desbordará y tendrá consistencia casi líquida.

Pero si la actividad es muy baja no habrá volumen y la miga será muy rígida.

Para este caso los valores del Par o torque de las mezclas que arrojaron resultados fueron la masa de 15% harina de chachafruto y 85% harina de amaranto con un par de 1.11 Nm y la masa de 30% chachafruto y 70% arroz con 0.25 Nm. Las demás mezclas no arrojaron resultados por lo tanto su actividad amilásica es muy baja.

4.3.5 Retrogradación del almidón C5.

En las mezclas se reflejan valores bajos de retrogradación de almidón, lo que provoca que la vida útil del producto aumente. Adicional a esto se puede mencionar que el índice

es bajo debido a que no contienen proteínas como gliadinas, gluteninas dará un producto de color en la corteza amarillo oscuro.

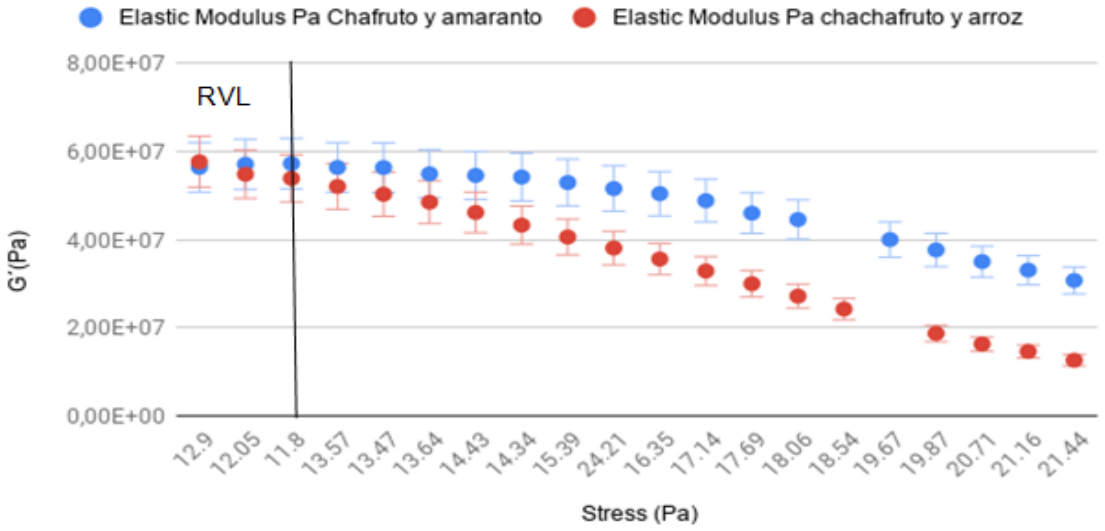
La estabilidad más duradera se encontró para la mezcla de 30% chachafruto y 70% de amaranto con 10.95 minutos seguida de la mezcla chachafruto 30% y 70% arroz con 5.82 minutos. La amplitud más alta fue para 15% chachafruto y 85 % arroz con 0.09 Nm, las demás mezclas estuvieron por debajo de este valor por lo tanto, estas masas no tienen extensibilidad de amplitud adecuada, para productos de panadería que requieran mayor volumen, esta masas son adecuadas para galletas las cuales no necesitan valores de volumen alto ni gran extensibilidad.

4.4 Propiedades reológicas

Se realizaron ensayos reológicos para analizar el comportamiento viscoelástico de las masas compuestas por 15% chachafruto y 85% amaranto y la masa de 15 % chachafruto 85% arroz se escogieron estas masas porque tenían un amasado igual y una retrogradación diferente. Se observa que los valores de los módulos dinámicos de las masas, el comportamiento viscoelástico es la meseta de relajación que se evidencia, cuando los valores del módulo elástico son más altos que los valores de modulo viscoso, los dos módulos dependen de la frecuencia pero se observa que siguen diferentes comportamientos.

Se utilizó un nivel de agua constante se realizó a cada una de las masas el barrido de deformación para encontrar la región viscoelástica lineal a temperatura constante de 25^0 C con un esfuerzo 0.01 a 100 Pa y una frecuencia constante de 1 Hz porcentaje de deformación de 0.1% como se observa en el gráfico 1.2. En el cual las masas fueron capaces de soportar deformaciones sin dañar su estructura el esfuerzo de las masas entre 12.9 y 11.8 Pa

Gráfico 1 .2 Región viscoelástica de las mezclas



Se determinaron los módulos de elasticidad (G') y de viscosidad (G") obtenidos del barrido de frecuencia para las masas de 15% chachafruto, 85% amaranto y 15% chachafruto 85% arroz.

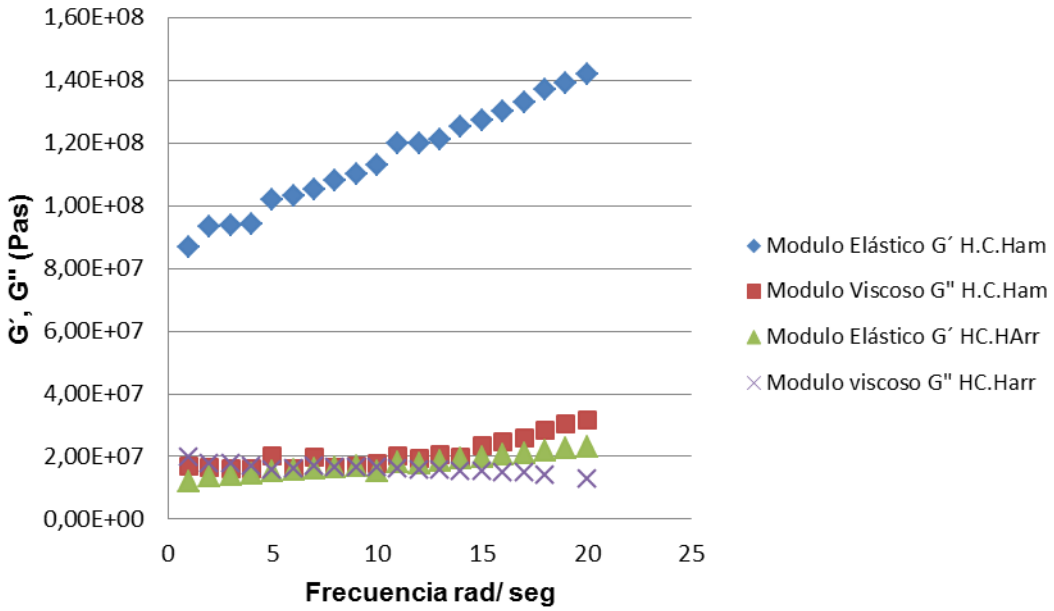
En el gráfico 1.3 barrido de frecuencia, se observan los módulos elásticos y viscosos de las masas. Para las masas G´ fue mayor G" en la mezcla compuesta de 15% chachafruto y 85% amaranto en todo el rango de frecuencia analizado, lo que indica que existe un comportamiento sólido elástico en la masa, observándose un mayor resultado en el componente elástico y más resistente indicado por la separación de los valores de G´ y G". (Crockett, 2011).

El módulo viscoso G" de la masa de 15% chachafruto, 85% amaranto está cerca al módulo elástico G´ y módulo viscoso G" de la masa de 15% chachafruto 85% arroz observándose que estos módulos son dependientes de la frecuencia, esto se debe a que durante el análisis se establecen interacciones transitorias entre macromoléculas, los puntos de unión se desempeñan con cruzamientos permanentes, observándose un incremento en el módulo viscoso de la harina de chachafruto con harina de amaranto. La masa de 15% chachafruto 85% amaranto es más elástica y viscosa que la masa de 15% chachafruto 85% arroz. (Angioloni, 2009)

Se evidencia un comportamiento elástico diferente en las dos masas G´ mayor que G", provocando que sean menos resistentes a la deformación. Según Magaña (2009), las masas de harina de trigo son más resistentes, esto se debe especialmente a las

proteínas del gluten responsables de conferir firmeza y un carácter más elástico a las masas.

Gráfico 1.3 Barrido de frecuencia



4.5 Análisis de calorimetría diferencial de barrido DSC

En el gráfico 1.4 se presenta los termogramas DSC y los datos obtenidos de las mezclas de 15% chachafruto 85% amaranto y la mezcla de 15% chachafruto 85% arroz, donde se muestra la transición térmica de gelatinización como un pico endotérmico. Para la mezcla 15% chachafruto 85% amaranto representada de color negro, la temperatura inicial 62.30℃, el pico de fusión en la mezcla es la temperatura donde se reconocen los valores más altos de absorción de calor para la mezcla es de 69.66℃ y la temperatura de finalización de la gelatinización de 78.77℃. El calor absorbido en la transición de fase fue de 5.30 mJ, y la entalpía de gelatinización de 0.477 J/g.

Para la mezcla de 15% harina de chachafruto 85% harina de arroz la transición de gelatinización con una temperatura inicial de 61.47℃, el pico de fusión a los 69.64℃ y la temperatura de finalización 78.45℃, la integral 6.74 mJ y la entalpia de gelatinización de 0.607 J/g.

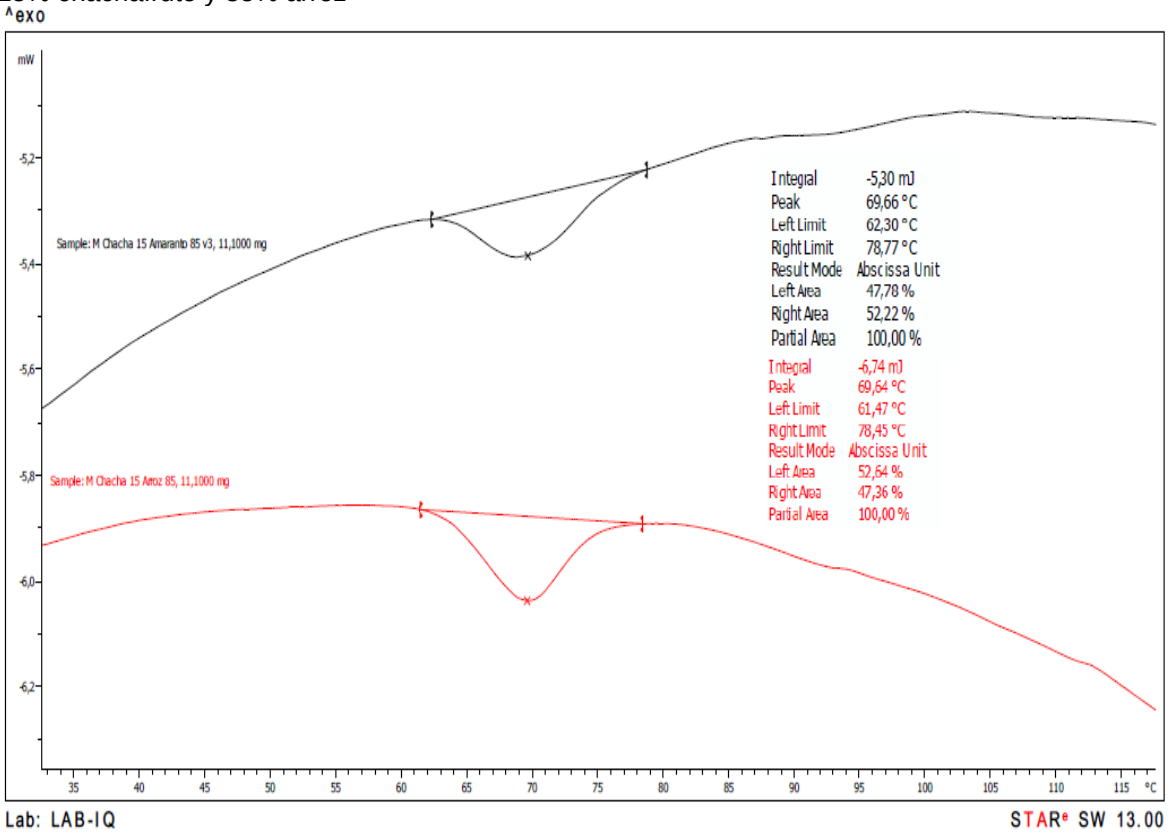
El pico de fusión significa un cambio funcional en los componentes de las harinas que entre los rangos de 40-50℃ es fusión de lípidos, entre los 60 – 80℃ desnaturalización de

las proteínas y los 50 y 70˚C gelatinización parcial del almidón. Por lo tanto las mezclas tuvieron una gelatinización parcial del almidón. (Lörinczy, 2004)

Estos resultados se comparan con los hallados en el estudio realizado por Dumar (2012), donde evidencio que la harina de chachafruto tiene una transición térmica entre temperatura inicial 61.95 y 79.1˚C, un pico de fusión en los 70.7˚C, y una entalpia de gelatinización 0.6 J/g.

Al comparar los resultados de las mezclas con el estudio realizado por Montoya (2012) el cual analizó la harina de trigo, se evidencia que el trabajo de gelatinización comienza a los 53.27˚C y el pico de fusión está alrededor de los 61.96˚C y la entalpia 1.080 J/g. Por lo tanto se evidencia que los resultados obtenidos en DSC de las mezclas de harinas de chachafruto, arroz y amaranto ofrecen un bajo gasto de energía representado en el DSC como calor señalando que las mezclas de estas harinas reducen los costos energéticos en la elaboración de productos de panadería.

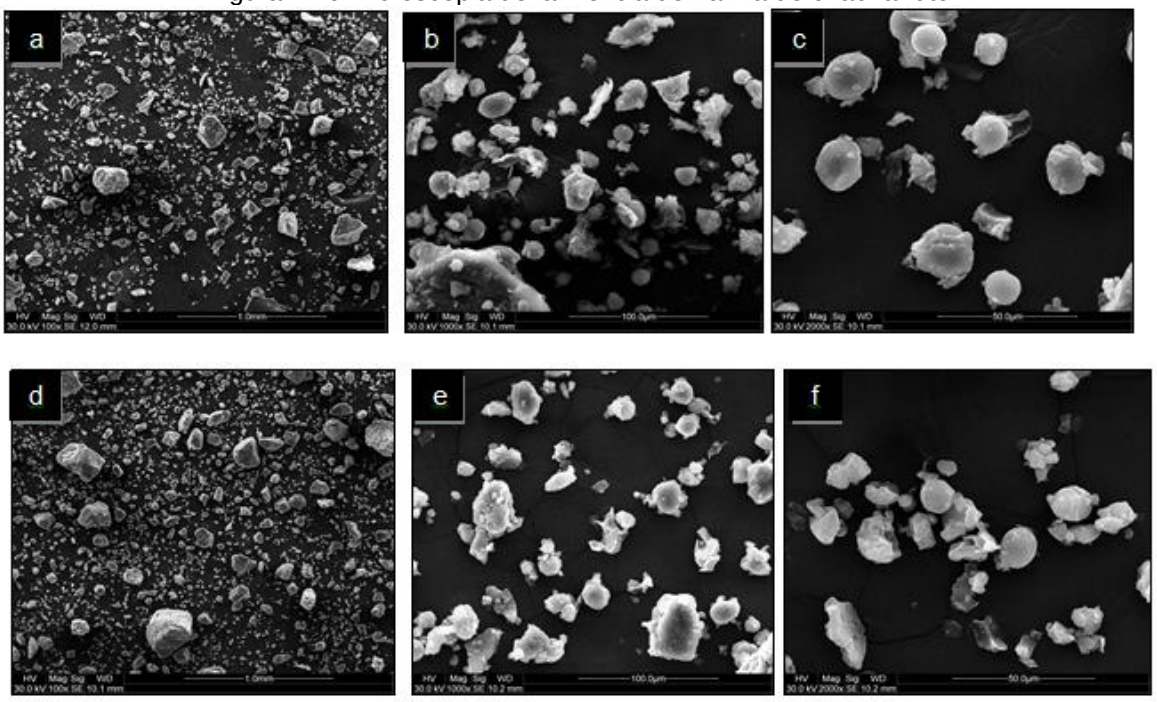
Gráfico 1.4 Termograma DSC de las mezclas de 15% chachafruto, 85% amaranto y la mezcla de 15% chachafruto y 85% arroz



4.6 Microscopia electrónica de barrido

En la microscopia electrónica de barrido la figura 1.10 la mezcla compuesta de harina de chachafruto 15% y harina de amaranto 85% se puede reconocer la harina de chachafruto porque su forma es laminar y plana de tamaño entre 14 µm y la harina de amaranto es ovalado globuloso de 19 µm.

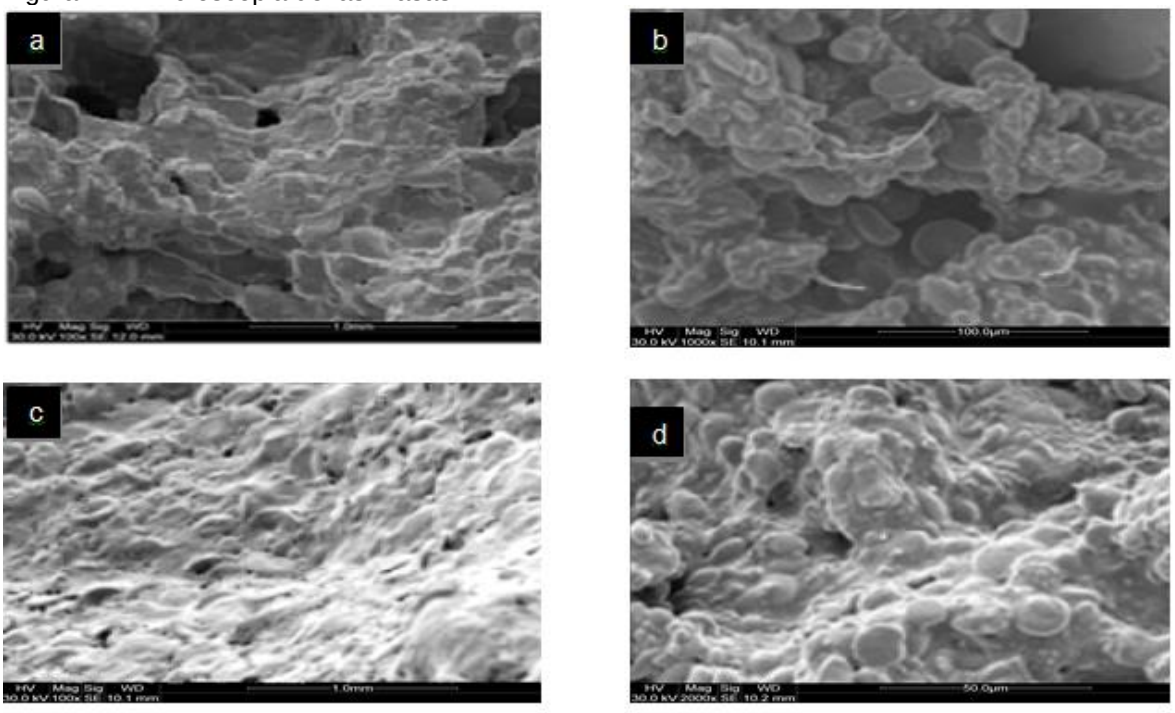
Figura 1.10 Microscopia de la mezcla de harina de chachafruto



Mezcla de harina de chachafruto 15% y amaranto 85% son las figuras a, b, c: **a** 1.0 mm Mag 100x Distancia de trabajo WD 12.0mm, **b** 100µm Mag 1000x WD 10.1 mm, **c** 50.0 µm Mag 2000x.
Mezcla de harina de chachafruto 15% y arroz 85% figuras d, e, f: **d** 1.0 mm Mag 100x Distancia de trabajo WD 10.1mm, **e** 100µm Mag 1000x WD 10.2 mm, **f** 50.0 µm Mag 2000x

La mezcla compuesta por harina de chachafruto 15% y harina de arroz 85%, la harina de arroz su forma es esferoidal su tamaño 20 µm .Las estructuras esféricas de las harinas concuerdan con los gránulos de almidón. (Lindeboom, 2004)

Figura 1.11 Microscopia de las masas



Masa de chachafruto 15% y amaranto 85% son las figuras a, b: **a** 1.0 mm Mag 100x WD 10.1 mm, **b** 50.0 µm Mag 1000x.
Masa de chachafruto 15% y arroz 85% figuras c, d: **c** 1.0 mm Mag 100x Distancia de trabajo WD 10.1mm, **d** 50.0 µm Mag 2000x

En la figura 1.11 se observan las imágenes de la microestructura de la masa de las galletas. Las figuras **a** y **b** corresponden a la masa de chachafruto y amaranto, **c** y **d** a la masa de chachafruto y arroz. Se observa en **a** y **b** como los gránulos de almidón se entrelazan notándose más el almidón de amaranto por su forma globulosa. En **c** y **d** se nota más unida porque hay mayor cantidad de almidón en el arroz formando una masa blanda.

4.6.1 Formulación

La formulación de las galletas se muestra en la Tabla 1.11

Tabla 1.11 Formulación para las galletas

Ingrediente		Porcentaje
Harina de chachafruto		15
Harina de amaranto		85
Harina de arroz		85
Margarina		38
Azucar		38
Esencia de vainilla		0.5
Polvo de hornear		0.3
Huevo		10
Agua		20

En la formulación de las galletas se combinaron las harinas de chachafruto y amaranto, chachafruto y arroz, además también se elaboró una galleta control con 100% harina de trigo los demás ingredientes si fueron iguales para las tres galletas.

Para la elaboración de las galletas se cremaron el azúcar y la margarina en una batidora de pedal Recco®, luego se agregaron los huevos y la esencia de vainilla. Se mezcló y se añadió la harina con el polvo de hornear. Se amasó hasta formar una masa compacta. Se agregó el agua poco a poco para no ablandar la masa, ya que en el horno se puede fundir. Se extendió la masa hasta un espesor de 0.5 cm, después cortar con la forma deseada se colocan en las latas previamente engrasadas y se hornea a 175 ° C por 15 minutos en un horno de convección eléctrico Wunder®. Después de hornear se dejan enfriar durante 60 minutos cuando estuvieron frías las galletas se empacaron en bolsas de polipropileno con cierre hermético y se almacenaron a temperatura ambiente.

4.7 Propiedades tecnologicas de las galletas

Los resultados de color de las galletas se observan en la Tabla 1.21 se encontraron diferencias significativa ($p>0,05$), entre las galletas elaboradas con mezclas y la control para las coordenadas de color L,y b. Donde se observa que la mayor luminosidad con 65.71±1.78 es de la galleta obtenida de la mezcla 15% harina de chachafruto 85% harina de arroz seguida de la galleta control con 64.64 ± 0.34. Estos se debe a que la mezcla de chachafruto y arroz y la harina de trigo son más blancas que la mezcla de chachafruto y amaranto.

La tonalidad a* de rojo más alta fue para la galleta control 8.34± 0.91 y la galleta de 15% harina de chachafruto 85% harina de amaranto con 7.73± 1.42, mientras que la galleta de harina de chachafruto y harina de arroz presento una tonalidad menos roja y más verde, lo que indica que las galletas con las mezclas se parecen a las galletas control respecto al color. En cambio en la coordenada b*, se reflejó variación en los resultados, la galleta con más alto valor fue para la de galleta control con 34.31± 0.05 con un tono mas verde.

Además la diferencia total de color más alta fue para la galleta de harina de chachafruto y harina de amaranto con ΔE 5.91± 0.84 y la menor para la galleta control con 1.68 ± 0.72. Como se puede ver en la figura 1.12 indica que si hay diferencias perceptibles para el ojo humano ya que, el ojo puede apreciar diferencias de color cuando $\Delta E > 1$ lo cual indica que el color se alteró con la adición de las mezclas de harinas. (Martinez, 2011)

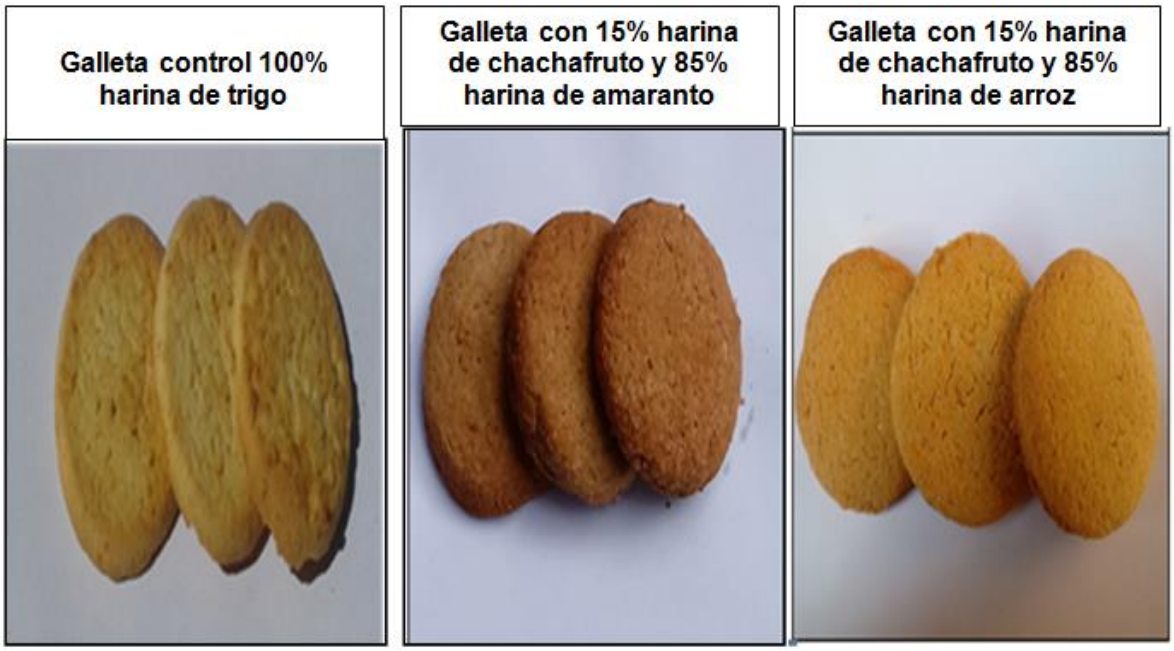


Figura 1.12 Producto terminado de los diferentes tipos de galletas

También la tonalidad a* de las galletas de las mezclas se debe a la actividad amilásica reportada en el mixolab, el cual mostró un índice de amilasa de 4 para las dos mezclas, cuando este índice es igual a 6 los productos seran rojizos y cuando es igual a 2 son pálidos, por ende, las galletas de las mezclas están en la mitad no son rojizas ni pálidas. (Tejero, 2011).

Tabla 1.21 Colorimetría en galletas

Parámetro de color	Galleta control 100% harina de trigo	Galleta con 15% harina de chachafruto 85% harina de amaranto	Galleta con 15% harina de chachafruto 85% harina de arroz
L*	64.64 ± 0.34b	49.81 ± 2.01c	65.71 ± 1.78f
a*	8.34 ± 0.91de	7.73 ± 1.42de	6.85 ± 1.41de
b*	34.31 ± 0.05g	24.11 ± 1.71a	30.11 ± 0.86b
ΔE	1.68 ± 0.72h	5.91 ± 0.84f	4.60 ± 0.45g

L: valores promedio de Luminosidad, a: valores promedio del matiz (+ rojo, - verde), b: valores promedio de la tonalidad (+ amarillo, - azul). Letras diferentes en una misma fila indican diferencias (P>0,05).

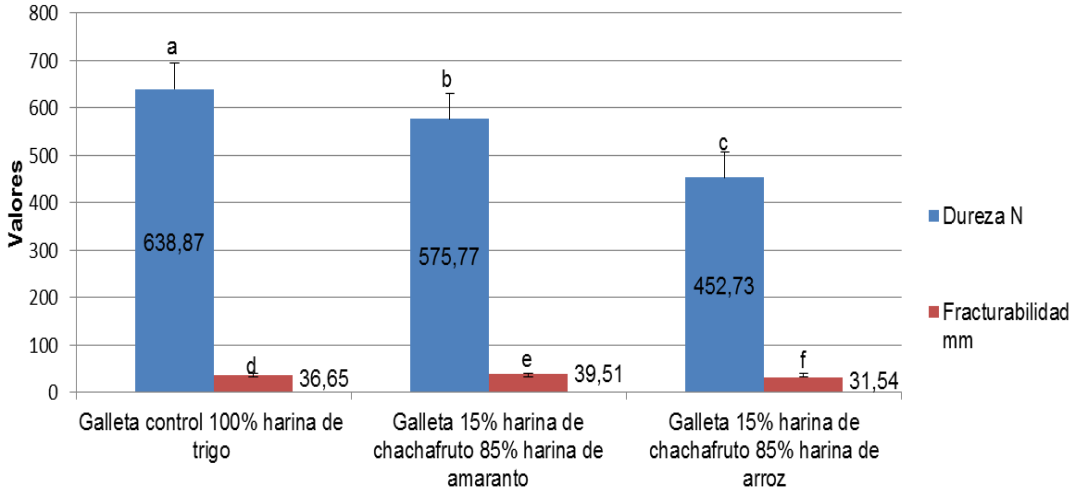
Estos resultados son congruentes con los reportados por Cueto (2011) en su estudio sobre galletas de harina de chachafruto (L* 62, a* 7.1, b* 27.6), ya que, la luminosidad no se ve afectada por la cantidad de harina de chachafruto no hay gran diferencia en la coordenada L* aunque, las galletas de harina de chachafruto muestran coloraciones

amarillas, las galletas elaboradas con las mezclas de harina de amaranto y harina de arroz también presentaron coloración amarilla.

4.7.1 Perfil de textura

En las galletas la textura es una propiedad de calidad importante. En el gráfico 1.5 se observa dureza que es la fuerza para deformar la galleta totalmente la galleta con mayor dureza con 638.87 ± 1.15N fue la galleta control y la galleta de chachafruto y arroz presentó 452.73 ± 0.98N menor dureza. La fracturabilidad es la prueba de quiebre que es el punto en que la galleta empezo a quebraese la primera ruptura fue para la galleta de chachafruto y amaranto con 39.51± 1.42 mm, la de menor fue la galleta de chachafruto y arroz con 31.54 ± 1.55mm, las galletas de harina de trigo presentaron una fracturabilidad 36.65 ± 1.04mm. Es decir que las gallletas de las mezclas poseen una dureza menor, fracturabilidad mayor en la galleta de harina de chachafruto y harina de amaranto y menor en la galleta de chachafruto y arroz. Sin embargo, cabe destacar que la inclusión de harina de chachafruto no aumentó la dureza de la galleta debido a que no contiene gluten por lo tanto la masa no es elástica y las galletas se rompen fácilmente por tensión. (Manley D ,1991)

Gráfico 1.5 Parámetros texturales de las galletas



Letras diferentes representan diferencias significativas (P>0,05)

4.7.2 Propiedades tecnologicas de las galletas durante su almacenamiento

Se analizaron parametros de humedad, actividad del agua y color durante 14 días de almacenamiento debido a que en estas galletas no se utilizaron conservantes. Se realizaron mediciones los días 1,7 y 14. Para estas determinaciones las galletas fueron empacadas en bolsas de polipropileno con ciere hermético guardadas en lugar protejidas de la luz. En la tabla 1.22 se puden ver los parámetros tecnológicos de las galletas durante el almacenamiento.

El contenido de humedad de las galletas para el séptimo día disminuyó 0.01, luego la humedad se mantuvo hasta el día 14.

La actividad del agua de las galletas el primer día estuvo en rangos de (0.38 a 0.35) para las tres galletas, pero al septimo dia dismunuyo 0.01 para la galleta control y la galleta de amaranto y chachafruto, y para la galleta de chachafruto con arroz 0.02.

Los resultados de las propiedades tecnológicas galletas son adecuados para prevenir el daño microbiológico y mantener estables las propiedades nutritivas y sensoriales de las galletas, pues una actividad de agua menor a 0.60 mantiene la estabilidad microbiana. (Maldonado, 2007)

En cuanto al color de las galletas del dia 1 al dia 7 disminuyó la luminosidad en 0.59 para la galleta de chachafruto y amaranto, el dia 14 disminuyó 1.05, también en la galleta de chachafruto y arroz disminuyó 0.56 para el dia 7 y a los 14 dias 0.87 y la galleta control la disminución fue de 0.09 para el séptimo día, pero la disminución fue mayor para el día 14 con 1.42. Este comportamiento podría deberse a las reacciones de Maillard y de caramelización que suceden durante y después del horneado.

Tabla 1.22 Parámetros tecnológicos de las galletas durante el almacenamiento

Parámetros		Galleta control 100% harina de trigo	Galleta con 15% harina de chachafruto 85% harina de amaranto	Galleta con 15% harina de chachafruto 85% harina de arroz
Humedad	Día 1	3.14 ± 0.03de	3.13 ± 0.01de	3.11 ± 0.02de
	Día 7	3.13 ± 0.02de	3.12 ± 0.01de	3.10 ± 0.01de
	Día 14	3.13 ± 0.02de	3.12 ± 0.01de	3.10 ± 0.01de
Actividad de agua	Día 1	0.38± 0.02bc	0.35 ± 0.02bc	0.35 ± 0.02bc
	Día 7	0.37± 0.01bc	0.34 ± 0.01bc	0.33 ± 0.02bc
	Día 14	0.37 ± 0.01bc	0.33 ± 0.01bc	0.33 ± 0.02bc
Color				
L*	Día 1	64.64 ± 0.34g	49.81 ± 2.01ab	65.71 ± 1.78hi
	Día 7	64.55 ± 1.05g	49.22 ± 0.02ab	65.15 ± 0.02hi
	Día 14	63.13 ± 2.01fg	48.17 ± 0.01ab	64.28 ± 0.02hi
a*	Día 1	8.34 ±0.91gh	7.73 ± 1.42fg	6.85 ± 1.41df
	Día 7	9.12 ± 0.99gh	9.01 ± 0.01f	7.52 ± 0.01df
	Día 14	8.09 ± 0.85g	8.02 ± 0.01fg	7.81 ± 0.01df
b*	Día 1	34.31 ±0.05ef	24.11 ± 1.71eg	30.11 ± 0.86ac
	Día 7	34.25 ± 0.02ef	24.07 ± 0.01eg	30.81 ± 0.01ac
	Día 14	34.33 ± 0.02ef	24.42 ± 0.02eg	30.38 ± 0.01ac

Letras iguales en la misma columna representan diferencias significativas ($p < 0.05$)

4.7.3 Análisis sensorial

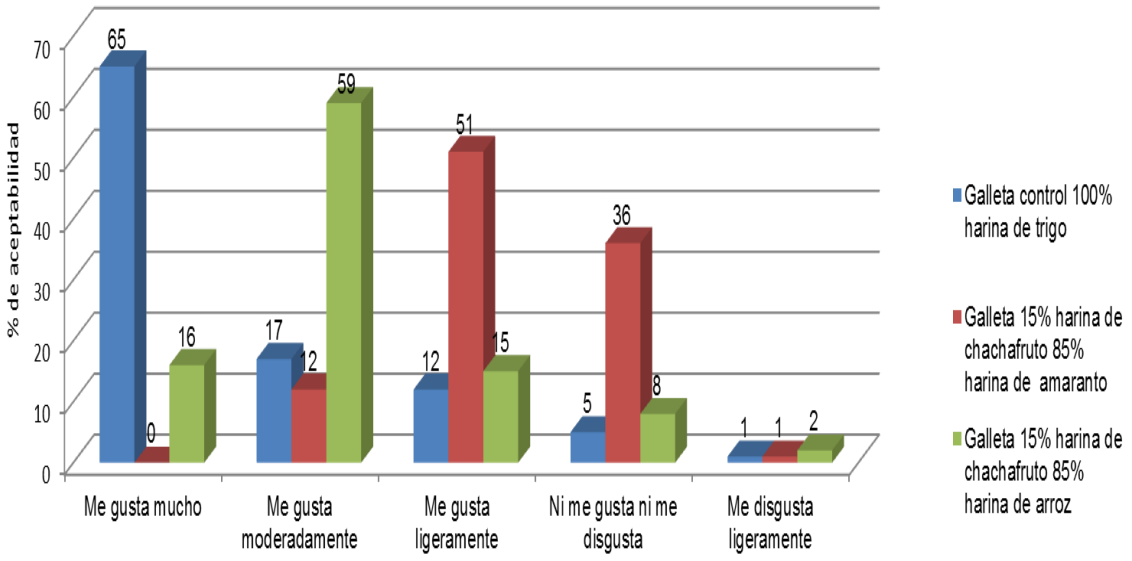
Se realizó un análisis de aceptación sensorial a las galletas, mediante una prueba hedónica de cinco puntos esta prueba se realizó después de 6 horas de elaboradas las galletas. En esta evaluación participaron un total de 100 panelistas no entrenados, hombres y mujeres, consumidores habituales de galletas. A los panelistas se les preguntó sobre la aceptación de los tributos sabor, color y textura.

En el gráfico 1.6 (análisis sensorial de sabor), el porcentaje más alto fue de 65% me gusta mucho para la galleta control, también la galleta de chachafruto y arroz logró un 16%.

El 59% me gusta moderadamente para la galleta de chachafruto y arroz, seguida de la galleta de chachafruto y amaranto con me gusta ligeramente con 51%, como se observa

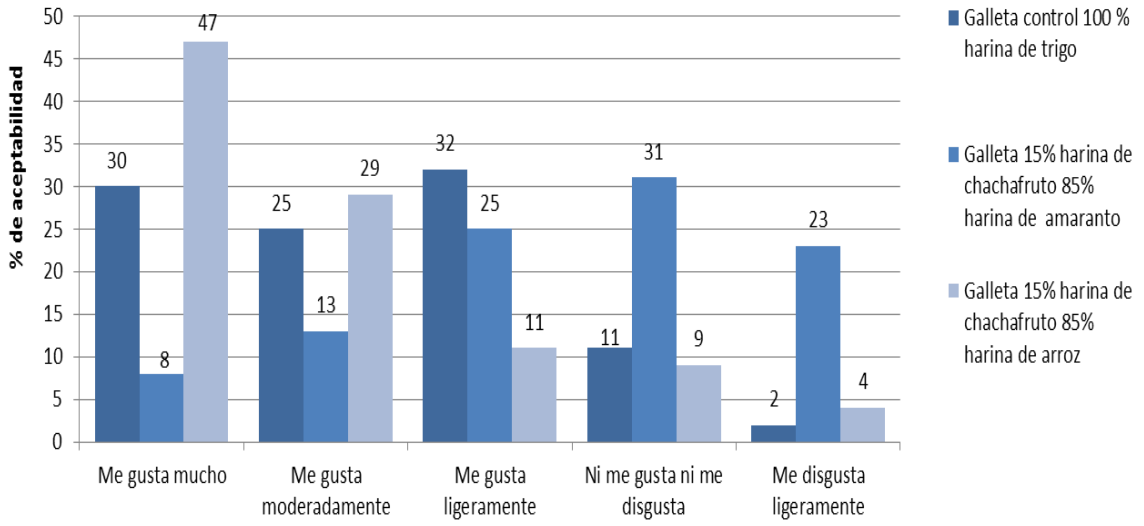
en el gráfico la única calificación negativa fue para las tres galletas con me disgusta ligeramente, el sabor de las galletas agrado a la mayoría de los panelistas.

Gráfico 1.6 Análisis sensorial Sabor



En el análisis sensorial de color gráfico 1.7 muestra que la galleta que más porcentaje de aceptabilidad de color tuvo, fue la galleta de chachafruto y arroz (con me gusta mucho con un 47%), seguida de 30% para la galleta control, a los panelistas le agradó la galleta de color más amarillo, (me gusta ligeramente logró un 32%) para la galleta control, el (31% ni me gusta ni me disgusta) para la galleta de chachafruto y amaranto, la galleta de chachafruto y amaranto (me disgusta ligeramente 23%), esto se debio a que la galleta estaba mas tostada mostrando un color amarillo mas oscuro.

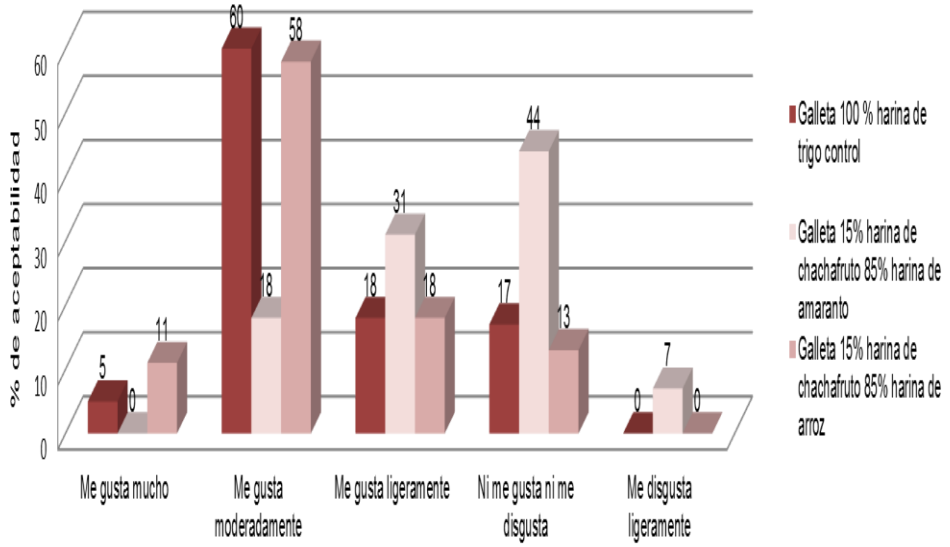
Gráfico 1.7 Análisis sensorial Color



En el gráfico 1.8 se observa el análisis sensorial de textura la galleta control con 60% (me gusta moderadamente) seguida de la galleta de chachafruto y arroz con el 58% y solo al 11% les gustó mucho. Para la galleta de chachafruto y amaranto 44% (ni le gusta ni le disgusta) la textura y al 31% les gusta ligeramente y solo el 7% les disgusta ligeramente.

Adicional a lo anterior la galleta que más les gustó a los panelistas fue la galleta control de harina de trigo pero también les gusto en cuanto a sabor, color y textura fue la de chachafruto y arroz, ya que mantuvo las características sensoriales de estos productos horneados.

Gráfico 1.8 Análisis sensorial Textura



4.8 Ingeniería conceptual

Para la obtención de producto con base en harina de chachafruto.

El producto de panadería a base de harina de chachafruto se encuentra dentro de la

División 10 Elaboración de productos alimenticios

Grupo 108 Elaboración de otros productos alimenticios

Clase 1081 Elaboración de producto de panadería. (DANE CIIU, 2012)

El producto de panadería como las galletas, son productos secos de consumo con diferentes aromas dependiendo de los ingredientes base, con sabores específicos que se ajustan al consumidor, que se emplean para desayunos, onces.

4.8.1 Perfil del cliente

Las galletas las pueden consumir todas las personas que busquen variedad, buena alimentación y específicamente las personas que padecen la enfermedad celiaca ya que no contienen gluten y les aporta valor nutricional a su dieta.

4.8.2 Descripción general

El procedimiento inicia con la obtención de la harina de chachafruto después la mezcla de ingredientes en la mezcladora de acuerdo con la formulación para las galletas obteniendo una masa uniforme y homogénea, la cual despues de un proceso de laminado, cortado, crecimiento, horneado, enfriado y empacado está lista para ser consumido. Por lo tanto, es necesario conocer las actividades que se deben realizar para la elaboración, y los equipos que se requieren.

4.8.3 Capacidad de producción

Con 1 kilogramo de chachafruto son 12 vainas cada una contiene 5 semillas. De modo que un 1 kilogramo de chachafruto son 60 semillas y cada semilla produce en promedio 3.3 gramos de harina. El rendimiento de la harina es del 20% por lo tanto cada kilogramo de chachafruto en semilla ofrece 200 gramos de harina. El costo del kilogramo de chachafruto en semillas es de $1.200. Para 1 libra de harina de chachafruto se utilizan 2.5 kilogramos de semilla de chachafruto. Al año se utilizan 480 kilogramos de semilla para obtener 192 libras de harina.

En la elaboración de las galletas se utilizaron 12 bandejas con área de 38.0 cm por 33.0 cm equivale a 1254 cm^2, las galletas ocuparon un área de una circunferencia de 4 cm de radio que es un área de $A = \pi r^2$ que es igual a $3.1416 * 4^2 = 50.2656\ cm^2$ en cada bandeja caben aproximadamente 36 galletas. En el horno Wunder® por cada 12 a 15 minutos 12 minutos para las galletas de chachafruto y amaranto y 15 minutos para las galletas de chachafruto y arroz se hornean 120 galletas en cada horno con un consumo de potencia que tienen los hornos de 3.4 KW.

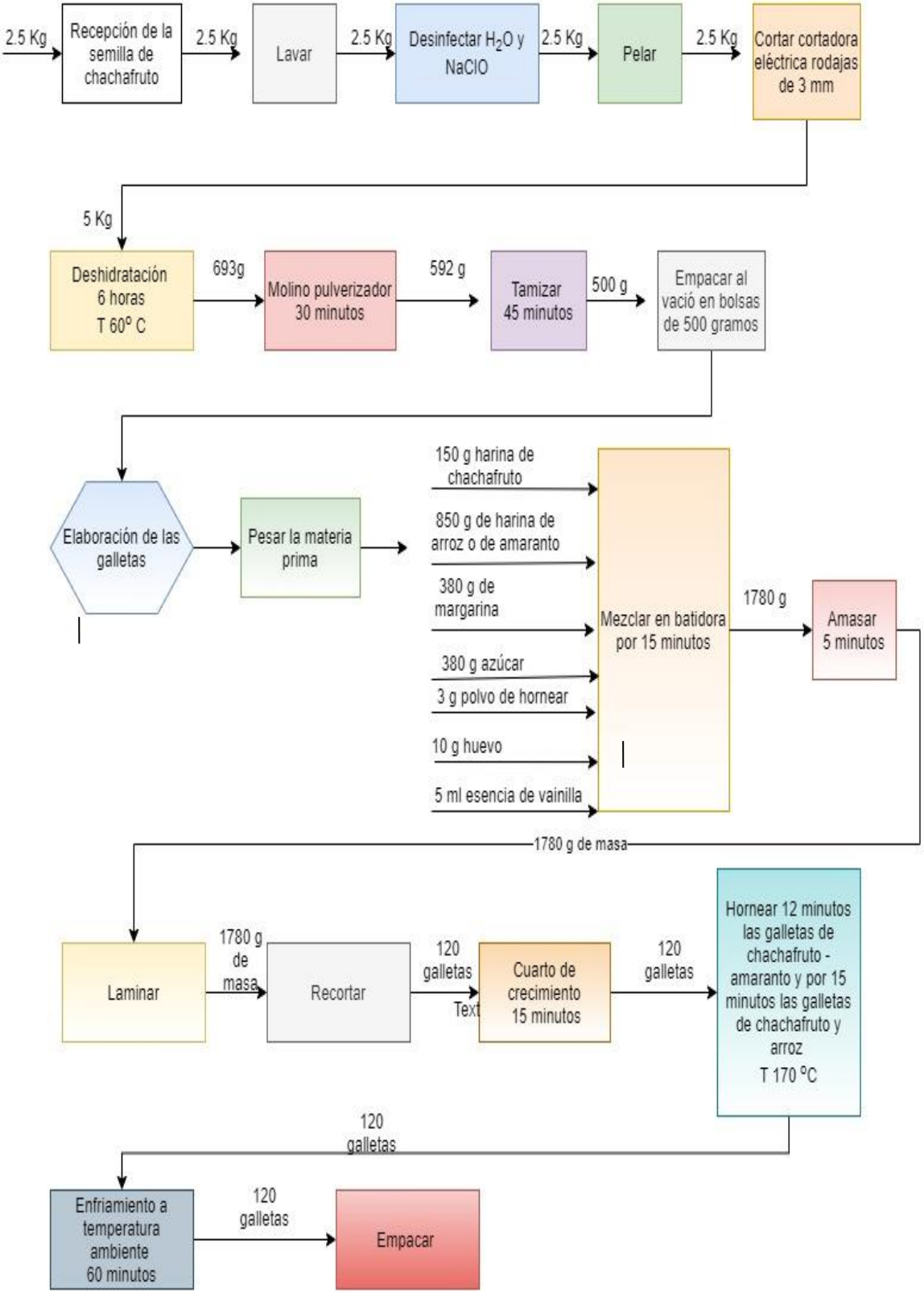
4.8.4 Normatividad

En la elaboración de productos de panadería no hay una ley específica. Sin embargo por ser una actividad donde se elaboran y manipulan alimentos se debe cumplir con el Decreto 3075 de 1997 que establece las BPM (Buenas prácticas de manufactura), normas que aseguran los requerimientos de calidad y seguridad del producto. Decreto 60 de 2002 HACCP (Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control) reconoce peligros y riesgos que afectan la inocuidad de los alimentos esto garantiza que el alimento no cause daño al consumidor. La Resolución 683 de 2012 del Ministerio de Salud y Proteccion Social es el reglamento técnico de los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, equipos que entran en contacto con los alimentos con la Resolución 2674 de 2013 son las condiciones específicas de las áreas de elaboración. Como es un alimento se debe contar con el registro sanitario expedido por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y el Código Sustantivo del Trabajo. (INVIMA, 2013)

4.8.5 Proceso de fabricación

Con los resultados obtenidos en la elaboración y la validación de las condiciones, utilizando harina de chachafruto, harina de arroz se obtuvo la esquematización del proceso de elaboración de harina de chachafruto y galletas de chachafruto y arroz como se observa en la figura 1.13

Figura 1.13 Esquematización del proceso de elaboración de harina de chachafruto y galletas de chachafruto y arroz.



En la elaboración de la harina y las galletas se utilizaron ciertos equipos los cuales como se describe en la Tabla 1.23, cada uno tiene una potencia, rendimiento y costos. La potencia total de los equipos es de 14.94 kW se calculó con la suma de cada potencia de los equipos. Se debe tener en cuenta que no se llega a esta demanda de potencia ya que los equipos trabajan alternos, para la elaboración de la harina de chachafruto se utilizó pelador industrial, cortadora, deshidratador, molino de martillos y la empacadora para un total de potencia de 9.9 kW y para la elaboración de galletas los equipos utilizados fueron la batidora, cuarto de crecimiento, horno eléctrico y la báscula para un total de potencia 5.04 kW. Los equipos que presentan las potencias más altas son la empacadora y el horno eléctrico con capacidad de 60 litros. Como se observa en la tabla y en el anexo 2. El consumo de energía en un dia es 14.94 kWh al mes 179.28 kWh y el valor del kWh $ 519.87 para Bogotá estrato 2 para un total de energía de $ 93.202

Tabla 1.23 Descripción de los equipos

Cantidad	Equipos	Potencia kW	Rendimiento	Costo $
2	Pelador industrial eléctrico	1.5	480 kg/hora	240.000
2	Cortadora	0.7	200 g/minuto	5.000.000
2	Deshidratador	1.2	147 kg/6 horas	1.400.000
2	Molino de martillos	1.5	260 kg/hora	3.400.000
2	Empacadora	4.6	2 bolsa/10 segundos	1.238.000
2	Batidora 2 ciclos	1.2	4 kg/8 minutos	600.000
2	Cuarto de crecimiento	0.44	8064 g/30 minutos	1.700.000
2	Horno eléctrico	3.4	4032 g/12 a 15 minutos	1.896.000
2	Mesa	----------	----------	400.000
2	Báscula 15 kilogramos	0.4	----------	160.000
2	Refrigerador			2.000.000
	Total	14.94	----------	18.034.000

4.8.6 Estudio financiero y económico

Es la rentabilidad económica para la elaboración de galletas libres de gluten, se encuentran las inversiones fijas, que hace referencia a los activos fijos los cuales son utilizados para iniciar operaciones como se observa en la Tabla 1.24 y en el Anexo 3

Tabla 1.24 Muebles y equipos de oficina

Cantidad	Muebles y equipos de oficina	Valor $
1	Escritorio	300.000
2	Sillas	150.000
2	Estantería	180.000
1	Computador	740.000
1	Impresora	230.000
1	Teléfono	80.000
Total		1.680.000

En la tabla 1.25 se observa el total de los costos de equipos, maquinaria y muebles.

Tabla 1.25 Costos de equipos, maquinaria y muebles

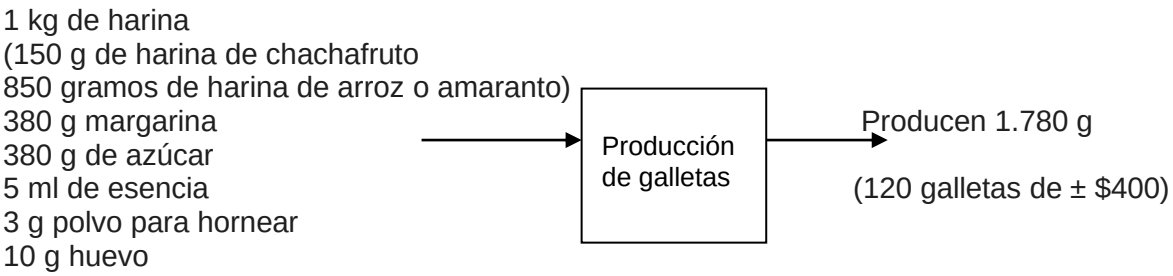
Descripción	Valor $
Equipos y maquinaria	18.034.000
Muebles y equipos de oficina	1.680.000
Total	19.714.000

4.8.6.1 Costos de producción

En la evaluación de los indicadores económicos el principal factor en la elaboración de las galletas es la disminución del costo de la materia prima. El precio promedio de la harina de chachafruto elaborada es de $6.000 libra. Cabe resaltar que el precio en el mercado es de $22.000 para 340 gramos. Así la harina de chachafruto es una oportunidad para elaborar productos de panadería.

Costos de producción de las galletas

En el diagrama a continuación se describen los costos de producción de las galletas



A continuación en la Tabla 1.26 se presentan los costos de materias primas de los ingredientes por libras y la producción de galletas al hornear son 120 galletas por cada horno serian 240 cada 12 a 15 minutos si con los hornos se trabaja cada 8 horas serian 7.680 galletas al día, en el mes solo se trabaja 12 días con el horno para un total de 92.160 galletas al mes y al año serian 1.105.920

Tabla 1.26 Costos de materia prima

Insumos	Costo 240 unidades	7.680 unidades al día	92.160 unidades al mes	1.105.920 unidades anuales
Galletas de Chachafruto y amaranto-arroz				
Semillas de chachafruto kg	3.000	12.000	48.000	576.000
Harina de chachafruto lb	6.000	24.000	96.000	1.152.000
Harina de amaranto o harina de arroz lb	4.000	16.000	64.000	768.000
Azúcar lb	1.200	4.800	19.200	230.400
Huevos	300	1.200	4.800	57.600
Esencia	1.500	6.000	24.000	288.000
Margarina lb	3.000	12.000	48.000	576.000
Polvo de hornear	3.000	12.000	48.000	576.000
Costo total	**22.000**	**88.000**	**352.000**	**4.224.000**

El precio de venta se determinó con los precios existentes para el mismo producto y aplicando la siguiente formula

$$P.V_{(\text{Precio de venta})} = \frac{400\ (\text{Costo unitario total})}{1 - 20\%\ (\%\ \text{Margen de contribución})} = \frac{400}{0.80} = 500 \text{ precio de venta}$$

La ganancia de utilidad bruta es el precio en el mercado menos el costo de producción nos da la ganancia de utilidad bruta

$ 120.000 - $22.000 = $ 98.000. Los costos de producción se recuperan con la venta del producto. Delgado, T (2013).

4.8.6.2 Mano de obra

Tres mujeres cabeza de hogar de la localidad de Tunjuelito en Bogotá con un contrato de prestación de servicios trabajan 8 horas al día el cual se les paga a $ 83.300 el día, esta mujeres solo trabajan 3 días a la semana $ 250.000 al mes $ 3.000.000 al año por les tres $ 36.000.000

4.8.6.3 Servicios y gastos

En la Tabla 1.27 se presentan los servicios y gastos los valores de consumo se establecieron según la ubicación en este caso en la ciudad de Bogotá en el estrato 2 los valores son para el año 2019, donde el costo de m^3 de agua es de $2.610, energía el valor unitario kWh $524.19.

Tabla 1.27 Servicios y gastos

Servicio	Costo mensual $	Costo anual $
Agua potable	100.000	1.200.000
Energia eléctrica	93.400	1.120.800
Internet	60.000	720.000
Teléfono	40.000	480.000
Arriendo	400.000	4.800.000
Publicidad	300.000	3.600.000
Servicios de aseo y limpieza	400.000	4.800.000
Imprevistos	2.000.000	24.000.000
Total	3.393.400	40.720.800

La inversión inicial del proyecto está alrededor de $ 100.658.800 obtenida de las anteriores etapas de la ingeniería como el costo total de (equipo, maquinaria y muebles), costo de la materia prima, mano de obra y servicios, gastos todos estos valores anuales, al empezar el proyecto se necesita la inversión en el año 0 debido a que no se ha empezado a vender las galletas, en los siguientes años los ingresos por la venta de galletas al año se producen 1.105.920 unidades y el valor unitario es de $500, al segundo año es de $510, al tercer año de $510, cuarto año $490, quinto año $500 y sexto año $510 como se observa en la tabla 1.28

Tabla 1.28 Inversión

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Ingresos Ventas de las galletas		552.960.000	564.019.200	564.019.200	541.900.800	552.960.000	564.019.200
Total ingresos	0	552.960.000	564.019.200	564.019.200	541.900.800	552.960.000	564.019.200
Inversión	-100.658.800						
Gastos	0	-80.944.800	-80.944.800	-80.944.800	-80.944.800	-80.944.800	-80.944.800
Total egresos	-100.658.800	-80.944.800	-80.944.800	-80.944.800	-80.944.800	-80.944.800	-80.944.800
Flujo de caja económico	-100.658.800	472.015.200	483.074.400	483.074.400	460.956.000	472.015.200	483.074.400

Tabla 1.29 índices económicos

Tasa	30%
VA	$1.257.413.012,86
Inversión	-100.658.800
VPN	$1.241.371.390,71
TIR	471%
B/C	12.49

Como se observa en la tabla 1.29 el total de **VPN** es de $ 1.241.371.390 el cual es un valor positivo por lo cual indica que es viable realizar la inversión del proyecto ya que, favorece económicamente la inversión. El beneficio costo es adecuado porque por cada peso invertido se gana 12.4

La Tasa Interna de Retorno es lo que se gana por haber invertido sus recursos en el proyecto es de 471% ya que excede el rendimiento requerido por lo tanto el proyecto es rentable y apropiado porque los ingresos que se obtendrán son adecuados para los costos financieros de la empresa.

Además se ayuda al medio ambiente porque se recolecta los residuos orgánicos los cuales son utilizados para compostaje de las plantas de chachafruto.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Este estudio demostró que la utilización de 15% harina de chachafruto y el 85% harinas de otras fuentes como amaranto y arroz sirven para la elaboración de galletas libres de gluten ya que mostraron valores nutricionales altos como 9 % proteína, 2 % cenizas, 80% carbohidratos totales, además el índice de solubilidad con un rango entre 20 al 24 % lo que mejoro la hidratación de la masas. Sin embargo, la adición de la harina de chachafruto cambió considerablemente algunos parámetros de las mezclas como proteínas y cenizas, ya que esta harina puede ser utilizada efectivamente como reemplazante de la harina de trigo, debido a que los resultados obtenidos muestran que las mezclas con otras harinas libres de gluten como la harina de amaranto, harina de arroz, favorecen la fabricación de galletas, el reemplazo total de la harina de trigo, por harinas sin gluten demostraron que las galletas, elaboradas con la mezcla de harinas libres de gluten, muestran características tecnológicas similares a las galletas de harina de trigo en cuanto a color y textura.

Considerando las características fisicoquímicas de la harina de chachafruto se evaluó la mezcla con harina de amaranto, harina de arroz en los siguientes niveles de sustitución 15, 20 y 30% de harina de chachafruto y 85%, 80%,70% de harina de amaranto y harina de arroz para las cuales se decidió trabajar con 15% harina de chachafruto y 85% harina de amaranto y harina de arroz ya que estas mezclas cumplieron con las condiciones tecnológicas para la elaboración de galletas sin gluten, presentando una absorción de agua y amasado indicado para galletas el cual fue de 1 a 2 las cuales fueron comparadas con galletas con gluten.

Se analizaron algunas propiedades de las galletas durante 14 días de almacenamiento.
Los parámetros de humedad y actividad de agua, no mostraron diferencias significativas, el primer día la humedad para la galleta control 3.14±0.03%, galleta chachafruto y amaranto 3.13 ± 0.01% y galleta de chachafruto y arroz 3.11± 0.02%, para los días 7 disminuyeron respectivamente 0.01% y para el día 14 la humedad no cambio.
La actividad del agua disminuyo solo 0.01% para la galleta control y 0.02% para las galletas de chachafruto y arroz, aunque no se encontraron efectos significativos sobre el contenido de humedad y actividad de agua de las galletas, en comparación con el día 1.

En vista de lo evaluado en las galletas se ha demostrado de manera clara que combinar la harina de chachafruto con harina de amaranto o harina de arroz iguala las propiedades tecnológicas de las galletas elaboradas con gluten.

Además el análisis sensorial indicó que los panelistas prefieren la galleta de chachafruto y arroz, la cual obtuvo un porcentaje de aceptación alto. Asi mismo, el resultado de las características tecnológicas de las masas y de las galletas, señalan que se puede elaborar productos de panadería libres de gluten sin afectar propiedades significativamente las propiedades fisicoquímicas y sensoriales, comparadas con las galletas con gluten.

En resumen, la harina de chachafruto analizada posee un potencial alto en procesos de panificación, en el marco de factores nutricionales como el contenido de proteína y de fuente de energía con altas cantidades de carbohidratos. Las mezclas de harinas evaluadas presentaron un comportamiento tecnológico satisfactorio en la elaboración de galletas sin gluten.

La creación de empresa productora y comercializadora de galletas de chachafruto es factible al ser realizable desde el punto de vista técnico, necesario desde una óptica de mercado insatisfecho y tanto viable como rentable al mirarlo desde la perspectiva financiera es viable realizar la inversión del proyecto ya que, favorece económicamente la inversión. El beneficio costo es adecuado porque por cada peso invertido se gana 12.1. Demostrando que no solo la harina de trigo puede ser utilizada en panadería, sino también aprovechar los recursos agrícolas de Colombia como el chachafruto.

5.1 Recomendaciones

En esta tesis se demostró que reemplazar la harina de trigo por harina de chachafruto, harina de arroz o amaranto iguala las características tecnológicas y sensoriales de un producto de panadería como la galleta. Los resultados preliminares obtenidos en este estudio, constituyen una base para direccionar proyectos en la búsqueda de nuevas materias primas y de nuevos productos en la industria de los cereales y la panificación, dando a conocer características de materiales poco utilizados en esta área en el sector

panadero colombiano y así motivar al empresario a innovar en el diseño, formulación de productos y procesos, Se deben realizar más investigaciones en la harina de chachafruto para igualar otro productos de panadería como el hojaldre o el pan, para ofrecer al consumidor productos saludables, funcionales y sobre todo sostenibles.

Bibliografía

Acero, L. (2002) Guía para el cultivo y aprovechamiento del Chachafruto o Balú: Erytrina edulis. Ed. ICA. Convenio Andrés Bello.

Angioloni A, Collar C. (2009). Comportamiento viscoelástico de pequeñas y grandes deformaciones de mezclas de fibras seleccionadas con propiedades gelificantes. Hidrocoloides para alimentos. Vol. 23, 742-748

Aleixandre, J. L. (1996). Procesos de Elaboración de Alimentos. Ed. U.P.V., Valencia.

Álvarez, A. (2012). Utilización de mejoradores en la harina de trigo nacional (Triticum aestivum) para la elaboración de pan. Recuperado el (15 de junio de 2013), del repositorio Digital UTA. Universidad Técnica de Ambato, de: http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/3091

Almeida, C. (2006). Composición química, fibra dietética y contenido de almidón resistente de guisantes crudos y cocidos, judías comunes, garbanzos y legumbres de lentejas, Química de los alimentos vol. 94, pp 327-330.

Alvis, A. (2011). Determinación de las propiedades texturales de las tabletas de chocolate mediante técnicas instrumentales. Información Tecnológica, 22, 3: 11-18.

Añon, M. (2001) citado en Rivera, M. (2006). Obtención, caracterización estructural y determinación de las propiedades funcionales de un aislado proteico de quinua orgánica. Recuperado el 27 de mayo de 2018 de http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105605

AOAC (2012). AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International. Gaithersburg, Maryland, USA.

Aristizabal, J. (2007). Guía técnica para la producción y análisis del almidón de yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Pp 49-50.

Ausina, A (1994). Enfermedad celiaca latente. Una realidad clínica. An Esp Pediatr 40(6):449-52.

Barrera N. (1994). Chachafruto: Pasado, Presente y Futuro. 3rd ed. Colombia: Universidad Nacional de Colombia

Barrera N. (1999) .Nuevas investigaciones para un adecuado manejo del chachafruto (Erythrina edulis): especie para la alimentación del hombre y de los animales domésticos VI Seminario Internacional sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. Cipav, Buga.

Barrera, N y Mejia, M. (1999)."Caracterización Y Producción De Semillas De Algunos Recursos Promisorios De Ladera: Chachafruto, Erythrina edulis; Cidra papa, Sechium edule; Victoria, Cucurbita ficifolia.

Bennion E., (1969). “Fabricación de pan” 4ta Edición, Editorial Acribia Zaragoza-España, Pp. 9-105.

Bernacer, J. (2009). Guía de ayuda para el autocontrol en panaderías y pastelerías artesanales. Gobierno del Principado de Asturias. pp. 4-154.

Bourgeois, C. (1995). Microbiología Alimentaria II: Fermentaciones Alimentarias. Ed. Acribia, Zaragoza.

Calero, P. (1996). IgA antigliadin antibodies as a screening method for nonovert celiac disease in children with insulin-dependent diabetes mellitus. J Pediatr Gastroenterol Nutr 23:29- 33.

Calvel, R. (1983). La Panadería Moderna. Ed. AméricaLee, Buenos Aires.

Callejo, M. J. (2002). Industrias de Cereales y Derivados. Ed. AMV-Mundi-Prensa, Madrid.

Castañeda, Y. (2014). “Evaluación de harinas de Chachafruto (Erythrina edulis) y Quinua (Chenopodium Quinoa W) como extensores en el proceso de elaboración de salchichas tipo Frankfurt”: Universidad Nacional de Colombia.

Catassi C, (1994). Coeliac disease in the year: exploring the iceberg. Lancet; 343:200.

Cauvain A., Young L., 1998, “Fabricación de pan” Editorial Acribia S.A, Zaragoza-España, Pp. 16

Chel, G, (2006). Propiedades fisicoquímicas de almidones de leguminosas tropicales, experiencia de México, En: Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos, Proyecto Cyted XI.18. 519-547, Editora da Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil.

Ciacco, C. (2001). Almidón resistente. En: Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud. 129-142, Varela Editora, Sao Paulo, Brasil.

Clair, L. (2009). Mixolab manejo de análisis de resultados. Chopin Technologies. Buenos Aires.

Crockett, R. (2011). ¿Cómo afectan individualmente el xantano y la hidroxipropilmetilcelulosa a las propiedades fisicoquímicas de una masa modelo sin gluten? Journal of Food Science, 76(3), E274-82. Doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02088.x

Coral, F. D., et al. (2007). "Evaluation of a carbohydrate-based fatreplacer in a fat-reduced baking powder biscuit." Journal of Food Quality 20(3): 247-256.

Coral, P (2009). Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcálino. Flours, Journal of Physic, volumen 7, número 14. pp 139.

Cueto, D., Pérez, E., Borneo, R., & Ribotta, P. (2011). Efecto de la adición de harina de chachafruto (Manihot esculenta Crantz) sobre las características sensoriales, reológicas y físicas de las galletas y panquecas. *Rev. Fac. Agron*, *37*(2), 64–74.

DANE (2012). Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas CIIU Revision 4 adaptada para Colombia.

De la Hera, E., Martínez, M., Oliete, B., & Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes. Food and Bioprocess Technology, 6, 2280–2288. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0922-6

Delgado, T. (2013). Como calcular el precio de venta dado el costo y el margen deseado. Gerencie.comhttps://manueldelgado.com/como-calcular-el-precio-de-venta-coste-margen/

Dieterich W, (1997). Identification of tissue transglutaminase as the autoantigen of celiac disease. Nat Med 3:797-801.

Dufor, L. (2009). Guía para el cultivo y aprovechamiento del Chachafruto o Balú (Erythrina edulis) Triana ex Micheli.

Dumar, V (2012). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y el almidón de chachafruto. Revista Ingenium pág. 16 – 32.

Englyst, H. (1992). Classification and measurement nutritionally important starch fractions. Eur. Clin. Nutri, (46), 33-50.

ENSIN (2011). Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia ENSIN 2010. M. d. P. Social. Esteller, M. S., et al. (2004). " Efecto del azúcar y de los sustitutos de grasas en la textura de los productos horneados." Journal of Texture Studies 35(4): 383-393. FDA (2011). GRAS NOTICE (MUSHROOM BETA GLUCAN) 000413: 30.

Eliasson, A. (1993). Cereales en la panificación: Un enfoque molecular coloidal: A Molecular Colloidal Approach. Ed. Marcel Dekker, New York.

Escarpa, A. (1996). Formación de almidón resistente: Estandarización de un proceso de autoclave de alta presión. Química Agrícola y Alimentaria, (44), 924-928.

Euromonitor International. (2014). La reacción del azúcar y sus efectos en los mercados de consumo mundiales. Recuperado 22 de febrero de 2016, a partir de

http://www.euromonitor.com/the-sugar-backlash-and-its-effects-on-global-consumer-markets/report

Escobar, B., A. Estévez y M. Guiñe. (2000). Almacenamiento de barras de cereales elaboradas con cotiledones de algarrobo (Prosopis chilensis (Mol) Stuntz). Arch. Latinoam. Nutr. 50(2): 152-156.

Espitia, R. (2018). Aprovechamiento del chachafruto (Erythrina edulis) en la obtención de bebidas fermentadas y alimentos complementarios Ed. Montagud, Barcelona.

Espinoza (2018). “Análisis químico proximal de granos y harina de “Pajuro” (Erythrina edulis) y elaboración de una bebida proteica con sabor a chocolate” México, Fondo de Cultura Económica.

FAO, C. (2014). Hoja de balance de alimentos Colombia. p. 50.

FAO. (2015). Legumbres semillas nutritivas para un futuro sostenible. Pág. 12

Franco, M. (2006). Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos. Almidón: definicion, estructura y propiedades. Capítulo 4 Hinchamiento .pág. 35

Gal, N (2014). Datos sobre los carbohidratos. IFAS Ext 3.

Guerrero, A. (2015). Funciones y metabolismo de los nutrientes. Food nutrition and metabolism. p. 19–52 y 46-47

Guinet, R. (1996). La Panificación. Ed. Montagud, Barcelona.

Gómez, M., Ruiz-París, E., & Oliete, B. (2012). Influencia de las corrientes de molinos harineros en la calidad de la torta. International Journal of Food Science and Technology, 45, 1794–1800. https:// doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02338.x

Gómez, M., & Aguilera, J. (1984). A physicochemical model for extrusion of starch. *Journal of Food Science, 49* (1), 40-43.

Henao, S. (2004). Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación. Trabajo de grado de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de p 154. Ingeniería. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Palmira, Valle del Cauca

Holm J, Bjorck I, Drews A, Asp N-G (1986). Un método rápido para el análisis de almidón. 38:224-226

Holmes, G. (1989).Malignancy in coeliac disease- effect of a gluten free diet. Gut 30:333-8.

Humanes, J. (1994). Pastelería y Panadería. Ed. McGraw- Hill Interamericana, Madrid.

ICONTEC. Norma técnica Colombiana 1363 (2005). Requisitos Generales, disponible en: https://es.calameo.com/books/000974658ee2921422c97

Inciarte, I. (2015). Presencia del chachafruto (Erythrina edulis Triana ex Micheli) en el estado Mérida, Venezuela

INVIMA (2013). Decretos y Normas

http://normograma.invima.gov.co/normograma/docs/arbol/8089.htm

Isasa M, Marqués CD. (1999).Legumbres. In Santos Dd, editor. Tratado de Nutrición. Madrid; p. 425-430.

Han, L. (2013). Los efectos del gluten de trigo vital y de la transglutaminasa en las propiedades termomecánicas y reológicas dinámicas de la masa de alforfón, 561–569.

Jaff, S. (2012). Handbook of fat replacers. New York

Kaplan, S, Porter. (2006). El buen pan ha vuelto: Una historia contemporánea del pan francés, su elaboración y las personas que lo elaboran, primera edición (en inglés), Duke University Press.

Kumar, H. (2010). Development and evaluation of a beta-glucan biopolymer formulation of lactoferrin produced using a novel cryomilling technique, ResearchSpace@ Auckland

Lascano, A. (2010). Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales: cebada (Hordeum Vulgare), maiz (Zea mays), quinua (Chenopodium quínoa), trigo (triticum vulgare) y tubérculo: papa (Solanum tuberosum) nacionales con trigo (Triticum vulgare) importado para orientar su uso en la elaboración de pan y pastas alimenticias. Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Repositorio electrónico UTA. Recuperado el 20 de mayo de 2019 de http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/867

Lagomersino, A., 2011, “Amilasas” disponible en http://www.lagomarsino.com.ar/es/institucional/articulosector.php?ID=294, obtenido el 19/04/2019.

Lindeboom N, Chang PR, Tyler RT. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. Starch, 56(3-4): 89-99.

Lörinczy, D. (2004). The Nature of Biological Systems as Revealed by Thermal Methods. Netherlands. Nestec Kluwer Academic Publishers. pág. 69– 98.

Lucas, J. (2010).Caracterización físico-química y evaluación de las curvas de empastamiento de tres variedades de plátano: Hartón (Musa AAB), Cubano Blanco (Musa AAB), Cachaco (Musa ABB). p 412.

Macias, C. (2013). The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. Food Chemestry. p. 1063-1068.

Magaña, E.B., B. Ramírez. (2009). Caracterización viscoelástica de masas de variedades de trigos suaves. Tecnol. Cienc. Ed. (IMIQ) 24(1), 12-22

Maldonado, R. y E. Pacheco. 2000. Elaboración de galletas con una mezcla de harina de trigo y de plátano verde. Arch. Latinoam. Nutr. 50(4):387-393.

Manley, D. (1991). Clasificación de las galletas. En Tecnología Gelatinización del trigo almidón en presencia de sacarosa de Galletas, Galletas saladas y Galletas".

2nd edn., Ellis Hor- and sodium chloride: Correlation between gelatinization wood, Chichester pp 231–23.

Montoya, (2012). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico, disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914131

Nielsen, (2003). Manual de análisis de laboratorio para alimentos; Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

OMS. (2017). "Alimentación sana." Geneva: World Health Organization; 2017.

Ospina, B. (2005. Desarrollo de una harina precocida de yuca para la elaboración de masas preformadas tipo croqueta. Cuarto Informe de avance (Comunicación Interna). Cali: Consorcio Latinoamericano CLAYUCA-Universidad del Valle.

Ovalle, J (2005) Obtención y caracterización fisicoquímica del almidón de la semilla de chachafruto. Tesis de grado Universidad Nacional de Colombia.

Papadima, S. (1999). Efecto del nivel de grasa y de las condiciones de almacenamiento en las características de calidad de los embutidos griegos tradicionales. Science 51(2): 103-113.

Quintero. (2012). " Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto. Ingenium facultad de Ingeniería: p16-31

Rao, M. B., Tanksale, A. M., Ghatge, M. S., & Deshpande, V. V. (1998). Molecular and biotechnological aspects of microbial proteases. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 62, 597-635.

Rodríguez, J. (1996). Fibra dietética: propiedades funcionales y procesos tecnológicos. En: II Curso Internacional de fibra dietaría almidón resistente. Santa Fe de Bogotá.

Rodríguez, E. (2012). “Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quínoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas”. Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient. Volumen 15: pp 199 - 207

Salvador B, D. (2006). Química de los Alimentos. Cuarta edición. México, Pearson Educación.

Sandoval, G., Álvarez, M., Paredes, M., & Lascano, A. (2012). Estudio reológico de las mezclas de harinas: trigo (Triticum vulgare), cebada (Hordeum vulgare) y papas (Solanum tuberosum) para la utilización en la elaboración de pan. Scientia Agropecuaria, 2, 123-131.

Smith. (1976). Brewings Science, Technology and print, 1700-1880. First published by pickering and chatto publishers limited. ISBN 13:978-1-84893-423-8.

Singh, P., Kumar, R., Sabapathy S.N & Bawa, A.S. 2008. Functional and edible uses of soy protein products. Comprehensive reviews in food science and food safety.

Sowmya, M., et al. (2009). " Efecto de la sustitución de la grasa por aceite de sésamo y aditivos sobre las características reológicas, microestructurales, de calidad y el perfil de ácidos grasos de las tortas." Food Hydrocolloids 23(7): 1827-1836.

Trappey, E. (2015). Efecto de la composición de la harina de sorgo y del tamaño de las partículas en las propiedades de calidad del pan sin gluten. Food Science and Technology International, 21(3), 188–202.

Surco, J. (2010). "Harinas compuestas de sorgo-trigo para panificación". Revista Boliviana de Química. Volumen 27, pp. 19-27.

Tharanathan R. (2003) Grain legumes: a boom in human nutrition. Trends in Food Science and Technology. 14: p. 507-518.

Tejero, F. (2003). *Aprender a hacer pan es fácil* (Montagud E). Barcelona: Montagud Editores. http://doi.org/84-7212-089-9

Toaquiza, A. (2011), “Evaluación del efecto de enzimas (gluco-oxidasas, hemicelulasas) y emulsificante (esteaoril lactilato de sodio) en la calidad de pan elaborado con sustitución parcial de harina de trigo nacional (*Triticum vulgare*) variedad Cojitambo”, Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Pág. 20.

Torres. (2015) Evaluación instrumental de los parámetros de textura de galletas de limón. Revista vector pág. 14-25.

Trujillo (1998). Investigaciones recientes sobre amaranto. Universidad Nacional Autónoma de México. México: 1988 [libro electrónico] [consultado 2 de Marzo 2016]. Disponible en: https://books.google.com.ar/books?id=GzAX_GN7HbwC&pg=PA11&dq=amaranto&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwil4daUouTMAhVKHJAKHbeMDdgQ6AEIHjAB#v=onepage&q=amaranto&f=false

Umaña. (2013). Caracterización de harinas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten. Universidad de Antioquia.

Vaclavik, E. (2002). Fundamentos de ciencia de alimentos. Acribia, Pp 485

Valencia, F. (2006). Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaría. Vitae, revista de la facultad de química farmacéutica volumen 13. pp. 54-60.

Valencia FE, Román MO. (2004). La fibra dietaría como alimento funcional. Vitae; 11(2):12-7.

Vargas, S. (2016). Historia de los Alimentos, Primera Edición. Editorial Blackwell. Nueva York página 824. http://cocina.lapipadelindio.com/gastronomia/tipos-variedades-pan

Wurzburg, B (1986). Forty years of industrial starch research. Cereal Food world 31: 897-903

Anexo 1
Equipo Mixolab Profiler

MIXOLAB

CHOPIN Technologies
20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
Z.I. DU VAL DE SEINE
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

Harina externa-MEZCLA DE HARINA DE CHACHAFRUTO Y ARROZ

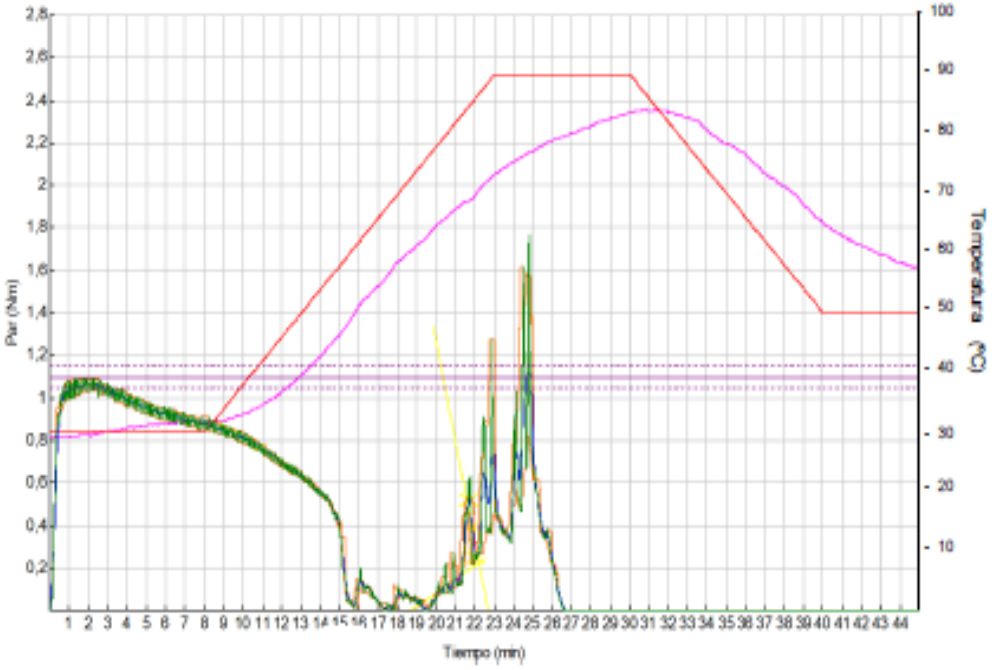
Fecha : 12/04/2019 **Hora :** 11:28
Muestra : 001
Hidratación : 55,0 % base 14% (b14)
Contenido de 10,9 %
Indice: 2-20-101

Metódica : Chopin+
Peso de la 75,0
Temperatura del 30,0 °C
Velocidad de amasado 80 rpm

α :	-0,056	Nm/min
β :	0,064	Nm/min
γ :	-0,470	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1,95	1,06	29,6	0,06	5,82
C2	19,45		62,6		
C3	21,67	0,52	68,8		
C4	22,03	0,25	69,9		
C5	45,02		57,4		

30% HARINA DE CHACHAFRUTO 70% HARINA DE ARROZ
FECHA DE PRODUCCIÓN:MARZO DE 2019



Harina externa Amasado 1/2 Nº de aparato : 318 Versión3.20+3.10

MIXOLAB

CHOPIN Technologies
20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
Z.I. DU VAL DE SEINE
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

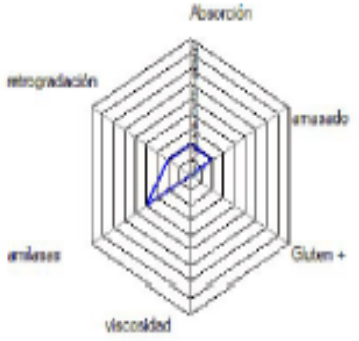
Harina externa-MEZCLA DE HARINA DE CHACHAFRUTO Y ARROZ''

Fecha : 12/04/2019 **Hora :** 14:06
Muestra : 003
Hidratación : 55,0 % base 14% (b14)
Contenido de 11,3 %
Indice: 2-20-042

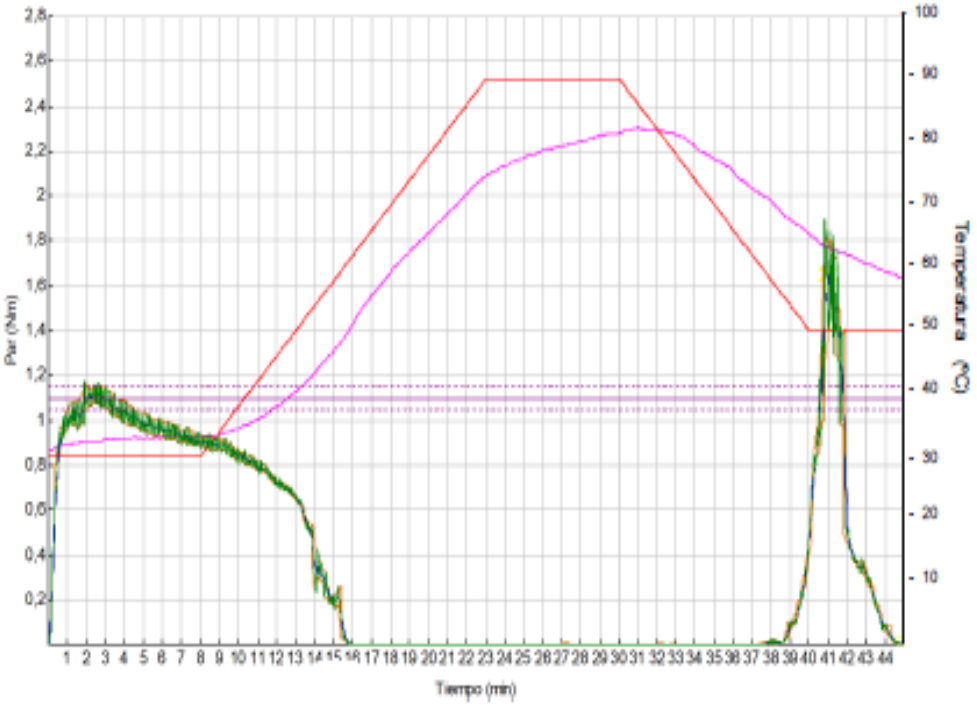
Metódica : Chopin+
Peso de la 75,0
Temperatura del 30,0 °C
Velocidad de amasado 60 rpm

α :	-0,020	Nm/min
β :	0,000	Nm/min
γ :	0,000	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	2,55	1,12	32,4	0,07	5,20
C2	16,05		51,3		
C3	40,98	1,65	63,3		
C4	30,00		81,4		
C5	45,03	0,01	58,1		



20% DE HARINA DE CHACHAFRUTO 80% HARINA DE ARROZ
FECHA DE PRODUCCIÓN: MARZO DE 2019



Harina externa Amasado 1/2 Nº de aparato : 318 Versión3.20+3.10

MIXOLAB

CHOPIN Technologies
20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
Z.I. DU VAL DE SEINE
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

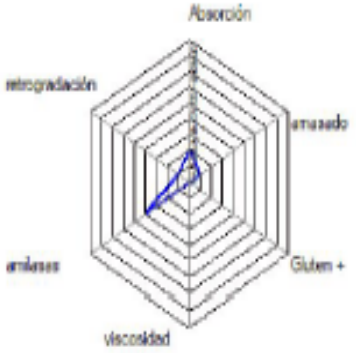
Harina externa-MEZCLA DE HARINA DE CHACHAFRUTO Y ARROZ'

Fecha : 12/04/2019 **Hora :** 13:06
Muestra : 002
Hidratación : 55,0 % base 14% (b14)
Contenido de 11,3 %
Indice: 2-10-041

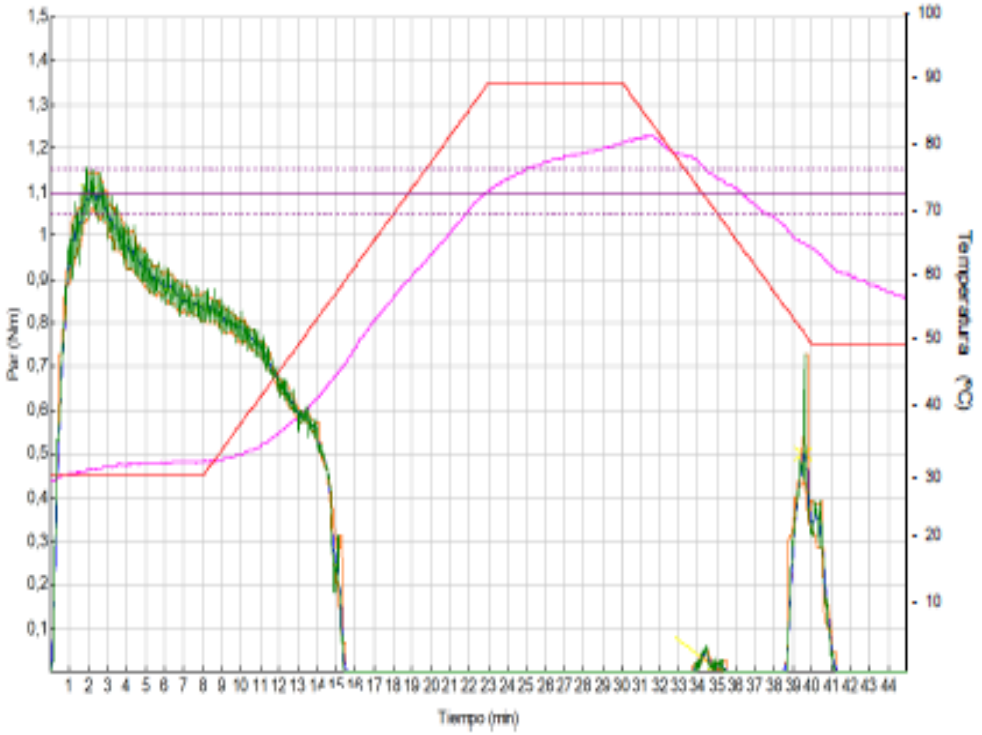
Metódica : Chopin+
Peso de la 75,0
Temperatura del 30,0 °C
Velocidad de amasado 60 rpm

α :	-0,022	Nm/min
β :	0,000	Nm/min
γ :	-0,034	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	2,08	1,10	30,8	0,09	3,47
C2	15,58		47,6		
C3	39,53	0,50	65,5		
C4	30,00		80,8		
C5	45,02		57,1		



15% HARINA DE CHACHAFRUTO 85% HARINA DE ARROZ
FECHA DE PRODUCCIÓN: MARZO DE 2019



Harina externa Amasado 1/2 Nº de aparato : 318 Versión3.20+3.10

MIXOLAB

CHOPIN Technologies
20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
Z.I. DU VAL DE SEINE
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

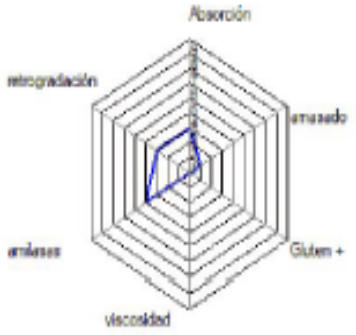
Harina externa-MEZCLA DE HARINA DE CHACHAFRUTO Y AMARANTO´´

Fecha : 12/04/2019 **Hora :** 15:30
Muestra : 004
Hidratación : 56,5 % base 14% (b14)
Contenido de 10,7 %
Indice: 3-10-043

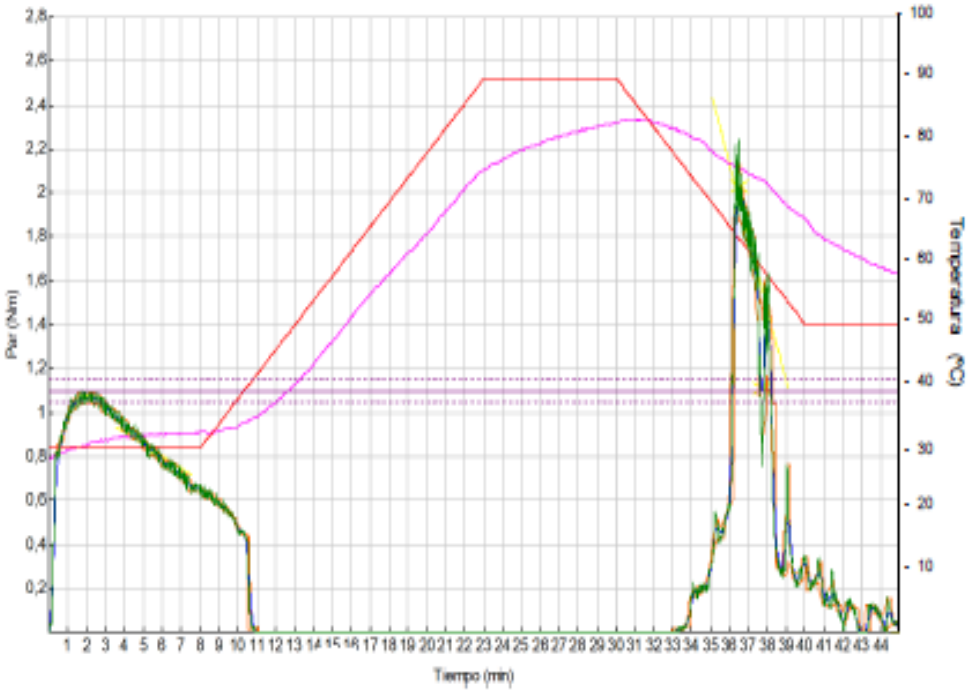
Metódica : Chopin+
Peso de la 75,0
Temperatura del 30,0 °C
Velocidad de amasado 80 rpm

α :	-0,054	Nm/min
β :	0,000	Nm/min
γ :	-0,330	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1,90	1,07	30,4	0,06	3,32
C2	11,08		35,3		
C3	36,52	2,03	75,4		
C4	37,70	1,11	73,6		
C5	45,02	0,02	58,1		



15% HARINA DE CHACHAFRUTO 85% HARINA DE AMARANTO
FECHA DE PRODUCCIÓN: MARZO DE 2019



Harina externa Amasado 1/2 Nº de aparato : 318 Versión3.20+3.10

MIXOLAB

CHOPIN Technologies
20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
Z.I. DU VAL DE SEINE
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

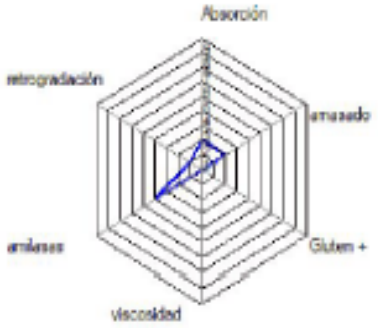
Harina externa-MEZCLA DE HARINA DE CHACHAFRUTO Y AMARANTO´

Fecha : 15/04/2019 **Hora :** 08:29
Muestra : 005
Hidratación : 55,0 % base 14% (b14)
Contenido de 10,8 %
Indice: 2-20-041

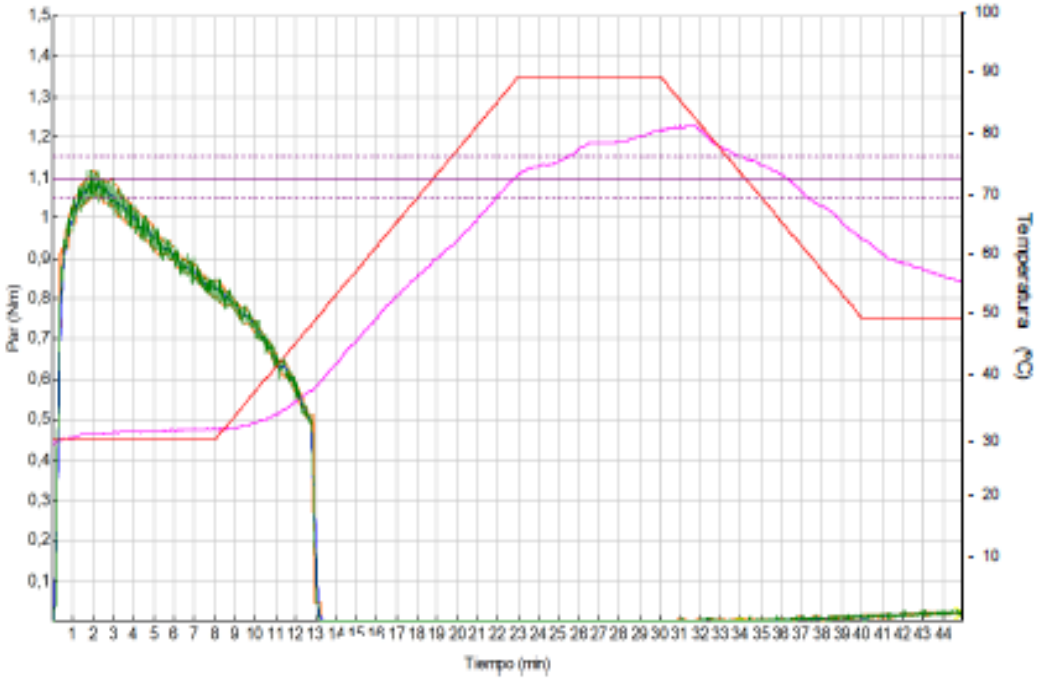
Metódica : Chopin+
Peso de la 75,0
Temperatura del 30,0 °C
Velocidad de amasado 80 rpm

α :	0,000	Nm/min
β :	0,000	Nm/min
γ :	0,000	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	2,15	1,08	30,9	0,06	4,52
C2	45,02	0,02	56,1		
C3	23,00		73,8		
C4	30,00		81,2		
C5	45,02	0,02	56,1		



20% HARINA DE CHACHAFRUTO 80% HARINA DE AMARANTO
FECHA DE PRODUCCIÓN: MARZO DE 2019



Harina externa Amasado 1/2 Nº de aparato : 318 Versión3.20+3.10

MIXOLAB

CHOPIN Technologies
20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
Z.I. DU VAL DE SEINE
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

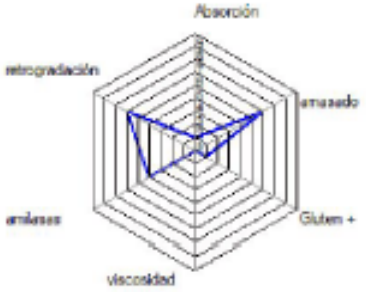
Harina externa-MEZCLA DE HARINA DE CHACHAFRUTO Y AMARANTO

Fecha : 15/04/2019 **Hora :** 11:23
Muestra : 006
Hidratación : 50,8 % base 14% (b14)
Contenido de 10,9 %
Indice: 1-61-046

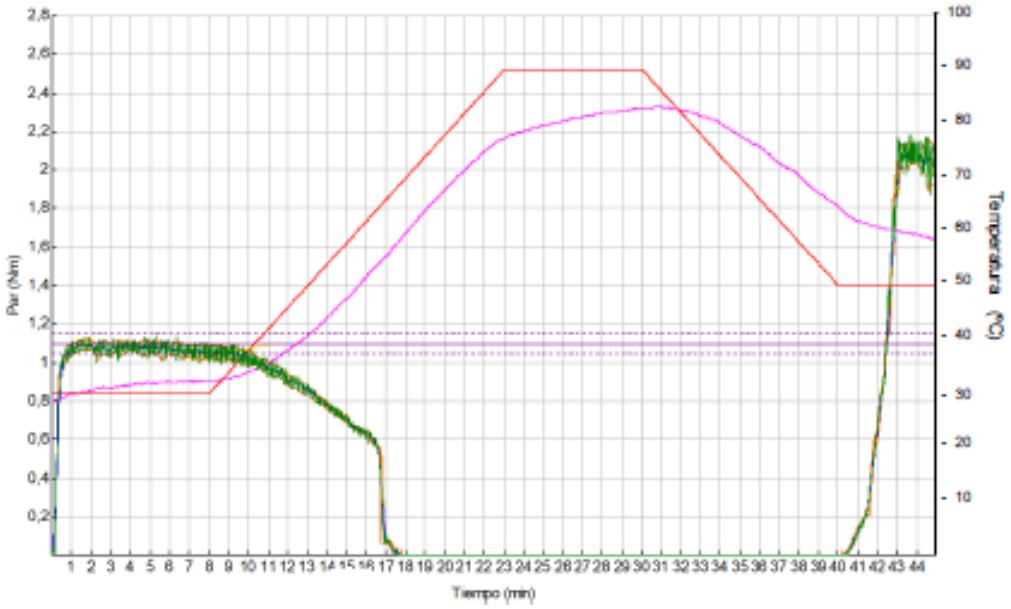
Metódica : Chopin+
Peso de la 75,0
Temperatura del 30,0 °C
Velocidad de amasado 80 rpm

α :	0,018	Nm/min
β :	0,000	Nm/min
γ :	0,000	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1,62	1,10	30,3	0,05	10,95
C2	17,83		59,1		
C3	43,93	2,10	59,5		
C4	30,00		82,8		
C5	45,02	1,99	58,7		



30% HARINA DE CHACHAFRUTO 70% HARINA DE AMARANTO
FECHA DE PRODUCCIÓN: MARZO DE 2019



Harina externa Amasado 1/2 Nº de aparato : 318 Versión3.20+3.10

Anexo 2
Costo de equipos

Pelador De Papas Frutas Y Verduras Eléctrico Automático

$ 119.900

Hasta 12x $ 9.991 sin interés

Envío gratis

https://listado.mercadolibre.com.co/peladora-de-frutas-industrial

Cortadora y procesador de alimentos $ 2.500.000

https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-532907491-maquina-procesador-de-vegetales-con-5-discos-_JM#position=47&type=item&tracking_id=9ad87c74-5583-4469-8d1a-566dcccbf0a3

EXCALIBUR

Excalibur Deshidratador Digital 10 Bandejas Acero Inoxidabl.

$ 700.000

✓ Retiro en Tienda

✓ Despacho a Domicilio

https://www.falabella.com/falabella-cl/search/?Ntt=deshidratador

Molinos De Martillos Pulverizadores Industriales

$ 1.700.000

Hasta 12x $ 141.666 sin interés

Bogotá D.C.

https://listado.mercadolibre.com.co/industrias-y-oficinas/molino-martillo-industrial

Empacadora al vacío

$ 619.000

36x $ 17.194

Bogotá D.C.

https://listado.mercadolibre.com.co/empacadora-al-vacio

RECCO

Batidora de Pedestal Negra

$ 222.000 (Oferta)

$ 379.900

https://www.falabella.com.co/falabella-co/search/?Ntt=batidora

Cuarto De Crecimiento En Acero Para Panaderia

$ 650.000

36x $ 18.055

Bogotá D.C.

https://listado.mercadolibre.com.co/cuarto-de-crecimiento-panaderia#D[A:cuarto%20de%20crecimiento%20panaderia]

$ 948.000

Horno eléctrico challenger he 2750...

Alkosto

https://www.alkosto.com/horno-challenger-59-he2750-electronico-220-v-gris?gclid=EAIaIQobChMI9cm6-Nix5gIVGYiGCh00nAUnEAQYHyABEgJmYfD_BwE

Balanza Bascula Digital De 40kg Recargable Doble Pantalla

4 opiniones

$ 89.700

36 cuotas de $ 2.492

Más información

https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-471746617-balanza-bascula-digital-de-40kg-recargable-doble-pantalla

Congeladores, Refrigeradores, Neveras

$ 1.000.000

12 cuotas de $ 83.333 sin interés

Más información

Entrega a acordar con el vendedor

Engativá, Bogotá D.C.

Ver costos de envío

https://www.alkosto.com/nevera-mabe-360-lt-rmp360fycu-inox?gclid=EAIaIQobChMIle-clNux5gIVAWyGCh27iw2BEAYYASABEgL9uvD_BwE

Promoción! Mesas En Acero Panaderia Restaurante Comidas

$ 200.000

https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451973318-promocion-mesas-en-acero-panaderia-restaurante-comidas-_JM?quantity=1

Anexo 3
Costos de equipos y muebles de oficina

~~Precio Normal $ 1.149.000~~

Hoy $ 749.000

Disponibilidad: En existencia*

ENVÍO GRATIS

https://www.ktronix.com/portatil-hp-14-cm0034la-amd-a4-14-pulgadas-disco-duro-64-gb-gris

Nuevo Canon Mg3620 (5120) Foto Impresora, Escáner, Copiador

$ 312.194

Hasta 12x $ 26.016 sin interés

Envío gratis

https://listado.mercadolibre.com.co/impresora-canon-mg3620- NoIndex_True

Escritorio En Madecort

$ 300.000

https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-462688745-escritorio-en-madecort-_JM