

**EVALUACIÓN GRANULOMÉTRICA Y COLORIMÉTRICA DE LA HARINA DE  
CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) PARA ELABORACIÓN DE GALLETAS**



**MÓNICA LICETH GUERRERO NARVÁEZ  
YAZMÍN AMPARO PALECHOR HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2017**

**EVALUACIÓN DE GRANULOMÉTRICA Y COLORIMÉTRICA DE LA HARINA DE  
CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) PARA ELABORACIÓN DE GALLETAS**

**MÓNICA LICETH GUERRERO NARVÁEZ  
YAZMÍN AMPARO PALECHOR HERNÁNDEZ**

**Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para optar al título de Ingeniera  
Agroindustrial**

**Directora  
Mg. SANDRA PATRICIA GODOY BONILLA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2017**

### **Nota de aceptación**

La Directora y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autoras y lo encuentran satisfactorio.

---

Mg. SANDRA PATRICIA GODOY B.  
Directora

---

Ph. D. DIEGO ROA  
Presidente del Jurado

---

Mg. RAQUEL DE LA CRUZ N.  
Jurado

Popayán, 11 de septiembre de 2017

## DEDICATORIA

A Dios que es mi fortaleza para seguir adelante cada día y el que nos permite realizar cosas grandes, a mis hermanas y hermanos por su amor y apoyo, a mi madre, mi abuela y a mis amados sobrinos.

Yazmín

Llegó el día donde se hace realidad uno de mis grandes sueños, donde puedo sentir total agradecimiento por Dios y María auxiliadora por guiar cada uno de mis pasos, llenarme de amor y fortaleza para vivir y disfrutar de este lindo camino. Al motor de mis días, mis padres, quienes día a día con su infinito amor y apoyo incondicional me motivan a ser mejor persona y a luchar por lo que me hace feliz. A mi familia, que es la bendición más grande que me regaló la vida.

Mónica

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad del Cauca, en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias que nos permitió el uso de su infraestructura física.

A Víctor Rosero y David Velasco del Laboratorio de biotecnología por su cordialidad y disposición en la elaboración de las pruebas correspondientes.

A Evelyn Alegría del Laboratorio de Reología por su aporte y tiempo en la realización de las pruebas correspondientes.

A la Unidad de Microscopia Electrónica de la Universidad de Cauca que nos permitió la disponibilidad de laboratorios para la realización del proyecto.

Al docente Jhon Jairo Palechor por su colaboración para la realización de las pruebas de microscopia electrónica.

A los docentes Diego Roa y Yamid Pismag por su apoyo, amabilidad y tiempo dedicado.

A la Ingeniera Lucila Certuche, jefa de las plantas piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias, por la disposición para el préstamo de las mismas; al Sr. Wilson Orozco Méndez, operario calificado de plantas piloto, por su disposición, sentido del humor y cariño.

Al Ingeniero Rubén Panza y a los operarios Sair Ibarra y Omar Ordoñez, pertenecientes al Programa de Alimentación y Nutrición Escolar de la Gobernación del Cauca – PANES - , por su colaboración en la realización de las pruebas correspondientes.

Al grupo de investigación Metanoia de la Universidad del Cauca por su apoyo.

A nuestra directora M.Sc. Sandra Godoy, por su constante apoyo, continua disposición y por hacernos parte de su proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO REFERENCIAL	16
1.1 GENERALIDADES DEL FRUTO DE CHONTADURO – <i>Bactris gasipaes</i>	16
1.1.1 Cosecha	17
1.1.2 Postcosecha	17
1.1.3 Clasificación y descripción botánica	17
1.1.4 Morfología	18
1.1.5 Diversidad genética	18
1.1.6 Propiedades Organolépticas	19
1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO DE CHONTADURO	19
1.3 USOS DEL CHONTADURO	20
1.3.1 Harina de chontaduro	21
1.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A EVALUAR EN LOS ALIMENTOS	22
1.4.1 Colorimetría	22
1.4.2 Granulometría	24
1.4.3 Módulo de fineza (MF)	25
1.4.4 Diámetro promedio (D)	25
1.5 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS A EVALUAR EN LOS ALIMENTOS	26

	pág.
1.5.1 Índice de solubilidad de agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y Poder de hinchamiento (PH)	26
1.5.2 Curvas de empastamiento	27
1.5.3 Gelatinización del almidón	28
1.6 CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS	30
1.6.1 Humedad	30
1.6.2 Proteína cruda	30
1.6.3 Lípidos crudos	30
1.6.4 Fibra cruda	30
1.6.5 Extracto libre de nitrógeno (ELN)	31
1.7 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA	31
1.7.1 Aplicaciones	31
1.8 ESTADO DEL ARTE	32
2. METODOLOGÍA	35
2.1 OBTENCIÓN DE FRUTO Y HARINA	35
2.1.1 Obtención de harina de <i>Bactris gasipaes</i>	35
2.2 MOLIENDA	36
2.3 GRANULOMETRÍA	37
2.3.1 Selección de la fracción granulométrica para la elaboración de galletas	37
2.4 COLORIMETRÍA	37
2.5 ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA (ISA), ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)	38
2.6 CURVAS DE EMPASTAMIENTO	39
2.7 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA	40

	pág.
2.8 DISEÑO EXPERIMENTAL	40
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1 OBTENCIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA HARINA DE CHONTADURO	42
3.1.1 Molienda del fruto chontaduro	42
3.1.2 Tamizado de la harina de chontaduro	44
3.1.3 Granulometría	45
3.2 COLORIMETRÍA	46
3.3 ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA E ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA	48
3.4 CURVAS DE EMPASTAMIENTO	50
3.5 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA	52
4. CONCLUSIONES	55
5. RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	64



## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Composición nutricional de 100 gramos del fruto de chontaduro crudo	20
Cuadro 2. Propiedades del almidón y efecto en la panificación	29
Cuadro 3. Composición nutricional de la harina de chontaduro suministrada	36
Cuadro 4. Rendimiento de la harina de chontaduro (%) en molino de cuchillas	43
Cuadro 5. Rendimiento de la harina de chontaduro (%) en molino de martillos	43
Cuadro 6. Distribución de la harina de chontaduro Molino de Martillos	44
Cuadro 7. Distribución de la harina de chontaduro Molino de Cuchillas	45
Cuadro 8. Módulo de fineza y diámetro promedio de la harina de chontaduro	45
Cuadro 9. Análisis colorimétrico de la harina de chontaduro – Molino de Cuchillas	47
Cuadro 10. Análisis colorimétrico de la harina de chontaduro – Molino de Martillos	47
Cuadro 11. Comparación del (IAA) e (ISA) en Molino de Martillos y Cuchillas	49
Cuadro 12. Propiedades Funcionales de la Harina de Chontaduro	51
Cuadro 13. Propiedades de gelatinización del almidón en la harina de chontaduro obtenida por molino de martillos	51
Cuadro 14. Propiedades de gelatinización del almidón en la harina de chontaduro obtenida por molino de cuchillas	52
Cuadro 15. Promedio del tamaño de partícula mediante análisis microscópico de la harina	53

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Chontaduro ( <i>Bactris gasipaes</i> )	16
Figura 2. Modelo de color CIE Lch	23
Figura 3. Parámetros para la determinación de las curvas de empastamiento	28
Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de harina del fruto chontaduro ( <i>Bactris gasipaes</i> )	35
Figura 5. Chontaduro ( <i>Bactris gasipaes</i> )	36
Figura 6. Diagrama de flujo del procedimiento para la obtención de las fracciones de la harina de chontaduro	37
Figura 7. Mezclador de vórtex	38
Figura 8. Muestras en baño maría a 65°C durante 30 minutos	39
Figura 9. Centrifugación	39
Figura 10. Cabezales Molinos Cuchillas (A) – Molino Martillos (B)	42
Figura 11. Chontaduro Troceado y molienda	42
Figura 12. Harina de chontaduro. Obtención y Harina de Chontaduro en Molino de Cuchillas (A) - Harina de Chontaduro Molino de Martillos (B)	43
Figura 13. Tamizado	44
Figura 14. Curva de distribución granulométrica para harina de chontaduro	45
Figura 15. Colorimetría	47
Figura 16. Muestra para la realización de las curvas de empastamiento de cada tamiz	50
Figura 17. Microscopía para análisis de la harina de chontaduro	53
Figura 18. Tamaño de partícula de harina obtenida en molino de martillos	54
Figura 19. Tamaño de partícula de harina obtenida en molino de cuchillas	54

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Análisis de la harina de chontaduro	40
Anexo B. Determinación de ISA e IAA de la harina de chontaduro	65
Anexo C. Análisis colorimétrico de la harina de chontaduro	69
Anexo D. Curvas de empastamiento	72

## GLOSARIO

**ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3:** son ácidos grasos esenciales porque el cuerpo no puede producirlos, por lo tanto, deben incorporarse a través de los alimentos. Se conocen como AAL ácido alfa-linolénico presentes en vegetales como canola, soja, nueces, chontaduro, coco y semillas de lino, también pertenecen a este tipo de ácidos grasos poliinsaturados el AEP o ácido eicosapentaenoico presentes en pescados aceitosos; por ejemplo, arenque, caballa, salmón y sardina y ADH - o ácido docosahexaenoico presentes en pescados aceitosos y también se obtienen mediante fermentación de algas.

**AGROBIODIVERSIDAD:** componentes de la diversidad biológica adecuados para la producción agrícola, incluida la producción de alimentos. El chontaduro (*Bactris gasipaes*) es un fruto rico en compuestos bioactivos como carotenoides, polifenoles ácidos grasos insaturados y almidón.

**ALIMENTO FUNCIONAL:** aquel que contiene un componente, nutriente o no, con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, con un efecto fisiológico añadido, por encima de su valor nutricional y cuyos efectos positivos justifican que pueda reivindicarse su carácter funcional (fisiológico) o incluso saludable.

**CAROTENOS:** pertenecientes a los terpenos encontramos al  $\beta$ -caroteno, el más abundante en la naturaleza y el más importante para la dieta humana, por lo que da nombre a todo un grupo de compuestos bioquímicos. Los  $\beta$ -carotenoides de origen natural, se transforman en vitamina A en la mucosa del intestino delgado. Es la sustancia que le confiere el color amarillo, rojo o naranja al fruto del chontaduro y por tanto éste se caracteriza por ser buena fuente de vitamina A.

**CENTRIFUGACIÓN:** operación empleada en la separación de materiales que se encuentren en suspensión sólido-líquido o líquido-líquido, mediante la aplicación de una fuerza centrífuga que acelera la sedimentación de las partículas. Para la determinación del índice de solubilidad en agua (ISA) en la harina de chontaduro, este proceso es indispensable.

**FIBRA DIETARIA:** como uno de los principales componentes de productos vegetales, se encuentra en el chontaduro. No puede ser digerida por los humanos y no aporta calorías, ya que el cuerpo no la puede absorber. Proporciona una sensación de saciedad y le agrega volumen a los alimentos, lo cual ayuda a la digestión y a la evacuación.

**MESOCARPIO:** porción carnosa comestible del fruto. Capa media de las tres que forman el pericarpio de los frutos y envuelve la semilla.

**MOLIENDA:** operación unitaria en el proceso de obtención de harina. Consiste en reducir el tamaño de las partículas por impacto, corte o fricción

**TAMIZAR:** proceso de división de un alimento seco entre su parte más fina y su parte más gruesa con la finalidad de obtener harinas más homogéneas.

**VIDA ÚTIL:** periodo en el que el alimento conserva todas sus características físicas, sensoriales, nutritivas e higiénico-sanitarias.

## RESUMEN

El chontaduro (*Bactris gasipaes*) es una palmera nativa de los trópicos americanos que ha jugado un importante papel en la alimentación de las poblaciones indígenas amazónicas. El objetivo de la investigación fue evaluar propiedades físicas como granulometría y colorimetría, índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA), las propiedades funcionales (Curvas de empastamiento) de los almidones en las diferentes muestras de harina de chontaduro tamizadas previamente en (N° 30, 40, 50, 60 y 70), a través de los cambios y los efectos ocurridos en el tamaño de partícula de la harina obtenida por el proceso de molturación en dos tipos de molinos (Cuchillas, Martillos) bajo ciertas condiciones como velocidad (rpm) y tamaño de criba (mm); así como también la evaluación de los atributos de color de la harina bajo parámetros establecidos en la investigación como: temperatura y tiempo de secado en todo el proceso.

Se caracterizó la harina de chontaduro en dos tipos de molino: martillos y cuchillas en 5 tamices N° 30, 40, 50, 60 y 70. La harina obtenida por el molino de martillos presentó porcentaje promedio de rendimiento superior (94.16%) al molino de cuchillas con un porcentaje promedio (83.67%), lo cual indica que este tipo de harina sería una opción de materia prima con buen rendimiento a nivel industrial. El tamiz que presentó mayor retención de harina en los dos tipos de molinos fue el N°50 con un porcentaje promedio de 36,38% y 35,16% respectivamente. El tamiz que presentó mejor comportamiento en ISA fue el N°50. En cuanto al color, la harina obtenida por el tamiz N°30, fue la que mejor atributo de color presentó. Finalmente, la harina que presentó mejor comportamiento frente a las propiedades de viscosidad máxima, Breakdown, Setback fue la obtenida por el molino de martillos, con un valor de viscosidad máxima (1.9750 Pa.s x 100) y un Breakdown (0,1313 Pa.s x 100), siendo este el de mejor estabilidad del granulo de almidón.

**Palabras clave:** Chontaduro, *Bactris gasipaes*, granulometría, colorimetría, ISA, IAA, Curvas de empastamiento.

## ABSTRACT

Chontaduro (*Bactris gasipaes*) is a native palm of the American tropics that has played an important role in feeding the Amazonian indigenous populations. The objective of the research was to evaluate physical properties such as granulometry and colorimetry, water solubility index (ISA) and water absorption index (IAA), the functional properties (starch curves) of the starches in the different samples of flour Chontaduro previously sieved in (No. 30, 40, 50, 60 and 70) for the manufacture of biscuits, through the changes and effects occurred in the particle size of the flour obtained by the grinding process in two types of Mills (Blades, Hammers) under certain conditions such as speed (rpm) and screen size (mm); As well as the evaluation of the color attributes of the flour under parameters established in the research as: temperature and drying time in the whole process.

The flour of chontaduro was characterized in two types of mill: hammers and blades in 5 sieves No. 30, 40, 50, 60 and 70. The flour obtained by the hammer mill presented average percentage of superior yield (94.16%) to the mill Of blades with an average percentage (83.67%), which indicates that this type of flour would be a raw material option with good industrial performance. The sieve that presented better retention of flour in the two types of mills was No. 30 with an average percentage of 36.38% and 35.16% respectively. The sieve that presented the best performance in ISA was the No.50. As for the color, the flour obtained by the No. 30 sieve was the best color attribute presented. Finally, the flour that presented the best performance against the properties of maximum viscosity, Breakdown, Setback was obtained by the hammer mill, with a maximum viscosity value (1.9750 Pa.s x 100) and a Breakdown (0.1313 Pa.s x 100), which is the one with the best stability of the starch granule.

**Keywords:** Chontaduro, *Bactris gasipaes*, granulometry, colorimetry, ISA, IAA, Filling curves.

## INTRODUCCIÓN

Los productos de panificación son de consumo masivo en Colombia, convirtiéndose en un principal componente en la dieta diaria. En la actualidad se buscan opciones para elaborar productos con características nutricionales superiores a las galletas de trigo, debido a la correlación entre el consumo de productos refinados con el aumento del índice glucémico que produce diabetes, hipertensión y sobrepeso entre otras afectaciones a la salud relacionadas con la dieta. Esto promovió diversos estudios, donde sustituyeron el principal componente, harina de trigo por harinas de otros frutos, harinas con mayor porcentaje de almidones resistentes, vitaminas y minerales. Es así que la industria de panificación y galletería ponen un desafío para el desarrollo de harinas con materias primas de alto valor nutricional y menor contenido de gluten, para responder a las necesidades planteadas en la ley 1355/2009 que declara a la obesidad como una enfermedad crónica de la salud pública y requiere generar estrategias para promover alimentación balanceada y saludable.

La producción industrializada de harina de chontaduro es una buena alternativa para responder a las actuales necesidades de harinas funcionales y por tanto el presente estudio permite conocer las características físicas y funcionales de este alimento con alto valor nutricional. Los resultados de investigación corresponden a los objetivos planteados en la experimentación, reportando el comportamiento de la harina en cuanto a sus características físicas como granulometría y colorimetría, índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA); con el fin de seleccionar la fracción con mejor granulometría, características físicas y propiedades funcionales del almidón de la harina de chontaduro, para incluir la harina en un producto de galletería. Como complemento para la investigación, se realizaron pruebas en la Unidad de Análisis de Microscopía Electrónica de la Universidad del Cauca, con el fin de obtener información de características estructurales que permitan determinar las propiedades de la harina de chontaduro. La producción de esta harina podría convertirse en una alternativa viable para disminuir el uso de harina de trigo en la presentación de productos de panadería y repostería impactando no solo a la economía, sino también introduciendo productos nuevos con un importante aporte nutricional.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, reportó en 2014 que la producción de chontaduro en el departamento del Cauca fue de 9.025 Toneladas con un área sembrada de 2.372 hectáreas principalmente en el municipio de El Tambo, en el corregimiento de cuatro esquinas con una producción de 4.725 toneladas/año de acuerdo con el reporte del ministerio de Agricultura 2015.; esta producción presenta entre el 30-20% de frutos que son rechazados para consumo directo y son susceptibles de aprovechamiento agroindustrial para minimizar las pérdidas poscosecha. Algunos productores han desarrollado una industria artesanal de producción de harina y productos de panificación a partir de chontaduro, pero se carece de un proceso industrial estandarizado, lo cual no garantiza que los productos que puedan obtenerse a partir de la harina conserven las propiedades nutricionales en proteína, grasa o vitaminas que tiene el fruto para consumo directo.

## 1. MARCO REFERENCIAL

El chontaduro es un componente esencial de la cultura del pacífico de Colombia, pero más allá de eso tiene unas bondades enormes en aporte de proteínas, aceites, vitaminas liposolubles y minerales. Es como una pequeña fábrica nutricional y probablemente el alimento más balanceado del trópico, según concepto de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América, asegura Restrepo (2009).

En la actualidad, la aparición de nuevos mercados y de nuevas formas de consumo, así como la alta dependencia alimentaria que se ha creado en algunos países de centro y sur América, hacen evidente la necesidad de desarrollar cultivos con especies "olvidadas" y nativas del continente americano. El Chontaduro es una de ellas y cuenta con un alto potencial para la producción de alimentos y fibra, principalmente.

### 1.1 GENERALIDADES DEL FRUTO DE CHONTADURO – *Bactris gasipaes*

Al chontaduro no se le ha dado suficiente importancia científica siendo que este fruto es de un valor nutricional enorme, tanto que los análisis químicos revelan que posee una composición de aminoácidos esenciales que lo equipara al huevo y otros alimentos completos, por esto es que se le puede considerar como una alternativa para una explotación a escala industrial y doméstica.

Figura 1. Chontaduro (*Bactris gasipaes*)



Fuente: Revista XLsemanal, 2014.

El chontaduro (*Bactris gasipaes*) es una planta de la familia de las aceráceas, nativa de las regiones tropicales y subtropicales de América. La importancia de este producto según el concepto de las bibliografías consultadas, es que el chontaduro es considerado como un alimento con alta calidad nutricional, quizá el más balanceado debido al contenido de proteínas, grasas, vitaminas y minerales, lo que abre posibilidades de su utilización para la fabricación de productos de alto valor agregado (Castillo, Grajales y Martínez, s.f.). Ha sido cultivado desde hace siglos por las comunidades indígenas de la Amazonía en pequeños huertos básicamente como cultivo de subsistencia. De acuerdo a su composición química, el chontaduro posee alto contenido de potasio y otros componentes básicos para la nutrición humana (INIAP, 1999).



**1.1.1 Cosecha.** La fructificación del chontaduro se inicia entre 2,5 a 4 años cuando la planta alcanza 3 a 4 m de altura. Fructifica 2 veces al año, concentrándose la mayor producción los meses de enero a abril y la menor producción entre agosto a octubre. La cosecha del fruto es directa de la planta en pie, utilizando una vara larga provista de un gancho que desgaja los frutos del racimo; una mejora consiste en acondicionar en el extremo superior de la vara, un cuchillo curvo filoso para cortar el racimo y una bolsa para recibir el racimo y así evitar su impacto en el suelo. Tradicionalmente, los indígenas y campesinos amazónicos plantan simultáneamente chontaduro y otras especies frutales que les servirán de apoyo para facilitar la cosecha de los frutos (Mattos-Silva y Mora-Urpi 1996).

**1.1.2 Postcosecha.** Los frutos del chontaduro después de la cosecha pueden conservarse sin deterioro entre 10 días y 2 semanas. Hervidos en agua con sal se conservan 5 – 6 días; hervidos y secados se conservan por más de 6 meses y hervidos, machacados y enterrados más de 4 meses. El rápido deterioro de las frutas de chontaduro ha requerido investigación para determinar los mejores métodos de conservación para la fruta y la harina. Se investigaron las siguientes técnicas para la conservación de la fruta: solución relativa, refrigeración, esterilización. También se investigaron varios métodos para la preparación y almacenaje de harinas. Las frutas enteras sin pelar pueden ser conservadas por dos meses si se escaldan y posteriormente se cubren con solución salina al 20% o al 10% complementada con preservantes de alimentos tradicionales. Frutas refrigeradas pueden ser conservadas por 30 días a 60°C con una humedad relativa de 70 al 75%. Sin embargo, es necesario el uso de conservantes si la humedad relativa es mayor o si las frutas son almacenadas en plástico. Frutas peladas o sin pelar, esterilizadas por 45 minutos a 120°C pueden ser almacenadas hasta por un año, al vacío utilizando soluciones salinas al 3 o 4% (Espinoza *et al.*, 2007).

En pos cosecha, el chontaduro sufre cambios fisicoquímicos, texturales, fisiológicos y microbiológicos que ocasionan la alteración de sus propiedades y calidad que afectan la comercialización (Godoy *et al.*, 2007); por lo que se debe evitar la recolección de frutos verdes, sobre maduros, caídos o dañados y se deben manejar frutos desde la cosecha hasta su entrega o acopio en un solo recipiente o empaque, recolectarlos y separarlos según su estado de madurez y tamaño, almacenamiento o transporte en empaques que permitan ventilación y no causen daño; limpiar y desinfectar el empaque, evitar colocar frutos por encima del nivel del empaque, no empacar fruta húmeda, sobre madura o con daños (Erazo y Murillo, 1995). El fruto sufre daños causados por hongos sobre la epidermis o piel a causa de las espinas de la palma generando podredumbre negra, causada por el hongo *Ceratocystis* spp y pudrición blanca causada por el hongo *Monilia* sp.

**1.1.3 Clasificación y descripción botánica.** La chonta o chontaduro es una palma, cuyo tallo alcanza aproximadamente en alturas mayores a 20 m, frecuentemente las plantas tienen alturas de 12 a 15 m y un diámetro de entre 15 y 30 cm. Los tallos presentan espinas de hasta 8 cm de longitud. Estas espinas protegen a la planta contra los daños mecánicos, evitando que el agua de las lluvias caiga directamente en el estípote y así se disminuye la presencia de insectos, hongos y plantas epífitas que aparecen por la

acumulación de la humedad, el tallo generalmente produce brotes (Mattos-Silva, 1996). Los frutos en estado inmaduro son verdes, al madurar varían entre amarillo claro a rojo. La semilla es dura y de color oscuro, con una almendra blanca que es similar en color y textura al coco verde. Anualmente pueden producirse 25 racimos de frutos por tronco, aunque normalmente es de 5 a 15. Las raíces son generalmente laterales y superficiales, gruesas y sin pelos, forman una red tupida de aproximadamente 10 m; depende de las micorrizas para la toma de nutrientes (especialmente fósforo) a menor temperatura y mayor sombra más se favorece la formación de micorrizas (Villachica, 1996).

El Chontaduro es una planta que crece desde el nivel del mar hasta los 1500m (Corpoica, 2002) y tiene la siguiente clasificación botánica (Mattos-Silva y Mora-Urpi, 1996).

**Reino:** Vegetal.

**División:** Embryophytasiphonogama.

**Subdivisión:** Angiosperma.

**Clase:** Monocotiledonae.

**Subclase:** Arecidae

**Familia:** Arecaceae (palmaceae).

**Género:** Bactris.

**Especie:** *Bactris gasipaes*.

**Nombre científico:** *Bactris gasipaes*Kunth

**Nombres comunes:** Chontaduro, pupunha (pupuña), pijuayo, cachipay o pejibaye.

En acuerdo con su amplia distribución, la especie recibe distintos nombres. Se denomina pijuayo y chonta en el Perú; Chontaduro y pijuayo en Ecuador; Chontaduro, cachipay, casipaes y pijibay en Colombia; pijuayo, pichiguao, pijiguao, macana, manacilla y periguao en Venezuela; parepon en la Guayana Francesa; amana en Surinam; pupunha y pirijao en Brasil; tembé y tembé de castilla en Bolivia; pejibaye, pijuayo, pijibay y pixbae en Costa Rica y Nicaragua; pijuayo y piba en Panamá; peachpalm y pewa en Trinidad y peachpalm en los demás países de habla inglesa (Patiño, 1958).

**1.1.4 Morfología.** La palmera de *Bactris gasipaes* presenta tallos o estípites cilíndricos de 15 a 30 cm de diámetro que pueden alcanzar hasta 25 m de altura. Los frutos son drupas de coloración diferente, verduzcos, amarillos, anaranjados, rojos y colores intermedios; tienen diversas formas, cónica, ovoide o elipsoide, de distinto tamaño, desde muy pequeños (de 1 a 1.5cm de diámetro en frutos sin semillas), hasta muy grandes (7 cm de diámetro en frutos normales); el peso es variable, el pericarpio es delgado y a veces adherido al mesocarpio de color amarillo o anaranjado, carnoso, amiláceo, fibroso o aceitoso; el endocarpio es negro y de consistencia dura, con tres poros en el ápice. La semilla es ovoide, cónica o elipsoidal, mide de 1 a 2 cm de largo y pesa entre 1 y 5 g; el endospermo es blanco y comestible (Pasquel, Meireles y Marques, 1997).

**1.1.5 Diversidad genética.** En lo referente a las variedades, los agricultores hablan de la variedad rayada, variedad roja y la variedad amarilla, pero en el sentido estricto del

término no son variedades, sino características de algunos de los numerosos tipos de frutos. Además del color, hay marcadas diferencias en las características del fruto, como tamaño, forma, fibrosidad, humedad y sabor (Gonzales *et al*, 2002.)

Se destacan dos variedades: el chontaduro rojo y el chontaduro amarillo; el primero de ellos al inicio de la fructificación es de color verde, presenta el fruto de forma achatada tiene estrías menos numerosas y pronunciadas que la variedad amarilla, siendo éstas paralelas, con un largo promedio de 5,50 cm y ancho de 4,50 cm. El chontaduro amarillo es más harinoso y dulce que el rojo, el fruto es en forma de trompo (termina en punta), presenta en promedio un largo de 6,00 cm y un ancho de 3,50 cm (Mora, Weber y Clement, 1997).

**1.1.6 Propiedades Organolépticas.** Las propiedades organolépticas de la fruta dependen del proceso de maduración. Durante este periodo, acontecen diversos mecanismos bioquímicos inducidos por enzimas que afectan a la textura, el aroma, el sabor y el color. En la mayoría de la fruta ocurre el fenómeno denominado climaterio que está relacionado con la respiración vegetal. La velocidad respiratoria de la fruta aumenta a medida que se van sucediendo los cambios por la maduración y se traduce en un incremento del consumo de oxígeno, acompañado de una mayor liberación de CO<sub>2</sub>. Esta velocidad se mide habitualmente en mg CO<sub>2</sub>/kg fruta/hora, y el momento en que se acelera para duplicarse o cuadruplicarse respecto a lo normal es lo que se conoce como climaterio, que acontece, incluso, después de hecha la recolecta. El proceso madurativo se puede acelerar mediante el control de la atmósfera y la temperatura que rodea a las frutas almacenadas, con la consiguiente aplicación para fines comerciales. Algunas frutas como piña, los higos, los cítricos y las uvas no manifiestan este proceso, por eso se llaman no climatéricas (Ayala y Rosas, 2006).

## 1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO DE CHONTADURO

Diferentes autores han realizado determinaciones de la composición química del chontaduro. Si bien todas ellas revelan que este fruto posee un alto valor nutritivo, existen diferencias en los valores de las determinaciones debido a la gran diversidad de los frutos analizados.

El chontaduro es un alimento que aporta diferentes nutrientes para una dieta variada, el contenido de grasa lo hace una fuente vital de ácidos grasos poliinsaturados de tipo omega 3 y omega 6, esenciales para la nutrición, el crecimiento, el desarrollo hormonal y la disminución del colesterol. Las instauraciones que se encuentran en el chontaduro y los ácidos grasos saturados, lo ubican como un punto intermedio entre los aceites de girasol, de oliva y palma africana. Con esto, se le puede considerar una alternativa para una mejor explotación tanto a nivel doméstico como a nivel industrial, pues las grasas poliinsaturadas son grasas saludables que contribuyen al crecimiento de las células y mejoran la vitalidad del cerebro, disminuyendo así, los problemas de memoria (Manuel, 2017).

Cuadro 1. Composición nutricional de 100 gramos del fruto de chontaduro crudo

Componente	Cantidad
Proteínas	33,00 %
Grasa	4,60 %
Carbohidratos	37,60 %
Fibra	1,00 %
Ceniza	0,90 mg
Hierro	0,70 mg
Fósforo	49,00 mg
Calcio	23,00 mg
Tiamina	0,04 mg
Riboflavina	0,11 mg
Niacina	0,90 mg
Ácido Ascórbico	20,00 mg
Calorías	185,00
Vitamina A	7 300 UI

Fuente: FAO, 2009.

Ácidos grasos poliinsaturados de tipo omega 3 y omega 6, esenciales para la nutrición, el crecimiento, el desarrollo hormonal y la disminución del colesterol; la coloración durante la fructificación debe su color amarillo, naranja o rojo gracias al alto contenido de carotenos; es rico en calcio y fósforo. el valor nutricional es enorme, tanto que los análisis químicos revelan que posee una composición de aminoácidos esenciales que lo equipara al huevo y otros alimentos completos, por esto es que se le puede considerar como una alternativa para una explotación a escala industrial y doméstica" (Restrepo, 2009). El contenido de grasa del fruto hace de éste una fuente importante de ácidos grasos poliinsaturados tipo omega 3 y omega 6 (linoleico, linolénico) esenciales para la nutrición, crecimiento, desarrollo hormonal y disminución del colesterol (Restrepo, 2009). El *Bactris gassipaes* es un fruto importante de la agrobiodiversidad del trópico húmedo de América Latina; es un componente esencial de la cultura, pero más allá de eso tiene bondades enormes que pueden proporcionar una dieta balanceada a las personas, brindadas por las proteínas, vitaminas, minerales y grasas saludables.

### 1.3 USOS DEL CHONTADURO

Todas las harinas de fuentes vegetales, sin excepción, se producen con métodos de deshidratación y molturación. La molienda para la obtención de las harinas es una molienda seca. Se ha demostrado (Anchundia, 2009; Guzmán, 2011) que en las harinas que no desarrollan gluten, el método de deshidratación define sus propiedades funcionales al usarlo como sucedáneo de productos con gluten, lo que se refleja en la calidad del producto final. Por ejemplo, la harina obtenida por deshidratación con tambor muestra características reológicas que ayudan al desarrollo de la masa para elaborar pan y pasta; por lo que, en el caso de la pasta, esta presenta pruebas de cocción similares a la de la pasta con gluten y el pan desarrolla mejor volumen. Esto indica que se deben modificar harinas (libres de gluten) con tratamientos térmicos para modificar sus propiedades reológicas, en función de darles diferentes usos en la elaboración de alimentos (Anchundia, 2009).

En Costa Rica se han realizado estudios para la utilización del chontaduro en la elaboración de diferentes productos de consumo humano (López-Calvo, et al., 2015). Se han realizado alimentos para aves de corral y para cerdos en crecimiento como principal fuente de proteína (Colina *et al.*, 2011).

En Venezuela, principalmente en el Estado de Amazonas, el fruto del pijiguao es usado en forma cocida para el consumo directo, para la elaboración de refrescos a partir de la masa obtenida de la pulpa y de esta se elaboran harinas para acompañar otros alimentos (Castillo, 2006). Ecuador y Perú son dos grandes productores de chontaduro; con el chonta (en Ecuador) o pijuayo (en Perú) se elabora chicha, a la que se adiciona panela. La almendra en fresco la utilizan para alimentación de cerdos, sin ningún procedimiento (Castillo, 2006).

En el departamento del Cauca se consume el chontaduro sin ningún tipo de transformación, generalmente solo se lleva a cabo la cocción del fruto y se comercializa para consumir en fresco. En la región Pacífica Colombiana se muele el fruto para obtener harina que se usa en salsas, tortillas, coladas refrescos, helados o para rellenar gallinas, pavos o lechona; también se come con sal y se considera un alimento afrodisíaco. En el departamento de Chocó lo sirven frito o asado al lado de la carne (EITiempo.com, 2013). En los restaurantes de Buenaventura o de la capital del Valle, se preparan cazuelas de mariscos en salsa de chontaduro, pastas o cremas hechas con el fruto o sorbete, chicha fría aderezada o pastel con piña rayada (EITiempo.com, 2013).

**1.3.1 Harina de chontaduro.** Gracias a los aportes multivitamínicos de este fruto, la Tecnología Brasileña produce a escala comercial harina de chontaduro, siendo una alternativa a la harina de trigo que puede ser utilizada como ingrediente para los mismos productos, pero con la diferencia de ser más rica en vitaminas y nutrientes (Castillo, Grajales y Martínez, s.f.). En Colombia se han desarrollado proyectos con el apoyo del SENA en lugares como Risaralda y el Cauca con productos como hojuelas, chips, galletas, harina de chontaduro, entre otros (Castillo, Grajales y Martínez, s.f.).

Actualmente para la elaboración de harinas precocidas se utiliza el proceso de extrusión que es considerado una de las tecnologías más apropiadas para la transformación de cereales y harinas. Este proceso hace una cocción del material amiláceo, inactiva enzimas, homogeniza la mezcla y genera texturas diferentes, además lo hace a través de un proceso de alta temperatura en corto tiempo, lo cual asegura un mínimo de pérdidas de nutrientes (Castillo, Grajales y Martínez, s.f.). Hoy en día, el uso del fruto está limitado básicamente a consumo directo (después de cocido), aunque algunas asociaciones de productores están procesando una harina para la preparación de panes y galletas en mercados de Rio Branco, Acre, Porto Velho, Costa Rica y más recientemente, en Manaus, Amazonas. La harina de chontaduro puede sustituir otros productos destinados al consumo humano, como la harina de maíz, la cual es difícil de cultivar y procesar en Amazonia (Yuyama *et al.*, 2003). Las frutas de segunda calidad pueden ser usadas como alimento para animales; de hecho se han realizado estudios para determinar su valor nutricional en estos productos (Clement y Mora, 1987).

## 1.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A EVALUAR EN LOS ALIMENTOS

Los tres aspectos principales para la aceptación de un alimento son el color, el sabor y la textura, sin embargo, muchos opinan que el color es el más importante, puesto que si un producto no tuviese una buena apariencia el consumidor podría no llegar a juzgar nunca los otros aspectos. Independientemente de ello, el color es uno de los muchos aspectos de la presentación, tales como el brillo, el tamaño de partícula, el estado físico, el fondo, la iluminación, etc., pero bien pudiera ser el más importante (Nielsen, 2008).

**1.4.1 Colorimetría.** Es el método más utilizado en la industria de alimentos para medición de color es el de colorimetría de triestímulos, que consiste en luz blanca proveniente de una fuente-patrón de la CIE (Internacional Comisión on Illumination), que incide sobre la muestra bajo un ángulo de  $0^\circ$  y es reflejada a un ángulo de  $45^\circ$  (reflexión difusa), o viceversa. La luz reflejada pasa a través de filtros, siendo medida por una fotocélula (Ferreira, 1981).

En 1905, Munsell identificó los tres atributos básicos del color: tono, valor y croma. Tono es el nombre del color, la cualidad por la cual se distingue una familia de otra, de colores cromáticos, como el rojo del amarillo. Valor es la luminosidad del color, cualidad a través de la cual se distinguen los colores claros de los oscuros. Croma es la fuerza del color o la intensidad de un tono distinto. En el sistema de colores CIE-Lab, los valores de luminosidad  $L^*$  van de cero (negro) a 100 (blanco),  $a^*$  indica el ángulo hue (tono) en una escala de verde (-60) a rojo (+60);  $b^*$  indica el ángulo hue (tono) en una escala de azul (-60) a amarillo (+60) (Beerling, 1999; García y Calixto, 2000).

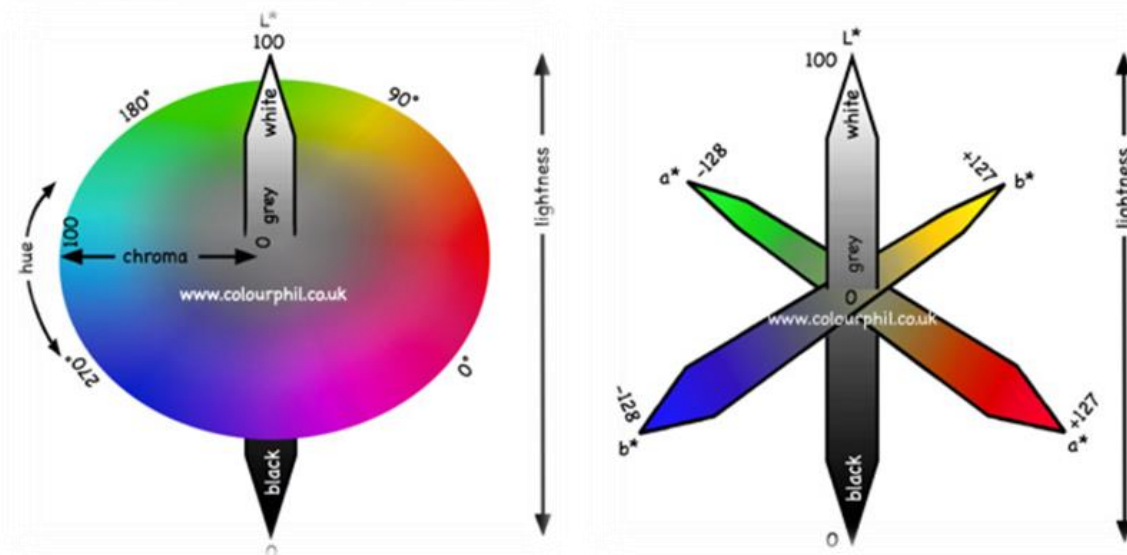
El color puede ser evaluado subjetivamente (visual), por medio de un panel de consumidores o un panel sensorial entrenado, o puede ser medido objetivamente (instrumental), con un espectrocolorímetro que mide la luz reflejada por el alimento por medio de un foto detector, codificando esta señal en términos de algún sistema de medición lumínico de espacio polar, como es el caso de la escala de CIE (Ramírez, 2010).

En la práctica actual entre la industria alimenticia, las dos técnicas principales para la medición del color que se utilizan son: Colorimetría y espectrofotometría. La colorimetría es la técnica que cuantifica el color mediante la medición de color de tres componentes de colores primarios de luz que son vistos por el ojo humano, específicamente, el rojo, el verde y el azul (también referidos en inglés como Red, Green, Blue "RGB"). Esta medición de color "tri-estímulos" proporciona datos sobre la cantidad de los tres componentes que están presentes en la luz reflejada (sólidos) o transmitida (típicamente los líquidos) por un producto alimenticio. Estos datos pueden utilizarse, por ejemplo, para ajustar los componentes del color de alimentos preparados o bebidas para mejorar la receta "al ojo," para medir el "cocido" en un producto horneado, y, en los alimentos frescos, para determinar los factores tales como grados de maduración y el deterioro en relación a los ciclos de transporte, almacenamiento, conservación, sabor y ciclo de eliminación. Aunque no hay una línea de separación estricta donde terminan los beneficios de la colorimetría

en alimentos, se debe reconocer que mide el color casi igual que el ojo humano. Es decir, los colores secundarios y terciarios como el naranja, amarillo, violeta, bronceados, marrones, etc., no son cuantificables de forma individual. Esto deja un factor de variabilidad que puede dificultar la reproducibilidad consistente de un color deseado en productos alimenticios preparados que se formulan para un aspecto específico, producidos con consistencia.

El color, tal como lo percibe el ojo, es una interpretación por parte del cerebro del carácter de la luz procedente de un objeto. Históricamente, el color ha sido estimado visualmente y han sido dados a la luz una serie de atlas del color bien diseñados y estudiados, bajo el conocimiento que el color es tridimensional (Nielsen, 2008). Por lo que, para describir los colores se han desarrollado una variedad de sistemas en los cuales el color tiene una disposición tridimensional de acuerdo a su apariencia. En el campo de los alimentos es ampliamente usado el espacio de color Hunter Lab, sistema que está basado en la medición de las tres coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . El valor de  $L^*$  representa la luminosidad y cambia desde 0 (negro) hasta 100 (blanco), el valor  $a^*$  cambia desde  $-a^*$ (verdoso) hasta  $+a^*$ (rojizo), mientras que el valor  $b^*$  va desde  $-b^*$ (azulado) a  $+b^*$ (amarillento) (Sahin y Gulum, 2009). Se debe tener en cuenta que los paramentos  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  no son variables independientes, dado que tanto  $a^*$  como  $b^*$  dependen de  $L^*$  (Nielsen, 2008).

Figura 2. Modelo de color CIE Lch



Fuente: Graphic Quality Consultancy, 2017.

El método más utilizado en la industria de alimentos para medición de color es el de colorimetría de triestímulos. El colorímetro de triestímulos consiste en luz blanca proveniente de una fuente-patrón de la CIE (International Commission on Illumination), que incide sobre la muestra bajo un ángulo de cero grados y es reflejada a un ángulo de 45 grados (reflexión difusa), o viceversa. La luz reflejada pasa a través de filtros, siendo medida por una fotocélula (Von Atzingen y Machado, 1981).

En 1905, Munsell identificó los tres atributos básicos del color: tono, valor y croma. Tono es el nombre del color, la cualidad por la cual se distingue una familia de otra, de colores cromáticos, como el rojo del amarillo; el Valor es la luminosidad del color como cualidad a través de la cual se distinguen los colores claros de los oscuros, mientras que Croma se refiere a la fuerza del color o la intensidad de un tono distinto. En el sistema de colores CIE-Lab\* los valores de luminosidad  $L^*$  van de cero (negro) a 100 (blanco),  $a^*$  indica el ángulo *hue* (tono) en una escala de verde (-60) a rojo (+60);  $b^*$  indica el ángulo *hue* (tono) en una escala de azul (-60) a amarillo (+60) (Von Atzingen y Machado, 1981).

**1.4.2 Granulometría.** Las propiedades físicas de un producto pulverulento están directamente relacionadas con el tamaño de las partículas. Las características granulométricas de una materia prima procesada, constituyen un aspecto importante en la formulación de productos de panificación, ya que una distribución adecuada de partículas, permite una mayor uniformidad del producto final (Souza, 2010). Estudios han analizado la influencia de la granulometría y la procedencia de la harina sobre las masas y galletas donde tamaños de partícula más gruesos, implican masas más fluidas que generan mayores galletas, de menor peso, con menor humedad y luminosidad. Uno de los métodos más sencillos es pasar las partículas por una serie de mallas, comúnmente llamado tamizado.

El Tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños, se separa en dos o más fracciones pasándolas por un tamiz. Cada fracción es más uniforme en tamaño que la mezcla original. El tamaño de partículas y su distribución se pueden determinar a través del módulo de fineza y diámetro promedio (Brennan *et al.*, 1980). El tamizado es una técnica comúnmente utilizada para medir el tamaño de partícula. Sus ventajas son que emplea un equipo de costo relativamente bajo y la medida se hace en forma directa sin preparación en un rango de medidas amplio, sin embargo, requiere que la cantidad de muestra debe ser grande para que el resultado sea representativo.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra, tal como se determina por análisis de tamices. La granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas. Las propiedades físicas de un producto pulverulento están directamente relacionadas con el tamaño de las partículas, la reducción de tamaño de los sólidos, permite que los materiales se pulvericen a tamaños más pequeños por acción mecánica para mayor uniformidad (Geankoplis, 1998). Las características granulométricas de una materia prima son importantes en la formulación de productos de panificación, ya que la distribución adecuada de partículas, permite una mayor uniformidad del producto final (Souza, 2010).

Es importante destacar la influencia de la granulometría y la procedencia de la harina sobre las masas y galletas donde tamaños de partícula más gruesos, implican masas más fluidas que generan galletas de menor peso, con menor humedad y luminosidad. Uno



de los métodos más sencillos es pasar las partículas por una serie de mallas, comúnmente llamado tamizado. El Tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños, se separa en dos o más fracciones pasándolas por mallas de diferente calibre. Cada fracción es más uniforme en tamaño que la mezcla original. El tamaño de partículas y su distribución se pueden determinar a través del módulo de fineza y diámetro promedio (Brennan *et al.*, 1980).

La metodología por tamizado es una técnica comúnmente utilizada para medir el tamaño de partícula. Sus ventajas son que emplea un equipo de costo relativamente bajo y la medida se hace en forma directa sin preparación en un rango de medidas amplio, pero la cantidad de muestra debe ser grande para que el resultado sea representativo. Las interferencias posibles son de tipo físico, ya que los orificios se pueden cerrar o deformar las mallas. Además de separar por tamaño, separa por forma, ya que la esfericidad de la partícula influye en determinar el pasaje a través de la malla (Komar, 1984).

El método de dispersión estática de luz (Técnica de difracción de rayos láser), es otro método con alta precisión y un amplio rango de medición; este método mide el volumen en cualquier ubicación. Los instrumentos de medición por difracción de rayos láser constan de un banco óptico equipado con un láser de baja potencia de longitud de onda visible, un arreglo de lentes, un fotodetector, un receptor y convertidor-amplificador análogo a digital enlazado a un microprocesador y a un monitor. Este tipo de tecnología, desarrollada en los últimos 30 años aplica el principio de que entre menor es el tamaño de las partículas, mayor es el ángulo de difracción y menor la intensidad de luz difractada; partículas grandes difractan una luz intensa en pequeños ángulos (Rawle).

**1.4.3 Módulo de fineza (MF).** Indica la uniformidad de la molienda. Se utiliza para obtener el tamaño promedio de las partículas. El módulo de fineza está representado por un índice que puede correlacionarse positivamente con un aumento del tamaño de las partículas, indicando cuanto más gruesa o más fina es una harina (Souza, 2010). Cuando MF es alto, el material es grueso, medio y fino. Cuando MF es cero, el material es fino.

El módulo de fineza se calcula por medio de la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que  $f$  es un número natural creciente que afecta el peso retenido en cada tamiz en orden ascendente y que el factor de ponderación para el colector es cero:

$$MF = \frac{\sum f_i * W_i}{\sum W_i}$$

Donde:

$i = 0, \dots n.$

MF = Adimensional

$f_i$  = Factor de ponderación

$W_i$  = Fracción 0% de peso retenido en cada tamiz

**1.4.4 Diámetro promedio (D).** El diámetro medio de una fracción es aquel que pasa de un tamiz dado, pero es retenida por el siguiente más pequeño de la serie (Brennan *et al.*, 1980). Este se calcula con la siguiente expresión:

$$D = 0.1046 * (2.0)^{MF}$$

Dónde:

D: Diámetro promedio de las partículas (mm)

MF: Módulo de fineza (adimensional)

## 1.5 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS A EVALUAR EN LOS ALIMENTOS

La reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. La reología de los alimentos es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y terminados en la industria de alimentos; tiene varias aplicaciones en los campos de la aceptabilidad, diseño de equipos, procesamiento y manejo de alimentos (Rodríguez, Fernández y Ayala, 2005), aunque no cubre todos los aspectos que se incluyen en la definición de textura, como por ejemplo, la reducción de tamaño en la masticación o trituración, las superficies rugosas, la habilidad que tienen los alimentos de humedecerse y cambiar de estado con el cambio de la temperatura; por lo tanto, el estudio de la textura de alimentos se ubica parcialmente dentro del área de la reología convencional y parte fuera de esta (Bourne, 1982).

En la evaluación de las características reológicas se tiene como base la harina de trigo (*Triticum aestivum* L) en la cual se evalúan las siguientes características: Cohesión: adherencia interna por las fuerzas de atracción entre moléculas de la masa. Tenacidad (elasticidad): resistencia opuesta a romperse. Extensibilidad: propiedad de la masa a recuperar la forma y la extensión. Plasticidad: facilidad para tomar una nueva forma y consistencia, es decir la resistencia a deformarse. Las cualidades plásticas de la harina y su fuerza se determinan con un Alveógrafo, que suministra una curva llamada alveograma. Dicha curva tiene dimensiones variables, de acuerdo con las características de la harina ensayada. El principio del funcionamiento del Alveógrafo se basa en la extensión tridimensional de una porción de masa (denominada probeta, obtenida en condiciones estándar) que bajo la acción de una presión de aire se infla y toma la forma de una burbuja y en el registro gráfico de la presión en el interior de la burbuja hasta que ésta explota. Esta deformación simula la producida durante la fermentación bajo la presión del gas de origen biológico o químico (Unad, s.f.).

El Alveógrafo está diseñado para medir la resistencia a la expansión y la extensibilidad de la masa en ensayo. Los alveógrafos se utilizan comúnmente en la industria de la harina y del trigo para seleccionar y evaluar las variedades de trigo y realizar la clasificación de la harina de trigo determinando sus propiedades viscoelásticas, con el fin de ajustarlas a las necesidades de los diferentes procesos.

**1.5.1 Índice de solubilidad de agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y Poder de hinchamiento (PH).** Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a

medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón (Anderson *et al.*, 1969).

El IAA, ISA se determinan de acuerdo a las ecuaciones de Rodríguez *et al.* (2012), respectivamente.

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)(bs)}}$$

$$ISA = \frac{\text{Peso soluble (g)} * \text{Volumen} * 10}{\text{Peso muestra (g)(bs)}}$$

Las pruebas de índice de solubilidad de agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento (PH), son utilizadas como un nivel indicativo de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos (Rodríguez *et al.*, 2012). El índice de absorción de agua indica la cantidad de agua absorbida por los gránulos de almidón hinchados y/o embebidos en agua (Cauvain & Young, 2002), y al igual que el poder de hinchamiento, está relacionado con las propiedades de hidratación de la harina (Barbosa *et al.*, 2011).

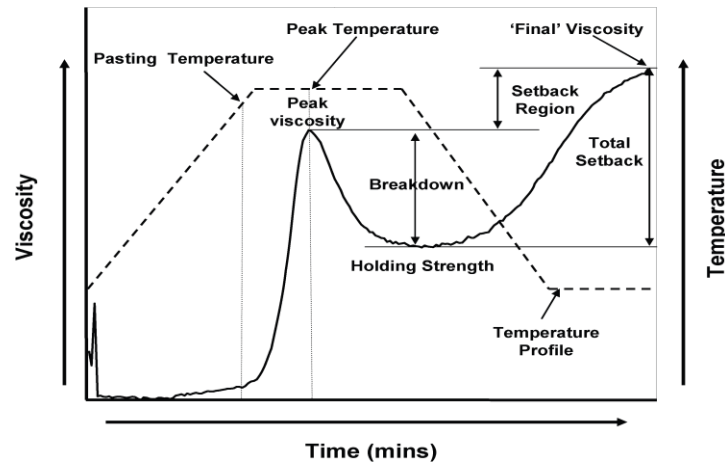
El poder de hinchamiento se define como la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua. Por su parte, el índice de solubilidad está relacionado con la cantidad de sólidos solubles en una mezcla seca permitiendo verificar el grado de severidad el tratamiento térmico, en función de la degradación, gelatinización, dextrinización y consecuente solubilización del almidón (Cavalho *et al.*, 2010).

**1.5.2 Curvas de empastamiento.** Los cambios en el comportamiento reológico de una suspensión de almidón sometida a calentamiento son debidos al hinchamiento del gránulo y solubilización de las moléculas hasta gelatinización (BeMiller y Whistler, 2009). La gelatinización del almidón es el colapso o ruptura del orden molecular del gránulo de almidón manifestando cambio irreversible en las propiedades como hinchamiento granular, fusión de las regiones cristalinas, pérdida de birrefringencia y la solubilización del almidón en agua (Rodríguez Sandoval *et al.*, 2007). La gelatinización puede estudiarse mediante el monitoreo de los cambios de viscosidad. Los cambios en la viscosidad o consistencia de dispersiones almidón-agua son monitoreados continuamente bajo agitación constante y seguidos de un ciclo de calentamiento-enfriamiento programado. Las curvas de empastamiento son características de cada tipo de almidón, pero en todas las curvas se reconocen seis puntos que se usan para la comparación entre muestras (BeMiller y Whistler, 2009):

- a. Temperatura de empastamiento (inicio de formación de la pasta)
- b. Pico de viscosidad, la más alta viscosidad aparente obtenida independiente de la temperatura a la cual es lograda.

- c. Viscosidad a 95°C (hace referencia a la facilidad de cocción)
- d. Viscosidad luego de una hora a 95°C (hace referencia a la viscosidad de la pasta durante la cocción)
- e. Viscosidad a 50°C
- f. Viscosidad luego de una hora a 50°C (hace referencia a la estabilidad de la pasta cocida)

Figura 3. Parámetros para la determinación de las curvas de empastamiento



Fuente: ResearchGate, 2016.

La temperatura de empastamiento es usualmente más alta que la temperatura de gelatinización medida por la pérdida en birrefringencia. Los almidones de tubérculos y raíces muestran un incremento más nítido en la viscosidad durante su cocción y tienen un pico de viscosidad más alto que el de los cereales comunes. El pico de viscosidad es una medida del poder de espesamiento de un almidón. Los almidones de papa, yuca y maíz ceroso hinchan en un mayor grado que el de maíz común. Sin embargo, las pastas de almidones de tubérculos y de almidones cerosos sufren rupturas más rápidamente que las de los almidones de cereales. El incremento en la viscosidad durante el enfriamiento de una pasta es una medida de la retrogradación debida a la reasociación de las moléculas de almidón. A partir de las curvas de empastamiento se pueden recolectar datos cuya información permite obtener parámetros tales como (Alvis *et al*, 2008):

- a. Temperatura de gelatinización (°C).
- b. Viscosidad máxima.
- c. Temperatura en el pico de viscosidad máxima (°C).
- d. Facilidad de cocción.
- e. Índice de inestabilidad del gel.
- f. Índice de estabilidad del gel.

**1.5.3 Gelatinización del almidón.** Cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua tienden a romperse las uniones intermoleculares, se reducen las

regiones cristalinas (pérdida de birrefringencia) y aumentan los puentes de hidrógeno con el agua. El agua incorporada al grano aumenta enormemente su tamaño, pudiendo llegar al rompimiento. Si al principio del calentamiento la presión ejercida entre los granos provoca un aumento de la viscosidad de la pasta, la ruptura de los mismos, facilitada por una agitación, se refleja en una disminución de la viscosidad y la total pérdida de la birrefringencia; a la temperatura a que esto ocurre se conoce como gelatinización. La posterior reordenación, con el enfriamiento, principalmente de las cadenas lineales de amilosa, con cristalización y exclusión del agua, se conoce como retrogradación (Rodríguez, 2008). El cuadro 2 muestra las funciones que se han establecido para el almidón en la panificación. El almidón es el principal carbohidrato del trigo y la harina cerca posee cerca del 67%, y es importante en el proceso de panificación. Numerosos estudios han determinado que las propiedades del almidón ejercen un efecto significativo en el volumen y la estructura de la miga del pan horneado (Bernabé, 2009).

Cuadro 2. Propiedades del almidón y efecto en la panificación

<b>Propiedades</b>	<b>Efecto</b>
El almidón de trigo es insoluble en agua fría	El almidón es una sustancia sólida en la masa, incluso después del amasado, favoreciendo la reología de la masa
El almidón de trigo no puede hincharse en agua fría, pero se une a una limitada cantidad de agua que está libre en la masa	El almidón distribuye el agua por la superficie de la masa
El almidón de trigo se transforma en pasta entre 60°C y 80°C, absorbiendo agua.	El almidón atrapa el agua de la masa durante la cocción, creando la textura elástica, firme y blanda de la miga.
El almidón de trigo se transforma por acción de las enzimas	Responsable humedad de la miga Las dextrinas, maltosa y dextrosa formadas mejoran la fermentación y acentúan el color dorado de la corteza
El almidón de trigo libera agua de la miga durante el almacenamiento del pan	El pan pierde peso, se seca y se hace duro
La amilopectina se retrograda	El pan envejece

Fuente: Bernabé, 2009.

Se encuentra en la harina en forma de gránulos de diferentes tamaños. El almidón de trigo normal contiene 25% de amilosa (la molécula de almidón menor y lineal) y 75% amilopectina (la molécula ramificada y más grande). Son polímeros cuya unidad básica es la glucosa, unidas entre sí por enlaces alfa (1-4) en la estructura lineal y por enlaces alfa (1-6) en los puntos de las ramificaciones (amilopectina) (Bernabé, 2009). El gránulo de almidón es completamente insoluble en agua fría. Sin embargo, cuando se calienta progresivamente una suspensión de almidón los gránulos empiezan a gelatinizar. A los 60°C los débiles enlaces son disociados, los gránulos empiezan a hincharse y la estructura interna inicia sus cambios. Si se continúa calentando se produce una penetración del agua en el interior y el gránulo continúa hinchando y gelificando, hasta formar una pasta más o menos espesa y clara. Este fenómeno es primordial para que los enzimas puedan ejercer su acción. En efecto, el gran tamaño de la amilasa le hace incapaz de penetrar por los finos microporos del gránulo. Por efecto de la gelatinización

se abre el gránulo y la amilasa puede atacar las fracciones del almidón (Bernabé, 2009). Durante la molienda una parte de los gránulos de almidón se dañan parcialmente. Estas lesiones permiten la penetración del agua y el ataque enzimático. La cantidad de almidón dañado presente en la harina va a influenciar su comportamiento en la panificación (Bernabé, 2009). Así, su mayor presencia aumenta la absorción de agua, la coloración de la corteza y la producción de gas, y facilita la acción de las amilasas.

## **1.6 CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS**

Los análisis comprendidos dentro de este grupo, también conocido como análisis proximales Weende, se aplican en primer lugar a los materiales que se usarán para formular una dieta como fuente de proteína o de energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos durante la formulación. Estos análisis indican el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, lípidos crudos, ceniza y extracto libre de nitrógeno en la muestra (AOAC, 1984).

**1.6.1 Humedad.** Durante el balanceo de la ración, es fundamental conocer el contenido de agua en cada uno de sus elementos; así mismo, es necesario vigilar la humedad en el alimento preparado, ya que niveles superiores al 8% favorecen la presencia de insectos y arriba del 14%, existe el riesgo de contaminación por hongos y bacterias (De Silva y Anderson, 1995). El método se basa en el secado de una muestra en un horno y su determinación por diferencia de peso entre el material seco final y el húmedo inicial.

**1.6.2 Proteína cruda.** Por su costo, es este el nutriente más importante en la dieta en una operación comercial; su adecuada evaluación permite controlar la calidad de los insumos proteicos que están siendo adquiridos o del alimento que se está suministrando. Su análisis se efectúa mediante el método de Kjeldahl, el mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio. Para su análisis se emplea una unidad de digestión y destilación Kjeldahl, matraces Kjeldahl de 500 ml, matraces Erlenmeyer de 250 ml, perlas de ebullición.

**1.6.3 Lípidos crudos.** Para esta determinación, las grasas de la muestra son extraídas con éter de petróleo y evaluadas como porcentaje del peso después de evaporar el solvente. El método se realiza empleando como solvente éter de petróleo, cuyo punto de ebullición se encuentra entre los 40°C y los 60°C, en un aparato de extracción Soxhlet, con el horno de laboratorio ajustado a 105°C, desecador y dedales de extracción.

**1.6.4 Fibra cruda.** Este método permite determinar el contenido de fibra en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo. La diferencia de pesos después de la calcinación indicará la cantidad de fibra presente.

**1.6.5 Extracto libre de nitrógeno (ELN).** Dentro de este concepto se agrupan todos los nutrientes no evaluados con los métodos señalados dentro del análisis proximal, constituido principalmente por carbohidratos digeribles, vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados; debido a que se obtiene como la resultante de restar a 100 los porcentajes calculados para cada nutriente, los errores cometidos en su respectiva evaluación repercutirán en el cómputo final.

## **1.7 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA**

La microestructura y la nanoestructura proporciona información de una gran variedad de características de los alimentos como la composición química y distribución de sus componentes, características estructurales y la presencia de contaminantes o microorganismos. La microscopía electrónica proporciona mucho más detalle que la óptica obteniéndose imágenes en distintos tonos de grises; sin embargo, mediante técnicas de coloración por software se pueden obtener imágenes con pigmentaciones reales. En lugar de luz, el microscopio de barrido electrónico utiliza electrones que se producen en un filamento de tungsteno e de un electrodo de hexabromuro de lantano (LaB6) (Orrego, 2002).

La mayor parte de los alimentos está compuesta por partículas de tamaños mayores a 1 $\mu$ m. Se consiguen aumentos hasta de 2000x cuando se utilizan microscopios ópticos. Con estos equipos pueden detectarse detalles como fibras de la carne o superficies de semillas; además de detalles estructurales como glóbulos o fibras con el apoyo de procedimientos de coloración específicos es posible distinguir proteínas de grasas, almidones, componentes minerales, etc. (Orrego, 2002).

Para el análisis en microscopía se emplean muestras muy finas (500 Å o menores), las cuales son atravesadas por un haz de electrones que pasa por un sistema de lentes electromagnéticas. La imagen generada puede ser visualizada en una pantalla fluorescente, una placa fotográfica o una cámara digital, con altas magnificaciones y alcanzando ultra-altas resoluciones. Adicionalmente, esta capacidad puede ser mejorada con sistemas analíticos capaces de brindar información precisa sobre la composición y estructura de la muestra, el grosor, la composición química y elemental, la estructura electrónica y los niveles de energía, e incluso la distribución elemental-específica de los átomos de los especímenes.

**1.7.1 Aplicaciones.** La microscopía proporciona información de características de los alimentos tales como: determinación de la composición química y distribución de sus componentes; hallar las características estructurales, contaminantes y presencia de microorganismos. La información estructural es importante y necesaria para caracterizar y controlar las propiedades de los materiales alimenticios. La preparación de las muestras más que una técnica es un arte que determina el potencial de información que puede derivarse de la micro y nano microscopía. Solo la combinación de distintas técnicas microscópicas (ópticas, de barrido electrónico, por sonda) con técnicas espectrométricas

(Rayos X, infrarrojo, UV, RMN, etc.) permiten afrontar con resultados prácticos los retos que representan las relaciones entre lo micro y lo macro en sistemas complejos como lo son los alimentos (Orrego, 2002). El desarrollo de la microscopía óptica o de luz fue evolucionando de manera importante desde su aparición a principios del siglo XVII, manteniéndose como pilar fundamental del conocimiento de aquello invisible a la vista del ser humano; sin embargo, su límite de resolución de aproximadamente un micrómetro ( $10^{-6}$  m), ya no fue posible mejorarlo debido al factor limitante de la longitud de onda de la luz (450-640 nm).

## 1.8 ESTADO DEL ARTE

En 2014, Arroyo y Murillo realizaron la sustitución de maíz por harina de Pejibaye para la alimentación de gansos en etapa de inicio (0-4 semanas), se evaluó ganancia de peso, conversión alimenticia, conversión calórica y porcentaje de mortalidad, se distribuyeron en cuatro tratamientos dependiendo de la raza (Toulouse, Embden, China y Africana), las cuales se distribuyeron en cuatro tratamientos, sustituyendo la harina de maíz en 0, 25, 50 y 75% en raciones isoproteicas pero no isocalóricas, durante cuatro semanas que duró la prueba. En el ensayo se determinó un consumo menor de alimento y una ganancia de peso menor conforme aumentó el nivel de sustitución de maíz por harina de pejibaye. Sin embargo, en las variables, conversión alimenticia y costos de alimentación/kg de carne de ganso en pie, los cuales son parámetros muy importantes para determinar la eficiencia de las dietas, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos cuando el nivel de sustitución de maíz por harina de pejibaye fue inferior o igual al 50 % en las dietas de los gansos, en conclusión sugieren utilizar harina de pejibaye en dietas para iniciación en gansos con un nivel de sustitución de maíz por harina de pejibaye con un nivel máximo del 50%, ya que después de este nivel, el consumo de alimento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia y el costo por kilogramo de carne en pie y mortalidad se ven afectadas significativamente.

En 2015, López *et al.*, en Costa Rica estudiaron la aceptabilidad de cuatro formulaciones para la elaboración de bocadillo a partir de pejibaye con el fin de conocer el grado de aprobación, por una población de consumidores. Se evaluó el agrado y el concepto que emitían en cuanto a las diferentes formulaciones, dando como resultado una aceptación del 85% de personas comprarían el producto. Fueron dos productos los que tuvieron mayor aceptación; a estos se les hizo una evaluación cualitativa; obteniéndose como resultado que, el bocadillo contiene en 100 g de producto en base seca:  $9 \pm 4$  g de grasa,  $14,0 \pm 0,3$  g de fibra dietética,  $15500 \pm 32$   $\mu$ g de carotenoides y tiene una capacidad antioxidante de  $4700 \pm 8$   $\mu$ mol TE, lo que evidencia su potencial como alimento funcional.

Ortega, Hernández y Acosta (2013) desarrollaron galletas a base de harinas libres de gluten (maíz, arroz y quinua), Se evaluaron los índices de absorción y de solubilidad en agua y las mezclas 60:40 y 70:30 presentaron las mejores características (baja absorción y alta solubilidad). El análisis proximal de las harinas, reveló una composición acorde con los reportes de la literatura, se estudiaron algunas propiedades reológicas de las harinas y de sus mezclas (consistencia, curva de empastamiento y viscosidad), encontrando que



las mezclas formaban geles estables. Se produjeron masas de todas las mezclas. El producto obtenido cumplió con los requerimientos de formulación, de composición, de procesabilidad y de aceptación sensorial. Estos resultados indican que se pueden desarrollar productos funcionales de panificación (basados en quinua) con propiedades que favorezcan poblaciones con problemas nutricionales específicos, en este caso, aquellos con enfermedad celíaca.

En la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, Pablo Pizzani y sus colaboradores (2008), utilizaron la técnica *in vitro* de producción de gas, con el objetivo de conocer la degradabilidad de la harina integral y del almidón de frutos de Pijigüao (*Bactris gasipaes* H.B.K.) como alimento para los rumiantes. Estos frutos fueron previamente secados a una temperatura de 50°C en una estufa de flujo continuo, posteriormente molidas a 1mm, extrayéndose el almidón por fraccionamiento húmedo y centrifugación directa. La producción de gas (ml/g MS) durante la incubación *in vitro* de los sustratos a las 24 horas, fue de 432,5 y 516,7 ml/g MS, para la harina integral y el almidón, respectivamente. Con tasas fraccionales para cada sustrato de 0,33 y 0,035 ml/h y períodos de latencia de 3,72; 2,96 h. La degradabilidad aparente de la materia seca y la energía metabolizable estimada fueron de 79,34; 98,68% y 14,11; 16,90 MJ/kg MS para la harina integral y el almidón, respectivamente. Los resultados de esta evaluación *in vitro* de la harina integral y del almidón del fruto del Pijugüao, en cuanto a su degradabilidad y contenido estimado energético, indican que es un ingrediente con potencialidades para ser usado en la alimentación de los rumiantes (Pizzani *et al.*, 2008).

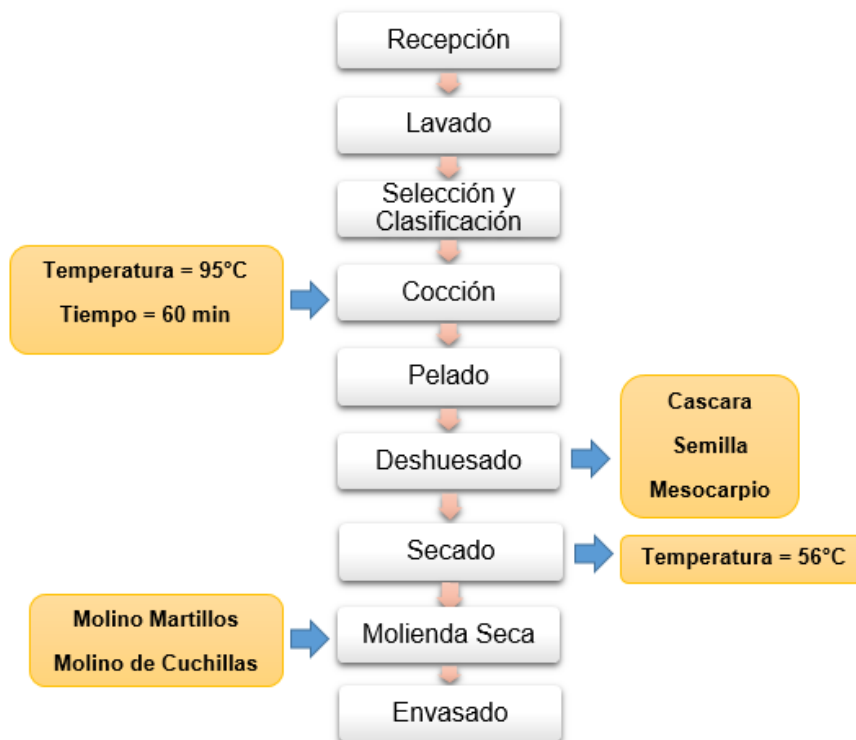
De acuerdo con Restrepo (2007), el chontaduro es probablemente el más balanceado de todos los alimentos tropicales, conteniendo carbohidratos, proteínas, grasa, minerales y vitaminas. Es extremadamente rico en vitamina A (mucho más que el trigo y el maíz),  $\beta$ -caroteno (precursor de la vitamina A), y contiene otras vitaminas como la B y C, todas ellas poderosas sustancias antioxidantes. También presenta una gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (Chaparro, 2011), es rico en minerales esenciales para la dieta como calcio, potasio, magnesio, manganeso, selenio, cromo, hierro y zinc aportando entre el 8-10% de los requerimientos necesarios según la ingesta diaria recomendada para personas entre 25 y 50 años. Es una poderosa alternativa alimenticia y nutricional sin aprovechar, pues presenta entre el 2,5 y 5,5% de proteína de alta calidad ya que contiene 7 de 8 aminoácidos esenciales. Además, la cáscara y la semilla que acompañan a la pulpa pueden ser usados para alimentación animal (Yuyama, 2003). El contenido de grasa del fruto hace de éste una fuente importante de ácidos grasos poliinsaturados (oleico linoleico y linoléico) que lo convierten en un aceite de muy buena calidad que puede traer beneficios a nivel cardiovascular (Chaparro, 2011; Restrepo *et al.*, 2012).

En convenio con el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), en 2009, se realizó un trabajo de investigación sobre la caracterización fisicoquímica de frutos provenientes de las zonas de Valle, Cauca y Putumayo, lográndose establecer que los frutos provenientes de la región de Cuatro Esquinas en el municipio de El Tambo (Cauca) son los de mejor aporte en proteína y grasa; este trabajo logró caracterizar los ácidos grasos del fruto, con apoyo de la Universidad de Montpellier, Francia (Rivera, 2009). Además de sus propiedades nutritivas, el chontaduro puede ser considerado como un

alimento funcional ya que se ha demostrado científicamente que presenta compuestos bioactivos que afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, porque proporcionan una mejora en el estado de salud, además de ejercer un papel preventivo reduciendo los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades, brindando beneficios al metabolismo, o al sistema cardiovascular (Velez, 2012).

## 2. METODOLOGÍA

Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de harina del fruto chontaduro (*Bactris gasipaes*)



En el desarrollo de la experimentación para la obtención de la harina de chontaduro en condiciones nutricionales óptimas, será de carácter investigativo buscar los componentes beneficiosos presentes en el chontaduro (*Bactris gasipaes*) mediante un análisis proximal y reconocer cuales permanecen durante todo el proceso de elaboración de los productos finales (galletas). De manera experimental se controlarán todas las variables necesarias para la elaboración de la harina de chontaduro.

### 2.1 OBTENCIÓN DE FRUTO Y HARINA

Los frutos se obtuvieron en el corregimiento de Cuatro Esquinas localizado a 23 km de la cabecera municipal de El Tambo en el pie de monte de la cordillera occidental, localizado a una altura de 1269 msnm con temperatura entre 22 y 28°C, precipitaciones anuales entre 1500 y 2500 mm/año y humedad relativa entre 70 y 80% (Ver figura 5).

**2.1.1 Obtención de harina de *Bactris gasipaes*.** El proceso de obtención y control de calidad de la harina de chontaduro fue desarrollado por estudiantes de Ingeniería

Agroindustrial pertenecientes al grupo de investigación Metanoia de la Universidad del Cauca, la harina suministrada se obtuvo por deshidratación de los frutos a 56°C/4horas para evitar pérdida de nutrientes. El transporte de los frutos a la Facultad se hizo por vía terrestre en horas de la mañana para evitar daño por efecto de la temperatura.

Figura 5. Chontaduro (*Bactris gasipaes*)



La harina presentó la siguiente composición nutricional (Ver anexo A).

Cuadro 3. Composición nutricional de la harina de chontaduro suministrada

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje</b>
Fibra Cruda	6,29 %
Proteína	6,13 %
Grasa	13,25 %
Humedad	11,35 %
Ceniza	2,07 %
Carbohidratos	58,5 %

Fuente: Laboratorio de Análisis de Alimentos EcoQuímica.

## 2.2 MOLIENDA

La reducción de tamaño fue realizada en dos tipos de molinos (cuchillas y martillos) marca IKA® MF10 Basic perteneciente al Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias, con el fin de determinar el tamaño de partícula ideal (diámetro promedio) para la harina de chontaduro teniendo como referencia la norma técnica de harinas utilizadas en panificación (NTC 267). Se molieron dos lotes cada uno de 355 gramos de chontaduro cocido y deshidratado, tanto en el molinos de martillos como en el de cuchillas marca IKA® MF 10 Basic con malla de 1 mm.

## 2.3 GRANULOMETRÍA

De cada muestra de chontaduro molido se tomaron 100 gramos por el método de cuarteo manual, para su posterior tamizado en el equipo Ro Tap Tyler perteneciente al Laboratorio de Reología de la Facultad de Ciencias Agrarias, el cual consta de 5 tamices (N° 30, 40, 50, 60, y 70), con tamaño de partícula 600 $\mu$ m, 425 $\mu$ m, 300 $\mu$ m, 250 $\mu$ m y 212 $\mu$ m respectivamente. Por cada malla se determinó el peso retenido de harina y a partir de éste, el porcentaje retenido y se estableció la curva granulométrica (Ver figura 6).

Figura 6. Diagrama de flujo del procedimiento para la obtención de las fracciones de la harina de chontaduro



**2.3.1 Selección de la fracción granulométrica para la elaboración de galletas.** La selección de la fracción granulométrica de la harina de chontaduro se hizo con base a los siguientes criterios: 1. Buen contenido de proteína y almidón. 2. Granulometría semejante a la harina de trigo, teniendo en cuenta la NTC 267 séptima actualización 2007.

## 2.4 COLORIMETRÍA

Para la evaluación de los atributos de color de las muestras de harina obtenidas en los dos tipos de molino (Martillos y cuchillas), el instrumento utilizado fue el colorímetro Triestímulos NR20XE – 3nh, perteneciente al grupo de investigación CYTBIA de la Facultad de Ciencias Agrarias, con iluminante D65 (luz de día) y observador padrón 10° (CIE 1967 10°); el cual permitió la lectura directa de las coordenadas de L\* (luminosidad), a\* (tonalidades de verde a rojo) y b\* (tonalidades de azul a amarillo).

Se tomó una muestra de harina y se llevó al colorímetro para tomar la medición de color, asegurándose que la muestra tapara totalmente la fuente de luz. Se colocaron las muestras de harina de chontaduro obtenidas por cada molino, en este caso Martillos - Cuchillas y a su vez previamente tamizadas en (N° 30, 40, 50, 60, y 70) en placas de icopor de 8 cm de diámetro. Para cada muestra conseguida de los tamices, se realizó por triplicado la prueba de colorimetría, desarrollando de manera experimental la lectura de valores en ( $L^*$   $a^*$   $b^*$   $c^*$  y  $h^*$ ). Las medidas de color fueron expresadas por los valores especiales obtenidos a partir del sistema CIE- $L^*$   $a^*$   $b^*$  (García y Calixto, 2000).

$L^*$ = Índice de luminosidad (100= blanco; 0= negro)

$a^*$ = Longitud de onda predominante (positivo= rojo; 0= gris; negativo = verde).

$b^*$ = Longitud de onda predominante (positivo= amarillo; 0= gris; negativo= azul).

## 2.5 ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA (ISA), ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

Para la determinación del ISA, IAA y PH se siguió el método de Anderson *et al.* (1969), con algunas modificaciones. Se pesaron 2g (b.s) de harina de chontaduro en un tubo de centrifuga debidamente pesado, se adicionaron 30ml de agua destilada en un tubo de 50ml, usando un mezclador de vortex marca Thermolyne Maxi Mix II durante 15 segundos, seguido a esto, se colocaron las muestras en baño maría a 65°C durante 30 minutos. Se dejó enfriar a temperatura ambiente para luego llevar a la centrifuga marca Hermle a 1000g durante 10 minutos. Posteriormente, se decantó el sobrenadante, el gel retenido en los tubos se pesó y se tomó una muestra de 25ml en una caja de Petri previamente pesada y se secó en horno a 45°C durante 24 horas. Finalizado este proceso, se pesó la caja de Petri con el material seco. Los ensayos se realizaron por triplicado.

Figura 7. Mezclador de vórtex



Thermolyne Maxi Mix II

Figura 8. Muestras en baño maría a 65°C durante 30 minutos



Figura 9. Centrifugación



A) Centrífuga Hermle

B) Sobrenadante y sedimento

## 2.6 CURVAS DE EMPASTAMIENTO

El procedimiento para la ejecución por triplicado de las curvas de empastamiento de la harina de chontaduro para cada tamiz (N° 30, 40, 50, 60 y 70), fueron realizadas por la persona encargada del laboratorio de reología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca. Este procedimiento consistió en preparar aproximadamente 25 mL de una suspensión al 8% en base seca de la muestra en agua destilada y posteriormente se adicionó en la celda de aluminio.

El método programado en el software fue:

Etapas de acondicionamiento a una temperatura de 50°C, con una velocidad de precizalla de 78,53 rad/s durante 30 segundos.

Etapas de equilibrio a una velocidad angular de 16,75 rad/s durante 1 minuto, a temperatura de 50°C.

Rampa de temperatura desde 50°C hasta 90°C a una velocidad de calentamiento de 12,2°C/min y velocidad angular de 16,75 rad/s.

Etapa de equilibrio (*Peak hold step*) a una velocidad angular de 16,75 rad/s durante 2 minutos y 30 segundos, a temperatura de 90 °C.

Rampa de temperatura desde 90°C hasta 50°C a una velocidad de enfriamiento de 12,2°C/min y velocidad angular de 16,75 rad/s.

Etapa de equilibrio (*Peak hold step*) a una velocidad angular de 16,75 rad/s durante 2 minutos, a temperatura de 50°C.

Etapa pos-experimental con temperatura de 30°C.

Las variables analizadas en la caracterización de las curvas de empastamiento fueron: temperatura y tiempo de inicio de gelatinización ( $T_{pasting}$  °C) y ( $t_{pasting}$  -min), viscosidad máxima ( $V_{max}$  -cP), temperatura en viscosidad máxima ( $T_{Vmax}$  °C) y tiempo en viscosidad máxima ( $t_{Vmax}$  -min), inestabilidad del gel (Breakdown) ( $V_{max}$  - VPC -cP), viscosidad de la pasta caliente (VPC -cP), viscosidad mínima ( $V_{min}$  -cP), viscosidad de la pasta fría (VPF -cP), reorganización (Setback) (VPF -  $V_{max}$  -cP).

## 2.7 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

La observación de las partículas de las muestras de estudio de harina de chontaduro obtenidas tanto del molino de martillos como el de cuchillas fue realizado en un microscopio electrónico marca NIKON JAPAN Y-TV65 y su posterior análisis en la cámara digital NIKON SIGHT pertenecientes a la Unidad de Análisis de Microscopía Electrónica de la Universidad del Cauca, con el fin de determinar por medio de un software (NIS-Elements) de captura de imágenes de microscopía, cuáles reportaron el tamaño de partícula encontrada en la harina de chontaduro obtenida en cada uno de los molinos. Para el desarrollo de la práctica fue necesario preparar adecuadamente las muestras para el montaje en el microscopio, disolviendo 0.2 g de harina en 3 gotas de clara de huevo, con el fin de tener una solución homogénea y más fácil de manipular en el momento de hacer la lectura en el microscopio. Se determinó el diámetro promedio por triplicado para cada muestra de harina (Molino martillos y Molino de Cuchillas) con un objetivo de 10X, siendo este el que mejor se ajustó al caso y proporcionó mejores imágenes, contribuyendo así, a mejorar el detalle de la muestra.

Este procedimiento proporciona información de una gran variedad de características de los alimentos como la composición química y distribución de sus componentes, características estructurales y la presencia de contaminantes o microorganismos, en este caso, únicamente se estudiaron características físicas como lo es el tamaño de partícula.

## 2.8 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los resultados del presente estudio, se analizaron bajo un diseño factorial 2 x 5, con tres replicas para cada una de las pruebas realizadas a las harinas obtenidas en los dos tipos



de molino (Martillos y Cuchillas), las cuales fueron: colorimetría, índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA). Los factores fueron el molino de martillos y el molino de cuchillas, cada uno con cinco niveles (tamices N° 30, 40, 50, 60 y 70), los cuales fueron definidos independientemente para cada muestra de harina. La unidad experimental de estudio fueron las muestras de harina obtenidas de los dos molinos, seguido de su cribado en los 5 tamices para definir el tamaño de partícula con las mejores características físicas que demanda una harina según la normatividad para la elaboración de galletas.

El análisis de los datos, se realizó mediante un análisis estadístico de varianza ANOVA y el t Test, con un nivel de significancia del 5%, para la comparación de medias entre todos los tratamientos realizados, empleando el programa GraphPad Prism.

Mediante un ANOVA multifactorial se analizaron las diferencias estadísticas de los valores obtenidos y la correlación de los diferentes parámetros analizados para cada muestra. De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis estadístico se seleccionarán aquellas muestras que presenten las mejores propiedades nutricionales, físicas, químicas y funcionales.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 OBTENCIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA HARINA DE CHONTADURO

**3.1.1 Molienda del fruto chontaduro.** Para reducir el tamaño de partícula del chontaduro se utilizaron dos tipos de molinos (cuchillas y martillos) marca IKA® MF 10 Basic pertenecientes al Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias. Para cada molino la criba puede ser fija o intercambiable, en este caso se empleó una criba de 1 mm para la experimentación. El tamaño de las partículas y la uniformidad de la harina producida por el molino de martillos dependen del tamaño, forma, velocidad, y desgaste de los martillos, al igual que del tipo del diámetro de la malla utilizada. Los molinos de martillos pueden producir una amplia gama de tamaños de partículas. Estos molinos trabajan bien con materiales fibrosos como lo es el chontaduro.

Figura 10. Cabezales Molinos Cuchillas (A) – Molino Martillos (B)

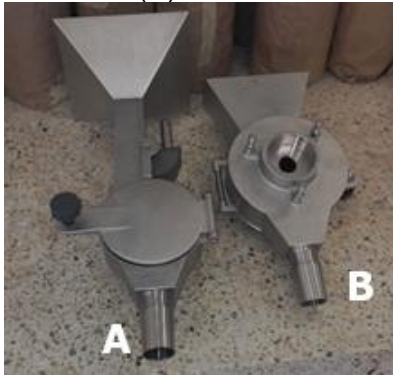


Figura 11. Chontaduro Troceado y molienda



En el cuadro 4 se puede observar que en la molienda de cuchillas, se obtuvo un rendimiento promedio de harina de chontaduro correspondiente a 83,67% y una pérdida de 16,33%, mientras que en el cuadro 5, se puede observar que la molienda de martillos se obtuvo un rendimiento promedio de harina de chontaduro correspondiente a 94,16% y una pérdida de 5,84%. Se obtuvo harina de color naranja, característico del pigmento original del fruto. Las pérdidas por molienda, muy probablemente se debieron al calentamiento que generalmente ocurre por la fricción y movimiento del material dentro del molino durante el proceso. Lo cual ocasiona migración de humedad al aire y por ende se reduce el peso. Adicionalmente, el aumento de la merma, se debe a la pérdida de partículas muy finas hacia la atmósfera.

Cuadro 4. Rendimiento de la harina de chontaduro (%) en molino de cuchillas

Molienda Cuchillas	Harina de Chontaduro	Pérdidas por molienda
N°1	84,8	15,2
N°2	83,21	16,79
N°3	83,01	16,99
<b>Promedio</b>	<b>83,67</b>	<b>16,33</b>
<b>Desviación</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>

Cuadro 5. Rendimiento de la harina de chontaduro (%) en molino de martillos

Molienda Martillos	Harina de Chontaduro	Pérdidas por molienda
N°1	95	5
N°2	94,37	5,63
N°3	93,1	6,9
<b>Promedio</b>	<b>94,16</b>	<b>5,84</b>
<b>Desviación</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>

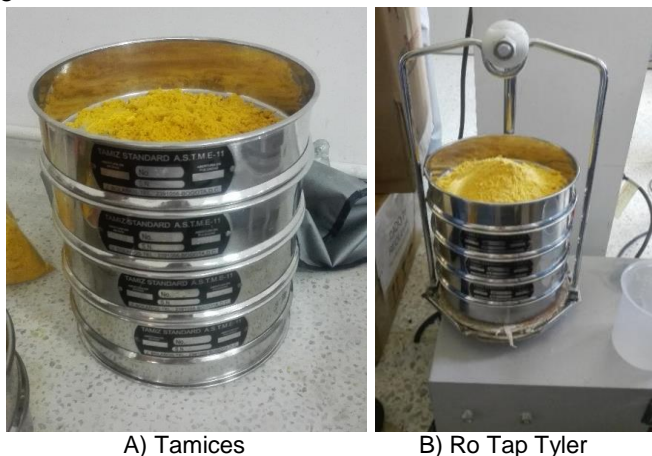
En la figura 12 se presenta la harina obtenida en el molino de martillos y en el de cuchillas.

Figura 12. Harina de chontaduro. Obtención y Harina de Chontaduro en Molino de Cuchillas (A) - Harina de Chontaduro Molino de Martillos (B)



**3.1.2 Tamizado de la harina de chontaduro.** El tamaño de los orificios de la criba que cubre la salida de los molinos (cuchillas y martillos), determina el tamaño de las partículas de la harina. En este caso, se utilizó una criba de 1mm.

Figura 13. Tamizado



En el cuadro 6, se puede observar que el mayor porcentaje de harina de chontaduro obtenida por el molino de martillos, corresponde al tamaño de partícula de 300  $\mu\text{m}$  con un promedio de 36,38%; seguido de la fracción de 425  $\mu\text{m}$  con un 28,70%, siendo el menor porcentaje de harina correspondiente al tamaño de partícula de 212  $\mu\text{m}$  con un porcentaje de 4,57%.

Cuadro 6. Distribución de la harina de chontaduro Molino de Martillos

Distribución de la Harina Molino de Martillos (%)					
Tamices N°	Tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ )	Tamizado N°1	Tamizado N°2	Tamizado N°3	Promedio
30	600	11,58	12,76	10,25	11,53
40	425	29,00	28,2	28,91	28,70
50	300	34,94	37,32	36,89	36,38
60	250	15,27	13,61	14,55	14,48
70	212	5,02	4,15	4,53	4,57
	<b>Pérdidas por tamizado</b>	4,19	3,96	4,87	4,34

De igual manera en el cuadro 7, se puede observar que el mayor porcentaje de harina obtenida por el molino de cuchillas, corresponde al tamaño de partícula de 300  $\mu\text{m}$  con un promedio de 35,16%; seguido de la fracción de 425  $\mu\text{m}$  con un 22,27%, siendo el menor porcentaje de harina correspondiente al tamaño de partícula de 212  $\mu\text{m}$  con un porcentaje de 9,65%. Es pertinente mencionar que puede usarse otra criba, diferente a 1mm, para cambiar la granulometría deseada cuando es necesario, para el presente trabajo no se usó porque con la distribución de tamaño lograda, se pudo seleccionar una fracción adecuada tanto en rendimiento como en tamaño de partícula, para ser evaluada en la elaboración de galletas.

Cuadro 7. Distribución de la harina de chontaduro Molino de Cuchillas

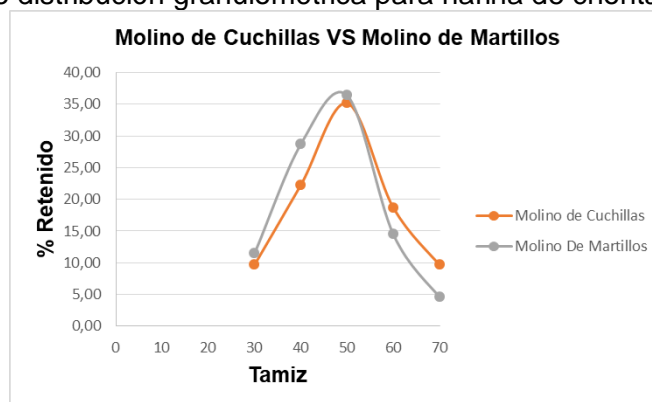
Distribución de la Harina Molino de Cuchillas (%)					
Tamices N°	Tamaño de partícula (µm)	Tamizado N°1	Tamizado N°2	Tamizado N°3	Promedio
30	600	9,81	10,08	9,26	9,72
40	425	20,76	22,93	23,12	22,27
50	300	33,09	35,1	37,29	35,16
60	250	19,78	18,41	17,85	18,68
70	212	9,37	9,15	10,44	9,65
	<b>Pérdidas por tamizado</b>	7,19	4,33	2,04	4,52

Las pérdidas de harina obtenidas del molino de martillos y cuchillas por tamizado son 4,34% y 4,52% respectivamente, se atribuyen al proceso de limpieza en cada tamizado.

**3.1.3 Granulometría.** La prueba de granulometría se realizó con el fin de caracterizar y tener un producto uniforme en la distribución de partículas. En el cuadro 8 se presentan los valores de porcentajes de retenido en cada malla para las harinas y en la Figura 11 se representa gráficamente la distribución en cada tamiz de las harinas. También se puede observar en el cuadro 8 el módulo de fineza y diámetro promedio para cada harina.

En la figura 14, se presentan las curvas de distribución granulométrica para cada una de las harinas obtenidas de los dos molinos.

Figura 14. Curva de distribución granulométrica para harina de chontaduro



Cuadro 8. Módulo de fineza y diámetro promedio de la harina de chontaduro

	Harina de Chontaduro	
	Molino de Martillos	Molino de Cuchillas
<b>MF</b>	3,1513 ± 0,04	2,9016 ± 0,08
<b>Diámetro promedio</b>	0,9296 ± 0,02	0,7826 ± 0,04

Clasificación de harinas: gruesas ( $MF \geq 4,10$ ), media ( $3,20 \leq MF \leq 4,10$ ) y fino ( $1,5 \leq MF \leq 2,3$ ) y muy finos ( $MF \leq 1,5$ ) (Souza, 2010).

Se determinó a partir del análisis granulométrico, representado en la figura 11, que la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas presentó una menor granulometría comparada con la obtenida en el molino de martillos, sin embargo, es pertinente mencionar que los resultados que arrojó la gráfica no muestran diferencia significativa para descartar alguno de los molinos. También se puede observar un comportamiento uniforme en las dos curvas, teniendo como resultado un porcentaje de retención de 36,38% en el tamiz N°50 para el molino de martillos y un 35,16% para los molinos de cuchillas

La importancia de la caracterización granulométrica está relacionada con la difusividad del agua en las partículas, es decir, con la capacidad de la harina para absorber agua que dependiendo del tamaño pueden absorber mayor o menor cantidad de agua durante el acondicionamiento de la materia prima. (Carvalho *et al.*, 2010). Las partículas con tamaños más pequeños absorben proporcionalmente más agua y más rápidamente, que las partículas con mayor tamaño, lo que se debe a que hay una mayor área superficial para interactuar con las moléculas de agua. Sin embargo, la uniformidad de la granulometría es más importante que el tamaño de las partículas, debido a que favorece la distribución uniforme del agua en la masa (Schmiele *et al.*, 2011).

A partir del cuadro 8, se determinó que la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas tiene menor diámetro geométrico promedio (dgw), comparado con la harina obtenida por el molino de martillos. Se puede afirmar que la harina obtenida por los diferentes molinos (martillos y cuchillas), presentan granulometría media, teniendo en cuenta la clasificación de harinas propuesta por Souza (2010) media ( $3,20 \leq MF \leq 4,10$ ).

Las harinas clasificadas como finas, son ideales para la incorporación en productos de panificación, ya que posibilitan una mayor incorporación de los ingredientes en la masa, lográndose productos finales con una mayor homogeneidad (Sandoval *et al.*, 2011). En referencia específica a galletería, la granulometría de las harinas utilizadas para la producción de galletas es muy variable y depende de las características que se deseen en el producto final; en este caso, el resultado obtenido para módulo de fineza (MF) para la harina, no es un obstáculo para la producción de este tipo de productos; ambos molinos presentaron un resultado que se encuentra dentro del rango de módulo de fineza medio.

### **3.2 COLORIMETRÍA**

El color es uno de los atributos más importantes en los alimentos. La medición del color tiene aplicaciones en el control de calidad y el desarrollo de nuevos productos. En esta investigación se caracteriza el color instrumental (escala CIE-L\*a\*b\*) de la harina de chontaduro elaborada por estudiantes de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad del Cauca mediante la determinación de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$  y  $h^*$ ) de 10 muestras (5 Molino de Martillos y 5 Molino de Cuchillas), de cada uno de los tamices (N° 30, 40, 50, 60, y 70) por triplicado, con tamaño de partícula 600µm, 425 µm, 300 µm, 250 µm y 212 µm respectivamente (anexo C).

Figura 15. Colorimetría



A) Colorímetro Triestímulos NR20XE – 3nh  
B) Prueba de Colorimetría

El color se analizó mediante el cambio de este parámetro entre los dos tipos de harinas obtenidas del molino de martillos y cuchillas.

Cuadro 9. Análisis colorimétrico de la harina de chontaduro – Molino de Cuchillas

Molino de Cuchillas					
Tamiz	a*	b*	c*	h*	L*
30	16,30±0,17 <sup>a</sup>	51,12±0,21 <sup>a</sup>	53,66±0,25 <sup>a</sup>	72,32±0,12 <sup>e</sup>	65,54±0,21 <sup>d</sup>
40	15,01±0,01 <sup>b</sup>	50,37±0,06 <sup>b</sup>	52,55±0,05 <sup>b</sup>	73,40±0,03 <sup>d</sup>	67,15±0,15 <sup>c</sup>
50	14,57±0,01 <sup>c</sup>	50,01±0,08 <sup>c</sup>	52,09±0,08 <sup>c</sup>	73,76±0,02 <sup>c</sup>	68,05±0,11 <sup>b</sup>
60	13,66±0,06 <sup>d</sup>	48,32±0,12 <sup>d</sup>	50,21±0,13 <sup>d</sup>	74,22±0,03 <sup>b</sup>	69,99±0,10 <sup>a</sup>
70	13,72±0,04 <sup>d</sup>	50,12±0,09 <sup>c</sup>	51,96±0,10 <sup>c</sup>	74,69±0,02 <sup>a</sup>	70,21±0,14 <sup>a</sup>

Las diferentes letras de a-e indican diferencia significativa entre las medias de (a\*, b\*, c\* h\* y L\*) para el molino de cuchillas con un (P < 0.05).

Cuadro 10. Análisis colorimétrico de la harina de chontaduro – Molino de Martillos

Molino de Martillos					
Tamiz	a*	b*	c*	h*	L*
30	14,77±0,03 <sup>a</sup>	52,11±0,07 <sup>a</sup>	54,16±0,08 <sup>a</sup>	74,18±0,02 <sup>e</sup>	68,92±0,09 <sup>d</sup>
40	13,76±0,02 <sup>c</sup>	49,35±0,12 <sup>e</sup>	51,23±0,13 <sup>e</sup>	74,43±0,03 <sup>d</sup>	68,62±0,08 <sup>e</sup>
50	14,11±0,02 <sup>b</sup>	51,91±0,03 <sup>b</sup>	53,79±0,03 <sup>b</sup>	74,79±0,02 <sup>c</sup>	70,58±0,07 <sup>b</sup>
60	13,76±0,02 <sup>c</sup>	51,34±0,02 <sup>c</sup>	53,15±0,02 <sup>c</sup>	75,00±0,03 <sup>b</sup>	70,79±0,11 <sup>a</sup>
70	13,16±0,02 <sup>d</sup>	50,29±0,04 <sup>d</sup>	51,99±0,04 <sup>d</sup>	75,33±0,01 <sup>a</sup>	70,08±0,13 <sup>c</sup>

Las diferentes letras de a-e indican diferencia significativa entre las medias de (a\*, b\*, c\* h\* y L\*) para el molino de martillos con un (P < 0.05).

A partir de los cuadros 9 y 10, se estableció que en la harina de chontaduro obtenida por cada tamiz se produjo un cambio de color no identificable fácilmente, por los cambios



generados en los atributos perceptuales. Partiendo de esto, fue necesario realizar el análisis por medio del “t test” y ANOVA para la harina obtenida por cada uno de los tamices (N° 30, 40, 50, 60 y 70) y a su vez la comparación de los atributos de color ( $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ ,  $h^*$   $L^*$ ), es decir, las variables a estudiar en los dos tipos de molinos.

Se puede observar que para la harina de chontaduro obtenida en los dos tipos de molinos (martillos y cuchillas), el índice de luminosidad ( $L^*$ ) aumenta a medida que disminuye el tamaño de partícula en los tamices empleados en la experimentación, generando así una tonalidad mucho más clara del producto, tendiendo a valores cercanos a 100. Igualmente se evidencia un cambio de tono hacia el lado derecho del plano cromático y un aumento en la saturación de las moléculas de color. Como el croma y el tono dependen de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ , se identificó que el cambio se produjo hacia un color más amarillo con una pequeña carga de rojo, que junto con el aumento de la luminosidad, se traduce a una coloración naranja.

El valor p para cada uno de los factores molino de martillos y molino de cuchillas, es mayor que el nivel de significancia establecido del 5%, por lo cual se concluye que el efecto de su interacción sobre el atributo de color ( $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ ,  $L^*$ ) no fue significativo entre los dos tipos de molino, mientras que para el atributo de color ( $h^*$ ) el valor p es menor que el nivel de significancia mencionado anteriormente. Por tanto, se estableció que el efecto de su interacción sobre la variable a estudiar, fue significativo entre los dos molinos. Cabe resaltar que el atributo de color ( $h^*$ ) presenta valores mayores para el molino de martillos, siendo este el matiz con valores de grados comprendidos entre  $0^\circ$  (rojo) a  $90^\circ$  (amarillo). Tanto para el molino de martillos como el de cuchillas, el atributo de color ( $c^*$ ) que representa el Chroma o saturación, arroja valores superiores a 50, lo cual quiere decir que entre más se acerque a 100 existirá una saturación cromática muy alta.

El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto. Es un atributo de apariencia de los productos y su observación permite detectar ciertas anomalías y defectos. Partiendo de la anterior información, es pertinente mencionar que el color depende de la variedad del chontaduro, de la separación correcta de las partículas en la molienda y de la cantidad de extracción (mayor o menor cantidad de partículas sucias). La prueba de colorimetría se realizó a la harina de chontaduro con el fin de caracterizarla y tener un producto uniforme en la distribución de partículas.

### **3.3 ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA E ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA**

Los índices de solubilidad y absorción de agua se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos. Del método que se siguió se obtuvieron los resultados de la determinación de la media de IAA e ISA de cada una de las muestras de harina de chontaduro de los dos tipo de molino (Cuchillas y Martillos) obtenidas de los tamices (N° 30, 40, 50, 60, y 70) y 3 repeticiones, presentados en el cuadro 11, respectivamente (anexo B).



En la comparación del Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad de Agua (ISA) en Molino de Martillos y Cuchillas, se pudo observar que el mayor valor de %ISA en el molino de martillos se presentó con el tamiz N°50, con 10,71% y para el molino de cuchillas también en el tamiz N°50, con 9,96%.

Cuadro 11. Comparación del (IAA) e (ISA) en Molino de Martillos y Cuchillas

Tamices	Molino martillos		Molino cuchillas	
	ISA (%)	IAA	ISA (%)	IAA
30	9,17 ± 0,03 <sup>c</sup>	3,76 ± 0,11 <sup>a</sup>	8,46 ± 0,04 <sup>d</sup>	4,02 ± 0,16 <sup>a</sup>
40	9,10 ± 0,04 <sup>c</sup>	4,06 ± 0,24 <sup>a</sup>	8,70 ± 0,06 <sup>c</sup>	3,49 ± 0,18 <sup>a</sup>
50	10,71 ± 0,02 <sup>a</sup>	3,79 ± 0,09 <sup>a</sup>	9,96 ± 0,04 <sup>a</sup>	3,84 ± 0,13 <sup>a</sup>
60	9,48 ± 0,03 <sup>b</sup>	3,79 ± 0,07 <sup>a</sup>	9,08 ± 0,04 <sup>b</sup>	3,89 ± 0,21 <sup>a</sup>
70	8,63 ± 0,01 <sup>d</sup>	4,05 ± 0,19 <sup>a</sup>	8,64 ± 0,02 <sup>c</sup>	3,84 ± 0,38 <sup>a</sup>

Las diferentes letras de a-e indican diferencia significativa entre las medias de (ISA, IAA) con (P < 0.05).

Como se puede observar en el cuadro 11, los mayores valores de %ISA se presentaron en las harinas tratadas tanto en el molino de martillos como en el de cuchillas para el tamiz N°50, con valores de 10,71% y 9,96% respectivamente. El índice de solubilidad se vio afectado significativamente (P < 0.05) por la temperatura y el tamaño de partícula; esto se explica porque la alta energía de molienda puede causar fragmentación del almidón (Martínez-Bustos, López Soto, San Martín-Martínez, Zazueta-Morales, & Vélez-Medina, 2006) y originar dextrinas, las cuales impactan la cantidad de sólidos solubles (Martínez-Bustos, López, San Martín-Martínez, Zazueta-Morales & Vélez-Medina, 2006).

Partiendo de la anterior información, el valor p obtenido en la comparación entre el molino de martillos y molino de cuchillas, es mayor que el nivel de significancia establecido del 5%, por lo cual se concluye que el efecto de su interacción entre molinos sobre el %ISA no fue significativo. Por otro lado, para la interacción de la harina obtenida por los diferentes tamices en los dos tipos de molino, el valor p es menor que el nivel de significancia mencionado anteriormente. Por tanto, se estableció que el efecto de su interacción sobre el %ISA, fue significativo.

En cuanto al IAA obtenido por cada tipo de molino no se presentó diferencia significativa entre los diferentes tamaños de partícula analizados en 5 tamices (N° 30, 40, 50, 60 Y 70), es decir, no existe efecto significativo de los diferentes tamices sobre el IAA. El IAA está relacionado también con el grado de cocción de las harinas; una mayor gelatinización da lugar a harinas con alta absorción de agua (Castillo *et al.*, 2009).

Almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento. Por otro lado, alta solubilidad, baja absorción de agua y bajo poder de hinchamiento indican un almidón de baja calidad, el cual al enfriarse produce pastas delgadas y de poca estabilidad cuando se enfrían (Anderson *et al.*, 1969). Si bien la absorción de agua se ve influenciada por las características granulométricas de la harina (Schmiele *et al.*, 2011), no es este el único factor con el que se encuentra relacionado, pues éste depende

igualmente de la conformación molecular y del número de enlaces de las moléculas, lo que implica una fuerte influencia de la composición química de la harina (Sandoval *et al.*, 2011). Se ha establecido que las harinas ricas en fibra y en proteína no formadora de gluten, pueden favorecer el aumento de la absorción de agua, ya que estos componentes compiten bien por las moléculas de agua (Da Silva *et al.*, 2013; Da Silva *et al.*, 2011).

### 3.4 CURVAS DE EMPASTAMIENTO

La proporción de amilosa - amilopectina y la estructura de las moléculas determinan las características reológicas y funcionales del almidón (Jane y Chen, 2004). La formación de geles y la retrogradación del almidón en dispersiones acuosas o soluciones, son de gran relevancia para la industria alimentaria, y son algunas de las causas del deterioro de los productos reflejado en cambios de textura durante su elaboración (Mestres, Colonna y Buleon, 1988).

De manera general, es importante mencionar que mediante el análisis realizado por ANOVA se vieron afectadas significativamente ( $p < 0.05$ ) las variables a estudiar como temperatura de gelatinización, viscosidad máxima, Breakdown y Setback en los dos tipos de molinos empleados en la experimentación. Partiendo de esto, se puede afirmar que la operación de molienda afecta significativamente el tamaño de partícula de la harina.

Al analizar el Setback tanto para el molino de martillos como el de cuchillas, se pudo observar mediante el "t test" que hubo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre estos, lo cual indica que el índice de gelificación del almidón de cada una de las harinas analizadas es diferentes, es decir, el índice de gelificación para el molino de martillos presenta retrogradación, ya que presenta un menor valor.

Figura 16. Muestra para la realización de las curvas de empastamiento de cada tamiz



El viscoamilograma de la harina de chontaduro permitió determinar la temperatura y el tiempo de inicio de hinchamiento de los gránulos de almidón para cada muestra de harina

tratada en su respectivo tamiz (N° 30, 40, 50, 60 y 70) tanto para el molino de martillos y el de cuchillas (anexo D). Al realizar un promedio de los datos recolectados por triplicado de cada tamiz se consiguieron los siguientes resultados a través del incremento de la viscosidad, dando inicio a la primera etapa o etapa de calentamiento, incrementando la viscosidad de la pasta hasta llegar a su pico de viscosidad.

Cuadro 12. Propiedades Funcionales de la Harina de Chontaduro

Tamiz	Muestras Harina de Chontaduro			
	Molino de Martillos		Molino de Cuchillas	
	T (°C) Gelatinización	t (min) Gelatinización	T (°C) Gelatinización	t (min) Gelatinización
30	81,7	5,2	70,2	4,2
40	82,9	5,1	82,0	5,1
50	77,3	4,8	75,7	4,8
60	75,2	4,9	75,8	4,8
70	76,5	4,2	75,4	4,8

El incremento en la viscosidad se debe al hinchamiento de los gránulos de almidón al calentarse; los puentes de hidrógeno más débiles en el área amorfa se rompen y el gránulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata (Aranal, 1999). La segunda etapa del proceso es la de mantenimiento, y empieza a la temperatura de viscosidad máxima, en esta etapa se debe mantener una agitación constante y alta temperatura, lo que permite que la pasta disminuya su viscosidad debido a la ruptura de los gránulos hinchados por la agitación.

En los cuadros 13 y 14 se puede observar que para la temperatura de gelatinización tanto para el molino de martillos como el de cuchillas, hay una mayor tendencia de gelatinizar en la harina de chontaduro que pasó por el tamiz N° 40.

Cuadro 13. Propiedades de gelatinización del almidón en la harina de chontaduro obtenida por molino de martillos

Tamiz	Molino Martillos			
	T (°C) gelatinización	Viscosidad max (Pa.s x 100)	Breakdown (Pa.s x 100)	Setback (Pa.s x 100)
30	81,7 ± 1,45 <sup>a,d</sup>	1,8967 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,2757 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,2557 ± 0,01 <sup>a</sup>
40	82,9 ± 0,21 <sup>a,c</sup>	1,7390 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,1483 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,2610 ± 0,02 <sup>a</sup>
50	77,3 ± 1,27 <sup>b</sup>	1,7663 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,1313 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,3170 ± 0,06 <sup>a</sup>
60	75,2 ± 1,48 <sup>b,c</sup>	1,9017 ± 0,26 <sup>a</sup>	0,1990 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,3027 ± 0,05 <sup>a</sup>
70	76,5 ± 0,21 <sup>b,d</sup>	1,9750 ± 0,15 <sup>a</sup>	0,5123 ± 0,23 <sup>a</sup>	0,3270 ± 0,09 <sup>a</sup>

Las diferentes letras de a-e indican diferencia significativa entre las medias de (T °C Gelatinización, Viscosidad max (Pa.s), Breakdown (Pa.s), Setback (Pa.s)) con (P <0.05).

Las menores temperaturas alcanzadas se dieron en los tamices N° 50, 60 y 70, debido a que en estos hay mayor fragmentación de las partículas; las cadenas de amilopectina y amilosa se separan ocasionando esto, lo cual genera una menor tendencia a gelatinizar.

Cuadro 14. Propiedades de gelatinización del almidón en la harina de chontaduro obtenida por molino de cuchillas

Molino cuchillas				
Tamiz	T gelatinización (°C)	Viscosidad max (Pa.s)	Breakdown (Pa.s)	Setback (Pa.s)
30	70,2 ± 1,27 <sup>c</sup>	2,0507 ± 0,44 <sup>a</sup>	0,5017 ± 0,12 <sup>a,c</sup>	0,284 ± 0,05 <sup>a</sup>
40	82,0 ± 0,49 <sup>a</sup>	1,7550 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,1797 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,3580 ± 0,04 <sup>a</sup>
50	75,7 ± 0,61 <sup>b</sup>	1,7387 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,1400 ± 0,01 <sup>a,c</sup>	0,3510 ± 0,01 <sup>a</sup>
60	75,8 ± 0,46 <sup>b</sup>	1,7223 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,0900 ± 0,03 <sup>a,d</sup>	0,4030 ± 0,02 <sup>a</sup>
70	75,4 ± 1,35 <sup>b</sup>	1,8860 ± 0,18 <sup>a</sup>	0,0683 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,3693 ± 0,12 <sup>a</sup>

Las diferentes letras de a-e indican diferencia significativa entre las medias de (T °C Gelatinización, Viscosidad max (Pa.s), Breakdown (Pa.s), Setback (Pa.s)) con (P <0.05).

Cabe resaltar que para la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas en el tamiz N°30 se obtuvo la menor temperatura de gelatinización en comparación con los demás tratamientos, a lo que se puede atribuir que posiblemente hubo una alteración mecánica en el proceso de tamizado, lo cual se puede ratificar analizando el valor de la desviación estándar calculada en este caso.

Por otro lado, para la viscosidad máxima durante el proceso de empastamiento de los geles el mayor pico obtenido para el molino de martillos y el de cuchillas se encuentra en el tamiz N°70 y N°30 respectivamente, lo cual podría atribuirse a una distribución amplia de los tamaños de los gránulos de almidón, es decir, la variabilidad en el tamaño de estos es probablemente el causante del comportamiento de la viscosidad. El pico de viscosidad es una medida del poder de espesamiento de un almidón.

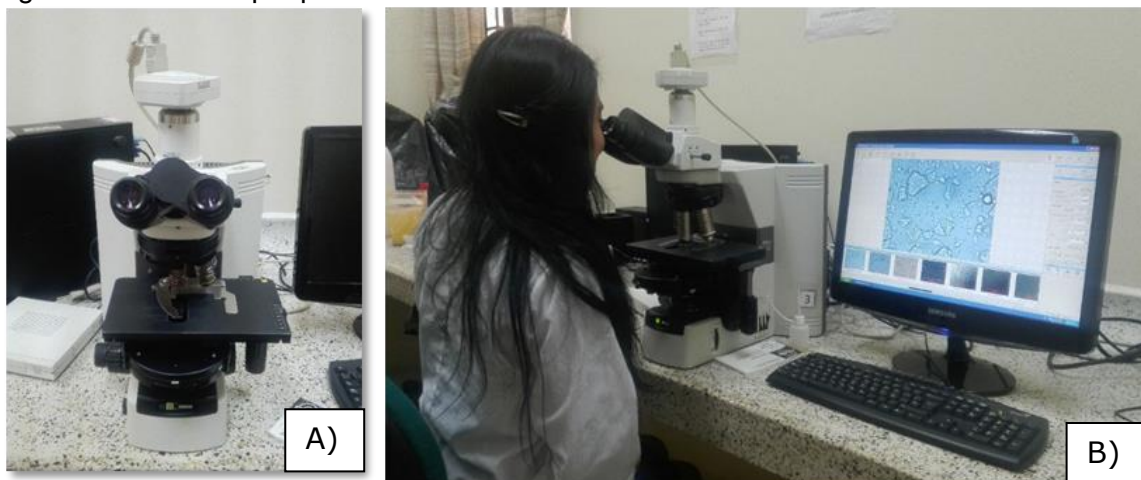
Mediante el análisis “t test” realizado en GraphPad Prism se puede observar que hubo diferencia significativa (p < 0.05) en el molino de cuchillas entre los tamices para el Breakdown, también se puede observar que para el Breakdown o la inestabilidad del gel, las harinas con mayor estabilidad durante la cocción se encuentran en los tamices N°50 (Martillos) y N°70 (Cuchillas). A mayor valor, menor estabilidad de la pasta.

Finalmente para el Setback o índice de gelificación, lo que indica la retrogradación de la pasta después del enfriamiento y la capacidad de formar geles; se puede observar que los mayores valores hallados en la experimentación se encuentran en los tamices N° 50, 60 y 70 para los dos tipos de molino. Las diferentes letras de a-e indican diferencia significativa entre las medias de (T (°C) Gelatinización, Viscosidad max (Pa.s), Breakdown (Pa.s) y Setback (Pa.s)) tanto del molino de martillos como el de cuchillas con un (P < 0.05).

### 3.5 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

Este método se basó en la medición de las partículas independientemente de su forma contra un patrón de referencia para el tamaño, en este caso, la criba seleccionada (1 mm de diámetro) para cubrir la parte inferior de cada tipo de molino.

Figura 17. Microscopía para análisis de la harina de chontaduro



A) Microscopio Electrónico NIKON JAPAN Y-TV65.  
 B) Lectura y análisis de harina de chontaduro objetivo 10X

Las partículas de la harina de chontaduro presentaron tamaños variables donde se encuentran diámetros promedios que van desde 0,84 mm hasta 0,9259 mm con formas semiesféricas irregulares; considerándose que una partícula de un sólido es aproximadamente esférica, lo que permite caracterizarla midiendo solo su diámetro.

Cuadro 15. Promedio del tamaño de partícula mediante análisis microscópico de la harina

<b>Muestras Objetivo 10X</b>		
	<b>Molino Martillos</b>	<b>Molino Cuchillas</b>
1	0,8473 ± 0,05	0,8630 ± 0,09
2	0,9259 ± 0,04	0,8400 ± 0,07
3	0,9082 ± 0,08	0,9029 ± 0,09

Promedio en milímetros del tamaño de partícula en Molino Cuchillas y Molino de Martillos

Mediante el análisis con microscopía electrónica, se observa para la harina obtenida por el molino de cuchillas, una distribución de las partículas, donde el 60% de estas presentan tamaños comprendidos entre 0,75- 0,9 mm y el 40% de partículas tienen tamaños mayores a 0,9mm.

Por otro lado, se observa para la harina obtenida por el molino de martillos, una distribución de las partículas, donde el 53,33% de estas presentan tamaños comprendidos entre 0,75 – 0,9 mm y el 46,67% restante de las partículas tienen tamaños mayores a 0,9mm. Lo anterior permite deducir que existe una relación semejante en comparación con los datos obtenidos en la metodología realizada con los tamices, lo que a su vez ratifica que la harina obtenida por el molino de cuchillas proyecta una granulometría más fina en comparación a la harina obtenida por molino de martillos en los dos métodos experimentales empleados.

Figura 18. Tamaño de partícula de harina obtenida en molino de martillos

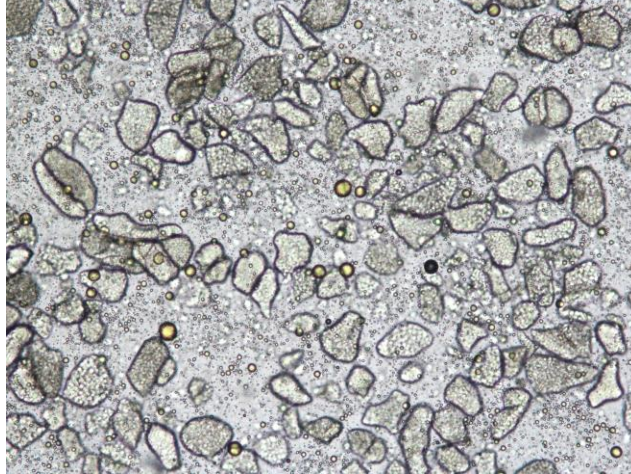


Imagen obtenida de harina de chontaduro empleando objetivo 10X.

Figura 19. Tamaño de partícula de harina obtenida en molino de cuchillas

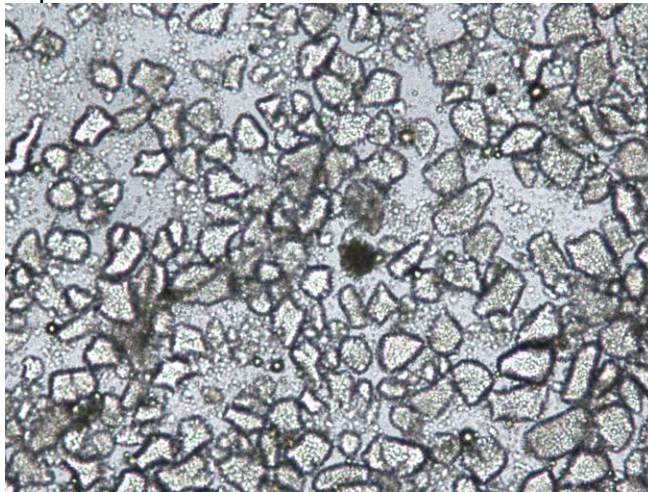


Imagen obtenida de harina de chontaduro empleando – objetivo 10X

En las observaciones de microscopía con el molino de cuchillas se halló un alto porcentaje de partículas finas, el 60% presentaron tamaño comprendidos entre 0,75- 0,9 mm, pudiendo afirmar que proyecta una granulometría más fina en comparación a la harina obtenida por molino de martillos.

La ventaja del método es que es muy exacto porque no solo da información respecto al tamaño, sino que deduce la forma y el grosor predominante; ya que permite fotografiar y hacer grandes barridos del material.



#### 4. CONCLUSIONES

El rendimiento promedio de harina de chontaduro en el molino de cuchillas fue 83,67% el mayor porcentaje de harina obtenida en este molino corresponde al tamaño de partícula de 300  $\mu\text{m}$  con promedio de 35,16%; 425  $\mu\text{m}$  con 22,27%, 250  $\mu\text{m}$  con 18,68%, 600  $\mu\text{m}$  con 9,12% y el menor porcentaje de harina corresponde al tamaño de partícula de 212  $\mu\text{m}$  con un porcentaje de 9,65%. Mientras que la molienda en molino de martillos el rendimiento promedio fue 94,16%, el mayor porcentaje de harina de chontaduro obtenida con molino de martillos corresponde al tamaño de partícula de 300 $\mu\text{m}$  con promedio de 36,38%; 425  $\mu\text{m}$  con un 28,70%, 250  $\mu\text{m}$  con 14,48%, 600  $\mu\text{m}$  con 11,53% y 212  $\mu\text{m}$  con un porcentaje de 4,57%; estas medidas con una criba de 1mm, para evaluar granulometría.

Se evaluaron las propiedades funcionales (Curvas de empastamiento) de los almidones en las diferentes muestras de harina de chontaduro obtenidas en los dos tipos de molinos; se demostró que el proceso de gelatinización se ve altamente influenciado por la concentración de almidón en la solución, donde se evidenció que a mayor concentración se presenta una menor temperatura de gelatinización, y a su vez es necesario un menor tiempo de procesamiento. Los mayores valores de %ISA se presentaron en las harinas tratadas tanto en el molino de martillos como en el de cuchillas para el tamiz N°50, con valores de 10,71g/100g muestra y 9,96 g/100g muestra respectivamente, siendo afectado significativamente ( $P < 0.05$ ) por la temperatura y el tamaño de partícula. El IAA obtenido por cada tipo de molino no presentó diferencia significativa entre los diferentes tamaños de partícula analizados en 5 tamices (N° 30, 40, 50, 60 Y 70), es decir, no existe efecto significativo de los diferentes tamices sobre el IAA (índice de absorción de agua). Estos valores son característicos de harinas no convencionales, debido a: alto contenido de carbohidratos (58,5%), fibra dietaria (6,29%), proteína (6,13%) y variabilidad en el tamaño del gránulo de almidón.

La fracción con mejor granulometría para ser empleada en repostería fue la obtenida en el molino de cuchillas, por permitir obtener partículas más finas y con un color similar al del fruto empleado en la experimentación, puesto que en la prueba de microscopia la harina obtenida presentó una granulometría más fina que la del molino de martillos, el 60% de las partículas presentaron tamaños menores a 0,9 mm. Este molino arrojó un rendimiento en los tamices N°40 y N°50 con retención del 22,27% y 35,16%. Mientras que en el molino de martillos el rendimiento fue del 28,7 y 36,38% respectivamente sin embargo solo el 53,3% de las partículas presentaron granulometría fina. La molienda en molino de martillos o cuchillas no presenta diferencia significativa en cuanto a rendimiento ni granulometría para la harina de chontaduro; tanto el módulo de fineza como el diámetro promedio de la harina obtenida por medio de los dos molinos son aptos para la utilización de la harina de chontaduro en la elaboración de galletas.

Se evaluaron los atributos de color de la harina de chontaduro, siendo la molienda en el molino de cuchillas la que mejor atributo de color ( $a^*$  y  $b^*$ ) presentó, lo cual indica la conservación de carotenos. Los carotenoides son compuestos responsables de los

colores amarillo, naranja o rojo de muchos vegetales y frutas. El color corresponde al chontaduro de la variedad rojo Cauca ovalado oblongo, puesto que este puede variar de acuerdo al fruto de procedencia y a una buena separación de partículas durante la molienda para evitar la presencia de contaminantes que afecten el color.



## **5. RECOMENDACIONES**

Realizar estudios de vida útil a la harina de chontaduro en condiciones ambientales, así como también de refrigeración, a partir de cambios físicos y microbiológicos de la harina.

Utilizar la harina obtenida con las características evaluadas en la experimentación para la elaboración de un producto final de galletería.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVIS, A.; VELEZ, C.; VILLADA, H. y RADA, M. Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. En: información tecnológica, 2008, vol. 19, pág. 19-28.

ANCHUNDIA M. Efecto del tratamiento térmico de esterilización y cocción a tacho abierto sobre la composición proximal, propiedades físicas, reológicas y nutricionales de las harinas de batata (*Ipomoea batatas*) y de arroz (*Oryza sativa*) y su utilización en la elaboración de un producto alimenticio para fenilcetonúricos. Tesis de Maestría Postgrado Inter-facultades en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Venezuela: 2009.

ANDERSON, R., CONWAY, H.F., PHEISER, V.F. Y GRIFFIN, E.L. Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. En: Cereal Science Today, 1969, vol. 14, pág. 4-12.

ARANAL. Tecnología de almidones para alimentos. Folleto. México: 1999.

ARROYO, C. y MURILLO, M. Evaluación de la harina de pejibaye (*Bactris gasipaes*) en dietas para gansos durante el período de inicio. En: Nutrición Animal Tropical, vol. 8, no. 2, pág. 10-23, 2014.

ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS AOAC. Official methods of análisis. 15th Ed. Pub. B y AOAC, Washington, D.C.: 2000.

AYALA TERÁN, J., y ROSAS PAREDES, J. Conservas de chontaduro en envases herméticos. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. Ecuador: 2006.

BARBOSA, J. R., BELTRAME, S. C., BRAGATTO, M. M., DÉBIA, J. G., BOLANHO, B. C., DALVA, E., & DANESI, G. Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subproductos agroindustriais. Revista Tecnológica, Edição Especial V Simpósio de Engenharia, Ciencia y tecnologia de Alimentos, 21-28, 2011.

BEERING, M. Techniques for measuring color. En: Metal-finishing, 1999, vol. 97, pág. 552-557.

BeMILLER, J. y WHISTLER, R. Starch: Chemistry and Technology. 3 Ed. Food Science and Technologies International Series. 2009, pág. 293-372.

BERNABE, J. Influencia de los componente de la harina en la panificación. Panorama Panadero. Indespan SL. 2009.

BOURNE, M. Texture in solid and semisolid foods. En: Food Ingenieering, vol. II. Copyright © Encyclopedia of life Support System: 1982.

BOURNE, J. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Food Sci. and Technol., Academic Press, N.Y.: 1982.

BRENNAN, J., BUTTERS, J., COWELL, N., LILLY, A. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Ed. Acribia. 2º Edición. Zaragoza, España: 1980.

CARVALHO, A.V., MARÇAL DE VASCONCELOS, A., SILVA, P.A., ASSIS, G.T. & RAMIREZ, J.L. Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. En: Ciênc. agrotec., Lavras, 2010, vol. 34, no. 4, pág. 995-1003.

CASTILLO G., E. Caracterización química de la harina de un fruto del amazonas (*Bactris gasipaes*) crudo y procesado. Universidad Simón Bolívar. Licenciatura en Química. Sartenejas, Venezuela: 2006.

CASTILLO, K.; GRAJALES, M. y MARTÍNEZ, K. Obtención de harina fortificada a base de chontaduro por el proceso de extrusión [prezi en línea]. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Tecnología en química aplicada a la industria: s.f. [Citado septiembre, 2016]. Disponible en internet en: <https://prezi.com/xpp7s8avyspv/proyecto-del-chontaduro/>

CASTILLO, V.K.C., OCHOA, M.L.A.; FIGUEROA, C.J.D.; DELGADO, L.E.; GALLEGOS, I.J.A. & MORALES, C.J. Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. En: Archivos Latinoamericanos De Nutrición, 2009, vol. 59, no. 4, pág. 425–432.

CAUVAIN, S.P. & YOUNG, L.S. Technology of Breadmaking. Ed. Blackie Academic & Professional, London: 1998.

CHAPARRO VEGA, M. C. Obtención de aceite a partir de los residuos del chontaduro [recurso electrónico] (Doctoral dissertation). 2012.

CLEMENT, C.R., & MORA-URPÍ., J. Pejibaye palm (*Bactris gasipaes*, Arecaceae): multiuse potential for the lowland humid tropics. En: Econ. Bot., 1987, vol. 41, pág. 302.

COLINA R., J. *et al.* Lípidos sanguíneos en cerdos alimentados con pijiguao (*Bactris gasipaes* Kunth) y lisina sintética. En: Revista MVZ Córdoba, vol. 16, no. 3, pág. 2668-2677, 2011.

CORPOICA. El cultivo de chontaduro para palmito (*Bactris gasipaes* H.B.K.). Programa regional de investigación agroforestal. Corpoica, Florencia: enero, 2002, 29p.

DA SILVA, J.T.; RIBEIRO, M.; DE PAULA, C.D.; LEITE, D. & PAES, J.B. Caracterização físico-química e sensorial de pão de sal enriquecido com farinha integral de linhaça. En: Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, 2011, vol. 29, no. 1, pág. 83-96.

DE SILVA, S. y ANDERSON, T. Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman & Hall. Malaysia: 1995, pág. 1971.

ELTIEMPO.COM. Chontaduro: como afrodisíaco, no se sabe...pero sí prolonga la vida [en línea]. Copyright © 2016 EL TIEMPO Casa Editorial [Citado: septiembre, 2016]. Disponible en internet en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13231535>

ERAZO, Y. y MURILLO, J. Criterios para manejo de cosecha y poscosecha de chontaduro [en línea]. Agronet. Boletín del ministerio de Agricultura. Bogotá: 1995.

ESPINOZA, F.; TORRES, A. y CHACON, E. Leucaena (*Leucaena leucocephala*) y Cují (*Acacia macracantha* y *Mimosa tenuiflora*) como aporte de proteína económica en los sistemas doble propósito. 2007

FERREIRA, V. Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos. En: Instruções técnicas, no. 19. ITAL, Campinas: 1981.

GARCÍA, J.A.L. y CALIXTO, F.S. Evaluation of CIE- LAB parameters during the clarification of a sugar syrup from Mesquite pods (*Prosopis Pallida* L.). en: International Journal of Food Science and Technology, 2000, vol. 35, pág. 385-389.

GEANKOPLIS, Ch. Procesos de transporte y operaciones unitarias. University of Minnesota. Tercera edición, México: 1998.

GODOY, S.P.; PENCUE, L.; RUIZ, A. y MONTILLA, D.C. Clasificación automática del chontaduro (*Bactris gassipaes*) para su aplicación en conserva, mermelada y harinas. Citados por DAZA, J.; RODRÍGUEZ, J.L. y MOSQUERA, S.A. Cambios fisiológicos,

texturales y fisicoquímicos de dos variedades de chontaduro (*Bactris gassipaes*) en poscosecha. En: Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, vol. 13, no. 2, pág. 67-75.

GONZALES R,L.; NAVARRO, T.D. y VÁSQUEZ, S.R. Caracterización química de la harina de un fruto del amazonas (*Bactris gasipaes*) crudo y procesado. En: Revista Amazónica de investigación Alimentaria, 2002, vol. 2, no. 2, pág. 67-82.

GUZMÁN, R. 2011. Aprovechamiento integral de dos variedades comerciales de musas (*Musa spp*) I. Elaboración de productos a base de harinas. II. Producción de maltodextrinas y uso en microencapsulación de antioxidantes. Tesis de Doctorado Postgrado Interfacultades en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela: 2011

JANE, J. y CHEN, J. Effect of amylose molecular size and branch chain length on paste properties of starch. En: Cereal starch, 2004, vol. 1, no. 69.

LÓPEZ-CALVO, A.M., *et al.* Evaluación de la aceptación por consumidores de un bocadillo de pejibaye (*Bactris gasipaes*) y estudio de su potencial como alimento funcional. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. En: Archivos Latinoamericanos de Nutrición, vol. 65, no. 1, 2015.

MATTOS-SILVA, L. y MORA-URPÍ, J. Descripción morfológica general de pejibaye cultivado [*Bactris* (Guiljelma) *Gasipaes* Kunth-Arecaceae] [en línea]. Universidad de Costa Rica. Costa Rica: 1996 [Citado: septiembre, 2016]. Disponible en internet en: <http://www.pejibaye.ucr.ac.cr/Morfologia/Morfologia1.htm>

MESTRES C, COLONNA P, BULEON A. Gelation and crystallisation of maize starch after pasting, drum-drying and extrusion cooking. J Cereal Sci. 1988; 7: 123-134.

MORA, J.; WEBER, J. & CLEMENT, C. Peach Palm. *Bactris gasipaes* Kunth. International Plant Genetic Resources Institute: 1997. ISBN 92-9043-347-7.

NIELSEN, S. Análisis de los Alimentos. Editorial ACRIBIA S.A. España: 2008.

ORREGO, C. Microestructura y nanoestructura de los alimentos. Universidad Nacional de Colombia. En: Revista colombiana de física, 2002, vol. 34, no. 1.

ORTEGA G., K.; HERNÁNDEZ D., D. y ACOSTA Z., H. Desarrollo y caracterización de un producto libre de gluten a base de harinas de maíz, arroz y quinua. Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Cali, Colombia: 2013.

PASQUEL, A.; MEIRELES M., A y MARQUES, M. Extracción con CO<sub>2</sub> presurizado como etapa previa a la extracción de los glicósidos de la estevia. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo SYTED. Anles del II Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Argentina: 1998.

PATIÑO, V.M. El cachipay o pijibay y su papel en la cultura y en la economía de los pueblos indígenas de América Intertropical. En: América Indígena, vol. 18, no. 3. México: 1958.

PIZZANI, Pablo, *et al.* Estimación energética y degradabilidad de la harina integral y del almidón de frutos de pijiguau (*Bactris gasipaes* Kunht en HBK) para la alimentación de rumiantes. En: Zootecnia Tropical, vol. 26, no. 3, pág. 239-242, 2008.

RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Espectrocolorimetría: caracterización de leche y quesos. En: Tecnología Láctea Latinoamericana, 2010, 61, pág. 52-58.

RESEARCH GATE. Bioconversion of degraded husked sorghum grains to etanol. ResearchGater GmbH®: 2016.

RESTREPO, J. Potencial del chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) como fuente alimenticia de alto valor nutricional en países tropicales. En: Revista de ciencias. Departamento de Química, Universidad del Valle. Cali: 2007.

RODRÍGUEZ, E., FERNÁNDEZ, A., ALONSO, L., & OSPINA, B. Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. En: Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte, 2006, vol. 19, pág. 17-30.

RODRÍGUEZ, E., LASCANO, A., & SANDOVAL, G. Influence of the Partial Substitution of Wheat Flour for Quinoa and Potato Flour on the Thermomechanical and Breadmaking Properties. En: Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient., 2012, vol. 15, pág. 199-207.

RODRIGUEZ, S.; E.; FERNANDEZ, Q. y AYALA A., A. Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. En: Revista Ingeniería e Investigación, 2005, no. 57, pág. 72.

RODRIGUEZ, V.M. Bases de la alimentación humana. Netbiblio. España: 2008.

SAHIN, S. y GULUM, S. Propiedades físicas de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España: 2009.

SANDOVAL, A, FARHA, I. & FERNÁNDEZ, A. Comportamiento reológico de harinas y almidones de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) durante un proceso de extrusión. EN: Rev. Fac. Quím. Farmac., 2007, vol. 4, pág. 6-15.

SCHMIELE, M., HACKBART DA SILVA, L., PINTO DA COSTA, P. F., DA SILVA RODRIGUES, R., & CHANG, Y. K. Influência da adição de farinha integral de aveia, flocos de aveia e isolado proteico de soja na qualidade tecnológica de bolo inglês. En: Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, 2011, vol. 29, no. 1, pág. 71-82.

SOUZA, J.A. Mudanças físico-químicas e sensoriais de farinha de arroz submetidas a torração em micro-ondas. Goiânia: 2010.

UNAD UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Química y Análisis de los alimentos. Guías de laboratorios [en línea]. UNAD, Bogotá: s.f. [Citado septiembre, 2016]. Disponible en internet en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/202015/202015/guia\\_de\\_laboratorios.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/202015/202015/guia_de_laboratorios.html)

VILLACHICA, H.; CARVALHO, J.; MULLER, C.H; DÍAZ S., C. y ALMANZA, M.. Frutales y Hortalizas Promisorios de la Amazonia. Secretaria Pro-Tempore, Tratado de Cooperacion Amazonica.Lima, Peru: 1996.

VON ATZINGEN, M. y MACHADO PINTO, M. Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. En: Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2005, vol. 4, no. 5, pág. 319-323.

YUYAMA, L. K., AGUIAR, J. P., YUYAMA, K., CLEMENT, C. R., MACEDO, S. H., FÁVARO, D. I., AFONSO, C., VASCONCELLOS, M. B., PIMENTEL, S. A., BADOLATO, E. S., & VANNUCCHI, H. (2003). Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia. Brazil. En: International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2003, vol. 54, no. 1, pág. 49-56.

## ANEXOS

### ANEXO A. ANÁLISIS DE LA HARINA DE CHONTADURO

Figura 1. Análisis proximal de la harina de chontaduro a temperatura optima de deshidratación (56°C).



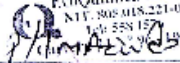
#### CERTIFICADO DE ANALISIS

<b>N° Registro</b>	170673	<b>Fecha Recepción</b>	23/02/2017	<b>Fecha Reporte</b>	08/03/2017
<b>Empresa</b>	Andrea del Pilar Riascos Palacios				
<b>Dirección</b>	Diag. 24 # Tv 25 - 47				
<b>Solicita</b>	Sra Andrea del Pilar Riascos P				
<b>Muestra</b>	HARINA DE CHONTADURO				
<b>Archivo</b>	Bitácora-74. Pág-047-048,053-054.				
<b>Pbs/Fax</b>	3113541701	<b>Lote</b>	MUESTRA 1		

Analisis	Especificación	Resultado	Método
Fibra Cruda (%)	N/R	6,29	PAF 304
Proteína (%)	N/R	8,13	PAF-425
Grosa (%)	N/R	13,25	PAF-428
Humedad (%)	N/R	11,35	PAF-427
Cenizas (%)	N/R	2,07	AOAC
Carbohidratos (%)	N/R	58,50	AOAC Por Diferencia

**Observaciones** PRESENTACION X 250g T= 56°C

Nota: los resultados son validos unicamente para la muestra analizada y no para otro(s) materiales de la misma procedencia. La muestra analizada permanecerá bajo custodia del laboratorio por 3 meses a partir de la producción de este informe. Transcurrido este periodo se descharará. El presente documento no posee validez alguna sin el sello y las firmas respectivas. se prohíbe su reproducción total o parcial, excepto con aprobación de Ecoquímica Ltda.

  
 EcoQuímica S.A.S.  
 NIT: 805018221-0  
 Tel: 5581576  
 Omar Velásquez I., Ph.D.  
 Director Técnico  
 Matricula PQ-2553

Pagina 1 de 1

Carrera 24 No. 9C -21 Alameda Tel: 5581576 y 5567928 Cel: 3155257325 NIT: 805018221-0  
 Email: [luzmaryc@ecoquimica.com.co](mailto:luzmaryc@ecoquimica.com.co); [ovelas18@gmail.com](mailto:ovelas18@gmail.com)

Scanned by CamScanner



## ANEXO B. DETERMINACIÓN DE ISA E IAA DE LA HARINA DE CHONTADURO

Cuadro 1. Datos obtenidos para la determinación de ISA e IAA de la harina de chontaduro – Muestra 1 Molino de Martillos

<b>Muestra 1 Molino de Martillos</b>						
<b>N° Tamiz</b>	<b>Peso tubos (g)</b>	<b>Peso tubos + sedimento (g)</b>	<b>Peso sedimento (g)</b>	<b>Peso caja Petri (g)</b>	<b>Peso caja Petri + sobrenadante (g)</b>	<b>Peso sobrenadante (g)</b>
30	13,0095	20,3243	7,3148	45,3634	45,6051	0,2417
40	12,3229	20,502	8,1791	48,6646	48,92	0,2554
50	12,3046	19,4013	7,0967	33,0233	33,2438	0,2205
60	12,3076	19,5127	7,2051	46,3329	46,5086	0,1757
70	13,3844	21,0583	7,6739	45,9762	46,1302	0,154

Cuadro 2. Datos obtenidos para la determinación de ISA e IAA de la harina de chontaduro – Muestra 2 Molino de Martillos

<b>Muestra 2 Molino de Martillos</b>						
<b>N° Tamiz</b>	<b>Peso tubos (g)</b>	<b>Peso tubos + sedimento (g)</b>	<b>Peso sedimento (g)</b>	<b>Peso caja Petri (g)</b>	<b>Peso caja Petri + sobrenadante (g)</b>	<b>Peso sobrenadante (g)</b>
30	13,2879	20,2017	6,9138	45,6171	45,7345	0,1174
40	13,3108	20,575	7,2642	42,7708	42,888	0,1172
50	12,5313	19,9222	7,3909	46,7773	46,9408	0,1635
60	13,2534	20,5754	7,322	46,2355	46,3547	0,1192
70	13,2283	20,5659	7,3376	46,6938	46,8438	0,15

Cuadro 3. Datos obtenidos para la determinación de ISA e IAA de la harina de chontaduro – Muestra 3 Molino de Martillos

<b>Muestra 3 Molino de Martillos</b>						
<b>N° Tamiz</b>	<b>Peso tubos (g)</b>	<b>Peso tubos + sedimento (g)</b>	<b>Peso sedimento (g)</b>	<b>Peso caja Petri (g)</b>	<b>Peso caja Petri + sobrenadante (g)</b>	<b>Peso sobrenadante (g)</b>
30	13,1087	20,2956	7,1869	45,5716	45,7345	0,1629
40	12,8653	20,5367	7,6714	42,7523	42,8975	0,1452
50	12,7467	19,8324	7,0857	35,4273	35,6527	0,2254
60	13,0589	20,11	7,0511	46,1098	46,3547	0,2449
70	13,4257	21,4876	8,0619	46,7567	46,9438	0,1871

Cuadro 4. Datos obtenidos para la determinación de ISA e IAA de la harina de chontaduro – Muestra 1 Molino de Cuchillas

Muestra 1 Molino de Cuchillas						
N° Tamiz	Peso tubos (g)	Peso tubos + sedimento (g)	Peso sedimento (g)	Peso caja Petri (g)	Peso caja Petri + sobrenadante (g)	Peso sobrenadante (g)
30	12,2795	20,2557	7,9762	47,0731	47,3189	0,2458
40	13,0131	19,7267	6,7136	46,0078	46,2995	0,2917
50	13,2344	20,3105	7,0761	46,3785	46,5363	0,1578
60	12,4555	19,4864	7,0309	43,9933	44,2548	0,2615
70	12,7114	20,8817	8,1703	43,1514	43,3445	0,1931

Cuadro 5. Datos obtenidos para la determinación de ISA e IAA de la harina de chontaduro – Muestra 2 Molino de Cuchillas

Muestra 2 Molino de Cuchillas						
N° Tamiz	Peso tubos (g)	Peso tubos + sedimento (g)	Peso sedimento (g)	Peso caja Petri (g)	Peso caja Petri + sobrenadante (g)	Peso sobrenadante (g)
30	12,3589	19,7341	7,3752	34,9261	35,0286	0,1025
40	13,4351	20,5001	7,065	45,2921	45,3873	0,0952
50	12,5646	20,0728	7,5082	38,4798	38,6245	0,1447
60	12,6742	20,2304	7,5562	44,9928	45,1226	0,1298
70	13,1963	20,3762	7,1799	33,7168	33,8507	0,1339

Cuadro 6. Datos obtenidos para la determinación de ISA e IAA de la harina de chontaduro – Muestra 2 Molino de Cuchillas

Muestra 3 Molino de Cuchillas						
N° Tamiz	Peso tubos (g)	Peso tubos + sedimento (g)	Peso sedimento (g)	Peso caja Petri (g)	Peso caja Petri + sobrenadante (g)	Peso sobrenadante (g)
30	12,3056	20,1234	7,8178	35,8125	35,952	0,1395
40	13,2872	19,6513	6,3641	44,2192	44,3338	0,1146
50	13,059	20,5822	7,5232	39,1145	39,3861	0,2716
60	12,5312	20,3754	7,8442	45,2612	45,3935	0,1323
70	13,0967	19,8589	6,7622	34,8607	35,0317	0,171

Cuadro 7. Índice de Absorción de Agua (IAA) e Índice de Solubilidad de Agua (ISA) para cada tratamiento en Molino de Martillos

Molino de martillos						
Tamiz	ISA 1 (%)	ISA 2 (%)	ISA 3 (%)	IAA 1	IAA 2	IAA 3
30	12,74	6,19	8,59	3,86	3,64	3,79
40	13,46	6,18	7,65	4,31	3,83	4,04
50	11,62	8,62	11,88	3,74	3,90	3,73
60	9,26	6,28	12,91	3,80	3,86	3,72
70	8,12	7,91	9,86	4,04	3,87	4,25

Cuadro 8. Índice de Absorción de Agua (IAA) e Índice de Solubilidad de Agua (ISA) para cada tratamiento en Molino de Cuchillas

Molino de cuchillas						
Tamiz	ISA 1 (%)	ISA 2 (%)	ISA 3 (%)	IAA 1	IAA 2	IAA 3
30	12,79	5,34	7,26	4,15	3,84	4,07
40	15,18	4,96	5,97	3,49	3,68	3,31
50	18,21	7,53	14,14	3,68	3,91	3,92
60	13,61	6,76	6,89	3,66	3,93	4,08
70	10,05	6,96	8,90	4,25	3,74	3,52

Figura 1. Comportamiento del %ISA y del IAA en la harina de chontaduro obtenida por el molino de martillos y cuchillas

**% ISA vs IAA (Molino de Martillo - Molino de Cuchillas)**

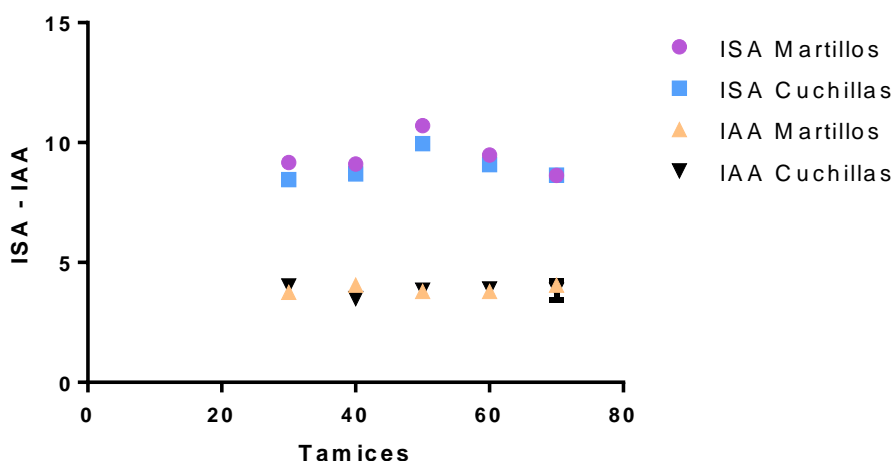


Figura 2. Comportamiento del %ISA en la harina de chontaduro obtenida por el molino de martillos y molino de cuchillas

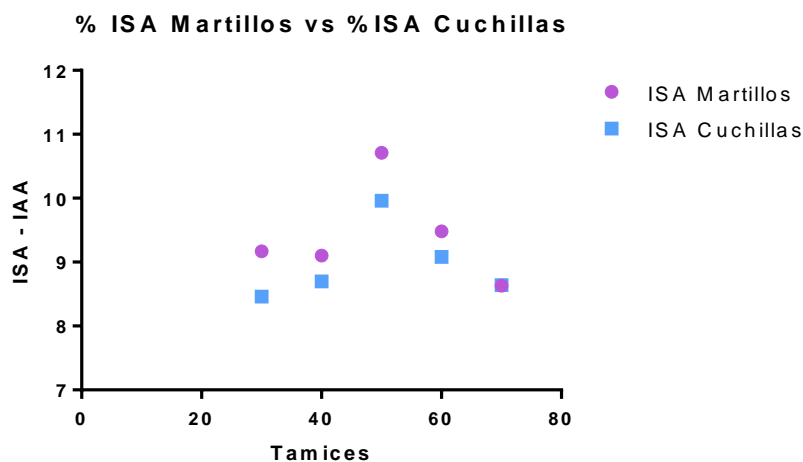
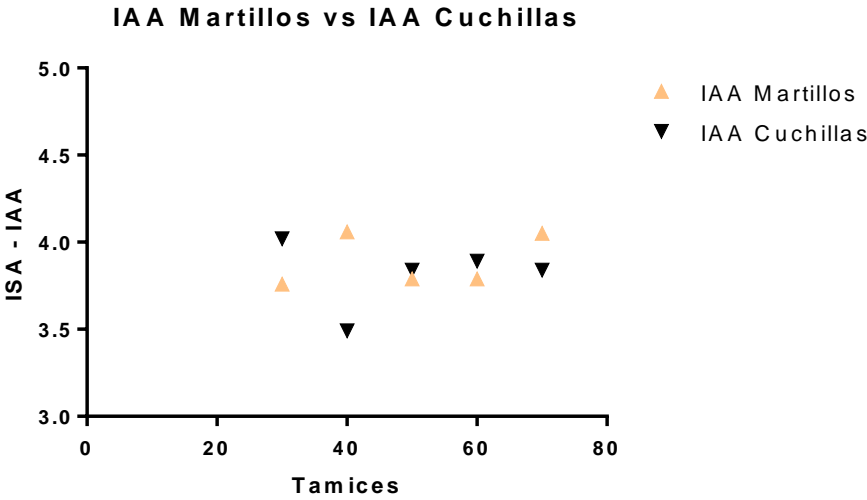


Figura 3. Comportamiento del IAA en la harina de chontaduro obtenida por el molino de martillos



## ANEXO C. ANÁLISIS COLORIMÉTRICO DE LA HARINA DE CHONTADURO

Cuadro 1. Datos obtenidos para el análisis colorimétrico de la harina de chontaduro – Molino de Cuchillas

Colorimetría Harina de Chontaduro en Molino de Cuchillas															
TAMIZ	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3	h1	h2	h3	l1	l2	l3
30	16,1	16,37	16,42	50,89	51,29	51,19	53,4	53,84	53,76	72,44	72,3	72,21	65,33	65,55	65,75
40	15,02	15	15,01	50,32	50,43	50,35	52,5	52,61	52,54	73,38	73,43	73,4	67,3	67,15	67,01
50	14,58	14,56	14,56	50,05	49,92	50,06	52,1	52	52,13	73,76	73,74	73,78	68,01	67,96	68,17
60	13,73	13,62	13,62	48,46	48,27	48,24	50,4	50,16	50,12	74,18	74,24	74,23	69,99	70,09	69,89
70	13,68	13,72	13,76	50,04	50,11	50,21	51,9	51,96	52,06	74,71	74,68	74,68	70,07	70,2	70,35

Cuadro 2. Datos obtenidos para el análisis colorimétrico de la harina de chontaduro – Molino de Martillos

Colorimetría Harina de Chontaduro en Molino de Martillos															
TAMIZ	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3	h1	h2	h3	l1	l2	l3
30	14,79	14,73	14,78	52,18	52,04	52,11	54,2	54,08	54,17	74,17	74,2	74,17	68,93	68,82	69
40	13,75	13,78	13,74	49,22	49,46	49,38	51,1	51,35	51,25	74,39	74,44	74,45	68,57	68,58	68,71
50	14,12	14,12	14,09	51,9	51,94	51,88	53,8	53,82	53,76	74,78	74,79	74,81	70,64	70,5	70,6
60	13,76	13,74	13,78	51,36	51,34	51,33	53,2	53,15	53,14	75	75,02	74,97	70,92	70,73	70,72
70	13,17	13,18	13,14	50,29	50,33	50,26	52	52,03	51,95	75,33	75,33	75,34	70,21	70,07	69,95

Figura 1. Análisis de los atributos de color en la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas y molino de martillos

**Molino de Cuchillas VS Molino de Martillos**

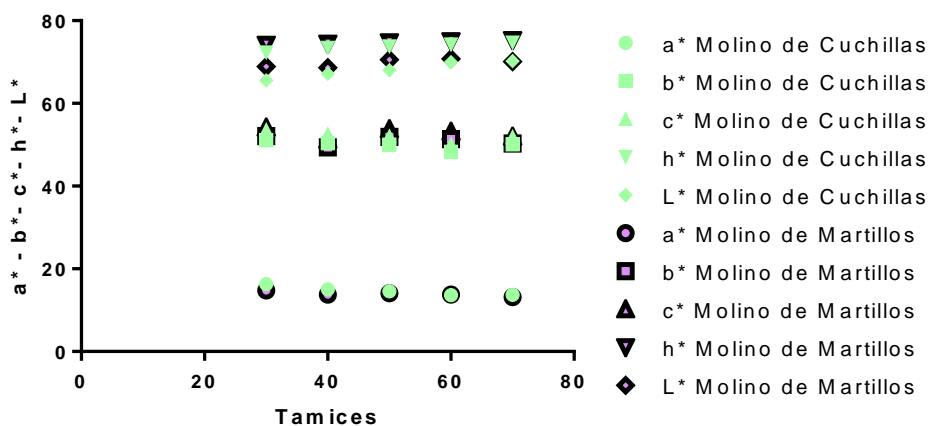


Figura 2. Análisis del atributo de color ( $a^*$ ) en la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas y molino de martillos

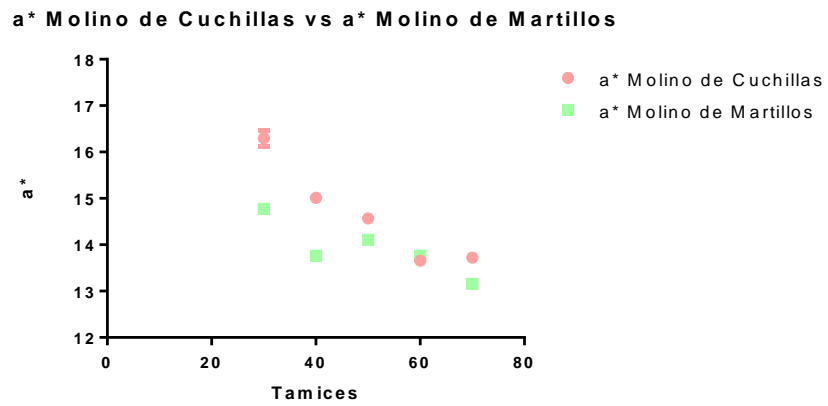


Figura 3. Análisis del atributo de color ( $b^*$ ) en la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas y molino de martillos

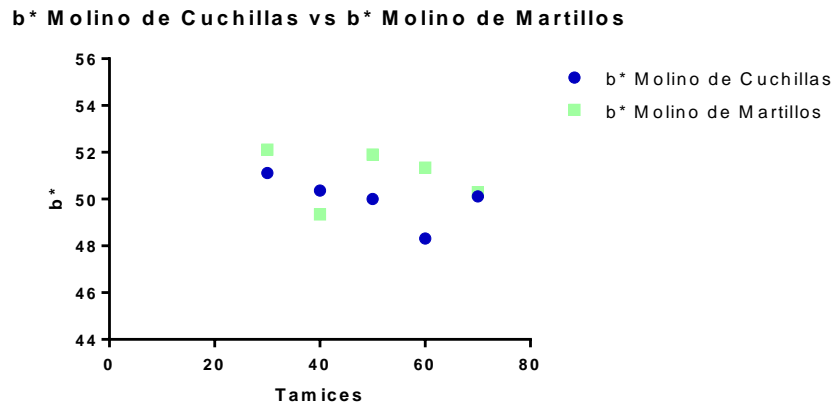


Figura 4. Análisis del atributo de color ( $c^*$ ) en la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas y molino de martillos

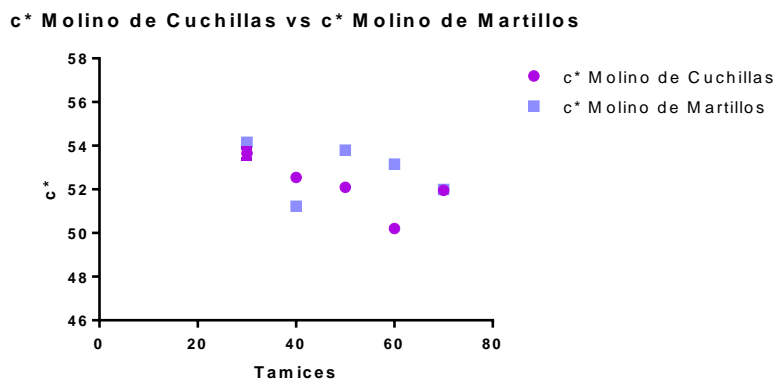


Figura 5. Análisis del atributo de color ( $h^*$ ) en la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas y molino de martillos

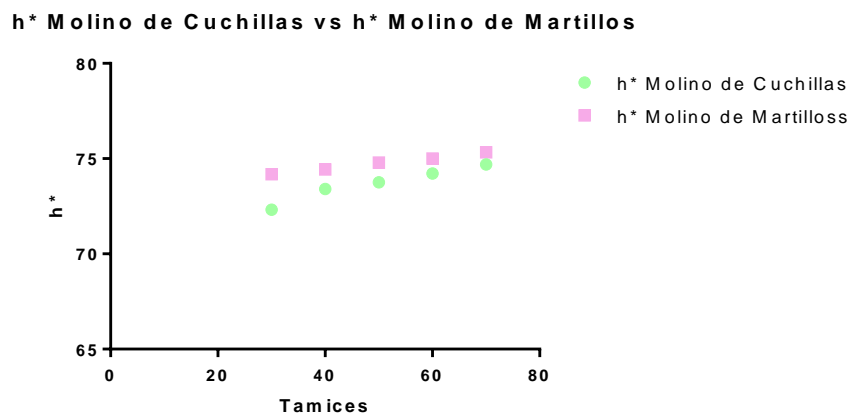
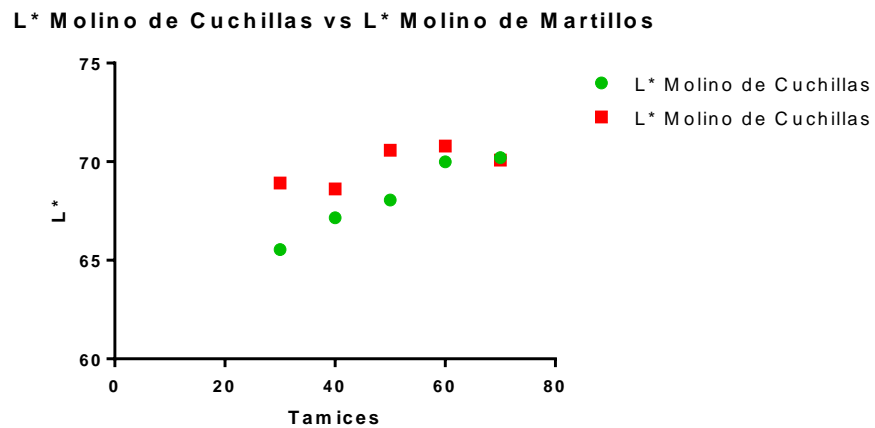


Figura 6. Análisis del atributo de color ( $L^*$ ) en la harina de chontaduro obtenida por el molino de cuchillas y molino de martillos



## ANEXO D. CURVAS DE EMPASTAMIENTO

Figura 1. Curva de Empastamiento Tamiz 30 – Molino de Cuchillas

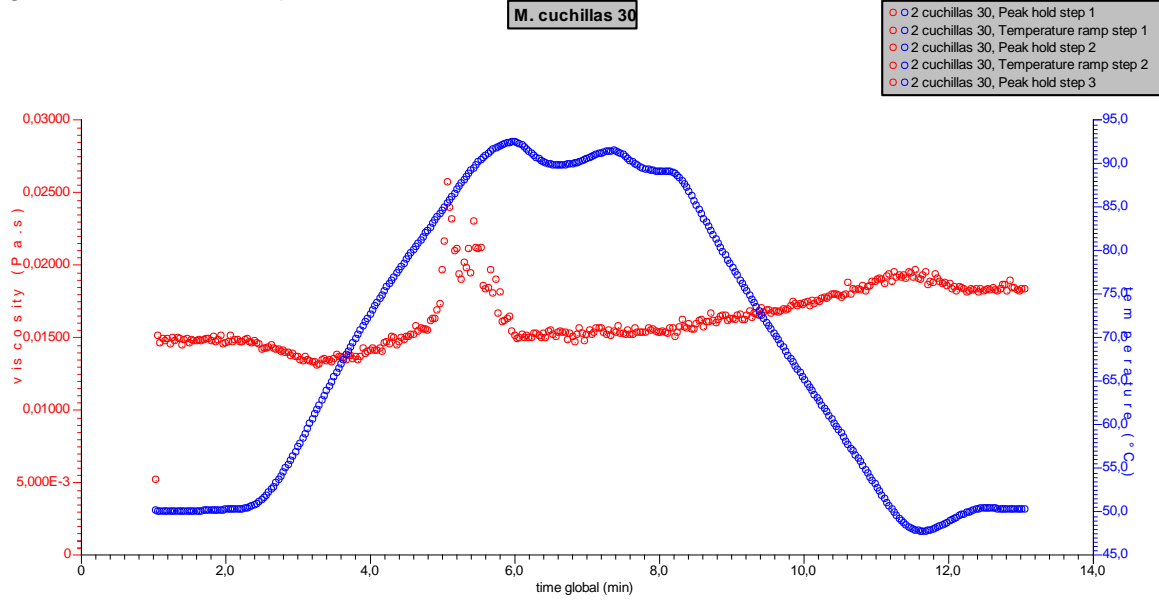


Figura 2. Curva de Empastamiento Tamiz 40 – Molino de Cuchillas

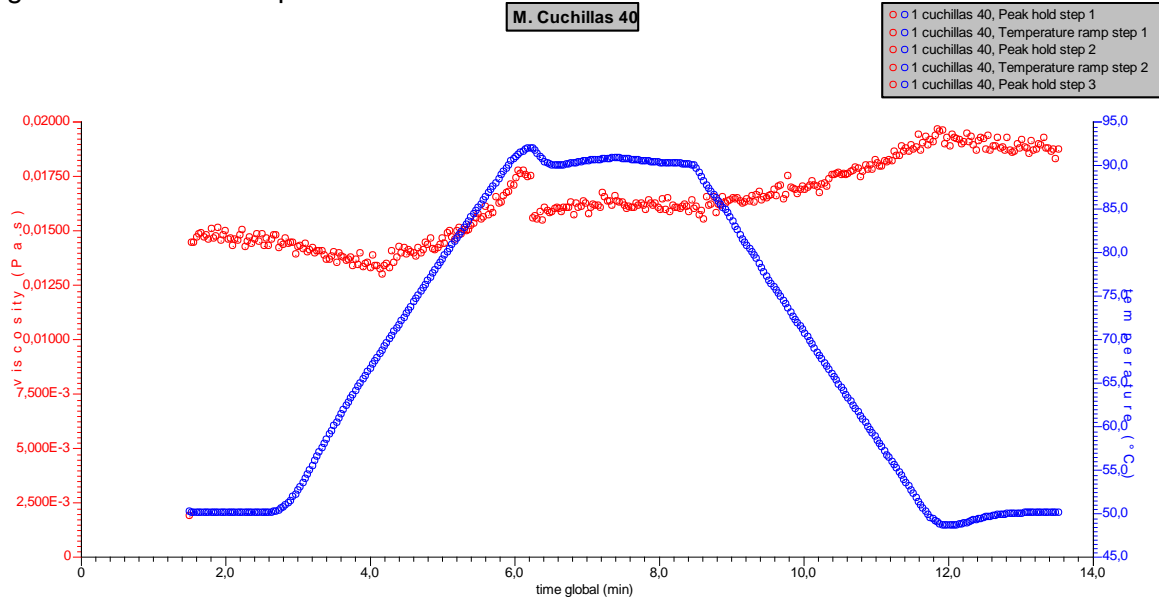




Figura 3. Curva de Empastamiento Tamiz 50 – Molino de Cuchillas

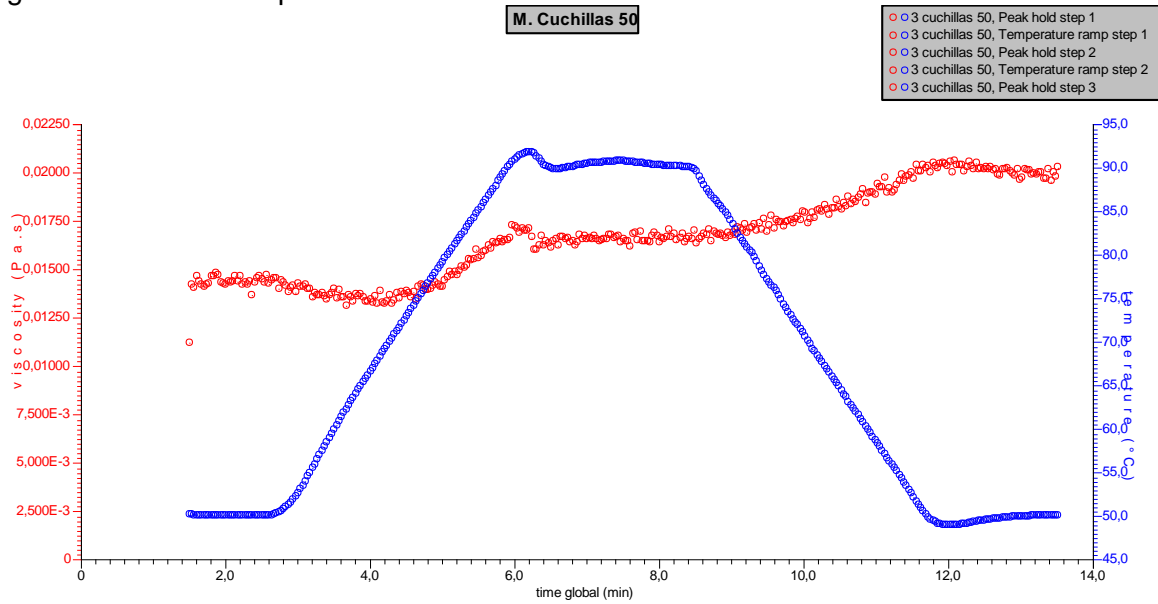


Figura 4. Curva de Empastamiento Tamiz 60 – Molino de Cuchillas

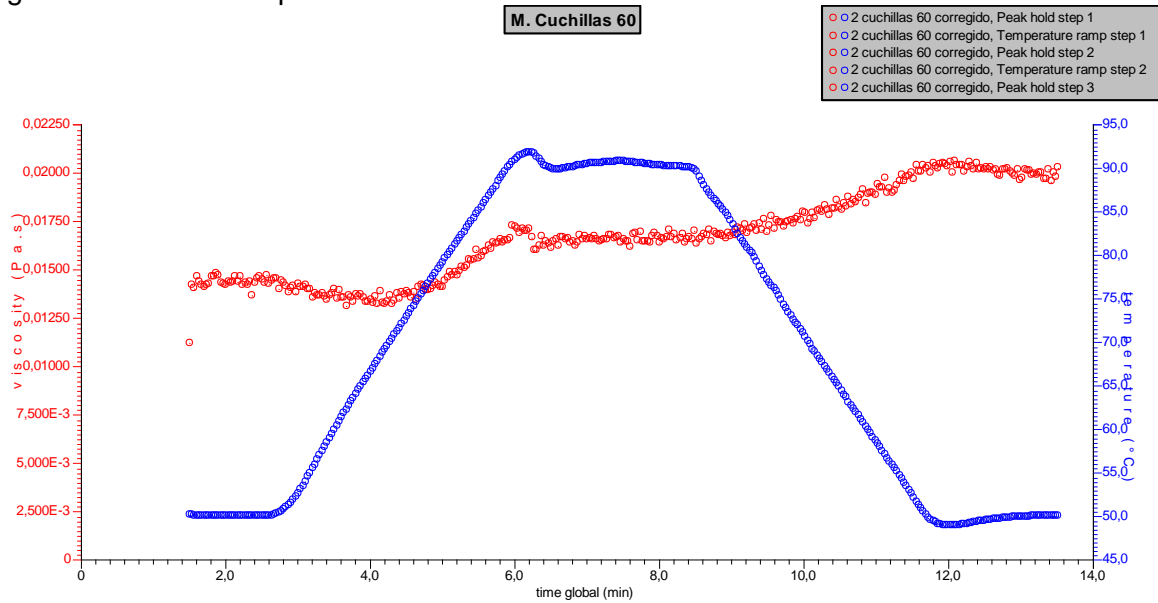


Figura 5. Curva de Empastamiento Tamiz 70 – Molino de Cuchillas

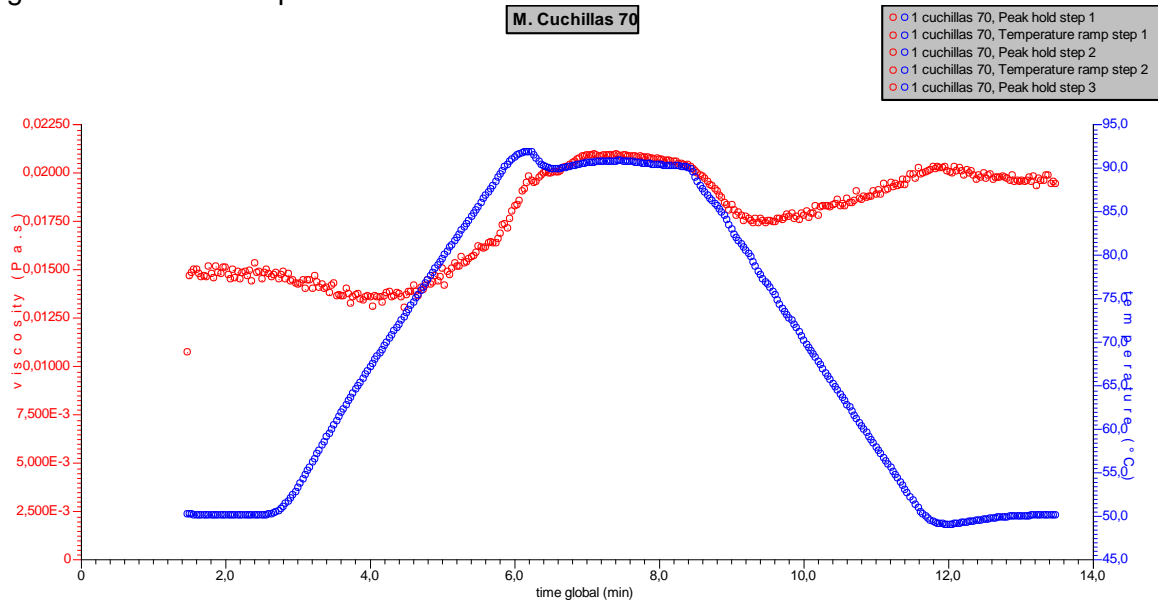


Figura 6. Curva de Empastamiento Tamiz 30 – Molino de Martillos

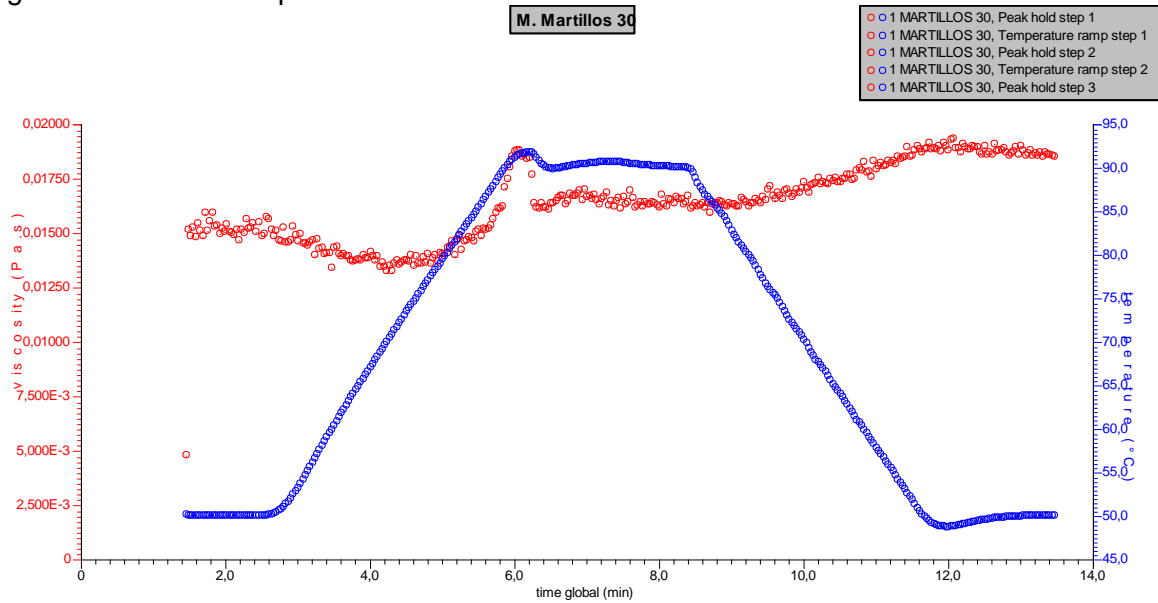


Figura 7. Curva de Empastamiento Tamiz 40 – Molino de Martillos

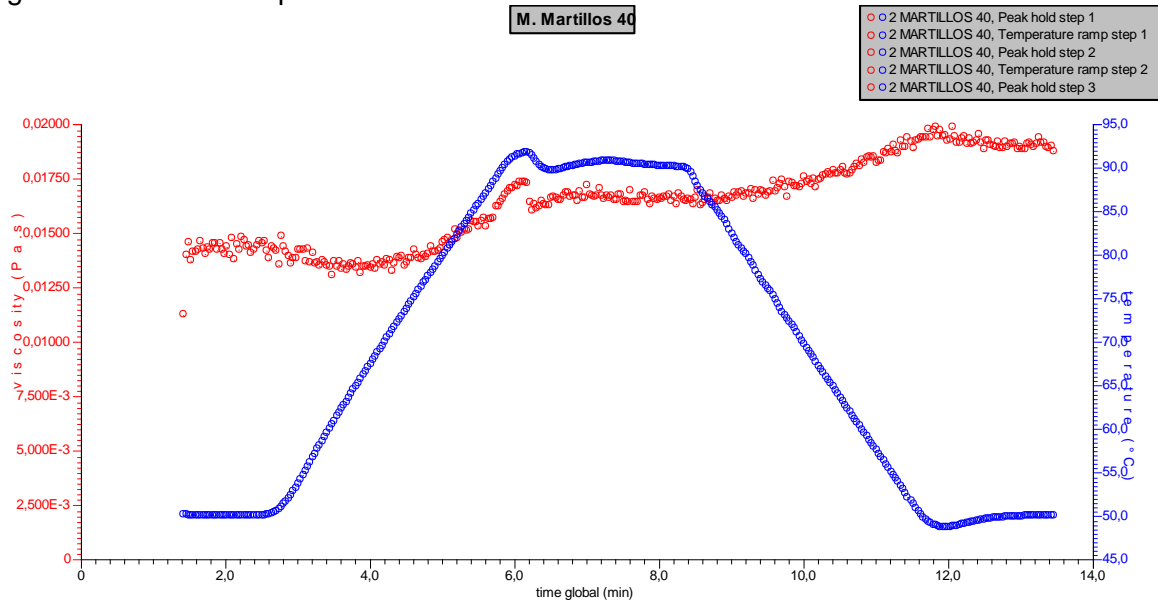


Figura 8. Curva de Empastamiento Tamiz 50 – Molino de Martillos

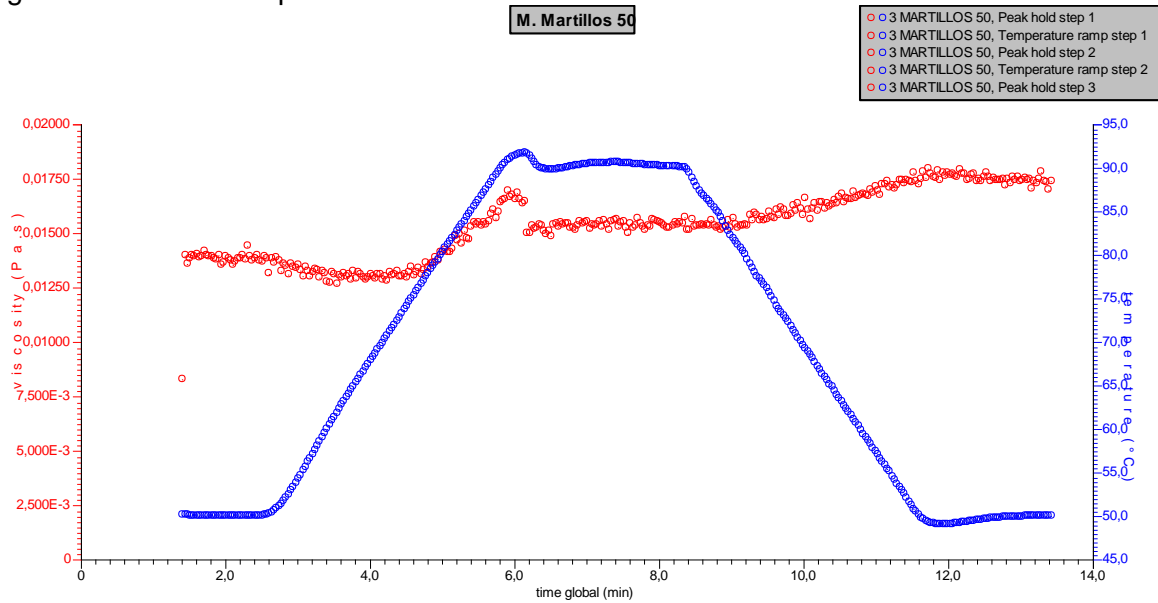


Figura 9. Curva de Empastamiento Tamiz 60 – Molino de Martillos

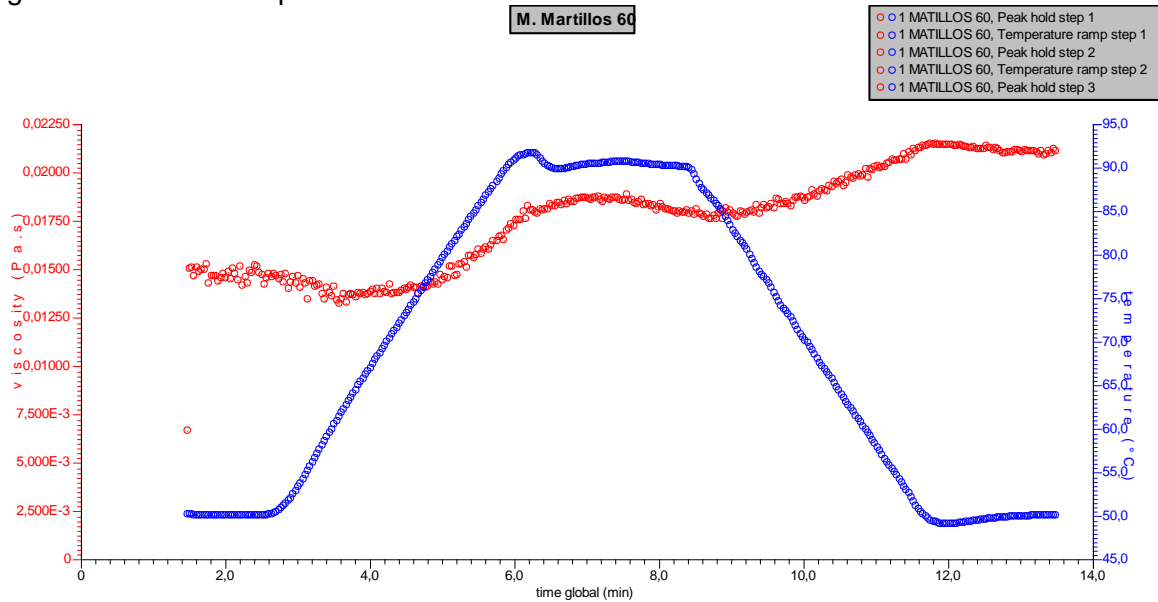


Figura 10. Curva de Empastamiento Tamiz 70 – Molino de Martillos

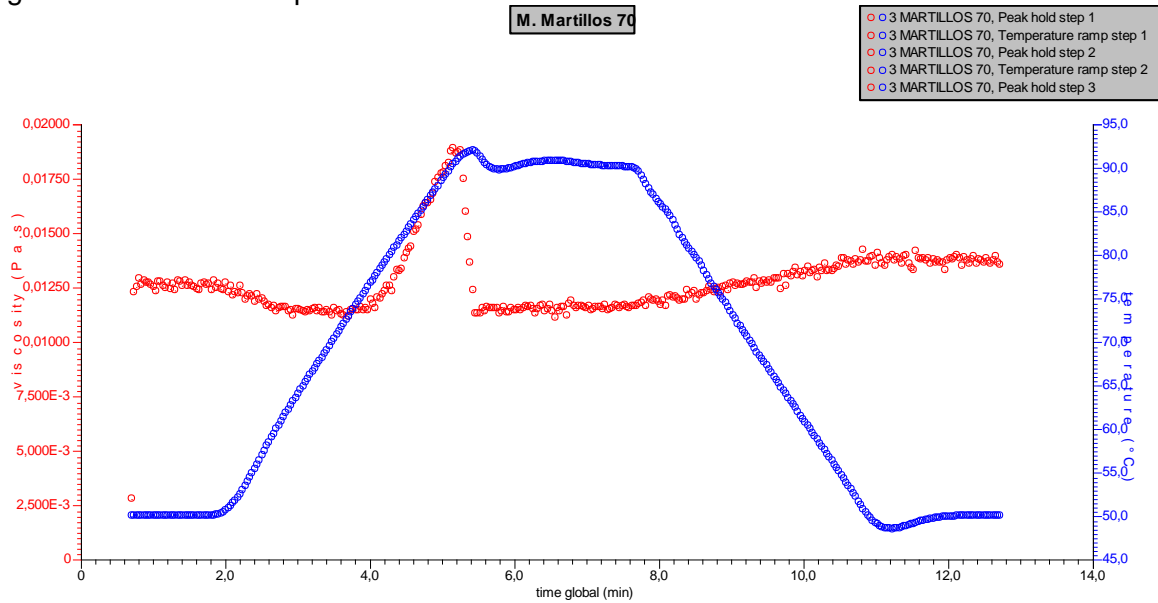


Figura 11. Propiedades de gelatinización del almidón en la harina de chontaduro obtenida por Molino de Martillos y Molino de Cuchillas

**T (°C) Gelatinización, Viscosidad max (Pa.s), BreakDown (Pa.s), SetBack (Pa.s) Molino de Martillos y Molino de Cuchillas**

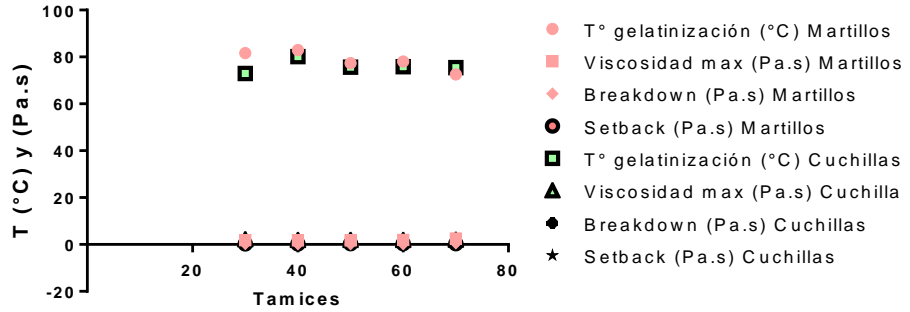


Figura 12. Temperatura de gelatinización del almidón en la harina de chontaduro obtenida por Molino de Martillos y Molino de Cuchillas

**T (°C) gelatinización Martillos vs T(°C) gelatinización Cuchillas**

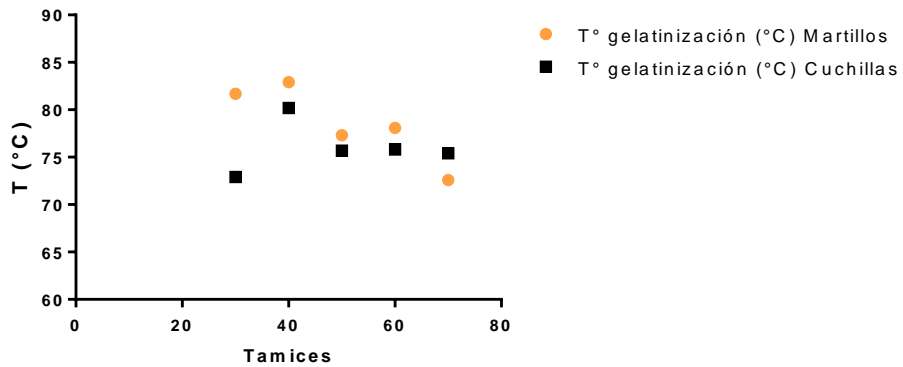


Figura 13. Viscosidad máxima del almidón en la harina de chontaduro obtenida por Molino de Martillos y Molino de Cuchillas

**Viscosidad max (Pa.s) Martillos vs Viscosidad max (Pa.s) Cuchillas**

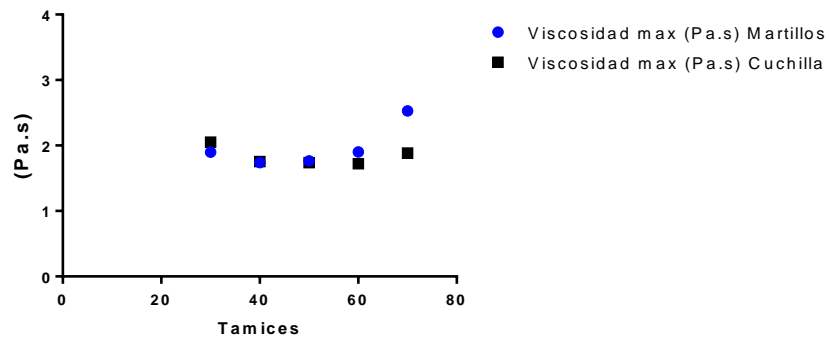


Figura 14. Breakdown del almidón en la harina de chontaduro obtenida por Molino de Martillos y Molino de Cuchillas

**Breakdown (Pa.s) Martillos vs Breakdown (Pa.s) Cuchillas**

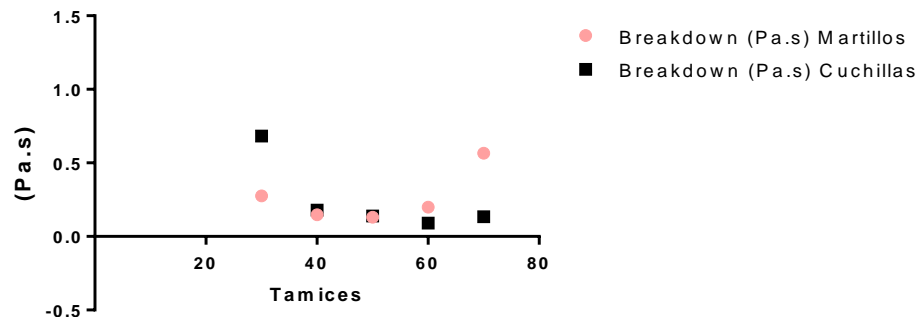


Figura 15. Setback del almidón en la harina de chontaduro obtenida por Molino de Martillos y Molino de Cuchillas

**Setback (Pa.s) Martillos vs Setback (Pa.s) Cuchillas**

