

**POTENCIAL AGROALIMENTARIO DEL ALMIDÓN DE ARROZ DE TRES  
VARIEDADES CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.**

**DIEGO RODRÍGUEZ TORRES**

**Trabajo de grado como requisito para obtener el título de Magíster en Ciencias  
Agroalimentarias**

**Director:**

**WALTER MURILLO ARANGO**

**Doctor en Ciencias Químicas**

**Co-Director:**

**JOSÉ FERNANDO SOLANILLA DUQUE**

**Doctor en Ciencia y Tecnología en Coloides e Interfaces**

**UNIVERSIDAD DEL TOLIMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

**IBAGUÉ-TOLIMA**

**2015**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
COMITÉ DE INVESTIGACIONES  
ACTA DE SUSTENTACIÓN**

**Estudiante DIEGO RODRIGUEZ TORRES  
MAESTRIA CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

**TITULO: POTENCIAL AGROALIMENTARIO DEL ALMIDÓN DE ARROZ DE TRES  
VARIEDADES CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.**

**Fecha Sustentación: FEBRERO 24 2015**

**Director: WALTER MURILLO ARANGO y la codirección de JOSE FERNANDO SOLANILLA**

**Jurado No.1: ANGELICA PIEDAD SANDOVAL ALDANA**

**Jurado No.2: ALEJANDRO FERNANDEZ QUINTERO**

<b>Factores Evaluados</b>	<b>Jurado 1</b>	<b>Jurado 2</b>	<b>Definitiva</b>
<b>Relevancia Científica (30%)</b>	4,5	4,5	4,5
<b>Complejidad y Profundidad (20%)</b>	4,2	4,2	4,2
<b>Calidad Estructural (10%)</b>	4,0	4,0	4,0
<b>Estilo y Presentación (10%)</b>	4,5	4,5	4,5
<b>Sustentación del trabajo (30%)</b>	4,2	4,2	4,2
<b>Definitiva</b>	4,3	4,3	4,3



**JOSE FERNANDO SOLANILLA DUQUE**  
**Coordinador del Comité de Investigaciones**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	11
<b>1. JUSTIFICACIÓN</b> .....	12
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	16
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	19
<b>3.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	19
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	19
<b>4. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	20
<b>4.1 ALMIDÓN</b> .....	20
<b>4.2 AMILOSA</b> .....	21
<b>4.3 AMILOPECTINA</b> .....	23
<b>4.4 RETROGRADACIÓN</b> .....	23
<b>4.5 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA</b> .....	25
<b>4.6 PODER DE HINCHAMIENTO</b> .....	25
<b>4.7 GELATINIZACIÓN</b> .....	26
<b>4.8 ESTABILIDAD A LA CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN Y SINÉRESIS</b> .....	28
<b>4.9 PROPIEDADES DE EMPASTAMIENTO</b> .....	29
<b>4.10 ALGUNAS APLICACIONES DEL ALMIDÓN</b> .....	31
<b>4.11 ESTUDIOS REALIZADOS</b> .....	32
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	36
<b>5.1 EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN</b> .....	36
<b>5.2 CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA</b> .....	37
<b>5.3 CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA</b> .....	37

<b>5.4 APARIENCIA MICROSCÓPICA.....</b>	<b>38</b>
<b>5.5 PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD E ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA.....</b>	<b>38</b>
<b>5.6 TURBIDEZ .....</b>	<b>38</b>
<b>5.7 SINÉRESIS .....</b>	<b>39</b>
<b>5.8 PROPIEDADES TÉRMICAS .....</b>	<b>39</b>
<b>5.9 PROPIEDADES DE EMPASTAMIENTO. ....</b>	<b>40</b>
<b>5.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>40</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>6.1 CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA .....</b>	<b>41</b>
<b>6.2 CONTENIDO DE AMILOSA.....</b>	<b>42</b>
<b>6.3 APARIENCIA MICROSCÓPICA.....</b>	<b>43</b>
<b>6.4 PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD E ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA.....</b>	<b>45</b>
<b>6.5 TURBIDEZ. ....</b>	<b>46</b>
<b>6.6 SINÉRESIS .....</b>	<b>47</b>
<b>6.7 PROPIEDADES TÉRMICAS.....</b>	<b>48</b>
<b>6.8 PROPIEDADES DE EMPASTAMIENTO .....</b>	<b>50</b>
<b>7. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FUNCIONAL EN COMPARACIÓN CON OTRAS FUENTES AMILÁCEAS.....</b>	<b>53</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Precios según las calidades de arroz en Colombia (2014). .....	13
<b>Tabla 2.</b> Caracterización bromatológica de los almidones.....	41
<b>Tabla 3.</b> Valores promedio para contenido de amilosa. ....	43
<b>Tabla 4.</b> Valores promedio para el diámetro. ....	43
<b>Tabla 5.</b> Valores promedio para poder de hinchamiento, solubilidad e índice de absorción de agua.....	45
<b>Tabla 6.</b> Valores promedio para turbidez (Abs a 620 nm).....	47
<b>Tabla 7.</b> Valores promedio para sinéresis.....	48
<b>Tabla 8.</b> Valores promedio para propiedades térmicas.....	49
<b>Tabla 9.</b> Propiedades de empastado de los almidones evaluados. ....	51
<b>Tabla 10.</b> Valores de las propiedades fisicoquímicas y térmicas para los almidones de arroz estudiados y de fuentes amiláceas de referencia. ....	56

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Publicaciones científicas referentes al almidón de arroz.....	14
<b>Figura 2.</b> Productividad científica respecto almidón de arroz por país .....	14
<b>Figura 3.</b> Microscopia de luz polarizada de almidón de yuca nativo amplificada al 200x .....	21
<b>Figura 4.</b> Amilograma para las variedades F473, F50 y F60.....	52

## RESUMEN

Muestras de almidón de arroz de tres variedades cultivadas en el departamento del Tolima (Fedearroz 50, Fedearroz 60 y Fedearroz 473) fueron analizadas para determinar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales con el fin de estimar su potencial agroalimentario, respecto al de otras fuentes usadas en la industria de alimentos.

Se determinaron los valores para el tamaño de gránulo, la solubilidad, el poder de hinchamiento, el índice de absorción de agua, el contenido de amilosa/amilopectina, la sinéresis, la turbidez, las propiedades térmicas y las propiedades de empastamiento.

El tamaño granular promedio de las muestras F473, F50 y F60 fue de 9,4, 7,4 y 7,2  $\mu\text{m}$  respectivamente. El porcentaje del contenido de amilosa mostró diferencias significativas y sus valores oscilaron entre de 21,4 y 23,0%. La turbidez mostró una absorbancia entre 1,95 y 2,34 a 620 nm, valores que generan pastas muy opacas. Las propiedades térmicas como temperatura de inicio y entalpía de gelatinización fueron evaluadas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC). El almidón de la variedad F473, cuyo contenido de amilosa fue el más alto con un valor de 23,0% mostró el mayor tamaño granular, turbidez, sinéresis, temperatura y entalpía de gelatinización, viscosidad, el menor poder de hinchamiento y solubilidad.

Los almidones de arroz presentaron mayor contenido de amilosa que el almidón de maíz pero menor contenido que el de papa. Así mismo el almidón de arroz presentó el mayor valor de contenido de amilosa y el menor valor para el diámetro de los gránulos, lo que se vio reflejado en propiedades como menor poder de hinchamiento, solubilidad, viscosidad máxima, sinéresis y mayor opacidad. Desde el punto de vista funcional, el almidón de las variedades analizadas presenta ventajas respecto a los almidones de referencia por su baja solubilidad, menor sinéresis y menor tamaño del gránulo (palatabilidad).

El potencial agroalimentario del almidón de arroz analizado mostró factibilidad en el uso de bebidas tipo néctar, salsas, pudines, flanes, sopas, mayonesas y desventajas en el uso como retenedores de humedad.

**Palabras Clave:** Almidón de arroz, propiedades fisicoquímicas, propiedades funcionales, subproductos agrícolas



## ABSTRACT

Samples of rice starch from three varieties grown in Tolima (Fedearroz 50, Fedearroz 60 and Fedearroz 473) were analyzed to determine their physicochemical and functional properties in order to estimate their agrifood potential, relative to other sources used in industry food.

Values for the granule size, solubility, swelling power, absorption rate of water, the amylose / amylopectin, syneresis, turbidity, thermal properties and pasting properties were determined.

The average grain size F473, F50 and F60 samples were 9.4, 7.4 and 7.2 microns respectively. The percentage of amylose showed significant differences and values ranged from 21.4 and 23.0%. Turbidity showed an absorbance between 1.95 and 2.34 at 620 nm, values that generate very opaque pastas. The thermal properties as onset temperature and gelatinization enthalpy were evaluated by differential scanning calorimetry (DSC). Starch variety F473, whose amylose content was highest with a value of 23.0% showed the greatest grain size, turbidity, syneresis, and enthalpy of gelatinization temperature, viscosity, and lower solubility swelling power.

Rice starch showed a content amylose higher than corn starch but lower than of potato. Furthermore rice starch had the highest value of amylose and the lowest value for the diameter of the granules, which was reflected in properties such as lower swelling power, solubility, high viscosity, syneresis and increased opacity. From the functional point of view, starch varieties has advantages over analyzed starches reference for its low solubility, less syneresis and smaller granule (palatability).

**Keywords:** Rice starch, physicochemical properties, functional properties, agricultural by-products

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria conlleva a la generación de residuos, así como al perfeccionamiento e implementación de nuevas técnicas o métodos para el aprovechamiento de los mismos. En el proceso productivo de los alimentos, además del producto deseado, se generan subproductos, residuos y productos fuera de norma (Méndez, 1995).

Los principales productos del proceso de molinería arroceras son los granos de arroz blanco. Pero existen además otros utilizables que se obtienen durante el proceso de molinaje, que pueden ser vendidos en el mercado, y los subproductos de desecho que salen del proceso y no tienen ningún valor comercial. En la obtención del arroz blanco se generan granos de arroz partido (cristal y granza) que son comercializados para la elaboración de cervezas, alimentación animal o son mezclados con granos enteros (Observatorio Agrocadenas de Colombia, 2004). Sin embargo, a partir de esta materia prima, es posible obtener productos con un mayor valor agregado como el almidón, convirtiéndose en una opción para mercados poco explorados a partir del aprovechamiento de subproductos.

El Departamento de Agricultura de la FAO (1998), en un estudio realizado en plantas fuentes de almidón, reveló que a pesar de que se ha realizado una importante investigación en los cultivos tropicales, no se ha aprovechado tal investigación que genere un valor agregado para que estos sean competitivos en los mercados internacionales. Es así, como los productos obtenidos a partir de estas materias son menos susceptibles a las fluctuaciones económicas de los mercados mundiales que los que se producen sin ningún tipo de transformación. (FAO, 1998).

El almidón es el componente principal de los granos y un ingrediente común usado en la industria alimentaria. Los almidones son usados generalmente como espesantes y gelificantes. Sus propiedades dependen de las características físicas y químicas, tales como el tamaño medio y la distribución del gránulo, la relación amilosa/amilopectina y el

contenido mineral, entre otros. (Madsen & Christensen, 1996); (Singh, Singh, Kaur, Sodhi, & Gill, 2003).

El presente estudio se centra en el análisis del comportamiento de las propiedades físicas y químicas del almidón de tres variedades de arroz cultivadas en el departamento del Tolima, para la determinación de su potencial agroalimentario, teniendo como referentes comparativos otros tipos de almidón usados comúnmente en la industria alimentaria.

## 1. JUSTIFICACIÓN

Según el DANE, en el año 2013, Colombia logró una producción de 2'287,374 t de arroz. El departamento del Tolima tiene una participación de 678,113 t producidas, aproximadamente el 30% del total nacional. Según los datos que recomienda Induarroz para rendimiento, alrededor del 68% del arroz paddy cultivado es transformado en arroz blanco, es decir, una cantidad cercana a las 461,117 t. De acuerdo a los cálculos del Observatorio Agrocadenas (2004), el 4% del arroz blanco que se genera por efectos del trillado y pulido corresponde a arroz partido. Para el caso del departamento del Tolima, se habla entonces de 18,445 t anuales de arroz partido que se generan en promedio. Por su parte, Manoís (2009) referencia que *“los granos de arroz se encuentran constituidos por un 90% de almidón”*, lo que correspondería a 16,601 t anuales del carbohidrato que potencialmente podría ser extraído y aprovechado, dinamizando de esta manera la cadena productiva de este cereal en el departamento del Tolima.

Para la industria arrocera, existe una diferencia claramente visible en los precios que se determinan para las distintas calidades del arroz, tal como se muestra en la Tabla 1.

La marcada diferencia del pago en los precios del arroz de acuerdo con la calidad, conlleva a la necesidad de establecer otros usos que permitan generar un valor agregado más representativo en la economía y así incrementar la rentabilidad de la cadena arrocera, asociado además, al proceso de innovación que permite darle a la industria molinera una alternativa de aprovechamiento y optimización de sus recursos frente a los mercados globalizados.

**Tabla 1.** Precios según las calidades de arroz en Colombia (2014).

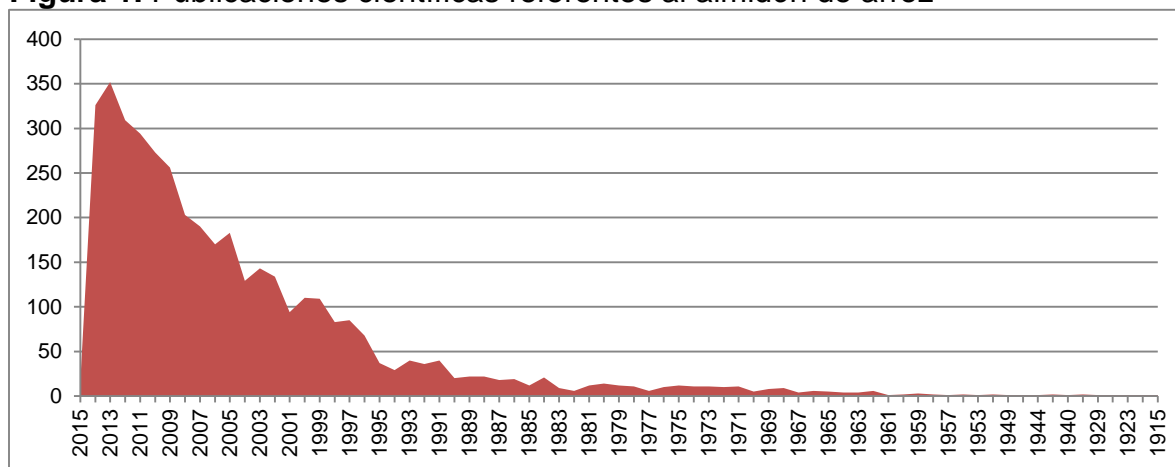
MES	CALIDAD			
	1ª pesos/kilo	2ª pesos/kilo	3ª ó cristal pesos/tonelada	Granza pesos/tonelada
Enero	2,469	2,166	1'014,286	696,333
Febrero	2,486	2,147	1'007,143	691,333
Marzo	2,458	2,176	1'028,571	686,333
Abril	2,465	2,154	1'041,600	680,200
Mayo	2,454	2,118	1'056,143	658,500
Junio	2,447	2,141	1'054,714	666,958
Julio	2,484	2,172	1'052,171	666,633
Agosto	2,472	2,169	1'037,250	655,750
Septiembre	2,462	2,178	1'044,000	659,083
Octubre	2,463	2,176	1'054,714	661,966
Noviembre	2,452	2,190	1'065,429	654,917
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,465</b>	<b>2,162</b>	<b>1'041,456</b>	<b>670,728</b>

Fuente. Seccionales Fedearroz (2014)

Debido a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria, es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, ya que con una producción mundial de 48,5 millones t/año (FAOSTAT, 2001), existe una demanda insatisfecha del mismo.

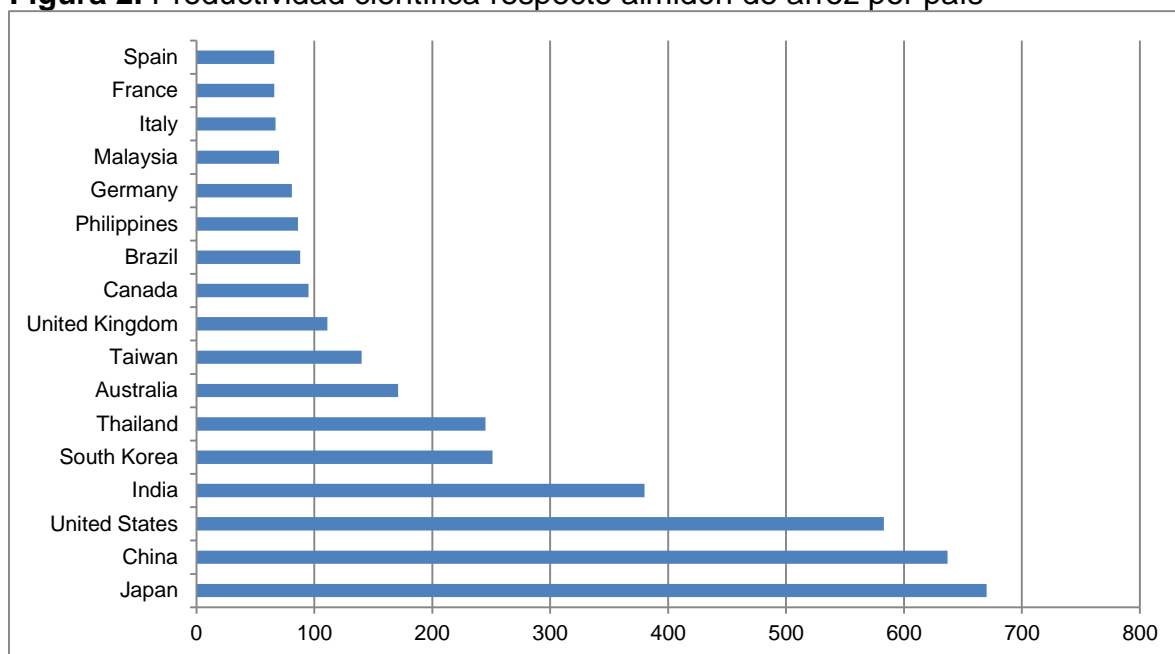
Por otra parte, la información suministrada por la base de datos SCOPUS muestra un aumento en las publicaciones científicas referentes al almidón de arroz (Ver Gráfica 1) con una tendencia ascendente finalizando la década de los 90. Sin embargo, el mayor número de publicaciones se originan en Estados Unidos y países asiáticos como Japón, China, India, Corea del Sur y Tailandia (Ver Gráfica 2), y para el caso latinoamericano, el único país que aparece con al menos 90 publicaciones es Brasil.

**Figura 1.** Publicaciones científicas referentes al almidón de arroz



Fuente. SCOPUS (2014)

**Figura 2.** Productividad científica respecto almidón de arroz por país



Fuente. SCOPUS (2014)

Para el caso de almidones de arroz colombianos, la información que se muestra de las propiedades fisicoquímicas y funcionales es escasa o no se encuentra publicada. En este sentido y con base a información registrada en la plataforma siembra en cuanto a las demandas tecnológicas de esta cadena ([www.siembra.gov.co](http://www.siembra.gov.co)) solo se tiene detalle de dos proyectos de investigación terminados que consideran el aprovechamiento de

subproductos de la cadena del arroz (básicamente cascarilla y salvado) pero no hay trabajos que reporten el uso y aprovechamiento del arroz partido como fuente de almidón, razón por la cual, la presente investigación sirve como un parámetro de comparación para establecer el uso agroalimentario para los almidones de las variedades analizadas.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Tolima se caracteriza por tener la molinería más competitiva del país, gracias a factores como el grado de desarrollo empresarial de la zona, la integración vertical que maneja la industria arrocera, la dotación de infraestructura y la cercanía a los más grandes mercados urbanos del país. Sin embargo, no todo el arroz que se produce es destinado para la comercialización (Observatorio Agrocadenas de Colombia, 2004).

Cuando el grado de grano partido es muy superior al 10%, este arroz blanco partido se clasifica en dos: el arroz partido grande o cristal, cuyo porcentaje de grano partido se encuentra entre 50% y 75%, y se vende como insumo para la fabricación de pastas alimenticias, sopas y cervezas. Algunos compradores lo mezclan con arroces enteros para venderlo directamente para consumo humano. El arroz partido pequeño o granza, tiene tamaños inferiores a un cuarto de grano y se utiliza en la preparación de concentrados para animales y cerveza (Observatorio Agrocadenas de Colombia, 2004). Según Landry y Moreaux (1981), la factibilidad económica se basa en el manejo de grandes cantidades del material que se procesa. En este orden de ideas, se pueden abrir caminos para fortalecer las economías regionales y optimizar las producciones de tal forma que se haga un uso completo de las materias primas.

El arroz se encuentra constituido en un 90% por almidón (Manois *et al.* 2009), este puede ser extraído por diferentes vías y presenta unas características que le brindan grandes oportunidades para su comercialización, como el reducido tamaño de sus gránulos y la amplia gama de contenido de amilosa entre variedades y especies. Estas características lo hacen ideal para su comercialización en diversas industrias como la de alimentos, en donde es usado como aditivo, como mimético de grasa en helados, yogures, ensaladas, entre otros (Zhong, Li, Ibanz, Oh, McKenzie, & Shoemaker, 2009; Zavareze, Storck, Suita, Artigas & Guerra, 2010). De igual forma, este gránulo es muy pequeño en tamaño, lo que proporciona una percepción de textura similar a la de la grasa y tiene un índice glicémico bajo (Champagne, 1996).



El almidón del arroz varía significativamente en su composición dependiendo del procedimiento de aislamiento, la fuente botánica y las condiciones climáticas y del suelo durante el desarrollo del grano (Juliano B. , Bautista, Lugay & Reyes, 1964; Asaoka, Okuno, Sugimoto, Yano, Omura & Fuwa, 1985; Morrison & Azudin, 1987).

Así mismo, Lawal *et al.* (2011) reporta que las variaciones en los contenidos de amilosa/amilopectina y la estructura molecular del almidón son altamente influenciadas por la genética y las condiciones agronómicas y ambientales.

Por otra parte, el rendimiento en la extracción del almidón de arroz representa una ventaja frente a otras fuentes. Algunos estudios han demostrado que la extracción de almidones de fuentes como plátano y yuca presenta rendimientos del 55,61% (Gorosquer, García, Huicochea, Núñez, González & Bello, 2004) y 55% (Cobana & Antezana, 2007) respectivamente, y algunas variedades de arroz cultivadas en el Tolima hasta el 68,32% (Vanegas, 2011).

Los almidones de arroz, debido a la uniformidad de sus gránulos (forma, tamaño y distribución) y la gran diversidad de variedades, ofrecen un excelente modelo para estudiar el efecto de la composición y las características físicas de las propiedades de los almidones. Así mismo existe una tendencia creciente en la ingesta de alimentos menos grasos lo que ha conducido al desarrollo de sustitutos a base de almidón de arroz, debido al pequeño tamaño de sus gránulos, lo que proporciona la misma textura que la impartida a los alimentos por la grasa (Wani *et al.* 2012).

Los almidones nativos se utilizan porque regulan y estabilizan la textura de los alimentos y por sus propiedades espesantes y gelificantes (Bello, Contreras, Romero, Solorza & Jiménez, 2002). Particularmente, el almidón de arroz presenta características hipoalergénicas y un sabor más suave que los almidones de otras fuentes (Hagenimana, Ding & Fang, 2006). Estas ventajas no son aprovechadas de forma adecuada por la industria arrocera en el departamento del Tolima, ya que se desconocen las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones de las variedades de arroz de mayor cultivo

en Colombia y su potencial uso agroalimentario, por lo que se hace necesario valorar los subproductos del proceso de trilla y pulido (arroz partido) para generar nuevas fuentes de ingreso mediante la obtención de productos con un mayor valor agregado.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar las propiedades físico-químicas y funcionales del almidón de arroz extraído de las variedades Fedearroz 473, Fedearroz 50 y Fedearroz 60 y determinar su uso como complemento en la industria alimentaria.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Extraer y caracterizar fisicoquímicamente el almidón de arroz de las variedades seleccionados.
- Comparar el comportamiento de las propiedades de los almidones de arroz seleccionados frente a otras fuentes de almidón de referencia.
- Determinar la relación existente entre las propiedades de los almidones analizados y su funcionalidad, como una medida de acercamiento a la valoración de sus posibles usos agroalimentarios.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 ALMIDÓN

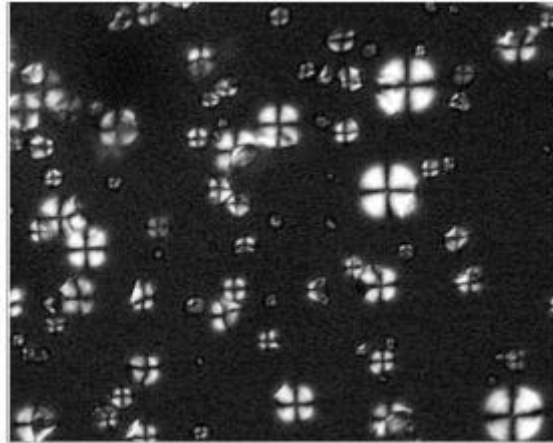
El almidón es uno de los polímeros naturales más prometedores debido a su biodegradabilidad inherente, abundancia abrumadora y renovación anual (Yu, Dean, & Li, 2006). De las calorías consumidas por los humanos, cerca del 70 al 80% provienen del almidón. Es la principal fuente de almacenamiento de energía en los vegetales, ya que se encuentra en grandes cantidades en las diversas variedades de plantas, como, por ejemplo, en los granos de cereales, los cuales contienen entre 60 y 75% de su peso seco de almidón, así como también, puede encontrarse en tubérculos, semillas de leguminosas y en algunas frutas, y su concentración varía con el estado de madurez de los mismos (Thomas & Atwell, 1999).

Estructuralmente, el almidón consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. A pesar de que la amilosa y la amilopectina están compuestas por moléculas de D-glucopiranosas, las diferencias entre estos dos polímeros resultan en grandes diferencias en las propiedades funcionales. Los otros componentes menores en almidón de arroz son lípidos y proteínas, y calcio, potasio, magnesio y sodio en la forma iónica (Vandeputte & Delcour, 2004).

La estructura rígida de los gránulos está integrada por capas concéntricas de amilosa y de amilopectina (distribuidas radialmente) que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comerciales. Estos cuerpos son birrefringentes, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo cual cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta”; esto se debe a que dentro del gránulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas causadas principalmente por la amilopectina, que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa. Por esta razón, los gránulos que contienen una proporción grande de la

fracción ramificada no presentan birrefringencia; esta característica, al igual que su espectro de rayos X, se pierde cuando los gránulos alcanzan la gelatinización (Badui, 2006).

**Figura 3.** Microscopia de luz polarizada de almidón de yuca nativo amplificada al 200x



Fuente: Martín & López (2009)

Las propiedades de los almidones dependen de las características físicas y químicas como el tamaño medio granular, la distribución del gránulo, la relación amilosa amilopectina y el contenido mineral (Wani, Sogi, Gill & Shivare, 2010).

## 4.2 AMILOSA

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4), en el cual algunos enlaces  $\alpha$  (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutzon & Grove, 1994).

Thomas *et al.* (1999) establecieron que los enlaces glucosídicos en la configuración  $\alpha$ , confieren a la amilosa la estructura helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis unidades de glucosa. Los grupos hidroxilo se posicionan en el exterior de la

hélice, mientras que el interior contiene predominantemente átomos de hidrógeno y es por lo tanto lipofílico, lo cual permite a la amilosa formar clatratos o complejos de inclusión con los ácidos grasos libres, con las cadenas de los ácidos grasos de los glicéridos, con algunos alcoholes y con el yodo.

El contenido de amilosa parece ser el principal factor que controla casi todas las propiedades fisicoquímicas del almidón de arroz, tales como turbidez, sinéresis, estabilidad a la congelación-descongelación, pegado, gelatinización, y propiedades de retrogradación (Wickramasinghe & Noda, 2008). El efecto de la amilosa en la propiedad reológica de la pasta de almidón de arroz ha sido investigado por Lii *et al.* (1996), ellos afirmaron que las cantidades de lixiviación de amilosa son uno de los principales factores que influyen en las propiedades reológicas del almidón durante el calentamiento.

Por su parte, Wang *et al.* (2010) establecen que los altos contenidos de amilosa se relacionan directamente con una mayor fuerza del gel y un menor consumo de energía para el hinchamiento. También establecieron que las cadenas medias de amilopectina tienen un efecto pronunciado en la fase de transición y en las temperaturas de gelatinización, dando a estas cadenas ramificadas la posibilidad de ser las responsables de las propiedades reológicas del almidón.

Algunas investigaciones recientes se han dedicado a determinar la relación entre la estructura del almidón y los comportamientos de gelatinización. La variación en las características estructurales de los polisacáridos, incluyendo el contenido de amilosa, tamaño molecular, el grado promedio de polimerización y la distribución de la longitud de la cadena, dan lugar a diferencias en las propiedades físico-químicas de los gránulos de almidón, tales como el poder de hinchamiento, propiedades térmicas, reológicas y de textura (Varavinit, Shobsngob, Varayanond, Chinachoti & Naiyikul, 2003; Vandeputte, Deryckea, Geeromsb & Delcour, 2003; Singh, Kaur, Sandhu, Kaur & Nishinari, 2006; Sandhu & Singh, 2007; Jayakody, Hoover, Liu & Donner, 2007).

La literatura reporta datos de contenidos de amilosa presentes en almidón nativo de arroz no céreo que van desde el 4,1% reportado por Singh *et al.* (2006) hasta contenidos de amilosa del orden de 31,6% reportado por Wang *et al.* (2010).

### 4.3 AMILOPECTINA

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

La amilosa de las distintas fuentes botánicas presenta un grado de polimerización (DP) aproximado de 1500-6000. La molécula de amilopectina, que es mucho más grande, tiene un DP de aproximadamente 300000 a 3000000 (Zobel, 1988).

La amilopectina del almidón de arroz tiene un DP de 8200 a 12800 y una longitud de la cadena (CL) de 19 a 23 (Takeda, Hizukuri, & Juliano, 1987; Wang *et al.*, 2010), una longitud de cadena externa promedio (ECL) de 11,3 a 15,8 y una longitud de cadena interna promedio (ICL) de 3,2 a 5,7 (Lu, Chen, & Lii, 1997).

### 4.4 RETROGRADACIÓN

La retrogradación del almidón es un proceso que se produce cuando las cadenas de almidón comienzan a reasociarse en una estructura ordenada. En sus fases iniciales, dos o más cadenas de almidón pueden formar un punto de unión simple, que a continuación puede convertirse en regiones más ampliamente ordenadas. En última instancia, en condiciones favorables, aparece un orden cristalino (Atwell, Hood, Lineback, Varriano-Marston, & Zobel, 1988).

Mestres (1996) establece que la retrogradación es la cristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel, cuando las pastas de los almidones son enfriadas y ocurre en tres estados: a) dilatación de las cadenas debido al rompimiento de los enlaces intermoleculares que mantienen la configuración helicoidal, b) pérdida del límite de agua seguido de una reorientación de las moléculas y, finalmente c) una formación de enlaces de hidrogeno entre moléculas adyacentes formando una estructura cristalina

La retrogradación causa geles de almidón que llegan a ser menos solubles durante el enfriamiento debido a la recristalización de las moléculas de almidón (Bemiller & Whistler, 1996). Básicamente es un proceso de cristalización resultante de una fuerte tendencia a la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo en las moléculas de almidón adyacentes. En términos simples, la retrogradación de materiales de almidón gelatinizados implica la formación y la posterior agregación de dobles hélices de cadenas de amilosa y amilopectina, que regula por lo tanto la elasticidad, la firmeza, y el endurecimiento y la textura de todos los sistemas que contienen almidón (Atwell *et al.*, 1988).

Los cambios que conducen a la retrogradación restringen las propiedades funcionales del almidón haciéndolos menos deseables para los productos alimenticios. Hay varios factores que tienen diferentes responsabilidades en su retrogradación. El contenido de amilosa juega un papel importante y ocurre en el enfriamiento (Biliaderis & Zawistowski, 1990).

La retrogradación de la amilopectina se produce lentamente durante el envejecimiento y requiere varias semanas o meses de almacenamiento para el equilibrio (Biliaderis *et al.*, 1990; Lai , Lu & Lii, 2000); el grado de retrogradación depende de la distribución de cadenas largas de amilopectina (Philpot, Martin, Butardo, Willoughby & Fitzgerald, 2006).



#### **4.5 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA**

El almidón es insoluble en agua fría; pero es capaz de retener agua. El agua se adhiere a la superficie de los gránulos de almidón y lleva el gránulo a su hinchamiento. Este comportamiento puede ser atribuido a la relación amilosa/amilopectina ya que las moléculas de agua quedan atrapadas en la estructura de la amilopectina, así como también a la diferencia en la distribución de la longitud de la cadena (Bello, Roger, Baud & Colonna, 1998). Al separarse fragmentos de la cadena de almidón se facilita la formación de uniones puente hidrógeno con el agua y la amilosa, lo que beneficia la absorción de agua y la gelatinización (Fennema, 1980).

#### **4.6 PODER DE HINCHAMIENTO**

Cuando el almidón es calentado en exceso de agua la estructura cristalina se altera debido a la ruptura de enlaces de hidrógeno, y las moléculas de agua se vinculan por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo expuestos de amilosa y amilopectina. Esto provoca un incremento en el hinchamiento del gránulo y en la solubilidad. El poder de hinchamiento y la solubilidad pueden ser utilizados para evaluar el grado de interacción entre las cadenas de almidón dentro de los dominios amorfos y cristalinos del gránulo (Ratnayake, Hoover & Warkentin, 2002). El hinchamiento del almidón se produce en el mismo sentido que la pérdida de birrefringencia y precede a la solubilización (Singh, Sandhu & Kaur, 2004).

El poder de hinchamiento es una medida de la capacidad del almidón para hidratarse bajo condiciones específicas tales como: temperatura y disponibilidad de agua. Estudios anteriores han indicado que un mayor poder de hinchamiento es un indicio de fuerzas de unión más débil en los gránulos de almidón (Hoover, Sailaja & Sosulki, 1996).

El poder de hinchamiento y la solubilidad incrementan a medida que aumenta la temperatura. Cuando aumenta la temperatura, en presencia de agua, la movilidad de las moléculas de almidón se incrementa debilitando las fuerzas de unión; así, un efecto

paralelo se obtiene tanto en la capacidad de hinchamiento como en la difusión del agua en los gránulos de almidón. Este proceso también mejora la lixiviación de componentes solubles de los gránulos de almidón, conduciendo así a mejorar la solubilidad (Lawal et al., 2011; Vandeputte, Vermeulen, Geeroms & Delcour, 2003a). Vandeputte *et al.* (2003a) reportaron que el poder de hinchamiento es una función de la temperatura, el cual ocurre en 2 etapas. En la primera etapa, a temperatura entre 55 y 85°C, la amilosa no influye en el hinchamiento en los almidones normales de arroz, mientras que las cantidades relativas de cadenas cortas de amilopectina (DP 6 a 9) incrementa el hinchamiento a 55 y 65°C. Únicamente en la segunda etapa del hinchamiento (a temperaturas entre 95 y 125°C), la amilosa reduce el poder de hinchamiento.

Según Tester & Morrison (1990), los complejos de amilosa-lípidos inhiben el hinchamiento y el comportamiento de éste en cereales está principalmente relacionado con la estructura de la amilopectina. La amilosa actúa como un diluyente.

La literatura reporta datos de poder de hinchamiento de almidones nativos que van desde el 7,33% publicado por Wickramasinghe *et al.* (2008) hasta el 35,4% en reportado por Singh, Kaur, Sandhu, Kaur & Nishinari (2006).

#### **4.7 GELATINIZACIÓN**

La gelatinización es el término usado para describir eventos moleculares asociados con el calentamiento del almidón en agua, el cual cambia de una forma semi-cristalina (la cual no es digerible), a una forma eventualmente amorfa (digerible) (Tester & Debon, 2000).

En condiciones de exceso de agua, los puentes de hidrógeno de la región amorfa del gránulo se rompen permitiendo que el agua se asocie con los grupos hidroxilos libres. Esto está definido por la movilidad de las cadenas de los polímeros por encima del valor de la temperatura de transición vítrea, ocurriendo el cambio de estado vítreo a gomoso. Este cambio a su vez, facilita la movilidad molecular en las regiones amorfas, siendo un

proceso reversible y permitiendo el hinchamiento del gránulo, el cual se expande al mismo tiempo que los polímeros se hidratan. Posteriormente se produce una transición molecular irreversible, la disociación de las dobles hélices propias de la región cristalina (Camire, Camire & Krumhar, 1990; Tester, 1997; Tester *et al.*, 2000).

El arroz, cereal consumido principalmente como grano entero (Kohlwey, Kendall & Mohindra, 1995), muestra marcadas diferencias en la textura, que están estrechamente relacionadas con las propiedades de gelatinización del almidón (aproximadamente el 90% de grano de peso seco) (Juliano & Betchel, 1985) y contenido de amilosa (Juliano *et al.*, 1981; Juliano *et al.*, 1985; Juliano, 1998). En consecuencia, habría una relación entre cualidades del arroz cocido y las propiedades físico-químicas de su almidón.

La gelatinización del almidón a contenidos de agua limitados se realiza por calorimetría diferencial de barrido; al disminuir el contenido de agua por debajo del 60% en la muestra de almidón tratado, se obtiene en el DSC un perfil que muestra múltiples transiciones endotérmicas atribuidas a la fusión de los componentes cristalinos en el gránulo de almidón (Biliaderis, 1998; Wang, Chiang, Zhao, Zheng & Kim, 1991). Con ella se ha encontrado que existen dos constantes de velocidad, dependientes de la temperatura, que son un reflejo de la presencia de las zonas amorfa y cristalina (Badui, 2006). Sin embargo existen otras técnicas analíticas que se utilizan para monitorear la gelatinización del almidón como la microscopía, viscometría, índices de hinchamiento y de solubilidad, difracción de rayos X y métodos enzimáticos (Lai & Kokini, 1990).

La temperatura de gelatinización es aquella en la que se alcanza el máximo de viscosidad y se pierden la birrefringencia y el patrón de difracción de rayos X; esta temperatura es en realidad un intervalo, ya que los gránulos tienen diferente composición y grado de cristalinidad aunque provengan de la misma fuente botánica, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros. Por esta razón se llega a presentar una diferencia de 8 a 12°C, teniendo como promedio 10°C entre la temperatura de gelatinización de los primeros gránulos ( $T_o$ ) y la de los últimos ( $T_c$ ). Este parámetro también se ve muy

afectado por la presencia de diversos compuestos químicos que favorecen o inhiben los puentes de hidrógeno (Graham, 1997).

La literatura muestra valores de temperaturas de gelatinización para almidones no céreos de arroz que van desde los 61,2°C reportado por Wang *et al.* (2010) hasta los 79,21°C reportado por Singh *et al.* (2006)

#### **4.8 ESTABILIDAD A LA CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN Y SINÉRESIS**

La congelación de un gel de almidón normalmente conduce a la formación de cristales de hielo y a la concentración del almidón en la fase sin congelar. Tras la descongelación, el agua se manifiesta fácilmente desde la red, dando lugar al fenómeno conocido como sinéresis. La capacidad de un gel de almidón para soportar este fenómeno durante ciclos de congelación-descongelación aumenta su potencial para uso en productos alimenticios congelados (Baker & Rayas, 1998). El nivel de sinéresis es inversamente proporcional a la estabilidad de congelación-descongelación

En la industria alimentaria, el almidón céreo de arroz tiene una estabilidad sustancial a la congelación-descongelación, pero esta propiedad no se ha explorado mucho en la literatura científica. Se ha informado de que cuando un gel de almidón no céreo de arroz ha sido sometido a un tratamiento de congelación-descongelación, la sinéresis se produce debido al aumento de la asociación molecular entre las cadenas de almidón, a temperatura reducida, eliminando así el agua de la estructura de gel. Igualmente el gel de almidón de arroz céreo es más resistente a la sinéresis después de un ciclo de congelación-descongelación debido a la formación de un menor número de asociaciones intermoleculares (Bao & Bergman, 2004).

El aumento en el porcentaje de sinéresis durante el almacenamiento se ha atribuido a la interacción entre la amilosa lixiviada y las cadenas de amilopectina, lo que genera el desarrollo de zonas de unión, que reflejan o dispersan una cantidad significativa de la luz (Perera & Hoover, 1999).

La estabilidad a la congelación-descongelación es una propiedad importante que se utiliza para evaluar la capacidad de un almidón para soportar los cambios físicos indeseables que ocurren durante la congelación y descongelación. Esta propiedad puede ser simplemente evaluada por medición gravimétrica del agua de la sinéresis que se separa de las pastas de almidón o de los geles (Wu & Seib, 1990).

Existen varias medidas de sinéresis basadas en la determinación de la estabilidad de congelación-descongelación de los almidones. Sin embargo, no se han estandarizado los procedimientos para estos métodos. En general, los métodos más usados para medir sinéresis utilizan centrifugación (Lee, Kim, Park & Lee, 2006)

La literatura reporta porcentajes de sinéresis en almidones de arroz que van desde el 0% a las 24 horas (Sodhi & Singh, 2003) hasta el 46,4% a las 22 horas (Wang *et al.*, 2010).

#### **4.9 PROPIEDADES DE EMPASTAMIENTO.**

Las características de empastado del almidón se determinan ya sea usando un Visco amilógrafo Brabender o un Visco Analizador Rápido (RVA) (Wickramasinghe *et al.*, 2008; Tukomane & Varavinit, 2008; Lin, Xiao, Zhao, Li & Yu, 2009). Los reómetros rotacionales (Park, Ibanez, Zhong & Shoemaker, 2007b; Li, Shoemaker, Ma, Kim, & Zhong, 2008a; Li, Shoemaker, Shen, Ma, Ibanez-Carranza & Zhong, 2008b) u otros viscosímetros, que registran la viscosidad continuamente con respecto a los cambios de temperatura, también se utilizan para medir las propiedades de empastado.

Las propiedades de empastamiento del almidón son indicadores importantes de cómo el almidón se comportará durante el procesamiento ya que el almidón es generalmente considerado como el componente más importante del arroz en términos de calidad y funcionalidad en la cocción. Las propiedades de empastamiento del almidón se utilizan para determinar la idoneidad del almidón en diferentes alimentos y otros productos afines. La característica de empastamiento más importante en la dispersión granular del almidón es su viscosidad. Una alta viscosidad de la pasta sugiere idoneidad como agente

espesante en alimentos y como agente de acabado en las industrias textiles y de papel (Wani *et al.*, 2012).

La viscosidad del almidón aumenta con el calentamiento continuo hasta que la velocidad de hinchamiento del gránulo es igual a la tasa de colapso granular, la cual se denomina como viscosidad pico (PV). Esta viscosidad refleja el grado de hinchamiento o la capacidad de unión de agua del almidón y, a menudo se relaciona con la calidad del producto final, ya que el hinchado y los gránulos colapsados hacen referencia a la textura del almidón cocido. Una vez que se logra la viscosidad máxima, se observa una caída en la viscosidad, o ruptura, como resultado de la desintegración de los gránulos. La ruptura (breakdown) es una medida de la facilidad de desorganizar los gránulos de almidón hinchados y sugiere el grado de estabilidad durante la cocción (Adebowale & Lawal, 2003).

La viscosidad mínima, también llamada viscosidad de pasta caliente o fuerza de sujeción, marca el final de la etapa de mantenimiento a la temperatura máxima de la prueba RVA. La etapa de enfriamiento comienza y la viscosidad se eleva de nuevo (retroceso-setback) que es causada por la retrogradación del almidón, en particular por la amilosa. El retroceso es un indicador de la textura del producto final y se vincula a la sinéresis durante los ciclos de congelación-descongelación. La viscosidad normalmente se estabiliza en una viscosidad final o viscosidad de pasta fría, que está relacionada con la capacidad del almidón para formar una pasta viscosa o gel después de la cocción y del enfriamiento (Newport Scientific, 1998).

El viscoamilograma es un registro del comportamiento de una suspensión de almidón a una concentración determinada, durante el calentamiento y enfriamiento bajo una velocidad constante de cizallamiento. El incremento en la viscosidad es medida por un torque sobre una aguja, con un sistema de control automático y en una curva son reproducidos los perfiles de gelatinización y de empastamiento del almidón analizado. (Aristizabal, Sánchez & Mejía, 2007).

#### 4.10 ALGUNAS APLICACIONES DEL ALMIDÓN

Los almidones tienen una amplia aplicación en la industria de alimentos y bebidas como un ingrediente multifuncional y fácil de usar. Dentro de cualquiera de estas aplicaciones requiere una multitud de criterios a tener en cuenta. El proceso de selección de almidón puede ser realizado a través del conocimiento de las características en un producto alimenticio o el proceso que el almidón puede controlar o facilitar. Estos incluyen propiedades sensoriales, el modo de fabricación, ingredientes acompañantes y las expectativas de vida útil (Taggart, 2004).

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen las fisicoquímicas: gelatinización y retrogradación; y las funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, sinéresis y comportamiento reológico de sus pastas y geles (Wang & White, 1994)

Otras características físicas simples, importantes en la funcionalidad, son la forma y superficie de los gránulos, factores críticos cuando se utiliza el almidón como portador de colores en la superficie, de sabores y condimentos. FAO *et al.* (1998). El almidón de arroz nativo tiene aplicaciones como revestimiento de azúcar en los productos de confitería, en elaboración de sopas y fideos, y como espesante (Singh *et al.* 2006a, 2006b).

Los almidones con bajos contenidos de proteína los hacen factibles al uso en la elaboración de jarabes glucosados. Otros, por sus altas temperaturas de gelatinización, podrían ser usados en productos que requieran altas temperaturas, tales como los productos enlatados, alimentos para bebés, etc. Los de mayor poder de hinchamiento pueden ser utilizados en productos que requieran retener agua, como los productos cárnicos, embutidos, jaleas, etc. Los que presentan mayor claridad pueden aplicarse en productos de confitería. La firmeza y elasticidad, así como la alta estabilidad a la refrigeración y congelación de los almidones indican que podrían utilizarse como agentes

espesantes y estabilizantes en sistemas alimenticios que necesiten ser refrigerados y congelados (Hernández, Torruco, Guerrero & Betancour, 2008).

#### 4.11 ESTUDIOS REALIZADOS

Desde hace varios años, un buen número de investigadores han realizado estudios de caracterización y comparaciones de almidones de arroz de las distintas variedades cultivadas en el mundo. A partir del año 2000 se han realizado importantes hallazgos relacionados con la influencia de los métodos de aislamiento del almidón, las condiciones agronómicas del cultivo, las variedades cultivadas y el desarrollo del grano entre otras, respecto a las propiedades fisicoquímicas del almidón.

Li & Yeh (2001) determinaron la relación entre las características térmicas y reológicas y el poder de hinchamiento de varios almidones. La variedad de almidón de arroz estudiado presentó un tamaño granular de 6,4  $\mu\text{m}$  y un contenido de amilosa de 16,4% y una temperatura de gelatinización de 65,1°C. El estudio determinó que el poder de hinchamiento de los almidones de distintas especies aumentó cuando se alcanzó la temperatura pico de gelatinización ( $T_p$ ). Así mismo, el tamaño de los gránulos, el contenido de amilosa, o el calor de gelatinización por sí solos no se correlacionaron significativamente con el poder de hinchamiento. Además se desarrolló una ecuación consistente en el efecto de la temperatura y la tangente de pérdida ( $\text{Tan } \delta G'_{\text{max}}$ ) para explicar la relación entre las características térmicas y reológicas y el poder de hinchamiento.

Sodhi et al. (2003) determinaron las propiedades morfológicas, térmicas y reológicas de almidones cultivados en la India. El estudio determinó las propiedades para 5 variedades de arroz cuyo contenido de amilosa osciló entre 4,10 y 16,40%. El tamaño granular varió entre 2,4 y 5,4  $\mu\text{m}$ , el poder de hinchamiento entre 17,2 y 38,8%, la sinéresis entre 0,00 y 1,81% (24 h), una temperatura de gelatinización entre 69,74 y 71,94°C, y una entalpía de gelatinización entre 8,16 y 11,80 J/g. El estudio concluyó que los almidones que tenían



menor contenido de amilosa mostraban mayor poder de hinchamiento, temperaturas de transición y menor módulos  $G'$  y  $G''$  que los que tenían mayor contenido de amilosa.

Iturriaga, López & Añón (2004) realizaron la caracterización térmica y fisicoquímica de siete harinas y almidones de arroz argentinos. Los almidones nativos presentaron contenidos de amilosa entre 16,2 y 27,5% y temperaturas de inicio de gelatinización ( $T_0$ ) entre 59,0 y 69,2°C. El estudio encontró una correlación directa entre la cooperatividad del proceso de gelatinización (en un alto contenido de agua) y el bajo contenido de amilosa, probablemente debido al efecto de desestabilización de las zonas amorfas (ricas en amilosa) sobre los cristales (ricos en amilopectina). Asimismo el estudio demostró que la cristalinidad está parcialmente relacionada con las propiedades térmicas de la gelatinización, ya que es uno de los eventos de este proceso.

Singh *et al.* (2006) determinaron las relaciones entre las propiedades fisicoquímicas, morfológicas, térmicas y reológicas de los almidones de arroz. Se analizaron muestras de almidones de arroz de 19 variedades distintas. La relación entre las distintas variedades fue determinada mediante un análisis de correlación de Pearson. Los contenidos de amilosa oscilaron entre 4,10 a 16,4%, el poder de hinchamiento entre 17,2 y 38,8%, temperatura pico de gelatinización  $T_p$  entre 66,91 y 79,21°C, entalpía de gelatinización 8,09 y 13,82 J/g. La sinéresis mostró variaciones desde el 0 al 2,10% después de 72 horas, las transmitancias oscilaron entre 3,0 al 5,8%. El estudio confirmó que las propiedades reológicas de los almidones de arroz durante el calentamiento fueron principalmente dependientes de la estructura y de las propiedades de hinchamiento de los gránulos de almidón y en menor medida del contenido de amilosa (Lii, Shao, & Tseng, 1995). La transmitancia fue relacionada negativamente con la sinéresis medida luego de las 48 horas. Esta correlación llegó a ser más fuerte con el incremento de la duración del almacenamiento. La viscosidad pico fue relacionada positivamente con la amilosa y con la transmitancia.

Wang *et al.* (2010), realizaron un estudio de la propiedades fisicoquímicas estructurales de almidones de cultivares de arroz chino, el cuál contempló: método de extracción,

contenido de amilosa, poder de hinchamiento y solubilidad, turbidez, sinéresis, propiedades térmicas, propiedades reológicas, fuerza del gel y longitud de cadenas ramificadas de amilopectina. Se tomaron muestras de almidones de 10 diferentes cultivares de arroz chino no ceroso y las relaciones entre las diferentes propiedades de los almidones se determinaron utilizando el análisis de correlación de Pearson.

El contenido de amilosa para estos almidones osciló entre 18,1 y 31,6%, el poder de hinchamiento entre 16,3 al 30,2%, la solubilidad entre 17,0 al 40,0% y la sinéresis entre 22,9 a 46,4% (22 h). El estudio concluyó que una mayor dureza en el gel de almidón y un bajo poder de hinchamiento parece estar causado por la presencia de un mayor contenido de amilosa. Además, los resultados también sugieren que las cadenas ramificadas de amilopectina podrían ser el principal responsable de las propiedades reológicas. La presencia de amilopectina con cadenas muy cortas (DP6-11) aumentaron los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y pérdida ( $G''$ ) y disminuyeron la tangente de pérdida durante el calentamiento.

Asimismo, cuando el almidón contenía amilopectina con alta proporción de cadenas de tamaño medio (DP12-23) mostraron el efecto opuesto en las propiedades reológicas. Por lo tanto, la longitud de las cadenas ramificadas de amilopectina juega un papel clave en las características fisicoquímicas del almidón de arroz. Entre las cadenas de amilopectina medianas (DP12-23), las cadenas más largas de estas (DP18-23) juegan un papel importante en las propiedades reológicas.

Sandhu *et al.* (2010) realizaron un estudio acerca de la calidad de fideos de almidones de arroz y sus mezclas (con almidón de papa) en función de las propiedades fisicoquímicas, de empastado y textura del gel. El almidón de arroz analizado mostró un contenido de amilosa de 19,2%, poder de hinchamiento 18,3 g/g y solubilidad del 10,8%. El estudio concluyó que la mezcla de almidón de arroz con almidón de papa en igual proporción (P1: R1) puede mejorar la estabilidad al calor, más que cuando se usa la fécula de papa sola para la preparación de fideos.

Lawal *et al.* (2011) realizaron un estudio para determinar la reología y las propiedades funcionales de los almidones aislados de cinco variedades mejoradas de arroz de África Occidental. Se usaron los parámetros de la ley de potencia (para describir el cizallamiento dependiente de la viscosidad a velocidades de cizalla más altas), la ecuación de Carreau-Yasuda y el modelo de Song-Jiang. El estudio concluyó que el almidón aislado de arroz NERICA provocó una tendencia más baja de retrogradación. Los datos obtenidos de las pruebas reológicas realizadas tanto a cizalla continua como oscilatoria se correlacionan con los modelos simples (ley de potencia y ecuación Carreau Yasuda, y el modelo Songe Jiang, respectivamente) que luego se resumen en parámetros que sirven como guía para describir los efectos relacionados con el contenido de amilosa.

Lin *et al.* (2011) realizaron un estudio para determinar las propiedades fisicoquímicas de la harina, almidón y almidón modificado de dos variedades de arroz. Los reportes mostraron contenidos de amilosa entre 24,5 y 27,5% poder de hinchamiento de 9,3 y 11,9 g/g y solubilidad 8,0 y 9,9%. El estudio concluyó que la transmitancia de los almidones de las dos variedades de arroz fue significativamente mayor que la de la harina. El estudio mostró además que la viscosidad pico y el valor de “breakdown” de las pastas de almidón de las dos variedades de arroz se incrementó con el aumento del poder de hinchamiento.

Mir *et al.* (2014) realizaron un estudio donde determinaron las diferencias en las propiedades físico-químicas de los almidones y harinas de arroz. Se analizaron almidones y harinas de siete cultivares de arroz de clima templado que se cultivan en la región del Himalaya. Se evaluó la composición, la estructura del gránulo, la cristalinidad, la espectrometría Raman, turbidez, poder de hinchamiento, solubilidad, propiedades de empastado y las propiedades texturales. Los almidones de arroz mostraron contenido de amilosa entre 24,69 y 32,76%, solubilidad de 7,67 a 15,98 y poder de hinchamiento entre 7,72 y 11,12 g/g y variada granulometría entre 2,3 y 6,5  $\mu\text{m}$ . El estudio determinó que el poder de hinchamiento, la solubilidad, la turbidez y el valor de la textura del gel variaron entre los distintos cultivares y fueron relacionados con el contenido de amilosa.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

El método utilizado para la extracción de almidón fue basado en el método de Devi, Fibrianto, Torley, & Bhandari (2009) con algunas modificaciones.

Lavado con agua: Se mezclaron 100 g de harina de arroz con 500 ml de agua destilada, con agitación durante 1 h a temperatura ambiente, se dejó en reposo 14 h a 6°C y se descartó el sobrenadante.

Lavado alcalino: Se mezcló el sedimento con 500 ml de hidróxido de sodio 0.05M con agitación durante 3 h a temperatura ambiente. Se dejó reposar 14 h a 6°C y se descartó el sobrenadante. El lavado se repitió hasta que la prueba de Biuret para determinar la presencia de proteínas y la prueba con solución de yodo-yoduro, para detectar la presencia de almidón en el sobrenadante dio negativa.

Lavado con agua: Se realizó un lavado con 500 ml de agua destilada, se agitó 1 h y se dejó reposar toda la noche a temperatura ambiente. El lavado se repitió una vez más.

Neutralización: El sedimento fue neutralizado agregando 500 ml de agua destilada, y ácido clorhídrico 1M utilizando un potenciómetro; se dejó en reposo toda la noche a 6°C y se descartó el sobrenadante. Luego se realizó un lavado con agua destilada como se indicó anteriormente.

Sedimentación: La mezcla se dejó en reposo 2 días a 6°C. Luego se descartó el sobrenadante y fue secado a 40°C por 24 h. Se almacenó a 6°C hasta su análisis.

## 5.2 CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA

La composición proximal se determinó en el Laboratorio de Servicios de Extensión de la Universidad del Tolima – LASEREX, comprendiendo los siguientes análisis: Humedad, materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra bruta, cenizas, nitrógeno y minerales, de acuerdo a la AOAC.

## 5.3 CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

La determinación de amilosa y amilopectina se realizó con el método colorimétrico ISO 6647 (1987) con algunas modificaciones. El contenido de amilopectina se calculó por diferencia al 100% del contenido de amilosa. Se utilizó amilosa de papa grado analítico MERCK™ y la lectura se realizó mediante un espectrofotómetro GENESYS™ 10S UV-Vis.

Preparación de la curva estándar de amilosa. Se pesaron 100 mg de muestra de amilosa grado analítico en un frasco volumétrico de 100 ml. Se agregó 1 ml de etanol al 95% y 9 ml de hidróxido de sodio 1N y se dejó a temperatura ambiente por 24 horas. Se completó el volumen a 100 ml con agua destilada. Se preparó la curva estándar de acuerdo a los valores del Anexo A. En un frasco volumétrico de 100 ml que contuviera 50 ml de agua destilada se agregó una alícuota de 5 ml de cada punto de la curva estándar, 1 ml de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo al 2%. Se mezcló y se completó a volumen con agua destilada. Se almacenaron los frascos bajo oscuridad durante 20 minutos y se leyó la densidad óptica a una longitud de onda de 620 nm.

El cálculo del contenido de amilosa se realizó directamente de la curva estándar y se expresó como porcentaje. El contenido de amilopectina se obtuvo restando el contenido de amilosa del contenido de almidón. Los valores para la construcción de la curva se encuentran en los anexos. La ecuación de la curva se detalla a continuación:

**$y = 0,0054x - 0,0071$**  y un  $R^2 = 0,9986$ ; donde **y** es la absorbancia y **x** la concentración de la solución.

#### 5.4 APARIENCIA MICROSCÓPICA

La forma y tamaño de los gránulos se determinó mediante observación microscópica directa, utilizando un microscopio de fluorescencia marca Zeiss ref Axio Imager A1 y el programa Axio Vision AC rel. Se reportaron los diámetros promedio del almidón.

#### 5.5 PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD E ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA

El poder de hinchamiento, solubilidad e índice de absorción de agua fue realizado siguiendo el método descrito por Wang *et al.* (2010).

Una suspensión de almidón al 2% P/V se calentó en baño de agua a 90°C durante 30 min. Las muestras de almidón se centrifugaron a 2000 rpm durante 20 minutos. Se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento. Las alícuotas de sobrenadante se secaron en una estufa a 100°C hasta un peso constante. El poder de hinchamiento (g/g de peso seco), la solubilidad (S%) y el índice de absorción de agua (IAA) se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{Poder de hinchamiento (g/g)} = \frac{\text{peso de sedimentos}}{\text{masa de almidón seco} \times (100\% - \% \text{ del total de masa de sobrenadante seco})}$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{masa seca del sobrenadante} \times 100}{\text{masa de almidón seco}}$$

$$\text{Índice de absorción de agua (g/g)} = \frac{\text{peso de sedimento}}{\text{masa de almidón seco}}$$

#### 5.6 TURBIDEZ

La turbidez fue medida siguiendo la publicación de Craig, Maningat, Seib & Hosney (1989). Una suspensión acuosa de almidón al 2% se calentó en un baño de agua hirviendo durante 1 h con agitación constante. La suspensión se enfrió durante 1 hora a

30°C y la turbidez se determinó midiendo la absorbancia a 620 nm contra el blanco de agua destilada usando un espectrofotómetro GENESYS™ 10S UV-Vis.

## 5.7 SINÉRESIS

La sinéresis fue medida siguiendo lo descrito por Singh *et al.* (2006) con algunas variaciones. Una suspensión de almidón (5% P/V masa de almidón seco) se calentó en un baño de agua a 90°C durante 20 minutos. Después de enfriar a temperatura ambiente, las muestras se colocaron en un congelador a -10°C durante 48 h y luego se colocaron en un baño de agua a 30°C para descongelar hasta el equilibrio. La sinéresis se midió como la cantidad en % de agua liberada después de centrifugar a 2500 r.p.m durante 40 min.

## 5.8 PROPIEDADES TÉRMICAS

Los experimentos fueron realizados en un calorímetro Perkin Elmer DSC 8000 (Shelton, EEUU). El equipo fue calibrado con Indio (punto de fusión = 156,6 °C, entalpía de fusión = 28,45 J/g)- a un flujo de calor de 5 °C/min y un rango de temperaturas entre 20 y 120 °C. Los experimentos fueron realizados bajo una atmósfera de nitrógeno (99,5 % de pureza, ~20 mL/min de flujo de gas) a una velocidad de calentamiento de 5 °C/min desde una temperatura de 30 °C hasta 110 °C.

Para la preparación de las muestras, se colocó aproximadamente 2 mg de almidón en cápsulas de aluminio para análisis de DSC (ref 0219-0062, Perkin Elmer, Shelton, EEUU) y se agregó agua destilada en una proporción 2:1 (agua:almidón w/w). Las cápsulas se pesaron, se sellaron y se almacenaron a temperatura ambiente por 24 h. En el total de las muestras se determinó la temperatura de gelatinización según el programa de temperaturas antes descrito.

Para procesar la información de los experimentos se utilizó el software PYRIS 10.1 (Perkin Elmer, Shelton, EEUU). Las curvas DSC fueron normalizadas dividiendo el flujo

de calor por el peso de la muestras y, de este modo, facilitar la comparación entre las variedades de arroz.

## **5.9 PROPIEDADES DE EMPASTAMIENTO.**

El equipo utilizado fue un micro Viscóamilografo Brabender (Alemania) cuyo régimen de trabajo fue calentamiento de 10°C/min de 30 a 95°C, sostenimiento a esta temperatura por 3 min y luego descenso de la temperatura a la misma velocidad. Se tomaron 10 g de almidón aproximadamente (ajustados a una humedad del 10%) y se llevaron a 100 g de suspensión completando con agua destilada. Luego se corrió el equipo y se leyeron los amilogramas. Los datos son reportados en Unidades Brabender (BU) y fueron leídos con el software Brabender® Viscograph – Data correlation Version 4,0

## **5.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza ANOVA de una vía, con tres repeticiones para cada una de las siguientes variables: tamaño del gránulo, solubilidad, poder de hinchamiento, índice de absorción de agua, sinéresis, contenido de amilosa y turbidez; y 8 repeticiones para propiedades térmicas. Este procedimiento se realizó para cada una de las variedades de arroz siendo los tratamientos las materias primas analizadas (F50, F60 y F473). Se efectuó una comparación de medias por el método de mínimas diferencias significativas (LSD) para establecer las diferencias entre las características evaluadas, utilizando el paquete computacional Statgraphics Centurion para Windows a un nivel de significancia del 95%.



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA

Con el método de extracción descrito por Devi *et al.* (2009) se obtuvieron almidones de arroz con las características detalladas en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Caracterización bromatológica de los almidones.

PRUEBA	MÉTODO	UNIDAD	F50	F60	F473
Humedad	Gravimétrico	%	4,2	4,0	1,6
Materia seca	Gravimétrico	%	95,8	95,9	98,3
Proteína cruda	Kjeldalh	%	1,5	1,9	1,47
Extracto etéreo	Gravimétrico	%	7,56	7,40	6,84
Fibra bruta	Gravimétrico	%	0,47	0,47	0,6
Cenizas	Gravimétrico	%	0,5	0,46	0,5
Nitrógeno	Kjeldalh	%	0,24	0,30	0,235
Potasio	Absorción Atómica	%	0,004	0,01	0,01
Sodio	Absorción Atómica	mg/Kg	1298,1	1535,3	1416,8
Calcio	Absorción Atómica	%	0,02	0,41	0,33
Magnesio	Absorción Atómica	%	0,05	0,03	0,023
Fósforo	Espectrofotométrico	%	<0,01	<0,01	<0,01
Cobre	Absorción Atómica	mg/Kg	2,0	3,4	3,6
Zinc	Absorción Atómica	mg/Kg	9,35	12,6	5,38
Hierro	Absorción Atómica	mg/Kg	53,2	55,9	56,59
Manganeso	Absorción Atómica	mg/Kg	22,36	23,1	15,8
Boro	Espectrofotométrico	mg/Kg	46,6	61,9	103,7
Azufre	Espectrofotométrico	%	<0,01	<0,01	<0,01
Pureza	-	%	86,27	86,13	89,39

Los bajos contenidos de nitrógeno (Ver Tabla 2) indican una alta pureza del almidón de arroz. El método de extracción utilizado para estos almidones generó valores más altos

(+0,26%) comparados con los obtenidos por Vandeputte, Vermeylen, Geeroms & Delcour (2003a) 0,013–0,115%. Asimismo, el contenido de fósforo (<0,01%) está por debajo de lo reportado en el estudio citado cuyos valores oscilaron entre 0,046–0,056%. El porcentaje de cenizas (+ 0,49%) presenta un incremento respecto a las reportadas en el estudio de referencia (0,12–0,17%).

En los almidones analizados, existen unos valores elevados en el contenido de sodio, que pueden ser atribuidos al uso del hidróxido de sodio para la extracción y su consecuente residualidad. Así mismo, presentaron un elevado contenido de lípidos, lo que puede afectar el comportamiento de algunas propiedades del almidón, como el poder de hinchamiento y la solubilidad, por la posible la formación de un complejo con la amilosa (Galloway, Biliaderis & Stanley, 1989). Sin embargo, varios estudios han demostrado que la composición, junto con la estructura molecular y propiedades funcionales se ven afectadas por la variedad, el procedimiento de aislamiento, el clima, las condiciones agronómicas y el desarrollo del grano, por lo cual estos resultados estarían más condicionados por estos aspectos.

En los gránulos de almidón se encuentran presentes pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, minerales y agua, siendo mínima la presencia de estas dos últimas. (Thomas *et al*, 1999). Solamente los almidones de los cereales contienen una cantidad significativa de lípidos endógenos en los gránulos. Estos grupos internos son principalmente ácidos grasos libres y fosfolípidos, que varían en proporción dependiendo del tipo de cereal (Whistler & BeMiller, 1997)

## **6.2 CONTENIDO DE AMILOSA**

Las variedades F50 y F60 no presentaron variaciones significativas ( $p > 0,05$ ) para el contenido de amilosa, cuyos valores fueron de 21,4 y 21,5% respectivamente, tal como se aprecia en la Tabla 3. El almidón de la variedad F473 presentó variaciones significativas ( $p < 0,05$ ) respecto a las otras variedades, mostrando el mayor contenido de amilosa con un 23,01%. Los datos obtenidos para el contenido de amilosa son similares

a los reportados por Patindol, Gonzalez, Wang & McClung (2007), quienes determinaron para sus muestras de almidón porcentajes del polisacárido entre 17,0 y 21,6%.

**Tabla 3.** Valores promedio para contenido de amilosa.

VARIEDAD	RÉPLICAS	PROMEDIO (%)
F473	3	23,01 <sup>b</sup>
F50	3	21,40 <sup>a</sup>
F60	3	21,53 <sup>a</sup>

<sup>a-b</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ( $p < 0,05$ )

### 6.3 APARIENCIA MICROSCÓPICA

La apariencia microscópica de los gránulos de almidón se observa en la Figura 2. Los almidones analizados presentaron formas poliédricas e irregulares. El tamaño granular promedio de las variedades F473, F50 y F60 fue de 9,43, 7,43 y 7,23  $\mu\text{m}$  respectivamente; datos similares a los reportados por Yang *et al.* (2006). Los almidones de las variedades F50 y F60 no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ); por su parte los almidones de las variedades F473 y F60 presentaron variaciones significativas ( $p < 0,05$ ), tal como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Valores promedio para el diámetro.

VARIEDAD	RÉPLICAS	PROMEDIO ( $\mu\text{m}$ )
F473	3	9,43 <sup>b</sup>
F50	3	7,43 <sup>ab</sup>
F60	3	7,23 <sup>a</sup>

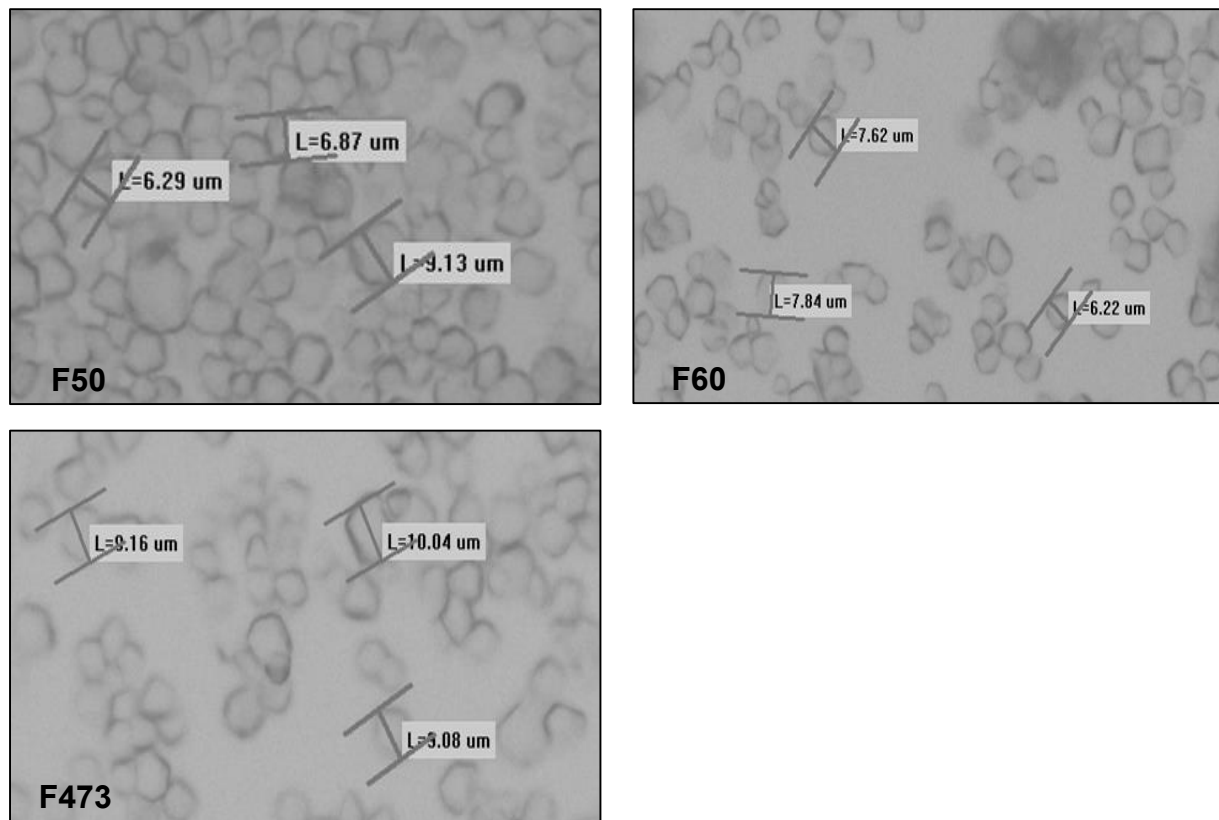
<sup>a-b</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ( $p < 0,05$ )

Sodhi *et al.* (2003) concluyeron que el contenido de amilosa varía con el tamaño del gránulo; los almidones que tienen un mayor tamaño medio granular mostraron mayor contenido de amilosa que aquellos con tamaño de gránulo medio más pequeño. Este comportamiento es coherente con lo encontrado en el presente estudio. El almidón de la

variedad F473, que presenta el mayor diámetro promedio, muestra también el mayor contenido de amilosa. Los otros dos almidones (F50 y F60) cuyos tamaños promedio de gránulos son menores a los de la variedad F473 pero sin diferencias significativas entre ellos, presentaron un menor contenido.

Los gránulos de almidón de arroz son los más pequeños que existen entre los granos de cereales, con un tamaño en el intervalo de 2 a 7 micras (Vandeputte *et al.*, 2004). La variación en particular del tamaño y la forma granular se asocia con diversas propiedades funcionales en diferentes sistemas alimentarios y a la posibilidad de relacionar la morfología del gránulo a los procesos de fabricación o cualidades nutricionales (Peterson & Fulcher 2001).

**Figura 1.** Microfotografías de los gránulos de almidón.



Fuente: Autor

#### 6.4 PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD E ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA

Los valores de poder de hinchamiento para las variedades F473, F50 y F60 presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), tal como se puede apreciar en la Tabla 5. Los valores de poder de hinchamiento son similares a los reportados por Wickramasinghe *et al.* (2008); valores que oscilaron entre 7,33 y 16,12 g/g.

El comportamiento del poder de hinchamiento respecto al contenido de amilosa muestra resultados coherentes a los reportados por Sodhi *et al.* (2003) y Wang *et al.* (2010), los cuales concluyeron que existe una correlación negativa de estas dos propiedades. El almidón de la variedad F50, cuyo porcentaje de amilosa fue el más bajo, presentó el mayor poder de hinchamiento (10,67 g/g). Asimismo, el almidón de la variedad F473, cuyo porcentaje fue el más bajo, presentó el menor poder de hinchamiento (7,79 g/g).

**Tabla 5.** Valores promedio para poder de hinchamiento, solubilidad e índice de absorción de agua.

VARIEDAD	RÉPLICAS	PODER DE HINCHAMIENTO (g/g)	SOLUBILIDAD (%)	ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (g/g)
F473	3	7,79 <sup>a</sup>	2,71 <sup>a</sup>	7,58 <sup>a</sup>
F50	3	10,67 <sup>c</sup>	9,85 <sup>c</sup>	9,61 <sup>c</sup>
F60	3	9,59 <sup>b</sup>	6,88 <sup>b</sup>	8,94 <sup>b</sup>

<sup>a-b</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ( $p < 0,05$ )

Respecto a la solubilidad, los almidones de las variedades F473, F50 y F60 presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con valores de 2,71, 9,85 y 6,88% respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 5.

Los valores de solubilidad obtenidos por los almidones analizados son similares a los reportados por Chang, Lin, & Pan (2010), los cuales obtuvieron valores de solubilidad para los almidones nativos menores al 10% (8,5, 7,5 y 7,4%).

Lin *et al.* (2011) reportaron que existe una correlación negativa entre el contenido de amilosa y la solubilidad. Este comportamiento se presenta en los almidones analizados. El almidón de la variedad F473, cuyo contenido de amilosa fue el mayor, presentó el menor valor de solubilidad (2,71%). Asimismo, el almidón de la variedad F50 de menor contenido presentó la mayor solubilidad (9,85%).

Respecto al índice de absorción de agua, los almidones de las variedades F473, F50 y F60 presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con valores de 7,58, 9,61 y 8,94%.

Ruales *et al.* (1993) mencionan que el índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento se utilizan para medir la capacidad de retención de agua por el almidón después de algún tratamiento, por ejemplo, térmico. La importancia de este índice radica en la incidencia que tiene en la palatabilidad de los alimentos.

La capacidad de hinchamiento y de absorción de agua se da debido a que el agua se adhiere a la superficie de los gránulos de almidón y lleva el gránulo a su hinchamiento. Este comportamiento puede ser atribuido a la relación amilosa/amilopectina ya que las moléculas de agua quedan atrapadas en la estructura de la amilopectina, así como también a la diferencia en la distribución de la longitud de la cadena (Bello, Roger, Baud & Colonna, 1998).

## **6.5 TURBIDEZ.**

La claridad indica el grado de transparencia de las pastas y está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones. La capacidad de estas pastas para transmitir la luz cuando son sometidos al paso de un haz radiante mide su claridad.

Los valores de turbidez presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tal como se muestra en la Tabla 6. Los almidones que presentan menor cantidad de amilosa son fácilmente dispersados, por lo que se incrementa su claridad, al igual que los que presentan mayor poder de hinchamiento (Novelo & Betancur, 2005). Este

comportamiento se presentó en el almidón de la variedad F50, mostrando mayor claridad, un menor contenido de amilosa (21,28%) y un mayor poder de hinchamiento (10,66 g/g). Sin embargo, los valores de absorbancia registrados para las muestras analizadas son más altos que los reportados para almidones de arroz.

**Tabla 6.** Valores promedio para turbidez (Abs a 620 nm).

VARIEDAD	RÉPLICAS	PROMEDIO (Abs)
F473	3	2,34 <sup>c</sup>
F50	3	1,95 <sup>a</sup>
F60	3	2,06 <sup>b</sup>

<sup>a-b</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ( $p < 0,05$ )

## 6.6 SINÉRESIS

Los valores de sinéresis de los almidones analizados mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Los valores oscilaron entre 8,0% y 22,3%, tal como se muestra en la Tabla 7. El almidón que presenta mejor estabilidad a la congelación descongelación es el de la variedad F50. La mayor sinéresis la presentó el almidón F473 (22,3%) por haber presentado una baja estabilidad a los procesos de congelación descongelación, ocasionando la pérdida del agua atrapada en el gel. Algunos investigadores han reportado valores de sinéresis bajos (0,01 a 1,81%) para almidón de arroz en almacenamiento a 4°C durante 24 h (Sodhi *et al.*, 2003; Singh *et al.*, 2006).

Los valores de sinéresis obtenidos en los almidones analizados son mucho más altos a los reportados por Sodhi *et al.* (2003) cuyos registros se ubicaron entre 0,04 y 2,41% en 48 h. De igual forma los almidones analizados registraron valores más bajos que los reportados por Wang *et al.* (2010) cuya sinéresis estuvo entre 22,9 y 46,4% en 22 h.

**Tabla 7.** Valores promedio para sinéresis.

VARIEDAD	RÉPLICAS	PROMEDIO (%)
F473	3	22,34 <sup>c</sup>
F50	3	7,95 <sup>a</sup>
F60	3	18,59 <sup>b</sup>

<sup>a-b</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ( $p < 0,05$ )

El almidón de la variedad F473 que presentó mayor sinéresis y contenido de amilosa mostró el menor valor de poder de hinchamiento y mayor valor de absorbancia. Este comportamiento es coherente con lo reportado por Singh *et al.* (2006), los cuales concluyeron que existe una relación negativa entre el poder de hinchamiento y la sinéresis y una relación positiva entre esta y la absorbancia. Lo anterior corresponde a que la sinéresis se produce debido al aumento de la asociación molecular entre las cadenas de almidón, a temperatura reducida, eliminando así el agua de la estructura de gel. Para geles de almidón de arroz ceroso o con poca amilosa, existe una mayor resistencia a la sinéresis después de un ciclo de congelación-descongelación, debido a la formación de un menor número de asociaciones intermoleculares Bao *et al.* (2004).

Sodhi *et al.* (2003) establecieron que existe una relación positiva entre el tamaño del gránulo, el contenido de amilosa, la sinéresis y la turbidez. Este comportamiento es correspondiente a los valores de los almidones analizados, de los cuales, el almidón de la variedad F473 presentó el mayor tamaño granular, el mayor contenido de amilosa y el mayor porcentaje de sinéresis.

## 6.7 PROPIEDADES TÉRMICAS

Los valores de temperatura de inicio ( $T_o$ ), temperatura pico ( $T_p$ ), temperatura final ( $T_c$ ) y entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ) para las variedades F473, F50 y F60 se muestran en la Tabla 8. Las variedades F50 y F60 no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para  $T_o$  y  $\Delta H$ . La temperatura  $T_o$  más alta la registró la variedad F473 con el valor de 64,60°C. Los valores promedio de  $T_o$  para estos almidones son similares a los



reportados por Noosuk, Hill, Pradipasena & Mitchell (2003), los cuales determinaron valores de temperatura de 62,68°C.

**Tabla 8.** Valores promedio para propiedades térmicas.

<b>VARIEDAD</b>	<b>RÉPLICAS</b>	<b>To (°C)</b>	<b>Tp (°C)</b>	<b>Tc (°C)</b>	<b>ΔH(J/g)</b>
F473	8	64,60 <sup>b</sup>	69,31 <sup>c</sup>	73,90 <sup>c</sup>	9,47 <sup>b</sup>
F50	8	61,62 <sup>a</sup>	66,93 <sup>b</sup>	72,42 <sup>b</sup>	8,62 <sup>a</sup>
F60	8	61,65 <sup>a</sup>	66,64 <sup>a</sup>	72,10 <sup>a</sup>	8,38 <sup>a</sup>

<sup>a-b</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ( $p < 0,05$ )

Los almidones analizados presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para Tp y Tc. El almidón que registró la temperatura más elevada fue el almidón de la variedad F473 con un valor de 69,31°C.

Para la temperatura final (Tc), los almidones de las 3 variedades presentaron diferencias significativas, siendo el F473 el que registró el mayor valor (73,90°C). Los valores promedios que presentaron los almidones analizados son similares a los reportados por Wang & Wang (2004), cuyo valor fue de 73,1°C.

El  $\Delta H$  refleja principalmente la pérdida del orden molecular (Cooke & Gidley, 1992). Los valores de la entalpía de gelatinización de los almidones analizados son similares a los reportados por (Singh, Nakaura, Inouchi, & Nishinari, 2007b) cuyos valores de entalpía estuvieron entre 8,2 y 9,8 J/g

Wang *et al.* (2010) determinaron que existe una correlación positiva entre  $\Delta H$  y las temperaturas To, Tp y Tc. La variación en la To y en la  $\Delta H$  en los almidones de diferentes variedades podría ser debido a las diferencias en las cantidades de cadenas más largas de amilopectinas. Estas cadenas más largas requieren una temperatura más alta para disociarse por completo que la requerida para las dobles hélices cortas (Yamin, Lee, Pollak & White, 1999). Esta correlación positiva se evidencia en el almidón de la variedad

F473, cuya entalpía fue la más alta con un valor de 9,47 J/g, al igual que la mayor  $T_o$ ,  $T_p$  y  $T_c$ .

Respecto a la relación entre el contenido de amilosa y las temperaturas de gelatinización se han encontrado estudios contradictorios. Szczodrak & Pomeranz (1992) concluyeron que los valores de entalpía menores están relacionados con mayores niveles de amilosa. Sodhi *et al.* (2003) concluyeron que los almidones que tenían menor contenido del polisacárido mostraban mayor poder de hinchamiento y temperaturas de transición. Varavinit *et al.* (2003) informaron que existe una correlación positiva de la gelatinización con el contenido de amilosa; este comportamiento fue el registrado por los almidones de las variedades F473, F50 y F60. Por otra parte y de acuerdo con los resultados reportados por Singh *et al.* (2006), no se encontraron relaciones entre el contenido de amilosa y propiedades térmicas.

## 6.8 PROPIEDADES DE EMPASTAMIENTO

Tal como se muestra en la Tabla 9, las temperaturas del inicio de la gelatinización por viscosografía para las variedades F50, F60 y F473 fueron 67,7, 67,2 y 70,8°C respectivamente; datos similares a los reportados por DSC anteriormente que confirman el comportamiento en las variedades analizadas.

**Tabla 9.** Propiedades de empastado de los almidones evaluados.

PUNTO DE EVALUACIÓN	TIEMPO [min]			VISCOSIDAD [BU]			TEMPERATURA [°C]		
	F50	F60	F473	F50	F60	F473	F50	F60	F473
Inicio de la gelatinización	6,2	5,97	6,3	13	12	11	67,7	67,2	70,8
Viscosidad máxima	8,8	8,8	10,2	182	168	196	82,1	82,1	88,5
Inicio del periodo de mantenimiento	10,8	10,8	10,8	146	143	186	93,7	93,7	92,3
Inicio del periodo de enfriamiento	13,8	13,8	13,8	136	124	161	95,4	95,3	94,5
Fin del periodo de enfriamiento	21,3	21,3	21,3	257	251	276	64,5	64,4	65,1
Final del periodo de mantenimiento	23,3	23,3	23,3	295	292	285	58,7	55	57,4
(estabilidad) Breakdown	0	0	0	46	44	35	0	0	0
(final) Setback	0	0	0	120	127	115	0	0	0

En la Gráfica 3 se observa el comportamiento de la viscosidad respecto al tiempo y temperatura del almidón de la variedad F473, el cual presentó el mayor valor de viscosidad máxima (196 BU) y el mayor valor de contenido de amilosa. Este comportamiento es coherente con lo reportado por Singh *et al.* (2006), los cuales establecieron una correlación positiva entre estas dos propiedades. El amilograma muestra una tendencia a la retrogradación, resultado de la presencia de amilosa, debido a que esta favorece la retrogradación de sus pastas durante el enfriamiento, ocasionando el fenómeno de sinéresis, mientras que la amilopectina presenta pastas espesas que no se retrogradan fácilmente al enfriarse (Hoover, 2002). Este almidón además, presentó el mayor valor de sinéresis, las mayores temperaturas de gelatinización, una mayor estabilidad de pasta y la menor de facilidad de cocción.

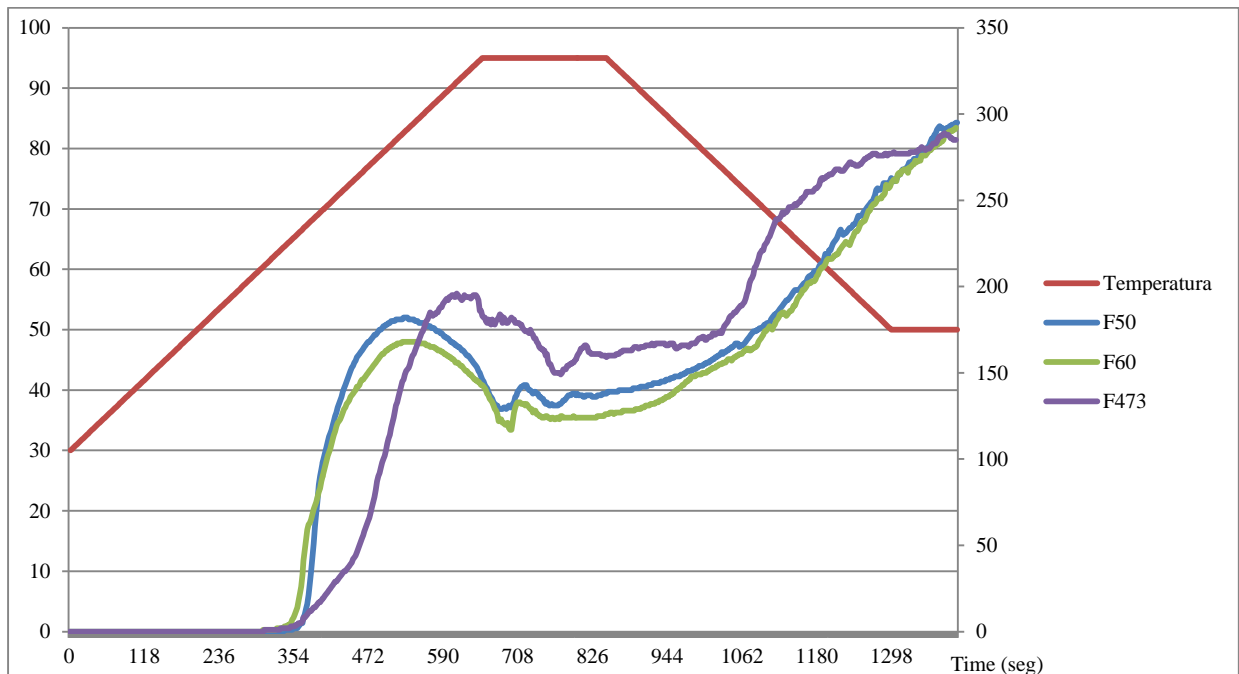
Para el caso del almidón de la variedad F50, la Gráfica 3 muestra una viscosidad máxima de 182 BU, la mayor inestabilidad de gel con un valor de 46 BU y una mejor facilidad de cocción de 2,6 min. Este almidón es el que presenta menor contenido de amilosa y presenta tendencia a la retrogradación. La diferencia de comportamientos en la facilidad de cocción, se puede atribuir al hecho de que hay una mayor presencia de gránulos del almidón de la variedad F50 que ocupan una mayor área superficial en la solución,

mientras que los gránulos de almidón de la variedad F473, al ser de mayor diámetro, tienen una mayor incidencia en el tiempo de la facilidad de (Hoover, 2002).

Para el caso del almidón de la variedad F60, la gráfica muestra una viscosidad máxima de 168 BU, inestabilidad de gel con un valor de 44 BU y una facilidad de cocción de 2,8 min. En el amilograma se puede observar tendencia a la retrogradación.

Las diferencias en la viscosidad se deben en gran medida a la presencia de la amilopeptina en el almidón, ya que es el polímero que se solubiliza más rápido en el medio acuoso y da estabilidad viscoelástica a la curva de empastamiento, cuando dicha solución es sometida a cambios bruscos de temperatura (Wang, Truong, & Wang, 2003)

**Figura 4.** Amilograma para las variedades F473, F50 y F60.



Fuente: Autor

## **7. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FUNCIONAL EN COMPARACIÓN CON OTRAS FUENTES AMILÁCEAS**

A continuación se presentan las principales características de los almidones estudiados y se relacionan con los valores promedio de almidones de otras fuentes amiláceas, de mayor uso en diferentes industrias como lo son el almidón de maíz y de papa.

De las variedades estudiadas, el almidón de la F473 presentó un tamaño de gránulo mayor al de las otras variedades y un mayor contenido de amilosa. Estos valores se relacionan de forma negativa con su poder de hinchamiento y solubilidad, los cuales presentaron los menores valores. Asimismo mostró la pasta más opaca con el mayor valor de absorbancia y el porcentaje más alto de sinéresis. Este almidón tuvo el mayor valor de viscosidad máxima y las mayores temperaturas de gelatinización. Según el amilograma (Gráfica 3), el almidón de la variedad F473 fue el más estable, presentó la menor facilidad a la cocción y mostró una mayor tendencia a la retrogradación.

F50: Este almidón presentó el menor contenido de amilosa, un diámetro de gránulo más pequeño y por consiguiente un mayor poder de hinchamiento y solubilidad que los otros almidones. Asimismo presentó el menor valor para la absorbancia y el menor valor de sinéresis. El valor de la viscosidad máxima estuvo en el medio de los valores de las otras dos variedades. Registró las temperaturas de gelatinización más bajas, la mayor inestabilidad del gel y el menor valor a la facilidad de cocción. Según la Gráfica 2, presenta una leve tendencia a la retrogradación.

F60: Este almidón no presentó diferencias significativas con el almidón de la variedad F50 en el tamaño de gránulo, contenido de amilosa, solubilidad, temperatura de inicio de la gelatinización y entalpía de gelatinización. Presentó el menor valor de viscosidad máxima y según la Gráfica 3, muestra una leve tendencia a la retrogradación.

Respecto a los almidones de referencia es importante destacar que el almidón de papa y sus derivados se usan en varios productos alimentarios como fideos, pastillas de goma, cócteles de frutos secos, papas tipo chip, salchichas, algunas cremas pasteleras, sopas instantáneas y salsas y en recetas que no deban contener gluten (Fenster, 2006). Por su parte, el almidón de maíz es usado como aditivo en aderezos, mayonesas, quesos, galletas, cárnicos, harinas preparadas, rellenos de pastel, alimentos preparados, cerveza y dulces. Sirve como agente estabilizante, espesante, aglutinante y gelificante; en confitería se utiliza como formador de gel y para recubrimientos; la industria cervecera la utiliza como fuente de carbono para procesos de fermentación, por su elevado extracto fermentable.

Tal como se aprecia en la Tabla 10, los almidones de arroz analizados presentaron diferencias con los almidones de referencia. Los almidones de arroz estudiados se caracterizaron por un mayor contenido de amilosa y menor tamaño granular que los almidones de maíz y papa, diferencias fácilmente explicables por la fuente botánica. Asimismo el almidón de arroz presentó el mayor valor de absorbancia, que puede posiblemente explicarse en los valores mayores del contenido de amilosa.

El poder de hinchamiento y la solubilidad de los almidones de arroz son menores que los valores reportados para los almidones de referencia. Este comportamiento se puede explicar en que los almidones de papa y maíz presentan menor contenido de amilosa polímero que actúa como inhibidor del hinchamiento. En el caso específico de la papa, la presencia de gránulos de almidón con mayor tamaño hace que el poder de hinchamiento sea mucho más alto que los almidones analizados

Respecto a la sinéresis, los almidones de arroz presentaron valores menores que los almidones de referencia, debido posiblemente a que los almidones de diferentes fuentes botánicas se retrogradan a ritmos diferentes y en distintos grados. De igual forma el contenido de amilosa y las longitudes de cadenas de amilopectina condicionan este fenómeno.

Desde el punto de vista de comportamiento funcional, el almidón de las variedades estudiadas presenta ventajas respecto a los almidones de referencia por la baja solubilidad, menor sinéresis y menor tamaño del gránulo (palatabilidad). El valor de la viscosidad máxima para los almidones de arroz analizados es mucho menor que la que presenta para papa y maíz lo que condiciona su uso en productos para aplicación como espesante.

La transparencia u opacidad presentada por las pastas de almidón influyen directamente sobre las características de brillantez y opacidad del color de los productos en los que se empleen como espesantes (Betancur, 2001). Los almidones analizados, al tener altos valores de absorbancia pueden ser utilizados en alimentos poco transparentes, como mayonesas, bebidas concentradas o productos de panificación. Por otra parte y dado su bajo poder de hinchamiento no es recomendable su uso en alimentos que requieran retener humedad como los productos cárnicos.

Los almidones de arroz analizados presentaron menores valores de sinéresis que los almidones de referencia. Debido a la baja sinéresis, especialmente el almidón de la variedad F50, puede ser utilizado en productos como rellenos de pasteles, alimentos infantiles y sopas. Los demás pueden ser utilizados en aquellos alimentos que requieren ser almacenados en refrigeración y necesitan cierta exudación de humedad para proporcionar una apariencia fresca, como los flanes o salsas (Hernández *et al.*, 2008)

Las temperaturas de gelatinización para los almidones de arroz analizados son ligeramente menores que la temperatura que presenta el almidón de maíz y mayor que la del almidón de papa. Tal como reportaron Hernández *et al.* (2008), basados en temperaturas de gelatinización similares, el almidón de arroz puede considerarse para ser usado en productos que no requieran temperaturas elevadas para su preparación, tales como caramelos tipo gomosos o natillas, pudines, etc.

El almidón de la variedad F473 fue el que presentó la mayor estabilidad del gel, lo que indica una mayor firmeza en los procesos de calentamiento y enfriamiento y puede

considerarse en el uso de productos que requieran enfriamiento dentro de su procesamiento.

**Tabla 10.** Valores de las propiedades fisicoquímicas y térmicas para los almidones de arroz estudiados y de fuentes amiláceas de referencia.

MUESTRA	% AMILOSA	SOLUBILIDAD %	SP (g/g)	ABS	$\Delta H$	To	Tp	Tc	VISCOS. MÁX (BU)	TAMAÑO DEL GRÁNULO ( $\mu m$ )	SINÉRESIS
F50	21,40	9,85	10,67	1,95	8,62	61,62	66,93	72,42	182	7,43	7,95
F60	21,53	6,88	9,59	2,06	8,38	61,65	66,64	72,10	168	7,23	18,59
F473	23,01	2,71	7,79	2,34	9,47	64,60	69,31	73,90	196	9,43	22,34
Maíz	16,9-21,3 <sup>1</sup>	9,7-15,0 <sup>1</sup>	13,7-20,7 <sup>1</sup>	1,55-1,85 <sup>1</sup>	11,8 <sup>1</sup>	65,6-69,0 <sup>1</sup>	69,9-74,0 <sup>1</sup>	75,1-79,7 <sup>1</sup>	383-595 <sup>1</sup>	15 <sup>2</sup>	35,4 <sup>5</sup>
Papa	18,21 <sup>6</sup>	16,9 <sup>4</sup>	43,6 <sup>4</sup>	0,57 <sup>3</sup>	5,44 <sup>6</sup>	57,37 <sup>6</sup>	60,81 <sup>6</sup>	66,35 <sup>6</sup>	2494 <sup>6</sup>	37,12 <sup>6</sup>	60,0 <sup>5</sup>

<sup>1</sup>(Sandhu & Singh, 2007)

<sup>2</sup>(Swinkels, 1985)

<sup>3</sup>(Cui, Fang, Zhou, & Yang, 2014)

<sup>4</sup>(Sandhu, Kaur, & Mukesh, 2010)

<sup>5</sup>(Srichuwonga, Isono, Jiang, Mishima, & Hisamatusa, 2012)

<sup>6</sup>(Singh, Isono, Srichuwong, Nodad, & Nishinari, 2008)



## 8. CONCLUSIONES

El presente estudio ha sido un aporte para las investigaciones en almidones de arroz cultivados en Colombia y sirve como parámetro para el estudio de almidones nativos. De igual forma, el estudio da cuenta del potencial que tienen estos almidones de arroz, cuyos subproductos resultados de la molinería pueden ser utilizados en la industria agroalimentaria.

Los análisis para determinar las propiedades fisicoquímicas y térmicas del almidón de arroz permitieron establecer el potencial agroalimentario para las variedades F50, F60 y F473. Los almidones nativos de arroz de estas variedades presentaron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las propiedades evaluadas.

El tamaño granular de las muestras analizadas F50, F60 y F473 fue de 7,43, 7,23 y 9,43  $\mu\text{m}$ , respectivamente; valores menores que los que presentaron los almidones de referencia (maíz y papa). El contenido de amilosa osciló entre 21,40, 21,53 y 23,01%. La turbidez mostró resultados de absorbancia altos con valores entre 1,95 y 2,34 lo que supone pastas muy opacas. Las temperaturas de gelatinización fueron 66,93, 66,64 y 69,31°C. La viscosidad máxima para las variedades F50, F60 y F473 fue de 182, 168 y 196 UB, respectivamente, valores menores que los que presentan los almidones de referencia, al igual que los valores para el poder de hinchamiento 10,67, 9,59 y 7,79 g/g

El estudio determinó que el bajo poder de hinchamiento de los almidones de las variedades F50, F60 y F473, no los hace recomendables para el uso como retenedores de humedad (p.e productos cárnicos). Por otra parte, al exhibir valores altos de absorbancia y presentar pastas opacas los hace factibles en el uso de alimentos poco transparentes, como mayonesas, bebidas concentradas o productos de panificación. Igualmente la baja sinéresis que presentó la variedad F50 lo hace factible en el uso de sopas, rellenos de pastel y alimentos infantiles. Por el contrario las variedades F60 y F473 los hace potenciales en el uso de alimentos que requieren cierto nivel de exudación

como las salsas. Las temperaturas bajas de gelatinización no los hace recomendables en productos que requieran elevadas temperaturas de procesamiento como los enlatados, en cambio pueden ser usados en la elaboración de natillas y pudines. El almidón de la variedad F473 presentó la mejor estabilidad del gel lo que lo hace factible en el uso de alimentos que requieran enfriamiento dentro de su procesamiento.

## RECOMENDACIONES

Realizar comparativos con otros métodos de extracción (p.e enzimáticos) con el fin de determinar la eficiencia en la extracción y la pureza que el almidón puede alcanzar. Esto influye directamente en los aspectos económicos de extracción a gran escala.

Realizar un análisis estructural de las longitudes de cadenas de amilopectina con el fin de determinar la influencia de este polisacárido en las demás propiedades

Evaluar mezclas de almidones de distintas fuentes botánicas para determinar los cambios en los valores de las propiedades con el fin de estimar las mezclas óptimas de almidones nativos que satisfagan las necesidades en los productos alimenticios.

## REFERENCIAS

- Adebowale, K., & Lawal, O. (2003). Microstructure, physicochemical properties and retrogradation behavior of Mucuna bean (*Mucuna pruriens*) starch on heat moisture treatments. *Food Hydrocolloids*, 17; 265-272.
- Aristizabal, J., Sánchez, T., & Mejía, D. (2007). Guía técnica para producción y análisis del almidón de yuca. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*.
- Asaoka, M., Okuno, K., Sugimoto, Y., Yano, M., Omura, T., & Fuwa, H. (1985). Structure and properties of endosperm starch and water-soluble polysaccharides from sugary mutant of rice (*Oryza sativa* L). *Starch*, 37, 364-366.
- Atwell, W., Hood, L., Lineback, D., Varriano-Marston, E., & Zobel, H. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World*, 33: 306-311.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos. 4ta Edición*. México: Pearson Educación.
- Baker, L., & Rayas-Duarte, P. (1998). Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salts and sugars. *Cereal Chem*, 75:308-314.
- Bao, J., & Bergman, C. (2004). The functionality of rice starch. In A.-C. Eliasson, *Starch in food: Structure, functions and applications* (p. 295). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Bello Perez, L., Contreras Ramos, S., Romero Manilla, R., Solorza Feria, J., & Jiménez Aparicio, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia*, 169-180.
- Bello Perez, L., Roger, P., Baud, B., & Colonna, P. (1998). Macromolecular features of starches determined by aqueous high performance size exclusion chromatography. *Journal of Cereal Science*, 267-278.
- Bemiller, J., & Whistler, R. (1996). *Carbohydrates. In: Fennema OR. Food Chem*. Boca Raton, Fla.: CRC Press Taylor and Francis Group.
- Betancur, D. (2001). Caracterización Molecular, Nutricia y Funcional de Almidones de *Phaseolus lunatus* y *Mucuna pruriens*. *Tesis (Doctorado en Ciencias, Alimentos)*, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México.

- Biliaderis, C. (1998). Structures and phase transitions of starch polymers. In R. Walter (Ed.), *Polysaccharide association structures in food*. Marcel Dekker, (pp. 57-168). New York.
- Biliaderis, C., & Zawistowski, J. (1990). Viscoelastic behaviour of aging starch gels: effects of concentration, temperature and starch hydrolysates on network properties. *Cereal Chem*, 67: 240-246.
- Camire, M., Camire, A., & Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical reviews in food science and nutrition*, 35-57.
- Carreau, P. J. (1972). Rheological equation from molecular network theories. *Transactions of the Society of Rheology*, 16, 99-127.
- Champagne, E. (1996). Rice starch composition and characteristics. *Cereal Foods Worlds*, 41,833-838.
- Cobana, M., & Antezana, R. (2007). Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. *Revista Boliviana de Química*.
- Cooke, D., & Gidley, M. (1992). Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization: Origin of the enthalpic transition. *Carbohydrate Research*, 227; 103-112.
- Craig, S., Maningat, C., Seib, P., & Hosney, R. (1989). Starch paste clarity. *Cereal Chemistry*, 66, 173-182.
- Cui, M., Fang, L., Zhou, H., & Yang, H. (2014). Effects of amino acids on the physiochemical properties of potato starch. *Food Chemistry*, 151; 162-167.
- Devi, A., Fibrianto, K., Torley, P., & Bhandari, B. (2009). Physical properties of cryomilled rice starch. *Journal of Cereal Science*, 49, 278-284.
- FAOSTAT. (2001). *FAO Database*. Italy.
- FAO. (1998). *Los almidones tropicales no llegan al mercado*. Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot3.htm>
- Fennema, O. (1980). *Química de los alimentos*. Zaragoza. España: Acribia, S.A.
- Fenster, C. (2006). *1000 gluten-free Recipes*. John Wiley and Sons.
- Galloway, G., Biliaderis, C., & Stanley, D. (1989). Properties and structure of amylose-glycerol monooleate complexes formed in solution on extrusion of wheat flour. *J. Food Sci*, 54; 950-957.

- Gorosquer, E., García Suárez, F., Huicochea, J., Núñez Santiago, M., González Soto, R., & Bello Pérez, L. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de platano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *ACV*, 55, 86-90.
- Graham, H. (1997). Avi, Pub. Co. *Food Colloids*. USA.
- Guan, J., & Hanna, A. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, 5, 2329-2339.
- Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43, 38-46.
- Hernández, M., Torruco, J., Guerrero, L., & Betancour, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 725.
- Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carboh. Polym*, 49(4);425-437.
- Hoover, R., Sailaja, Y., & Sosulki, F. (1996). Characterization of starches from wild and long grain brown rice. *Food Research International*, 99-107.
- Iturriaga, L., López, B., & Añon, M. (2004). Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. *Food Research International*, (37); 439-447.
- Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., & Donner, E. (2007). Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka. *Carbohydrate Polymers*, 69, 148-163.
- Juliano, B. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today*, 334-340.
- Juliano, B. (1985). Polysaccharides, proteins and lipids of rice. *Chemistry and technology*, 59-174.
- Juliano, B. (1998). Varietal impact on rice quality. *Cereal Foods World*, 207-221.
- Juliano, B., & Betchel, D. (1985). The rice grain and its gross composition. *Chemistry and technology*, 17-57.

- Juliano, B., Bautista, G., Lugay, J., & Reyes, A. (1964). Studies on the physicochemical properties of rice. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 12, 131.
- Juliano, B., Perez, C., Blakeney, A., Castillo, T., Kogeree, N., Laignelet, B., et al. (1981). International cooperative testing on the amylose content of milled rice. *Starch*, 157-162.
- Knutzon, C., & Grove, M. (1994). Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, 71, 469.
- Kohlwey, J., Kendall, J., & Mohindra, R. (1995). Using the physical properties of rice as a guide to formulation. *Cereal Foods World*, 728-732.
- Lai, V., Lu, S., & Lii, C. (2000). Molecular characteristics influencing retrogradation kinetics of rice amylopectins. *Cereal Chem*, 77(3): 272-278.
- Lai, L., & Kokini, J. (1990). The effect of extrusion operating conditions on the on-line apparent viscosity of 98% amylopectin (Amioca) and 70% amylose (Hylon 7) corn starches during extrusion. *Journal of rheology*, 1245-1264.
- Landry, J., & Moreaux, T. (1981). Physicochemical properties of maize glutelins as influenced by their isolation conditions. *J. Agric. Food Chem*, 25, 1205.
- Lawal, S., Lapasin, R., Bellich, B., Olayiwola, T., Cesaro, A., Yoshimura, M., et al. (2011). Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. *Food Hydrocolloids*, 1785-1792.
- Lee, K., Kim, Y., Park, K., & Lee, H. (2006). Effects of aglucoyltransferase treatment on the thermo-reversibility and freeze–thaw stability of a rice starch gel. *Carbohydrate Polymers*, 63: 347-354.
- Li, J., & Yeh, A. (2001). Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *J Food Eng*, 50: 141-148.
- Li, Y., Shoemaker, C., Ma, J., Kim, J., & Zhong, F. (2008a). Structure–viscosity relationships for starches from different rice varieties during heating. *Food Chem*, 106;1105-1112.
- Li, Y., Shoemaker, C., Shen, X., Ma, J., Ibanez-Carranza, A., & Zhong, F. (2008b). The isolation of rice starch with food-grade proteases combined with other treatments. *Food Sci Technol Int*, 14;215-224.
- Lii, C., Shao, Y., & Tseng, K. (1995). Gelations mechanism and rheological of rice starch. *Cereal Chemistry*, 72, 393-400.

- Lii, C., Tsai, M., & Tseng, K. (1996). Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chem*, 415-420.
- Lin, Q., Xiao, H., Fu, X., Tian, W., Li, L., & Yu, F. (2011). Physico-Chemical Properties of Flour, Starch, and Modified Starch of Two Rice Varieties. *Agricultural Sciences in China*, 10; 960-968.
- Lin, Q., Xiao, H., Zhao, J., Li, L., & Yu, F. (2009). Characterization of the pasting, flow and rheological properties of native and phosphorylated rice starches. *Stach/Stärke*, 61;709-715.
- Lu, S., Chen, L., & Lii, C. (1997). . Correlations between the fine structure, physicochemical properties and retrogradation of amylopectins from Taiwan rice varieties. *Cereal Chem*, 74(1); 34-39.
- Madsen, M., & Christensen, D. (1996). Changes in viscosity properties of potato starches during growth. *Starch*, 48, 245-249.
- Manois, R. (2009). Modification of rice starch properties by addition of amino acids at various pH levels. *Disertación de Maestría(07022009-174343)*.
- Martín, J., & López, E. (2009). Modificación física del almidón de yuca y evaluación de la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática por una alfa amilasa. *Revista Colombiana de Química*, 38
- Méndez, R. (1995). Aprovechamiento de subproductos agropecuarios. *Unisur*, 336. Santafé de Bogotá.
- Mir, S., Bosco, S (2014). Cultivar difference in physicochemical properties of starches and flours from temperate rice of Indian Himalayas. *Food Chemistry*, 157, 448-456.
- Mestres, C. (1996). Los estados físicos del almidón. . *Conferencia Internacional sobre Almidón. Propiedades fisico-químicas, funcionales y nutricionales. Usos*, (pp. 1-16). Quito, Escuela Politécnica Nacional, Instituto de Investigación Tecnológica.
- Morrison, W., & Azudin, M. (1987). Variation in the amylose and lipid contents and some physical properties of rice starches. *Journal of Cereal Science*, 5, 35.
- Morrison, W., Tester, R., Snape, E., Law, R., & Gidley, M. (1993). Swelling and gelatinisation of cereal starches. IV. Some effects of lipidcomplexed amylose and free amylose in waxy and normal barley starches. *Cereal Chemistry*, 385-391.
- Newport Scientific. (1998). Applications manual for the Rapid Visco TM Analyzer. Warriewood NSW, Australia: Newport Scientific Pty. Ltd.



- Noosuk, P., Hill, S., Pradipasena, P., & Mitchell, J. (2003). Structure-viscosity relationships for Thai rice starches. *Starch/Stärke*, 55; 337-344.
- Novelo, C., & Betancur, A. (2005). Chemical and functional properties of Phaseolus lunatus and Manihot esculenta starch blends. *Starch/Stärke*, 57(9):431-441.
- Observatorio Agrocadenas de Colombia. (2004). Documento de trabajo No 41. *Costos de producción de arroz en Colombia*. Bogotá.
- Park, I., Ibanez, A., Zhong, F., & Shoemaker, C. (2007b). Gelatinization and pasting properties of waxy and non-waxy rice starches. *Starch/Stärke*, 59:388-396.
- Patindol, J., Gonzalez, B., Wang, Y., & McClung, A. (2007). Starch fine structure and physicochemical properties of specialty rice for canning. *J Cereal Sci*, 45: 209-218.
- Perera, C., & Hoover, R. (1999). Influence of hydroxypropylation on retrogradation properties of native, defatted and heat-moisture-treated potato starches. *Food Chem*, 64: 361-375.
- Peterson, D., & Fulcher, R. (2001). Variation in Minnesota HRS wheats: starch granule size distribution. *Food Res Int*, 34:357-63.
- Philpot, K., Martin, M., Butardo, V., Willoughby, D., & Fitzgerald, M. (2006). Environmental factors that affect the ability of amylose to contribute to retrogradation in gels made from rice flour. *J Agric Food Chem*, 54: 5182-5190.
- Ratnayake, W., Hoover, R., & Warkentin, T. (2002). Pea starch: composition, structure and properties – a review. *Starch/Stärke*, 54: 217-234.
- Ruales, J., Valencias, S., & Nair, B. (1993). Effect of processing on the physico-chemical characteristics of quinoa flour (*Chenopodium quinoa*, Willd.). *Starch/Stärke*, 45:13-19.
- Sandhu, K., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101, 1499-1507.
- Sandhu, K., Kaur, M., & Mukesh. (2010). Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties. *Food Science and Technology*, 43; 1289-1293.
- Singh, N., Sandhu, K., & Kaur, M. (2004). Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *J Food Eng*, 63(4): 441-449.

- Singh, N., Isono, N., Srichuwong, S., Nodad, T., & Nishinari, K. (2008). Structural, thermal and viscoelastic properties of potato starches. *Food Hydrocolloids*, 22; 979-988.
- Singh, N., Kaur, L., Sandhu, K., Kaur, J., & Nishinari, K. (2006). Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food Hydrocolloids*, 20, 532-542.
- Singh, N., Inouchi, N., & Nishinari, K. (2006a). Structural, thermal and viscoelastic characteristics of starches separated from normal, sugary and waxy maize. *Food Hydrocolloids*, 20:923–35.
- Singh, N., Nakaura, Y., Inouchi, N., & Nishinari, K. (2007b). Fine structure, thermal and viscoelastic properties of starches separated from indica rice cultivars. *Starch/Stärke*, 59; 10-20.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N., & Gill, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81,219-231.
- Sodhi, N., & Singh, N. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry*, 80(1):99-108.
- Song, D. Y., & Jiang, T. Q. (1998). Study on the constitutive equation with fractional derivative for the viscoelastic fluids e modified Jeffreys model and its application. *Rheologica Acta*, 37, 512-517.
- Srichuwonga, S., Isono, S., Jiang, H., Mishima, T., & Hisamatusa, M. (2012). Freeze–thaw stability of starches from different botanical sources: Correlation with structural features. *Carbohydrate Polymers*, 87;1275-1279.
- Stone, L., Lorenz, K., & Collins, F. (1984). The starch of amaranths. Physico-chemical properties and functional characteristics. *Starch/Stärke*, 36: 232-237.
- Swinkels, J. (1985). Sources of starch, Its Chemistry and Physic. *Starch Conversion Technology*, 15-46. New York: Marcel Dekker.
- Szczodrak, J., & Pomeranz, Y. (1992). Starch-lipid interactions and formation of resistant starch in high-amylose barley. *Cereal Chemistry*, 69, 626-632.
- Taggart, P. (2004). Starch as an ingredient: manufacture and applications. In *Starch in food: Structure, function and applications*. Cambridge: Ann-Charlotte Eliasson.
- Takeda, Y., Hizukuri, S., & Juliano, B. (1987). Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. *Carbohydr Res*, 168; 79-88.

- Tester, R. (1997). Starch: the polysaccharide fractions. In P. Frazier, P. Richmond, & A. Donald (Ed.), *Starch: structure and functionality*. Royal society of chemistry, (pp. 163-171). Cambridge.
- Tester, R., & Debon, S. (2000). Annealing of starch - a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1-12.
- Tester, R., & Morrison, W. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chem*, 67, 551-557.
- Thomas, D., & Atwell, W. (1999). *Starches*. Eagan Press. St Paul, Minnesota, USA.
- Thomas, H., & Atwell, W. (1999). Starches. Practical guides for the food industry. *American Association of Cereal Chemist*, 1-87.
- Tukomane, T., & Varavinit, S. (2008). Classification of rice starch amylose content from rheological changes of starch paste after cold recrystallization. *Starch/Stärke*, 60;292-297.
- Vandeputte, G., & Delcour, J. (2004). From sucrose to starch granule to physical behaviour: a focus on rice starch. *Carbohydr Polym*, 58: 256-266.
- Vandeputte, G., Derycke, V., Geeroms, J., & Delcour, J. (2003). Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *Journal of Cereal Science*, 38, 53-59.
- Vandeputte, G., Vermeulen, R., Geeroms, J., & Delcour, J. (2003a). Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behavior of granular starch. *J. Cereal Sci*, 38; 43-52.
- Vanegas, R. (2011). *Evaluación y caracterización de productos de valor agregado a partir de desechos de arroz (oryza sativa) de tercera calidad de dos variedades del Tolima*. Ibagué.
- Varavinit, S., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P., & Naivikul, O. (2003). Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice. *Starch/Stärke*, 410-415.
- Wang, L., & Wang, Y. (2004). Rice starch isolation by neutral protease and high intensity ultrasound. *J Cereal Sci*, 39; 291-296.
- Wang, L., & White, P. (1994). Structure and properties of amylose, amylopectin and intermediate materials of oat starches. *Cereal Chemistry*, 71:263-268.

- Wang, L., Xie, B., Shi, J., Xue, S., Deng, Q., Wei, Y., et al. (2010). Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 24, 215.
- Wang, S., Chiang, W., Zhao, B., Zheng, X., & Kim, I. (1991). Experimental analysis and computer simulation of starch water interactions during phase transition. *Journal of food science*, 121-124.
- Wang, Y., Truong, V., & Wang, L. (2003). Structures and rheological properties of corn starch as affected by acid hydrolysis. *Carboh. Polym*, 52(3); 327-333.
- Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Achweiggert-Weisz, U., Gul, K., & Wani, I. A. (2012). Rice starch diversity: Effects on structural, morphological, thermal and physicochemical properties - A review. *Food Science and Food Safety*, 417-436.
- Whistler, R., & BeMiller, J. (1997). Chap 6. Starch. *In Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. Eagan Press. St Paul, Minnesota, USA.
- Wickramasinghe, H., & Noda, T. (2008). Physicochemical properties of starches from Sri Lankan rice varieties. *Food Sci Technol Res*, 14: 49-54.
- Williams, V., Wu, W., Tsai, H., & Bate, H. (1958). Varietal differences in amylose content of rice starch. *J. Agr. Food Chem*, 47.
- Wu, S., & Seib, P. (1990). Acetylated and hydroxypropylated distarch phosphates from waxy barley: paste properties and freeze– thaw stability. *Cereal Chemistry*, 67: 202-208.
- Yamin, F., Lee, M., Pollak, L., & White, P. (1999). Thermal properties of starch in corn variants isolated after chemical mutagenesis of inbred lines B73. *Cereal Chemistry*, 76; 175-181.
- Yang, C., Shu, X., Zang, L., Wang, X., Zhao, H., Ma, C., et al. (2006). Starch properties of mutant rice high in resistant starch. *J Agric Food Chem*, 54: 523-528.
- Yasuda, K., Armstrong, R. C., & Cohen, R. E. (1981). Shear flow properties of concentrated solutions of linear and star branched polystyrenes. *Rheologica Acta*, 20, 163-178.
- Yu, L., Dean, K., & Li, L. (2006). Polymer blends and composites from renewable resources. *Progress in Polymer Science*, 31, 576-602.
- Zavareze, R., Storck, R., Suita, A., Artigas, M., & Guerra, A. (2010). Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. *Food Chemistry*, 121, 358-365.

Zhong, F., Li, Y., Ibanz, A., Oh, M., McKenzie, K., & Shoemaker, C. (2009). The effect of rice variety and starch isolation method on the pasting and rheological properties of rice starch pastes. *Food Hydrocolloids*, 23, 406-414.

Zobel, H. (1988). Molecules to granules: A comprehensive starch review. *Starch/Staerke*, 40, 44-50.