



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, TÉRMICAS Y MICROESTRUCTURALES DEL ALMIDÓN DE ACHIRA (*Canna edulis*)**

**Nelly Camila Yaruro Cáceres**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias,  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos  
Bogotá, Colombia

2018



# **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, TÉRMICAS Y MICROESTRUCTURALES DEL ALMIDÓN DE ACHIRA (*Canna edulis*)**

**Nelly Camila Yaruro Cáceres**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

Director (a):

Ph.D. MBA, Amanda Consuelo Díaz Moreno

Línea de Investigación:

Aseguramiento de la calidad de alimentos

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias,  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos  
Bogotá, Colombia

2018



*A Dios por ser mi guía.*

*A mis padres que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños.*

*A mi esposo por su compañía y sacrificios para que yo pudiera cumplir mi meta.*

*A mis hijos por ser fuente de motivación.*



## **Agradecimientos**

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, siendo siempre mi fortaleza en mis momentos de debilidad. Gracias por dame la oportunidad de concluir esta etapa importante en mi vida.

Al programa de becas Colciencias para la formación de capital humano de alto nivel para las regiones- convocatoria del departamento del Atlántico, por el apoyo financiero para la realización de mis estudios de maestría.

Al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA por permitirme desarrollar este proyecto en sus laboratorios y el apoyo del grupo de personas que trabajan acá.

A mis padres Honorato y Marina, un agradecimiento profundo por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por los valores que me han inculcado, y por sus sabios consejos que me han orientado en el recorrer de la vida. A mis hermanos gracias por el soporte incondicional y por estar siempre ahí para mí.

A mi esposo Fabián, por su ayuda e impulsarme a terminar este proyecto, brindándome siempre su apoyo, comprensión, cariño, amor y sobre todo por creer en mí.

A mi directora de tesis, la doctora Consuelo Díaz por guiarme en todo este proceso, por su aporte académico y dedicar parte de su tiempo en la realización de este trabajo.

A quienes tuve la oportunidad de tener como profesores en el posgrado, gracias por compartir sus conocimientos y ser parte de mi formación académica y profesional.

En general a todas las personas que de alguna manera contribuyeron para culminar con éxito este proyecto.



## Resumen

El almidón es uno de los ingredientes alimentarios más utilizados en el mundo debido a sus múltiples funcionalidades, con un estudio extenso de las propiedades del almidón, se pueden diversificar sus aplicaciones, teniendo en cuenta que la funcionalidad del almidón se rige por sus propiedades fisicoquímicas. Considerando el alto porcentaje de almidón que tiene la achira (*Canna edulis*), en este trabajo se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de cuatro ecotipos nativos de almidón de achira, obtenido de material vegetal nativo de Huila, Nariño y Cundinamarca. Se evaluó la composición proximal, pH, acidez, claridad del gel, color, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento, solubilidad y contenido de amilosa/amilopectina. Se estudió el comportamiento reológico con análisis rápido de viscosidad (RVA), las propiedades térmicas a través de calorimetría diferencial de barrido (DSC), la estructura con difracción de rayos X y la morfología con microscopía electrónica de barrido (SEM). Así mismo, se evaluó la calidad física y sensorial de un producto horneado (bizcocho de achira) formulado con los cuatro ecotipos de almidón nativo de achira; con el fin de establecer si existen diferencias respecto al origen del almidón como materia prima. Los resultados muestran que los cuatro ecotipos de almidón, poseen alto contenido de amilosa (21.24%-31.71%), alto índice de blancura (92.57-93.41), pastas claras (Transmitancia > 40%), alto poder de hinchamiento (20.014-39.37) y absorción de agua (18.21-35.74), baja solubilidad (7.89-13.53%), tamaño promedio de gránulos grandes (34.69-58.90  $\mu\text{m}$ ), temperaturas de gelatinización entre 63.25°C y 65.49°C, y alta viscosidad (13480-15606 cP). Estas características encontradas han sido reportadas para almidones convencionales con alta y diversa aplicación industrial, esto indica que los almidones nativos evaluados en este trabajo poseen buena calidad y alta aptitud tecnológica. Además, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en los parámetros de calidad física (humedad, color, textura) y sensorial evaluados en el producto horneado, con relación al origen del almidón.

**Palabras claves:** Almidón, *Canna edulis*, difracción de rayos X, análisis RVA, Calorimetría DSC, microscopía.

## Abstract

Starch is one of the most used food ingredients in the world due to its multiple functionalities, with an extensive study of the properties of starch, its applications can be diversified, taking into account that the functionality of starch is governed by its physicochemical properties. Considering the high percentage of starch in achira (*Canna edulis*), in this work the physicochemical properties of four native ecotypes of achira starch, obtained from native plant material from Huila, Nariño and Cundinamarca, were evaluated. The proximal composition, pH, acidity, gel clarity, color, water absorption index, swelling power, solubility and amylose/amylopectin content were evaluated. The rheological behavior was studied with rapid viscosity analysis (RVA), the thermal properties through differential scanning calorimetry (DSC), the structure with X-ray diffraction and the morphology with scanning electron microscopy (SEM). Likewise, the physical and sensorial quality of a baked product (achira biscuits) formulated with the three ecotypes of native achira starch was evaluated; in order to establish if there are differences respect to the origin of starch as raw material. The results show that the four ecotypes of starch, have high content of amylose (21.24% -31.71%), high index of whiteness (92.57-93.41), light pastes (Transmittance > 40%), high swelling power (20.01-39.37) and water absorption (18.21-35.74), low solubility (7.89-13.53%), average size of large granules (34.69-58.90  $\mu\text{m}$ ), gelatinization temperatures between 63.25°C and 65.49°C, and high viscosity (13480-15606 cP). All these characteristics have been reported for conventional starches with high and diverse industrial application, this indicates that the native starches evaluated in this work have good quality and high technological aptitude. In addition, statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) were found in the parameters of physical quality (humidity, color, texture) and sensory quality evaluated in the baked product, in relation to the origin of the starch.

**Keywords:** Starch, *Canna edulis*, X-ray diffraction, RVA analysis, DSC Calorimetry, microscopy.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen y Abstract</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Artículo de revisión: Estructura, propiedades y usos del almidón de achira (<i>Canna edulis</i>)</b> .....	<b>3</b>
1.1 Resumen.....	3
1.2 Introducción.....	3
1.3 Almidón de achira.....	5
1.3.1 Extracción del almidón.....	6
1.3.2 Composición proximal.....	6
1.3.3 Estructura química.....	8
1.3.4 Morfología y tamaño de gránulos.....	10
1.3.5 Estructura cristalina .....	12
1.4 Cambios fisicoquímicos de la mezcla de almidón y agua durante el calentamiento y enfriamiento .....	13
1.4.1 Capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad .....	14
1.4.2 Claridad del gel.....	15
1.4.3 Gelatinización por calorimetría diferencial de barrido (DSC) .....	16
1.4.4 Comportamiento reológico .....	18
1.5 Usos del almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ) .....	21
1.6 Conclusiones.....	22
1.7 Referencias bibliográficas .....	22
<b>2. Análisis comparativo de cuatro ecotipos de almidón de achira (<i>Canna edulis</i> sp) con diferente origen geográfico en Colombia</b> .....	<b>33</b>
2.1 Resumen.....	33
2.2 Introducción.....	34
2.3 Materiales y métodos .....	35
2.3.1 Muestreo.....	35
2.3.2 Composición proximal.....	36
2.3.3 Contenido de amilosa, amilopectina y almidón total.....	36
2.3.4 Propiedades fisicoquímicas .....	37

2.3.5	Análisis de la estructura cristalina del almidón por difracción de rayos x.....	39
2.3.6	Morfología y tamaño de los gránulos de almidón.....	39
2.3.7	Análisis de propiedades térmicas .....	39
2.3.8	Análisis Rápido de Viscosidad (RVA) .....	40
2.3.9	Análisis estadístico .....	40
2.4	Resultados y discusión .....	40
2.4.1	Composición proximal .....	40
2.4.2	Contenido de amilosa, amilopectina y almidón total .....	43
2.4.3	Propiedades fisicoquímicas .....	45
2.4.5	Difracción de rayos X .....	52
2.4.6	Calorimetría diferencial de barrido (DSC) .....	54
2.4.7	Análisis Rápido de Viscosidad (RVA) .....	56
2.4.8	Conclusiones.....	59
2.4.9	Referencias bibliográficas .....	60
<b>3.</b>	<b>Influencia de las propiedades del almidón sobre algunas características de calidad de un producto horneado (bizcocho de achira) formulado con cuatro ecotipos de almidón nativo de achira (<i>Canna edulis</i>).....</b>	<b>71</b>
3.1	Resumen .....	71
3.2	Introducción .....	72
3.3	Materiales y métodos .....	73
3.3.1	Materias primas.....	73
3.3.2	Formulación y elaboración del bizcocho de achira.....	74
3.3.3	Análisis fisicoquímicos.....	76
3.3.4	Análisis sensorial.....	78
3.3.5	Análisis estadístico .....	78
3.4	Resultados y discusión .....	79
3.4.1	Análisis fisicoquímico .....	79
3.4.2	Análisis sensorial.....	87
3.4.3	Conclusiones.....	88
3.4.4	Referencias bibliográficas .....	89
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>101</b>
4.1	Conclusiones .....	101
4.2	Recomendaciones .....	101
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>105</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1:</b> Regiones en el mundo donde se cultiva achira ( <i>Canna edulis</i> ).....	4
<b>Figura 1 - 2:</b> A) Planta de <i>Canna edulis</i> B) Rizoma de <i>Canna edulis</i> .....	5
<b>Figura 1- 3:</b> Estructura química de la amilosa.....	9
<b>Figura 1- 4:</b> Estructura química de la amilopectina .....	9
<b>Figura 1- 5:</b> Morfología de gránulos de almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ) .....	11
<b>Figura 2-1:</b> Absorción de agua (A) Poder de hinchamiento (B) y % de solubilidad (C) de almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ) a diferentes temperaturas .....	46
<b>Figura 2-2:</b> Claridad del gel de cuatro ecotipos de almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ). T650: Transmitancia a 650 nanómetros .....	48
<b>Figura 2- 3:</b> Micrografías electrónicas de barrido de los ecotipos de almidón de achira .....	51
<b>Figura 2- 4:</b> Espectros de difracción de rayos X de diferentes ecotipos de almidón nativo de <i>Canna edulis</i> .....	53
<b>Figura 2- 5:</b> Termogramas de los ecotipos de almidón nativo de <i>Canna edulis</i> medidos por DSC .....	55
<b>Figura 2- 6:</b> Perfil de viscosidad de ecotipos de almidón nativo de <i>Canna edulis</i> medidos por RVA.....	58
<b>Figura 3-1:</b> Diagrama de flujo del proceso de elaboración del bizcocho de achira.....	76
<b>Figura 3-2:</b> Perfil de textura instrumental de los bizcochos de achira.....	83
<b>Figura 3- 3:</b> Evaluación de estabilidad de los bizcochos de achira en almacenamiento.....	85

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1- 1:</b> Composición proximal del rizoma de <i>Canna edulis</i> .....	5
<b>Tabla 1- 2:</b> Composición proximal del almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ) .....	7
<b>Tabla 1- 3:</b> Contenido de amilosa y amilopectina de almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ).10	10
<b>Tabla 1- 4:</b> Tamaño promedio de gránulos de almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ).....	12
<b>Tabla 1- 5:</b> Propiedades térmicas del almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ).....	17
<b>Tabla 1- 6:</b> Propiedades reológicas del almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ) .....	19
<b>Tabla 2- 1:</b> Parámetros fisicoquímicos de los diferentes ecotipos de almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ).....	41
<b>Tabla 2- 2:</b> Características de tamaño de gránulo de los diferentes ecotipos de almidón de achira ( <i>Canna edulis</i> ).....	52
<b>Tabla 2- 3:</b> Propiedades térmicas de los cuatro ecotipos de almidón nativo de <i>Canna edulis</i> .....	54
<b>Tabla 2- 4:</b> Parámetros de la viscosidad de la pasta de almidones nativos de <i>Canna edulis</i> . 57	57
<b>Tabla 3-1:</b> Formulación de los bizcochos de achira evaluados .....	74
<b>Tabla 3-2:</b> Parámetros fisicoquímicos de los bizcochos de achira .....	79
<b>Tabla 3-3:</b> Análisis de color – Diferencias de color entre las muestras ( $\Delta E^*$ ) .....	82
<b>Tabla 3- 4:</b> Análisis sensorial de los bizcochos de achira ( <i>Canna edulis</i> ).....	87

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término
<i>g</i>	Gramo
<i>mg</i>	Miligramo
<i>ml</i>	Mililitros
%	Porcentaje
<i>min</i>	Minutos
<i>mm</i>	Milímetros
<i>Km</i>	Kilómetro
<i>kv</i>	Kilovoltios
<i>mA</i>	Miliamperios
$\mu m$	Micrómetros
<i>Pa</i>	Pascales
<i>s</i>	Segundos
<i>cP</i>	Centipoise
<i>ha</i>	Hectárea
<i>nm</i>	nanómetro

### Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
$\Delta H$	Cambio de entalpía	$\frac{J}{g}$

### Abreviaturas

Abreviatura	Término
DSC	Calorimetría diferencial de barrido
RVA	Análisis rapido de viscosidad
<i>T<sub>p</sub></i>	Temperatura de gelatinización máxima
<i>T<sub>o</sub></i>	Temperatura inicial de gelatinización
<i>T<sub>c</sub></i>	Temperatura final de gelatinización
<i>PV</i>	Viscosidad de pico (máxima)
<i>BD</i>	Breakdown (Descomposición)
<i>SB</i>	Setback (Retroceso)
<i>m.s.n.m</i>	Metros sobre el nivel del mar
<i>DMSO</i>	Dimetilsulfóxido
<i>IB</i>	Índice de blancura
<i>T</i>	Transmitancia

**Abreviatura Término**

---

<i>SEM</i>	Microscopía electrónica de barrido
<i>RVU</i>	Unidad de viscosidad rápida
<i>BU</i>	Unidad de Brabender
<i>BV</i>	Viscógrafo Brabender
<i>BA</i>	Amilógrafo Brabender
°C	Grados Celsius
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>bs</i>	Base seca

# Introducción

El almidón es el más abundante carbohidrato de reserva de las plantas, y está presente en los tejidos en forma de gránulos intracelulares, es fuente de nutrientes para los seres humanos, los animales y una materia prima importante para la industria. Aproximadamente 60 millones de toneladas se extraen anualmente en todo el mundo de diversos cultivos de cereales, tubérculos y raíces, de los cuales aproximadamente el 60% se utiliza en producción de alimentos, como potenciador de viscosidad y agente gelificante y 40% en productos farmacéuticos y productos no comestibles (Copeland et al., 2009).

Las raíces y tubérculos son fuentes importantes de energía, debido principalmente a su contenido de almidón. La achira (*Canna edulis*), es una planta nativa de la región andina que desarrolla rizomas con alto contenido de almidón. Se cultiva principalmente en América del Sur, Vietnam, Tailandia y China, debido a la adaptabilidad climática, se cultiva en gran medida para la producción de almidón en muchas regiones del mundo. En Colombia, es cultivada en los departamentos de Cundinamarca, Nariño, Cauca y Huila, siendo el oriente de Cundinamarca la principal zona productora con 800 ha cultivadas y en segundo lugar Huila con 150 ha cultivadas. En Colombia se produce alrededor de 2000 toneladas de almidón de achira anualmente, cerca del 80% se utiliza en la elaboración de productos de panificación (Caicedo, 2004).

Las características fisicoquímicas del almidón de achira se han reportado para ecotipos de diferentes regiones del mundo. Sin embargo, hasta el momento no se ha informado sobre ecotipos de almidón de achira nativas de Colombia. En este orden de ideas, no hay un conocimiento por parte de los productores, agricultores y procesadores, acerca de las propiedades intrínsecas de cada ecotipo según la región geográfica donde se cultiva. El uso de este almidón representa una herencia de los aborígenes; y los productos alimenticios elaborados a partir del almidón están insertos en la tradición gastronómica, por lo tanto, hacen parte del acervo cultural y de la soberanía alimentaria. En este contexto,

debido a la gran importancia social y económica del cultivo de achira y la extracción de almidón en Colombia, surge el interés de evaluar las propiedades de este almidón como materia prima. Este conocimiento permite observar el crecimiento de la demanda a futuro por su posible aprovechamiento en gran escala en la industria alimentaria y no alimentaria. Teniendo en cuenta, que la tendencia actual es la búsqueda de almidones con una amplia gama de propiedades funcionales para garantizar la aptitud física para diversos usos finales.

Los almidones se han convertido desde hace varios años en objeto de una extensa investigación científica en el mundo y ha sido con la finalidad de encontrar nuevas aplicaciones, considerando que provee importantes características nutricionales y funcionales a los productos elaborados con esta materia prima, por tratarse de un carbohidrato altamente digerible que aporta 70-80% de calorías, y que actúa como estabilizante, gelificante, adhesivo, ligante, aglutinante, formador de películas, entre otras características. El objetivo de este proyecto fue investigar las características fisicoquímicas, térmicas y microestructurales, de cuatro ecotipos colombianos de almidón nativo de achira (Nativa de San José de Isnos Huila, Negra de la Cruz Nariño, verde y morada de Cáqueza Cundinamarca). Además, se evaluaron algunas características de calidad física y sensorial de un producto horneado (bizcocho de achira) elaborado con el almidón procedente de cada región; con el fin de establecer diferencias con respecto al origen del almidón. Los resultados de esta investigación, son de valor para la cadena productiva del almidón de achira, que hoy en día es utilizado para la elaboración de una diversidad de productos, tales como coladas, espesantes, salsas, dulces, gomas, entre otros (Caicedo, 2004).

Los resultados de esta investigación están organizados en forma de artículo. Los resultados del primer y segundo objetivo, corresponden al artículo “Análisis comparativo de cuatro ecotipos de almidón de achira (*Canna edulis*) con diferente origen geográfico en Colombia” presentado en el capítulo 2. El objetivo 3 se desarrolla en el artículo “Influencia de las propiedades del almidón sobre algunas características de calidad un producto horneado (bizcocho de achira) formulado con cuatro ecotipos de almidón nativo de achira (*Canna edulis*)” en el capítulo 3.

# 1. Artículo de revisión: Estructura, propiedades y usos del almidón de achira (*Canna edulis*)

## 1.1 Resumen

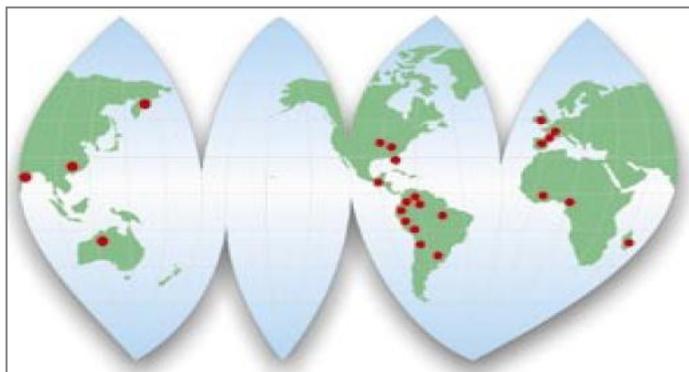
Existe gran diversidad de cultivos tropicales de raíces y tubérculos que son fuentes de almidón; dentro de los cuales se encuentra la achira (*Canna edulis*), un importante cultivo de la región andina, algunas regiones de Asia y se encuentra disperso en otras regiones del mundo. Esta planta produce rizomas comestibles y el almidón es su componente principal. En comparación con almidones de otras fuentes botánicas, el almidón de achira ha demostrado tener algunas propiedades únicas, tales como, alto contenido de amilosa (25-45%), gran tamaño de sus gránulos (33.5-56  $\mu\text{m}$ ), temperatura de gelatinización relativamente baja (63.30°C-73.6°C) y alta viscosidad del gel a bajas concentraciones y estables a calentamiento prolongado (112-413 RVU). Estas características son las que determinan en gran medida la calidad de los productos en los que es utilizado el almidón de achira como materia prima. El objetivo de este documento es presentar una revisión de la composición del rizoma y del almidón, así como de la estructura y propiedades fisicoquímicas que han sido estudiadas del almidón de *Canna edulis*.

## 1.2 Introducción

*Canna edulis* conocida como achira, es uno de los cultivos de tubérculos y raíces andinos, nativos de América del sur (Piyachomkwan, et al. 2002). Ha sido cultivada desde 1.200 años antes de Cristo aproximadamente. La achira pertenece, como género único, a la familia Cannaceae, es una especie originaria de la zona andina (ver figura 1- 2A) (Morocho, 2013). La planta de achira está formada por un sistema radical, los rizomas, el tallo, el sistema foliar y la inflorescencia que da origen a la semilla (Santacruz et al., 2002). Es conocida por una variedad de nombres locales como “Capacho” en Venezuela, “Biri” en Brasil, “Arrurruz de Queensland” en Australia, “Lotus” en Taiwán y “Sagú” en Tailandia (Imai, 2008).

Se cultiva principalmente en América del Sur, Taiwán, Vietnam, Tailandia, India, China y en menor escala en Oceanía (Australia y Polinesia), y en algunos países de Centroamérica (Figura 1-1). Los incas la utilizaban en su alimentación, y Colombia ha sido considerada como la principal zona de dispersión (Gawl et al., 2017), se cultiva entre los 1.600-2.200 msnm a una temperatura promedio de 18 °C, principalmente en áreas de ladera (Reichel, 2007). En Taiwán, Vietnam y el sur de China, la especie se siembra entre los 2.000 y los 3.000 msnm (Zhang et al., 2010a). En Colombia, la especie se cultiva en los departamentos de Cundinamarca (584.4 ha), Nariño (290 ha), Huila (87.5 ha) y Cauca (15.7 ha) (Agronet, 2016). Las plantaciones en Colombia se establecen con materiales locales, seleccionados por los agricultores; el cultivo de achira y la extracción de su almidón son actividades importantes para la economía (Gawl et al., 2017).

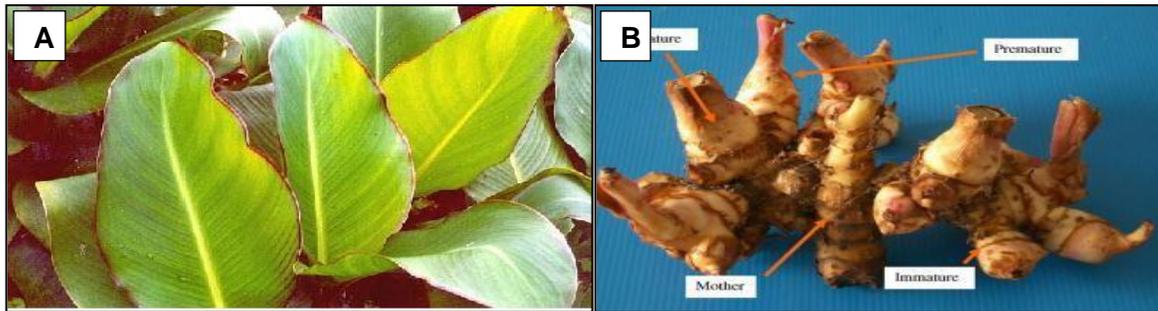
**Figura 1-1:** Regiones en el mundo donde se cultiva achira (*Canna edulis*).



Fuente: (Caicedo et al., 2003a)

Se desarrolla en una amplia gama de suelos, su mejor comportamiento se ha obtenido en suelos sueltos, francos, franco arenoso o franco limosos, ricos en materia orgánica (Puncha-arnon et al., 2007). Esta especie se encuentra distribuida en el mundo como planta silvestre, ha sido ampliamente utilizada como planta ornamental, y para el aprovechamiento de sus rizomas (Caicedo et al., 2003a). La parte más comúnmente usada de la planta de achira como producto alimenticio es el rizoma (Fig. 1-2 B). La composición proximal del rizoma crudo de achira, se presenta en la Tabla 1-1.

**Figura 1 - 2:** A) Planta de *Canna edulis* B) Rizoma de *Canna edulis*



Fuente: (Puncha-arnon et al., 2007; Rodríguez et al., 2003)

Los rizomas se utilizaban tradicionalmente como alimento básico para los nativos y ha sido procesado en fábricas artesanales en pequeñas fincas familiares, con el fin de obtener almidón (Piyachomkwan, et al. 2002). El rizoma contiene 70-80% de almidón y es una materia prima potencial para su producción industrial (Piyachomkwan, et al. 2002).

**Tabla 1- 1:** Composición proximal del rizoma de *Canna edulis*

Origen Ecotipo	Carbohidratos %	Proteína %	Humedad %	Cenizas %	Lípidos %	Fibra %	Referencia
Colombia Comercial	13.5	0.6	77.5	1.3	0.4	6.3	(Díaz et al., 2016)
Perú	19.8	1.1	77.5	1.2	0.4	0.9	(Cisneros et al., 2009)
Brasil	17.9	1.0	75.6	1.6	0.3	0.9	(Leonel et al., 2002)
Japón, China y Tailandia	18.6	2.3	80.2	5.1	0.2	2.9	(Piyachomkwan et al., 2002a)

### 1.3 Almidón de achira

El almidón de achira es el principal componente del rizoma, se ha utilizado desde la antigüedad en América del Sur para la preparación de coladas y actualmente se produce comercialmente en diferentes regiones del mundo (Lares et al., 2006). Estudios preliminares del almidón de *Canna edulis*, muestran algunas propiedades interesantes, como buenas propiedades reológicas, por ejemplo, se ha reportado alta viscosidad para almidón de achira comparado con almidón de maíz, papa y yuca, lo que indica que el almidón de achira tiene alta capacidad de formar y mantener geles estables (Srikaeo et al., 2011).

Este almidón también ha ganado interés debido a su alto contenido de amilosa y gran tamaño de sus gránulos, que se relacionan directamente con la firmeza y transparencia de sus geles (Lerdluksamee et al., 2013). Esta revisión incluye el proceso de extracción, composición química, estructura, propiedades fisicoquímicas y aplicaciones del almidón de achira, reportados por diferentes autores.

### **1.3.1 Extracción del almidón**

La extracción del almidón es el proceso de separación o aislamiento del almidón presente en el tejido celular de la fuente vegetal (Tovar, 2008). Comprende un conjunto de operaciones posteriores a la cosecha de los rizomas de achira, en el siguiente orden: recolección de los rizomas para preparar la suspensión de la que se extrae el almidón, el lavado de los rizomas que tiene como propósito obtener el mayor grado de limpieza de los rizomas para llevarlos a la etapa de rallado; se lavan hasta remover las impurezas incrustadas en los intersticios del rizoma. Para liberar el almidón presente en las células que conforman el rizoma, es necesario romperlas, esto se logra mediante rallado, principalmente, donde la fibra se corta rompiendo las paredes celulares de tal forma que libere el almidón. Posteriormente, se lleva a cabo el tamizado con el cual se separa el afrecho o fibra del rizoma y la lechada del almidón. El resultante del tamizado se separa del almidón mediante decantación. El almidón obtenido es sometido a lavado con la finalidad de retirar residuos o impurezas, se realiza las veces que sea necesario hasta que esté completamente limpio. Luego, la torta de almidón se somete a secado para eliminar parte de la humedad del almidón. Esto último es importante, para garantizar que el almidón de achira tenga alta calidad con una humedad máxima del 14%, lo cual permitirá que resista periodos de almacenamiento en condiciones ideales hasta 12 meses sin pérdida de su calidad (Rodríguez et al., 2003).

### **1.3.2 Composición proximal**

El análisis proximal es el método usado para expresar la composición global de un alimento. Se expresa en porcentaje y se aplican metodologías oficiales específicas para evaluar cada uno de los componentes. La composición del almidón depende de la fuente botánica, del proceso de extracción, purificación y de las condiciones de almacenamiento (Ren, 2017). Se ha observado una gran discrepancia en la composición química de los almidones de achira (*Canna edulis*) entre diversos estudios (Tabla 1-2).

**Tabla 1- 2:** Composición proximal del almidón de achira (*Canna edulis*)

Origen Ecotipo	Proteína %	Humedad %	Cenizas %	Lípidos %	Fibra%	Referencia
Colombia Comercial	0.03	16.59	0.24	0.30	Nd	(Díaz et al., 2016)
Indonesia	0.45-0.89	6.49-8.81	0.37-0.41	0.67-0.79	Nd	(Carolina and Ilmi, 2016)
Colombia	1.0-1.7	Nd	0.05-0.26	Nd	0.47-1.04	(Cortes et al., 2014)
Indonesia	0.80	12.3	Nd	Nd	Nd	(Aprianita et al., 2014)
Bolivia	Nd	11.15	0.26	Nd	Nd	(Quiroga, 2009)
Vietnam	0.065	15	0.34	Valor no detectado	Nd	(Watcharate winkl et al., 2009a)
Tailandia	0.10	Nd	0.27	Nd	Nd	(Kasemwong et al., 2008)
Vietnam	0.06	Nd	0.33	Valor no detectado	Nd	(Puncharnon et al., 2007)
Brasil	0.13	Nd	0.24	0.19	Nd	(Peroni et al., 2006)
Tailandia y Japón	0.069-0.078	9.39-10.02	0.25-0.33	0.014-0.019	Nd	(Thitipraphunkul et al., 2003a)
Japón, China y Tailandia	0.05-0.20	Nd	0.70-0.90	0.01-0.15	0.40-0.90	(Piyachomkwan, et al. 2002)
Brasil	0.05	9.73	0.24	0.12	0.12	(Leonel et al., 2002)

Nd: No determinado

Las variaciones en la composición del almidón pueden atribuirse a la genética vegetal, las condiciones ambientales de crecimiento del cultivo y al proceso utilizado para la obtención del almidón (Lares et al., 2006). Así mismo, puede ser causada por la madurez de los tubérculos y raíces en la cosecha, el origen botánico, y la alta actividad endógena de la amilosa (Aprianita et al., 2014). En almidones de tubérculos y raíces, normalmente se presentan bajos contenidos de proteína, humedad, cenizas y lípidos (Peroni et al., 2006).

Bajo condiciones de temperatura ambiente, el contenido de humedad de la mayoría de los almidones nativos es de alrededor del 12% (Thitipraphunkul et al., 2003a). Este es un valor significativo para un almacenamiento seguro, valores altos sobrepasarían el rango de humedad de los almidones secos, el cual varía entre 6-16% dependiendo del proceso de secado usado, entre mayor sea el nivel de humedad mayor puede ser el daño microbiano y subsiguiente deterioro de la calidad (Quiroga, 2009). En cuanto al contenido de cenizas,

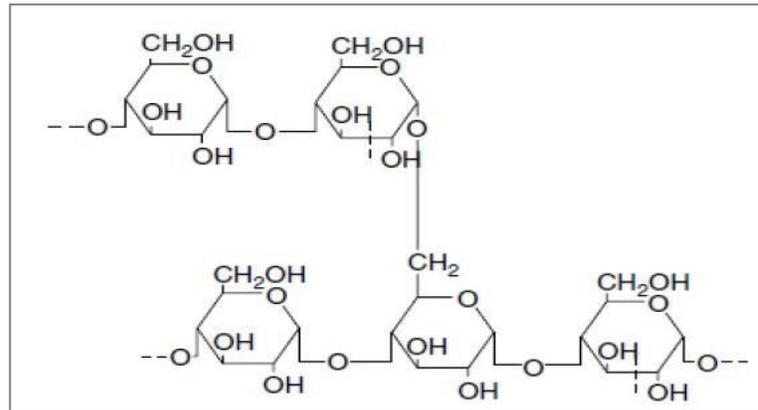
las diferencias de los valores reportados, puede ser atribuida a la diferencia entre variedades, la aplicación de fertilizantes, y las características edafológicas de la zona de origen (Carolina and Ilmi, 2016). Los almidones nativos de *Canna edulis* contiene pocos lípidos y estos juegan un papel importante en el control del envejecimiento del almidón por la inhibición de la retrogradación (Santacruz, 2005). Los almidones de tubérculos y raíces, se caracterizan por un bajo contenido de lípidos (< 1%), que no tiene un efecto pronunciado sobre las propiedades fisicoquímicas, en comparación con los del almidón de cereales (Peroni et al., 2006). Incluso, autores han reportado el contenido de lípidos como no detectables (Puncha-arnon et al., 2007; Watcharatewinkul et al., 2009a). La pureza del almidón se relaciona con su composición química, bajos contenidos de cenizas, proteínas y lípidos indican una extracción limpia del almidón (Eljeeva et al., 2017).

### 1.3.3 Estructura química

Estructuralmente el almidón está conformado por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina, estas dos moléculas tienen básicamente la misma estructura, pero tienen diferentes tipos de enlace, lo que provoca el arreglo espacial en forma helicoidal para el caso de la amilosa y de doble hélice en el caso de la amilopectina (Millán, 2009). La proporción relativa de amilosa y amilopectina varía de un almidón a otro (Ríos, 2014). En general, los almidones contienen más amilopectina que amilosa, la estructura de la mayoría de los almidones está conformada por 20% de amilosa y 80% de amilopectina (Surco, 2004). La relación entre amilosa y amilopectina puede variar de acuerdo al origen botánico del almidón, el clima y tipo de suelo (García, 2013).

La estructura rígida de los gránulos de almidón integrada por amilosa y amilopectina, permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones (Rodríguez, 2015). La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4) D-glucosídicos, los cuales constituyen un 99% de la molécula, mientras que el enlace  $\alpha$  (1-6) también puede estar presente en 1% (Rivas, 2012). En la figura 1-3 se puede apreciar la estructura básica de la amilosa, con una conformación lineal.

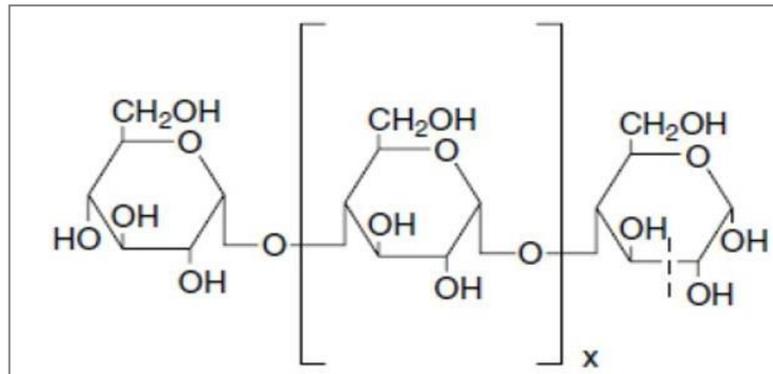
**Figura 1- 3:** Estructura química de la amilosa



Fuente: (García, 2013)

La amilopectina es el componente mayoritario en los almidones y es un polímero ramificado de unidades de glucosa constituida de 94 a 96% por enlaces  $\alpha$  (1-4), y de 4 a 6% por uniones  $\alpha$  (1-6) (Martínez et al., 2015). En la figura 1-4 se muestra la estructura química de la amilopectina.

**Figura 1- 4:** Estructura química de la amilopectina



Fuente: (García, 2013)

El contenido de amilosa y amilopectina es determinante en las características estructurales de los almidones, lo cual tiene implicación en sus diferentes aplicaciones. Muchas investigaciones han descrito una amplia variación del contenido de amilosa en el almidón de achira (*Canna edulis*) (Tabla 1-3), dependiendo del método de medición y cálculo (Puncha-arnon et al., 2007). Estas variaciones, podrían atribuirse a la genética vegetal y a las condiciones de crecimiento (Quiroga, 2009), a la edad del cultivo y a las diferentes variedades (Peroni et al., 2006). El contenido de amilosa en alimentos se clasifica en cuatro grupos: contenido muy bajo de amilosa con un nivel inferior al 10%, contenido bajo de amilosa con un nivel de 10-20%, contenido medio de amilosa con un nivel de 20-24% y

alto contenido de amilosa con un nivel superior al 25% (Carolina and Ilmi, 2016). Con base en la clasificación, se puede apreciar en la Tabla 1-3 donde se muestra el contenido de amilosa y amilopectina reportado en diferentes estudios, el almidón de *Canna edulis* se clasifica como almidón de alto contenido de amilosa (25- 45%) comparado con almidón de yuca, ñame, papa y trigo, para los cuales se ha reportado valores de amilosa de 17%, 25%, 23% y 15%, respectivamente (Hernández- Medina et al., 2008; Mohiuddin et al., 2016; Wickramasinghe et al., 2009). La presencia de altos niveles de amilosa influye en las propiedades reológicas del almidón, por ejemplo, se correlaciona bien con la capacidad formadora de geles altamente viscosos (Cisneros et al., 2009).

**Tabla 1- 3:** Contenido de amilosa y amilopectina de almidón de achira (*Canna edulis*)

Origen Ecotipo	Amilosa %	Amilopectina %	Referencia
Colombia	45.63	54.37	(Cortes et al., 2014)
Indonesia	35.00	65.00	(Aprianita et al., 2014)
Bolivia	34.82	65.18	(Quiroga, 2009)
Vietnam	34.00	66.00	(Watcharatewinkul et al., 2009a)
Perú	39.40	60.60	(Cisneros et al., 2009)
Tailandia	34.10	65.90	(Kasemwong et al., 2008)
Vietnam	36.00	64.00	(Puncha-arnon et al., 2007)
Brasil	31.70	68.30	(Peroni et al., 2006)
Tailandia y Japón	25.00	75.00	(Thitipraphunkul et al., 2003a)
Brasil	33.32	66.68	(Leonel et al., 2002)

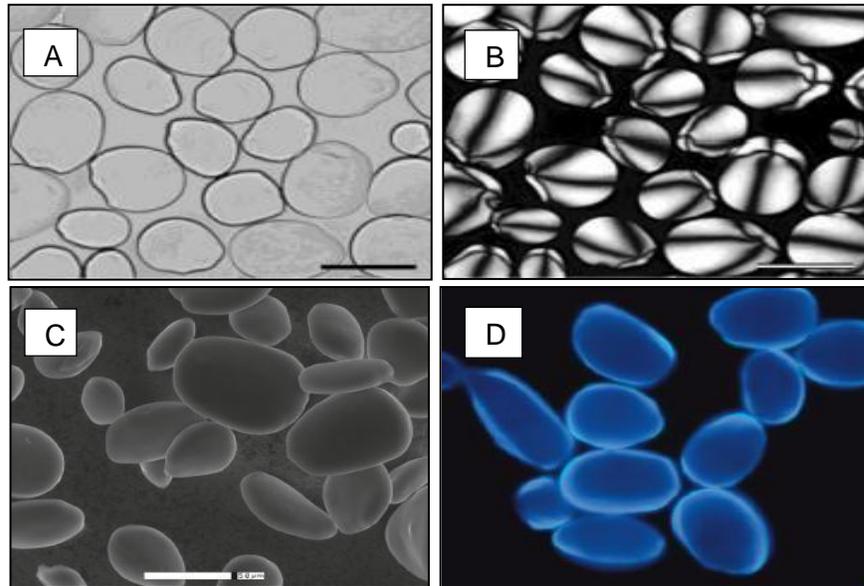
### 1.3.4 Morfología y tamaño de gránulos

El almidón está dispuesto en agregados semicristalinos, los cuales reciben el nombre de gránulos. Pueden presentar diversas formas, entre ellas: elongadas, elípticas, esféricas o aplanadas, angulares, helicoidales y poligonales (Rivas, 2012). Estas características morfológicas y el tamaño de los gránulos de almidones de diferentes orígenes, varían con el genotipo y las prácticas de cultivo (Martínez et al., 2015).

Micrografías han revelado que los gránulos de almidón de achira (*Canna edulis*) tienen forma ovalada regular. La misma forma de gránulo ovalada y con superficie lisa, fue reportado por (Chuenkamol et al., 2007; Díaz et al., 2016; Puncha-arnon et al., 2007; Saartrat et al., 2005; Van Hung and Morita, 2005). Sin embargo, en algunos gránulos se ha encontrado características inusuales, como superficie ondulada, agrietada, rayada, así como gránulos colapsados y agujeros en la superficie. Estas características indican el

deterioro de los gránulos de almidón (Puncha-arnon et al., 2007). Resultado de la degradación enzimática durante la germinación de la semilla (Srichuwong et al., 2005).

**Figura 1- 5:** Morfología de gránulos de almidón de achira (*Canna edulis*).



Fuente: (Cisneros et al., 2009; Díaz et al., 2016; Huang et al., 2015)

A. Microscopio óptico normal. B. Microscopio de luz polarizada. C. Microscopio electrónico de barrido (SEM). D. Efecto de fluorocromo primulina.

El tamaño de los gránulos de almidón son diversos y específicos de cada especie (Srichuwong et al., 2005). Por ejemplo, gránulos de almidón de tres variedades de *Canna edulis* vistos por microscopía electrónica de barrido, mostraron una distribución de tamaño de gránulo entre 10 - 100  $\mu\text{m}$  (Thitipraphunkul et al., 2003b) y rango similar entre 14 - 94  $\mu\text{m}$  (Kasemwong et al., 2008). Para almidones de otras fuentes han sido reportados distribuciones de tamaño más pequeñas, arroz (3 -8  $\mu\text{m}$ ), malanga (1-7  $\mu\text{m}$ ), quinua (1-3  $\mu\text{m}$ ) y trigo (1-8  $\mu\text{m}$ ) (Jan et al., 2017a; Mohiuddin et al., 2016; Ríos, 2014; Yu et al., 2016). Esta variación podría utilizarse para identificar la fuente y la variedad de los almidones.

Cabe destacar que diferentes autores han reportado el tamaño promedio de gránulos del almidón de achira (*Canna edulis*) (Tabla 1-4). Todos los informes han coincidido en un almidón cuyas partículas son de gran tamaño (> 30  $\mu\text{m}$ ), comparadas con gránulos de almidón de otras fuentes. Los tamaños reportados para almidón de achira, son similares al almidón de papa (10- 85  $\mu\text{m}$ ), pero mucho más grandes que el almidón de yuca (8-22  $\mu\text{m}$ ) (Jiménez-Hernández et al., 2007).

Resultados de diferentes informes, han sugerido que los gránulos pequeños presentan generalmente formas redondas y poligonales, mientras que los gránulos grandes exhiben generalmente formas ovaladas y elípticas (Peroni et al., 2006). Las variaciones en tamaño y forma de los gránulos de almidón pueden ser atribuibles al origen biológico, a las prácticas de cultivo, a la bioquímica del amiloplasto y a la fisiología de la planta (Díaz et al., 2016).

**Tabla 1- 4:** Tamaño promedio de gránulos de almidón de achira (*Canna edulis*)

Origen Ecotipo	Tamaño del gránulo ( $\mu\text{m}$ )	Referencia
Colombia (Comercial)	45.45	(Díaz et al., 2016)
Colombia (Popayán)	45.40	(Fonseca-Florido et al., 2016)
Indonesia	56.00	(Aprianita et al., 2014)
Sri Lanka	33.50	(Wickramasinghe et al., 2009)
Tailandia	45.40	(Kasemwong et al., 2008)
Brasil	42.30	(Peroni et al., 2006)
Indonesia	38.70	(Srichuwong et al., 2005)

### 1.3.5 Estructura cristalina

Los gránulos de almidón pertenecen al sistema policristalino, que se compone de estructuras cristalinas y no cristalinas o amorfas (Ren, 2017). La estructura cristalina del gránulo de almidón ha sido relacionada directamente a la amilopectina y la parte amorfa está formada esencialmente por la amilosa (Rodríguez et al., 2001). Estas estructuras dan como resultado un patrón típico de difracción de rayos X, dependiendo de la fuente de almidón en estudio. Mediante la técnica de difracción de rayos X se estudia la región amorfa y cristalina de los almidones (Zhu, 2017a), donde las áreas cristalinas y no cristalinas muestran características de pico y dispersión, respectivamente. La ubicación y la intensidad de los picos característicos de difracción son inherentes al material cristalino de almidón y podrían utilizarse para evaluar y determinar el tipo cristalino de muestras de almidón (Chuenkamol et al., 2007).

La disposición de los cristales de los gránulos de almidón da lugar a 3 tipos de polimorfo incluyendo tipo A, B y C. El tipo C es una mezcla del tipo A y del tipo B (Zhu, 2017b), estos tres tipos de patrones de difracción de rayos X poseen características específicas. Las muestras con picos de difracción con valores de  $2\theta$  de  $15^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $18^\circ$  y  $23^\circ$  pertenecen a la estructura cristalina de tipo A, mientras que aquellas con picos de difracción evidentes a  $5,6^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $22^\circ$  y  $24^\circ$  pertenecen a la estructura cristalina tipo B (Watcharatewinkul et al., 2009a).

Los tres tipos de estructuras cristalinas dependen básicamente del origen botánico del almidón. Generalmente, la estructura tipo A se encuentra en granos, mientras que el tipo B en raíces y tubérculos y el tipo C es más raro y encontrado en algunas plantas como leguminosas (Borries, 2014). En general, en todos los estudios sobre estructura cristalina del almidón de achira, los patrones de difracción de rayos X han revelado una estructura cristalina tipo B (Quiroga, 2009; Santacruz, 2005; Van Hung and Morita, 2005). Este tipo de patrón ha sido reportado para casi todas las clases de almidones de raíces y tubérculos (Santacruz et al., 2002).

## **1.4 Cambios fisicoquímicos de la mezcla de almidón y agua durante el calentamiento y el enfriamiento**

Todos los almidones mezclados con agua y sometidos a procesos de calentamiento y enfriamiento sufren cambios fisicoquímicos que se deben considerar para determinar el uso del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales (Bello, 2010). Los almidones de diversas fuentes vegetales no son idénticos en sus propiedades fisicoquímicas, e incluso los de una misma especie pueden presentar diferencias (Acosta et al., 2013) y la forma en como este polisacárido reacciona a diferentes cambios o transformaciones, define esas propiedades (Palma, 2012).

### **1.4.1 Capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad**

Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño (Zhu, 2017b). Los almidones de buena calidad se caracterizan por poseer alta capacidad de absorción de agua, alto poder de hinchamiento y baja solubilidad (Aristizábal et al., 2007). La evaluación y comprensión de estos parámetros, son útiles para conocer el potencial del uso alimenticio e industrial de los almidones. Estas propiedades están influenciadas por factores genéticos (diferencias entre variedades) y por factores como la edad de la planta, la época de cosecha, la fertilidad del suelo y la precipitación, entre otras (Surco, 2004).

Los resultados de estos parámetros pueden verse afectados por el método de cuantificación y las condiciones experimentales (Mollega, 2007). Por ejemplo, en diferentes informes para almidón de achira se reportó discrepancia en los resultados, debido a que se emplearon diferentes condiciones de centrifugación (8000 x g durante 20 min vs 1870 x g durante 30 min vs 1000 x g durante 15 min vs 1700 x g durante 5 min) (Huang et al., 2015; Santacruz et al., 2003; Wickramasinghe et al., 2009; Zhang et al., 2010a). Por lo tanto, sólo los datos del mismo estudio son significativos para comparación (Zhu, 2017b). Las diferencias en los resultados de estas propiedades entre los diversos almidones podrían deberse también a diferencias en la estructura molecular de la amilosa y la amilopectina (Kasemwong et al., 2008).

El poder de hinchamiento y la solubilidad son indicativos de las fuerzas de unión asociativa dentro de las cadenas de almidón (Eljeeva et al., 2017), y están relacionadas con el mayor tamaño de sus gránulos (Espín et al., 2004). Lo que está de acuerdo con lo reportado por (Fonseca-Florido et al., 2016), donde el almidón de achira con tamaño de gránulo grande (45,4  $\mu\text{m}$ ), mostró los mayores valores de poder de hinchamiento a todas las temperaturas ensayadas; esto indica que la estructura interna del almidón es más abierta, facilitando así la absorción de agua y por lo tanto, el hinchamiento de sus gránulos (Fonseca-Florido et al., 2016). Un alto poder de hinchamiento también se explica por el contenido de amilosa, dado que diferentes estudios han mostrado que el almidón de achira tiene menor capacidad de absorción de agua durante el calentamiento y por ende bajo poder de hinchamiento, debido al alto contenido de amilosa (Van Hung and Morita, 2005). La amilosa podría reforzar la red interna y restringir la capacidad de hinchamiento (Aprianita et al., 2014).

Un incremento en la temperatura sobre la absorción de agua, la solubilidad y el poder de hinchamiento, podría acelerar la entrada de agua en regiones amorfas, aumenta la absorción de agua y como consecuencia se eleva el poder de hinchamiento. Cabe destacar que antes de la gelatinización, el poder de hinchamiento y solubilidad en agua aumentan ligeramente con el aumento de la temperatura; después de la gelatinización, aumentan rápidamente (Huang et al., 2015).

### **1.4.2 Claridad del gel**

La transparencia de los geles del almidón está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos (Aristizábal et al., 2007). La importancia de esta cualidad radica en la claridad u opacidad de los geles y pastas formados. Se mide por la capacidad para transmitir la luz (porcentaje de transmitancia %T) cuando son sometidos al paso de un haz radiante y se relaciona con el estado de dispersión de los solutos y la tendencia a retrogradar el almidón. Para algunos productos resulta de vital importancia dicha característica, por ejemplo, la opacidad resulta deseable cuando se requiere destacar el color brillante de algunos productos; mientras tanto la transparencia es deseable para jaleas (Rios, 2014). Pastas de almidón que tengan valores de transmitancia menores de 40% se consideran como opacos o turbios. Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia mayores de 40% se consideran como claros o transparentes (Aristizábal et al., 2007). Esta propiedad resulta importante en las diferentes aplicaciones de esta materia prima.

Se ha reportado para variedades asiáticas de almidón de achira (*Canna edulis*) valores de transmitancia que oscilan entre 43.55 y 51.30% (Piyachomkwan et al., 2002b). Valores más altos entre 47 y 79% fue reportado por (Thitipraphunkul et al., 2003b) para almidón de achira de Tailandia. Los informes coinciden en un almidón de achira que genera pastas claras o transparentes. Para almidones de otras fuentes vegetales se ha reportado porcentajes de transmitancia mucho más bajos, de 22.6% para almidón de maíz (Hernández-Medina et al., 2008), 3.7% para almidón de quinua (Jan et al., 2017b), 1.63% para almidón de malanga (Rios, 2014). Estos últimos poseen pastas opacas o turbias.

### **1.4.3 Gelatinización por calorimetría diferencial de barrido (DSC)**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría debido a su estructura semicristalina, sin embargo, cuando se calientan en solución a temperaturas altas (60-70°C) alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos, llamada temperatura de gelatinización (Aristizábal et al., 2007). La gelatinización es quizás la transición más importante del almidón, es una transición de orden-desorden que sufren los polímeros del almidón sometidos a procesos de calentamiento, lo cual tiene un gran impacto en el procesamiento, calidad y estabilidad de los productos elaborados con almidón (Acuña Pinto, 2012). Por ejemplo, almidones con alta temperatura de gelatinización hacen

factible su inclusión en productos que serán sometidos a altas temperaturas de procesamiento, como los productos enlatados. Mientras que los almidones con baja temperatura de gelatinización pueden considerarse para ser usados en productos que no requieran temperaturas elevadas, tales como caramelos, natillas, pudines, entre otros.

Diferentes métodos para el análisis térmico y determinación de la temperatura de gelatinización han sido empleados, sin embargo, la mayoría de los estudios han empleado calorimetría diferencial de barrido (DSC), en el estudio de la estructura y las transiciones de fase de almidón puro y en sistemas alimenticios complejos. Los resultados que arroja éste análisis, son termogramas que muestran las transiciones de fase asociadas con la gelatinización y retrogradación del almidón (Puncha-arnon et al., 2007). Estudios de DSC, han utilizado diferentes condiciones experimentales incluyendo relación de almidón/agua (1:2 a 1:5) y velocidad de escaneo (1-10 °C / min) (Karlsson and Eliasson, 2003). Estos factores pueden afectar los parámetros térmicos de la gelatinización del almidón, por ejemplo, cuando la relación almidón/agua es superior a 1:2, el almidón tiende a gelatinizarse completamente y los resultados de diferentes estudios con la misma velocidad de escaneo pueden ser comparados (Zhu, 2017b).

Se ha observado una diversidad en las propiedades térmicas del almidón de rizoma de *Canna edulis* (Tabla 1-5). Por ejemplo, (Thitipraphunkul et al., 2003a) analizaron almidón de achira (*Canna edulis*) de dos variedades verde y morada de Tailandia y una variedad verde de Japón, con  $T_p$  (Temperatura de gelatinización) de 68.7, 67.7 y 68.9 °C y  $\Delta H$  (cambio de entalpía) de 18.4, 17.6 y 18.3 J/g, respectivamente. Así mismo, diferentes estudios han comparado el almidón de achira (*Canna edulis*) con otros almidones y han reportado una temperatura de gelatinización del almidón de *Canna edulis* similar a la de almidón de yuca (68.2°C) (Aprianita et al., 2014) y el almidón de papa (65.8°C) (Puncha-arnon et al., 2008). Sin embargo ha sido más baja que el almidón de arroz (75.2°C) (Puncha-arnon et al., 2008). Autores han informado que la entalpía y temperaturas de gelatinización solo pueden ser correlacionadas en almidones de origen genético similar (Santacruz et al., 2002). La variación en la temperatura de gelatinización de las muestras de almidón de diferentes regiones puede deberse a diferencias en las condiciones de siembra y/o de cultivo. El alto valor de entalpía indica que el almidón tiene un alto grado de retrogradación (Puncha-arnon et al., 2007), lo cual genera en los almidones una dureza gradual y una mayor tendencia a la separación de la fase sólida (cristales de amilosa y

amilopectina) y la fase acuosa (agua líquida), que se conoce con el nombre de sinéresis. Esto se convierte en una limitante técnica en la aplicación de los almidones en diversos productos, tales como, salsas y cremas de pastelería, entre otros.

**Tabla 1- 5:** Propiedades térmicas del almidón de achira (*Canna edulis*).

Origen Ecotipo	V de escaneo (°C/min)	Almidón: agua (w/w)	Rango de T° (°C)	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔH (J/g)	Referencia
Colombia (Popayán)	5	1:1.5	25-95	59.54	63.30	67.01	16.23	(Fonseca-Florido et al., 2016)
China	10	1:3	25-130	60	67.8	73.9	14.8	(Huang et al., 2015)
Indonesia	10	1:3.7	20-100	66.9	70.5	79.4	4.7	(Aprianita et al., 2014)
Vietnam	5	1:2	30-120	69.2	71.9	74.8	15.1	(Watcharatewin kul et al., 2009a).
Vietnam	5	1:2	30-120	70.8	73.6	76.9	17.7	(Puncha-arnon et al., 2007)
Tailandia	5	1:2	30-120	67.5	69.6	72.4	19.5	(Chuenkamol et al., 2007).
Brasil	10	1:3	25-100	65.44	70.08	74.84	14.2	(Peroni et al., 2006)
Indonesia	2	1:2	15-120	67.4	70	78.9	18.7	(Srichuwong et al., 2005)
Vietnam	10	1:3.3	30-130	67.4	70.8	76.1	14.5	(Van Hung and Morita, 2005)
Tailandia	5	1:2	30-150	66.8	68.7	70.9	18.4	(Piyachomkwan et al., 2004)
Tailandia y Japón	5	1:2	30-150	66.8	68.7	70.9	18.4	(Thitiphunkul et al., 2003b)

To: temperatura inicial, Tp: temperatura de gelatinización, Tc: temperatura final, ΔH: Cambio de entalpía. NR: No reporta. V escaneo: Velocidad de escaneo

Las propiedades de gelatinización de los almidones están relacionadas con factores como: el tamaño de gránulo, el contenido de amilosa, la proporción y el tipo de organización cristalina (Huang et al., 2015). La discrepancia entre los resultados podría atribuirse principalmente a los diferentes orígenes botánicos de las muestras de almidón (Ren, 2017) Las diferencias entre los parámetros térmicos reportados por diferentes autores para los almidones, también puede deberse a diferencias en factores genéticos, ambientales, tiempo de cosecha y variaciones estacionales (Aprianita et al., 2014).

#### 1.4.4 Comportamiento reológico

La característica 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. 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 viscosidad pico (PV) o viscosidad máxima (Rodríguez, 2015). La viscosidad máxima es una característica funcional de los almidones como consecuencia del proceso de hinchamiento de los gránulos por la absorción de agua, y ruptura de los gránulos. Contribuyen a las propiedades reológicas diversos factores, como la morfología de los gránulos, el contenido de amilopectina, la amilosa actúa como diluyente e inhibidor del hinchamiento, así como las condiciones en que se realizan las mediciones: concentración de almidón y tasa de calentamiento (Martínez et al., 2015).

Se han utilizado diversos instrumentos como el viscógrafo Brabender (BV), el amilógrafo Brabender (BA) y el analizador de viscosidad rápido (RVA) para investigar las propiedades reológicas del almidón de *Canna edulis* (Tabla 1-6). Este último, arroja viscoamilogramas, que son registros del comportamiento de una suspensión de almidón a una concentración determinada, durante el calentamiento y enfriamiento bajo una velocidad constante (Rodríguez, 2015). De este equipo se pueden obtener parámetros del almidón, tales como: punto en el que se alcanza la temperatura de gelatinización y se induce al hinchamiento de los gránulos que conlleva a un incremento en la viscosidad, punto máximo de viscosidad alcanzado durante el calentamiento (PV), temperatura a la que ocurre el máximo de viscosidad, fuerza de cohesión asociada a la capacidad de retención de agua del almidón, viscosidad que expresa la desintegración de los gránulos de almidón a medida que se calientan, viscosidad a la cual llega la muestra después de finalizar la prueba (Liliam Sivoli, 2009).

**Tabla 1- 6:** Propiedades reológicas del almidón de achira (*Canna edulis*).

Origen Ecotipo	Instrumento	Concentración de almidón %	PV	BD	SB	Referencia
China	RVA	Ne	10.49 (Pa.s)	7.16 (Pa.s)	0.67 (Pa.s)	(Ren, 2017)
China	RVA	8 (w/v)	76.7 dPas	46.1 dPas	8.3 dPas	(Huang et al., 2015)
Indonesia	Reómetro	7 (w/w)	71.3 cP	36.1 cP	13.1 cP	(Aprianita et al., 2014)
Sri Lanka	RVA	6 (w/w)	348 RVU	172 RVU	40 RVU	(Wicramasinghe et al., 2009)
Vietnam	RVA	6 (w/w)	145.8 RVU	24.1 RVU	154.6 RVU	(Watcharatewinkul et al., 2009a)
Perú	RVA	5 (w/v)	1130 cP	1032 cP	1371 cP	(Cisneros et al., 2009)
Tailandia	RVA	6 (w/w)	158.33 RVU	Ne	98.48 RVU	(Chuenkamol et al., 2007)
Vietnam	RVA	6 (w/w)	112 RVU	16 RVU	106 RVU	(Puncha-arnon et al., 2007)
Brasil	RVA	9 (w/w)	413 RVU	198 RVU	120 RVU	(Peroni et al., 2006)
Vietnam	BA	8 (w/v)	620 BU	20 BU	800 BU	(Van Hung and Morita, 2005)
Tailandia	RVA	6 (w/w)	154 RVU	10.04 RVU	115.75 RVU	(Saartrat et al., 2005)
Tailandia y Japón	RVA	6 (w/w)	258 RVU	115 RVU	65 RVU	(Thitipraphunkul et al., 2003b)
Brasil	RVA	25g/25 ml	351 RVU	195 RVU	156 RVU	(Leonel et al., 2002)
Japón, China y Tailandia	BA	6 (w/w)	932 BU	11 BU	635 BU	(Piyachomkwan, et al. 2002)

BA: Amilógrafo Brabender; RVA: Analizador rapido de viscosidad PV: Peak viscosity (viscosidad máxima), BD: breakdown (Desglose-Descomposición), SB: setback (Caída-Retroceso), RVU: rapid visco-unit, BU: Brabender unit. Ne: No especifica

Se han investigado las propiedades de viscosidad del almidón del rizoma de *Canna edulis*, sin embargo, los datos no son comparables por utilizar diferentes instrumentos debido a la falta de correlación de datos para la misma muestra (Aprianita et al., 2014; Leonel et al., 2002). También es imposible comparar datos de diversos estudios con diferentes concentraciones de almidón (Zhu, 2017a). Usando el mismo instrumento y las mismas condiciones experimentales, se han encontrado diferencias en los resultados entre algunos estudios. Por ejemplo, usando RVA y una concentración de 6%, en dos estudios diferentes, la viscosidad máxima (PV) del almidón de *Canna edulis* variedad de Sri Lanka y variedad

de Vietnam fueron 348 RVU y 112 RVU respectivamente (Puncha- arnon et al., 2007; Wickramasinghe et al., 2009). Esto probablemente y en gran medida se debe a una inconsistencia en la calibración del instrumento, genética del rizoma de *Canna edulis* y las condiciones de crecimiento. Los factores antes mencionados indican que los datos de diferentes estudios son difíciles de comparar.

La diversidad en las propiedades reológicas de los almidones de achira (*Canna edulis*), sólo puede observarse y compararse en el mismo estudio. Por ejemplo, la viscosidad máxima (PV), BD (descomposición) y SB (retroceso) de almidón de achira (concentración de almidón de 6%) de 2 variedades morada y verde de Tailandia variaron de 140.63 - 154.13 RVU, 7.17-10.04 RVU, y 103.67-115.75 RVU, respectivamente (Saartrat et al., 2005). Y PV, BD y SB de almidones de achira (concentración de almidón 6%) de 3 variedades (1 de Japón y 2 de Tailandia), variaron de 182-190-258 RVU, 18-27-115 RVU, y 122-100-65 RVU respectivamente (Thitipraphunkul et al., 2003a). Mayores valores de viscosidad máxima (PV) y desglose (BD), indican la ruptura de gránulos de almidón durante la gelatinización, y es una medida del grado de desintegración de gránulos (Eljeeva et al., 2017).

Por otra parte, las propiedades reológicas de los almidones de achira se han comparado con otros almidones. Por ejemplo, se ha reportado una viscosidad máxima del almidón de achira de 2930 mPa.s frente a almidón de arracacha (113 mPa.s) (Quiroga, 2009). En otro informe el almidón de achira mostró menor viscosidad máxima (979 cP) que el almidón de papa (2457 cP) (Cisneros et al., 2009). No obstante, la mayoría de estudios coinciden en que el almidón de achira tiene mejores propiedades reológicas que almidones de otras fuentes. En un informe, todos los parámetros arrojados en el análisis reológico fueron mayores para almidón de achira comparados con almidón de yuca (Moorthy et al., 2008) y almidón de papa dulce (Wickramasinghe et al., 2009). Altos valores de viscosidad máxima en almidón de *Canna edulis* nativo, pueden atribuirse a la presencia de gránulos con una amplia distribución de tamaño, que dan lugar a diversos grados de hinchamiento de los gránulos de almidón (Kasemwong et al., 2008). En general, se ha informado que las propiedades reológicas de los almidones están influenciadas por el tamaño, la relación de amilosa/amilopectina y el poder de hinchamiento de los gránulos (Zhu, 2017b). Por otra parte, cabe destacar que las propiedades reológicas del almidón se definen a partir de la relación existente entre las fuerzas externas a la que es sometido el almidón (esfuerzo

y la velocidad de flujo que se origina, expresada en una resistencia a la deformación, entre mayor sea su resistencia será más viscoso. En este orden de ideas, las suspensiones de almidón según su comportamiento reológico, tienen características de fluidos no newtonianos porque su viscosidad no permanece constante cuando la temperatura y la composición permanecen invariables, sino que depende del esfuerzo cortante y, a veces, del tiempo de aplicación del esfuerzo. Con respecto al tiempo de aplicación del esfuerzo, las suspensiones de almidón independientemente del tiempo, tienen comportamiento dilatante porque aumentan su viscosidad al aumentar la velocidad de deformación; y comportamiento reopéctico porque su viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación del esfuerzo.

### **1.5 Usos del almidón de achira (*Canna edulis*)**

Particularmente, la achira produce el gránulo de almidón más grande de todas las especies vegetales conocidas (maíz, trigo, yuca y papa). Por esta razón es digerido fácilmente por el organismo (Rodríguez et al., 2003). En regiones del Asia como Vietnam y China, los rizomas son transformados en almidón, y se utiliza para hacer fideos, una comida oriental tradicional del sudeste asiático (Imai, 2008). El almidón en otros países es utilizado en la industria de pastas alimenticias y galletas principalmente. En Colombia, este almidón es la base de una cadena agroindustrial, que va desde la producción primaria hasta su transformación en diversos productos (Gawl et al., 2017). Actualmente se extrae almidón del rizoma mediante procesos de agroindustria rural y es utilizado para la elaboración de bizcochos y otros productos artesanales como pan y coladas (González, 2012). Así mismo, aprovechando las características especiales (alto contenido de amilosa y alta viscosidad del gel, entre otras), el almidón de achira ha tenido aplicación industrial como sustituto de almidones convencionales en usos específicos, por ejemplo, en el acabado del papel, producción de derivados fosfatados en la industria de alimentos, elaboración de pegantes especiales, como relleno y conductor en la elaboración de productos farmacéuticos y como aditivos en la industria de alimentos (Caicedo et al., 2003b).

La demanda en el país es de 2.000 toneladas de almidón de achira al año, siendo el mayor consumidor el departamento del Huila, seguido en su orden por Nariño y Cundinamarca, principalmente para la agroindustria panificadora y microempresas

artesanales que producen el Bizcocho de Achira, que se ha constituido en un símbolo regional posicionado en el mercado local y nacional. La panificación demanda el 80% del almidón de achira que se consume en el país, el 15% se utiliza en coladas, espesantes de sopas instantáneas, fabricación de salsas, productos dietéticos, dulces, gomas, y otros empleos domésticos; el 5% en otros usos, en la industria farmacéutica como revestimiento de cápsulas, en la industria textil como acabado de telas, cosméticos, maquillajes, cremas faciales, en la industria de adhesivos y papelería para dar consistencia y firmeza al papel (González, 2012).

## 1.6 Conclusiones

En muchas investigaciones en Colombia no se reporta el ecotipo utilizado para el estudio de las propiedades del almidón, por lo tanto, no hay discriminación de características entre ecotipos. La comparación de las propiedades entre los almidones resulta compleja, debido a las diferencias en la metodología empleada en cada estudio. En general, de acuerdo a la información reportada sobre la estructura, propiedades y usos del almidón del rizoma de *Canna edulis* se destaca: (1) El contenido de amilosa del almidón de rizoma, oscila aproximadamente entre 25-36%. (2) Los gránulos de almidón tienen forma ovalada regular y son grandes con un tamaño de granulo entre 25-100  $\mu\text{m}$ . (3) El patrón cristalino para el almidón, ha sido reportado en todos los informes como tipo B, característico de almidones de raíces y tubérculos. (4) El almidón ha demostrado tener excelentes propiedades reológicas, con viscosidades altas y geles bastante estables. (5) Las propiedades fisicoquímicas del almidón están de acuerdo con las características de almidones de tubérculos y raíces.

## 1.7 Referencias bibliográficas

- AACC, 2000a. AACC Method 76-13.01. Total Starch Assay Procedure (Megazyme Amyloglucosidase/alpha-Amylase Method). Doi: 10.1094/AACCIntMethods
- AACC, 2000b. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser.
- Acosta, A., Blanco, C., Matiz, G., 2013. Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria. Almidones Nativ. Colomb. Universidad de Cartagena.
- Acuña Pinto, H.M., 2012. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados 80.

- Agronet, 2016. Estadísticas agrícolas: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo [WWW Document]. Red Inf. y Comun. del Sect. Agropecuario Colomb. Agric. y Desarro. Rural.
- Agudelo, J., Sepulveda, J., Restrepo, D., 2014. Efecto de la adición de dos tipos de almidones en las propiedades texturales de queso análogo. Rev. Fac. Nacional Agron. Medellín 68, 7545–7555. doi:10.15446/rfnam.v68n1.47843
- Anderson, R.A., Conway, H.F., Peplinski, A.J., 1970. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. Starch - Stärke J. 22, 130–135. doi:10.1002/star.19700220408
- Andrade Mahecha, M.M., Tapia Blácido, D.R., Menegalli, F.C., 2012. Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. Starch/Staerke J. 64, 348–358. doi:10.1002/star.201100149
- AOAC, 2012. The Official Methods of Analysis, 19th ed. Kenneth Helrich International, AOAC.
- Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., Kasapis, S., 2014. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. J. Food Sci. Technol. 51, 3669–3679. Doi: 10.1007/s13197-012-0915-5
- Aristizábal, J., Sánchez, T., Mejía, D., 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma. Doi: 9253056770-9789253056774
- Baixauli, R., 2007. Influencia de la adición de un ingrediente funcional en la calidad de un producto de bollería. Aspectos reológicos y texturales y su relación con la aceptación sensorial.
- Bello, L., 2010. Extracción, purificación y caracterización del almidón de 21 clones del banco de germoplasma de musáceas del Inia. Elaboración de un producto tipo pudín. Universidad Central de Venezuela.
- Bernabè, C., 2009. Influencia de los componentes de la harina en la panificación. Parte 1. Almidón. Reportaje, Panor. Panad. 357, 4.
- Borries, E., 2014. Caracterización y estudios de digestión in vitro de extrudidos de almidón-goma guar. Instituto Politecnico Nacional.
- Caicedo, G., 2004. El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor. Raíces Andin. Contrib. al Conoc. y a la Capacit. 149–156.

- Caicedo, G., Rozo, L., Rengifo, G., 2003a. La achira: Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina. CORPOICA Bogota, Colombia.
- Caicedo, G., Segundo, L., Wilches, R., 2003b. Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina: Técnicas de cultivo, beneficio o proceso poscosecha y uso agroindustrial.
- Carolina, A., Ilmi, F.N., 2016. Production of Indonesian *Canna edulis* type IV resistant starch through acetylation modification. *Int. Food Res. J.* 23, 491–497.
- Chuenkamol, B., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2007. Characterization of low-substituted hydroxypropylated canna starch. *Food Hydrocoll.* 21, 1123–1132. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.08.013
- Cisneros, F., Zevillanos, R., Cisneros, L., 2009. Characterization of starch from two ecotypes of andean achira roots (*Canna edulis*). *J. Agric. Food Chem.* 57, 7363–7368. Doi:10.1021/jf9004687
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Tang, M.C., 2009. Form and functionality of starch. *Food Hydrocoll.* 23, 1527–1534. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.09.016
- Cordi, M., Garzón, J., 2003. Estudio técnico para el montaje de una planta productora de bizcochos de achira. Universidad de la Sabana.
- Correa, N.M., Pérez, A.C., Villegas, A.D., 2016. Caracterización morfológica y perfil viscoamilográfico del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.). *J. Saber, Univ. Oriente Venez.* 28, 250–256.
- Cortes, T., Aldana, S., Longas, F., Real, V., 2014. Caracterización fisicoquímica y reológica de almidón procedente de cuatro ecotipos de achira (*Canna edulis* Ker) cultivados en el departamento del Huila.
- Craig, S.A., Maningat, C.C., Seib, P.A., R.C, H., 1989. Starch paste clarity. *Am. Assoc. Cereal Chem. Inc.* 66, 173–182. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Deepika, V., Jayaram Kumar, K., Anima, P., 2013. Isolation and physicochemical characterization of sustained releasing starches from *Dioscorea* of Jharkhand. *Int. J. Biol. Macromol.* 55, 193–200. doi:10.1016/j.ijbiomac.2012.11.027
- Díaz, C., Vásquez, S.M., G, A.P., Suárez-mahecha, H., Francisco, A. De, 2016. Características microestructurales y fisicoquímicas del rizoma y almidón de achira (*Canna edulis* sp.). *Rev. Agron. Colomb.* 34, 1469–1473. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.59878

- Díaz, L., Iria, A., García, O., 2015. Evaluación fisicoquímica de galletas con inclusión de harina de bleado (*Amaranthus dubius* Mart). Rev. ASA-Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" 2343–6115.
- Eljeeva, M., Pushpadass, H.A., Kumar, B., Kulkarni, S., Muthurayappa, M., Kandasamy, R., Venkatachalam, P., Vellingiri, P., 2017. Physicochemical, thermal, pasting and microstructural characterization of commercial *Curcuma angustifolia* starch. Food Hydrocoll. 67, 27–36. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.12.025
- Embuena, D., 2015. Evaluación de los cambios estructurales de galletas elaboradas con sustitutos de grasa. Univ. Politécnica Val. 1–39.
- Espín, S., Villacrés, E., Brito, B., 2004. Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. Raíces y Tubérculos Andin. Altern. Para la Conserv. y uso Sosten. en el Ecuador 91–116.
- Fernández, A., Rojas, E., García, A., Mejía, J., Bravo, A., 2016. Evaluación fisicoquímica, sensorial y vida útil de galletas enriquecidas con subproductos protéicos de suero de quesería. Rev. Científica Fac. Ciencias Vet. Div. Investig. XXVI, 71–79.
- Fonseca-Florido, H.A., Méndez-Montevalvo, G., Velazquez, G., Gómez-Aldapa, C.A., 2016. Thermal study in the interactions of starches blends: Amaranth and achira. Food Hydrocoll. 61, 640–648. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.06.027
- Galván-Araujo, S.P., Barrera-Hernández, C., Mendoza-Corvis, F.A., 2016. Perfil de textura y caracterización fisicoquímica de galletas de limón elaboradas en Cereté (Córdoba, Colombia). Agron. Colomb. 34, S1349–S1351. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58445
- Gani, A., Haq, S.S., Masoodi, F.A., Broadway, A.A., Gani, A., 2010. Physico-chemical, Morphological and pasting properties of starches extracted from water chestnuts (*Trapa natans*) from three lakes of Kashmir, India. Brazilian Arch. Biol. Technol. 53, 731–740. Doi: 10.1590/S1516-89132010000300030
- García, L., 2013. Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional del almidón de semilla de Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* Moq. Colegio de Postgraduados, Institucion de Enseñanza e Investigacion en Ciencias Agrícolas.
- García, O., Pinzón, M., Sanchez, L., 2013. Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. @limentech, Cienc. y Tecnol. Aliment. 11, 13–21.

- Gawl, K., Lobo-arias, M., Medina-cano, C.I., Grisales-arias, J.D., Yepes-agudelo, A.F., Álvarez-guzmán, J.A., 2017. Caracterización y evaluación morfológicas de la colección colombiana de achira, *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae) Evaluation and morphological characterization of the Colombian collection of achira 18, 47–73.
- Gibson, T.S., Solah, V.A., McCleary, B. V., 1997. A Procedure to Measure Amylose in Cereal Starches and Flours with Concanavalin A. *J. Cereal Sci.* 25, 111–119. doi:10.1006/jcrs.1996.0086
- González, G.H., 2012. Desarrollo de productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos, in: Colombia, F.U.A. de (Ed.), Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA. Bogotá, Colombia, pp. 1–51.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J.G., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D., 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Technol. Aliment.* 28, 718–726. Doi: 10.1590/S0101-20612008000300031
- Huang, J., Zhao, L., Man, J., Wang, J., Zhou, W., Huai, H., Wei, C., 2015. Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. *Int. J. Biol. Macromol.* 78, 165–172. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.04.006
- ICONTEC, 2009. Norma Técnica Colombiana 529 Cereales y productos cereales. Determinación del contenido de humedad.
- ICONTEC, 2007. Norma Técnica Colombiana NTC 5516-Productos de molinería. Bizcocho de achira.
- ICONTEC, 1991. Norma Técnica Colombiana 3228 Industrias alimentarias. Almidón de achira.
- Imai, K., 2008. Edible *Canna*: A Prospective Plant Resource from South America. *Japanese J. Plant Sci.* 214–224.
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S., 2017a. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 102, 315–322. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S., 2017b. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 102, 315–322. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027

- Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J.A., Ramos-Ramírez, E.G., 2007. Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydr. Polym.* 68, 679–686. doi:10.1016/j.carbpol.2006.07.035
- Karlsson, M.E., Eliasson, A.C., 2003. Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC). *LWT - Food Sci. Technol.* 36, 735–741. Doi: 10.1016/S0023-6438(03)00093-8
- Kasemwong, K., Piyachomkwan, K., Wansuksri, R., Siroth, K., 2008. Granule sizes of canna (*Canna edulis*) starches and their reactivity toward hydration, enzyme hydrolysis and chemical substitution. *Starch/Staerke* 60, 624–633. doi:10.1002/star.200800229
- Lares, M., Perez, E., Lares Perez, 2006. Determination of the mineral fraction and rheological properties of microwave modified starch from *Canna edulis*. *Plant Foods Hum. Nutr.* 61, 109–113. Doi: 10.1007/s11130-006-0007-7
- Leonel, M., 2007. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. *Cienc. e Tecnol. Aliment.* 27, 579–588. Doi: 10.1590/S0101-20612007000300024
- Leonel, M., Sarmiento, S., Cereda, M., 2002. Extração E Caracterização Do Amido De Biri (*Canna edulis*). *Brazilian J. food Technol.* 5, 27–32.
- Lerdluksamee, C., Srikaeo, K., Tutusaus, J.A.M., Diéguez, J.G., 2013. Physicochemical properties and starch digestibility of *Scirpus grossus* flour and starch. *Carbohydr. Polym.* 97, 482–488. doi:10.1016/j.carbpol.2013.05.001
- Liliam Sivoli, 2009. Técnicas microscópicas y de dispersion de luz empleadas en la evaluación de la estructura del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C.). *Acta Microsc.* Vol.18, 195–203.
- López, J., Rodríguez, E., Sepulveda, J., 2012. Evaluation of physical and textural characteristics of pandebono. *Acta Agron.* 61, 251–258.
- López, J.M., Quintero-Castaño, V., Lucas-Aguirre, J.C., 2014. Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agron.* 64, 11–21. doi:10.15446/acag.v64n1.38814
- Mahmood, K., Kamilah, H., Shang, P.L., Sulaiman, S., Ariffin, F., Alias, A.K., 2017. A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food Biosci.* 19, 110–120. doi:10.1016/j.fbio.2017.05.006

- Martínez, O., Lapo Calderón, B., Pérez Rodríguez, J., Zambrano Cabrera, C., 2015. Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Rev.Colomb. Quim* 44, 16–21. Doi:<http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215>
- Millán, J.D. la R., 2009. Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul. Instituto Politécnico Nacional.
- Mohiuddin, F., Singh, C., Riar, S., 2016. Effect of amylose, particle size & morphology on the functionality of starches of traditional rice cultivars. *Int. J. Biol. Macromol.* 92, 637–644. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.07.078
- Mollega, S.C., 2007. Desarrollo de almidones pregelatinizados funcionalizados y evaluación de las propiedades reológicas para su aplicación en la industria petrolera. Universidad Simon Bolivar.
- Moorthy, S.N., Larsson, H., Eliasson, A.C., 2008. Rheological characteristics of different tropical root starches. *Starch/Staerke J.* 60, 233–247. doi:10.1002/star.200700708
- Morales, R., 2000. Características físicas, químicas y organolépticas del almidón de achira (*Canna edulis* Ker var.).
- Morocho, J., 2013. “La achira y su aplicación en la cocina de tendencia vanguardista.” Universidad de Cuenca.
- Ortega, M., 2008. Propiedades viscoelásticas y reológicas estacionarias de suspensiones de almidón nativo de quínoa. Universidad de Chile.
- Pacheco, E., Techeira, N., Delahaye, E., 2009. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia* 34, 280–285.
- Palma, H., 2012. Caracterización de almidones de diferentes fuentes tratados con ácido para la encapsulación de vitamina C. Instituto Politecnico Nacional.
- Pereira, D., Correia, P., Guiné, R., 2013. Analysis of the physical-chemical and sensorial properties of Maria type cookies. *Acta Chim. Slovaca* 6, 269–280. Doi: 10.2478/acs-2013-0040
- Perez, E., Lares, M., 2005. Chemical composition, mineral profile, and functional properties of *Canna* (*Canna edulis*) and Arrowroot (*Maranta* spp.) starches. *Plant Foods Hum. Nutr.* 60, 113–116. Doi: 10.1007/s11130-005-6838-9
- Perez, E., Lares, M., Alfaro, M. de J., 2007. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas del almidón extraído de la nuez del orinoco (*Caryodendron orinocense* karst). *Acta Cient. Venez.* 58, 52–56.

- Peroni, F.H.G., Rocha, T.S., Franco, C.M.L., 2006. Some Structural and Physicochemical Characteristics of Tuber and Root Starches. *Food Sci. Technol. Int.* 12, 505–513. Doi: 10.1177/1082013206073045
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Christopher Oates, Sriroth, K., 2002a. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Ind. Crops Prod.* 16 (2002), 11–21.
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Oates, C.G., Sriroth, K., 2002b. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Ind. Crops Prod.* 16, 11–21. Doi: 10.1016/S0926-6690(02)00003-1
- Piyachomkwan, K., Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Takeda, Y., 2004. Functional Properties of Edible Canna (*Canna edulis* Ker.) Starch. Bangkok Thailand.
- Puncha-arnon, S., Pathipanawat, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2008. Effects of relative granule size and gelatinization temperature on paste and gel properties of starch blends. *Food Res. Int.* 41, 552–561. doi:10.1016/j.foodres.2008.03.012
- Puncha-arnon, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Pathipanawat, W., Uttapap, D., 2007. Changes in physicochemical properties and morphology of canna starches during rhizomal development. *Carbohydr. Polym.* 70, 206–217. doi:10.1016/j.carbpol.2007.03.020
- Quintero, V.D., Lucas, J.C., Alzate, E.N., 2013. Determinación de las propiedades Térmicas y Composicionales de la Harina y Almidón de Chachafruto (*Erytina Edulis* Triana Ex Micheli). *Rev. la Fac. Ing.* 18, 31–35.
- Quiroga, C., 2009. Caracterización fisicoquímica de tres fuentes subutilizadas de almidón de la región andina de Bolivia. *Investig. y Desarro.* 9, 81–94. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Ramírez, M., Gutiérrez, N., Cortés, E., 2016. Evolución de atributos de calidad en bizcocho de achira (*Canna edulis* Ker.) del Huila. *Agron. Colomb.* 34, 728–730. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57783
- Reichel, H., 2007. Partículas flexuosas de aspecto viral aisladas de achira (*Canna edulis* Ker.) afectada por clorosis en Colombia. *Rev. Agron. Colomb.* 25, 330–332.
- Ren, S., 2017. Comparative analysis of some physicochemical properties of 19 kinds of native starches 1–28.

- Rendón, M., García, T., Bragagnolo, N., 2014. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Chem.* 147, 279–286. doi:10.1016/j.foodchem.2013.09.123
- Rios, K., 2014. Análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Ríos, K.R., 2014. Análisis comparativo de las propiedades fisico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia Esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Rivas, M., 2012. Almidón acetilado de plátano: caracterización fisicoquímica y molecular. Universidad Autoónoma de Querétaro.
- Rodriguez, D., 2015. Potencial agroalimentario del almidón de arroz de tres variedades cultivadas en el departamento del Tolima. Universidad del Tolima.
- Rodríguez, G., García, H., Camacho, J., Arias, F., 2003. El Almidón de Achira o Sagú (*Canna edulis*, Ker) Manual Técnico para su Elaboración. CORPOICA Tibaitata, Cundimarca.
- Rodríguez, P., San Martín, M.E., Gonzales de la Cruz, G., 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Soc. Mex. Cienc. Superf. y vacío* 13, 61–65.
- Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2005. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydr. Polym.* 61, 211– 221. doi:10.1016/j.carbpol.2005.05.024
- Santacruz, S., 2005. Caracterización de almidones de Arracacha, Xanthorriza, *Canna edulis* y *Oxalis Tuberosa* y extraído de hojas de papa. *Rev. Boliv. Química* 22, 27– 33.
- Santacruz, S., Koch, K., Svensson, E., Ruales, J., Eliasson, A.C., 2002. Three underutilised sources of starch from the Andean region in Ecuador. Part I. Physico- chemical characterisation. *Carbohydr. Polym.* 49, 63–70.
- Santacruz, S., Ruales, J., Eliasson, A.C., 2003. Three under utilized sources of starch from the Andean region in Ecuador. Part II. Rheological characterisation. *Carbohydr. Polym.* 51, 85–92.
- Sivak, M., Preis, J., 1998. *Advances in Food and Nutrition Research. Starch Basic Science to Biotechnology*, Academic P. ed. Academic Press, Michigan.

- Soni, P.L., Sharma, H., Srivastava, H.C., Gharia, M.M., 1990. Physicochemical properties of *Canna edulis* starch-comparison with maize starch. *Starch - Stärke* 42, 460–464. doi:10.1002/star.19900421203
- Soto, I., Luján, D., Salcedo, J., Contreras, K., 2016. Evaluación de un producto horneado (“diabolín”) formulado con almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Agron. Colomb.* 34, 804–807. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58233
- Srichuwong, S., Sunarti, T.C., Mishima, T., Isono, N., Hisamatsu, M., 2005. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydr. Polym.* 60, 529–538. doi:10.1016/j.carbpol.2005.03.004
- Srikaeo, K., Mingyai, S., Sopade, P.A., 2011. Physicochemical properties, resistant starch content and enzymatic digestibility of unripe banana, edible canna, taro flours and their rice noodle products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46, 2111–2117. doi:10.1111/j.1365-2621.2011.02724.x
- Surco, F., 2004. Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Tenorio, J.L., Sandoval, E.R., Valencia, J.S., 2012. Evaluación de características físicas y texturales de pandebono. *Acta Agronómica* 61, 273–281.
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., Takeda, Y., 2003a. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part II. Molecular structure of amylose and amylopectin. *Carbohydr. Polym.* 54, 489–498. doi:10.1016/j.carbpol.2003.08.003
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., Takeda, Y., 2003b. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.* 53, 317–324. Doi:10.1016/S0144-8617(03)00081-X
- Tovar, T., 2008. Caracterización Morfológica Y Térmica Del Almidón De Maíz (*Zea mays* L) Obtenido por Diferentes Métodos de Aislamiento. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Van Hung, P., Morita, N., 2005. Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. *Carbohydr. Polym.* 61, 314–321. doi:10.1016/j.carbpol.2005.04.021

- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2009a. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018
- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2009b. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J.A., 2014. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Staerke J.* 66, 1–16. doi:10.1002/star.201300238
- Wickramasinghe, H.A.M., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Yamauchi, H., Noda, T., 2009. Comparative analysis of starch properties of different root and tuber crops of Sri Lanka. *Food Chem.* 112, 98–103. doi:10.1016/j.foodchem.2008.05.046
- Yu, X., Li, B., Wang, L., Chen, X., Wang, W., Gu, Y., Wang, Z., Xiong, F., 2016. Effect of drought stress on the development of endosperm starch granules and the composition and physicochemical properties of starches from soft and hard wheat. *J. Sci. Food Agric.* 96, 2746–2754. doi:10.1002/jsfa.7439
- Zhang, J., Chen, F., Liu, F., Wang, Z.W., 2010a. Study on structural changes of microwave heat-moisture treated resistant *Canna edulis* Ker starch during digestion in vitro. *Food Hydrocoll.* 24, 27–34. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.07.005
- Zhang, J., Wang, Z.-W., Yang, J.-A., 2010b. Physicochemical Properties of *Canna edulis* Ker Starch on Heat-Moisture Treatment. *Int. J. Food Prop.* 13, 1266–1279. Doi:10.1080/10942910903061828
- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., Wei, C., 2018. Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocoll.* doi:10.1016/j.foodhyd.2018.02.006
- Zhu, F., 2017a. Structures, properties, modifications, and uses of oat starch. *Food Chem.* 229, 329–340. doi:10.1016/j.foodchem.2017.02.064
- Zhu, F., 2017b. Structures, properties, and applications of lotus starches. *Food Hydrocoll.* 63, 332–348. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.08.034
- Zortéa-Guidolin, M.E.B., Demiate, I.M., Godoy, R.C.B. de, Scheer, A. de P., Grewell, D., Jane, J. lin, 2017. Structural and functional characterization of starches from Brazilian pine seeds (*Araucaria angustifolia*). *Food Hydrocoll.* 63, 19–26. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.08.022

## 2. Análisis comparativo de cuatro ecotipos colombianos de almidón de achira (*Canna edulis* sp) con diferente origen geográfico

### 2.1 Resumen

El almidón de achira (*Canna edulis*) tiene un gran potencial en la industria tradicional de alimentos. En este estudio, almidones nativos de cuatro ecotipos de *Canna edulis* cultivados en tres departamentos de Colombia (Huila, Nariño y Cundinamarca), se estudiaron y se compararon en su composición química, propiedades físicas, térmicas y microestructurales. Los estudios de composición proximal mostraron que el contenido de humedad en las muestras varió entre 13.58 y 14.22%, el contenido de proteínas varió entre 0.24 y 0.49%, el contenido de lípidos entre 0.002 y 0.005% y el contenido de cenizas entre 0.18 y 0.34%. Todos los almidones exhibieron alta capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento; alto índice de blancura (92.57-93.41) y pastas claras (Transmitancia >40%). La microscopía electrónica de barrido mostró los gránulos de almidón de todos los ecotipos con forma ovalada, superficies lisas y un tamaño entre 15 y 102  $\mu\text{m}$ . El contenido de amilosa varió de 21.24 a 31.71%. Los cuatro ecotipos presentaron un patrón de difracción de rayos X tipo B. La temperatura y entalpía de gelatinización evaluada con calorimetría diferencial de barrido osciló entre 62.23 - 64.12°C y 0.61 - 3.55 J/g, respectivamente. La viscosidad máxima determinada con análisis rápido de viscosidad (RVA) varió entre 13480 y 15606 cP. Los resultados de este estudio proporcionan información de interés para conocer las materias primas locales e identificar posibles usos del almidón de achira en la industria alimentaria y no alimentaria.

**Palabras claves:** *Canna edulis*, almidón, propiedades estructurales, propiedades térmicas.

## 2.2 Introducción

Colombia tiene cultivos tropicales de raíces y tubérculos que pueden usarse como fuentes alternativas de hidratos de carbono. Estos cultivos incluyen el de papa (*Solanum tuberosum*), ñame (*Dioscorea alata*), yuca (*Manihot esculenta*) y el de achira (*Canna edulis*) (Aprianita et al., 2014). La achira es una planta de la familia Cannaceae, tiene su origen en la región andina de América del Sur y se ha convertido en un importante cultivo económico en algunos países de Asia como Vietnam, Tailandia y China y de América como Perú, Brasil y Colombia (Zhang et al., 2010b). Esta planta tiene rizomas y el almidón es su componente principal, su contenido varía entre el 70 y 80%, y ha sido utilizado como alimento básico tradicional en la zona andina durante más de 4000 años (Puncha-arnon et al., 2007). El almidón de achira también se usa como ingrediente en la fabricación de salsas, fideos, pastas alimenticias, bizcochos, galletas y otros productos de panificación (González, 2012; Imai, 2008).

Los almidones se emplean como materia prima con muchas aplicaciones, se utiliza como espesante, aglutinante, emulsionante y agente de revestimiento en aplicaciones alimentarias y no alimentarias (Eljeeva et al., 2017). Con el aumento de la población mundial, podría aumentar la demanda de almidón por parte de la industria. Por lo tanto, existe la necesidad de conocer, identificar y caracterizar almidones de fuentes nativas. El conocimiento de las propiedades de un almidón son importantes para seleccionar sus aplicaciones particulares, considerando que la funcionalidad del almidón en cualquier aplicación se rige por sus propiedades fisicoquímicas (Ortega, 2008). Teniendo en cuenta la amplia gama de posibilidades que ofrecen los almidones en los productos alimenticios modernos, en las últimas décadas se han llevado a cabo muchos estudios detallados sobre las propiedades de almidones nativos y comerciales de diferentes fuentes, obtenidos a partir de cereales, raíces y tubérculos (Deepika et al., 2013). Actualmente, las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales de los almidones son de gran interés para la industria alimentaria, de estas características dependerá la funcionalidad del almidón.

Para almidón de achira (*Canna edulis*), se han realizado investigaciones sobre sus propiedades, como la morfología (Huang et al., 2015; Piyachomkwan et al., 2002b), tamaño de gránulo (Cisneros et al., 2009; Puncha-arnon et al., 2008), contenido de amilosa (Leonel et al., 2002; Perez et al., 2007), estructura cristalina (Puncha-arnon et al., 2007; Van Hung and Morita, 2005), solubilidad y poder de hinchamiento (Huang et al., 2015), propiedades

térmicas (Fonseca-Florido et al., 2016; Thitipraphunkul et al., 2003a) y comportamiento reológico (Ren, 2017; Santacruz et al., 2002). Estas investigaciones han sido realizadas para ecotipos asiáticos, los informes indican características interesantes, como alto contenido de amilosa, gránulos grandes, geles claros y alta viscosidad; revelando que los almidones de diferentes cultivares tienen propiedades significativamente diferentes (Thitipraphunkul et al., 2003b). Incluso dentro de una sola especie, los estudios han demostrado que las propiedades del almidón difieren con la variación de la línea genética y la etapa de maduración de la semilla (Puncha-arnon et al., 2007).

Actualmente, existe falta de documentación sobre las propiedades del almidón de achira de ecotipos colombianos. Por lo tanto, en esta investigación se estudiaron las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales del almidón de cuatro ecotipos de achira, procedente de tres regiones de Colombia (Huila, Nariño y Cundinamarca). El objetivo del trabajo fue comparar entre ecotipos y proporcionar información relevante para futuras investigaciones que permita establecer potencialidades del almidón de achira y posterior utilización como materia prima.

## 2.3 Materiales y métodos

### 2.3.1 Muestreo

Se analizaron 4 muestras de almidón de achira procedentes de los departamentos del Huila, Nariño y Cundinamarca, adquiridos a productores durante el año 2014. Los cuatro ecotipos corresponden a nativa de San José de Isnos Huila (Superficie: 361 km, altitud: 2017 m.s.n.m, temperatura promedio: 18°C, precipitación media anual: 1.458 mm), ecotipo negra de la Cruz Nariño (Superficie: 235 km, altitud: 2440 m.s.n.m, temperatura promedio: 18°C, precipitación media anual: 1.645 mm), ecotipo verde y ecotipo morada de Cáqueza Cundinamarca (Superficie: 38 km, altitud: 1746 m.s.n.m, temperatura promedio: 20°C, precipitación media anual: 1.150 mm). Las muestras fueron almacenadas en un ambiente seco y a una temperatura ambiente (22°C ± 5°C) hasta su análisis.

### 2.3.2 Composición proximal

La composición proximal se evaluó teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 3228, la cual establece los requisitos y ensayos que debe cumplir el almidón de achira (ICONTEC, 1991). El contenido de humedad, proteína, ceniza y grasa fueron determinados de acuerdo a métodos oficiales de la AOAC 925.10, 979.09-920.87, 923.03 y 922.06, respectivamente (AOAC, 2012). El pH y acidez se determinó siguiendo la metodología descrita por (Acuña Pinto, 2012).

### 2.3.3 Contenido de amilosa, amilopectina y almidón total

La determinación del contenido de amilosa de las muestras de almidón se realizó utilizando un kit de ensayo amilosa/amilopectina de Megazyme, K-AMYL 06/15 (Megazyme International Ireland Ltd., Irlanda), siguiendo la metodología descrita por (Gibson et al., 1997). Previamente se realizó una preparación de buffers y solventes (acetato de sodio, disolvente concentrado Con A, solvente Con A). El procedimiento de ensayo consta básicamente de un pretratamiento al almidón para eliminar los lípidos antes del análisis; el pretratamiento consistió en una dispersión completa del almidón por calentamiento en dimetilsulfóxido (DMSO) precipitando el almidón en etanol y recuperando el almidón precipitado. Esta muestra precipitada obtenida se le llamó solución A. Posteriormente, la solución A se diluyó en una solución de acetato/sal, donde la amilopectina se precipitó mediante la adición de la proteína Con A (concanavalina A de lectina), se eliminó por centrifugación y al sobrenadante obtenido se le midió absorbancia a 510 nm. Finalmente se determinó el almidón total, tomando una alícuota de la solución A y mezclándola con una solución de acetato/sal; a la solución obtenida se le midió la absorbancia a 510 nm. La cuantificación del porcentaje de amilosa (%AM) se estimó con la siguiente fórmula. La amilopectina se estimó por diferencia (100 - % amilosa).

$$\% AM = \frac{\text{Absorbancia (Con A sobrenadante)}}{\text{Absorbancia (Alícuota de Almidon Total)}} * 66.8$$

El contenido de almidón total se determinó utilizando un kit de ensayo de almidón total de Megazyme, K-TSTA-50A/K-TSTA-100A 06/17 (Megazyme International Ireland Ltd., Irlanda) cuyo procedimiento se basa en el uso de  $\alpha$ -amilasa y amiloglucosidasa; siguiendo los métodos oficiales de la AOAC 996.11 (AOAC, 2012) y AACC Método 76- (AACC, 2000a). Previamente se realizó una preparación de soluciones/suspensiones y reactivos

no suministrados (buffer acetato de sodio y solución hidróxido de potasio). En el procedimiento de ensayo para humedecer y dispersar la muestra se utilizó etanol. Posteriormente esa suspensión de almidón obtenida se mezcló con  $\alpha$ -amilasa, seguido de una digestión con amiloglucosidasa. El sobrenadante se separó del residuo por centrifugación y la concentración de glucosa en el sobrenadante se determinó usando reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD-POD) y se incubó en un baño de agua. El contenido de glucosa liberada se midió espectrofotométricamente a 510nm. El % de almidón se determinó con la fórmula:

$$\% \text{ Almidón} = \Delta A \times \frac{F}{W} \times FV \times 0.9$$

Dónde:

$\Delta A$  = Absorbancia (reacción) en comparación con el blanco del reactivo

$$F = \frac{100 \mu\text{g de D-Glucosa}}{\text{Absorbancia por } 100 \mu\text{g de glucosa}} \quad (\text{Conversión de absorbancia a } \mu\text{g})$$

FV= Volumen final

W= Peso en miligramos de la muestra analizada.

### 2.3.4 Propiedades fisicoquímicas

- **Análisis de color**

Las mediciones de color de las muestras se llevaron a cabo utilizando un colorímetro (Modelo ColorQuest XE-Hunter Lab). Cada muestra se escaneó en diferentes lugares, para determinar los valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , de acuerdo con el sistema uniforme de espacio de color CIELab (García et al., 2013). El índice de blancura (IB) se calculó teniendo en cuenta dichos parámetros de acuerdo con la ecuación:

$$IB = 100 - \sqrt{((100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2})}$$

Dónde:  $L^*$ : Representa el índice de luminosidad (100 = blanco y 0 = negro),  $a^*$ : Índice de longitud de onda predominante, mide los colores de rojo (+) a verde (-), y el 0 es neutro,  $b^*$ : Índice de longitud de onda predominante, mide los colores de amarillo (+) a azul (-) y 0 es neutro.

- **Índice de absorción de agua, poder de hinchamiento y porcentaje de solubilidad**

Las determinaciones de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad, se llevaron a cabo a 60, 70, 80 y 90°C siguiendo el método de (Anderson et al., 1970), descrito por (García et al., 2013) con modificación de las temperaturas de ensayo. El análisis se llevó a cabo en tubos de centrifuga pesados previamente, tomando una suspensión de almidón en agua destilada previamente calentada (1.25 g de almidón (base seca) y 30 ml de agua) en un baño de agua con agitación a la temperatura seleccionada durante 30 minutos. Se centrifugó a temperatura ambiente (22°C ± 5°C) y 4900 rpm/30 min, se decantó el sobrenadante y se midió el volumen. Posteriormente, se recogió 10 ml del sobrenadante que se secó en horno a 70°C ± 1°C para la cuantificación de fracciones solubles. Se pesaron los gránulos de almidón hinchados (gel) y se consideró la relación entre la masa final y la materia seca inicial como el poder de hinchamiento. La absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad fueron calculados usando las siguientes fórmulas:

$$\text{Absorción de agua (g/g)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g) bs}}$$

$$\text{Poder de hinchamiento (g/g)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g) bs} - \text{Peso soluble (g)}}$$

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{Peso del sobrenadante seco}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

- **Claridad del gel**

Se evaluó la transparencia de los geles de dispersiones de almidón midiendo el porcentaje de transmitancia de la luz (%T) a una longitud de onda de 650 nm usando un espectrofotómetro ThermoSpectronic UV-visible, siguiendo la metodología de (Craig et al., 1989), descrita por (Piyachomkwan et al., 2002b). Se preparó una suspensión de almidón (1% p/v) en tubos centrifuga y se calentó en un baño de ebullición durante 30 min. Seguidamente, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente durante 60 segundos y se realizó la lectura en el equipo. Se utilizó agua destilada como blanco.

### **2.3.5 Análisis de la estructura cristalina del almidón por difracción de rayos X**

La estructura cristalina del almidón se analizó usando un Difractómetro de rayos X (marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD) de acuerdo a la metodología descrita por (Zortéa-Guidolin et al., 2017). La muestra se preparó en un porta muestra circular, ejerciéndole una presión manual para lograr una compactación y una superficie plana para el área de ensayo y análisis. Después de que las muestras de almidón se equilibraron en una cámara con 100% de humedad relativa durante 24 horas a temperatura ambiente, los patrones de rayos X se determinaron con radiación  $K\alpha$  de cobre (longitud de onda de 1.54 Å), operado a un voltaje de 45 kV y corriente de 40 mA. El software de análisis fue X'Pert Data Collector. La región de exploración del ángulo dos-theta ( $2\theta$ ) fue de  $5^\circ$  a  $90^\circ$ , con un tiempo por paso de escaneo de 100 segundos y temperatura de  $25^\circ\text{C}$ .

### **2.3.6 Morfología y tamaño de los gránulos de almidón**

Los gránulos de almidón fueron analizados mediante micrografías electrónicas, las cuales se tomaron en un microscopio electrónico de barrido (SEM) Tescan Vega - 3 SB, a un potencial de aceleración de 10 Kv y una magnificación de 220x y 1200x. Las muestras de almidón fueron colocadas en un soporte metálico con cinta adhesiva de doble cara y revestida con oro para proporcionar conductividad, para un análisis adecuado en el microscopio (Leonel, 2007). Los tamaños de los gránulos fueron analizados y medidos con el software de análisis de imágenes ImageJ.

### **2.3.7 Análisis de propiedades térmicas**

Las propiedades térmicas se evaluaron utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC 1-500/2722, Mettler Toledo), equipado con una estación de datos de análisis térmico. Se realizó de acuerdo a la metodología descrita por (Thitipraphunkul et al., 2003a). Se pesó 3 mg de la muestra en cápsula de aluminio y se mezcló con agua destilada (6 mg). Las muestras se sellaron herméticamente y se dejó reposar durante 2 horas a temperatura ambiente ( $22^\circ\text{C}$ ) antes de calentar en el DSC. El ensayo se realizó con atmósfera de nitrógeno 50 mL/min y el intervalo de temperatura de barrido y velocidad de calentamiento fueron de  $30 - 120^\circ\text{C}$  y  $5^\circ\text{C} / \text{min}$ , respectivamente. Se utilizó agua (6 mg) como referencia.

Las temperaturas de transición informadas son la temperatura de inicio ( $T_0$ ); temperatura máxima ( $T_P$ ), temperatura de conclusión o final ( $T_C$ ) y entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ) que se expresa en términos de joules por gramo de almidón seco.

### **2.3.8 Análisis Rápido de Viscosidad (RVA)**

Los perfiles de viscosidad de las suspensiones de almidón se estudiaron mediante analizador rápido de viscosidad (RVA), modelo RVA 4500 con software Thermocline. De acuerdo a la metodología AACC 76-21.01 (AACC, 2000b). Se mezcló aproximadamente 3.50 gramos de la muestra con 25 ml de agua, agitando vigorosamente. El peso de la muestra y volumen de agua añadido fueron corregidos por el contenido de humedad de la muestra, de acuerdo a tabla y fórmula del método. Se inició el ciclo de medición para obtener los parámetros reológicos, la suspensión de almidón se mantuvo primero a 50 ° C durante 1 minuto y luego se calentó a 95 ° C a una velocidad de 12 °C/min. La temperatura se mantuvo a 95 ° C durante 2,5 minutos, y luego el almidón se enfrió a 50 ° C a una velocidad de 12 °C/min y se mantuvo a 50 ° C durante 1,4 min. El objetivo de este método es preparar una curva de viscosidad completa, incluyendo la viscosidad máxima y final, la descomposición (Breakdown) y el retroceso (Setback), durante el calentamiento en exceso de agua.

### **2.3.9 Análisis estadístico**

Todos los datos se presentan como la media  $\pm$  desviación estándar y su tratamiento se llevó a cabo utilizando funciones del software Statgraphics Centurión XVI. El análisis de varianza (ANOVA) se empleó para establecer diferencias estadísticamente significativas bajo un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$ . Las diferencias entre medias fueron establecidas a través de una prueba de Rango Múltiple de Duncan.

## **2.4 Resultados y discusión**

### **2.4.1 Composición proximal**

Los resultados de la composición proximal del almidón de achira se muestran en la Tabla 2-1. El contenido de humedad de los almidones analizados oscilaron entre 13.58%  $\pm$  0.05 -14.22%  $\pm$  0.14, los cuales cumplen con la NTC 3228 que indica una humedad máxima

para almidón de achira de 20%. Estos valores son similares a 12.3 y 15% informados por (Aprianita et al., 2014; Watcharatewinkul et al., 2009a), para almidón de achira de Indonesia y Vietnam respectivamente. Valores más bajos de humedad fueron reportados para variedades asiáticas de (8.81- 6.49%) y (9.39 y 10.02%) (Carolina and Ilmi, 2016; Thitipraphunkul et al., 2003a). Valores bajos de humedad han sido también informados para almidón de yuca y plátano, 9.48% y 6.77%, respectivamente (Hernández-Medina et al., 2008; Rivas, 2012). Los datos obtenidos muestran estadísticamente diferencias significativas entre los ecotipos analizados. Esto puede depender de la variedad y de los tiempos y condiciones de almacenamiento (Carolina and Ilmi, 2016). También puede atribuirse al proceso de secado usado en el proceso de extracción del almidón (Quiroga, 2009). Teniendo en cuenta que este proceso de secado generalmente se realiza a libre exposición con los rayos del sol, extendiéndolo en patios sobre plásticos durante 3 - 4 días; también puede realizarse mediante uso de ventiladores eléctricos que hacen circular aire o haciendo uso de sistemas más eficientes de secado por convección natural (secaderos tipo invernadero con ventilación natural).

**Tabla 2- 1:** Parámetros fisicoquímicos de los diferentes ecotipos de almidón de achira (*Canna edulis*)

Parámetro	Nativa Huila	Negra Nariño	Verde Cundinamarca	Morada Cundinamarca
Amilosa (%)	21.24 ± 0.26 <sup>a</sup>	31.71 ± 7.40 <sup>a</sup>	29.97 ± 3.04 <sup>a</sup>	26.48 ± 6.49 <sup>a</sup>
Amilopectina (%)	78.76 ± 0.26 <sup>a</sup>	68.29 ± 7.40 <sup>a</sup>	70.03 ± 3.04 <sup>a</sup>	73.52 ± 6.49 <sup>a</sup>
Almidón total (%)	83.82 ± 1.08 <sup>a</sup>	85.56 ± 1.16 <sup>a</sup>	73.50 ± 2.51 <sup>a</sup>	85.17 ± 6.40 <sup>a</sup>
.Humedad (%)	14.18 ± 0.15 <sup>a</sup>	13.98 ± 0.03 <sup>b</sup>	13.58 ± 0.05 <sup>c</sup>	14.22 ± 0.14 <sup>a</sup>
Cenizas (%)	0.23 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.23 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.00 <sup>a</sup>
Grasa (%)	0.002 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.005 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.003 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.004 ± 0.00 <sup>d</sup>
Proteínas (%)	0.24 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.41 ± 0.10 <sup>c</sup>	0.49 ± 0.20 <sup>d</sup>
Acidez (%)	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>
pH	6.53 ± 0.01 <sup>a</sup>	6.77 ± 0.01 <sup>b</sup>	6.77 ± 0.01 <sup>b</sup>	6.75 ± 0.01 <sup>b</sup>
L*	90.78 ± 0.22 <sup>a</sup>	91.88 ± 0.29 <sup>b</sup>	90.84 ± 0.14 <sup>a</sup>	91.79 ± 0.22 <sup>b</sup>
a*	0.51 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.37 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.40 ± 0.01 <sup>d</sup>
b*	6.03 ± 0.07 <sup>a</sup>	5.31 ± 0.06 <sup>b</sup>	5.51 ± 0.07 <sup>c</sup>	5.17 ± 0.07 <sup>d</sup>
IB	92.57 ± 0.06 <sup>a</sup>	93.32 ± 0.07 <sup>b</sup>	93.01 ± 0.05 <sup>c</sup>	93.41 ± 0.04 <sup>d</sup>

Los valores presentados son la media ± desviación estándar. a-b-c Valores diferentes dentro de una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05). IB: Índice de blancura. T: Transmitancia

El contenido de cenizas indica la cantidad de contenido mineral en los almidones (Carolina and Ilmi, 2016). El porcentaje de cenizas para las muestras estudiadas oscilaron entre  $0.18\% \pm 0.07 - 0.34\% \pm 0.00$ , valores que están de acuerdo con la NTC 3228, que establece un porcentaje de cenizas máximo de 0.5 % para almidón de achira. Valores similares se han encontrado para almidón procedente de Bolivia con valor de 0.26% (Quiroga, 2009). Otros estudios han mostrado valores de cenizas de 0.27 y 0.33% (Kasemwong et al., 2008; Puncha-arnon et al., 2007) para almidón de achira de Tailandia y Vietnam, respectivamente. También se han reportado valores de cenizas semejantes para almidón de yuca y papa, 0.29% y 0.24% respectivamente (Hernández-Medina et al., 2008; Jiménez-Hernández et al., 2007). Altos niveles de cenizas indica contaminación de las muestras de almidón (Eljeeva et al., 2017). Sin embargo, se han reportado valores superiores entre 0.70 - 0.90% para variedades de Tailandia, China y Japón (Piyachomkwan et al., 2002b). La diferencia de los valores, puede ser causada por la variedad, la aplicación de fertilizantes, características del suelo y tecnología de extracción del almidón, por ejemplo, el lavado puede hacer que los minerales se disuelvan (Carolina and Ilmi, 2016).

La proteína y la grasa hacen parte de los componentes secundarios en el almidón (Carolina and Ilmi, 2016). Las investigaciones han reportado valores muy bajos de estos componentes. En este estudio se encontró valores de proteína entre  $0.24\% \pm 0.03 - 0.49\% \pm 0.20$  y valores de grasa entre  $0.002\% \pm 0.00 - 0.005\% \pm 0.00$ , los cuales cumplen con la NTC 3228, que establece un valor de proteína y grasa máximo de 1.0% y 0.5% respectivamente. Los valores encontrados son más altos que los reportados por (Peroni et al., 2006) para almidón de *Canna edulis* de Brasil cuyo porcentaje de proteína fue de 0.13%. Y valores entre 0.05-0.20% para variedades asiáticas (Piyachomkwan et al., 2002b). Pero menor a lo reportado por (Aprianita et al., 2014) para variedad de Indonesia, cuyo valor fue de 0.80%. Los porcentajes de grasa encontrados fueron muy bajos, lo que concuerda con 0.01% reportado para variedades asiáticas (Piyachomkwan et al., 2002a). Sin embargo, valores superiores fueron informados para almidón comercial de Colombia e Indonesia, con valores de 0.30% y 0.67-0.79% respectivamente (Carolina and Ilmi, 2016; Díaz et al., 2016). Para almidones de otras fuentes vegetales, como yuca, papa y ñame, han sido reportado valores de proteína de 0.06%, 0.20% y 0.33%, respectivamente y valores de lípidos 0.20%, 0.18% y 0.05%, respectivamente (Hernández-Medina et al., 2008; Jiménez-Hernández et al., 2007; Pacheco et al., 2009). Valores bajos de proteínas y lípidos en almidones no tienen una influencia pronunciada en sus propiedades funcionales (Peroni et al., 2006), sin embargo, altos valores de lípidos podría reducir la capacidad de absorción de agua y por tanto su poder de hinchamiento (Soni et al., 1990).

Los almidones nativos de *Canna edulis* contienen pocos lípidos y estos juegan un papel importante en el control del envejecimiento del almidón mediante la inhibición de la retrogradación (Santacruz, 2005). De manera general, se han observado pequeñas diferencias en la composición reportada de los componentes menores (proteínas, humedad, cenizas, fibra y grasa) con otros estudios. Estas diferencias podrían atribuirse al origen botánico, la genética vegetal, las condiciones de crecimiento, la madurez de los tubérculos y raíces en la cosecha y las condiciones de extracción del almidón (Pérez and Lares 2005). También puede ser causada por los métodos de cuantificación de los componentes (Aprianita et al. 2014).

Con respecto a los valores de acidez y pH, estos son una medida del grado de fermentación del almidón (Aristizábal et al., 2007). Para acidez fueron encontrados valores entre  $0.01\% \pm 0.00 - 0.02\% \pm 0.00$ , valor mayor fue reportado por (Leonel et al., 2002) para almidón de achira de Brasil, cuyo valor fue 0.04. Los valores de acidez de las muestras de almidón evaluadas, presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ), excepto los ecotipos verde y morada de Cundinamarca que presentaron valores iguales. Para pH fueron encontrados valores entre  $6.53 \pm 0.01 - 6.77 \pm 0.01$ , los cuales no cumplen con el rango estipulado (5.5-6.0) por la Norma Técnica Colombiana NTC 3228 para almidón de achira. Sin embargo, valor similar fue reportado para variedad de almidón de *Canna edulis* de Brasil, cuyo valor fue de 6.31 (Leonel et al., 2002). En este orden de ideas, valores altos de pH en almidones, puede deberse a un crecimiento de hongos que libera amoniaco e incrementa el pH, y valores muy bajos se atribuyen a una fermentación ácida de los mismos (Aristizábal et al., 2007). Conocer el pH y la acidez en los almidones es importante, ya que determina posibles cambios en los productos durante el procesamiento o almacenamiento, generando fermentación que pueda producir alteraciones en estos (Bello, 2010).

#### **2.4.2 Contenido de amilosa, amilopectina y almidón total**

La Tabla 2-1 muestra el contenido de amilosa, amilopectina y almidón total de los ecotipos de almidón de achira. El contenido de amilosa varió de 21.24% para ecotipo nativa de Huila, a 31.71% para ecotipo negra de Nariño. Estos resultados son similares a valores de 24% y 30.75% reportados por (Fonseca-Flrido et al., 2016; Santacruz, 2005) para almidón de achira de Bolivia y Cauca Colombia, respectivamente. Sin embargo, valores un poco más altos

fueron reportados por (Cisneros et al., 2009) cuyo porcentaje de amilosa fue de 33 y 39% para dos ecotipos de Perú. Para almidones de otras fuentes de raíces y tubérculos, como yuca, papa y ñame han sido reportado valores de amilosa de 17%, 25.90% y 27.50%, respectivamente (Hernández-Medina et al., 2008; Jiménez-Hernández et al., 2007; Pacheco et al., 2009). Esta amplia variación en el contenido de amilosa, podrían atribuirse a las características intrínsecas de cada ecotipo, a condiciones de crecimiento, y a la edad del cultivo (Peroni et al., 2006; Quiroga, 2009).

El método analítico de cuantificación, también puede afectar en gran medida el contenido de amilosa. Por ejemplo, se han observado diferencias en el contenido de amilosa para almidón de *Canna edulis*, medido con titulador potenciométrico (31,7%) y por método colorimétrico (19,23%) (Peroni et al., 2006; Ren, 2017). Por lo tanto, el método de cuantificación debe tenerse en cuenta al comparar el contenido de amilosa de diferentes estudios. El contenido de amilosa es un elemento importante que afecta las propiedades fisicoquímicas del almidón, que determinan sus diversas aplicaciones en la industria y las características de los productos finales (Zhang et al., 2018). De acuerdo con los resultados, en este estudio no se presentaron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, todos los ecotipos mostraron alto contenido de amilosa. La presencia de altos niveles de amilosa mejora la funcionalidad de los almidones, por ejemplo, se ha demostrado que a mayor contenido de amilosa, mayor capacidad de formación de película del almidón para uso en empaques y conservación de alimentos (Quiroga, 2009).

El contenido de amilopectina para todos los ecotipos de almidón fue relativamente alta oscilando entre  $68.29 \pm 7.40$  % y  $78.76 \pm 0.26$  %, siendo menor y mayor para el ecotipo de Nariño y ecotipo de Huila, respectivamente. Esta característica hace que el almidón del ecotipo de Huila quien obtuvo mayor valor, sea una fuente valiosa para la industria de alimentos, debido a que la amilopectina genera geles espesos y estables, que no se retrogradan fácilmente al enfriarse. Además, el poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad de su contenido de amilopectina, lo que está de acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo donde el ecotipo Huila presentó mayor poder de hinchamiento. Por otra parte, estudios con almidón de achira (*Canna edulis*) han reportado valores más bajos de amilopectina 65.18% y 53.00% para almidón procedente de Bolivia e Indonesia, respectivamente (Aprianita et al., 2014; Quiroga, 2009). Y valor más alto para almidón de achira procedente de Venezuela (86.23%) (Pérez and Lares, 2005).

Esta diferencia podría atribuirse principalmente a la fuente botánica, y características inherentes del ecotipo al que corresponda el almidón.

Con respecto al contenido de almidón total, como era de esperarse se encontraron porcentajes altos para todos los ecotipos estudiados cuyo rango osciló entre  $73.50 \pm 2.51$  y  $85.56 \pm 11.60$  y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras. Otros estudios con almidón de achira (*Canna edulis*) han informado valores similares de almidón total de 88.53% para almidón procedente de Brasil (Leonel et al., 2002), y 86.59-87.33% y 88.10% para almidón procedente de Indonesia (Aprianita et al., 2014; Carolina and Ilmi, 2016). La pureza del almidón está relacionada con su contenido de almidón total, es así como una purificación adicional en un almidón puede aumentar su cantidad de almidón total (Aprianita et al., 2014). En general, en diversas investigaciones han demostrado que todos los almidones contienen porcentajes de almidón total que oscilan entre 75-89%, dependiendo de la fuente del almidón. Las diferencias en este rango, podrían deberse a múltiples factores, como la madurez de las raíces y tubérculos en la cosecha, el origen botánico, y los métodos analíticos, entre otros factores (García et al., 2013).

### 2.4.3 Propiedades fisicoquímicas

- **Análisis de color**

Los parámetros ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , e Índice de blancura IB) del almidón de achira son mostrados en la Tabla 2-1. Los valores obtenidos mostraron diferencias estadísticamente significativas. El parámetro  $L^*$  es el que mejor caracteriza la blancura del almidón. Como esta coordenada toma un valor máximo de 100 para un color netamente blanco, los valores de  $L^*$  ( $90.78 \pm 0.22$  –  $91.88 \pm 0.22$ ) obtenidos se acercaron a ese valor, lo que indica que todos los ecotipos de almidón de achira, presentaron un color blanco puro. Lo que está de acuerdo y se relaciona con el alto índice de blancura ( $92.57 \pm 0,06$  - $93.41 \pm 0,04$ ) determinados en este estudio. El índice de blancura es una medida de amplio uso, que da cuenta de la calidad del almidón de achira, teniendo en cuenta que la blancura es una propiedad física primordial de los almidones y en muchas aplicaciones, como en la industria textil y del papel, esta característica es muy importante como parámetro de calidad (García et al., 2013).

De acuerdo a los resultados, el almidón ecotipo Negra de Nariño es ligeramente más blanco que los otros ecotipos de Huila y Cundinamarca, con un valor máximo  $L^*$  de  $91.88 \pm 0.22$ . Para variedades asiáticas de almidón de *Canna edulis*, ha sido reportado valores similares de blancura ( $89.9-91.5$ ) (Piyachomkwan et al., 2002b). En otro estudio para almidón de yuca, se reportó un mayor valor de índice de blancura ( $95,92- 96,06$ ) (García et al., 2013), esta diferencia podría estar asociada por la presencia de compuestos fenólicos, ácido ascórbico y caroteno, dependiendo de la fuente de extracción del almidón, lo cual tiene un impacto en su calidad. Cualquier pigmentación en el almidón se transfiere al producto final y esto reduce su calidad (Jan et al., 2017b). El tamaño de partícula también está relacionado con el color de los almidones, gránulos pequeños impiden la lixiviación de los componentes productores de color debido a su menor área superficial, contribuyendo con ello a menores valores de  $L^*$  y almidones con mayor tamaño de partícula y mayor distribución de gránulos presentan pureza máxima y por lo tanto valores más altos de  $L^*$  (Mohiuddin et al., 2016). Lo anterior está de acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación.

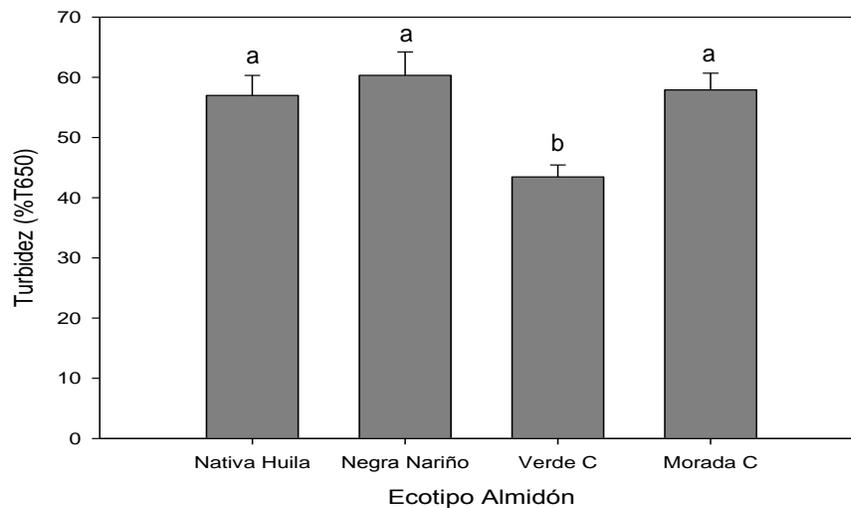
De acuerdo con la Tabla 2-1, no hay una contribución significativa de los valores de  $a^*$  ( $0.16-0.51$ ) y  $b^*$  ( $5.17-6.03$ ) con relación al parámetro  $L^*$  ( $90.78-91.88$ ) a la blancura del almidón. Por tal razón, el parámetro  $L^*$  es el que mejor caracteriza la blancura del almidón. Sin embargo, el valor de  $b^*$  para todas las muestras indica que los almidones presentan un ligero color blanco amarillento. Los resultados arrojan diferencias significativas entre estos parámetros, lo que indica que si existen diferencias de las tonalidades entre los almidones de diferente origen.

- **Claridad del gel**

Los resultados de la transparencia de los geles de almidón de achira, expresados en porcentaje de transmitancia son mostrados en la Figura 2-1. Una característica importante en muchas aplicaciones de almidones en los sistemas alimentarios es la claridad del gel (Waterschoot et al., 2014). La transmitancia de luz del almidón gelatinizado puede usarse para indicar la claridad del gel de almidón que varía considerablemente con la fuente de almidón (Thitipraphunkul et al., 2003b). Se puede observar en los resultados el mayor valor de transmitancia para el ecotipo de Nariño ( $60.33 \pm 3.85$ ) y el menor valor para el ecotipo verde Cundinamarca ( $43.44 \pm 1,98$ ). Mayores valores de transmitancia indican mayor claridad del gel, es decir, menor opacidad.

Los cuatro ecotipos estudiados poseen almidones con geles claros o transparente, teniendo en cuenta que geles de almidones que tengan valores de transmitancia menores 40% se consideran como opacas o turbias y geles de almidones que tengan valores de transmitancia mayores de 40% se consideran como claras o transparentes (Aristizábal et al., 2007). Estadísticamente se encontró diferencia significativa entre los ecotipos analizados, donde el ecotipo morada de Cundinamarca fue diferente al resto.

**Figura 2-1:** Claridad del gel de cuatro ecotipos de almidón de achira (*Canna edulis*). T650: Transmitancia a 650 nanómetros



Teniendo en cuenta los resultados, valores similares fueron reportados para almidón de *Canna edulis* variedades verde y morada de Tailandia, Japón y China, cuyo valor de transmitancia osciló entre 43.55 y 51.30% (Piyachomkwan et al., 2002b). Valores más altos entre 47 y 79% fue reportado por (Thitipraphunkul et al., 2003b) para almidón de achira de Tailandia. Para almidones de otras fuentes vegetales se ha reportado porcentajes de transmitancia de 51.76% para almidón de yuca (Hernández-Medina et al., 2008), 10% para almidón de ñame (Pacheco et al., 2009), 11% para almidón de plátano (Rivas, 2012) y 22% para almidón de maíz (Tovar, 2008). Un alto porcentaje de transmitancia, se ha relacionado con muchos factores, como la concentración del almidón, la estructura de los gránulos y tamaño de los mismos (Deepika et al., 2013).

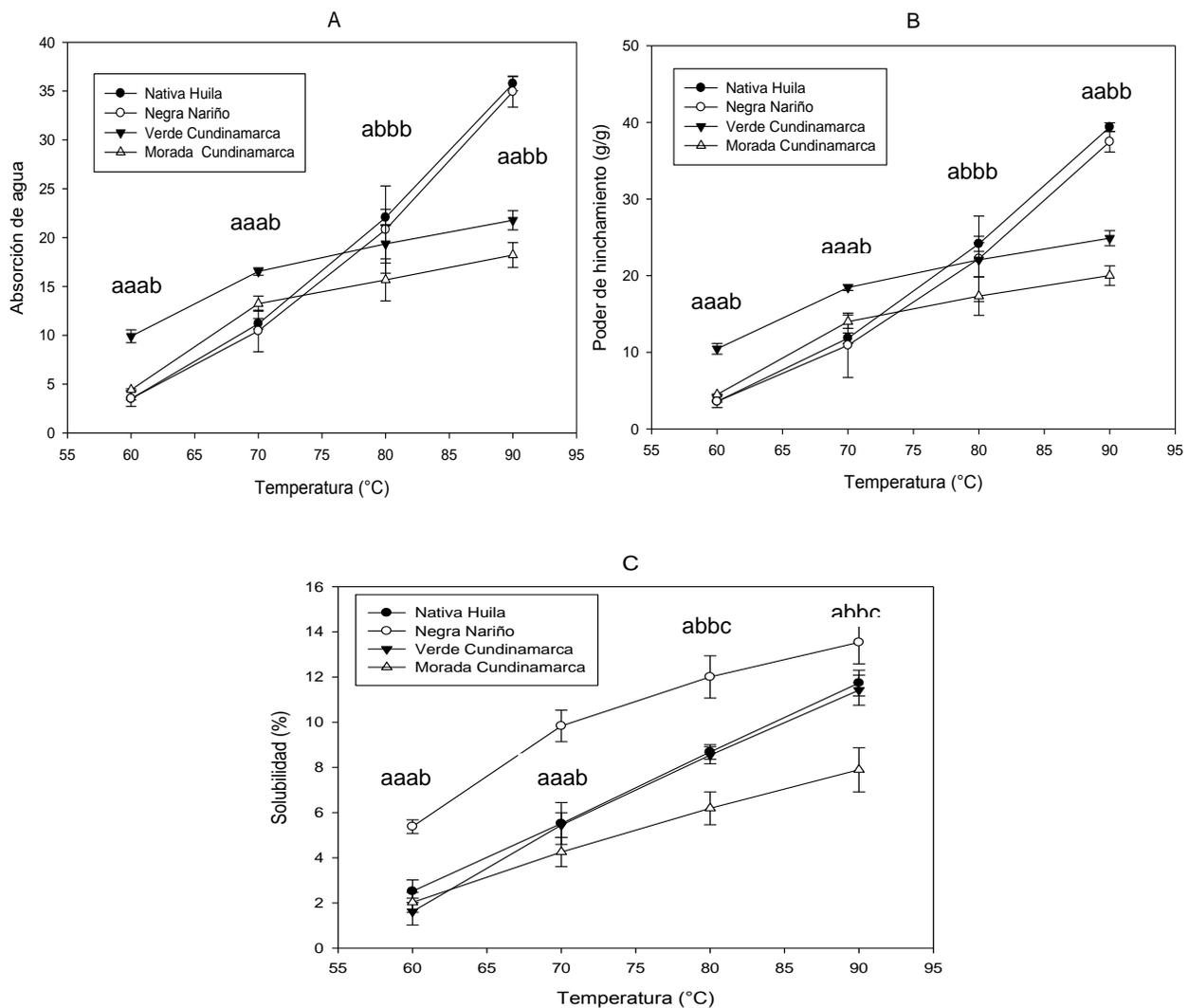
Así mismo, la alta claridad de los geles podría deberse al alto contenido de amilosa, que conduce a un menor grado de asociación molecular del almidón, dando como resultado una mayor transmitancia (Thitipraphunkul et al., 2003a), esto se correlaciona positivamente con los resultados obtenidos. Las diferencias encontradas en los porcentajes de transmitancia de los almidones evaluados, podría deberse a la fuente del almidón, así como la variación en la penetración de agua y la absorción de los gránulos de almidón, dando como resultado menor o mayor transmitancia de la luz (Gani et al., 2010).

La claridad del gel es uno de los atributos importantes para el aprovechamiento del almidón como materia prima; 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. Por ejemplo, los almidones que presentaron los valores más altos de transmitancia ( $T > 40\%$ ), como el ecotipo de Nariño e incluso el ecotipo morado de Cundinamarca, podrían ser utilizados en alimentos como mermeladas, gelatinas, y en confitería para la elaboración de gomitas, etc. Mientras que almidones opacos ( $T < 40\%$ ) pueden ser utilizados en alimentos poco transparentes, como las mayonesas, los productos cárnicos, las bebidas concentradas tipo néctar o los productos de panificación.

- **Índice de absorción de agua, poder de hinchamiento y porcentaje de solubilidad**

Los parámetros de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones a diferentes temperatura ( $60^{\circ}\text{C}$ - $90^{\circ}\text{C}$ ) son mostrados en la Figura 2-2.

**Figura 2-2:** Absorción de agua (A) Poder de hinchamiento (B) y % de solubilidad (C) de almidón de achira (*Canna edulis*) a diferentes temperaturas



Si se aumenta la temperatura de una solución de almidón, se aumentará la cantidad de agua absorbida con la consecuente hidratación de los gránulos de almidón (Bello, 2010). Se puede apreciar que a partir de los 70°C se nota un aumento significativo de la absorción de agua para el ecotipo nativo de Huila y ecotipo negra de Nariño, hasta alcanzar los 90°C. Los gránulos del almidón del ecotipo nativo de Huila se resisten al hinchamiento a temperaturas menores de 70°C, por presentar la mayor temperatura de gelatinización (65.49 °C), entre los 70°C y 90 °C, los gránulos de todos los almidones se hinchan gradualmente a medida que aumenta la temperatura, dado que la ruptura de los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas, permiten una absorción irreversible y progresiva del agua (Huang et al., 2015). Los dos ecotipos verde y morada de Cundinamarca, presentaron comportamiento semejante, mostrando un incremento de la absorción de agua a partir de los 60°C.

Por otro lado, el almidón ecotipo nativo de Huila fue el que presentó mayor capacidad de absorción de agua (35.74 g de agua/g de almidón) a 90 °C. (Bello, 2010) señala que la cantidad de agua que puede ser absorbida y retenida por las moléculas de almidón depende de varios factores, como son la estructura química, el tamaño granular y la temperatura.

El poder de hinchamiento es una propiedad que la amilopectina le confiere al gránulo y que la amilosa actúa como un diluyente e inhibidor de este proceso (Bello, 2010). Debido a lo anterior, el almidón ecotipo nativo de Huila fue el que presentó mayor poder de hinchamiento (39.37 g de agua/g de almidón a 90°C) con el menor contenido de amilosa (21.24%). Un estudio comparativo mostró que el poder de hinchamiento del almidón de *Canna edulis* fue el más bajo con respecto a otros almidones y lo atribuían al alto contenido de amilosa (Van Hung and Morita, 2005). Por otra parte, de 80°C a 90°C, el ecotipo nativo de Huila y negra de Nariño fueron los que presentaron mayor poder de hinchamiento. Este resultado también está relacionado con el mayor tamaño de sus gránulos y está de acuerdo con lo reportado por (Fonseca-Florido et al., 2016). Los almidones de raíces y tubérculos se caracterizan por presentar alto poder de hinchamiento (Waterschoot et al., 2014).

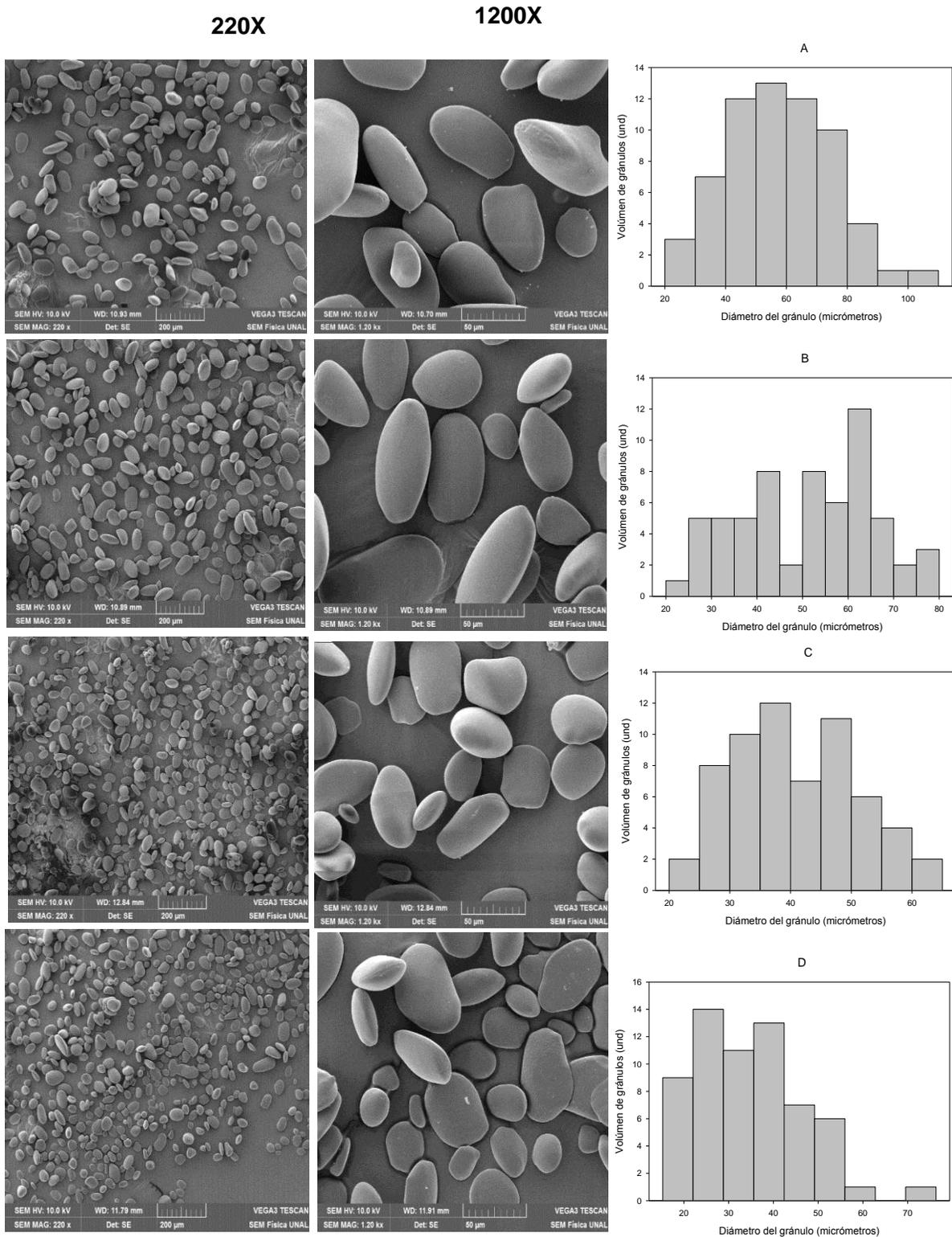
En cuanto a los patrones de solubilidad que se muestran en la Figura 2-1 (C), se puede observar que la solubilidad también aumenta conforme se incrementa la temperatura a la que se somete el almidón. El almidón ecotipo Nariño obtuvo los valores más altos de sólidos solubles para todas las temperaturas evaluadas. No obstante el ecotipo morada de Cundinamarca presentó los valores más bajos de solubilidad. Una mayor solubilidad del ecotipo Nariño, se puede atribuir a la presencia de un mayor contenido de amilosa (31.71%) en comparación con los otros ecotipos de almidones (Soni et al., 1990); debido a que una vez estén hinchados los gránulos de almidón permiten la exudación de la amilosa, favoreciendo así la solubilidad de los mismos. Los resultados de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad del almidón pueden verse afectados por el método de cuantificación y las condiciones experimentales (Mollega, 2007). Por ejemplo, en diferentes informes, para almidón de achira emplearon diferentes condiciones de centrifugación y los resultados fueron diferentes (Huang et al., 2015; Santacruz et al., 2002; Wickramasinghe et al., 2009; Zhang et al., 2010b). Por lo tanto, sólo los datos del mismo estudio son significativos para comparación (Zhu, 2017b).

#### 2.4.4 Morfología y tamaño de los gránulos

Las micrografías electrónicas de barrido de gránulos de los diferentes ecotipos de almidón de *Canna edulis* se muestran en la Fig. 2-3. Se puede observar la morfología de los gránulos, en las cuales predomina la forma de disco y forma ovalada con una superficie lisa. También se puede notar la presencia de gránulos con forma más circulares e irregulares. La superficie lisa indica que durante el proceso de extracción del almidón, no sufrió daños. Se han reportado observaciones similares para almidón nativo de *Canna edulis* de Vietnam (Puncha-arnon et al., 2007; Watcharatewinkul et al., 2009b), Bolivia (Quiroga, 2009), China (Huang et al., 2015), Ecuador (Santacruz et al., 2002) y Brasil (Andrade Mahecha et al., 2012). En cuanto al tamaño de los gránulos, en la figura 2-3, se muestra la distribución de frecuencias de tamaños para los ecotipos de almidón estudiados. El ecotipo nativo de Huila presentó una mayor distribución de tamaños de 24.40-102.53  $\mu\text{m}$  con un tamaño promedio de  $58.90 \pm 17.59 \mu\text{m}$ , y el ecotipo morada de Cundinamarca presentó una menor distribución de tamaño de 15.28-76.34  $\mu\text{m}$  con un tamaño promedio de  $34.97 \pm 12.42$  (Tabla 2-2). La alta variabilidad entre los tamaños se debe a presencia de gránulos con formas irregulares que se evidencia también con el alto valor de la desviación estándar.

Valores similares fueron reportados por (Quiroga, 2009) para almidón de *Canna edulis* de Bolivia, cuya distribución de tamaño fue de 25-100  $\mu\text{m}$ . (Santacruz, 2005), observó un rango de tamaño entre 35-101  $\mu\text{m}$  para almidón de Ecuador y (Thitipraphunkul et al., 2003a) una distribución entre 10 y 100  $\mu\text{m}$  para variedades asiáticas. Así mismo, (Srichuwong et al., 2005) reportaron un tamaño promedio de  $38.7 \pm 30.2 \mu\text{m}$  para almidón de Indonesia y (Fonseca-Florido et al., 2016) una distribución de 25.7 a 67.1  $\mu\text{m}$  para variedad de Popayán Colombia. Con respecto al tamaño promedio de los gránulos de todos los ecotipos de almidón de achira estudiados, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Las diferencias o variaciones en tamaño y forma de los gránulos de almidón pueden ser atribuibles al origen biológico, a las prácticas de cultivo y a la fisiología de la planta. La distribución del tamaño de partícula de los almidones es una característica de calidad y las diferencias tienen notable efecto en sus propiedades fisicoquímicas (Leonel, 2007). Este parámetro es importante para determinar la idoneidad del almidón para ciertas aplicaciones alimentarias; por ejemplo, los almidones que tienen pequeño tamaño de partícula, podrían ser usados para varios productos alimenticios, especialmente aquellos que requieren una textura suave (Aprianita et al., 2014). Y almidones con gránulos grandes pueden generar alta viscosidad, por lo cual podrían ser usados en la elaboración de salsas, sopas, postres, productos a base de cremas, mermeladas, entre otros.

Figura 2- 3: Micrografías electrónicas de barrido de los ecotipos de almidón de achira.



(A) Ecotipo nativa Huila (B) Ecotipo negra Nariño (C) Ecotipo verde Cundinamarca (D) Ecotipo morada Cundinamarca y sus distribuciones de tamaño.

En la tabla 2-2 se puede apreciar el tamaño global y clasificación de tamaños de gránulos para cada almidón objeto de estudio. Existe una clasificación de tamaños de gránulos donde las partículas con un tamaño inferior a 10, entre 10-30  $\mu\text{m}$  y más de 30  $\mu\text{m}$  se conocen como partículas pequeñas, medianas y grandes, respectivamente (Ren, 2017). En este orden de ideas, para los almidones analizados en este trabajo el mayor porcentaje de gránulos corresponde en tamaño a partículas grandes; excepto el almidón ecotipo morada de Cundinamarca que obtuvo un 40.32% para partículas medianas y un 59,68% para partículas grandes.

En general, los resultados arrojaron diferencias en el tamaño de gránulos de los almidones estudiados, siendo el ecotipo morada de Cundinamarca quien presentó menor valor (34.69  $\mu\text{m}$ ). Este resultado indica que este ecotipo es apto para matrices alimentarias que requieran texturas ligeras o suaves, y en productos de panificación todos los ecotipos han mostrado características deseables. Para almidones de otras fuentes vegetales, se han observado forma ovalada alargada y distribución de tamaño de gránulo de 10-40  $\mu\text{m}$  para almidón de plátano (Rivas, 2012), forma esférica y distribución de tamaño de gránulo de 8-22  $\mu\text{m}$  para almidón de yuca (Hernández-Medina et al., 2008), forma poliédrica y distribución de tamaño de gránulo de 7-28  $\mu\text{m}$  para almidón de maíz (Tovar, 2008), forma redonda y elipsoidal y distribución de tamaño de gránulo de 2-10  $\mu\text{m}$  para almidón de ñame (Pacheco et al., 2009).

**Tabla 2- 2:** Características de tamaño de gránulo de los diferentes ecotipos de almidón de achira (*Canna edulis*)

Ecotipo Almidón	Tamaño global ( $\mu\text{m}$ )	Porcentaje de distribución (%)		
		Gránulos pequeños (<10 $\mu\text{m}$ )	Gránulos medianos (10-30 $\mu\text{m}$ )	Gránulos grandes (>30 $\mu\text{m}$ )
Nativa Huila	24.40-102,53	0	4.84	95.16
Negra Nariño	24.99-77.18	0	9.68	90.32
Verde Cundinamarca	21.00-61.95	0	16.13	83.87
Morada Cundinamarca	15.28-76.34	0	40.32	59.68

Los valores presentados son la media  $\pm$  desviación estándar. a-b-c Valores diferentes dentro de una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

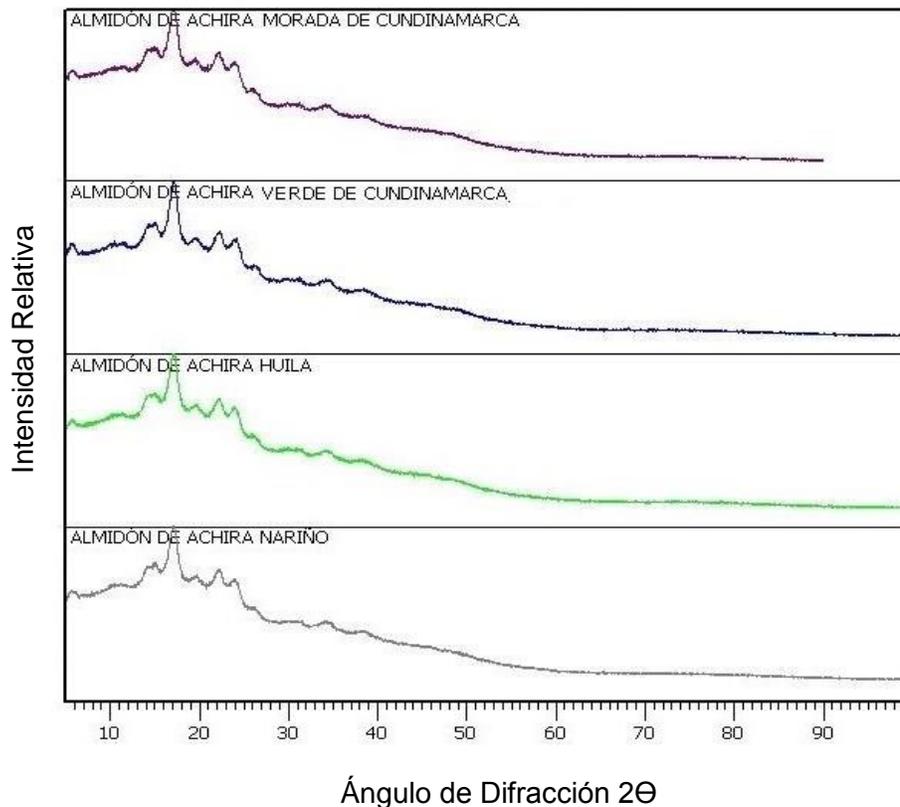
### 2.4.5 Difracción de rayos X

Los almidones presentan estructuras cristalinas y no cristalinas. Las cadenas de amilopectina son las responsables de la región cristalina dentro del gránulo, mientras que la región amorfa está formada por la amilosa y algunos puntos ramificados de amilopectina. Las diferentes conformaciones de amilosa y amilopectina pueden estar presente en los estados amorfos o cristalinos, esto debido a que la organización estructural del gránulo de almidón es muy complicada y depende fuertemente del origen botánico. Esas estructuras dan como resultado un patrón típico de difracción de rayos X, dependiendo de la fuente del almidón. Los difractogramas de los almidones nativos de *Canna edulis* de los cuatro ecotipos estudiados, se muestran en la figura 2-4. Todos los almidones de *Canna edulis* de los diferentes ecotipos analizados en este estudio, mostraron un patrón de difracción de rayos X de tipo B, por lo cual no hay diferencia en la difracción de los ecotipos estudiados. Este patrón es típico de almidones de raíces y tubérculos y se caracteriza por un pico pequeño en 5.6°, un solo pico en 17° y un doble pico a los 22 y 24°.

Los gránulos de almidón presentan diferentes tipos de cristalinidad que se ven reflejados en los diferentes patrones de difracción; estos patrones dependen de la longitud de las cadenas y las ramificaciones de la amilopectina. Por ejemplo, el patrón tipo B de los ecotipos de almidón en estudio, se caracteriza por presentar menor grado de ramificación y longitudes de cadenas largas en la molécula de amilopectina en comparación con almidones de otras fuentes tipo A. Los resultados de este trabajo concuerda con lo reportado en otros estudios para almidón nativo de *Canna edulis* de Vietnam (Puncha-arnon et al., 2007; Van Hung and Morita, 2005; Watcharatewinkul et al., 2009b). Autores sugieren que las diferencias en los patrones de difracción de rayos X, se deben principalmente al ordenamiento de las dobles hélices de amilopectina (Millán, 2009).

Cabe destacar, que diferentes autores han estado de acuerdo en que la forma y tamaño de los gránulos de almidón y la relación amilosa/amilopectina de los mismos, influye en las propiedades funcionales de los almidones. Sin embargo, la distribución de tamaño de los ecotipos de almidón estudiados no guarda relación alguna con el patrón de difracción encontrado.

**Figura 2- 4:** Espectros de difracción de rayos X de diferentes ecotipos de almidón nativo de *Canna edulis*



Para almidones de otras fuentes vegetales, ha sido reportado patrón de difracción de rayos X tipo B para almidón de papa, ñame, tipo A para almidón de arroz, maíz y trigo y tipo C para almidón de plátano (Correa et al., 2016; Ren, 2017; Rendón et al., 2014; Yu et al., 2016).

#### 2.4.6 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El proceso de gelatinización es la pérdida del orden molecular que se manifiesta dentro del gránulo del almidón (Quintero et al., 2013). Los resultados de la transición térmica de los cuatro ecotipos de almidón de *Canna edulis*, determinados por DSC se muestran en la figura 2-5 y sus correspondientes parámetros se presentan la Tabla 2-3. En los termogramas el proceso representado empieza con una temperatura inicial ( $T_0$ ), seguido de una temperatura de pico ( $T_p$ ), que es la temperatura donde se registran los valores más altos de absorción de calor y en este punto la muestra comienza a pasar a un estado gomoso debido al inicio de la ruptura de los gránulos de almidón.

Y por último una temperatura de finalización ( $T_c$ ) de gelatinización, que se presenta a medida que el proceso finaliza y el sistema regresa a un estado en el cual no hay cambios en la fase ni en la composición de la muestra. La energía necesaria para completar el proceso se conoce como entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ).

**Tabla 2- 3:** Propiedades térmicas de los cuatro ecotipos de almidón nativo de *Canna edulis*

Ecotipo Almidón	Gelatinización (°C) <sup>a</sup>			$\Delta H$ (J/g) <sup>b</sup>
	$T_o$	$T_p$	$T_c$	
Nativa Huila	63.06 ± 1.50 <sup>a</sup>	65.64 ± 0.21 <sup>a</sup>	71.10 ± 1.39 <sup>a</sup>	2.898 ± 0.01 <sup>a</sup>
Negra Nariño	61.17 ± 1.51 <sup>b</sup>	63.35 ± 0.13 <sup>b</sup>	67.88 ± 1.27 <sup>b</sup>	1.038 ± 0.001 <sup>b</sup>
Verde Cundinamarca	62.49 ± 1.44 <sup>c</sup>	64.35 ± 0.33 <sup>c</sup>	67.65 ± 0.58 <sup>c</sup>	0.618 ± 0.00 <sup>c</sup>
Morada Cundinamarca	62.05 ± 0.27 <sup>c</sup>	64.47 ± 0.64 <sup>c</sup>	68.22 ± 0.32 <sup>c</sup>	3.553 ± 0.003 <sup>d</sup>

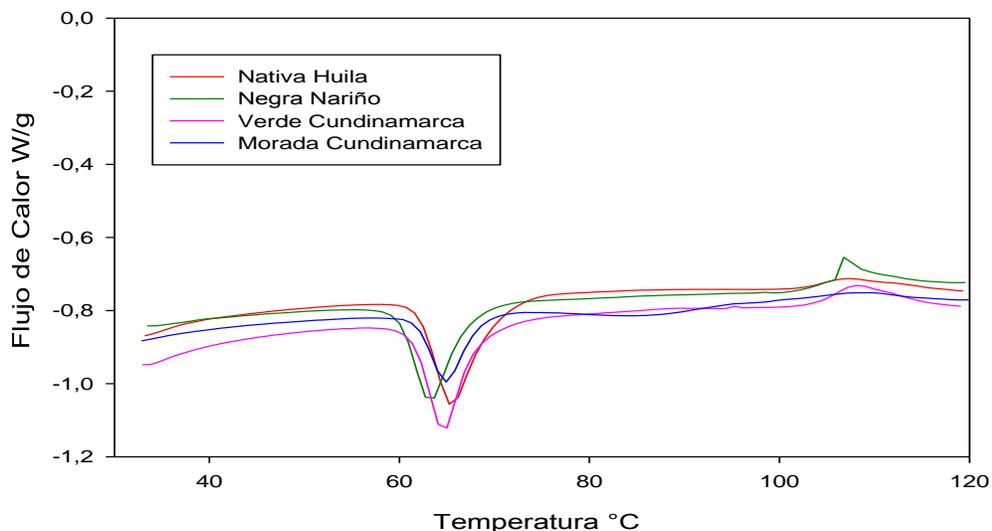
<sup>a</sup> Temperatura de transición:  $T_o$  (temperatura de inicio);  $T_p$  (temperatura máxima);  $T_c$  (temperatura final). <sup>b</sup> Cambio de entalpía. Los valores presentados son la media ± desviación estándar. Los valores presentados son la media ± desviación estándar. a-b-c Valores diferentes dentro de una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

Las temperaturas de gelatinización ( $T_o$ ) de los almidones presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), donde el ecotipo nativo de Huila y negra de Nariño fueron los que presentaron las transiciones de fases más alta y baja, con una temperatura de gelatinización de 65.64 °C y 63.35 °C, respectivamente. Las temperaturas de gelatinización podrían estar relacionadas con el contenido de amilosa, aunque esto ha sido muy contradictorio. Sin embargo, diversos autores han concluido que los almidones que tenían menor contenido de amilosa mostraban mayores temperaturas de transición. Lo anterior está de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, donde el ecotipo nativo de Huila y ecotipo de Nariño, quienes mostraron los valores más alto y bajo de temperatura de gelatinización son precisamente los que tienen los contenidos más bajo y alto de amilosa 21.24 y 31.71%, respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, valores similares de temperaturas de gelatinización se han reportado para almidón de achira, por ejemplo, (Santacruz et al., 2003) informaron para ecotipo de Ecuador un  $T_p$  de 61.2 °C y (Fonseca-Florido et al., 2016) analizaron ecotipo de Cauca Colombia con  $T_p$  de 63.30 °C. Valores un poco mayor fueron informados por (Piyachomkwan et al., 2004) para ecotipos de Tailandia con  $T_p$  de 68.7 °C y (Huang et al., 2015) reportaron para ecotipo de China un  $T_p$  de 67.8°C.

Para almidones de otras fuentes como yuca, papa y ñame han sido reportado temperaturas de gelatinización de 65.2°C, 69°C y 80 °C, respectivamente (Hernández-Medina et al., 2008; Pacheco et al., 2009).

**Figura 2- 5:** Termogramas de los ecotipos de almidón nativo de *Canna edulis* medidos por DSC



Las diferencias en temperaturas de gelatinización de los almidones han sido atribuidas a la interacción de la composición, la arquitectura del gránulo y la estructura molecular de la amilopectina (López et al., 2014). Con respecto a la temperatura de inicio ( $T_0$ ), autores han sugerido que está relacionada con un alto orden molecular, dado por las longitudes de cadena de la amilopectina, debido a que las regiones amorfas de la amilopectina son más difíciles de hidratar y consecuentemente el inicio del hinchamiento y gelatinización se retarda (Rivas, 2012). Así mismo, las entalpías de gelatinización oscilan entre 0.618 J/g y 3.553 J/g, para los ecotipos verde y morada de Cundinamarca, respectivamente. Se encontraron diferencias significativas entre los ecotipos evaluados, las cuales pueden deberse a la conformación estructural de los gránulos de almidón, ya que un incremento de la entalpía se asocia con una mayor proporción de cadenas largas, las cuales otorgan estabilidad estructural al gránulo. El mayor valor obtenido para el ecotipo morada de Cundinamarca, indica que este almidón necesita mayor calor para cambiar de fase y la amilopectina presenta mayor orden molecular, así como mayor contenido de cristales, ya que la entalpía de gelatinización es una medida general de la cristalinidad del gránulo de almidón y es un indicador de la pérdida del orden molecular.

La variación en los resultados de todas las temperaturas de transición ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ) puede ser atribuida a las características agronómicas de los diferentes ecotipos de almidón, ya que estas tienen efecto importante en la estructura del gránulo (Rodríguez et al., 2001). También pueden estar influenciados por muchos factores, como la arquitectura molecular de la región cristalina, relación de amilosa/amilopectina, presencia de cadenas cortas de amilopectina, entre otros (Thitipraphunkul et al., 2003a).

### 2.4.7 Análisis Rápido de Viscosidad (RVA)

Los perfiles reológicos de almidones nativos de los cuatro ecotipos de achira (*Canna edulis*) estudiadas mediante análisis rápido de viscosidad (RVA), se muestran en la figura 2-6 y sus correspondientes parámetros se resumen en la tabla 2-4.

**Tabla 2- 4:** Parámetros de la viscosidad de la pasta de almidones nativos de *Canna edulis*

Ecotipo Almidón	T° de gelatinización (°C)	Viscosidad máxima (cP)	Viscosidad final (cP)	Breakdown (Descomposición-cP)	Setback (Retroceso-cP)
Nativa Huila	70.95 ± 0.56 <sup>a</sup>	13771.0 ± 398.80 <sup>a</sup>	4270.0 ± 275.77 <sup>a</sup>	10266.0 ± 5226.93 <sup>a</sup>	4224.5 ± 340.11 <sup>a</sup>
Negra Nariño	68.37 ± 0.74 <sup>b</sup>	13480.0 ± 478.00 <sup>a</sup>	5049.5 ± 50.20 <sup>b</sup>	13390.0 ± 479.41 <sup>a</sup>	4959.5 ± 51.61 <sup>b</sup>
Verde Cundinamarca	70.52 ± 0.17 <sup>a</sup>	14884.0 ± 33.94 <sup>b</sup>	3452.5 ± 187.38 <sup>c</sup>	9513.5 ± 1799.59 <sup>a</sup>	3357.5 ± 187.38 <sup>c</sup>
Morada Cundinamarca	70.10 ± 0.63 <sup>a</sup>	15606.0 ± 231.93 <sup>b</sup>	3637.0 ± 337.99 <sup>c</sup>	15289.5 ± 84.14 <sup>a</sup>	3590.5 ± 403.75 <sup>c</sup>

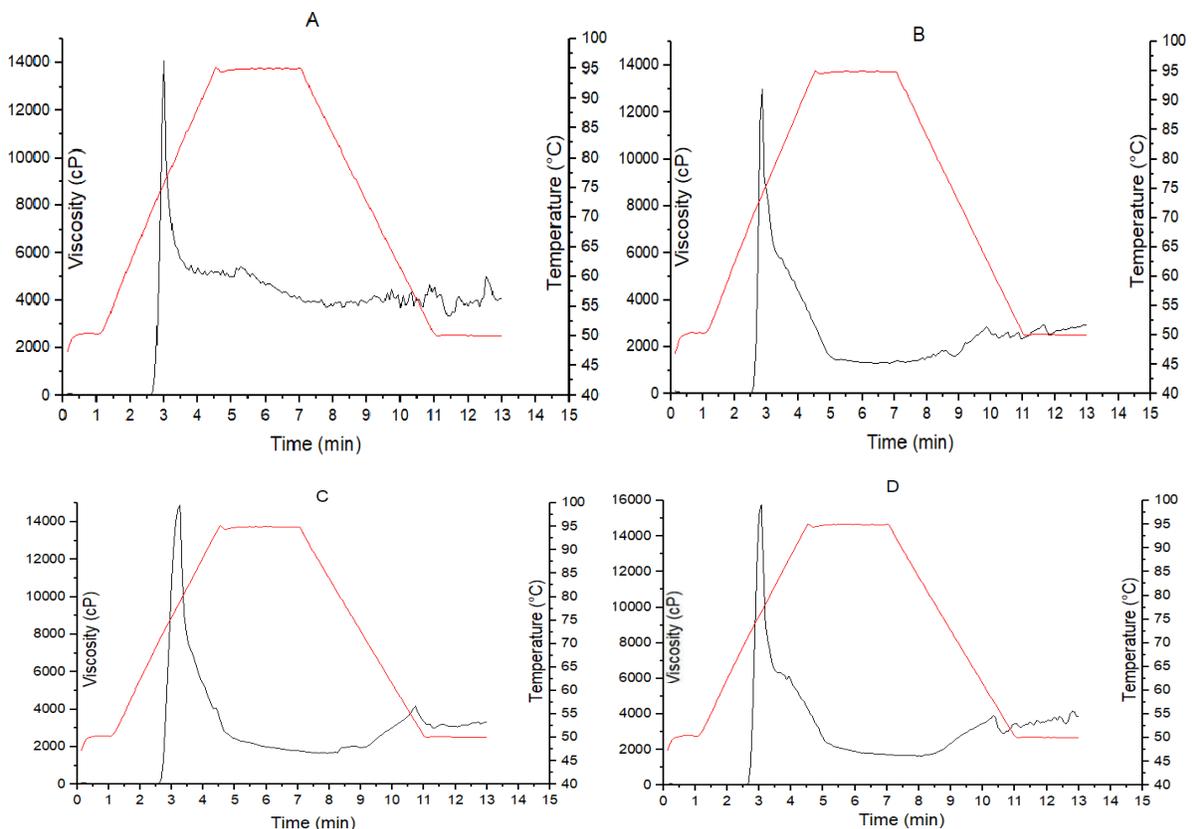
Los valores presentados son la media ± desviación estándar. a-b-c Valores diferentes dentro de una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

Las curvas mostraron que las temperaturas de inicio de gelatinización, donde los gránulos de almidón comienzan a hincharse, pierden cristalinidad y aumentan la viscosidad, fueron mayor para el ecotipo nativo de Huila y menor para el ecotipo Negra de Nariño, 70.95 y 68.37°C, respectivamente; este resultado está de acuerdo con lo obtenido para temperatura de gelatinización en el análisis DSC.

La viscosidad máxima de los almidones depende del poder de hinchamiento que tienen los gránulos; este valor fue mayor (15606.0 cP) y menor (13480.0 cP) para el ecotipo Morada

de Cundinamarca y ecotipo Negra de Nariño, respectivamente. El mayor valor del ecotipo morada de Cundinamarca destaca la alta viscosidad del almidón, lo que permite determinar un posible uso potencial como agente espesante en la elaboración de sopas o en productos que demandan altas viscosidades. Diferentes autores han sugerido que la amilopectina es la responsable de mantener la integridad del gránulo hinchado y por lo tanto su viscosidad máxima (García, 2013); esto explica el bajo valor de viscosidad máxima del ecotipo de Nariño, debido a que es el ecotipo con menor contenido de amilopectina. En cuanto a la viscosidad final, los valores obtenidos son menores que los valores de viscosidad máxima para todos los ecotipos estudiados. El almidón ecotipo de Nariño fue quien obtuvo el mayor valor de viscosidad final de 5049 cP. Este valor está directamente relacionado con la amilosa presente en el almidón, ya que durante la etapa de enfriamiento, es la encargada de formar mallas tridimensionales que conforman al gel formado tras la gelatinización; lo anterior está de acuerdo con el valor encontrado para el ecotipo de Nariño, lo que muestra que este almidón tiene resistencia débil contra la retrogradación, causada precisamente por su alto contenido de amilosa (31.71%).

**Figura 2- 6:** Perfil de viscosidad de ecotipos de almidón nativo de *Canna edulis* medidos por RVA



(A) Ecotipo nativa Huila (B) Ecotipo negra Nariño (C) Ecotipo verde Cundinamarca  
(D) Ecotipo morada Cundinamarca

La descomposición (breakdown) es un indicativo de estabilidad y resistencia de los geles frente al corte en diversos procesos industriales y representa la fragmentación de los gránulos, entre más bajo sea el valor muchos más estables son los geles a la fragmentación mecánica. El valor más bajo en este estudio fue de 9513.5 cP para almidón ecotipo verde de Cundinamarca, lo que indican que es un almidón con geles muy estables. Por otra parte, el retroceso ('setback') evalúa la reasociación de los polímeros de almidón solubles y los fragmentos granulares insolubles durante la fase de enfriamiento, que se asocia a la retrogradación. Entre más alto el valor, los almidones son más susceptibles de sufrir retrogradación, lo cual podría suceder en el almidón ecotipo de Nariño que obtuvo el mayor valor (4959cP). El contenido de amilosa también afecta el retroceso (setback) de los almidones, de manera que almidones con mayor contenido de amilosa muestran mayor valor de este parámetro (Thitipraphunkul et al., 2003a). Lo anterior concuerda con el resultado obtenido para el ecotipo de Nariño. En general, las diferencias en los perfiles de viscosidad observado en los cuatro ecotipos de almidón de *Canna edulis* evaluados en este trabajo, podría atribuirse principalmente a su diferencia en los contenidos de amilosa.

## 2.4.8 Conclusiones

Los almidones de achira (*Canna edulis*), de diferentes ecotipos procedentes de las tres principales regiones productoras de Colombia, tiene composición proximal y parámetros fisicoquímicos comparables con almidones de achira, procedentes de otras zonas geográficas del mundo. Los resultados del presente estudio mostraron que la humedad, cenizas, proteínas, grasa, acidez, color, amilosa, almidón total, absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad, analizados, son variables que pueden diferenciar a los almidones procedentes de una región frente a almidones de otra. El ecotipo nativo de Huila fue el almidón que presentó los valores más bajos de amilosa (21.24%), índice de blancura (92.57), contenido de grasa (0.002%), y proteínas (0.24%), así mismo, junto con el ecotipo de Nariño posee alta capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento y solubilidad; esta es una característica deseable que evitaría la sinéresis y estabiliza los productos elaborados con estos almidones. El ecotipo de Huila es el almidón con el tamaño promedio de gránulos más grandes (58.90  $\mu\text{m}$ ) y mayor temperatura de gelatinización (65.64°C). El ecotipo de Nariño posee el valor más alto de amilosa (31.71%), mayor claridad del gel (T: 60.33%), y contenido de grasa (0.005%). Aunque cuenta con gránulos grandes (51.22  $\mu\text{m}$ ), posee la temperatura de gelatinización y viscosidad máxima más baja (63.25°C) y (13480 cP), respectivamente.

Los ecotipos verde y morada de Cundinamarca comparten características similares, como alto contenido de amilosa (26.48-29.97%), gránulos de menor tamaño (34.69-40.87µm) y temperaturas de gelatinización relativamente altas (64.35-64.47°C) y menor capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento y solubilidad. Sin embargo, el ecotipo morada mostró mayor índice de blancura y claridad del gel con respecto al ecotipo verde. Los resultados de este estudio también mostraron que no existen diferencias en el patrón de difracción de rayos X para todos los ecotipos de almidón estudiados, este corresponde a un patrón de difracción de almidones proveniente de raíces y tubérculos como la achira. La alta viscosidad de todos los almidones es una característica importante porque puede ser útil, especialmente en aplicaciones donde se requiere un alto poder espesante.

Por todas las características mencionadas, aunque todos los ecotipos estudiados resultan interesantes para una variedad de aplicaciones industriales, estas aplicaciones dependerán de las propiedades inherentes al ecotipo estudiado. Las propiedades estudiadas podrían dar alguna ventaja con respecto a los almidones modificados utilizados actualmente en la producción o fabricación de productos. Un mayor conocimiento y difusión de las características del almidón de achira (*Canna edulis*) podría extender sus usos potenciales y a su vez incentivar el cultivo de esta raíz a gran escala para la extracción del almidón de la misma.

#### **2.4.9 Referencias bibliográficas**

- AACC, 2000a. AACC Method 76-13.01. Total Starch Assay Procedure (Megazyme Amyloglucosidase/alpha-Amylase Method). Doi: 10.1094/AACCIntMethods
- AACC, 2000b. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser.
- Acosta, A., Blanco, C., Matiz, G., 2013. Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria. Almidones Nativ. Colomb. Universidad de Cartagena.
- Acuña Pinto, H.M., 2012. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados 80.
- Agronet, 2016. Estadísticas agrícolas: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo [WWW Document]. Red Inf. y Comun. del Sect. Agropecuario Colomb. Agric. y Desarro. Rural.
- Agudelo, J., Sepulveda, J., Restrepo, D., 2014. Efecto de la adición de dos tipos de almidones en las propiedades texturales de queso análogo. Rev. Fac. Nacional Agron. Medellín 68, 7545–7555. doi:10.15446/rfnam.v68n1.47843

---

Anderson, R.A., Conway, H.F., Peplinski, A.J., 1970. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch - Stärke J.* 22, 130–135. doi:10.1002/star.19700220408

Andrade Mahecha, M.M., Tapia Blácido, D.R., Menegalli, F.C., 2012. Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. *Starch/Staerke J.* 64, 348–358. doi:10.1002/star.201100149

AOAC, 2012. *The Official Methods of Analysis*, 19th ed. Kenneth Helrich International,

AOAC.

- Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., Kasapis, S., 2014. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *J. Food Sci. Technol.* 51, 3669–3679. Doi:10.1007/s13197-012-0915-5
- Aristizábal, J., Sánchez, T., Mejía, D., 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma. Doi: 9253056770-9789253056774
- Baixauli, R., 2007. Influencia de la adición de un ingrediente funcional en la calidad de un producto de bollería. Aspectos reológicos y texturales y su relación con la aceptación sensorial.
- Bello, L., 2010. Extracción, purificación y caracterización del almidón de 21 clones del banco de germoplasma de musáceas del Inia. Elaboración de un producto tipo pudín. Universidad Central de Venezuela.
- Bernabè, C., 2009. Influencia de los componentes de la harina en la panificación. Parte 1. Almidón. Reportaje, *Panor. Panad.* 357, 4.
- Borries, E., 2014. Caracterización y estudios de digestión in vitro de extrudidos de almidón-goma guar. Instituto Politecnico Nacional.
- Caicedo, G., 2004. El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor. *Raíces Andin. Contrib. al Conoc. y a la Capacit.* 149–156.
- Caicedo, G., Rozo, L., Rengifo, G., 2003a. La achira: Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina. CORPOICA Bogota, Colombia.
- Caicedo, G., Segundo, L., Wilches, R., 2003b. Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina: Técnicas de cultivo, beneficio o proceso poscosecha y uso agroindustrial.
- Carolina, A., Ilmi, F.N., 2016. Production of Indonesian *Canna edulis* type IV resistant starch through acetylation modification. *Int. Food Res. J.* 23, 491–497.
- Chuenkamol, B., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2007. Characterization of low-substituted hydroxypropylated canna starch. *Food Hydrocoll.* 21, 1123–1132. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.08.013
- Cisneros, F., Zevillanos, R., Cisneros, L., 2009. Characterization of starch from two ecotypes of andean achira roots (*Canna edulis*). *J. Agric. Food Chem.* 57, 7363–7368. Doi:10.1021/jf9004687
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Tang, M.C., 2009. Form and functionality of starch.

- Food Hydrocoll. 23, 1527–1534. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.09.016
- Cordi, M., Garzón, J., 2003. Estudio técnico para el montaje de una planta productora de bizcochos de achira. Universidad de la Sabana.
- Correa, N.M., Pérez, A.C., Villegas, A.D., 2016. Caracterización morfológica y perfil viscoamilográfico del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.). J. Saber, Univ. Oriente Venez. 28, 250–256.
- Cortes, T., Aldana, S., Longas, F., Real, V., 2014. Caracterización fisicoquímica y reológica de almidón procedente de cuatro ecotipos de achira (*Canna edulis* Ker) cultivados en el departamento del Huila.
- Craig, S.A., Maningat, C.C., Seib, P.A., R.C, H., 1989. Starch paste clarity. Am. Assoc. Cereal Chem. Inc. 66, 173–182. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Deepika, V., Jayaram Kumar, K., Anima, P., 2013. Isolation and physicochemical characterization of sustained releasing starches from *Dioscorea* of Jharkhand. Int. J. Biol. Macromol. 55, 193–200. doi:10.1016/j.ijbiomac.2012.11.027
- Díaz, C., Vásquez, S.M., G, A.P., Suárez-mahecha, H., Francisco, A. De, 2016. Características microestructurales y fisicoquímicas del rizoma y almidón de achira (*Canna edulis* sp.). Rev. Agron. Colomb. 34, 1469–1473. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.59878
- Díaz, L., Iria, A., García, O., 2015. Evaluación fisicoquímica de galletas con inclusión de harina de bleado (*Amaranthus dubius* Mart). Rev. ASA-Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” 2343–6115.
- Eljeeva, M., Pushpadass, H.A., Kumar, B., Kulkarni, S., Muthurayappa, M., Kandasamy, R., Venkatachalam, P., Vellingiri, P., 2017. Physicochemical, thermal, pasting and microstructural characterization of commercial *Curcuma angustifolia* starch. Food Hydrocoll. 67, 27–36. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.12.025
- Embuena, D., 2015. Evaluación de los cambios estructurales de galletas elaboradas con sustitutos de grasa. Univ. Politécnica Val. 1–39.
- Espín, S., Villacrés, E., Brito, B., 2004. Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. Raíces y Tubérculos Andin. Altern. Para la Conserv. y uso Sosten. en el Ecuador 91–116.
- Fernández, A., Rojas, E., García, A., Mejía, J., Bravo, A., 2016. Evaluación fisicoquímica, sensorial y vida útil de galletas enriquecidas con subproductos protéicos de suero de quesería. Rev. Científica Fac. Ciencias Vet. Div. Investig. XXVI, 71–79.

- Fonseca-Florido, H.A., Méndez-Montealvo, G., Velazquez, G., Gómez-Aldapa, C.A., 2016. Thermal study in the interactions of starches blends: Amaranth and achira. *Food Hydrocoll.* 61, 640–648. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.06.027
- Galván-Araujo, S.P., Barrera-Hernández, C., Mendoza-Corvis, F.A., 2016. Perfil de textura y caracterización fisicoquímica de galletas de limón elaboradas en Cereté (Córdoba, Colombia). *Agron. Colomb.* 34, S1349–S1351. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58445
- Gani, A., Haq, S.S., Masoodi, F.A., Broadway, A.A., Gani, A., 2010. Physico-chemical, Morphological and pasting properties of starches extracted from water chestnuts (*Trapa natans*) from three lakes of Kashmir, India. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 53, 731–740. Doi: 10.1590/S1516-89132010000300030
- García, L., 2013. Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional del almidón de semilla de Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* Moq. Colegio de Postgraduados, Institucion de Enseñanza e Investigacion en Ciencias Agrícolas.
- García, O., Pinzón, M., Sanchez, L., 2013. Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *@limentech, Cienc. y Tecnol. Aliment.* 11, 13–21.
- Gawl, K., Lobo-arias, M., Medina-cano, C.I., Grisales-arias, J.D., Yepes-agudelo, A.F., Álvarez-guzmán, J.A., 2017. Caracterización y evaluación morfológicas de la colección colombiana de achira, *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae) Evaluation and morphological characterization of the Colombian collection of achira 18, 47–73.
- Gibson, T.S., Solah, V.A., McCleary, B. V., 1997. A Procedure to Measure Amylose in Cereal Starches and Flours with Concanavalin A. *J. Cereal Sci.* 25, 111–119. doi:10.1006/jcrs.1996.0086
- González, G.H., 2012. Desarrollo de productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos, in: Colombia, F.U.A. de (Ed.), Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA. Bogotá, Colombia, pp. 1–51.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J.G., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D., 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnol. Aliment.* 28, 718–726. Doi: 10.1590/S0101-20612008000300031
- Huang, J., Zhao, L., Man, J., Wang, J., Zhou, W., Huai, H., Wei, C., 2015. Comparison of

- physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. *Int. J. Biol. Macromol.* 78, 165–172. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.04.006
- ICONTEC, 2009. Norma Técnica Colombiana 529 Cereales y productos cereales. Determinación del contenido de humedad.
- ICONTEC, 2007. Norma Técnica Colombiana NTC 5516-Productos de molinería. Bizcocho de achira.
- ICONTEC, 1991. Norma Técnica Colombiana 3228 Industrias alimentarias. Almidón de achira.
- Imai, K., 2008. Edible Canna: A Prospective Plant Resource from South America. *Japanese J. Plant Sci.* 214–224.
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S., 2017a. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 102, 315–322. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S., 2017b. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 102, 315–322. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027
- Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J.A., Ramos-Ramírez, E.G., 2007. Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydr. Polym.* 68, 679–686. doi:10.1016/j.carbpol.2006.07.035
- Karlsson, M.E., Eliasson, A.C., 2003. Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC). *LWT - Food Sci. Technol.* 36, 735–741. Doi: 10.1016/S0023-6438(03)00093-8
- Kasemwong, K., Piyachomkwan, K., Wansuksri, R., Sriroth, K., 2008. Granule sizes of canna (*Canna edulis*) starches and their reactivity toward hydration, enzyme hydrolysis and chemical substitution. *Starch/Staerke* 60, 624–633. doi:10.1002/star.200800229
- Lares, M., Perez, E., Lares Perez, 2006. Determination of the mineral fraction and rheological properties of microwave modified starch from *Canna edulis*. *Plant Foods Hum. Nutr.* 61, 109–113. Doi: 10.1007/s11130-006-0007-7
- Leonel, M., 2007. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. *Cienc. e Tecnol. Aliment.* 27, 579–588. Doi: 10.1590/S0101-20612007000300024

- Leonel, M., Sarmiento, S., Cereda, M., 2002. Extração E Caracterização Do Amido De Biri (*Canna edulis*). *Brazilian J. food Technol.* 5, 27–32.
- Lerdluksamee, C., Srikaeo, K., Tutusaus, J.A.M., Diéguez, J.G., 2013. Physicochemical properties and starch digestibility of *Scirpus grossus* flour and starch. *Carbohydr. Polym.* 97, 482–488. doi:10.1016/j.carbpol.2013.05.001
- Liliam Sivoli, 2009. Técnicas microscópicas y de dispersion de luz empleadas en la evaluación de la estructura del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta C.*). *Acta Microsc.* Vol.18, 195–203.
- López, J., Rodríguez, E., Sepulveda, J., 2012. Evaluation of physical and textural characteristics of pandebono. *Acta Agron.* 61, 251–258.
- López, J.M., Quintero-Castaño, V., Lucas-Aguirre, J.C., 2014. Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata AAA*). *Acta Agron.* 64, 11–21. doi:10.15446/acag.v64n1.38814
- Mahmood, K., Kamilah, H., Shang, P.L., Sulaiman, S., Ariffin, F., Alias, A.K., 2017. A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food Biosci.* 19, 110–120. doi:10.1016/j.fbio.2017.05.006
- Martínez, O., Lapo Calderón, B., Pérez Rodríguez, J., Zambrano Cabrera, C., 2015. Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Rev. Colomb. Quim* 44, 16–21. doi:http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215
- Millán, J.D. la R., 2009. Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul. Instituto Politécnico Nacional.
- Mohiuddin, F., Singh, C., Riar, S., 2016. Effect of amylose, particle size & morphology on the functionality of starches of traditional rice cultivars. *Int. J. Biol. Macromol.* 92, 637–644. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.07.078
- Mollega, S.C., 2007. Desarrollo de almidones pregelatinizados funcionalizados y evaluación de las propiedades reológicas para su aplicación en la industria petrolera. Universidad Simon Bolivar.
- Moorthy, S.N., Larsson, H., Eliasson, A.C., 2008. Rheological characteristics of different tropical root starches. *Starch/Staerke J.* 60, 233–247. doi:10.1002/star.200700708
- Morales, R., 2000. Características físicas, químicas y organolépticas del almidón de achira (*Canna edulis Ker var.*).
- Morocho, J., 2013. “La achira y su aplicación en la cocina de tendencia vanguardista.”

Universidad de Cuenca.

- Ortega, M., 2008. Propiedades viscoelásticas y reológicas estacionarias de suspensiones de almidón nativo de quínoa. Universidad de Chile.
- Pacheco, E., Techeira, N., Delahaye, E., 2009. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia* 34, 280–285.
- Palma, H., 2012. Caracterización de almidones de diferentes fuentes tratados con ácido para la encapsulación de vitamina C. Instituto Politecnico Nacional.
- Pereira, D., Correia, P., Guiné, R., 2013. Analysis of the physical-chemical and sensorial properties of Maria type cookies. *Acta Chim. Slovaca* 6, 269–280. Doi: 10.2478/acs-2013-0040
- Perez, E., Lares, M., 2005. Chemical composition, mineral profile, and functional properties of *Canna* (*Canna edulis*) and Arrowroot (*Maranta* spp.) starches. *Plant Foods Hum. Nutr.* 60, 113–116. Doi: 10.1007/s11130-005-6838-9
- Perez, E., Lares, M., Alfaro, M. de J., 2007. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas del almidón extraído de la nuez del orinoco (*Caryodendron orinocense karst*). *Acta Cient. Venez.* 58, 52–56.
- Peroni, F.H.G., Rocha, T.S., Franco, C.M.L., 2006. Some Structural and Physicochemical Characteristics of Tuber and Root Starches. *Food Sci. Technol. Int.* 12, 505–513. Doi: 10.1177/1082013206073045
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Christopher Oates, Sriroth, K., 2002a. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Ind. Crops Prod.* 16 (2002), 11–21.
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Oates, C.G., Sriroth, K., 2002b. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Ind. Crops Prod.* 16, 11–21. Doi: 10.1016/S0926-6690(02)00003-1
- Piyachomkwan, K., Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Takeda, Y., 2004. Functional Properties of Edible Canna (*Canna edulis* Ker.) Starch. Bangkok Thailand.
- Puncha-arnon, S., Pathipanawat, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2008. Effects of relative granule size and gelatinization temperature on paste and gel properties of starch blends. *Food Res. Int.* 41, 552–561. doi:10.1016/j.foodres.2008.03.012

- Puncha-arnon, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Pathipanawat, W., Uttapap, D., 2007. Changes in physicochemical properties and morphology of canna starches during rhizomal development. *Carbohydr. Polym.* 70, 206–217. doi:10.1016/j.carbpol.2007.03.020
- Quintero, V.D., Lucas, J.C., Alzate, E.N., 2013. Determinación de las propiedades Térmicas y Composicionales de la Harina y Almidón de Chachafruto (*Erythrina Edulis Triana Ex Micheli*). *Rev. la Fac. Ing.* 18, 31–35.
- Quiroga, C., 2009. Caracterización fisicoquímica de tres fuentes subutilizadas de almidón de la región andina de Bolivia. *Investig. y Desarro.* 9, 81–94. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Ramírez, M., Gutiérrez, N., Cortés, E., 2016. Evolución de atributos de calidad en bizcocho de achira (*Canna edulis Ker.*) del Huila. *Agron. Colomb.* 34, 728–730. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57783
- Reichel, H., 2007. Partículas flexuosas de aspecto viral aisladas de achira (*Canna edulis Ker.*) afectada por clorosis en Colombia. *Rev. Agron. Colomb.* 25, 330–332.
- Ren, S., 2017. Comparative analysis of some physicochemical properties of 19 kinds of native starches 1–28.
- Rendón, M., García, T., Bragagnolo, N., 2014. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Chem.* 147, 279–286. doi:10.1016/j.foodchem.2013.09.123
- Rios, K., 2014. Análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*colocasia antiquorum* y *colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Ríos, K.R., 2014. Análisis comparativo de las propiedades fisico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia Esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Rivas, M., 2012. Almidón acetilado de plátano: caracterización fisicoquímica y molecular. Universidad Autoónoma de Querétaro.
- Rodríguez, D., 2015. Potencial agroalimentario del almidón de arroz de tres variedades cultivadas en el departamento del Tolima. Universidad del Tolima.
- Rodríguez, G., García, H., Camacho, J., Arias, F., 2003. El Almidón de Achira o Sagú

- (*Canna edulis*, Ker) Manual Técnico para su Elaboración. CORPOICA Tibaitata, Cundimarca.
- Rodríguez, P., San Martín, M.E., Gonzales de la Cruz, G., 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. Soc. Mex. Cienc. Superf. y vacío 13, 61–65.
- Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2005. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. Carbohydr. Polym. 61, 211–221. doi:10.1016/j.carbpol.2005.05.024
- Santacruz, S., 2005. Caracterización de almidones de Arracacha, Xanthoriza, *Canna edulis* y *Oxalis Tuberosa* y extraído de hojas de papa. Rev. Boliv. Química 22, 27–33.
- Santacruz, S., Koch, K., Svensson, E., Ruales, J., Eliasson, A.C., 2002. Three underutilised sources of starch from the Andean region in Ecuador. Part I. Physico-chemical characterisation. Carbohydr. Polym. 49, 63–70.
- Santacruz, S., Ruales, J., Eliasson, A.C., 2003. Three under utilized sources of starch from the Andean region in Ecuador. Part II. Rheological characterisation. Carbohydr. Polym. 51, 85–92.
- Sivak, M., Preis, J., 1998. Advances in Food and Nutrition Research. Starch Basic Science to Biotechnology, Academic P. ed. Academic Press, Michigan.
- Soni, P.L., Sharma, H., Srivastava, H.C., Gharia, M.M., 1990. Physicochemical properties of *Canna edulis* starch-comparison with maize starch. Starch - Stärke 42, 460–464. doi:10.1002/star.19900421203
- Soto, I., Luján, D., Salcedo, J., Contreras, K., 2016. Evaluación de un producto horneado (“diabolín”) formulado con almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Agron. Colomb. 34, 804–807. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58233
- Srichuwong, S., Sunarti, T.C., Mishima, T., Isono, N., Hisamatsu, M., 2005. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. Carbohydr. Polym. 60, 529–538. doi:10.1016/j.carbpol.2005.03.004
- Srikaeo, K., Mingyai, S., Sopade, P.A., 2011. Physicochemical properties, resistant starch content and enzymatic digestibility of unripe banana, edible canna, taro flours and their rice noodle products. Int. J. Food Sci. Technol. 46, 2111–2117. doi:10.1111/j.1365-2621.2011.02724.x

- Surco, F., 2004. Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Tenorio, J.L., Sandoval, E.R., Valencia, J.S., 2012. Evaluación de características físicas y texturales de pandebono. *Acta Agronómica* 61, 273–281.
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., Takeda, Y., 2003a. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part II. Molecular structure of amylose and amylopectin. *Carbohydr. Polym.* 54, 489–498. doi:10.1016/j.carbpol.2003.08.003
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., Takeda, Y., 2003b. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.* 53, 317–324. Doi: 10.1016/S0144-8617(03)00081-X
- Tovar, T., 2008. Caracterización Morfológica Y Térmica Del Almidón De Maíz (*Zea mays* L) Obtenido por Diferentes Métodos de Aislamiento. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Van Hung, P., Morita, N., 2005. Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. *Carbohydr. Polym.* 61, 314–321. doi:10.1016/j.carbpol.2005.04.021
- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2009a. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018
- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2009b. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J.A., 2014. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Stärke J.* 66, 1–16. doi:10.1002/star.201300238
- Wickramasinghe, H.A.M., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Yamauchi, H., Noda, T., 2009. Comparative analysis of starch properties of different root and tuber crops of Sri Lanka. *Food Chem.* 112, 98–103. doi:10.1016/j.foodchem.2008.05.046
- Yu, X., Li, B., Wang, L., Chen, X., Wang, W., Gu, Y., Wang, Z., Xiong, F., 2016. Effect of drought stress on the development of endosperm starch granules and the

- composition and physicochemical properties of starches from soft and hard wheat. *J. Sci. Food Agric.* 96, 2746–2754. doi:10.1002/jsfa.7439
- Zhang, J., Chen, F., Liu, F., Wang, Z.W., 2010a. Study on structural changes of microwave heat-moisture treated resistant *Canna edulis* Ker starch during digestion in vitro. *Food Hydrocoll.* 24, 27–34. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.07.005
- Zhang, J., Wang, Z.-W., Yang, J.-A., 2010b. Physicochemical Properties of *Canna edulis* Ker Starch on Heat-Moisture Treatment. *Int. J. Food Prop.* 13, 1266–1279. Doi: 10.1080/10942910903061828
- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., Wei, C., 2018. Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocoll.* doi:10.1016/j.foodhyd.2018.02.006
- Zhu, F., 2017a. Structures, properties, modifications, and uses of oat starch. *Food Chem.* 229, 329–340. doi:10.1016/j.foodchem.2017.02.064
- Zhu, F., 2017b. Structures, properties, and applications of lotus starches. *Food Hydrocoll.* 63, 332–348. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.08.034
- Zortéa-Guidolin, M.E.B., Demiate, I.M., Godoy, R.C.B. de, Scheer, A. de P., Grewell, D., Jane, J. lin, 2017. Structural and functional characterization of starches from Brazilian pine seeds (*Araucaria angustifolia*). *Food Hydrocoll.* 63, 19–26. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.08.022

## **3. Influencia de las propiedades del almidón sobre algunas características de calidad de un producto horneado (bizcocho de achira) formulado con cuatro ecotipos de almidón nativo de achira (*Canna edulis*)**

### **3.1 Resumen**

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de las propiedades del almidón de achira sobre algunas características de calidad física y sensorial del bizcocho de achira, teniendo en cuenta que el almidón es su componente principal. Se elaboraron cuatro formulaciones con cuatro ecotipos de almidón correspondiente a BAH: Bizcocho con almidón ecotipo Nativa de Huila, BAN: Bizcocho con almidón ecotipo negra de Nariño, BAMC: Bizcocho con almidón ecotipo morada de Cundinamarca y BAVC: Bizcocho con almidón ecotipo verde de Cundinamarca. Entre las características evaluadas se encuentran: humedad, pH, color, textura y la estabilidad en almacenamiento. Se realizó un análisis sensorial mediante prueba hedónica. Se evaluó también una muestra comercial BMC: Bizcocho muestra comercial. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de humedad, pH, análisis de color y fracturabilidad del análisis de textura. Así mismo, con respecto a la aceptabilidad del consumidor, los bizcochos difirieron estadísticamente, y para el producto formulado con almidón ecotipo de Nariño (BAN) se encontró diferencias en todos los atributos evaluados excepto en olor que no hubo diferencias entre las muestras. En el almacenamiento del producto, el contenido de humedad se incrementó con el tiempo, la dureza fue variable y la fracturabilidad aumentó para todas las muestras. Y la aceptabilidad de los consumidores como era de esperarse, disminuyó con el tiempo.

**Palabras claves:** Almidón, *Canna edulis*, bizcocho de achira, estabilidad, textura

## 3.2 Introducción

El almidón es un carbohidrato importante y la mayor parte del almidón producido en el mundo se utiliza como alimento, pero aproximadamente un tercio de la producción total se emplea para una variedad de fines industriales (alimentaria, textil, papelera y farmacéutica) que aprovechan las propiedades únicas del almidón, como agente espesante, agente estabilizante de geles o emulsiones, así como elemento ligante y agente de relleno (Mahmood et al., 2017). En general, el almidón aunque provenga de diferentes fuentes vegetales como cereales, raíces y tubérculos, son las propiedades de este polisacárido las que influirán en las características de calidad de diversos productos. Esto va depender de las interacciones del almidón con los otros componentes que se encuentran presentes en la formulación (Espín et al., 2004). Conocer esas interacciones y su relación con las propiedades del almidón, es fundamental para predecir cambios en las características del producto final o para replantear procesos de elaboración.

La achira (*Canna edulis*) es un tubérculo que tiene como constituyente principal el almidón y con este polisacárido se elabora un producto tradicional en diferentes regiones de Colombia y que ha sido aceptado favorablemente en muchas partes del mundo (Cordi and Garzón, 2003). La formulación de este producto tiene como componentes principales el almidón de achira y la cuajada; además de utilizar componentes secundarios como aceite vegetal, huevos, sal y azúcar. Todos estos ingredientes contribuyen en mayor o menor medida en aspectos de calidad física y sensorial del producto, que generalmente están habituados en el consumidor. Las características más sobresalientes de este producto son su sabor y textura, este parámetro es un indicador de estabilidad comercial del producto. Actualmente, aunque cuenta con unos requisitos fisicoquímicos (humedad, pH, color) contemplados en la norma técnica colombiana NTC 5516 (ICONTEC, 2007) de aplicación voluntaria; en el mercado se siguen presentando unas diferencias en sus características, principalmente en el sabor, color y textura. Este producto pese a que posee un estándar de calidad establecido en la norma, no todas las empresas productoras lo adaptan, razón por la cual se encuentran en el mercado productos con la misma denominación, pero con características muy diferentes.

Diversos autores (Bernabè, 2009; Sivak and Preis, 1998), han sugerido que la calidad de un producto, viene determinada por la calidad de la materia prima. Para definir esta calidad

se han determinado unas propiedades a cuatro ecotipos de almidón de achira procedentes de las tres principales regiones productoras en Colombia (Huila, Nariño y Cundinamarca). Estos ecotipos mostraron cualidades que los identifica y diferencia de otros almidones, por ejemplo, el almidón de achira se caracteriza por tener alto contenido de amilosa, el ecotipo nativo de Huila presentó el valor más bajo (21.24%), posee también valores bajos de índice de blancura, claridad del gel, contenido de grasa, ceniza y proteínas, así mismo, a partir de 80°C, posee alta capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento y solubilidad; es el almidón con los gránulos más grandes (58.90  $\mu\text{m}$ ) y mayor temperatura de gelatinización (65.49°C). El ecotipo de Nariño posee el valor más alto de amilosa (31.71%), mayor índice de blancura y claridad del gel, también se evidenció bajo contenido de grasa, cenizas y proteínas para este ecotipo. Aunque cuenta con gránulos grandes (51.22  $\mu\text{m}$ ), posee la temperatura de gelatinización y viscosidad máxima más baja (63.25°C) y (13480 cP), respectivamente.

Los ecotipos verde y morada de Cundinamarca poseen también alto contenido de amilosa (26.48-29.97%), el ecotipo morada mostró mayor índice de blancura y claridad del gel con respecto al ecotipo verde; estos dos ecotipos son los que presentaron menor capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento y solubilidad. Así como gránulos de menor tamaño (34.69-40.87 $\mu\text{m}$ ) y temperaturas de gelatinización relativamente altas (64.58-64.92°C). Una vez conocidas esas propiedades, el objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de las características intrínsecas del almidón de achira según su origen, sobre la calidad física y sensorial del producto (bizcocho de achira) formulado con cuatro ecotipos de almidón nativo de achira (*Canna edulis*) de diferente origen geográfico, teniendo en cuenta que este producto es la principal aplicación de este almidón y se ha constituido en un símbolo regional posicionado en el mercado local y nacional.

### **3.3 Materiales y métodos**

#### **3.3.1 Materias primas**

Se desarrollaron cuatro formulaciones correspondientes a cuatro ecotipos de almidón nativo de achira (*Canna edulis*), procedente de tres regiones de Colombia: almidón ecotipo nativa de San José de Isnos Huila, ecotipo negra de la Cruz Nariño, y ecotipo morada y

verde de Caqueza Cundinamarca. Los demás ingredientes de la formulación (cuajada, margarina, huevo, sal y azúcar) fueron productos comerciales. Así mismo, se dispuso de una muestra comercial del producto, con el fin de establecer una comparación de las características de calidad evaluadas; esta muestra comercial corresponde a la marca achiras del Huila (BMC: Bizcocho muestra comercial).

### 3.3.2 Formulación y elaboración del bizcocho de achira

La formulación fue igual para los cuatro productos, solo con la variación del ecotipo del almidón, la proporción de los componentes fue para almidón el 64%, cuajada 32%, margarina 3%, sal 0.2%, azúcar 0.5%, como se describe en la tabla 3-1. Las formulaciones se identificaron como: tratamiento 1 (BAH) con almidón ecotipo nativa de Huila, tratamiento 2 (BAN) con almidón ecotipo negra de Nariño, tratamiento 3 (BAMC) con almidón ecotipo morada de Cundinamarca y tratamiento 4 (BAVC) con almidón ecotipo verde de Cundinamarca.

**Tabla 3-1:** Formulación de los bizcochos de achira evaluados

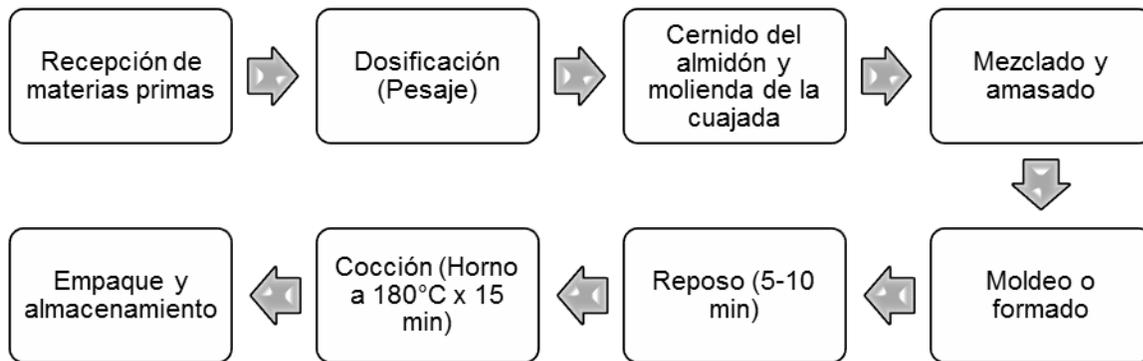
Ingredientes	Composición (g)			
	BAH	BAN	BAMC	BAVC
Almidón ecotipo nativa de Huila	1000	-	-	-
Almidón ecotipo negra de Nariño	-	1000	-	-
Almidón ecotipo morada de Cundinamarca	-	-	1000	-
Almidón ecotipo verde de Cundinamarca	-	-	-	1000
Cuajada	500	500	500	500
Margarina	48	48	48	48
Sal	4	4	4	4
Azúcar	8	8	8	8
Yema de huevo (unidad)	1	1	1	1

BAH: Bizcocho ecotipo Huila, BAN: Bizcocho ecotipo Nariño, BAMC: Bizcocho ecotipo morado Cundinamarca y BAVC: Bizcocho ecotipo verde de Cundinamarca

Se utilizaron almidones previamente caracterizados y almacenados en un ambiente seco y a una temperatura ambiente ( $22^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) hasta la posterior elaboración del producto. El proceso se estandarizó tras llevar a cabo ensayos preliminares, donde se estableció las cantidades de cada componente en la formulación. Posteriormente, la formulación definitiva se escogió basándose en una prueba sensorial de preferencia, donde se evaluó atributos como color, sabor, textura y apariencia en general.

El proceso de elaboración comenzó con la recepción de las materias primas, en esta etapa se almacenaron en un ambiente seco y a una temperatura ambiente ( $22^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) para controlar sus características organolépticas. Luego en la etapa de dosificado se realizó el pesaje según las indicaciones de la formulación del bizcocho de achira, seguido de un cernido del almidón con el fin de eliminar impurezas y la molienda de la cuajada en un procesador de alimentos marca Oster. Una vez calculado las cantidades de los ingredientes, se llevó a cabo el mezclado y el amasado, cuya función principal fue dispersar uniformemente los ingredientes en una mezcla homogénea y desarrollar apropiadamente una masa que contenga las características de flexibilidad, elasticidad y extensibilidad deseadas. El mezclado se refiere a la homogenización de los ingredientes sólidos, mientras que el amasado consiste en la absorción de humedad por parte de los componentes del almidón, disolución de los azúcares formando soluciones cristalinas junto con las sales que se encuentran ya disueltas. En esta etapa, la masa adquiere una consistencia diferente, se torna seca y se desprende con facilidad de las paredes de la amasadora, adquiriendo elasticidad. Finalizado el amasado, se formó y se dividió la masa en pequeñas porciones y se moldearon los bizcochos con el grosor deseado, teniendo en cuenta la dimensión del producto comercial.

Luego de esta operación, las piezas formadas se depositaron en bandejas de aluminio. Se continuó con un reposo que se define como el tiempo que transcurre entre el final del formado y el inicio de la cocción, durante el cual la masa sufre una transformación que le confiere características ideales para la cocción. Este tiempo de reposo es una etapa corta que oscila entre 5-10 minutos, tiempo necesario donde se relaja la masa para que se recupere la estructura del gel dañada por el proceso de amasado y formado. Posteriormente, se llevó a cabo la cocción de los bizcochos, esta operación se realizó en horno con temperatura y tiempo controlado de  $180^{\circ}\text{C}$  y 15 minutos, respectivamente. Estas condiciones se establecieron de acuerdo con ensayos preliminares. Después de horneados, los bizcochos fueron enfriados a temperatura ambiente y empacados y sellados herméticamente (Figura 3-1). Se utilizó el mismo horno y las bandejas se colocaron al mismo nivel en el horno para las cuatro formulaciones.

**Figura 3-1:** Diagrama de flujo del proceso de elaboración del bizcocho de achira

### 3.3.3 Análisis fisicoquímicos

- **Determinación de pH**

Los análisis fisicoquímicos, se realizaron teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 5516 (ICONTEC, 2007), la cual establece los requisitos y ensayos fisicoquímicos que debe cumplir el bizcocho de achira. Se determinó pH siguiendo método oficial de la AOAC 943.02 (AOAC, 2012). Los análisis se hicieron por triplicado y se escogieron las muestras de forma aleatoria.

- **Contenido de humedad**

El contenido de humedad se determinó de acuerdo a lo descrito por la Norma Técnica Colombiana NTC 529 - Cereales y productos cereales. Determinación del contenido de humedad (ICONTEC, 2009), teniendo en cuenta el método AOAC 925.10 (AOAC, 2012). Los análisis se hicieron por triplicado y se escogieron las muestras de forma aleatoria.

- **Evaluación de color**

Las mediciones de color de los bizcochos de achira se llevaron a cabo utilizando un colorímetro (Modelo ColorQuest XE-Hunter Lab). Cada muestra se escaneó en tres puntos de la base y tres puntos de la superficie, para determinar los valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , de acuerdo con el sistema uniforme de espacio de color CIELab; en donde  $L^*$  representa la claridad,  $a^*$  la variación rojo-verde y  $b^*$  y la variación del amarillo-azul (Ramírez et al., 2016). Se calculó la diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ) entre los bizcochos, de la siguiente manera:

$$\Delta E^* = ((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)^{1/2}$$

Los valores utilizados para determinar si la diferencia de color total era visualmente obvia fueron los siguientes:

$\Delta E^* < 1$ ; las diferencias de color no son obvias para el ojo humano.

$1 < \Delta E^* < 3$ ; las diferencias de color no son apreciadas por el ojo humano.

$\Delta E^* > 3$ ; las diferencias de color son obvias para el ojo humano.

### • Evaluación de textura

Para la evaluación de textura fue utilizado un texturómetro TA-XT plus, las muestras fueron apoyadas sobre dos soportes verticales paralelos, con bordes redondeados para minimizar las tensiones provocadas durante los ensayos, separados a una distancia de 2 cm; siendo escogida en ensayos previos, teniendo en cuenta los diámetros de los bizcochos; un tercer eje paralelo se desplazó verticalmente, ejerciendo una fuerza hasta que se produjo un quiebre total en la estructura del producto. El análisis de textura se realizó mediante prueba de compresión simple de tipo HDP/3PB. Los parámetros de las pruebas fueron los siguientes: velocidad pre test=1.0 mm/s; velocidad del test = 5.0 m/s; velocidad post test=10.0 mm/s; deformación: 40% y fuerza de disparo: 10.0 N. Se efectuaron 10 mediciones correspondientes a 10 muestras para cada formulación. Posteriormente se analizaron los resultados de dureza y resistencia a la rotura o fracturabilidad de los 4 productos (BAH, BAN, BAMC y BAVC) y uno comercial (BMC) (Ramírez et al., 2016).

### • Evaluación de estabilidad en almacenamiento

Se evaluó la estabilidad de los bizcochos de achira en condiciones de temperatura y humedad relativa. Realizando mediciones de humedad y textura en los días (0, 8, 16, 24 y 32) (Fernández et al., 2016). Una cantidad suficiente del producto y de un mismo lote fue almacenado en cámara de condiciones controladas a 40°C y 75% de humedad relativa, empacado en bolsa transparente de polietileno de alta densidad tamaño: 10 cm de largo x 6 cm de ancho. El contenido de humedad fue determinado de acuerdo a lo descrito por la Norma Técnica Colombiana NTC 529 - Cereales y productos cereales. Determinación del contenido de humedad (ICONTEC, 2009), teniendo en cuenta el método AOAC 925.10 (AOAC, 2012). La textura fue evaluada utilizando un texturómetro TA-XT plus, mediante prueba de compresión simple con el ensayo de tres puntos, de tipo

HDP/3PB. Los parámetros de las pruebas fueron los siguientes: velocidad pre test=1.0 mm/s; velocidad del test = 5.0 m/s; velocidad post test=10.0 mm/s; deformación: 40% y fuerza de disparo: 10.0 N.

### 3.3.4 Análisis sensorial

La aceptación del producto se evaluó basándose en las características de olor, color, sabor y textura, utilizando una prueba sensorial afectiva con panel de consumidores compuesto de 60 personas no entrenados; mediante una escala hedónica de 7 puntos, con los siguientes descriptores: me disgusta muchísimo= 1, me disgusta moderadamente= 2, me disgusta muy poco= 3, me es indiferente= 4, me gusta muy poco= 5, me gusta moderadamente= 6 y me gusta muchísimo=7. Mediante un formato de evaluación, las muestras fueron identificadas con números aleatorios de tres cifras, puestas en bandejas blancas individuales para cada panelista. La evaluación fue realizada en un área ventilada, de buena iluminación, libre de olores extraños y el orden de las muestras servidas para los panelistas fue al azar a través de las sesiones. Se compararon 4 productos, el primero correspondía a la formulación con almidón ecotipo de Huila BAH, el segundo a almidón ecotipo de Nariño BAN, el tercero a almidón ecotipo verde de Cundinamarca BAVC y el cuarto a almidón ecotipo morada de Cundinamarca BAMC; finalmente se comparó con una muestra comercial (Fernández et al., 2016).

### 3.3.5 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA, para establecer las diferencias estadísticamente significativas sobre los parámetros evaluados en el producto, respecto al origen geográfico de los almidones con un nivel de confianza del 95%. La prueba -F de Fisher se usó para comparar medias ( $p \leq 0.05$ ). Con la prueba de múltiples rangos se determinó cuales medias eran significativamente diferentes de otras. El tratamiento de los datos se llevó a cabo utilizando funciones del software Statgraphics Centurión XVI. Para la evaluación sensorial de las muestras, los resultados

se evaluaron por medio de un análisis de varianza de Kruskal-Wallis, evaluando las diferencias entre cada una de las muestras, las diferencias se consideraron significativas cuando la probabilidad era menor del 5% ( $p < 0.05$ ).

### 3.4 Resultados y discusión

#### 3.4.1 Análisis fisicoquímico

- **Determinación de PH**

Los resultados de pH para todas las muestras estudiadas (BAH, BAN, BAMC, BAVC y BMC) se muestran en la Tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Parámetros fisicoquímicos de los bizcochos de achira

Parámetro	BAH	BAN	BAMC	BAVC	BMC
<b>pH</b>	6.53 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.48 ± 0.01 <sup>b</sup>	6.49 ± 0.01 <sup>b</sup>	6.48 ± 0.01 <sup>b</sup>	6.32 ± 0.05 <sup>c</sup>
<b>Humedad (%)</b>	2.53 ± 0.20 <sup>a</sup>	1.07 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.90 ± 0.05 <sup>c</sup>	1.89 ± 0.02 <sup>c</sup>	3.18 ± 0.28 <sup>d</sup>
<b>Color base</b>					
<b>L*</b>	65.36 ± 2.16 <sup>a</sup>	62.17 ± 1.97 <sup>b</sup>	62.89 ± 1.61 <sup>b</sup>	62.78 ± 1.54 <sup>b</sup>	69.52 ± 2.13 <sup>c</sup>
<b>a*</b>	14.61 ± 1.03 <sup>a</sup>	14.50 ± 0.83 <sup>a</sup>	14.63 ± 0.75 <sup>a</sup>	14.23 ± 0.56 <sup>a</sup>	9.77 ± 1.63 <sup>b</sup>
<b>b*</b>	41.17 ± 0.95 <sup>a</sup>	40.32 ± 0.98 <sup>b</sup>	40.49 ± 1.20 <sup>ab</sup>	40.56 ± 1.12 <sup>b</sup>	42.52 ± 2.65 <sup>c</sup>
<b>Color superficie</b>					
<b>L*</b>	76.26 ± 1.83 <sup>a</sup>	71.89 ± 2.48 <sup>b</sup>	72.70 ± 2.13 <sup>b</sup>	72.62 ± 2.08 <sup>b</sup>	75.90 ± 1.71 <sup>a</sup>
<b>a*</b>	6.92 ± 1.60 <sup>ab</sup>	7.61 ± 1.76 <sup>b</sup>	6.48 ± 1.38 <sup>a</sup>	6.62 ± 1.02 <sup>a</sup>	3.66 ± 1.76 <sup>c</sup>
<b>b*</b>	38.00 ± 1.46 <sup>a</sup>	39.57 ± 1.87 <sup>b</sup>	38.13 ± 1.13 <sup>a</sup>	38.09 ± 1.34 <sup>a</sup>	35.35 ± 3.53 <sup>c</sup>

L: Luminosidad (negro / blanco), a: croma (verde / rojo) y b: tono (azul / amarillo). Los valores presentados son la media ± desviación estándar. a-b-c Valores diferentes dentro de una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). BAH: Bizcocho ecotipo Huila, BAN: Bizcocho ecotipo Nariño, BAMC: Bizcocho ecotipo morada de Cundinamarca y BAVC: Bizcocho ecotipo verde de Cundinamarca y BMC: Bizcocho muestra comercial.

Se puede observar que los valores de pH oscilaron entre 6.32 y 6.53. Estos resultados se ajustan a los requisitos de la Norma Técnica Colombiana NTC 5516, la cual establece un valor de pH máximo de 6.5. Valores más bajos (5.56) y más altos (8.19) fueron reportados para galletas por (Díaz et al., 2015) y (Galván-Araujo et al., 2016), respectivamente. Estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre los resultados obtenidos en este trabajo ( $p < 0.05$ ). Las diferencias pueden deberse a la interacción de las

propiedades intrínsecas del almidón y los componentes de la cuajada, como materias primas principales en la formulación de este tipo de producto. Así mismo, el bajo contenido de humedad del producto por ser un alimento seco, limita el crecimiento microbiano aún en estos promedios de pH encontrados (Sivak and Preis, 1998).

- **Contenido de humedad**

En la Tabla 3-2 se muestran los resultados de contenido de humedad. El análisis de varianza reportó que si existen diferencias significativas entre las cuatro formulaciones estudiadas incluyendo la muestra comercial, donde los bizcochos de la formulación con ecotipo de Huila (BAH) y la formulación con ecotipo de Nariño mostraron mayor y menor valor (2.53%-1.07%), respectivamente. No obstante la muestra comercial (3.18%) supera a las muestras objeto de estudio. Similares resultados encontró (Ramírez et al., 2016), quienes reportaron niveles de humedad de 2.4 – 3.2% para bizcochos de achira elaborados artesanal e industrialmente. La humedad obtenida de las cuatro formulaciones, excepto la del ecotipo Huila (BAH), se ajusta a los requisitos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5516, la cual establece un contenido de humedad máxima de 2% para bizcochos de achira. El parámetro de humedad influye en la gelatinización del almidón en el producto final, para este caso de los bizcochos de achira, la mayoría de los gránulos de almidón presentes se encuentran sin gelatinizar debido a la poca o nula cantidad de agua que contiene (Embuena, 2015).

El almidón se presenta en forma de gránulos que poseen la molécula de amilosa, la cual se encarga de absorber el agua poco a poco y de repartirla de manera uniforme y homogénea hasta dar una estructura semisólida a la masa, que repercute en la textura del producto final. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos, donde la formulación con el ecotipo de Huila y Nariño presentó mayor y menor contenido de humedad respectivamente, debido al contenido más bajo de amilosa para el almidón de Huila y más alto para el ecotipo de Nariño (Tenorio et al., 2012). Las diferencias encontradas en el contenido de humedad de las muestras, también podrían atribuirse a las condiciones de horneado en la cual se somete el bizcocho a una determinada temperatura (180°C-250°C), hasta que se seca completamente y adquiere su textura característica. También podría deberse al periodo excesivo de tiempo de enfriamiento o reposo del producto antes de ser empacado y finalmente al tipo de empaque utilizado.

Conocer el contenido de humedad de los bizcochos es importante porque permite inferir sobre la estabilidad del producto en determinadas condiciones de almacenamiento con relación a los cambios físicos del producto en anaquel (Baixauli, 2007).

- **Evaluación de color**

La Tabla 3-2 muestra los resultados valores medios y desviación estándar, de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) de los bizcochos de achira, en la base y superficie. El color es uno de los parámetros usados para control de procesos durante el horneado, porque los pigmentos amarillos aparecen con el oscurecimiento y progreso de la reacción de caramelización. La caramelización de los azúcares y coloración de la corteza es uno de los procesos más característicos del bizcocho por acción del proceso térmico (Cordi and Garzón, 2003). Se considera como una importante característica de calidad asociada a preferencia del producto por parte del consumidor. En este trabajo se realizó el análisis de color para la base y la superficie, encontrándose diferencias entre el color de la base y el color de la superficie de los bizcochos. Por ejemplo, el parámetro  $L^*$  fue más bajo para la base que para la superficie. Valores bajos de este parámetro indica mayor oscurecimiento o menor claridad, lo que está de acuerdo con el oscurecimiento de la base en este tipo de producto. Parámetros de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , similares, fue reportado para bizcochos de achira elaborados artesanal e industrialmente, cuyo valores de  $L^*$  oscilaron entre 68.6 y 75.4; valores de  $a^*$  oscilaron entre 1.0 y 6.5 y valores de  $b^*$  oscilaron entre 36.1 y 44.4 (Ramírez et al., 2016)

En general en el análisis de color de la base y de la superficie se encontraron diferencias estadísticamente significativas para todos los parámetros evaluados. El color de los bizcochos en estudio, fue asociado a los cambios por el contenido de azúcar, grasas y almidón durante el efecto con la temperatura en el tiempo de horneado, los cuales originaron una coloración típica de este tipo de productos horneados. Muchos factores han sido reportados, que afectan el desarrollo de los colores en la superficie del producto, incluyendo temperatura, velocidad del aire, humedad y calor transferido a la muestra. Así mismo, la cuajada como componente fundamental de la formulación, contribuye significativamente con acentuar el color amarillo dorado de este tipo de producto (Cordi and Garzón, 2003). En el caso de los productos horneados el color de la corteza es el resultado del dorado y las reacciones de Maillard, que dependen del contenido de azúcares

reductores y aminoácidos o proteínas en la superficie, así como de la temperatura y el tiempo de cocción (Pereira et al., 2013). Finalmente, un exceso o falta de coloración en este tipo de producto, indica un defecto significativo producido por una mala cocción, basada en manejo inadecuado de tiempo y temperatura.

Por otra parte, las diferencias de color ( $\Delta E^*$ ) entre las muestras, para la base y superficie se pueden observar en la tabla 3-3. Con respecto al color de la base de los bizcochos, se encontró que las diferencias de color entre todas las muestras de estudio y la muestra comercial, además de la muestra de Huila con Nariño, eran obvias para el ojo humano ( $\Delta E^* > 3$ ). Este resultado también se encontró para el color de la superficie de todas las muestras evaluadas, excepto la diferencia de color entre la muestra de Nariño y Cundinamarca, la cual estuvo entre 1 y 3, lo que quiere decir que la diferencia de color no es apreciada por el ojo humano. El color del bizcocho está relacionado con el índice de blancura de los almidones, debido a que entre más blanco el almidón más dilución de los elementos pigmentados de la formulación. Lo anterior está de acuerdo con los resultados obtenidos, donde todos los almidones mostraron alto índice de blancura y como era de esperarse, los bizcochos mostraron alto valor de  $L^*$  (71.89-76.26) que indica dilución de pigmentos y por tanto, claridad del producto (Baixauli, 2007).

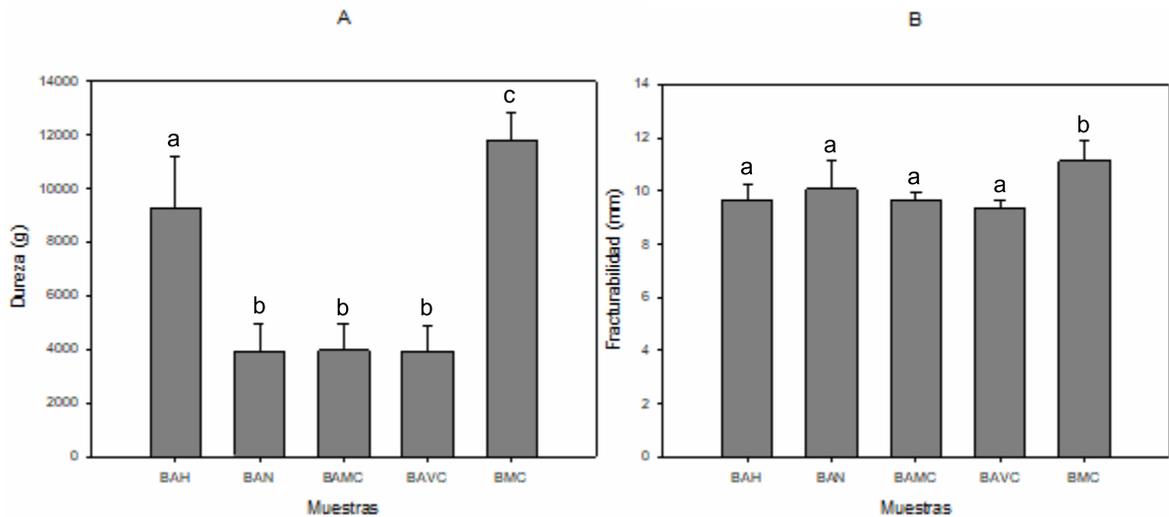
**Tabla 3-3:** Análisis de color – Diferencias de color entre las muestras ( $\Delta E^*$ )

<b>Combinación muestras</b>	<b><math>\Delta E^*</math> Base</b>	<b><math>\Delta E^*</math> Superficie</b>
Huila - Nariño	3.30	4.69
Huila - Verde Cundinamarca	2.68	3.65
Huila - Morada Cundinamarca	2.56	3.58
Huila - Comercial	6.52	4.21
Nariño - Verde Cundinamarca	0.71	1.92
Nariño - Morada Cundinamarca	0.75	2.00
Nariño - Comercial	9.01	7.03
Verde Cundinamarca - Morada Cundinamarca	0.42	0.16
Verde Cundinamarca - Comercial	8.32	5.19
Morada Cundinamarca - Comercial	8.47	5.09

- **Evaluación de textura**

En la figura 3-2 se muestra el perfil de textura instrumental A) Dureza y B) Fracturabilidad de los bizcochos de achira y la muestra comercial.

**Figura 3-2:** Perfil de textura instrumental de los bizcochos de achira.



A) Dureza y B) Fracturabilidad de los bizcochos de achira. BAH: Bizcocho ecotipo Huila, BAN: Bizcocho ecotipo Nariño, BAMC: Bizcocho ecotipo morada de Cundinamarca, BAVC: Bizcocho ecotipo verde de Cundinamarca y BMC: Bizcocho muestra comercial.

La textura de los productos de panadería es de gran importancia ya que se asocia principalmente con la frescura y el proceso de envejecimiento de los productos (López et al., 2012). Como se puede observar en la figura 3-2, hubo diferencias significativas en la textura instrumental de los bizcochos para el parámetro dureza, donde la formulación con almidón de Huila BAH obtuvo el valor más alto (9273.12 g) con respecto a las otras formulaciones que mostraron valores más bajos y similares entre ellos (3936.84 y 3966.24 g). Estos resultados son superiores a lo reportado por (Ramírez et al., 2016), cuyos valores de dureza oscilaron entre 1770 y 1941 g para bizcocho de achira elaborado artesanal e industrialmente, respectivamente. (Soto et al., 2016) reportaron para un producto horneado “diabolín” valores de dureza que oscilan entre (16.27-93.97 N). El valor alto de dureza de la formulación BAH, da cuenta de su capacidad de resistir fuerzas mecánicas externas, reduciendo sus características crujientes y fragilidad al corte, lo cual puede estar relacionado con el ligero incremento de humedad con respecto a las otras muestras. Así mismo, podría estar relacionado con el más bajo contenido de amilosa obtenido para este ecotipo de Huila; ya que el contenido de amilosa contribuye con las propiedades innatas del producto como su sabor característico y textura (Cordi and Garzón, 2003). Este valor es comparable con el obtenido para un producto comercial (BMC) elaborado con almidón procedente de esa misma región

(11813,76 g). Con respecto al parámetro de fracturabilidad, los resultados no mostraron diferencias significativas, sin embargo solo la formulación con almidón de Nariño BAN obtuvo el valor más alto (10,08 mm) con respecto a las demás formulaciones que fueron similares sus valores de fracturabilidad (9.18-9.68 mm).

La percepción de la textura es un factor importante en la apreciación sensorial del consumidor y las características texturales incluyen características intrínsecas relacionadas con la composición, estructura y fuerza de las interacciones entre los compuestos (Agudelo et al., 2014). La textura permite al consumidor de productos horneados, establecer algunos descriptores sensoriales para definir la preferencia por el bizcocho, tales como crujiente, harinoso, quebradizo, seco, blando (suave) o duro. En la textura tiene efecto positivo el tratamiento térmico, como el horneado para definir lo atractivo del producto al consumidor. Además, cabe destacar que la margarina como componente en la formulación de los bizcochos, actúa como agente anti aglutinante y confiere características de textura, como son, la dureza y fracturabilidad, de forma que resulta un producto menos duro de lo que sería sin ella (Cordi and Garzón, 2003). El análisis de textura instrumental arrojó el valor más alto de dureza para la formulación BAH, lo que guarda relación con los resultados de textura sensorial, donde los consumidores prefirieron la textura de esta formulación, otorgándole un mayor puntaje en la escala (6,20) con respecto a las demás formulaciones.

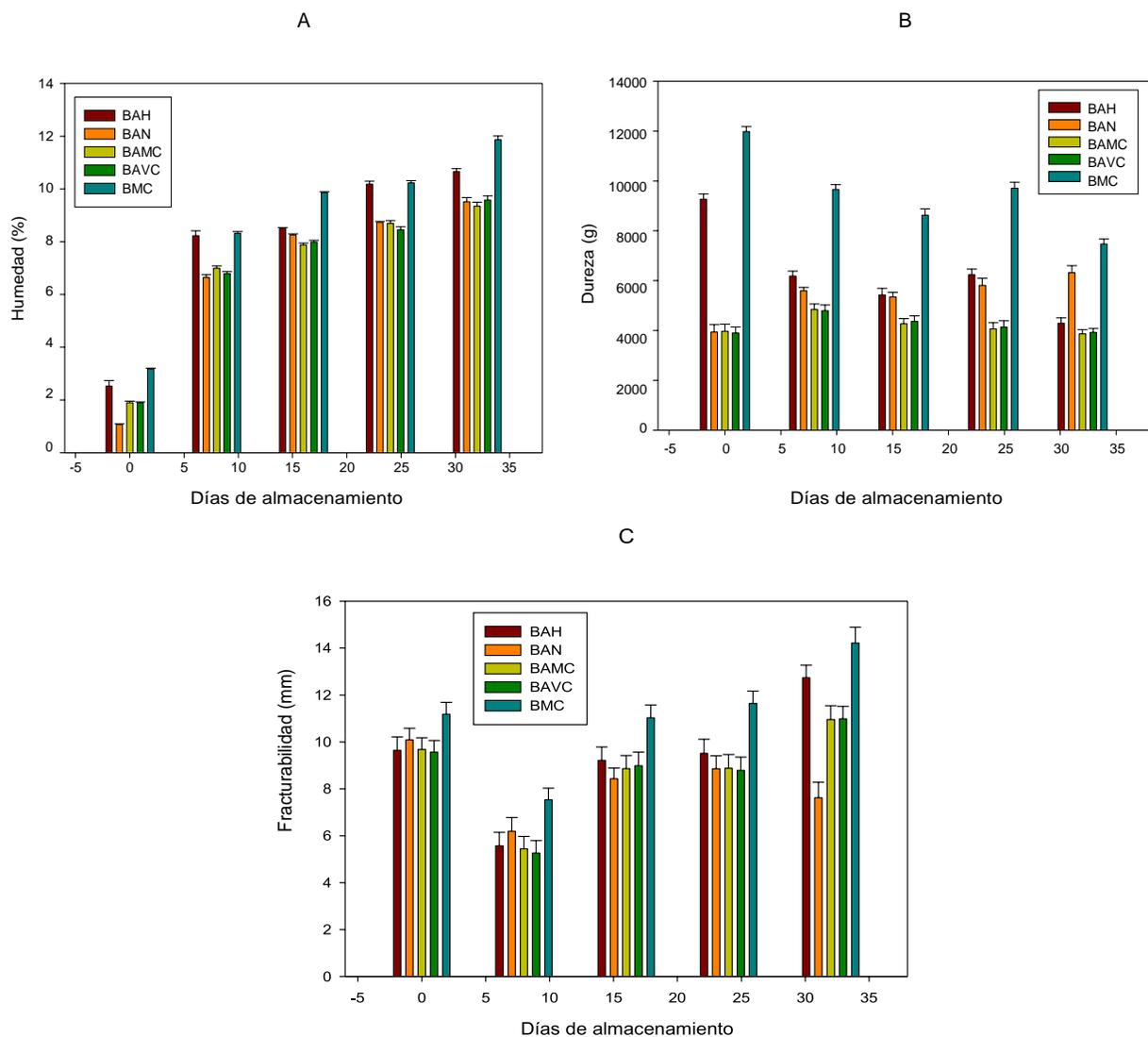
El almidón es uno de los ingredientes que fortalece el producto horneado y su composición desempeña un papel importante en la formación de la estructura del producto (Baixauli, 2007). Por ejemplo, la composición de grasa del almidón utilizado en la formulación del bizcocho, está relacionado con una textura tierna, húmeda y suave, proporcionándole también un sabor característico. Poca grasa en el almidón es responsable del aumento de la dureza de los productos. Lo anterior está de acuerdo con los resultados obtenidos, donde la formulación con almidón de Huila BAH que obtuvo el mayor valor de dureza (9273.12 g), su ecotipo de almidón presentó menor porcentaje de grasa (0.002%). Otra propiedad de los almidones que guarda relación con la textura, es la capacidad de retención de agua. En particular, una baja capacidad de retención de agua, le permite ser un ingrediente funcional que aporta al producto final una buena manipulación en su procesamiento, crocancia y mejora la textura final del producto (Embuena, 2015). Por ejemplo, los almidones ecotipo morada y verde cuya capacidad de

retención de agua fue baja, mostraron en el análisis de textura menor dureza y fracturabilidad para sus respectivas formulaciones (BAMC y BAVC).

• **Evaluación de estabilidad**

En la figura 3-3 se muestran los resultados de la evaluación de estabilidad con respecto al tiempo, en condiciones aceleradas para el bizcocho de achira, elaborado con cuatro ecotipos de almidón de achira (*Canna edulis*).

**Figura 3- 3:** Evaluación de estabilidad de los bizcochos de achira en almacenamiento.



A) Humedad, B) Dureza y C) Fracturabilidad. BMC: Bizcocho muestra comercial, BAH: Bizcocho ecotipo Huila, BAN: Bizcocho ecotipo Nariño, BAMC: Bizcocho ecotipo morada

de Cundinamarca, BAVC: Bizcocho ecotipo verde de Cundinamarca y BMC: Bizcocho muestra comercial.

La estabilidad en almacenamiento o la vida útil de los productos horneados podrían definirse como el mantenimiento de las características sensoriales y físicas asociadas con la frescura, como la ternura, compresibilidad y humedad del producto al evitar la alteración durante el almacenamiento. La humedad y características de textura se evaluaron durante un período de almacenamiento de 32 días, en los días 0, 8, 16, 24 y 32. Los resultados para humedad indican que a lo largo del tiempo este parámetro va presentando crecimiento para todos los productos, tendió a un significativo aumento de 1.8 a 8.8; lo que está de acuerdo con lo reportado por (Ramírez et al., 2016), para bizcochos de achira elaborados artesanal e industrialmente. Los valores de humedad no se mantuvieron en el intervalo de humedad indicado en la norma, permitiendo inferir sobre las características del empaque para preservar la calidad del producto, donde se evite o controle este incremento no deseable para conservar el producto. Es de esperarse que el contenido de humedad vaya aumentando en función del tiempo, ya que este es un factor de deterioro y que está relacionado con la textura del producto. Si aumenta la humedad seguramente sus características de textura van a verse afectadas y esto es percibido por el consumidor.

Con relación a la textura, se encontraron diferencias significativas entre los valores promedios. Los resultados para textura indican que a lo largo del tiempo, la dureza para el producto elaborado con almidón ecotipo del Huila se redujo pronunciadamente, mientras que para el producto elaborado con almidón ecotipo de Nariño aumentó ligeramente. Y el producto elaborado con almidón procedente de Cundinamarca, su dureza aumentó en la primera semana y luego se observa que no hubo mucha variación. Estas respuestas de endurecimiento de los bizcochos, puede estar de alguna forma relacionada con el fenómeno de retrogradación, que se forma después de someter al almidón a un tratamiento térmico en presencia de agua; así a menor grado de retrogradación de los gránulos de almidón, hay una menor resistencia ante el efecto de fuerzas de compresión o corte. También puede estar relacionado con el efecto de la temperatura sobre la cristalización del almidón en el producto, debido a que este componente se encuentra en alta proporción en su formulación. En términos generales, las características de textura crujiente y el grado

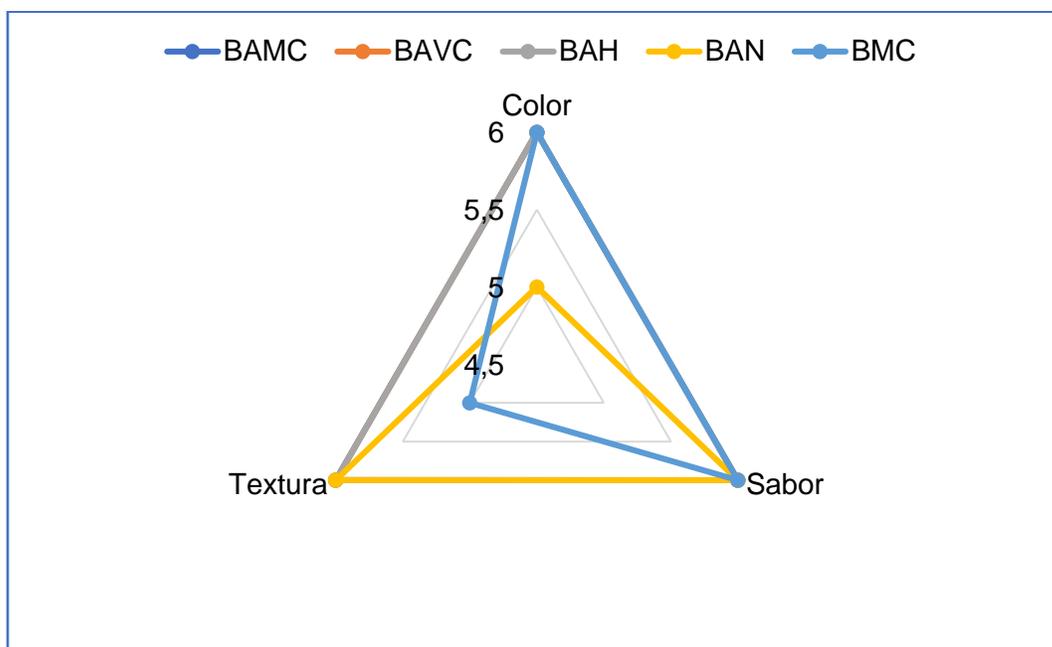
de fracturabilidad podría considerarse un factor de calidad para seleccionar el tipo de empaque y manejo adecuado, que deba seguirse para hacer llegar al consumidor un producto entero y en las cantidades deseadas. Para fracturabilidad, se observa para todos los productos una variabilidad a través del tiempo. Teniendo en cuenta que en la cámara 1 día en condiciones aceleradas equivale a 4 días en condiciones normales de almacenamiento del producto (Temperatura: 15-30°C y humedad relativa: 55-75%), con respecto al parámetro de humedad todos los ecotipos solo fueron estables hasta el día 8 (32 días en condiciones normales), debido a que no cumplen con el % mínimo que debe tener este tipo de producto según la NTC 5516. Y en cuanto a los parámetros de textura, aunque todos los ecotipos presentaron variabilidad a través del tiempo, todos en general fueron estables hasta el día 24 (96 días en condiciones normales). Esto se determinó basándose en la calidad sensorial del producto, teniendo en cuenta que la calidad nutritiva y microbiológica de los bizcochos continuaba sin deterioro, pero sus características sensoriales si se vieron modificadas.

### 3.4.2 Análisis sensorial

En la tabla 3-4 son presentados los resultados del análisis sensorial para los cuatro productos elaborados con almidón ecotipo de Huila (BAH), ecotipo de Nariño (BAN), ecotipo morada de Cundinamarca (BAMC), ecotipo verde de Cundinamarca (BAVC) y la muestra comercial (BMC). Este análisis se realizó con 60 panelistas no entrenados.

La prueba de Kruskal Wallis muestra que existieron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre las muestras para los atributos de color, sabor y textura. Para olor, no se presentaron diferencias significativas entre las muestras. En general, en la prueba de aceptabilidad realizada a consumidores, se pudo identificar una mayor aceptación por el producto elaborado con el almidón ecotipo del Huila, cuyos valores promedio para color, sabor y textura fueron de  $6.00 \pm 1.23$ ;  $6.00 \pm 0.99$ ;  $6.20 \pm 0.81$ , respectivamente. Siendo más altos con respecto a las otras muestras.

**Figura 3-4:** Evaluación sensorial de los bizcochos de achira (*Canna edulis*)



<sup>1</sup>BAH: Bizcocho ecotipo Huila, BAN: Bizcocho ecotipo Nariño, BAMC: Bizcocho ecotipo morada de Cundinamarca, BAVC: Bizcocho ecotipo verde de Cundinamarca y BMC: Bizcocho muestra comercial.

En cuanto al sabor de este tipo de producto, se ha encontrado que el almidón de achira produce un sabor característico cuando en presencia de la cuajada de leche, se hornea por encima de su temperatura de pirolisis. Este sabor, que no es producido por otros almidones en condiciones similares, se atribuye a la absorción de impurezas dentro de la configuración helicoidal de la fracción lineal, en la cual es rico este almidón (Morales, 2000). La temperatura de pirolisis es un factor determinante del sabor característico del bizcocho de achira. Tomando como temperatura de descomposición el denominado como pirolisis intensa, se observa que el almidón de achira se descompone a 190°C. El almidón en sí mismo aun sujeto a pirolisis no produce el sabor característico, el cual, solo se forma en presencia simultánea de cuajada de leche y almidón de achira.

### 3.4.3 Conclusiones

El uso de los ecotipos de almidón de achira como principal componente de la formulación de los bizcochos, tiene un efecto significativo en las características de calidad del producto, que obedece a las propiedades particulares de cada ecotipo. En esta investigación se compararon las cuatro formulaciones y se evaluó la influencia del almidón en las características del producto. Con respecto al contenido de humedad, la formulación con almidón de Huila y Nariño presentaron el mayor y menor valor, respectivamente; este parámetro se ve influenciado significativamente por el contenido de amilosa y gelatinización del almidón. Para pH se reportó diferencias significativas entre las muestras.

Así mismo, para color se presentaron diferencias entre las muestras, todas presentaron tener alto valor de  $L^*$  (claridad) y guardan relación con el índice de blancura de los almidones usados como materias primas. Con relación a la textura, la formulación BAH fue la que presentó mayor dureza y la formulación BAN, presentó menor valor de este parámetro. En contraste, la fracturabilidad para la muestra BAH fue la más baja y la muestra BAN la más alta. Cabe destacar, que la muestra comercial presentó valores altos tanto para dureza como fracturabilidad. Los anteriores parámetros se relacionan con la composición del almidón, más específicamente su contenido de grasa y capacidad de retención de agua. La evaluación sensorial mostró que el atributo olor no tuvo variabilidad y no presentó diferencias significativas entre las muestras. La formulación BAH presentó mayor intensidad en la escala en todos los atributos, por lo que se considera que este producto tuvo mayor aceptación por parte de los evaluadores. A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye que si existen diferencias en el producto con respecto al origen del almidón y las características de calidad del producto si se ve influenciado por unas propiedades intrínsecas de cada ecotipo del almidón.

### 3.4.4 Referencias bibliográficas

- AACC, 2000a. AACC Method 76-13.01. Total Starch Assay Procedure (Megazyme Amyloglucosidase/alpha-Amylase Method). doi:10.1094/AACCIIntMethods
- AACC, 2000b. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser.
- Acosta, A., Blanco, C., Matiz, G., 2013. Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria. Almidones Nativ. Colomb. Universidad de Cartagena.
- Acuña Pinto, H.M., 2012. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (dioscorea trifida) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados 80.
- Agronet, 2016. Estadísticas agrícolas: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo [WWW Document]. Red Inf. y Comun. del Sect. Agropecuario Colomb. Agric. y Desarro. Rural.
- Agudelo, J., Sepulveda, J., Restrepo, D., 2014. Efecto de la adición de dos tipos de almidones en las propiedades texturales de queso análogo. Rev. Fac. Nacional Agron. Medellín 68, 7545–7555. doi:10.15446/rfnam.v68n1.47843

- Anderson, R.A., Conway, H.F., Peplinski, A.J., 1970. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch - Stärke J.* 22, 130–135. doi:10.1002/star.19700220408
- Andrade Mahecha, M.M., Tapia Blácido, D.R., Menegalli, F.C., 2012. Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. *Starch/Staerke J.* 64, 348–358. doi:10.1002/star.201100149
- AOAC, 2012. *The Official Methods of Analysis*, 19th ed. Kenneth Helrich International, AOAC.
- Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., Kasapis, S., 2014. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *J. Food Sci. Technol.* 51, 3669–3679. Doi: 10.1007/s13197-012-0915-5
- Aristizábal, J., Sánchez, T., Mejía, D., 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma. Doi: 9253056770-9789253056774
- Baixauli, R., 2007. Influencia de la adición de un ingrediente funcional en la calidad de un producto de bollería. Aspectos reológicos y texturales y su relación con la aceptación sensorial.
- Bello, L., 2010. Extracción, purificación y caracterización del almidón de 21 clones del banco de germoplasma de musáceas del Inia. Elaboración de un producto tipo pudín. Universidad Central de Venezuela.
- Bernabè, C., 2009. Influencia de los componentes de la harina en la panificación. Parte 1. Almidón. Reportaje, *Panor. Panad.* 357, 4.
- Borries, E., 2014. Caracterización y estudios de digestión in vitro de extrudidos de almidón-goma guar. Instituto Politecnico Nacional.
- Caicedo, G., 2004. El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor. *Raíces Andin. Contrib. al Conoc. y a la Capacit.* 149–156.
- Caicedo, G., Roza, L., Rengifo, G., 2003a. La achira: Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina. CORPOICA Bogota, Colombia.
- Caicedo, G., Segundo, L., Wilches, R., 2003b. Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina: Técnicas de cultivo, beneficio o proceso poscosecha y uso agroindustrial.
- Carolina, A., Ilimi, F.N., 2016. Production of Indonesian *Canna edulis* type IV resistant starch through acetylation modification. *Int. Food Res. J.* 23, 491–497.

- Chuenkamol, B., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2007. Characterization of low-substituted hydroxypropylated canna starch. *Food Hydrocoll.* 21, 1123–1132. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.08.013
- Cisneros, F., Zevillanos, R., Cisneros, L., 2009. Characterization of starch from two ecotypes of andean achira roots (*Canna edulis*). *J. Agric. Food Chem.* 57, 7363– 7368. Doi: 10.1021/jf9004687
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Tang, M.C., 2009. Form and functionality of starch. *Food Hydrocoll.* 23, 1527–1534. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.09.016
- Cordi, M., Garzón, J., 2003. Estudio técnico para el montaje de una planta productora de bizcochos de achira. Universidad de la Sabana.
- Correa, N.M., Pérez, A.C., Villegas, A.D., 2016. Caracterización morfológica y perfil viscoamilográfico del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.). *J. Saber, Univ. Oriente Venez.* 28, 250–256.
- Cortes, T., Aldana, S., Longas, F., Real, V., 2014. Caracterización fisicoquímica y reológica de almidón procedente de cuatro ecotipos de achira (*Canna edulis* Ker) cultivados en el departamento del Huila.
- Craig, S.A., Maningat, C.C., Seib, P.A., R.C, H., 1989. Starch paste clarity. *Am. Assoc. Cereal Chem. Inc.* 66, 173–182. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Deepika, V., Jayaram Kumar, K., Anima, P., 2013. Isolation and physicochemical characterization of sustained releasing starches from *Dioscorea* of Jharkhand. *Int. J. Biol. Macromol.* 55, 193–200. doi:10.1016/j.ijbiomac.2012.11.027
- Díaz, C., Vásquez, S.M., G, A.P., Suárez-mahecha, H., Francisco, A. De, 2016. Características microestructurales y fisicoquímicas del rizoma y almidón de achira (*Canna edulis* sp.). *Rev. Agron. Colomb.* 34, 1469–1473. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.59878
- Díaz, L., Iria, A., García, O., 2015. Evaluación fisicoquímica de galletas con inclusión de harina de bleado (*Amaranthus dubius* Mart). *Rev. ASA-Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado"* 2343–6115.
- Eljeeva, M., Pushpadass, H.A., Kumar, B., Kulkarni, S., Muthurayappa, M., Kandasamy, R., Venkatachalam, P., Vellingiri, P., 2017. Physicochemical, thermal, pasting and microstructural characterization of commercial *Curcuma angustifolia* starch. *Food Hydrocoll.* 67, 27–36. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.12.025
- Embuena, D., 2015. Evaluación de los cambios estructurales de galletas elaboradas con sustitutos de grasa. *Univ. Politécnica Val.* 1–39.

- Espín, S., Villacrés, E., Brito, B., 2004. Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. Raíces y Tubérculos Andin. Altern. Para la Conserv. y uso Sosten. en el Ecuador 91–116.
- Fernández, A., Rojas, E., García, A., Mejía, J., Bravo, A., 2016. Evaluación fisicoquímica, sensorial y vida útil de galletas enriquecidas con subproductos protéicos de suero de quesería. Rev. Científica Fac. Ciencias Vet. Div. Investig. XXVI, 71–79.
- Fonseca-Flrido, H.A., Méndez-Montealvo, G., Velazquez, G., Gómez-Aldapa, C.A., 2016. Thermal study in the interactions of starches blends: Amaranth and achira. Food Hydrocoll. 61, 640–648. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.06.027
- Galván-Araujo, S.P., Barrera-Hernández, C., Mendoza-Corvis, F.A., 2016. Perfil de textura y caracterización fisicoquímica de galletas de limón elaboradas en Cereté (Córdoba, Colombia). Agron. Colomb. 34, S1349–S1351. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58445
- Gani, A., Haq, S.S., Masoodi, F.A., Broadway, A.A., Gani, A., 2010. Physico-chemical, Morphological and pasting properties of starches extracted from water chestnuts (*Trapa natans*) from three lakes of Kashmir, India. Brazilian Arch. Biol. Technol. 53, 731–740. doi:10.1590/S1516-89132010000300030
- García, L., 2013. Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional del almidón de semilla de Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* Moq. Colegio de Postgraduados, Institucion de Enseñanza e Investigacion en Ciencias Agrícolas.
- García, O., Pinzón, M., Sanchez, L., 2013. Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. @limentech, Cienc. y Tecnol. Aliment. 11, 13–21.
- Gawl, K., Lobo-arias, M., Medina-cano, C.I., Grisales-arias, J.D., Yepes-agudelo, A.F., Álvarez-guzmán, J.A., 2017. Caracterización y evaluación morfológicas de la colección colombiana de achira , *Canna edulis* Ker Gawl . ( Cannaceae ) Evaluation and morphological characterization of the Colombian collection of achira 18, 47–73.
- Gibson, T.S., Solah, V.A., McCleary, B. V., 1997. A Procedure to Measure Amylose in Cereal Starches and Flours with Concanavalin A. J. Cereal Sci. 25, 111–119. doi:10.1006/jcrs.1996.0086
- González, G.H., 2012. Desarrollo de productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos, in: Colombia, F.U.A. de (Ed.), Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA. Bogotá, Colombia, pp. 1–51.

- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J.G., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D., 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnol. Aliment.* 28, 718–726. doi:10.1590/S0101-20612008000300031
- Huang, J., Zhao, L., Man, J., Wang, J., Zhou, W., Huai, H., Wei, C., 2015. Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. *Int. J. Biol. Macromol.* 78, 165–172. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.04.006
- ICONTEC, 2009. Norma Técnica Colombiana 529 Cereales y productos cereales. Determinación del contenido de humedad.
- ICONTEC, 2007. Norma Técnica Colombiana NTC 5516-Productos de molinería. Bizcocho de achira.
- ICONTEC, 1991. Norma Técnica Colombiana 3228 Industrias alimentarias. Almidón de achira.
- Imai, K., 2008. Edible Canna: A Prospective Plant Resource from South America. *Japanese J. Plant Sci.* 214–224.
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S., 2017a. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 102, 315–322. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S., 2017b. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 102, 315–322. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027
- Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J.A., Ramos-Ramírez, E.G., 2007. Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydr. Polym.* 68, 679–686. doi:10.1016/j.carbpol.2006.07.035
- Karlsson, M.E., Eliasson, A.C., 2003. Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC). *LWT - Food Sci. Technol.* 36, 735–741. doi:10.1016/S0023-6438(03)00093-8
- Kasemwong, K., Piyachomkwan, K., Wansuksri, R., Sriroth, K., 2008. Granule sizes of canna (*Canna edulis*) starches and their reactivity toward hydration, enzyme hydrolysis and chemical substitution. *Starch/Staerke* 60, 624–633. doi:10.1002/star.200800229

- Lares, M., Perez, E., Lares Perez, 2006. Determination of the mineral fraction and rheological properties of microwave modified starch from *Canna edulis*. *Plant Foods Hum. Nutr.* 61, 109–113. doi:10.1007/s11130-006-0007-7
- Leonel, M., 2007. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. *Cienc. e Tecnol. Aliment.* 27, 579–588. doi:10.1590/S0101-20612007000300024
- Leonel, M., Sarmiento, S., Cereda, M., 2002. Extração E Caracterização Do Amido De Biri (*Canna edulis*). *Brazilian J. food Technol.* 5, 27–32.
- Lerdluksamee, C., Srikaeo, K., Tutusaus, J.A.M., Diéguez, J.G., 2013. Physicochemical properties and starch digestibility of *Scirpus grossus* flour and starch. *Carbohydr. Polym.* 97, 482–488. doi:10.1016/j.carbpol.2013.05.001
- Liliam Sivoli, 2009. Técnicas microscópicas y de dispersion de luz empleadas en la evaluación de la estructura del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C.). *Acta Microsc.* Vol.18, 195–203.
- López, J., Rodríguez, E., Sepulveda, J., 2012. Evaluation of physical and textural characteristics of pandebono. *Acta Agron.* 61, 251–258.
- López, J.M., Quintero-Castaño, V., Lucas-Aguirre, J.C., 2014. Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agron.* 64, 11–21. doi:10.15446/acag.v64n1.38814
- Mahmood, K., Kamilah, H., Shang, P.L., Sulaiman, S., Ariffin, F., Alias, A.K., 2017. A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food Biosci.* 19, 110–120. doi:10.1016/j.fbio.2017.05.006
- Martínez, O., Lapo Calderón, B., Pérez Rodríguez, J., Zambrano Cabrera, C., 2015. Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Rev. Colomb. Quim* 44, 16–21. doi:http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215
- Millán, J.D. la R., 2009. Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul. Instituto Politécnico Nacional.
- Mohiuddin, F., Singh, C., Riar, S., 2016. Effect of amylose, particle size & morphology on the functionality of starches of traditional rice cultivars. *Int. J. Biol. Macromol.* 92, 637–644. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.07.078
- Mollega, S.C., 2007. Desarrollo de almidones pregelatinizados funcionalizados y evaluación de las propiedades reológicas para su aplicación en la industria petrolera. Universidad Simon Bolivar.

- Moorthy, S.N., Larsson, H., Eliasson, A.C., 2008. Rheological characteristics of different tropical root starches. *Starch/Staerke J.* 60, 233–247. doi:10.1002/star.200700708
- Morales, R., 2000. Características físicas, químicas y organolépticas del almidón de achira (*Canna edulis* Ker var.).
- Morocho, J., 2013. “La achira y su aplicación en la cocina de tendencia vanguardista.” Universidad de Cuenca.
- Ortega, M., 2008. Propiedades viscoelásticas y reológicas estacionarias de suspensiones de almidón nativo de quínoa. Universidad de Chile.
- Pacheco, E., Techeira, N., Delahaye, E., 2009. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia* 34, 280–285.
- Palma, H., 2012. Caracterización de almidones de diferentes fuentes tratados con ácido para la encapsulación de vitamina C. Instituto Politecnico Nacional.
- Pereira, D., Correia, P., Guiné, R., 2013. Analysis of the physical-chemical and sensorial properties of Maria type cookies. *Acta Chim. Slovaca* 6, 269–280. doi:10.2478/acs-2013-0040
- Perez, E., Lares, M., 2005. Chemical composition, mineral profile, and functional properties of *Canna* (*Canna edulis*) and Arrowroot (*Maranta* spp.) starches. *Plant Foods Hum. Nutr.* 60, 113–116. doi:10.1007/s11130-005-6838-9
- Perez, E., Lares, M., Alfaro, M. de J., 2007. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas del almidón extraído de la nuez del orinoco (*Caryodendron orinocense* karst). *Acta Cient. Venez.* 58, 52–56.
- Peroni, F.H.G., Rocha, T.S., Franco, C.M.L., 2006. Some Structural and Physicochemical Characteristics of Tuber and Root Starches. *Food Sci. Technol. Int.* 12, 505–513. doi:10.1177/1082013206073045
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Christopher Oates, Siroth, K., 2002a. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Ind. Crops Prod.* 16 (2002), 11–21.
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Oates, C.G., Siroth, K., 2002b. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Ind. Crops Prod.* 16, 11–21. doi:10.1016/S0926-6690(02)00003-1

- Piyachomkwan, K., Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Takeda, Y., 2004. Functional Properties of Edible Canna (*Canna edulis* Ker.) Starch. Bangkok Thailand.
- Puncha-arnon, S., Pathipanawat, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2008. Effects of relative granule size and gelatinization temperature on paste and gel properties of starch blends. *Food Res. Int.* 41, 552–561. doi:10.1016/j.foodres.2008.03.012
- Puncha-arnon, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Pathipanawat, W., Uttapap, D., 2007. Changes in physicochemical properties and morphology of canna starches during rhizomal development. *Carbohydr. Polym.* 70, 206–217. doi:10.1016/j.carbpol.2007.03.020
- Quintero, V.D., Lucas, J.C., Alzate, E.N., 2013. Determinación de las propiedades Térmicas y Composicionales de la Harina y Almidón de Chachafruto (*Erythrina Edulis* Triana Ex Micheli). *Rev. la Fac. Ing.* 18, 31–35.
- Quiroga, C., 2009. Caracterización fisicoquímica de tres fuentes subutilizadas de almidón de la región andina de Bolivia. *Investig. y Desarro.* 9, 81–94. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Ramírez, M., Gutiérrez, N., Cortés, E., 2016. Evolución de atributos de calidad en bizcocho de achira (*Canna edulis* Ker.) del Huila. *Agron. Colomb.* 34, 728–730. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57783
- Reichel, H., 2007. Partículas flexuosas de aspecto viral aisladas de achira (*Canna edulis* Ker.) afectada por clorosis en Colombia. *Rev. Agron. Colomb.* 25, 330–332.
- Ren, S., 2017. Comparative analysis of some physicochemical properties of 19 kinds of native starches 1–28.
- Rendón, M., García, T., Bragagnolo, N., 2014. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Chem.* 147, 279–286. doi:10.1016/j.foodchem.2013.09.123
- Rios, K., 2014. Análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Ríos, K.R., 2014. Análisis comparativo de las propiedades fisico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia Esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

- Rivas, M., 2012. Almidón acetilado de plátano: caracterización fisicoquímica y molecular. Universidad Autoónoma de Querétaro.
- Rodríguez, D., 2015. Potencial agroalimentario del almidón de arroz de tres variedades cultivadas en el departamento del Tolima. Universidad del Tolima.
- Rodríguez, G., García, H., Camacho, J., Arias, F., 2003. El Almidón de Achira o Sagú (*Canna edulis*, Ker) Manual Técnico para su Elaboración. CORPOICA Tibaitata, Cundimarca.
- Rodríguez, P., San Martín, M.E., Gonzales de la Cruz, G., 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. Soc. Mex. Cienc. Superf. y vacío 13, 61–65.
- Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2005. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. Carbohydr. Polym. 61, 211– 221. doi:10.1016/j.carbpol.2005.05.024
- Santacruz, S., 2005. Caracterización de almidones de Arracacha, Xanthoriza, *Canna edulis* y *Oxalis Tuberosa* y extraído de hojas de papa. Rev. Boliv. Química 22, 27– 33.
- Santacruz, S., Koch, K., Svensson, E., Ruales, J., Eliasson, A.C., 2002. Three underutilised sources of starch from the Andean region in Ecuador. Part I. Physico- chemical characterisation. Carbohydr. Polym. 49, 63–70.
- Santacruz, S., Ruales, J., Eliasson, A.C., 2003. Three under utilized sources of starch from the Andean region in Ecuador. Part II. Rheological characterisation. Carbohydr. Polym. 51, 85–92.
- Sivak, M., Preis, J., 1998. Advances in Food and Nutrition Research. Starch Basic Science to Biotechnology, Academic P. ed. Academic Press, Michigan.
- Soni, P.L., Sharma, H., Srivastava, H.C., Gharia, M.M., 1990. Physicochemical properties of *Canna edulis* starch-comparison with maize starch. Starch - Stärke 42, 460–464. doi:10.1002/star.19900421203
- Soto, I., Luján, D., Salcedo, J., Contreras, K., 2016. Evaluación de un producto horneado (“diabolín”) formulado con almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Agron. Colomb. 34, 804–807. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58233
- Srichuwong, S., Sunarti, T.C., Mishima, T., Isono, N., Hisamatsu, M., 2005. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. Carbohydr. Polym. 60, 529–538. doi:10.1016/j.carbpol.2005.03.004

- Srikaeo, K., Mingyai, S., Sopade, P.A., 2011. Physicochemical properties, resistant starch content and enzymatic digestibility of unripe banana, edible canna, taro flours and their rice noodle products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46, 2111–2117. doi:10.1111/j.1365-2621.2011.02724.x
- Surco, F., 2004. Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Tenorio, J.L., Sandoval, E.R., Valencia, J.S., 2012. Evaluación de características físicas y texturales de pandebono. *Acta Agronómica* 61, 273–281.
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., Takeda, Y., 2003a. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part II. Molecular structure of amylose and amylopectin. *Carbohydr. Polym.* 54, 489–498. doi:10.1016/j.carbpol.2003.08.003
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., Takeda, Y., 2003b. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.* 53, 317–324. doi:10.1016/S0144-8617(03)00081-X
- Tovar, T., 2008. Caracterización Morfológica Y Térmica Del Almidón De Maíz (*Zea mays* L ) Obtenido por Diferentes Métodos de Aislamiento. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Van Hung, P., Morita, N., 2005. Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. *Carbohydr. Polym.* 61, 314–321. doi:10.1016/j.carbpol.2005.04.021
- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2009a. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018
- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2009b. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J.A., 2014. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Stärke J.* 66, 1–16. doi:10.1002/star.201300238
- Wickramasinghe, H.A.M., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Yamauchi, H., Noda, T., 2009. Comparative analysis of starch properties of different root and tuber crops of Sri Lanka. *Food Chem.* 112, 98–103. doi:10.1016/j.foodchem.2008.05.046

- Yu, X., Li, B., Wang, L., Chen, X., Wang, W., Gu, Y., Wang, Z., Xiong, F., 2016. Effect of drought stress on the development of endosperm starch granules and the composition and physicochemical properties of starches from soft and hard wheat. *J.Sci. Food Agric.* 96, 2746–2754. doi:10.1002/jsfa.7439
- Zhang, J., Chen, F., Liu, F., Wang, Z.W., 2010a. Study on structural changes of microwave heat-moisture treated resistant *Canna edulis* Ker starch during digestion in vitro. *Food Hydrocoll.* 24, 27–34. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.07.005
- Zhang, J., Wang, Z.-W., Yang, J.-A., 2010b. Physicochemical Properties of *Canna edulis* Ker Starch on Heat-Moisture Treatment. *Int. J. Food Prop.* 13, 1266–1279. doi:10.1080/10942910903061828
- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., Wei, C., 2018. Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocoll.* doi:10.1016/j.foodhyd.2018.02.006
- Zhu, F., 2017a. Structures, properties, modifications, and uses of oat starch. *Food Chem.* 229, 329–340. doi:10.1016/j.foodchem.2017.02.064
- Zhu, F., 2017b. Structures, properties, and applications of lotus starches. *Food Hydrocoll.* 63, 332–348. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.08.034
- Zortéa-Guidolin, M.E.B., Demiate, I.M., Godoy, R.C.B. de, Scheer, A. de P., Grewell, D., Jane, J. lin, 2017. Structural and functional characterization of starches from Brazilian pine seeds (*Araucaria angustifolia*). *Food Hydrocoll.* 63, 19–26. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.08.022



## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

Fueron evaluados 4 ecotipos de almidón nativo de achira (*Canna edulis*), procedente de las tres principales regiones productoras de Colombia (Huila, Nariño y Cundinamarca), a través de características fisicoquímicas, térmicas y microestructurales, las cuales pueden ser parámetros de diferenciación. Con respecto a las características fisicoquímicas se obtuvieron valores promedios para amilosa de  $27.35 \pm 4.2$  %, amilopectina  $72.65 \pm 4.2$  %, almidón total  $82.01 \pm 5.3$  %, humedad  $13.99 \pm 0.08$  %, cenizas  $0.24 \pm 0.08$  %, grasa  $0.003 \pm 0.00$  %, proteína  $0.36 \pm 0.00$  %, acidez  $0.019 \pm 0.00$  %, pH  $6.70 \pm 0.01$ , índice de blancura IB  $93.08 \pm 0.06$  % y transmitancia  $54.66 \pm 2.98$  %.

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ecotipos para todos los parámetros, excepto amilosa, amilopectina, almidón total y contenido de ceniza en la composición proximal. En general todos los ecotipos estudiados se caracterizan por tener alto contenido de amilosa (> 25%) con respecto a almidones de otras fuentes. Así mismo, en la composición proximal se encontraron valores bajos de todos los componentes, característico de todos los almidones sin importar su origen. En cuanto al color, los almidones mostraron índices de blancura altos cercanos al blanco total y se caracterizaron por presentar transmitancia alta (>40%), lo que sugiere su capacidad de formar geles claros. Todos los ecotipos mostraron ser almidones de alta calidad, reflejado en su alta absorción de agua, alto poder de hinchamiento y baja solubilidad.

En cuanto a la forma de los gránulos no se encontró variación entre ecotipos y se tiene que la mayoría mostraron forma de disco y ovalada con superficie lisa. Sin embargo, en cuanto al tamaño de los gránulos el almidón de achira se caracteriza por poseer gránulos de gran tamaño y se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los ecotipos estudiados, variando el tamaño en un intervalo de 34.69 -58.90  $\mu\text{m}$  y una

distribución de tamaño de 15,28-102,53  $\mu\text{m}$ . Con respecto a la estructura cristalina de los almidones, todos los ecotipos mostraron un patrón de difracción de rayos X tipo B, característico de almidones procedentes de raíces y tubérculos como el de achira. Este patrón también es típico de almidones con alto contenido de amilosa, lo que está de acuerdo con los resultados de esta investigación.

Para las propiedades térmicas se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los ecotipos evaluados, donde la temperatura de gelatinización de los almidones osciló entre  $63.35 \pm 0.13^\circ\text{C}$  -  $65.64 \pm 0.21^\circ\text{C}$  y estas diferencias están relacionadas directamente con el contenido de amilosa. Estas características térmicas obtenidas pueden considerarse para ser usados en productos que no requieran temperaturas elevadas, tales como caramelos, natillas, pudines, entre otros. En el estudio del comportamiento reológico de los almidones se encontraron diferencias entre las muestras, donde la viscosidad máxima osciló en un intervalo de  $13480.0 \pm 478.00$  cP –  $15606.0 \pm 231.93$  cP. Todos los ecotipos estudiados se caracterizan por formar geles altamente viscosos y estables en diversos procesos, lo cual es ventajoso en la utilización de estos almidones en la industria.

Con relación a las características de calidad física y sensorial del producto horneado (bizcocho de achira) formulado con almidón nativo de achira previamente caracterizado, se observaron diferencias significativas entre cada una de las muestras con respecto a la procedencia del almidón. En el análisis fisicoquímico de los bizcochos, se obtuvieron valores promedios para humedad de  $2.11 \pm 0.11$  % y pH de  $6.46 \pm 0.02$ , para el color se presentaron en su mayoría diferencias entre las muestras ( $\Delta E^*$ ) apreciadas por el ojo humano. Los datos obtenidos de fracturabilidad en el análisis de textura fueron similares para todas las muestras y oscilan en un intervalo de 9.64-11.13 mm, estos altos valores indican un requerimiento de mayor fuerza para quebrarse. La dureza osciló en un intervalo de 3936.84 g – 11813.76 g, todas las muestras mostraron baja capacidad de resistir fuerzas mecánicas externas, reduciendo sus características crujientes y fragilidad al corte, excepto el producto formulado con almidón nativo de Huila (BAH) que mostró alto valor de este parámetro. En el análisis sensorial se presentaron diferencias estadísticamente significativas para todos los atributos, menos el olor que no tuvo

variabilidad. Los resultados obtenidos confirman que existe un efecto del ecotipo y las propiedades intrínsecas del almidón sobre la calidad física y sensorial del producto.

## 4.2 Recomendaciones

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales de los almidones, resulta de gran importancia para su caracterización y clasificación de acuerdo a su origen geográfico. Sin embargo, sería muy útil extender el estudio a otros ecotipos de almidón de achira procedentes de las diferentes regiones donde se cultiva la achira en Colombia.

El uso de almidones nativos en el procesamiento de alimentos está limitado principalmente por su tendencia a retrogradar y presentar sinéresis, o por la inestabilidad de su viscosidad durante el procesamiento. Se sugiere el desarrollo de un proceso de modificación de los ecotipos de almidón de achira estudiados, con el fin de comparar y establecer diferencias con respecto a sus propiedades y posible contribución en el desarrollo de nuevos productos y nuevas aplicaciones.

En investigaciones posteriores, se sugiere complementar con un análisis de todos los minerales en los diferentes almidones estudiados, ya que se sabe por literatura que también influyen en las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales de los almidones.

Se sugiere la utilización de los diferentes ecotipos de almidón de achira en la elaboración de películas comestibles, elaboración de pudines, gelatinas y mermeladas, como espesante y estabilizante, con el fin de realizar comparaciones en cuanto a la influencia de las propiedades del almidón en las características de calidad de los productos.

## Anexos A. Formato Análisis Sensorial

NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

Frente a usted hay 4 muestras codificadas de Bizcocho de Achira, las cuales debe probar una a la vez y marque con una X su juicio sobre cada muestra para cada atributo.

### COLOR:

ESCALA	MUESTRAS			
	6458	1430	1703	5238
Me gusta muchísimo				
Me gusta moderadamente				
Me gusta muy poco				
Me es indiferente				
Me disgusta muy poco				
Me disgusta moderadamente				
Me disgusta muchísimo				

### SABOR:

ESCALA	MUESTRAS			
	6458	1430	1703	5238
Me gusta muchísimo				
Me gusta moderadamente				
Me gusta muy poco				
Me es indiferente				
Me disgusta muy poco				
Me disgusta moderadamente				
Me disgusta muchísimo				

### TEXTURA (DUREZA-CROCANCIA):

ESCALA	MUESTRAS			
	6458	1430	1703	5238
Me gusta muchísimo				
Me gusta moderadamente				
Me gusta muy poco				
Me es indiferente				
Me disgusta muy poco				
Me disgusta moderadamente				
Me disgusta muchísimo				

Comentarios: \_\_\_\_\_

## Bibliografía

- AACC, 2000a. AACC Method 76-13.01. Total Starch Assay Procedure (Megazyme Amyloglucosidase/alpha-Amylase Method). doi:10.1094/AACCIntMethods
- AACC, 2000b. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser.
- Acosta, A., Blanco, C., Matiz, G., 2013. Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria. Almidones Nativ. Colomb. Universidad de Cartagena.
- Acuña Pinto, H.M., 2012. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (dioscorea trifida) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados 80.
- Agronet, 2016. Estadísticas agrícolas: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo [WWW Document]. Red Inf. y Comun. del Sect. Agropecuario Colomb. Agric. y Desarro. Rural.
- Agudelo, J., Sepulveda, J., Restrepo, D., 2014. Efecto de la adición de dos tipos de almidones en las propiedades texturales de queso análogo. Rev. Fac. Nacional Agron. Medellín 68, 7545–7555. doi:10.15446/rfnam.v68n1.47843
- Anderson, R.A., Conway, H.F., Peplinski, A.J., 1970. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. Starch - Stärke J. 22, 130–135. doi:10.1002/star.19700220408
- Andrade Mahecha, M.M., Tapia Blácido, D.R., Menegalli, F.C., 2012. Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. Starch/Staerke J. 64, 348–358. doi:10.1002/star.201100149
- AOAC, 2012. The Official Methods of Analysis, 19th ed. Kenneth Helrich International, AOAC.
- Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., Kasapis, S., 2014. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. J. Food

- Sci. Technol. 51, 3669–3679. doi:10.1007/s13197-012-0915-5
- Aristizábal, J., Sánchez, T., Mejía, D., 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma. doi:9253056770-9789253056774
- Baixauli, R., 2007. Influencia de la adición de un ingrediente funcional en la calidad de un producto de bollería. Aspectos reológicos y texturales y su relación con la aceptación sensorial.
- Bello, L., 2010. Extracción, purificación y caracterización del almidón de 21 clones del banco de germoplasma de musáceas del Inia. Elaboración de un producto tipo pudín. Universidad Central de Venezuela.
- Bernabè, C., 2009. Influencia de los componentes de la harina en la panificación. Parte 1. Almidón. Reportaje, Panor. Panad. 357, 4.
- Borries, E., 2014. Caracterización y estudios de digestión in vitro de extrudidos de almidón-goma guar. Instituto Politecnico Nacional.
- Caicedo, G., 2004. El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor. Raíces Andin. Contrib. al Conoc. y a la Capacit. 149–156.
- Caicedo, G., Rozo, L., Rengifo, G., 2003a. La achira: Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina. CORPOICA Bogota, Colombia.
- Caicedo, G., Segundo, L., Wilches, R., 2003b. Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina: Técnicas de cultivo, beneficio o proceso poscosecha y uso agroindustrial.
- Carolina, A., Ilmi, F.N., 2016. Production of Indonesian *Canna edulis* type IV resistant starch through acetylation modification. Int. Food Res. J. 23, 491–497.
- Chuenkamol, B., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2007. Characterization of low-substituted hydroxypropylated canna starch. Food Hydrocoll. 21, 1123–1132. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.08.013
- Cisneros, F., Zevillanos, R., Cisneros, L., 2009. Characterization of starch from two ecotypes of andean achira roots (*Canna edulis*). J. Agric. Food Chem. 57, 7363–7368. doi:10.1021/jf9004687
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Tang, M.C., 2009. Form and functionality of starch. Food Hydrocoll. 23, 1527–1534. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.09.016
- Cordi, M., Garzón, J., 2003. Estudio técnico para el montaje de una planta productora de bizcochos de achira. Universidad de la Sabana.

- Correa, N.M., Pérez, A.C., Villegas, A.D., 2016. Caracterización morfológica y perfil viscoamilográfico del almidón nativo de ñame congo ( *Dioscorea bulbifera* L. ). *J. Saber, Univ. Oriente Venez.* 28, 250–256.
- Cortes, T., Aldana, S., Longas, F., Real, V., 2014. Caracterización fisicoquímica y reológica de almidón procedente de cuatro ecotipos de achira (*Canna edulis* Ker) cultivados en el departamento del Huila.
- Craig, S.A., Maningat, C.C., Seib, P.A., R.C, H., 1989. Starch paste clarity. *Am. Assoc. Cereal Chem. Inc.* 66, 173–182. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Deepika, V., Jayaram Kumar, K., Anima, P., 2013. Isolation and physicochemical characterization of sustained releasing starches from *Dioscorea* of Jharkhand. *Int. J. Biol. Macromol.* 55, 193–200. doi:10.1016/j.ijbiomac.2012.11.027
- Díaz, C., Vásquez, S.M., G, A.P., Suárez-mahecha, H., Francisco, A. De, 2016. Características microestructurales y fisicoquímicas del rizoma y almidón de achira (*Canna edulis* sp. ). *Rev. Agron. Colomb.* 34, 1469–1473. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.59878
- Díaz, L., Iria, A., García, O., 2015. Evaluación fisicoquímica de galletas con inclusión de harina de bleo (*Amaranthus dubius* Mart). *Rev. ASA-Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”* 2343–6115.
- Eljeeva, M., Pushpadass, H.A., Kumar, B., Kulkarni, S., Muthurayappa, M., Kandasamy, R., Venkatachalam, P., Vellingiri, P., 2017. Physicochemical, thermal, pasting and microstructural characterization of commercial *Curcuma angustifolia* starch. *Food Hydrocoll.* 67, 27–36. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.12.025
- Embuena, D., 2015. Evaluación de los cambios estructurales de galletas elaboradas con sustitutos de grasa. *Univ. Politécnica Val.* 1–39.
- Espín, S., Villacrés, E., Brito, B., 2004. Caracterización Físico - Química , Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. *Raíces y Tubérculos Andin. Altern. para la Conserv. y uso Sosten. en el Ecuador* 91–116.
- Fernández, A., Rojas, E., García, A., Mejía, J., Bravo, A., 2016. Evaluación fisicoquímica, sensorial y vida útil de galletas enriquecidas con subproductos protéicos de suero de quesería. *Rev. Científica Fac. Ciencias Vet. Div. Investig.* XXVI, 71–79.
- Fonseca-Florido, H.A., Méndez-Montevalvo, G., Velazquez, G., Gómez-Aldapa, C.A., 2016. Thermal study in the interactions of starches blends: Amaranth and achira. *Food Hydrocoll.* 61, 640–648. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.06.027
- Galván-Araujo, S.P., Barrera-Hernández, C., Mendoza-Corvis, F.A., 2016. Perfil de

- textura y caracterización fisicoquímica de galletas de limón elaboradas en Cereté (Córdoba, Colombia). *Agron. Colomb.* 34, S1349–S1351. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58445
- Gani, A., Haq, S.S., Masoodi, F.A., Broadway, A.A., Gani, A., 2010. Physico-chemical, Morphological and pasting properties of starches extracted from water chestnuts (*Trapa natans*) from three lakes of Kashmir, India. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 53, 731–740. doi:10.1590/S1516-89132010000300030
- García, L., 2013. Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional del almidón de semilla de Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* Moq. Colegio de Postgraduados, Institucion de Enseñanza e Investigacion en Ciencias Agrícolas.
- García, O., Pinzón, M., Sanchez, L., 2013. Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *@limentech, Cienc. y Tecnol. Aliment.* 11, 13–21.
- Gawl, K., Lobo-arias, M., Medina-cano, C.I., Grisales-arias, J.D., Yepes-agudelo, A.F., Álvarez-guzmán, J.A., 2017. Caracterización y evaluación morfológicas de la colección colombiana de achira, *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae) Evaluation and morphological characterization of the Colombian collection of achira 18, 47–73.
- Gibson, T.S., Solah, V.A., McCleary, B. V., 1997. A Procedure to Measure Amylose in Cereal Starches and Flours with Concanavalin A. *J. Cereal Sci.* 25, 111–119. doi:10.1006/jcrs.1996.0086
- González, G.H., 2012. Desarrollo de productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos, in: Colombia, F.U.A. de (Ed.), *Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA*. Bogotá, Colombia, pp. 1–51.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J.G., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D., 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnol. Aliment.* 28, 718–726. doi:10.1590/S0101-20612008000300031
- Huang, J., Zhao, L., Man, J., Wang, J., Zhou, W., Huai, H., Wei, C., 2015. Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. *Int. J. Biol. Macromol.* 78, 165–172. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.04.006
- ICONTEC, 2009. Norma Técnica Colombiana 529 Cereales y productos cereales. Determinación del contenido de humedad.

- ICONTEC, 2007. Norma Técnica Colombiana NTC 5516-Productos de molinería. Bizcocho de achira.
- ICONTEC, 1991. Norma Técnica Colombiana 3228 Industrias alimentarias. Almidón de achira.
- Imai, K., 2008. Edible Canna: A Prospective Plant Resource from South America. *Japanese J. Plant Sci.* 214–224.
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S., 2017a. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 102, 315–322. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S., 2017b. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 102, 315–322. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027
- Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J.A., Ramos-Ramírez, E.G., 2007. Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydr. Polym.* 68, 679–686. doi:10.1016/j.carbpol.2006.07.035
- Karlsson, M.E., Eliasson, A.C., 2003. Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC). *LWT - Food Sci. Technol.* 36, 735–741. doi:10.1016/S0023-6438(03)00093-8
- Kasemwong, K., Piyachomkwan, K., Wansuksri, R., Siroth, K., 2008. Granule sizes of canna (*Canna edulis*) starches and their reactivity toward hydration, enzyme hydrolysis and chemical substitution. *Starch/Staerke* 60, 624–633. doi:10.1002/star.200800229
- Lares, M., Perez, E., Lares Perez, 2006. Determination of the mineral fraction and rheological properties of microwave modified starch from *Canna edulis*. *Plant Foods Hum. Nutr.* 61, 109–113. doi:10.1007/s11130-006-0007-7
- Leonel, M., 2007. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. *Cienc. e Tecnol. Aliment.* 27, 579–588. doi:10.1590/S0101-20612007000300024
- Leonel, M., Sarmiento, S., Cereda, M., 2002. Extração E Caracterização Do Amido De Biri (*Canna edulis*). *Brazilian J. food Technol.* 5, 27–32.
- Lerdluksamee, C., Srikaeo, K., Tutusaus, J.A.M., Diéguez, J.G., 2013. Physicochemical properties and starch digestibility of *Scirpus grossus* flour and starch. *Carbohydr. Polym.* 97, 482–488. doi:10.1016/j.carbpol.2013.05.001

- Lilium Sivoli, 2009. Técnicas microscópicas y de dispersión de luz empleadas en la evaluación de la estructura del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C.). *Acta Microsc.* Vol.18, 195–203.
- López, J., Rodríguez, E., Sepulveda, J., 2012. Evaluation of physical and textural characteristics of pandebono. *Acta Agron.* 61, 251–258.
- López, J.M., Quintero-Castaño, V., Lucas-Aguirre, J.C., 2014. Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agron.* 64, 11–21. doi:10.15446/acag.v64n1.38814
- Mahmood, K., Kamilah, H., Shang, P.L., Sulaiman, S., Ariffin, F., Alias, A.K., 2017. A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food Biosci.* 19, 110–120. doi:10.1016/j.fbio.2017.05.006
- Martínez, O., Lapo Calderón, B., Pérez Rodríguez, J., Zambrano Cabrera, C., 2015. Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Rev. Colomb. Quim* 44, 16–21. doi:http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215
- Millán, J.D. la R., 2009. Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul. Instituto Politécnico Nacional.
- Mohiuddin, F., Singh, C., Riar, S., 2016. Effect of amylose, particle size & morphology on the functionality of starches of traditional rice cultivars. *Int. J. Biol. Macromol.* 92, 637–644. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.07.078
- Mollega, S.C., 2007. Desarrollo de almidones pregelatinizados funcionalizados y evaluación de las propiedades reológicas para su aplicación en la industria petrolera. Universidad Simón Bolívar.
- Moorthy, S.N., Larsson, H., Eliasson, A.C., 2008. Rheological characteristics of different tropical root starches. *Starch/Stärke J.* 60, 233–247. doi:10.1002/star.200700708
- Morales, R., 2000. Características físicas, químicas y organolépticas del almidón de achira (*Canna edulis* Ker var.).
- Morocho, J., 2013. “La achira y su aplicación en la cocina de tendencia vanguardista.” Universidad de Cuenca.
- Ortega, M., 2008. Propiedades viscoelásticas y reológicas estacionarias de suspensiones de almidón nativo de quínoa. Universidad de Chile.
- Pacheco, E., Techeira, N., Delahaye, E., 2009. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia* 34, 280–285.

- Palma, H., 2012. Caracterización de almidones de diferentes fuentes tratados con ácido para la encapsulación de vitamina C. Instituto Politecnico Nacional.
- Pereira, D., Correia, P., Guiné, R., 2013. Analysis of the physical-chemical and sensorial properties of Maria type cookies. *Acta Chim. Slovaca* 6, 269–280. doi:10.2478/acs-2013-0040
- Perez, E., Lares, M., 2005. Chemical composition, mineral profile, and functional properties of Canna (*Canna edulis*) and Arrowroot (*Maranta spp.*) starches. *Plant Foods Hum. Nutr.* 60, 113–116. doi:10.1007/s11130-005-6838-9
- Perez, E., Lares, M., Alfaro, M. de J., 2007. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas del almidón extraído de la nuez del orinoco (*Caryodendron orinocense karst*). *Acta Cient. Venez.* 58, 52–56.
- Peroni, F.H.G., Rocha, T.S., Franco, C.M.L., 2006. Some Structural and Physicochemical Characteristics of Tuber and Root Starches. *Food Sci. Technol. Int.* 12, 505–513. doi:10.1177/1082013206073045
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Christopher Oates, Sriroth, K., 2002a. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Ind. Crops Prod.* 16 (2002), 11–21.
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Oates, C.G., Sriroth, K., 2002b. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Ind. Crops Prod.* 16, 11–21. doi:10.1016/S0926-6690(02)00003-1
- Piyachomkwan, K., Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Takeda, Y., 2004. Functional Properties of Edible Canna (*Canna edulis Ker.*) Starch. Bangkok Thailand.
- Puncha-arnon, S., Pathipanawat, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2008. Effects of relative granule size and gelatinization temperature on paste and gel properties of starch blends. *Food Res. Int.* 41, 552–561. doi:10.1016/j.foodres.2008.03.012
- Puncha-arnon, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Pathipanawat, W., Uttapap, D., 2007. Changes in physicochemical properties and morphology of canna starches during rhizomal development. *Carbohydr. Polym.* 70, 206–217. doi:10.1016/j.carbpol.2007.03.020
- Quintero, V.D., Lucas, J.C., Alzate, E.N., 2013. Determinación de las propiedades Térmicas y Composicionales de la Harina y Almidón de Chachafruto (*Erytina Edulis*

- Triana Ex Micheli). Rev. la Fac. Ing. 18, 31–35.
- Quiroga, C., 2009. Caracterización fisicoquímica de tres fuentes subutilizadas de almidón de la región andina de Bolivia. Investig. y Desarro. 9, 81–94. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Ramírez, M., Gutiérrez, N., Cortés, E., 2016. Evolución de atributos de calidad en bizcocho de achira (*Canna edulis* Ker.) del Huila. Agron. Colomb. 34, 728–730. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57783
- Reichel, H., 2007. Partículas flexuosas de aspecto viral aisladas de achira (*Canna edulis* Ker.) afectada por clorosis en Colombia. Rev. Agron. Colomb. 25, 330–332.
- Ren, S., 2017. Comparative analysis of some physicochemical properties of 19 kinds of native starches 1–28.
- Rendón, M., García, T., Bragagnolo, N., 2014. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. Food Chem. 147, 279–286. doi:10.1016/j.foodchem.2013.09.123
- Ríos, K., 2014. Análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*colocasia antiquorum* y *colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Ríos, K.R., 2014. Análisis comparativo de las propiedades fisico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia Esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Rivas, M., 2012. Almidón acetilado de plátano: caracterización fisicoquímica y molecular. Universidad Autoónoma de Querétaro.
- Rodríguez, D., 2015. Potencial agroalimentario del almidón de arroz de tres variedades cultivadas en el departamento del Tolima. Universidad del Tolima.
- Rodríguez, G., García, H., Camacho, J., Arias, F., 2003. El Almidón de Achira o Sagú (*Canna edulis*, Ker) Manual Técnico para su Elaboración. CORPOICA Tibaitata, Cundimarca.
- Rodríguez, P., San Martín, M.E., Gonzales de la Cruz, G., 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. Soc. Mex. Cienc. Superf. y vacío 13, 61–65.
- Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2005. Paste and gel

- properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydr. Polym.* 61, 211–221. doi:10.1016/j.carbpol.2005.05.024
- Santacruz, S., 2005. Caracterización de almidones de Arracacha, Xanthorrhiza, *Canna edulis* y *Oxalis Tuberosa* y extraído de hojas de papa. *Rev. Boliv. Química* 22, 27–33.
- Santacruz, S., Koch, K., Svensson, E., Ruales, J., Eliasson, A.C., 2002. Three underutilised sources of starch from the Andean region in Ecuador. Part I. Physico-chemical characterisation. *Carbohydr. Polym.* 49, 63–70.
- Santacruz, S., Ruales, J., Eliasson, A.C., 2003. Three under utilized sources of starch from the Andean region in Ecuador. Part II. Rheological characterisation. *Carbohydr. Polym.* 51, 85–92.
- Sivak, M., Preis, J., 1998. *Advances in Food and Nutrition Research. Starch Basic Science to Biotechnology*, Academic P. ed. Academic Press, Michigan.
- Soni, P.L., Sharma, H., Srivastava, H.C., Gharia, M.M., 1990. Physicochemical properties of *Canna edulis* starch-comparison with maize starch. *Starch - Stärke* 42, 460–464. doi:10.1002/star.19900421203
- Soto, I., Luján, D., Salcedo, J., Contreras, K., 2016. Evaluación de un producto horneado (“diabolín”) formulado con almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Agron. Colomb.* 34, 804–807. doi:10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58233
- Srichuwong, S., Sunarti, T.C., Mishima, T., Isono, N., Hisamatsu, M., 2005. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydr. Polym.* 60, 529–538. doi:10.1016/j.carbpol.2005.03.004
- Srikaeo, K., Mingyai, S., Sopade, P.A., 2011. Physicochemical properties, resistant starch content and enzymatic digestibility of unripe banana, edible canna, taro flours and their rice noodle products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46, 2111–2117. doi:10.1111/j.1365-2621.2011.02724.x
- Surco, F., 2004. Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Tenorio, J.L., Sandoval, E.R., Valencia, J.S., 2012. Evaluación de características físicas y texturales de pandebono. *Acta Agronómica* 61, 273–281.
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., Takeda, Y., 2003a. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part II. Molecular

- structure of amylose and amylopectin. *Carbohydr. Polym.* 54, 489–498. doi:10.1016/j.carbpol.2003.08.003
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K., Takeda, Y., 2003b. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.* 53, 317–324. doi:10.1016/S0144-8617(03)00081-X
- Tovar, T., 2008. Caracterización Morfológica Y Térmica Del Almidón De Maíz (*Zea mays* L ) Obtenido por Diferentes Métodos de Aislamiento. Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo.
- Van Hung, P., Morita, N., 2005. Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. *Carbohydr. Polym.* 61, 314–321. doi:10.1016/j.carbpol.2005.04.021
- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2009a. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018
- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., 2009b. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J.A., 2014. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Staerke J.* 66, 1–16. doi:10.1002/star.201300238
- Wickramasinghe, H.A.M., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Yamauchi, H., Noda, T., 2009. Comparative analysis of starch properties of different root and tuber crops of Sri Lanka. *Food Chem.* 112, 98–103. doi:10.1016/j.foodchem.2008.05.046
- Yu, X., Li, B., Wang, L., Chen, X., Wang, W., Gu, Y., Wang, Z., Xiong, F., 2016. Effect of drought stress on the development of endosperm starch granules and the composition and physicochemical properties of starches from soft and hard wheat. *J. Sci. Food Agric.* 96, 2746–2754. doi:10.1002/jsfa.7439
- Zhang, J., Chen, F., Liu, F., Wang, Z.W., 2010a. Study on structural changes of microwave heat-moisture treated resistant *Canna edulis* Ker starch during digestion in vitro. *Food Hydrocoll.* 24, 27–34. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.07.005
- Zhang, J., Wang, Z.-W., Yang, J.-A., 2010b. Physicochemical Properties of *Canna edulis* Ker Starch on Heat-Moisture Treatment. *Int. J. Food Prop.* 13, 1266–1279.

- doi:10.1080/10942910903061828
- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., Wei, C., 2018. Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocoll.* doi:10.1016/j.foodhyd.2018.02.006
- Zhu, F., 2017a. Structures, properties, modifications, and uses of oat starch. *Food Chem.* 229, 329–340. doi:10.1016/j.foodchem.2017.02.064
- Zhu, F., 2017b. Structures, properties, and applications of lotus starches. *Food Hydrocoll.* 63, 332–348. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.08.034
- Zortéa-Guidolin, M.E.B., Demiate, I.M., Godoy, R.C.B. de, Scheer, A. de P., Grewell, D., Jane, J. lin, 2017. Structural and functional characterization of starches from Brazilian pine seeds (*Araucaria angustifolia*). *Food Hydrocoll.* 63, 19–26. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.08.022