

## Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles

*Extraction and functional properties of cassava starch, Manihot esculenta, ICA variety, as raw material for preparation of edible films*

García A. Omar R.<sup>1</sup>, Pinzón F. Magda I.<sup>2\*</sup>, Sánchez A. Leidy T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Químico, Universidad del Quindío  
<sup>2</sup> Líder Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología de Alimentos-CYTA- Laboratorio de Investigaciones en Postcosecha (LIP). Universidad del Quindío. Calle 12 N Carrera 15. Armenia, Quindío (COLOMBIA)  
Tel.: (+57-6)-7460196. Fax: (+57-6)-7460152.

Recibido 15 de Septiembre 2012; aceptado 03 de Noviembre de 2012

### RESUMEN

*La yuca (Manihot esculenta) es un arbusto perenne de la familia de las euforbiáceas, extensamente cultivada en Colombia, cuya raíz constituye una alta fuente de carbohidratos almacenados en forma de almidón, y sus características permiten su utilización en la agroindustria; el almidón de yuca posee propiedades muy importantes para la formación de películas comestibles dado su contenido de amilosa. Uno de los métodos con potencial para conservar la vida post-cosecha de alimentos lo constituye el uso de dichas películas. El interés por películas biodegradables sintetizadas a partir de productos como el almidón se debe, principalmente, a los problemas de contaminación generados por polímeros sintéticos y no-biodegradables utilizados convencionalmente como materiales de empaque. En este estudio se llevó a cabo una extracción artesanal del almidón de yuca y, posteriormente, se evaluaron propiedades como Materia Seca, índice de blancura (IB), índices de solubilidad en agua (ISA), absorción de agua (IAA), poder de hinchamiento (PH) y temperatura de gelatinización (Tgelat). El rendimiento en la extracción del almidón fue aproximadamente 57%, mostrando ser eficiente. El producto obtenido presentó valores altos de materia seca (89,6%), IAA (10,9 g gel/g muestra), PH (11,2%) e IB (96%), y valores bajos de ISA (2,7%) y de Tgelat (63°C). También se determinó el contenido amilosa-amilopectina por espectrofotometría UV-Visible, que arrojó una relación de 30–70% de dichos componentes. El análisis de las propiedades funcionales del almidón de yuca mostró un producto de buena calidad, inocuidad y funcionalidad para ser utilizado como matriz en la formulación de películas comestibles.*

\*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia. E-mail: mipinzon@uniquindio.edu.co

**Palabras clave:** Absorción de agua, almidón de yuca, contenido amilosa-amilopectina, solubilidad en agua, temperatura de gelatinización.

## ABSTRACT

---

*Cassava (Manihot esculenta) is a perennial shrub of the Euphorbiaceae family, widely cultivated in Colombia, its root is a rich carbohydrates source stored in starch form, and their characteristics allow its use in food industry; cassava starch has very important properties for development of edible films due to its amylose content. One potential method to conserve food postharvest life is using such films. Interest on biodegradable films synthesized from products as starch is mainly due to the pollution problems generated by synthetic and no-biodegradable polymers conventionally used as packaging materials. In this study was carried out a traditional extraction of cassava starch and then properties such as Dry Matter, Whiteness Index (WI), Water Solubility Index (WSI), Water Absorption (WAI), Swelling Power (SP) and gelatinization temperature (Tgelat). The extraction starch yield was approximately 57%, proved to be efficient. The product obtained showed high values of dry matter (89.6%), WAI (10.9 g gel/g muestra), SP (11.2%) and WI (96%), and low levels of WSI (2.7%) and Tgelat (63 °C). Amylose-amylopectin content also was determined by UV-visible spectrophotometry, yielding a 30-70% ratio of those components. In brief, functional properties analysis of cassava starch showed a good quality, safety and functionality product for using as a matrix in the formulation of edible films.*

**Keywords:** Water Absorption, Cassava starch, Amylose-amylopectin content, Gelatinization Temperature.

## INTRODUCCIÓN

---

La yuca es una de las principales plantas útiles tropicales difundidas en todos los continentes. Es básicamente un producto vegetal de consumo en los países productores, casi en su totalidad en países del tercer mundo (Cartay, 2004). Una de las utilidades más importantes de la yuca es la producción de almidón; la raíz contiene más almidón, por peso en seco, que casi cualquier otro cultivo alimentario, y su extracción es fácil con tecnologías sencillas (FAO, 2006).

El almidón está constituido por unidades de glucosa, dispuestas en dos componentes: amilosa y amilopectina. Estas macromoléculas se caracterizan por su grado de polimerización o ramificación lo cual afecta su comportamiento frente a los procesos de

degradación. El contenido amilosa-amilopectina y el grado de polimerización son importantes en la determinación de las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón (Delpeuch y Favier, 1980). Entre las propiedades funcionales más importantes del almidón se encuentran (Naranjo y Pazmiño, 2010):

- Solubilidad, capacidad de retención de agua y poder de hinchamiento.
- Temperatura de gelatinización.
- Propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película)

De acuerdo con lo anterior, el almidón de yuca resulta ser una materia prima óptima en la elaboración de películas biodegradables, constituyendo una alternativa a los polímeros sintéticos y no-biodegradables (que ocasionan un impacto medioambiental considerable) como material de empaque que busque la protección y preservación de alimentos (Garriz *et al.*, 2005). El objetivo de este estudio es

llevar a cabo la extracción del almidón a partir de raíces de yuca y analizar algunas de sus propiedades funcionales más importantes de manera que pueda establecerse su posible aplicación como matriz en la elaboración de películas comestibles biodegradables.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia Prima

La materia prima utilizada para la extracción del almidón fue yuca variedad ICA, cultivada en el Departamento de Quindío, dado su alto contenido de almidón y resistencia a bacterias fitopatógenas. Se obtuvieron 3 lotes diferentes de esta variedad de un cultivo en el municipio de Montenegro–Quindío, a 1.243 msnm y una temperatura media de 21 °C.

### Extracción del almidón

El proceso de extracción del almidón de yuca se llevó a cabo de acuerdo al método artesanal que se ilustra en la figura 1.

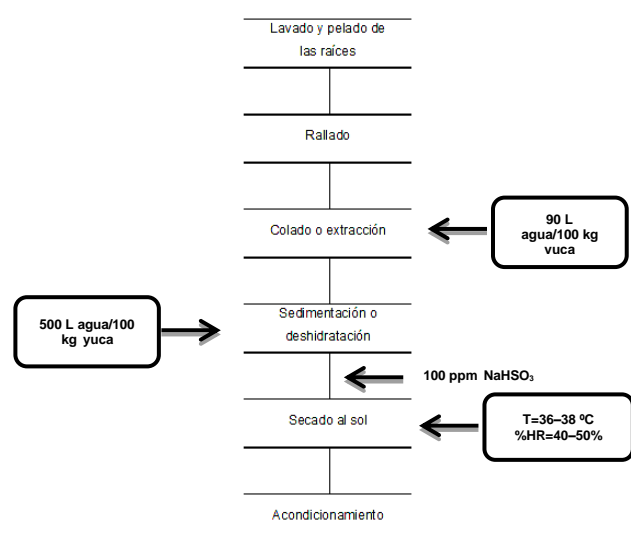


Figura 1. Método extracción del almidón de yuca establecido por la FAO (Dufour, 1998)

Para el contenido de almidón en las raíces frescas de yuca se determinó el porcentaje de rendimiento de la extracción, de acuerdo con la ecuación 1.

$$\%R = \frac{w_a}{w_{rf} \times 0,3} \times 100\% \quad (1)$$

Siendo:

wa el peso (g) del almidón obtenido

wrf el peso (g) de las raíces frescas de yuca

Los análisis posteriores se llevaron a cabo por triplicado para cada lote de yuca utilizado en la extracción.

### Propiedades funcionales del almidón

*Contenido de materia seca:* este parámetro se determinó de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 3528 (ICONTEC, 2000). Se pesó aproximadamente 20 g de almidón de yuca en crisoles previamente tarados. Luego, se calentó la muestra en una estufa de aire caliente a  $65 \pm 2$  °C durante 1 h y posteriormente se enfrió la muestra en un desecador hasta temperatura ambiente, y se tomó el peso correspondiente. Este procedimiento se repitió hasta que se alcanzó un peso constante. El contenido de materia seca del almidón se determinó utilizando la ecuación 2.

$$\% \text{ materia seca} = \frac{\text{peso m seca} - \text{peso crisol vacío}}{\text{peso m seca}} \times 100\% \quad (2)$$

*Índice de absorción de agua (IAA), solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH):* se empleó la técnica usada por Anderson *et*

al., (1969), pesando aproximadamente 1,25 g de almidón en base seca en un tubo de centrifuga previamente tarado. Se adicionó 30 mL de agua destilada, precalentada a 60 °C. El sistema se colocó en un baño de agua a 60 °C durante 30 min, agitando la suspensión a los 10 min de iniciado el calentamiento. Se llevó la solución a centrifugación a 4900 rpm y a temperatura ambiente (24 °C), durante 30 min. Luego, se extrajo el sobrenadante (almidón insoluble) y se midió el volumen (V). Se tomó una alícuota de 10 mL del mismo y se colocó en un beaker previamente pesado. Se secó el sobrenadante a 70 °C durante toda la noche. Posteriormente, se registró el peso del beaker con los insolubles y del tubo de centrifuga que contenía el gel (almidón soluble). Los índices fueron determinados de acuerdo a las ecuaciones 3–5:

$$ISA = \frac{\text{peso soluble (g)} \times V \times 10}{\text{peso muestra (g)} \times bs} \quad (3)$$

$$IAA = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso muestra (g)} \times bs} \quad (4)$$

$$PH = \frac{\text{peso del (g)}}{\text{peso muestra (g)} - \text{peso soluble (g)}} \quad (5)$$

**Color e Índice de Blancura (IB):** el color del almidón de yuca, se midió por reflectancia en un espectrocolorímetro, con observador a 10° e iluminante D65, estimando 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 luminosidad, a\* la variación rojo–verde y b\* y la variación del amarillo–azul (Gilabert, 1992). El índice de blancura se calculó teniendo en cuenta dichos parámetros de acuerdo con la ecuación 6:

$$IB = 100 \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (6)$$

**Temperatura de gelatinización:** la temperatura de gelatinización del almidón de yuca se determinó utilizando el método de Nuffield (1984). Se preparó una suspensión de almidón con 1 g de almidón en 20 mL de agua destilada, transferidos a un beaker. Se calentó la suspensión en un baño de agua hasta 50°C con agitación constante. Luego, se enfrió a

temperatura ambiente y se dispuso la muestra para observar a través de un microscopio óptico compuesto, con el objetivo de 10x. Se repitió el mismo procedimiento a 55 °C, 60 °C, 65 °C y 70 °C, respectivamente. De acuerdo con lo observado se determinó la temperatura de gelatinización del almidón, observando el hinchamiento de los gránulos.

### **Contenido amilosa–amilopectina**

Este análisis se llevó a cabo de acuerdo con el método establecido en la norma ISO 6647 (ISO, 2007) que consistió en una medición espectrocolorimétrica del complejo yodo–amilosa que se forma al hacer reaccionar los gránulos de almidón de yuca dispersados y gelatinizados. El procedimiento constó de varias etapas que se describen a continuación:

**Preparación de las suspensiones madre de amilosa y amilopectina:** la suspensión estándar de amilosa se preparó tomando  $100 \pm 5$  mg de amilosa purificada y se adicionó cuidadosamente 1 mL de etanol 95%. Luego se añadió 9 mL de NaOH 1 M y se mezcló. Se calentó la solución en baño maría durante 10 minutos, se dejó enfriar a temperatura ambiente y, finalmente, se aforó el sistema con agua destilada hasta 100 mL. La suspensión estándar de amilopectina se preparó de igual manera que con la amilosa. Estas soluciones presentaron una concentración final de 1 g / L, cada una.

**Preparación de la curva de calibración:** las soluciones patrón se prepararon mezclando volúmenes de las suspensiones estándar de amilosa y amilopectina, y de solución NaOH 0.09 M de acuerdo con la Tabla 1.

Se tomó una alícuota de 5 mL de cada estándar en una serie de balones de 100 mL, cada uno con aproximadamente 50 mL de agua. Se añadió 1 mL de ácido acético 1 M y se mezcló el sistema. A continuación, se adicionó 2 mL de solución de yodo (2 g de KI + 0,2 g de I<sub>2</sub> aforados hasta 100 mL), se

completó el volumen con agua destilada y se mezcló. Se dejó reposar durante 10 minutos.

Tabla 1  
Soluciones estándar para la curva de calibración (ISO 6647, 2007)

FMA %	Amilosa (mL)	Amilopectina (mL)	NaOH 0,09 M (mL)
0	0	18	2
10	2	16	2
20	4	14	2
25	5	13	2
30	6	12	2
35	7	11	2

FMA: fracción másica amilosa en base seca

El blanco se preparó siguiendo el mismo procedimiento y las mismas cantidades de todos los reactivos, pero con 5,0 ml de NaOH 0,09 mol / L en lugar de las suspensiones de amilosa y amilopectina. Finalmente, se midió la absorbancia a 720 nm frente a la solución del blanco utilizando un espectrofotómetro UV-Visible. Las lecturas de concentración se reportaron como fracción másica de amilosa, expresada como porcentaje en base seca.

*Preparación de la muestra problema y determinación del contenido amilosa-amilopectina:* se pesó  $100 \pm 0,5$  mg de la muestra de almidón, previamente desengrasada por reflujo con metanol. Se adicionó 1 mL de etanol 95% y 9 mL de NaOH 1,0 M; se mezcló el sistema. A continuación, se calentó la mezcla en un baño maría durante 10 minutos para dispersar el almidón. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se transfirió a un balón aforado de 100 mL. Se enrasó el volumen con agua destilada y se mezcló vigorosamente. A continuación, se realizó el mismo tratamiento que con las soluciones estándar comenzando con la alícuota de 5 mL de la suspensión anterior.

Se midió la absorbancia de la muestra problema a 720 nm frente a la solución del blanco que se preparó en el procedimiento anterior, utilizando el espectrofotómetro y se determinó el porcentaje de amilosa en base seca con base en la absorbancia leída. El porcentaje de amilopectina se dedujo teniendo en cuenta que el porcentaje restante corresponde a dicho componente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Rendimiento de la extracción*

La yuca variedad ICA se caracteriza por su alto contenido de almidón, ya que sus raíces son de tamaño considerable con relación a otras variedades. De acuerdo con lo anterior, la extracción artesanal del almidón de yuca (Dufour, 1998), reportó un rendimiento entre 55,2–58,7% (Tabla 2). El almidón de raíces de yuca es más fácil de extraer, ya que su obtención solo requiere molienda, tamizado, separación con agua, sedimentación y secado. Considerándose las pérdidas de material ocurridas durante el proceso de extracción, que pueden depender de factores como la variedad de yuca, el estado de las raíces y el porcentaje de extracción del almidón. Pese a

ser un proceso poco mecanizado y tecnificado, el método artesanal utilizado resultó ser altamente efectivo en la obtención del almidón.

Tabla 2  
Rendimiento de la extracción del almidón de yuca de tres lotes de yuca diferentes

Lote de Yuca	Rendimiento Extracción (%)
1	55,25
2	56,58
3	58,69

### Propiedades funcionales del almidón

En la tabla 3 se reportan los resultados obtenidos en los análisis físicos del almidón de yuca extraído, para los tres lotes de yuca adquiridos. El contenido de materia seca del almidón es un factor que depende tanto de la materia prima como del método de obtención y de las condiciones del proceso de deshidratación. Es un parámetro de calidad en el almidón que, además, permite determinar su estabilidad en el tiempo (Araujo de Vizcarrondo, 2004), ya que de esto depende la

proliferación microbiana. Almidones con contenido de materia seca superiores a 90% indican condiciones extremas de secado, y almidones con contenido de materia seca inferiores a 87%, indicarían posibles contaminaciones con microorganismos. Según la tabla 3, el contenido de materia seca obtenido para el almidón de yuca extraído fue alrededor de 89,6%, lo que indica que es un almidón de buena calidad y que no sufrió deterioro por pardeamiento no enzimático (ICONTEC, 2000).

Tabla 3  
Propiedades físicas del almidón de yuca extraído de tres lotes de yuca diferentes

Lote	Materia Seca (%)	ISA (%)	IAA (g gel/g almidón)	PH	L*	a*	b*	IB	T <sub>gelat.</sub> (°C)
1	89,61±0,02	2±0,007	10,71±0,049	10,76±0,05	96,918±0,008	-0,115±0,001	2,437±0,007	96,069±0,003	62,5±0,41
2	89,57±0,08	3±0,013	11,09±0,003	11,22±0,005	96,693±0,004	-0,129±0,002	2,377±0,003	95,925±0,001	62,83±0,62
3	89,62±0,03	3,3±0,077	10,99±0,004	11,6±0,004	96,895±0,003	-0,122±0,003	2,429±0,003	96,055±0,002	63,17±0,62

De acuerdo a la tabla 3, en el IAA se produjo entre 10,7–11,1 g gel / g almidón, que según los valores de referencia reportados por Aristizábal y Sánchez (2007), estos oscilan entre 0,82–15,52 g gel/g de almidón. Esto indica que el almidón posee una alta capacidad de absorción de agua, ya que al calentar la suspensión acuosa del mismo, los gránulos se hinchan aumentando su tamaño. En cuanto a la solubilidad del almidón, el ISA presentó valores entre 2–3,3%. Estos deben variar entre 0,27–12,32%. Por tanto, el almidón presentó una baja solubilidad en agua, debido a que este proceso se realizó a una temperatura inferior a su temperatura de gelatinización. El ISA es un indicativo del grado de asociación existente entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) (Araujo de Vizcarrondo, 2004), que en este caso pudo darse de manera parcial.

El PH del almidón reportó valores entre 10,8–11,6, que de acuerdo con los valores de referencia se encuentra en el rango entre 0,79–15,45. Este parámetro está estrechamente relacionado con el IAA, ya que los gránulos del almidón se hinchan al absorber el agua. Este fenómeno, además de causar un aumento de estos parámetros, también conduce al inicio del desdoblamiento de las regiones con doble hélice y al rompimiento de las estructuras de amilopectina, con lo cual se va generando una desorganización de la estructura del gránulo.

Una propiedad física primordial de los almidones es la blancura y en muchas aplicaciones, esta característica es muy importante como parámetro de calidad. De acuerdo con la Tabla 3, no hay una contribución significativa de los valores de a\* (-0,12) y b\* (2,4) con relación al parámetro L\* (96,9) a la blancura del almidón. Por tal razón,

el parámetro  $L^*$  fue el que mejor caracterizó la blancura del almidón. Como esta coordenada toma un valor máximo de 100 para un color netamente blanco, los valores de  $L^*$  obtenidos se acercaron a dicho valor, lo que indica que el almidón de yuca extraído presentó un alto índice de blancura (95,9–96,1), tomando como referencia para este parámetro un valor de 100. Esto da cuenta de la calidad del almidón para ser utilizado en cualquier aplicación (Sánchez, 2004).

La temperatura de gelatinización registrada para el almidón de yuca osciló entre 62,5–63,2°C (tabla 3).

El almidón de yuca gelatiniza a temperaturas relativamente bajas entre 60–67°C, debido a que posee una alta capacidad de absorber el agua, por lo que los gránulos de almidón sufren un hinchamiento progresivo.

Al calentar la suspensión de almidón se llega a una primera etapa donde el almidón sufre una dispersión coloidal constituida por dos fases: una fase continua y rica en amilosa y una fase dispersa de gránulos de almidón hinchados y enriquecidos en amilopectina.

Al incrementarse la temperatura, el hinchamiento aumenta hasta que es irreversible. La gelatinización ocurre cuando finalmente la molécula de almidón está completamente hidratada y empieza a expandirse (se abre la hélice de la cadena) primero hacia el extremo externo y la cadena lineal más corta (amilosa) tiende a difundirse (Waniska y Gómez, 1992). Esto ocurre en un intervalo de temperatura muy limitado que al producir el hinchamiento del gránulo y la solubilización parcial de los polímeros, induce la aparición de propiedades viscoelásticas las cuales se generan en un amplio intervalo de temperatura. Todo este proceso es endotérmico, requiriéndose aproximadamente 10 J/g de almidón para efectuarlo (Lezcano, 2010).

### **Contenido amilosa–amilopectina**

El contenido de amilosa y amilopectina obtenido por espectrofotometría UV-Visible para los tres lotes de yuca analizados se registra en la Tabla 4. Estos valores se obtuvieron a partir de la curva patrón de amilosa con un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0,995$ .

Tabla 4  
Contenido de amilosa y amilopectina del almidón de tres lotes de yuca diferentes

Lote de Yuca	A (720 nm)	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
1	0,2996	30,67	69,33
2	0,3006	30,73	69,27
3	0,2993	30,64	69,36

La relación amilosa–amilopectina, imparte características definitivas en las propiedades funcionales del almidón, dada la aplicación específica que se puede dar de éste en el desarrollo de un producto. La capacidad formadora de películas de los almidones está directamente relacionada con el contenido de amilosa, así como también de la arquitectura de los componentes, principalmente la distribución de tamaño de las cadenas.

Las cadenas de amilopectina en solución tienen poca tendencia a interactuar y, en consecuencia los geles de amilopectina son débiles, cohesivos y flexibles. Por el contrario las cadenas lineales de amilosa, en solución tienen una alta tendencia a interactuar por enlaces de hidrógeno y en consecuencia, un alto contenido de amilosa proporciona soluciones y películas más rígidas y fuertes (Mali *et al.*, 2004).

Shipman (1967) y Vale (1982), reportaron valores para amilosa en yuca superiores al 30%, que se ajusta a los valores obtenidos.

## CONCLUSIONES

---

La obtención del almidón de yuca a partir del proceso de extracción artesanal, resultó eficiente con relación a los procesos a escala mediana e industrial, presentando un rendimiento medio de 56,84%, lo cual fue posible gracias a las características de la variedad de yuca utilizada (ICA). El almidón de yuca presentó propiedades funcionales acordes con un producto de buena calidad e inocuidad. Los valores altos de contenido de materia seca (89,6%), absorción de agua (10,9 g gel / g almidón), poder de hinchamiento (PH

de 11,2%) e índice de blancura (IB de aproximadamente 96%), y valores relativamente bajos de solubilidad en agua (ISA de 2,7%) y temperatura de gelatinización (63 °C) describen un almidón de yuca con una estabilidad, funcionalidad y comportamiento de flujo óptimos para funcionar como matriz en la preparación de soluciones formadoras de películas comestibles y/o biodegradables y su posterior aplicación industrial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Anderson, R., Conway, H.F., Pheiser, V.F. y Griffin, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. (1969). *Cereal Science Today*, 14(1):4-12.
- Araujo de Vizcarrondo, C., Rincón, A. M., Padilla, F. Caracterización de almidón nativo de *Discorea bulbifera* L. (2004). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 54(2):241–245.
- Aristizábal, Johanna y Sánchez, Teresa. Guía Técnica para la Producción y análisis de almidón de yuca. Boletín 163 de Servicios Agrícolas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Roma, Italia. (2007).
- Bates, L., Dexter–French, R. E. Amylose and Amylopectin content of starches determined by their iodine complex formation. (1943). *Journal American Chemical Society*, 65(2):142–148.
- Cartay, Rafael. Difusión y comercio de la yuca (*Manihot esculenta*) en Venezuela y en el mundo. (2004). *Agroalimentaria*, 9(18):13-22.
- Delpuch, F; Favier, J. Caractéristiques des amidons de plantes alimentaires tropicales: action de l'alpha – amylase, gonflement et solubilité. (1980). *Annales de Technologie Agricole*. 29(1): 53-67.
- Dufour, Dominique, Alarcón M, Freddy. Almidón agrio de yuca en Colombia. Tomo 1: Producción y Recomendaciones. Publicación N° 268 Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD). Cali, Colombia. p 9-24. (1998).
- FAO. El mercado de almidón añade valor a la yuca. Revista Enfoques. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor. (2006). Disponible en <http://www.fao.org/Ag/esp/revista/pdf/0610-1.pdf>. Consultado: 10 de octubre de 2011.
- Garritz, A., Gasque–Silva, L., Martínez–Vásquez, A. Química Universitaria. Primera edición. México: Editorial Pearsons. (2005).
- Gilbert, E.J. Medida del color. Servicio de publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Hoover, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. (2001). *Carbohydrate polymers*. 45(3):253–267.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Alimentos para animales. Yuca integral seca para consumo animal. NTC 3528. (ICONTEC). Bogotá. (2000).



- International Organization for Standardization. Determination of amylose content, method B. Part 2: routine methods. ISO 6647 – 2. Switzerland. (2007).
- Lescano P, L. G. Caracterización de las harinas de trigo nacional (Cojitambo), maíz (INIAP 122), Cebada (Cañicapa), quinua, papa (Gabriela), destinadas a panificación mediante la determinación de las propiedades funcionales de sus almidones. (2010). Tesis para la obtención del título de Ingeniero de Alimentos. Facultad de Ciencias e Ingeniería de Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Mali, S., Karam, L. B., Pereira, L., Grossman, M. V. Relations among the Composition and Physicochemical Properties of Starches with the Characteristics of Their Films. (2004). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(25):7720–7725.
- Naranjo G, D. G., Pazmiño C. O. S. Plan de comercio exterior y negocios internacionales para la exportación de almidón de yuca a Bogotá–Colombia. (2010). Tesis para la obtención del título de Ingeniería en Comercio Exterior y Negociación Internacional. Escuela Héroes de Cenepa. Escuela Politécnica del Ejército.
- Nuffield Foundation. (1984). Química avanzada Nuffield: Ciencia de la alimentación. Primera edición. Barcelona: Editorial Reverté. (1992). Pág. 139.
- Sánchez, M. M. Modificación por oxidación del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L) y su caracterización parcial. (2004). Tesis para obtener el título de Magister en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos. Centro de Desarrollo de Productos bióticos. Instituto Politécnico Nacional. Yautepec, Morelos. México.
- Shipman, L. Manufactures of tapioca arrowroot and sorgho starches. (1967). *Starch Chemistry and Technology*. Vol. 2. Cap. 5. 103pp. ed. By. R. L. Whistler y F. F. Pashall. New York. Academicpress
- Vale, J. Caracterización y algunas propiedades reológicas de almidones y harinas de diferentes variedades de yuca. (1982). Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Waniska, R.D. y Gómez, M.H. Dispersion behavior of starch. (1992). *Food Technology*, 46(6): 110–123.