

## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA E IDENTIFICACIÓN DE VARIEDADES DE YUCA AMAZÓNICA COLOMBIANA CON POTENCIAL PARA SU USO

Wilher Villada<sup>1,2</sup>, Marcela Carrillo<sup>1</sup>, Jaime Barrera<sup>1</sup>,  
Misael Rodríguez<sup>1</sup>, María Soledad Hernández<sup>1</sup> y Juan Serrato<sup>2</sup>

Plantas de yuca, Augusto Mazorra

### Resumen

En la Amazonia colombiana existe un importante número de variedades de yuca que han sido domesticadas y priorizadas a través del tiempo, debido a su carácter nutricional y cultural por las diferentes comunidades que habitan la región (Arias G. *et ál.*, 2005).

Acosta M. *et ál.*, (2004) y Arias G. *et ál.*, (2005) estudiaron esta diversidad de especies de yuca en el sur del Trapecio amazónico e identificaron 39 variedades, empleadas con diversos fines de acuerdo con las cualidades percibidas durante su manipulación.

Con el fin de complementar el conocimiento tradicional del uso de las variedades de yuca utilizadas en el sur de la Amazonia colombiana, se realizó la caracterización de las propiedades físicas y químicas de 23 variedades.

Los análisis realizados sobre la pulpa fueron: sólidos totales, cenizas, almidón total y contenido de almidón libre. Los análisis sobre el almidón fueron: temperatura de gelatinización, índice de absorción en agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, relación de amilosa, susceptibilidad a la hidrólisis y contenido de proteína.

Las propiedades identificadas permitieron que las variedades *piririca*, *arawana*, *arpón* y *barandilla* se priorizaran como materiales para su transformación en azúcares fermentables. El sector de alimentos puede proveerse de otras variedades como *pan*, *brasileira 1* y *manicuera*. Finalmente, se logró identificar que las variedades *arawana* y *morada* pueden llegar a ser de interés para la industria farmacéutica.

### Palabras clave

Usos de la yuca, *Manihot esculenta* Crantz, caracterización físicoquímica, sólidos totales, cenizas, almidón total, almidón libre, gelatinización, temperatura, rata de absorción de agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, radio de amilosa, sensibilidad a hidrólisis, contenido protéico.

### Abstract

In the Colombian Amazon exist a great number of varieties of cassava that have been domesticated and prioritized due to their nutritional and cultural character over time by the different communities that inhabit the region (Arias G. *et ál.*, 2005).

<sup>1</sup> Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Sinchi.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental.

Acosta M. *et al.*, (2004) and Arias G. *et al.*, (2005) study those diversities of cassava, in the South of Colombian Amazonic Trapezium. They identify 39 varieties that are used for various purposes.

To complement the traditional knowledge of the use of cassava varieties in the southern region of the Colombian Amazon, the characterization of physical and chemical properties of twenty three (23) varieties was made.

The analysis performed on the pulp was: total solids, ashes, total starch and starch free. The analysis over starch were: gelatinization temperature, rate of water absorption, solubility index, swelling power, amylose ratio, susceptibility to hydrolysis and protein content.

The properties identified allowed that the varieties of *piririca*, *arawana*, *arpoon* and *barandilla* be prioritized as materials for conversion into fermentable sugars. However, the food sector can be provided with materials such as *pan*, *brasileira 1* and *manicuera*. Finally, it was able to identify the varieties *arawana* and *morada* that may become of interest to the pharmaceutical industry.

### Key words

Cassava Uses, *Manihot esculenta* Crantz, Physical and Chemical Characterization, Total Solids, Ashes, Total Starch, Starch Free, Gelatinization, Temperature, Rate of Water Absorption, Solubility Index, Swelling Power, Amylose Ratio, Susceptibility to Hydrolysis, Protein Content.

### Introducción

La yuca, denominada científicamente *Manihot esculenta* Crantz, pertenece a la familia *Euphorbiaceae* y recibe los nombres comunes de yuca, mandioca, aipi o cassava, entre otros, según la zona de origen. Esta especie crece en diferentes condiciones ambientales desde los trópicos húmedos, cálidos de tierras bajas, hasta altitud media con inviernos fríos y lluvias de verano (Aristizábal, 2007).

Su gran ventaja radica en su capacidad para soportar largos períodos de sequía, como también el de desarrollarse sobre suelos ácidos de baja fertilidad. Ade-

más, la amplia adaptación de la especie permite su siembra desde los 800 msnm, con una temperatura promedio de 24°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ), una humedad relativa de 72% ( $\pm 20\%$ ) y una precipitación anual de 1.500 mm ( $\pm 1.000\text{mm}$ ) (Cárdenas, 2006).

Por otra parte, los períodos de cosecha de la yuca varían desde los 7 hasta los 18 meses, lo cual está altamente relacionado con el tipo de variedad sembrada y las condiciones ambientales de la zona, efecto que se demuestra en los estados de maduración de los tubérculos (Ceballos & de la Cruz 2002).

Algunos estudios desarrollados en la región amazónica han encontrado cerca de 39 variedades de yuca nativa, 20 de los cuales corresponden a las de tipo dulce y 18 a las amargas (Arias G. *et al.*, 2005). Sin embargo, se demuestra una notable tendencia por las variedades amargas, por ser éstas las que generan un mayor tamaño de tubérculo y poseen la capacidad de superar plagas y enfermedades, debido a su toxicidad (Acosta M. *et al.*, 2004; Arias G. *et al.*, 2005).

El presente estudio fue realizado sobre la pulpa de la yuca amazónica, con el fin de caracterizar el contenido de sólidos totales, cenizas, almidón total y contenido de almidón libre. También se cuantificó sobre el almidón la temperatura de gelatinización, el índice de absorción en agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, relación de amilosa, susceptibilidad a la hidrólisis y contenido de proteína.

### Materiales y métodos

#### Materia prima

Se cultivaron 23 variedades de yuca amazónica nativa en un núcleo productivo en la zona sur del Trapecio Amazónico colombiano, en Leticia, con latitud  $4^\circ 12' 19''$  S y longitud  $69^\circ 55' 58''$  W, y una altitud de 96 msnm, la temperatura promedio es de 28°C y la humedad relativa del 76%.

La cosecha se realizó a los 12 meses, lapso que permitió el desarrollo completo del tubérculo, fue almacenado en bolsas de polietileno calibre 30 y marcadas para ser enviadas para su análisis en un período infe-

rior a 48 horas por vía aérea al laboratorio poscosecha del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, sede Bogotá.

### Preparación de muestras

Las variedades de yuca fueron lavadas con abundante agua y desinfectadas con hipoclorito de sodio en una proporción de 400 ppm. Posteriormente, la yuca se peló manualmente (descortezó) y fue almacenada a  $-20^{\circ}\text{C}$ , para su conservación. Cada variedad de yuca se separó en dos porciones: la porción A, de 3 Kg ( $\pm 50$  g) y la B, de 1 Kg ( $\pm 50$  g). La porción A se usó para la extracción de almidón aparte de la metodología de almidón libre propuesta por Aristizábal (2007), y la porción B se destinó a los análisis directos sobre la pulpa.

La caracterización se realizó sobre 23 variedades de yuca amazónica y 1 variedad comercial denominada blanco armenia (HMC-1), con el fin de seleccionar las de mayor potencial para la extracción de almidón, la utilización en alimentos y la transformación en azúcares fermentables, según las metodologías propuestas por el CIAT<sup>3</sup> y NREL<sup>4</sup>.

Los análisis fueron adelantados en los laboratorios poscosecha y biotecnología del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, el Instituto de Ciencia de Tecnología de alimentos (ICTA) y el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (LIQ). La distribución del ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar de condiciones controladas, y los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico Statistix 9.0.

### Análisis sobre la pulpa

#### Sólidos totales

Basado en la norma técnica NREL/TP-510-42621 para biomasa realizada por Sluiter *et al.*, (2008), para determinar el contenido de materia seca, la cantidad de humedad y el contenido de sólidos presentes en la muestra, que son características físicas y constitutivas del material a analizar.

<sup>3</sup> Centro Internacional de Agricultura Tropical.

<sup>4</sup> National Renewable Energy Laboratory.

### Cenizas

Basado en la norma técnica NREL/TP-510-42622 para biomasa realizada por Sluiter *et al.*, (2005), con el fin de identificar la cantidad de material inorgánico como sales y metales que se encuentran enlazados a la estructura física de la biomasa.

### Almidón total por HPLC

Basado en la norma técnica para biomasa NREL/TP-510-42624, 996.11, AACC Método 76.13, y ICC Método estándar Núm. 168 propuesta por Sluiter & J. Sluiter (2005), se analizó el contenido de almidón en la yuca. El procedimiento consiste en relacionar el contenido de glucosa total de las muestras después de ser hidrolizadas, las cuales fueron cuantificadas por el método de cromatografía líquida HPLC.

### Extracción de almidón libre

Se rallaron 3 Kg ( $\pm 50$  g) de yuca nativa amazónica (porción A), en un procesador de alimentos marca Black&Decker “PowerPro II” (US), a 3.500 rpm, con cuchillas de acero inoxidable, hasta obtener un diámetro de partícula homogéneo. La yuca rallada fue pasada por un tamiz de lienzo comercial malla 100, donde fue lavado a mano con agua a  $35^{\circ}\text{C}$ , así se obtuvo un líquido de color regular blanco (yuca dulce) o amarillo (yuca brava), hasta que la fibra no presentó desprendimiento de almidón.

El líquido fue llevado a un tanque de sedimentación de 50 litros y permaneció en reposo durante 16 horas. Este tanque cuenta con una válvula de seguridad en la parte inferior y un filtro dispuesto a 15 cm del fondo, diseñado y construido con lienzo para la retención y separación de la parte proteica de la lechada, denominada mancha.

Al finalizar la etapa de sedimentación, el agua residual y la malla de retención de mancha, fueron separadas de los almidones que se encontraban sobre el fondo del tanque en forma de pasta.



Las muestras de almidón, afrecho y mancha fueron colectadas y secadas en bandejas, a una temperatura superior a 35°C durante 8 horas o más, hasta que el almidón presentó una consistencia uniforme. Los almidones obtenidos fueron pesados, con el fin de cuantificar el porcentaje de rendimiento por variedad y su porcentaje de humedad, mancha y afrecho residual.

## Análisis sobre el almidón

### Temperatura de gelatinización

Basado en la técnica utilizada por Grace (1977), que busca hallar un punto de temperatura a la cual se presenta un hinchamiento en los gránulos de almidón por hidratación, debido a la alteración de la estructura molecular, que produce la lixiviación de la amilosa tras ser sometida a un calentamiento regular.

### Índice de absorción en agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento

El análisis del índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y el poder de hinchamiento se basó en la metodología propuesta por Aristizábal (2007). La capacidad de absorción de agua de un gránulo y la exudación de las fracciones de almidón son determinadas mediante la cuantificación del poder de hinchamiento, generado por la absorción progresiva e irreversible de agua durante el calentamiento de la suspensión.

### Relación de amilosa

El análisis se realizó basado en lo propuesto por Wrolstad (2000), quien propone liberar los almidones de la mayor cantidad de lípidos posibles, para luego realizar un proceso de dispersión de almidón, que permite el análisis del contenido de amilosa en la solución.

### Susceptibilidad a la hidrólisis

Basado en los experimentos efectuados por Mera & Carrero (2003) y Shariffa *et al.*, (2009), se realizó un montaje de dos reactores acoplados (figura 1), unidos a un recirculador de agua a 32°C.



**FIGURA 1.** EQUIPO DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA. CONTIENE DOS FRASCOS DE VIDRIO ENCAQUETADOS CON TAPA DE TRES SALIDAS ESMERILADAS, UN RECIRCULADO DE AGUA, UNA PLANCHA CON AGITACIÓN MAGNÉTICA Y UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE MUESTRA.

Los dos bioreactores en vidrio fueron previamente esterilizados durante 30 minutos a 121°C y ensamblados al equipo de recirculación, con el fin de controlar la temperatura de proceso durante todas las etapas. Fueron ubicados sobre dos planchas de calentamiento para generar una agitación magnética regular y leve. Dentro del recipiente, se dispuso un magneto de 4 centímetros de diámetro, que generó la turbulencia.

Se agregaron 16 g a 65 ml de agua destilada y desionizada en el recipiente de reacción. Se realizó la hidratación de los almidones durante 1 hora, con agitación leve y constante. Durante esta etapa, se midió el pH inicial y se ajustó a 4,5, aproximadamente, los almidones con pH inferior a este valor ( $4,5 > \text{pH}$ ) no fueron modificados. El control del pH se llevó a cabo con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1M, para la acidificación, y NaOH 0,1N, para la neutralización. Los datos fueron obtenidos con un potenciómetro Shchot Gerate (Germany).

La mezcla enzimática Starge 001, obtenida de la empresa Merquiand Ltda., representantes de Genecore en Colombia, fue utilizada por la adición de 34,7  $\mu\text{L}$  a la mezcla de almidón y agua, y se permitió la reacción por 10 minutos. Durante este período de tiempo, fue tomada una alícuota de 7 ml, en un tubo falcón esterilizado, que contenía 3 ml de NaOH 0,1N, con el fin de detener la reacción.

La muestra fue adecuada al centrifugar los 10 ml de hidrolizado a 10.000 rpm, por 20 minutos a 10°C. El

sobrenadante fue filtrado en prejerina de 0,25  $\mu\text{m}$ . Los hidrolizados fueron realizados por duplicado, y se analizaron los azúcares resultantes por cromatografía líquida HPLC, que utiliza como fase móvil  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con flujo de 0,5 ml/minutos, a 40°C en una columna Aminex HPX 87HP.

## Contenido de proteína

Basado en el método Kjeldahl para la determinación del contenido de nitrógeno total, que mediante un factor de conversión se permite hacer la homología con el contenido de nitrógeno. El procedimiento se basó en la digestión de la muestra con ácido sulfúrico, usando  $\text{CuSO}_4/\text{TiO}_2$  como catalizador, reacción en la que el nitrógeno se convierte en  $\text{NH}_3$  (Wrolstad, 2000).

## Criterios de selección de las variedades promisorias para su transformación en azúcares fermentables

Se seleccionaron 4 análisis con el fin de identificar la variedad más promisorio para la transformación en azúcares fermentables. La primera de ellas consistió en el contenido de almidón libre, uno de los patrones iniciales de selección a escala industrial (Drapcho, 2008).

La segunda se relaciona con el contenido de proteína. Los estudios de Han (2002a y 2002b), Buléon (1998), BeMiller (2009), Tester *et al.*, (2004), J. Liu *et al.*, (2009), y Debet y M Gidley (2006) demostraron que el contenido de proteína afecta las características de viscosidad y temperatura de hinchamiento del almidón, criterios primordiales para el diseño de un proceso industrial o para la determinación de la susceptibilidad del gránulo al ataque enzimático.

La tercera característica se encuentra dominada por la relación de amilosa en la partícula de almidón. Esta

relación se expresa en la cristalinidad del polisacárido y la complejidad sobre las ramificaciones de la cadena (Tester *et al.*, 2004b; Karkalas 1995), lo que determina la cantidad de humedad que puede absorber el gránulo, así como su facilidad para ser degradada (Bradshaw & Kennedy, 1985).

La última característica seleccionada fue la susceptibilidad a la hidrólisis. Bajo condiciones controladas a la máxima actividad de la enzima, se cuantificó la producción de azúcares de cada muestra mediante el procedimiento propuesto por Shariffa *et al.*, (2009), con las modificaciones respectivas.

Los resultados permitieron evaluar con el método de ponderación de factores (tabla 1), basado en la asignación de un peso a cada factor analizado, de acuerdo con su importancia relativa en el proceso; y el almidón con mayor potencial para ser transformado en azúcares fermentables (ecuación 1). Dichos resultados fueron analizados con el modelo de factores aleatorios, para luego diferenciar los posibles grupos mediante el método Tukey.

## ECUACIÓN 1: PONDERACIÓN DE DATOS PARA LA YUCA AMAZÓNICA (*M. ESCULENTA*) RECOLECTADA EN LETICIA.

$$f = AA \times n_{AA} - CP \times n_{CP} + RA \times n_{RA} + DE \times n_{DE}$$

## Resultados

### Materia prima

Las yucas fueron clasificadas y marcadas (tabla 2), según el tipo de variedad. Estas muestras determinaron la existencia de 8 yucas bravas y 15 dulces, para un total de 23 variedades nativas, que fueron caracterizadas física y químicamente en los laboratorios del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, sede Bogotá.

**TABLA 1.** PESO PONDERADO DE FACTORES DE YUCA AMAZÓNICA (*M. ESCULENTA*) RECOLECTADA EN LETICIA.

Criterio de selección	Peso de ponderación
Contenido de proteína (CP)	5%
Relación amilosa (AA)	10%
Rendimiento de almidón (RA)	40%
Susceptibilidad a hidrólisis (DE)	45%

**TABLA 2.** VARIEDADES DE YUCA RECOLECTADAS EN LETICIA (BARRERA Y RODRÍGUEZ, 2010) EN INSTITUTO AMAZÓNICO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS SINCHI.

	Nombre común	Tipo
1	Arpón	Brava
2	Brasileira 1	Brava
3	Brasileira 2	Brava
4	Carai	Brava
5	Ceiba	Brava
6	Indio	Brava
7	Lupuna	Brava
8	Pibicho 005	Brava
9	Catala	Brava
10	Barandilla	Dulce
11	Arawana	Dulce
12	Canero	Dulce
13	Cuya	Dulce
14	Lombriz	Dulce
15	Manicuera	Dulce
16	Morada	Dulce
17	Pájaro ahumao	Dulce
18	Pan	Dulce
19	Pata de paloma	Dulce
20	Pibicho	Dulce
21	Piririca	Dulce
22	Vega	Dulce
23	Yema de huevo	Dulce

## Caracterización de la pulpa

**Sólidos totales o materia seca:** el contenido de materia seca que se observa en la tabla 3, mostró una alta dispersión de datos que variaban entre el 12,5% para *arpón* y 36,7% para *cuya*.

Los resultados no indicaron ninguna tendencia de preferencia entre las variedades dulce o brava, con respecto al contenido de materia seca. Algunos estudios de Cárdenas (2006) encontraron variedades con un alto contenido de materia seca del 37,18%, que es superior a las encontradas para la región amazónica; sin embargo, 3 de las variedades amazónicas (*indio*, *cuya* y *yema de huevo*) se encuentran por encima

del promedio general para Suramérica (López Montes *et al.*, 2000), que oscila entre 33 y 35% de materia seca. Otras variedades como *barandilla*, *catalán*, *lombriz* y *pájaro ahumado* se encuentran dentro de estos valores.

**Cenizas:** el contenido de cenizas que se presenta en la tabla 3n indica que el grado de contaminación de minerales sobre la pulpa es bajo, por lo tanto, el almidón obtenido de las variedades amazónicas es de muy buena calidad, lo cual es de interés para la industria farmacéutica y química. Por otro lado, la variedad *pájaro ahumado* muestra una concentración alta de minerales, cualidad adecuada para la industria de alimentos.

**TABLA 3.** ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO REALIZADO SOBRE LA PULPA DE YUCA NATIVA AMAZÓNICA.

Nombre común	Materia seca (g)	% cenizas (p/p)	Almidón Total p/p (bs)	Almidón libre (p/p)
Arpón	12,53	0,0050	0,9444	0,152
Brasileira1	27,66	0,0042	0,9208	0,157
Brasileira2	30,23	<u>0,0015</u>	0,9382	0,153
Carai	31	0,0025	0,9438	<u>0,175</u>
Ceiba	32,25	0,0041	0,9414	0,117
Indio	<u>35,17</u>	0,0039	<u>0,9503</u>	0,140
Lupuna	32,60	0,0078	0,9420	0,103
Pibicho005	27,48	0,0067	0,9429	0,087
Arawana	21,24	0,0088	0,9046	<u>0,218</u>
Barandilla	34,44	0,0087	<u>0,9578</u>	0,142
Canero	31	0,0083	0,9366	0,113
Catalán022	33,7	0,0067	0,9457	0,125
Cuya	<u>36,66</u>	0,0074	0,9548	0,085
Lombriz	33,45	0,0093	0,9453	0,125
Manicuera	29,06	0,0055	0,9443	0,132
Morada	22,06	0,0068	0,9108	<u>0,180</u>
Pájaro ahumao	33,79	<u>0,0127</u>	0,9469	0,117
Pan	25,74	0,0029	0,9309	0,139
Pata de Palomo	23,78	0,0066	0,9311	0,103
Pibicho	31,12	0,0072	0,9495	0,127
Piririca	24,34	0,0068	0,9151	0,161
Vega	32,21	0,0084	0,9407	0,137
Yema de Huevo	<u>36,48</u>	0,0071	<u>0,9539</u>	0,123
Armenia (HMC-1)	11,22	0,0029	0,8039	0,175

**Almidón total por HPLC:** las variedades *morada* y *piririca* presentaron un porcentaje muy bajo frente a los reportados por el CIAT (del 92% al 96%). Sin embargo, 21 variedades nativas se ubicaron en este intervalo. Las variedades *indio*, *barandilla*, *cuya*, *yema de huevo* se destacaron por tener las concentraciones más altas entre los materiales estudiados.

**Almidón libre:** el contenido de almidón libre en g de almidón/g de yuca (figura 2) para todas las variedades analizadas, permitió identificar a las variedades *arawana*, *morada*, *carai* y *piririca*, con porcentajes de almidón libre promedio de 21,8%, 18%, 17,5%,

16,1%, respectivamente como las de mayor potencial. Entre estas muestras se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) lo que indica la potencialidad de la variedad *arawana* en la producción de almidón.

De acuerdo al análisis de diferencias entre medias, se identificaron 3 grupos según la similitud en el contenido de almidón libre. La variedad *arawana* representa el primero, debido a que su contenido de almidón libre es superior al de las demás especies. El segundo grupo está compuesto por las especies *morada*, *armenia*, *carai*, *piririca*, *brasileira 1*, *brasileira 2*, *arpón*, *barandilla*, *indio*, *pan*, *vega*, *manicuera*, *pibicho*, *lombriz*, *catalana022*,

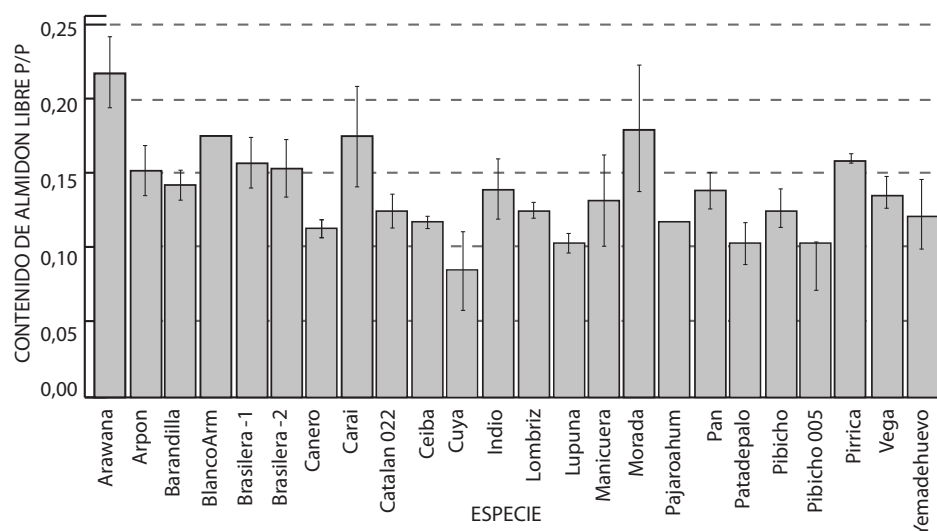


FIGURA 2. CONTENIDO DE ALMIDÓN LIBRE DE YUCA AMAZÓNICA (*M. ESCULENTA*) RECOLECTADA EN LETICIA.

yema de huevo, pájaro ahumao y ceiba, con un nivel medio de almidón libre. Y el tercero, con un contenido bajo de almidón libre, está constituido por las variedades canero, lupuna, pata de palomo, pibicho005 y cuya.

Especies como la arawana y morada presentaron un contenido de almidón libre superior a la especie armenia, la cual es un clon modificado genéticamente por el CIAT con pasaporte HMC1. Esta última variedad fue caracterizada por Alvis *et al.*, (2008) y obtuvo resultados similares entre los estudios, por lo tanto, el contenido de almidón libre de las variedades arawana y morada son de alto interés para la industria de harinas y alimentos.

**Temperatura de gelatinización:** la gran mayoría de variedades de almidón tuvieron una temperatura de gelatinización regular, similar a la reportada en la literatura para almidones nativos de yuca, de 58 a 65°C (Aristizábal, 2007).

El análisis estadístico permitió clasificar 9 grupos distintos de variedades de yuca, según la temperatura de gelatinización de su almidón. Los grupos principales fueron conformados por las yucas indio y yema de huevo para temperaturas altas; seguido del grupo 2, representado por vega; y el 3, que incluye la catalana, lupuna y piririca. Los grupos 7, 8 y 9, que corresponden a las temperaturas bajas, incluyen las variedades carai y caner (7); brasilera 1 y manicuera; y brasilera, respectivamente.

TABLA 4. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA EN EL ALMIDÓN NATIVO DE YUCA AMAZÓNICA.

Nombre común	Temperatura gel (°C)	IAA* (p/p)	ISA** (ml)	PH*** (p/p)
Arpón	66	5,94	9,11	6,42
Brasilera1	63	30,44	26,59	34,55
Brasilera2	62	6,72	5,74	7,06
Carai	64	11,45	12,62	13,37
Ceiba	66	5,67	5,92	6,18
Indio	71,5	6,01	6,53	6,63
Lupuna	68	3,75	3,71	3,92
Pibicho005	65	6,46	15,28	7,21



CONTINUACIÓN TABLA 4.

Nombre común	Temperatura gel (°C)	IAA* (p/p)	ISA** (ml)	PH*** (p/p)
Arawana	66	6,12	3,78	6,47
Barandilla	65	6,28	13,89	7,16
Canero	64	5,28	7,38	5,86
Catalan 022	68	5,18	5,89	5,65
Cuya	65,5	7,41	4,65	8
Lombriz	67	5,99	5,22	6,50
Manicuera	64	6,08	14,26	6,96
Morada	67	8,86	7,18	9,52
Pájaro ahumao	65,7	5,5	4,27	5,89
Pan	65	26,18	26,57	29,30
Pata de palomo	65,7	5,12	5,32	5,34
Pibicho	67	6,61	16,39	7,68
Piririca	68	4,85	5,84	5,08
Vega	69	7,43	6,78	7,90
Yema de huevo	71	4,21	5,93	4,55
Armenia (HMC-1)	65	9	9,3	9,97

\* Índice de Absorción de Agua. \*\* Índice de Solubilidad de Agua. \*\*\* Poder de Hinchamiento.

**Índice de absorción en agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento:** según Aehle (2004) las características de calidad del almidón de yuca pueden estar asociadas a la alta absorción de agua, un alto poder de hinchamiento y un bajo índice de solubilidad, como es el caso de las variedades *brasileira 2*, *arawana*, *cuya*, *morada* y *vega*.

En cambio, las variedades *arpón*, *pibicho*005, *barandilla*, *canero*, *manicuera* y *yema de huevo*, con índices de Solubilidad en Agua relativamente altos, pueden considerarse con baja calidad para el área de alimentos, farmacéuticos y químicos.

Existen valores atípicos, como los de las yucas *pan* y *brasileira 1*, con respecto a su Índice de Absorción en Agua y Poder de Hinchamiento; como también las variedades *brasileira 1*, *pibicho dulce* y *brava*, *barandilla*, *manicuera* y *pan*, con respecto al Índice de Solubilidad en Agua, que serían de interés para algunas industrias de papel.

Para la producción de azúcares fermentables, Mahasukhonthachai *et al.*, (2010), Sodhi *et al.*, (2005) y Tester

*et al.*, (2004) recomiendan el uso de yucas con bajo Índice de Absorción de Agua y alto poder de solubilidad e hinchamiento, como las yucas nativas *arpón*, *pibicho brava* y *dulce*, *barandilla* y *piririca*.

**Relación de amilosa:** el contenido de amilosa afecta, tanto la característica nutricional del producto, como sus propiedades técnicas (Bradshaw & Kennedy 1985). Los factores de mayor trascendencia están asociados a la solubilidad del almidón, la temperatura de gelatinización, la susceptibilidad enzimática, la retrogradación y algunas propiedades reológicas (Wulff 1998; Hoover 2001; X Qi 2003; Whistler 1984; Bradshaw & Kennedy 1985).

El contenido de amilosa entre las muestras (figura 3) presentó diferencias significativas ( $P > 0,05$ ). Las variedades nativas con un mayor contenido de amilosa fueron las *lupuna* y *arawana*, seguidas de la variedad *morada*.

Este grupo es mucho más susceptible a la degradación enzimática, lo que representa un es benéfico, tanto para el área de alimentos, como para su transformación en azúcares fermentables. Sin embargo, esto

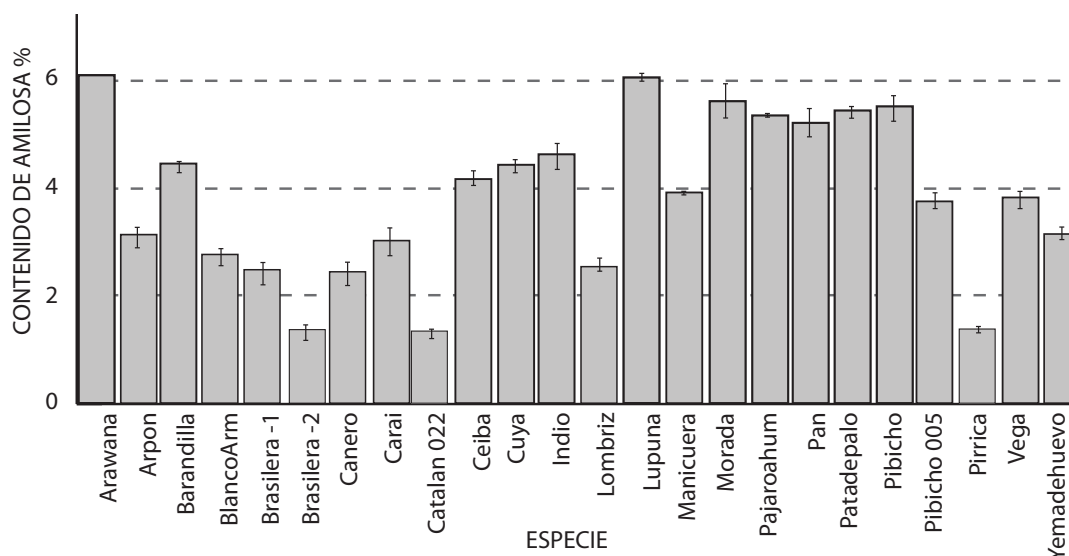


FIGURA 3. RELACIÓN AMILOSA-AMILOPECTINA DE LAS YUCAS AMAZÓNICAS RECOLECTADAS

disminuye su capacidad para su disolución en agua, lo que limita su uso en las reacciones de hidrólisis, debido a que la cantidad de energía involucraría para mantener el almidón en suspensión causaría daños por impacto sobre el biocatalizador.

Las variedades *pibicho*, *pata de palomo*, *pájaro ahumao* y *pan* presentan un nivel medio de amilosa, característica que comparten con otras como la *cuya*, *barandilla*, *ceiba*, *manicuera*, *vega*, *pibicho005*, *yema de huevo*, *arpón*, *carai*, *armenia*, *lombriz*, *brasileira1* y *canero*. Los dos grupos son materiales adecuados para las reacciones de hidrólisis.

Las variedades *indio*, *pirrica*, *brasileira 2* y *catalán022* poseen el menor contenido de amilosa, lo cual puede favorecer los procesos de extrusión, ya que este tipo de almidones absorben mucho mejor la humedad, y así mejora sus características reológicas (Xie *et al.*, 2009).

Las variedades con bajo contenido de amilosa permiten una mayor absorción de agua, y aumentan la temperatura de gelatinización, lo cual beneficia los procesos de extrusión (Xie *et al.*, 2009).

**Susceptibilidad a la hidrólisis:** la figura 4 mostró que los almidones de las variedades *pirrica*, *cuya*, *arpón*

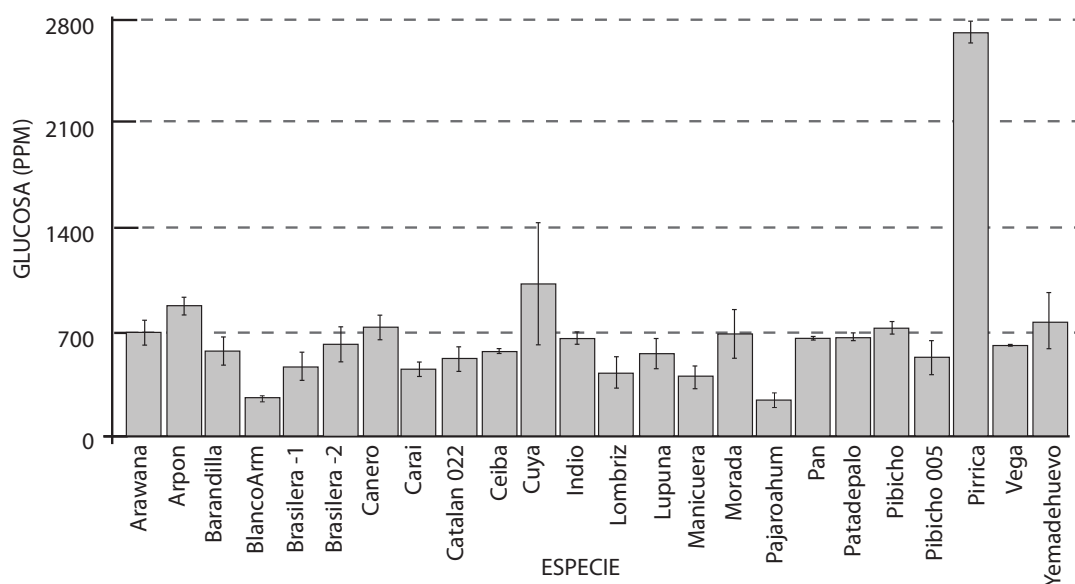
y *Yema de huevo* son los más susceptibles al ataque de la enzima Stargen 001.

Al analizar los datos por comparación múltiple de Tukey, se encontró que la variedad *pirrica* tiene una alta producción de glucosa (2.713,6 ppm), frente a la variedad *cuya* (1.020,4 ppm), que se presenta como la segunda mejor.

Por otra parte, los almidones de las yucas *arpon*, *yema de huevo*, *canero*, *pibicho*, *arawana*, *morada*, *pata de palomo*, *pan*, *indio*, *brasileira 2*, *vega*, *ceiba*, *barandilla*, *lupuna*, *pibicho 005*, *catalán 022*, *brasileira 1*, *carai* y *lombriz* tienen una capacidad de producción de glucosa promedio mayor a la obtenida por la variedad de referencia (*armenia*).

Sólo los almidones de las variedades *manicuera* (390,9 ppm) y *pájaro ahumao* (238,9 ppm) presentaron una susceptibilidad de hidrólisis comparable con el blanco (233,7 ppm), lo que indica el potencial de las variedades amazónicas para la producción de azúcares fermentables.

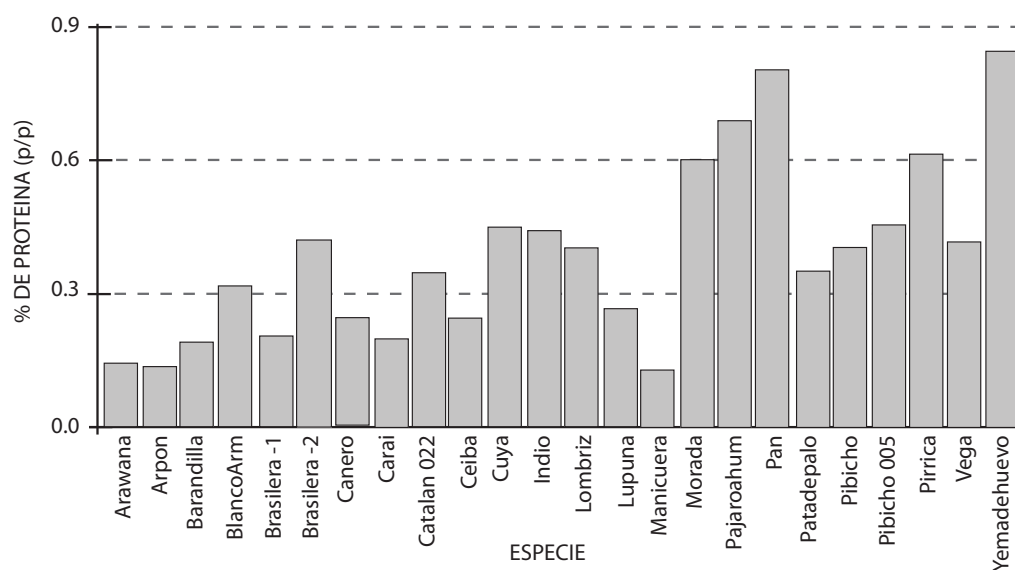
**Contenido de proteína:** las variedades de yuca fueron clasificadas por su contenido de proteína en tres grupos: alto (10% - 7% p/p), medio (6,9% - 4% p/p) y



**FIGURA 4.** PRODUCCIÓN DE AZÚCARES POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE ALMIDONES DE YUCA NATIVA.

bajo (3,9% - 1,0% p/p). El grupo incluye las variedades *yema de huevo*, *pan*, *pájaro ahumao*, *pirrica* y *morada*; el de nivel medio corresponde a la *pibicho 005*, *cuya*, *indio*, *brasileira 2*, *vega*, *pibicho*, *lombriz*, *catalan 022*, *pata de paloma* y *armenia*; y en nivel bajo se encuentra la *arawana*, *arpón*, *barandilla*, *brasileira 1*, *canero*, *carai*, *ceiba*, *lupuna* y *manicuera*.

Un contenido alto de proteína beneficia la viscosidad de la solución, pero disminuye el poder de hinchamiento del almidón, por lo que las variedades del segundo grupo son de interés para un proceso de hidrólisis enzimática. Esta idea puede ser homóloga a lo percibido por Liu *et ál.*, (2009) y Debet & M Gidley (2006) en sus experimentos.



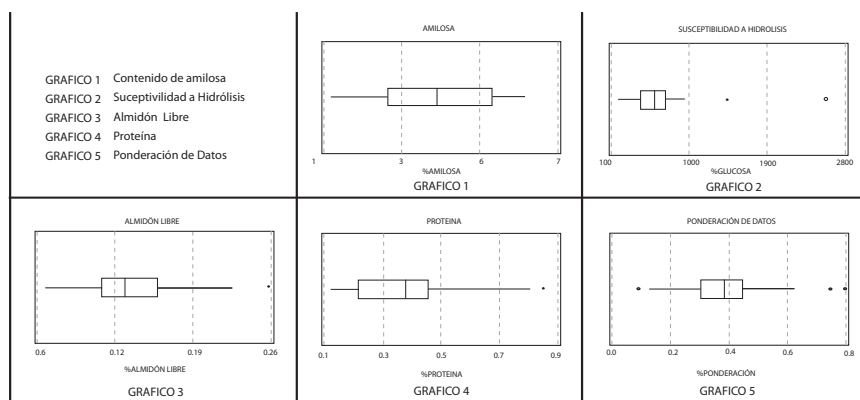
**FIGURA 5.** CONTENIDO DE PROTEÍNA EN ALMIDÓN POR ESPECIE DE YUCA AMAZÓNICA (M. ESCULENTA) RECOLECTADA EN LETICIA.

### Criterios de selección de las variedades promisorias para su transformación en azúcares fermentables

Los resultados de los cuatro análisis físicoquímicos ponderados: almidón libre, susceptibilidad al ataque enzimático, contenido de proteína y relación de

amilosa (tabla 4) mostraron una variabilidad moderada, y algunos casos atípicos (figura 6).

Los datos de caracterización físicoquímica priorizados para la selección de la variedad de yuca fueron analizados de manera independiente, por comparación de medias, lo que determinó la existencia de diferencias significativas entre las variedades con un  $P < 0,05$ .



**FIGURA 6.** MEDIDA DE LA TENDENCIA CENTRAL Y VARIABILIDAD DE LOS CUATRO ANÁLISIS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN DE LA YUCA NATIVA.

**TABLA 5.** CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA EN EL ALMIDÓN NATIVO DE YUCA AMAZÓNICA 2

No	Variedad	Almidón libre (p/p)	Capacidad de ataque enzimático (ppm de glucosa)	Proteína (% p/p)	Amilosa (p/p)	Ponderación de datos
1	Arawana	0,218	691,818	0,142	0,06	0,114
2	Arpon	0,152	867,762	0,137	0,031	0,065
3	Barandilla	0,142	564,486	0,192	0,044	0,551
4	Brasileira1	0,157	467,795	0,206	0,024	0,615
5	Brasileira2	0,153	614,293	0,421	0,013	0,578
6	Canero	0,113	728,358	0,245	0,024	0,555
7	Carai	0,175	445,919	0,2	0,03	0,444
8	Catalan022	0,125	516,322	0,348	0,013	0,301
9	Ceiba	0,117	568,133	0,248	0,042	0,47
10	Cuya	0,085	1.020,397	0,451	0,044	0,383
11	Indio	0,140	649,731	0,444	0,046	0,363
12	Lombriz	0,125	423,328	0,405	0,026	0,428
13	Lupuna	0,103	556,012	0,273	0,06	0,353
14	Manicuera	0,132	390,933	0,123	0,039	0,399
15	Morada	0,18	683,46	0,602	0,056	0,432
16	Pájaro ahumao	0,117	238,884	0,689	0,053	0,462

CONTINUACIÓN TABLA 5

No	Variedad	Almidón libre (p/p)	Capacidad de ataque enzimático (ppm de glucosa)	Proteína (% p/p)	Amilosa (p/p)	Ponderación de datos
17	Pan	0,139	655,127	0,803	0,052	0,282
18	Pata de paloma	0,103	660,238	0,35	0,054	0,36
19	Pibicho	0,127	720,488	0,405	0,055	0,392
20	Pibicho005	0,087	521,576	0,454	0,038	0,289
21	Piririca	0,161	2.713,573	0,619	0,014	0,509
22	Vega	0,137	607,513	0,41	0,038	0,523
23	Yema de huevo	0,123	767,294	0,845	0,031	0,258
24	Blanco Arm	0,175	233,717	0,318	0,027	0,423

**TABLA 6.** MEDIA DE CUADROS DE ERROR DEL ANÁLISIS DE VARIANZA PARA CONTENIDO DE ALMIDÓN LIBRE, HIDRÓLISIS, RELACIÓN AMILOPECTINA, ANÁLISIS DE PONDERACIONES PARA ALMIDÓN DE YUCA AMAZÓNICA Y SUMATORIA DE FUNCIONES.

Fuente de variación	MSE
Almidón libre	0,0052
Susceptibilidad a hidrólisis	0,0001
Relación de amilosa	0,0001
Sumatoria de funciones	0,0404

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 6, la variación del contenido de almidón libre, susceptibilidad a hidrólisis y relación de amilosa, demuestran la existencia de diferencias significativas en cada una de las respuestas de los tratamientos.

### Correlación entre factores de selección

Los cuatro factores fueron correlacionados para identificar el grado de asociación entre variables. Mediante este proceso, se encontró una relación directamente proporcional entre el contenido de proteína y la relación de amilosa, como se muestra en la tabla 7.

**TABLA 7.** CORRELACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE GLUCOSA EN LA YUCA AMAZÓNICA (M. ESCULENTA) RECOLECTADA EN LETICIA.

	Almidón	Amilosa	Hidrólisis
Amilosa	0,318		
Hidrólisis	0,2805	0,1235	
Proteína	0,0198	0,8013	0,2431

Confirmando los resultados obtenidos por BeMiller (2009) y Salgado *et al.*, (2008) se demuestra la existencia de una relación positiva entre el contenido de proteína y el índice de absorción ( $P = 0,97$ ).

### Análisis de ponderación por comparación múltiple

Al utilizar una comparación múltiple de Tukey sobre la sumatoria de la ponderación de valores (ecuación 1), las variedades con un alto potencial para la producción de azúcares fermentables son: *piririca* y *arawana* (grupo A), seguido por las variedades *morada*, *pan*, *arpón*, *carai*, *indio*, *pibicho*, *yema de huevo*, *barandilla*, *brasileira 1*, *brasileira 2*, *pájaro ahumado*, *pata de palomo*, *lupuna*, *manicuera*, *ceiba*, *canero*, *lombriz*, *catalán 022*, *vega 022*, *cuya* y *pibicho 005* (grupo AB). Finalmente, la variedad *armenia*, con el más bajo nivel de ponderación, demuestra la potencialidad de las variedades nativas.

**TABLA 8.** EVALUACIÓN DE LA DIFERENCIA ENTRE MEDIAS DE LOS DATOS PONDERADOS DE LA YUCA AMAZÓNICA NATIVA (M. ESCULENTA).

Especie	Media	Especie	Media
Piririca [A]	0,6457	Pájaro ahumado [AB]	0,3720
Arawana [A]	0,5813	Pata de palomo [AB]	0,37
Morada [AB]	0,5320	Lupuna [AB]	0,3697
Pan [AB]	0,4583	Manicuera [AB]	0,3613
Arpón [AB]	0,4333	Ceiba [AB]	0,3603
Carai [AB]	0,4300	Canero [AB]	0,3470



CONTINUACIÓN TABLA 8.

Especie	Media	Especie	Media
Indio [AB]	0,4283	Lombriz [AB]	0,3443
Pibicho [AB]	0,4240	Catalán022 [AB]	0,3260
Yema de huevo [AB]	0,4117	Vega [AB]	0,3213
Barandilla [AB]	0,4053	Cuya [AB]	0,3133
Brasilera1 [AB]	0,3933	Pibicho005 [AB]	0,307
Brasilera2 [AB]	0,3920	Armenia [B]	0,2007

Por lo tanto, el 91,3% de las variedades estudiadas presentan características que hacen factible su utilización para ser transformadas en azúcares fermentables. Por otro lado, las yucas *piririca* y *arawana* se destacan especialmente por su susceptibilidad a la hidrólisis y su contenido de almidón libre. Estos factores influyen significativamente en el proceso, debido a que un alto contenido de almidón libre permite un mayor aprovechamiento de la biomasa (Drapcho, 2008).

Por otro lado, la susceptibilidad a hidrólisis demostró experimentalmente la interacción de los componentes del almidón con las condiciones de operación y el acoplamiento del biocatalizador como ya había sido comprobado por Shariffa *et al.*, (2009).

## Conclusiones

Las variedades de la región amazónica con mayor potencialidad para su transformación en azúcares fermentables son la *piririca* y *arawana*. Éstas deben ser estudiadas cinéticamente, ya que existen otro tipo de interacciones durante el proceso, que pueden afectar las reacciones de hidrólisis.

Debido a su alto contenido de materia seca, las variedades *pan*, *brasilera1* y *manicuera* tienen potencialidad para el sector alimentos, sobre todo en el área de frituras. El sector farmacéutico también puede beneficiarse con las yucas amazónicas, debido a que las variedades *pájaro ahumao*, *brasilera2* contienen porcentajes bajos de cenizas, alta absorción de agua y poder de hinchamiento con un bajo índice de solubilidad, lo cual indica un alto grado de calidad de almidón.

Las variedades *indio*, *piririca*, y *catalán022*, por su bajo contenido de amilosa, absorben un mayor porcentaje

de agua y generan un aumento en la temperatura de gelatinización, lo cual beneficia los procesos de extrusión, como también algunos productos de la industria química y textil.

## Referencias

- ACOSTA, M., *et al.*, (2004). *Enterramiento de masas de yuca del pueblo Ticuna: tecnología tradicional en la várzea del Amazonas colombiano*. (5ª Ed.). Leticia: Equilátero.
- AEHLE, W. (2004). *Enzymes in Industry: Production and Applications*. (2ª Ed.). Weinheim: Wiley-VCH.
- ALVIS, A. *et al.*, (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información tecnológica*, Vol. 19 Núm. 1. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642008000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642008000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
- ARIAS, G. *et al.*, (2005). *Diversidad de yucas (Manihot esculenta Crantz) entre los Ticuna: riqueza cultural y genética de un producto tradicional*. (5ª Ed.). Leticia: Equilátero.
- ARISTIZÁBAL, J. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*, Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- BEMILLER, J. (2009). *Starch: Chemistry and Technology*. (3ª Ed.). London: Academic.
- BRADSHAW, I. J.; & Kennedy, J. F. (1985). Starch: Chemistry and technology. *British Polymer Journal*, Vol. 17, No. 4, pp. 377-378.
- BULÉON, A. (1998). Starch Granules: Structure and Biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 23, No. 2, pp. 85-112.
- CÁRDENAS, F. M. (2006). *El cultivo de la yuca*. Ecuador: INIAP.
- CEBALLOS, H.; & DE LA CRUZ, G. A. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. *Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, 586.
- DEBET, M.; & GIDLEY, M. (2006). Three Classes of Starch Granule Swelling: Influence of Surface Proteins and Lipids. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 64, No. 3, pp. 452-465.
- Grace, M. (1977). *Análisis de la yuca*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- HAN, X. (2002a). Influence of Maize Starch Granule-Associated Protein on the Rheological Properties of Starch Pastes. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 49 No. 3, pp. 315-330.
- HOOVER, R. (2001). Composition, Molecular Structure, and Physicochemical Properties of Tuber and Root

- Starches: a Review. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 45 No. 3, pp. 253-267.
- LIU, J. *et al.*, (2009). Iodine Binding Property of a Ternary Complex Consisting of Starch, Protein, and Free Fatty Acids. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 75 No. 2, pp. 351-355.
- MAHASUKHONTHACHAT, K.; SOPADE, P.; & GIDLEY, M. (2010). Kinetics of Starch Digestion in Sorghum as Affected by Particle Size. *Journal of Food Engineering*, Vol. 96 No. 1, pp. 18-28.
- MERA, I. & CARRERO, J. (2003). Obtención de glucosa a partir de almidón de yuca *Manihot sculenta*. Vol. 3 Núm. 1. Disponible en <http://www.unal.edu.co/> [Consultado el 15 de junio de 2010].
- QI, X. (2003). Molecular Basis of the Gelatinisation and Swelling Characteristics of Waxy Rice Starches Grown in the same Location During the same Season. *Journal of Cereal Science*, Vol. 37 No. 3, pp. 363-376.
- SALGADO, P. *et al.*, (2008). Biodegradable Foams based on Cassava Starch, Sunflower Proteins and Cellulose Fibers Obtained by a Baking Process. *Journal of Food Engineering*, Vol. 85, No. 3, pp. 435-443.
- SHARIFFA, Y. *et al.*, (2009). Enzymatic Hydrolysis of Granular Native and Mildly Heat-Treated Tapioca and Sweet Potato Starches at Sub-gelatinization Temperature. *Food Hydrocolloids*, Vol. 23, No. 2, pp. 434-440.
- SLUITER, A. *et al.*, (2008). *Determination of Total Solids in Biomass and Total Dissolved Solids in Liquid Process Samples*, Operated for the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- SLUITER, A. *et al.*, (2005). *Determination of Ash in Biomass*, Operated for the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy by Midwest Research Institute Battelle.
- SLUITER, A.; & SLUITER, J. (2005). *Determination of Starch in Solid Biomass Samples by HPLC*, Operated for the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy by Midwest Research Institute Battelle.
- SODHI, H. K. *et al.*, (2005). Production of a Thermostable  $\alpha$ -Amylase from *Bacillus* sp. PS-7 by Solid State Fermentation and its Synergistic Use in the Hydrolysis of Malt Starch for Alcohol Production. *Process Biochemistry*, Vol.40, No. 2, pp. 525-534.
- TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; & QI, X. (2004). Starch-composition, Fine Structure and Architecture. *Journal of Cereal Science*, Vol. 39, No. 2, pp. 151-165.
- WHISTLER, R. (1984). *Starch: Chemistry and Technology*. (2<sup>nd</sup> Ed.). Orlando: Academic Press.
- WROLSTAD, R. (2000). *Handbook of Food Analytical Chemistry* [Vol. 1] Water, Proteins, Enzymes, Lipids, and Carbohydrates. [Vol. 2] Pigments, Colorants, Flavors, Texture, and Bioactive Food Components, Hoboken, NJ: Wiley-Interscience.
- WULFF, G. (1998). Modification of Amylose and Investigation of its Inclusion Behavior. *Carbohydrate Research*, Vol. 307 No. 1-2, pp. 19-31.
- XIE, F. *et al.*, (2009). Rheological Properties of Starches with Different Amylose/Amylopectin Ratios. *Journal of Cereal Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 371-377.



Proceso de la yuca. Augusto Mazorra



