

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**



***Estudio comparativo de la producción a escala de laboratorio de jarabe de glucosa por medio de la hidrólisis acida de almidón de yuca y almidón de papa.***

**TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:**

Br. Celeste Alejandra García Martínez.

Br. Luis Alexander Salmerón Vanegas.

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

INGENIERO QUIMICO.

**TUTOR:**

MSc. Denis Escorcía.

***Managua, Nicaragua.***

Junio 2016

## **Dedicatoria**

*A Dios y la Virgen de la pureza, fuente de luz infinita en mi sendero.*

*A mis padres Jeannette y Erasmo que me han ayudado a formar los cimientos de mi vida y a prepararme para ser la persona que siempre soñé.*

*A mis hermanos, tía y demás familiares que durante tantos años me han brindado su apoyo incondicional.*

*A mis amigos y maestros de toda la vida, que con sus consejos en todos los ámbitos me inspiran a mejorar cada día.*

*Celeste Alejandra García Martínez.*

## **Dedicatoria.**

### ***A mi Madre: Manarys Vanegas:***

*Que ha sido Padre y Madre, y que me dio la vida, educación, apoyo, consejo y por ser el Pilar Fundamental en todo lo que soy.*

### ***A mi Novia Hellen:***

*Quien me alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.*

### ***A mis Maestros:***

*Quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que a veces no les ponía atención en clases y que continuaron depositando su esperanza en mí.*

**Luis Alexander Salmerón Vanegas.**

## **Agradecimientos.**

Agradezco a Dios y la Virgen de la Pureza por ser la llama viva que ilumina mi corazón.

A mi tutor Denis Escorcía, quien más que un profesor ha sido un maestro, guiándome durante los diversos momentos de mi formación profesional.

A las autoridades tanto docentes como administrativas de la Universidad Nacional de Ingeniería por permitirnos la realización de este tema de tesis, por su apoyo incondicional.

A todos aquellos, que con una palabra de aliento me impulsaron a no darme por vencida, aún en las horas de cansancio.

De todo corazón, Muchas gracias!

**Celeste Alejandra García Martínez.**

## **Agradecimientos.**

**A Dios** fuente de toda sabiduría, a familiares, amigos y personas cercanas que de alguna manera inspiran a luchar y alcanzar sueños y metas.

**Luis Alexander Salmerón Vanegas.**

## **Resumen.**

En el presente trabajo se caracterizó dos fuentes de materias primas (yuca y papa) para la obtención de almidón y posterior conversión a Jarabe de glucosa.

Para la obtención de jarabe de glucosa se utilizó el método por vía acida, debido a que las enzimas para realizarlo por el método enzimático no fueron posible de encontrar a pesar de ser buscadas en los diferentes comercios especializados.

Se efectuaron ensayos de obtención de Jarabe de Glucosa manipulando dos variables (Tiempo y Temperatura), para determinar que variable influye directamente en el grado de conversión de almidón a Jarabe de Glucosa. Además se cuantifico el producto terminado mediante el método de Layne Eynon, para así mismo clasificarlo como Jarabe Maltodextrinizado.

Los sólidos solubles que se obtuvieron se encuentran en rangos entre 38 y 86.66 %, sin embargo esto no garantiza que el contenido de glucosa sea proporcional a estos resultados, ya que también se tiene presencia de Fructosa la cual el contenido de esta puede ser mayor o viceversa.

La materia prima que presento mejores rendimientos de Jarabe Maltodextrinizado fue en la variedad de Yuca Perla con 1.317 % DE y 0.319 % de AT, esto con variables de control de 125°C y 40 min.

## Tabla de contenido

<b>DEDICATORIA</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN.</b>	<b>V</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
<b>2.1.0 Objetivo General.</b>	<b>2</b>
<b>2.2.0 Objetivos Específicos.</b>	<b>2</b>
<b>III. MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
<b>3.1. YUCA</b>	<b>3</b>
3.1.1. Ficha Técnica	3
3.1.2. Características Físico-Químicas	5
<b>3.2. PAPA</b>	<b>7</b>
3.2.1. Ficha Técnica	7
3.2.2. Características Físico-Químicas	8
<b>3.3. ALMIDÓN</b>	<b>9</b>
3.3.1. Definición	9
3.3.2. Características físico-químicas	10
3.3.3. Reactividad del almidón	14
3.3.4. Gelatinización	14
3.3.5. Hidratación del almidón	15
3.3.6. Hidrólisis del almidón	15
<b>3.4. JARABE DE GLUCOSA</b>	<b>18</b>
3.4.1. Definición	18
3.4.2. Características físico-químicas	19
3.4.3. Usos	20
3.4.4. Ventajas que proporciona el uso del jarabe de glucosa en la industria Alimentaria	21
3.4.5. Ventajas y Desventajas según el Proceso de Obtención	21
<b>3.5. Procesos de obtención</b>	<b>22</b>
3.5.1. Almidón de yuca	22
3.5.2. Almidón de papa	25
	vi

3.5.3. Jarabe de glucosa	26
<b>IV. METODOLOGÍA</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Materiales</b>	<b>29</b>
4.1.1. Materia Prima	29
4.1.2 Reactivos, Materiales y Equipos de laboratorios	30
<b>4.2. Métodos</b>	<b>32</b>
4.2.1. Obtención del jarabe de glucosa	32
4.2.2. Análisis Proximal a las variedades de almidón.	32
4.2.3. Método Lane Eynon.	33
<b>4.3. Procedimiento Experimental</b>	<b>34</b>
<b>4.4. Variable Respuesta</b>	<b>35</b>
<b>V. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>36</b>
5.1. Obtención de almidón de yuca	36
5.2. Obtención de almidón de papa	37
5.3. Cuantificación del jarabe de glucosa	38
5.4. Caracterización físico-química de los jarabes de glucosa	40
5.5. Comparación de resultados obtenidos con valores tradicionales y dispersión de los datos.	41
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>43</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b>	<b>44</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>45</b>
<b>IX. ANEXOS</b>	<b>1</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIG. 3. 1 ARBUSTO Y RAÍCES DE YUCA .....	4
FIG. 3. 2 ARBUSTO Y TUBÉRCULO DE PAPA.....	7
FIG. 3. 3 CADENAS DE ALMIDÓN .....	9
FIG. 3. 4 AMILOPECTINA (RAMIFICADA).....	10
FIG. 3. 5 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS CAMBIOS DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DURANTE EL PROCESAMIENTO HIDROTÉRMICO .....	15
FIG. 3. 6 MOLÉCULA DE GLUCOSA A – D– GLUCOSA.....	18
FIG. 3. 7 PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA.....	24
FIG. 3. 8 PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA.....	27
FIG. 3. 9 PROCESO DE OBTENCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA .....	28
Fig. 4. 1 Variedades de yuca.....	29
Fig. 4. 2 Variedades de papa .....	30
Fig. 5. 1 Gráfica de Efectos Estandarizados del %DE.....	42

## Lista de Tablas

Tabla 3. 1 Composición Nutricional de la Yuca	6
Fig. 3. 2 Arbusto y tubérculo de papa	7
Tabla 3. 2 Valor Nutricional de la Papa	8
Tabla 3. 3 Propiedades de los Componentes del Almidón	12
<i>Tabla 3. 4 Características de los Gránulos del Almidón</i>	13
<i>Tabla 3. 5 Composición Química del almidón</i>	14
<i>Tabla 3. 6 Caracterización del Jarabe de Glucosa.</i>	19
<i>Tabla 3. 7 Comparación de algunos Jarabes con respecto al Jarabe de Glucosa.</i>	20
<i>Tabla 4. 1 Descripción de los reactivos</i>	30
<i>Tabla 4. 2 Materiales y Equipos de Laboratorio utilizados para la obtención de almidón y jarabe de glucosa</i>	31
<i>Tabla 4. 3 Análisis realizados al almidón</i>	33
<i>Tabla 4. 4 Tamaño mínimo aceptable de la muestra (n) para un 95% de confianza.</i>	34
<i>Tabla 5. 1 Rendimientos Materia Prima – Almidón</i>	36
<i>Tabla 5. 2 Análisis Proximal del almidón de yuca</i>	37
<i>Tabla 5. 3 Rendimientos materia prima-almidón</i>	37
<i>Tabla 5. 4 Análisis Proximal de almidón de Papa</i>	38
<i>Tabla 5. 5 Determinación del factor f</i>	38
<i>Tabla 5. 6 Análisis de Varianza</i>	41

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXOS A</b>	<b>1</b>
<i>Fig. 9. 1 Ficha Técnica de Jarabe de Glucosa Comercial</i>	1
<b>ANEXOS B</b>	<b>2</b>
<i>Tabla 9. 1 Código de factores experimentales</i>	2
<i>Tabla 9. 2 Replicas Experimentos</i>	3
<i>Tabla 9. 3 Orden Aleatorio de corrida de los experimentos</i>	4
<b>ANEXOS C</b>	<b>6</b>
<i>Fig. 9. 2 Análisis Proximal del Almidón de yuca</i>	6
<i>Fig. 9. 3 Análisis Proximal del Almidón de Papa</i>	6
<i>Tabla 9. 4 Obtención de %DE y azúcares No Reductores</i>	7
<i>Tabla 9. 5 Caracterización físico-química de los jarabes de glucosa</i>	8
<i>Fig. 9. 4 Porcentaje Dextrinas Equivalentes</i>	9
<i>Fig. 9. 5 Porcentaje de Azúcares Reductores</i>	9
<i>Fig. 9. 6 Obtención de Almidón.</i>	10
<i>Fig. 9. 7 Jarabe de Glucosa</i>	11

## Lista de Ecuaciones

Ecuación.1 Cálculo del Factor f .....	38
Ecuación.2 Cálculo % de Azúcares Reductores.....	38
Ecuación. 3 Cálculo de % Azúcares Totales.....	39
Ecuación. 4 Cálculo % DE .....	39

## I. INTRODUCCIÓN

“La elaboración de Jarabe de glucosa a partir de almidón no es algo nuevo. Desde el año 1833, se observó que el extracto de malta precipitado producía azúcar con el almidón de maíz” (Hebeda, Teague, 1992, citado en Chávez, 2002). Igualmente en el siglo XIX, Kirchhoff descubrió que “el almidón de maíz calentado con ácido producía un licor líquido conteniendo glucosa” (López, Munguía, 1993, citado en Chávez, 2002).

Los jarabes de glucosa son producto de la hidrólisis del almidón y todos estos son mezclas de polímeros de D-glucosa. Dichos tipos de hidrólisis pueden ser de dos tipos: hidrólisis ácida o hidrólisis enzimática. La primera en los últimos años ha desplazado a la segunda, debido a que se dispone de nuevas enzimas

En Nicaragua el jarabe de glucosa es muy utilizado en la industria alimentaria y farmacéutica como edulcorante y en la preparación de sueros; sin embargo, el consumo del mismo es suplido mediante importaciones; estas según datos proporcionados por el MIFIC para el año 2014 alcanzaron un total de 26,967.95 Kg proveniente de países como Canadá, China y USA, ya que este no se elabora en el país, a pesar de que existen empresas procesadoras de almidón (a partir de yuca), tales como ALMIDONICA, COMAGRO, YUCASA, ALCASA, NICARAHUAC y Avances Oportunity.

A fin de brindar conocimientos sobre el valor agregado que pueden añadir a sus cosechas los productores de yuca y papa se decidió desarrollar dicho tema de investigación considerando desde la obtención del almidón. Dichas operaciones unitarias son completamente reproducibles a escala artesanal.

Por otra parte, con el presente trabajo monográfico se pretende establecer las condiciones óptimas conversión almidón- jarabe de glucosa (en cuanto a tiempo y temperatura de hidrólisis), para su posterior puesta en marcha a mayor escala, mostrando a los productores de yuca y papa, cuales son las mejores variedades de materia prima a utilizar primeramente para la producción de almidón y posteriormente para su conversión a jarabe de glucosa.

Los procesos de hidrólisis parciales conducen a la obtención de diferentes productos, como se sucedió este caso, que se obtuvo jarabe maltodextrinizado, en la discusión de resultados se presentan una serie de condiciones que pudieron ocasionar dicho inconveniente, y se brinda una serie de recomendaciones para mejorar los procesos y obtener resultados distintos.

## II. OBJETIVOS

### 2.1.0 Objetivo General.

Realizar un estudio comparativo de la producción de almidón de yuca y papa para la obtención de jarabe de glucosa a escala de laboratorio por medio de hidrólisis ácida.

### 2.2.0 Objetivos Específicos.

- ✓ Obtener almidón de Yuca de las variedades perla y algodón.
- ✓ Obtener almidón de papa de las variedades blanca y amarilla.
- ✓ Cuantificar el jarabe de glucosa en base a rendimiento a través del método de Lane – Eynon.
- ✓ Caracterizar físico-químicamente los jarabes de glucosa.
- ✓ Comparar los resultados de conversión almidón-glucosa obtenidos en el presente trabajo con los resultados de jarabe de glucosa obtenido de forma tradicional (a partir de almidón de maíz) con el fin de conocer que tan dispersos estarían dichos resultados.

### **III. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. YUCA**

##### **3.1.1. Ficha Técnica**

Nombre común: yuca, mandioca.

Nombre científico: Manihot Esculenta.

Familia: Euphorbiaceae

Variedades<sup>1</sup>: Algodón, pata de paloma, valencia, Masaya, campeona, pochota, ceiba, leonesa, criolla, sucre, quintalera, perla, panameña, brasileña, blanca y reyna.

La yuca es un arbusto perenne que crece desde el nivel del mar hasta los 140 metros; puede ser cosechada durante todo el año, su ciclo de producción es aproximadamente 8-12 meses, no obstante según la variedad puede alcanzar un ciclo de 18- 24 meses, y hasta 3m de altura.(Ministerio de Fomento Industria y Comercio MIFIC, 2012).

Según James (A.W., 1981), la yuca puede ser cultivada en suelos marginales y es resistente a la sequía. Sus hojas tienen forma palmipartida con 5 a 7 lóbulos y sus flores de especie monoica por lo que produce flores masculinas y femeninas. El rendimiento de raíces por planta oscila 1-3 kg, logrando producir en condiciones óptimas 5-10kg de yuca por arbusto.

Estudios realizados por el IICA (2004), muestran que la yuca de variedades dulce son de uso comestible, mientras que la amarga es de uso industrial ya que carece de palatabilidad y tiene una mayor concentración de almidón. No obstante existen variedades de doble propósito.

Según las experiencias del CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) en manejo de variedades de yuca, las variedades con menos de 180 ppm de HCN (en base seca) se clasifican como variedades dulces, las que poseen entre 180-300 ppm se clasifican en el rango intermedio y las que tienen un contenido de HCN mayor de 300 ppm son consideradas como variedades amargas.

Actualmente, los programas de mejoramiento genético están dirigidos a la búsqueda de variedades específicas para la industria, ya que las variedades de doble propósito resultaban, en algunos casos inadecuadas para consumo en fresco o para la industria (Ceballos, 2002, citado en (FAO, 2007)).

Según el (IV CENAGRO, 2013) las zonas de mayor cultivo en el país son Nueva Guinea que siembra alrededor del 70% de la producción nacional, seguida de

---

<sup>1</sup>Fuente: Datos proporcionados por MAG y MIFIC

Masaya y León que cosechan el 30% restante; la misma representa el cuarto producto agrícola de mayor importancia mundial después del arroz, el trigo y el maíz.

En Nicaragua son cultivadas aproximadamente 17,000 hectáreas, obteniéndose una producción total de 10,300 toneladas, la cual está por debajo de los niveles de productividad y competitividad. (IV CENAGRO, 2013)

Para conocer los rendimientos de las variedades: Algodón, Pata de paloma y Valencia, Masaya y Campeona, el INTA (2003), realizó un estudio en la zona del Atlántico Sur de Nicaragua (Nueva Guinea), del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Las tres primeras variedades fueron las de mayor rendimiento, las que soportan el manejo hasta los mercados internacionales, y son aptas para consumo humano.

Las variedades Masaya y Campeona por su rendimiento y longitud de raíz son aptas para el mercado nacional. Las variedades Algodón, Campeona, Pata de Paloma y Arbolito son de poco tiempo de cocción, lo que favorece el trabajo de las amas de casa y la economía del hogar.

También se determinó que la variedad Valencia es la que mejor diámetro de raíz presenta para el mercado internacional.



Fig. 3. 1 Arbusto y raíces de yuca

Las altas concentraciones de nitrógeno al abonar provocan disminución en los niveles de almidón; no obstante, incrementa las sustancias proteicas en las raíces, lo que es conveniente para la elaboración de harinas integrales para alimentación animal. Por otra parte, es importante realizar un proceso de fosforilación adecuado, ya que con este se permite la sintetización del almidón; sin embargo el principal

elemento en el abono debe ser el potasio (sulfato potásico) ya que influye en el rendimiento de las raíces reservantes y el contenido de materia seca total.

### 3.1.2. Características Físico-Químicas

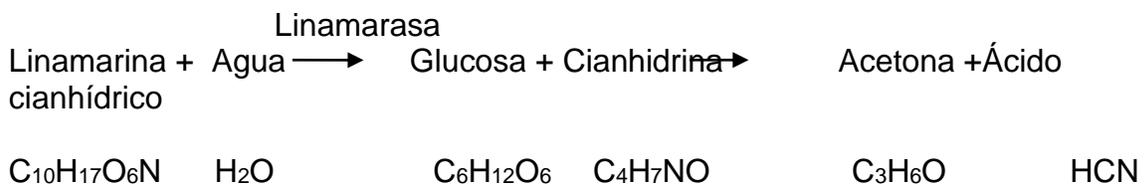
El principal contenido de la yuca es en carbohidratos, siendo pobre en vitaminas, minerales, grasas y proteínas, los datos sobre la composición nutricional de esta se muestran en la Tabla No. 5.1. Los compuestos secundarios presentes en la raíz son:

- ✓ Polifenoles: son los causantes del deterioro fisiológico.
- ✓ Taninos: se encuentra en la corteza, precipita de sus disoluciones el almidón, posee sabor astringente.
- ✓ Cianuros: principalmente (90%) en forma de glucósidos cianogénicos (linamarina) y el resto como cianuro libre; son compuestos cianogénéticos, los que “por transformación pueden liberar ácido cianhídrico, especialmente si se ingieren crudos”(Fornos, 1997).

El alto contenido de HCN en la yuca es generado por degradación enzimática de los glucósidos presentes en la misma, dicha sustancia (HCN) es un inhibidor de la respiración celular de los seres vivos. Se prefiere el uso de yuca dulce para fines alimentarios ya que la misma contiene hasta 50 veces menos proporción de cianuro. Para evitar intoxicación es necesario realizar tratamientos previos a la yuca, tales como: lavado, prensado o degradación enzimática del glucósido.(Fornos, 1997)

El cianuro está constituido por dos tipos de glucósidos cianogénicos: linamarina y lotaustralina. Aproximadamente el 85-90 por ciento del cianuro total de los tejidos en la yuca se encuentra como cianuro ligado o linamarina y solo el 10-15 por ciento como cianuro libre o lotaustralina (Gómez, 1982, citado en (FAO, 2007)).

Los glucósidos linamarina y lotaustralina al hidrolizarse por medio de la acción de la enzima linamarasa, dan origen a glucosa y cianhídrica, donde esta última se descompone en acetona y ácido cianhídrico libre gaseoso; este último es el que puede ocasionar toxicidad en el organismo cuando supera los niveles de seguridad.



No se conocen variedades de yuca que carezcan de cianógenos (Ceballos y De la Cruz, 2002, citado en (FAO, 2007))

Tabla 3. 1 Composición Nutricional de la Yuca

**Composición nutricional media**

(por 100 g de base seca)

Valor energético (kcal) 132,0

---

<b>Agua (%)</b>	65.2
<b>Porción no comestible (%)</b>	32,0
<b>Carbohidratos Totales (%)</b>	32,8
<b>Proteína (%)</b>	1,0
<b>Fibra (%)</b>	1,0
<b>Cenizas (%)</b>	0,6
<b>Grasa (%)</b>	0,4
<b>Calcio (mg)</b>	40,0
<b>Fósforo (mg)</b>	34,0
<b>Ácido ascórbico (mg)</b>	19,0
<b>Niacina (mg)</b>	0,60

---

Fuente: FAO

Para almidones y harinas de yuca usadas como alimento la Comisión Conjunta FAO-OMS de Normalización de Alimentos, estableció como criterio un límite máximo de 10 mg/kg de HCN. No es posible estimar la cantidad de glucósido cianógeno que puede ser ingerida sin riesgo para la salud ya que se carece de una determinación cuantitativa de la toxicidad y no se dispone de información epidemiológica se llegó a la conclusión de que si la cantidad de HCN es inferior a 10 mg/kg no se puede establecer relación con la toxicidad aguda (FAO y OMS, 1991).

## 3.2. PAPA

### 3.2.1. Ficha Técnica

Nombre común: papa, patata,

Nombre científico: *Solanum tuberosum*

Familia: Solanáceas

Variedades: Karú (roja), Ona (rosada intermedio), blanca, amarilla, santé, desireé, provento, arnuva, roko, granola, serrana, lila T, floresta, armanda, agria, bellini, jinotegana, lomar, tollocan, amorosa, fontane, india.

La papa es una planta herbácea, perenne que puede medir hasta 1m de altura, por lo general se cultiva en suelos con alto nivel freático, a una altura de hasta 3000 metros (msnm). Sus hojas son de forma lanceolada y se disponen en forma espiralada en los tallos; los que a su vez son de tres tipos: aéreos y subterráneos (rizomas y tubérculos); el fruto de la papa es una baya (similar al tomate) que se torna de diversos colores, ya sean verdes, amarillento, castaño o violeta. (Melian Subiabre, 2010)

Existe un sinnúmero de variedades, las cuales se distinguen por el color de la epidermis y pulpa, duración del ciclo de cultivo, resistencia a enfermedades, etc. Según el INTA(2008), dentro de las mas conocidas se mencionan las siguientes variedades: blanca (la mas popular mundialmente), amarilla (rica en materia seca), rosada (resistente a plagas), intacaru e intacaron (ambas de origen chileno), entre otras.

Datos Estadísticos del MAG confirman que en Nicaragua se cosecha en la región centro norte (Matagalpa y Jinotega), y en las segovias (Estelí, Madriz y Nueva Segovia), debido a que es un cultivo de temperaturas de entre 18-25°C, se ve afectada mayormente por bacterias y hongos.

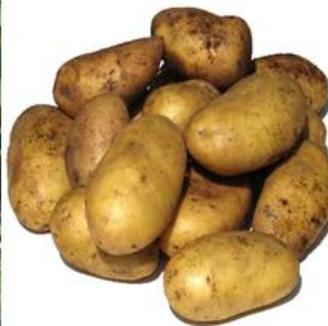


Fig. 3. 2 Arbusto y tubérculo de papa

### 3.2.2. Características Físico-Químicas

La papa es fácilmente digerida y tiene un alto valor nutricional. Los tubérculos de papa presentan aproximadamente un 78% de agua y un 18% de almidón. El resto está compuesto por cantidades variables de proteínas y minerales cerca de 0,1% de lípidos.

Además contiene varias vitaminas (incluyendo la vitamina C, riboflavina, tiamina y niacina), entre los distintos minerales que se hallan en la papa merecen citarse el calcio, potasio, fósforo y magnesio por su importancia en la nutrición humana. A continuación se presenta una tabla con el contenido del valor nutricional de la misma:

Tabla 3. 2 Valor Nutricional de la Papa

**Valor Nutricional por cada 100gr de papa (con cáscara)**

**Energía 80 kcal; 320 J**

<b>Agua</b>	75 g
<b>Carbohidratos</b>	19 g
<b>Almidón</b>	15 g
<b>Proteínas</b>	2 g
<b>Vitamina C</b>	20 mg (33%)
<b>Vitamina B6</b>	0.25 mg (19%)
<b>Hierro</b>	1.8 mg (14%)
<b>Potasio</b>	421 mg (9%)
<b>Fósforo</b>	57 mg (8%)
<b>Niacina (vit. B3)</b>	1.1 mg (7%)
<b>Magnesio</b>	23 mg (6%)
<b>Tiamina (vit. B1)</b>	0.08 mg (6%)
<b>Riboflavina(vit.B2)</b>	0.03 mg (2%)

Fuente: INTA 2008

En ella también se encuentran presentes compuestos tóxicos como la solanina, presente en las partes verdes, en menor cantidad posee inhibidores de proteasas digestivas de los animales. Los tratamientos recomendados a utilizar son: el pelado y el tratamiento térmico intenso, puesto que la descomposición de la solanina empieza a los 200°C. (Melián Subiabre, 2010)

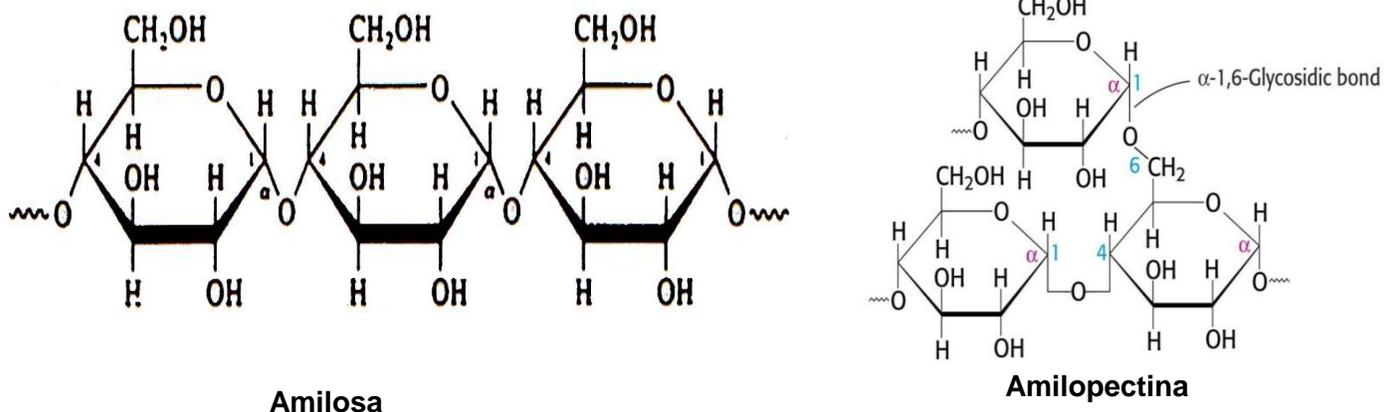
### 3.3. ALMIDÓN

#### 3.3.1. Definición

“El almidón es un polisacárido vegetal que proviene de diversas fuentes con estructuras cristalinas que se almacena en los cereales (trigo, maíz, cebada, etc.), leguminosas (porotos, habas), tubérculos (papa, yuca), y diferentes frutas y semillas (nueces, castañas, etc.)”(Vidal, 1984).

Se encuentra en el endospermo los mismos. Se presenta en forma de gránulo y está compuesto esencialmente (98-99%) por polímeros de D-glucosa. Almidones normales 23-27% amilosa y el resto amilopectina. Además este es un nutriente importante para el hombre, el cual “es hidrolizado en el cuerpo por enzimas”.(Redmore, 1981)

Fig. 3. 3 Cadenas de almidón

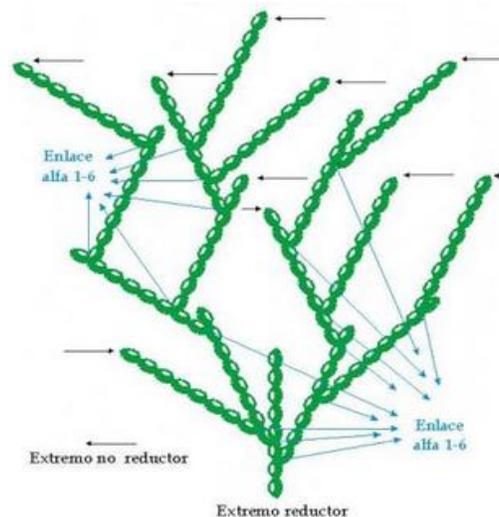


Producto de la condensación de D- glucopiranosas se encuentra la amilosa, la cual establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D-(1,4)-glucana cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto

lipofílico, mientras que los grupos **hidroxilo** están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. Los dos almidones de **maíz** comúnmente conocidos como ricos en amilosa que existen comercialmente poseen contenidos aparentes de masa alrededor del 52% y del 70-75% (Anónimo, 2000).

Durante un tratamiento hidrotérmico el almidón sufre una serie de modificaciones que van influir en su estructura, pasando por tres fases importantes: gelatinización, gelificación y retrogradación; las cuales causan hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los granos de almidón.

La amilopectina se diferencia de la **amilosa** en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6). Su **peso molecular** es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de **daltones**. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como **céreos**. La amilopectina de papa es la única que posee en su **molécula** grupos **éster fosfato**, unidos más frecuentemente en una posición O-6, mientras que el tercio restante lo hace en posición O-3 (Anónimo, 2000).



*Fig. 3. 4 Amilopectina (Ramificada)*

### 3.3.2. Características físico-químicas

El almidón consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4), en el cual algunos enlaces  $\alpha$  (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas

hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutzon, Grove, 1994, citado en Hernández, Torruco y Betancur, 2008).

Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces  $\alpha$  (1-4) y en un 4-6% con uniones  $\alpha$  (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan, Hanna, 2004, citado en Hernández, et al. 2008).

“Los almidones de las diferentes especies de vegetales tienen como característica fundamental que sus propiedades fisicoquímicas y funcionales estarán influenciadas por sus estructuras granular y molecular” (Wang, White, 1994, citado en Hernández, et al. 2008).

El contenido de proteínas del almidón de yuca y de papa es bajo, cerca del 0,1 por ciento, comparado con el de los almidones de arroz y de maíz (0,45% y 0,35%, respectivamente). La proteína residual afecta el sabor y olor de los almidones de cereales y tienden a formar espuma.

Los gránulos del almidón de papa y yuca contienen un pequeño porcentaje de lípidos, comparado con los almidones de cereales (maíz y arroz) los cuales contienen respectivamente 0,6 y 0,8 por ciento. Esta composición favorece al almidón de yuca, ya que estos lípidos forman un complejo con la amilosa, la cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos del almidón; por esta razón se necesitan temperaturas altas ( $> 125$  °C) para romper la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa. La mayor parte de estos lípidos son liso-fosfolípidos; es decir una cadena de ácido graso esterificada con ácido fosfórico. La presencia de sustancias grasas puede crear problemas por la tendencia a la rancidez durante el almacenamiento (Hurtado, 1997).

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen las fisicoquímicas: gelatinización y retrogradación; y las funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua y comportamiento reológico de sus pastas y geles (Wang, White, 1994, citado en Hernández, et al. 2008)

Tabla 3. 3 Propiedades de los Componentes del Almidón

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
<b>Estructura</b>	Lineal	Ramificada
<b>Longitud promedio de la cadena</b>	Aprox..2500	20 - 25
<b>Peso molecular</b>	40 000 hasta $10^6$	200 000 hasta $10^6$
<b>Grado de polimerización</b>	Aprox.. 100	10 000 - 100 000
<b>En solución</b>	Hélice extendida o enrollada	Esfera irregular
<b>Estabilidad en soluciones acuosas</b>	Retrograda	Estable
<b>Retrogradación</b>	Rápida	Muy lenta
<b>Acomplejamiento</b>	Con facilidad	Con dificultad
<b>Patrón de rayos X</b>	Cristalina	Amorfo
<b>Digestibilidad de la <math>\beta</math>-amilasa</b>	Casi completa	Cerca del 60 %

<b>Reacción con yodo</b>	19 – 20 %	5 – 9 %
<b>Color con la solución de yodo</b>	Azul profundo	Violeta
<b>Longitud de onda máxima</b>	Aprox.. 660	530 - 550

**Fuente:** Skeist (1977)

*Tabla 3. 4 Características de los Gránulos del Almidón*

<b>Almidón</b>	<b>Tipo</b>	<b>Morfología</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Temperatura de Gelatinización (°C)</b>	<b>Temperatura de Gelificación (°C)</b>	<b>Propiedades de cocción</b>
<b>Yuca</b>	Raíz	Ovalado Truncado	4– 35	62 – 73	63	Claro cohesivo tendencia a gelificar
<b>Maíz</b>	Cereal	Redondo Poligonal	5 – 30	62 – 72	80	Gel opaco
<b>Papa</b>	Tubérculo	Ovalado Esférico	5 – 100	59 – 68	64	Claro cohesivo tendencia a gelificar

**Fuente:** Taggart (2004).

*Tabla 3. 5 Composición Química del almidón*

<b>Componentes %</b>	<b>Yuca</b>	<b>Maíz</b>	<b>Papa</b>
<b>Humedad</b>	9.48	9.9	19
<b>Proteína Cruda</b>	0.06	0,10	0.06
<b>Grasa cruda</b>	0.20	0,35	0.05
<b>Fibra cruda</b>	1.01	0.62	NR
<b>Cenizas</b>	0.29	0.06	0.40
<b>Amilosa</b>	17.0	28.3	21.0
<b>Amilopectina</b>	83	71.7	79.0

Fuente: Betancur (2001)

### **3.3.3. Reactividad del almidón**

Las moléculas de almidón poseen dos importantes grupos funcionales: los grupos  $-OH$ , susceptibles a reacciones de sustitución; y las ligaciones C-O-C susceptibles al rompimiento de las cadenas. A través de reacciones con estos grupos pueden ser obtenidas modificaciones en el almidón con diversas propiedades funcionales. Ligaciones cruzadas y puentes del tipo  $-OH$  que modifican la estructura de la cadena, aumentando la viscosidad, reduciendo la retención de agua y aumentando la resistencia al esfuerzo mecánico (Martínez, 2010).

También existe la posibilidad de formación de puentes de hidrógeno por las interacciones intermoleculares que ocurren en la amilosa. De los grupos C-OH presentes en cada 2do, 3ro y 6to átomo de carbono del residuo de glucosa en la amilosa, los que están en la 2da y 6ta posición son más propensos a la formación de puentes de hidrógeno debido a que se localizan fuera de la hélice (Martínez, 2010)

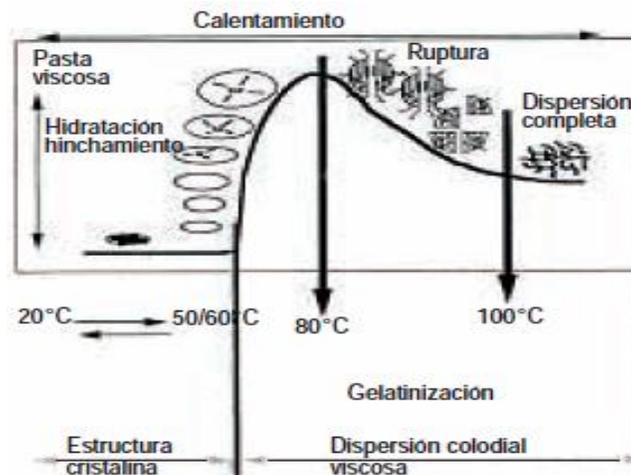
### **3.3.4. Gelatinización**

Los gránulos de almidón son prácticamente insolubles en agua fría, pero a medida que se incrementa la temperatura cuando estos se encuentran en una solución acuosa, se retiene agua y el gránulo empieza a hincharse aumentando de volumen. Cuando se alcanza una determinada temperatura, el gránulo alcanza su volumen máximo, si se administra más calor, el gránulo hinchado incapacitado para retener el líquido se rompe parcialmente, así la amilosa y la amilopectina se dispersan en el seno de la disolución. La gelatinización transforma los gránulos de

almidón insolubles en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual (Cruz, 2012).

A medida que aumenta el volumen de los gránulos, aumenta la viscosidad de la dispersión acuosa. Cuando los gránulos se rompen, la viscosidad se reduce hasta un valor estable en el que se produce un gel cuyas características físicas y químicas son diferentes en cada almidón. La temperatura de gelatinización es aquella en la cual se alcanza el máximo de viscosidad y se pierden la birrefringencia (índice de refracción de los gránulos) y el patrón de difracción de rayos X. Esta temperatura es realmente un intervalo, porque así los gránulos provengan de la misma fuente botánica, tienen diferente composición y organización, lo que origina que unos sean más resistentes que otros (Cruz, 2012)

*Fig. 3. 5 Representación Esquemática de los cambios de los Gránulos de Almidón durante el Procesamiento Hidrotérmico*



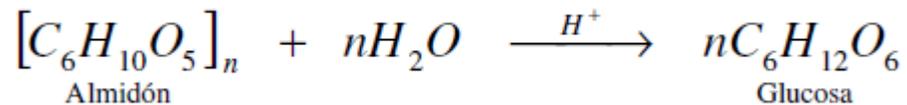
Fuente: López 1994

### 3.3.6. Hidrólisis del almidón

#### 3.3.6.1. Hidrólisis Ácida

“La elaboración de Jarabe de glucosa a partir de almidón no es algo nuevo. Desde el año 1833, se observó que el extracto de malta precipitado producía azúcar con el almidón de maíz” (Hebeda, Teague, 1992, citado en Chávez, 2002). Igualmente en el siglo XIX, Kirchhoff descubrió que “el almidón de maíz calentado con ácido producía un licor líquido conteniendo glucosa” (López, Munguía, 1993, citado en Chávez, 2002).

La hidrólisis ácida consiste en un tratamiento con ácidos realizado al almidón, el cual se encarga de romper en cadenas cortas de dextrina el almidón; a este se le conoce como grado de degradación y el mismo depende de la concentración del ácido, la temperatura y el tiempo de hidrólisis. A medida que actúa el ácido, el peso molecular y la viscosidad de los productos decrecen y el poder reductor aumenta; temperaturas menores a 160°C proveen una adecuada hidrólisis con poca descomposición de los azúcares; los ácidos más utilizados son el ácido clorhídrico y el sulfúrico (Monsalve et al., citado en López Zamora 2010).



El mecanismo de reacción de la hidrólisis ácida incluye:

- a) Difusión de los protones alrededor de la matriz del sustrato
- b) Protonación del oxígeno en los enlaces monoméricos de los azúcares
- c) Ruptura del enlace.

Los subproductos de la degradación son principalmente el hidroximetilfurfural, el ácido levulínico y el ácido fórmico, que da al jarabe un sabor amargo.

La hidrólisis usualmente se refiere a la acción de ácidos sobre los almidones, y pueden subdividirse en la acción de ácido sulfúrico que produce la llamada amilodextrina y ácido clorhídrico (usualmente usado a temperaturas ligeramente encima de la ambiente) que conduce generalmente a los almidones Lintnerizados (Monsalve et al., citado en López Zamora 2010).

En la actualidad no se utiliza ácido sulfúrico, porque en el producto terminado según Schenck et al. (1982) se forman sulfatos de calcio insolubles. El ácido sulfúrico fue rápidamente reemplazado por ácido clorhídrico, debido a que según Howling et al. (1992), el producto que se obtenía al final de la hidrólisis tenía buena apariencia, y podía ser utilizado en aplicaciones posteriores, por lo tanto el HCl presentaba menos complicaciones durante el procesamiento.

Dentro de los procesos previos a la hidrólisis se realiza la gelatinización del almidón, con el objetivo de evitar sedimentación del sustrato durante la hidrólisis.

Paralelamente, la gelatinización del almidón permite obtener una estructura más desordenada, que puede ser fácilmente atacada por el ácido. El proceso de hidrólisis es bastante reproducible, siempre y cuando se mantengan constantes los

parámetros de tiempo, temperatura y el ácido tenga un buen contacto con la solución de almidón. Mientras que la concentración de almidón afecta el grado de hidrólisis que se consigue por el tiempo que se llevará el ácido en romper los enlaces de las cadenas del almidón serán diferentes (Fonseca et al., 2006; citado en Anaya F. 2004).

### **3.3.6.2. Productos obtenidos de la hidrólisis del almidón**

Los almidones pueden transformarse en muchos productos mediante la hidrólisis con ácido o enzimas, esto dependiendo del grado de conversión ocurrido durante la hidrólisis. A dichos productos finales se asigna un valor describiendo el Equivalente de la Dextrosa (DE) que son los azúcares reductores expresados como dextrosa. Gilli G. (2008) clasifica los productos obtenidos como: maltodextrinas (< 20 DE), jarabes de glucosa (20 < DE < 91) y jarabe de alta fructosa (DE < 92).

**Malto dextrina:** consisten en segmentos de peso molecular alto y dextrinas lineales; puede presentarse en polvo o líquido y su sabor puede variar de neutro a ligeramente dulce. Es soluble en agua fría o caliente, tiene baja higroscopicidad y es una fuente de carbohidratos de fácil digestión. Puede usarse como sustituto de huevo o de grasa, mejora la textura, incrementa el volumen y es un vehículo en mezclas en polvo.

Son un excelente aditivo para suplementos alimenticios para deportistas y bebidas energéticas, debido a que se metabolizan con más facilidad que otros hidratos de carbono, son una buena fuente de energía que no causa aumentos bruscos en la glucemia y permiten mantener un nivel energético alto de forma constante.

**Jarabes de glucosa:** contienen entre 50 – 75% de sacáridos de bajo peso molecular, incluyendo d-glucosa, maltosa y maltotriosa, es un líquido viscoso derivado de la hidrólisis del almidón utilizado principalmente como edulcorante en la industria alimentaria y farmacéutica.

Este jarabe es inalterable ante la descomposición y el ataque de bacterias, además que resulta ser fácilmente digerible, además que permite una prolongación en la vida útil de los productos elaborados con el mismo.

**Jarabe de alta fructuosa:** son altamente fermentables o de alta conversión contiene un mayor poder edulcorante que los productos mencionados anteriormente, es citado por algunos nutricionistas como el causante de la obesidad, debido a que mantiene en niveles más elevados la hormona ghrelina (aprox. en una relación 1:2). El consumo excesivo de este aumenta el riesgo de desarrollar hipertensión.

### 3.4. JARABE DE GLUCOSA

#### 3.4.1. Definición

La glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) es un azúcar reductor y junto a la fructosa conforman los dos monosacáridos más conocidos, los que a su vez forman el disacárido llamado sacarosa (azúcar de mesa). (Vidal, 1984).

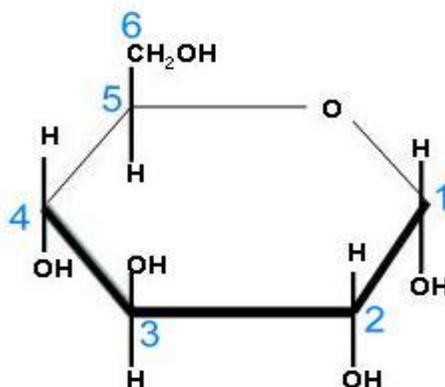


Fig. 3. 6 Molécula de glucosa  $\alpha$  - D - Glucosa

Según Redmore (1981), la glucosa se obtiene por hidrólisis del almidón ligeramente acidulado con ácido sulfúrico, calentándolo a temperaturas de  $160^{\circ}C$  a presiones entre 2-3 atm.

Es conocida también como dextrosa, es el azúcar más importante para nosotros debido a su importante función en nuestro organismo y el poder energético que nos produce.

Lo establecido en (CODEX STAN 212-1999, 1999) concibe el jarabe de glucosa como una solución acuosa concentrada y purificada de sacáridos nutritivos obtenidos del almidón y/o la inulina. Teniendo un contenido equivalente de dextrosa de no menos del 20% m/m (expresado como D-glucosa sobre peso seco), y un contenido total de sólidos de no menos del 70% m/m.

Los parámetros de calidad establecidos para elaboración de jarabe de glucosa se encuentran en la normativa ISO 1741. (CODEX STAN 1999).

La Glucosa es uno de los primeros carbohidratos de absorción rápida, la mayoría de los carbohidratos luego de la digestión quedan transformados en dextrosa, debido a que este carbohidrato es el principal reservorio energético del ser humano. Se encuentra en frutas, sobre todo en las frutas dulces como por ejemplo la uva, la miel, el jarabe de maíz y las verduras.

### 3.4.2. Características físico-químicas

La glucosa o jarabe de glucosa es un sólido que consta de una molécula de agua de cristalización, funde a 80°C y a los 200°C se transforma en caramelo (C<sub>12</sub>H<sub>18</sub>O<sub>9</sub>), posee sabor dulce y es soluble en agua, su densidad es 1.33. El HNO<sub>3</sub> actuando como oxidante, transforma la glucosa en ácido sacárido y en ácido oxálico; con las bases da glucosatos. Reduce el licor de Fehling y varias sales metálicas. (Vidal, 1984). En la fig. 10.1 de los Anexos A se muestra la ficha técnica de un jarabe de glucosa comercial.

Todos los monosacáridos naturales tienen actividad óptica, lo que es de suma importancia para determinar el contenido de azúcar de una solución cuando se realiza con azúcares de naturaleza conocida; debido a esto la glucosa presenta dos isómeros: α y β, los cuales se distinguen por su punto de fusión, solubilidad y actividad óptica.

Los jarabes de glucosa y dextrina son fabricados principalmente del almidón que se extrae del maíz. La literatura sobre los procedimientos a usar, en su mayoría se refiere al almidón de maíz y su hidrólisis. Generalmente se le conoce a los hidrolizados del maíz como siropes de maíz solamente y no como jarabes de dextrina – Glucosa. A continuación se presenta una caracterización del jarabe de glucosa.

*Tabla 3. 6 Caracterización del Jarabe de Glucosa.*

Descripción	Color	Equivalente de Dextrosa	PH	Conteo totales de mesófilos aerobios (UFC/g)
<b>Líquido dulce, viscoso</b>	Transparente a amarillo claro	40-42	4.2-7.2	< 1x10 <sup>4</sup>

Fuente: International StarchInstitute, 2001.

Tabla 3. 7 Comparación de algunos Jarabes con respecto al Jarabe de Glucosa.

	Malto- Dextrinas 20 ED	Maltosados 49 ED	Glucosad os 90 ED	Altos en Fructosas		
				42	55	90
<b>Solidos</b>	97	81	70	71	77	80
<b>Carbohidratos</b>						
<b>Glucosa</b>	2-3	9	90-95	52	41	7
<b>Fructosa</b>	7	52	4	----	----	----
<b>Maltosa</b>	----	----	----	42	55	90
<b>Dextrinas</b>	90	39	1-6	6	4	3
<b>PH</b>	----	----	----	3.3-4.3		4
<b>Dulzor Relativo a Sacarosa</b>	20-30	40	70-80	100	100-110	120-160

Fuente: Monterrey Institute of Technology.

### 3.4.3. Usos

La función básica de la glucosa líquida o jarabe de glucosa es la de endulzar. Sin embargo tiene otras aplicaciones y se utiliza en diferentes áreas, tales como:

**Panadería:** la glucosa líquida tiene una función higroscópica, es decir, tiene la capacidad de absorber o ceder humedad. Se utiliza en las masas batidas y fermentadas como conservador.

**Repostería:** el uso que tiene el jarabe de glucosa en este ramo de la industria alimentaria es como ingrediente de los adornos de azúcar o bombón en pasteles.

**Producción de chocolate:** se utiliza como edulcorante, aunque por su alto contenido de agua no es tan utilizado.

**Elaboración de helados:** con la glucosa líquida o jarabe de glucosa se evita que los helados se cristalicen y se potencia su consistencia cremosa. También se utiliza como estabilizante en el proceso de producción de los helados.

Otro uso que el jarabe de glucosa puede tener es como lubricante de moldes para flanes, añadiéndole un poco de agua, para garantizar un mejor deslizamiento de los ingredientes.

### **3.4.4. Ventajas que proporciona el uso del jarabe de glucosa en la industria Alimentaria**

Las ventajas que ofrece el uso de glucosa líquida o jarabe de glucosa en la industria alimentaria son:

- ✓ Es muy resistente a la descomposición
- ✓ Mejores capacidades como edulcorante
- ✓ Garantiza la ausencia de contaminantes que la azúcar en grano puede contener por acumular los sacos en el piso
- ✓ Resiste el ataque de bacterias
- ✓ No hay pérdida de producto como la azúcar contenida en sacos que puede derramarse al vaciar los sacos
- ✓ Requiere de poco tiempo para disolverse
- ✓ Al no tener una textura granulada no requiere de altas temperaturas para manipularla
- ✓ Es fácilmente digerible
- ✓ Potencia el sabor de los productos, por lo que su uso reduce el consumo de azúcares
- ✓ Da una consistencia más suave a los productos
- ✓ Reduce las áreas destinadas al almacenamiento del azúcar contenido en sacos.

### **3.4.5 Ventajas y Desventajas según el Proceso de Obtención**

Las cadenas de amilosa se hidrolizan a unidades de dextrinas y de glucosa. La proporción de estos determina la efectividad del método de hidrólisis (ácido o enzimático) y el tiempo de la reacción. Se puede realizar la hidrólisis por medios ácidos, pero la industria acostumbra a hacerlo por medio enzimáticos ya que por este medio se obtiene una alta productividad (López, Munguía, 1993).

Las enzimas son entonces el método más utilizado para convertir almidones en jarabes, son en su mayoría productos del metabolismo microbianos con un precio elevado por unidad. El alto costo de la enzima generalmente se ve justificado por su eficiencia en la reacción.

La hidrólisis ácida del almidón a glucosa es una técnica que tiene muchas desventajas:

- ✓ Formación de productos no deseables
- ✓ Flexibilidad muy pobre
- ✓ Necesidad de que el equipo donde se esté llevando esta etapa resista el ácido y las temperaturas requeridas durante este proceso

Con respecto a la hidrólisis enzimática en los últimos 30 años ha sustituido a la ácida debido a que se cuenta con nuevas enzimas y es una técnica que presenta ventajas como:

- ✓ Control de Formación de Producto no deseables
- ✓ Mayor flexibilidad del producto

### **3.5. Procesos de obtención**

#### **3.5.1. Almidón de yuca**

Como se ha dicho anteriormente, existen dos tipos de almidón: el de uso alimentario y el no alimentario, el primero recibe tratamientos físicos, químicos y biológicos para ser modificado de forma tal que no represente un riesgo para la salud del consumidor, el segundo es obtenido por procesos menos rigurosos, no obstante siempre guardando ciertas normas de calidad que garanticen su poder pegante.

La descripción que se hace a continuación corresponde a un almidón de yuca de alta calidad (HQCF), con fin alimentario:

**Recepción:** Se procede a recepcionar únicamente las variedades de mayor rendimiento yuca/almidón.

**Selección:** Las raíces de yuca se clasifican, desechando aquellas que presenten daños mecánicos o fisiológicos.

**Pre-limpieza:** Consiste en eliminar pedúnculos y tierra presente en las raíces de yuca.

**Lavado:** Se utiliza cepillos de cerdas plásticas y una constante caída de agua, para lograr eliminar lodos.

**Pesado:** Garantiza conocer los rendimientos del proceso de obtención. Puede ser realizado en básculas mecánicas como electrónicas.

**Pelado:** Este puede ser realizado de forma manual o mecánica.

**Reducción de tamaño (rallado):** Los chips de yuca se reducen de tamaño mediante un molino de sierras. La molienda se hace con agua a presión para facilitar la extracción del almidón.

**Dilución:** Consecutivamente, la torta de almidón es alimentada a un tanque de dilución para mezclarla con agua a una razón de 0.5 litros por kilogramo de torta.

**Sedimentación:** La lechada se sedimenta a fin de garantizar que todo el almidón se haya precipitado en el fondo del recipiente, dicho proceso puede durar desde 3

horas en canales, hasta 6-8 horas en taques de sedimentación. A escala de laboratorio se dejó sedimentando 30 min.

**Tamizado:** La lechada se lleva a un tamiz con el fin de separar la fibra contenida en ella del almidón nativo.

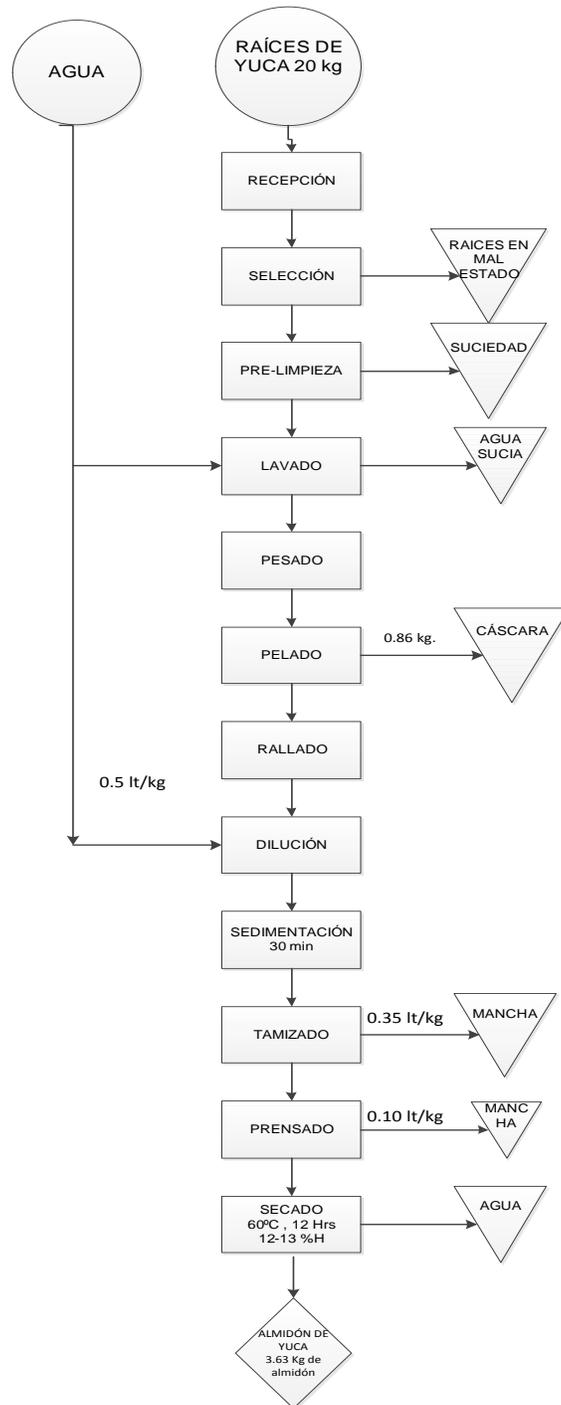
**Prensado:** Posteriormente, la lechada de amilácea es prensada de forma manual. Esto genera una torta de almidón con una humedad entre 50 y 55 %. Mientras el líquido que abandona la prensa contiene almidones solubles y materias extrañas, conocida como mancha.

**Secado:** El almidón es secado en horno secador. El almidón se conduce y seca por una corriente de aire caliente con una temperatura de 60°C. El almidón seco tiene una humedad entre 12-13 % .

**Empacado y Almacenado:** Se empaca y almacena el producto en lugares secos, dispuesto de tal manera que se evite cualquier riesgo de contaminación del producto.

En la figura 3.7 se muestra de forma sintetizada los procesos realizados:

Fig. 3. 7 Proceso de obtención de almidón de yuca



### 3.5.2. Almidón de papa

El almidón se puede obtener utilizando diferentes metodologías de acuerdo a las materias primas de las que se extraiga y según del tipo de compuestos que lo estén acompañando (Swinkels (1985), citado por Melian Subiabre (2010)).

En el caso de la papa los gránulos de almidón se encuentran libres en el interior de las células, de tal modo que su aislamiento es un proceso sencillo; en otros casos como ocurre en los cereales, el almidón se encuentra en el endospermo contenido en una matriz proteica y por ello su extracción es algo más difícil (Belitz y Grosch(1997), citado por Melian Subiabre (2010)).

El proceso de obtención del almidón de papa<sup>2</sup>es similar al de la yuca, las variantes se muestran a continuación:

**Recepción:** Se procede a recepcionar únicamente las variedades de mayor rendimiento papa/almidón.

**Selección:** Las raíces de yuca se clasifican, desechando aquellas que presenten daños mecánicos o fisiológicos.

**Lavado:** Se utiliza tanques o recipientes, dependiendo de la cantidad de materia prima a tratar. Es importante garantizar un correcto lavado, a fin de evitar adhesión de impurezas en cualquiera de las etapas siguientes.

**Pesado:** Garantiza conocer los rendimientos del proceso de obtención. Puede ser realizado en básculas mecánicas como electrónicas.

**Pelado:** Este puede ser realizado de forma manual o mecánica. El pelado mecánico consiste en un equipo provisto de cuchillas rotatorias cortantes que operan de forma hidráulica.

**Molienda:** La eficiencia de esta operación depende en gran medida del rendimiento total del almidón. Los gránulos de almidón no son separados de las fibras totalmente cuando la molienda es ineficiente, en caso contrario (molienda excesivamente fina) los gránulos sufren daño físico y el proceso de sedimentación es más tardado.

**Dilución:** Consecutivamente, la torta de almidón es alimentada a un tanque de dilución para mezclarla con agua a una razón de 0.5 litros por kilogramo de torta. A esta se añade metabisulfito, a fin de evitar oscurecimiento enzimático de la torta.

---

<sup>2</sup> Ver Fig. 3.10 Proceso de obtención de almidón de papa

**Sedimentación:** La lechada se sedimenta a fin de garantizar que todo el almidón se haya precipitado en el fondo del recipiente, dicho proceso puede durar desde 3 hrs en canales, hasta 6-8 hrs en taques de sedimentación. En el proceso a escala de laboratorio se dejó sedimentar durante 30 min.

**Decantado:** Una vez se haya precipitado el almidón se decanta el líquido sobrenadante.

**Secado:** El almidón es secado en horno secador. El almidón se conduce y seca por una corriente de aire caliente con una temperatura de 148°C. El almidón seco tiene una humedad entre 12-13 % .

**Empacado y Almacenado:** Se empaca y almacena el producto en lugares secos, dispuesto de tal manera que se evite cualquier riesgo de contaminación del producto. El producto final con humedad entre 10% - 12% se guarda en bolsas de polietileno por ser un producto higroscópico. (Comisión Nacional de normalización Técnica y calidad, 2008).

### 3.5.3. Jarabe de glucosa

Para la obtención del jarabe de glucosa por medio de hidrólisis ácida es necesario llevar a cabo las siguientes operaciones:

**Dilución:** Se efectúa una mezcla de almidón en agua, a un 33% relación peso/volumen.

**Gelatinización:** Esta permite desordenar la estructura del almidón, calentando la mezcla a temperatura de 45°C, en esta etapa se le adiciona el ácido clorhídrico (1M) hasta que la mezcla alcance un pH de 2.

**Hidrólisis ácida:** Se lleva a cabo en la autoclave, a temperaturas de 125 ó 140 ° C y tiempos de 20 ó 40 min según lo definido para cada experimento.

**Neutralización:** El jarabe obtenido se neutraliza utilizando hidróxido de sodio (1M), hasta alcanzar pH 7.

**Secado:** El jarabe obtenido es secado en un horno a temperatura de 60°C durante 12 horas.

Fig. 3. 8 Proceso de obtención de almidón de papa

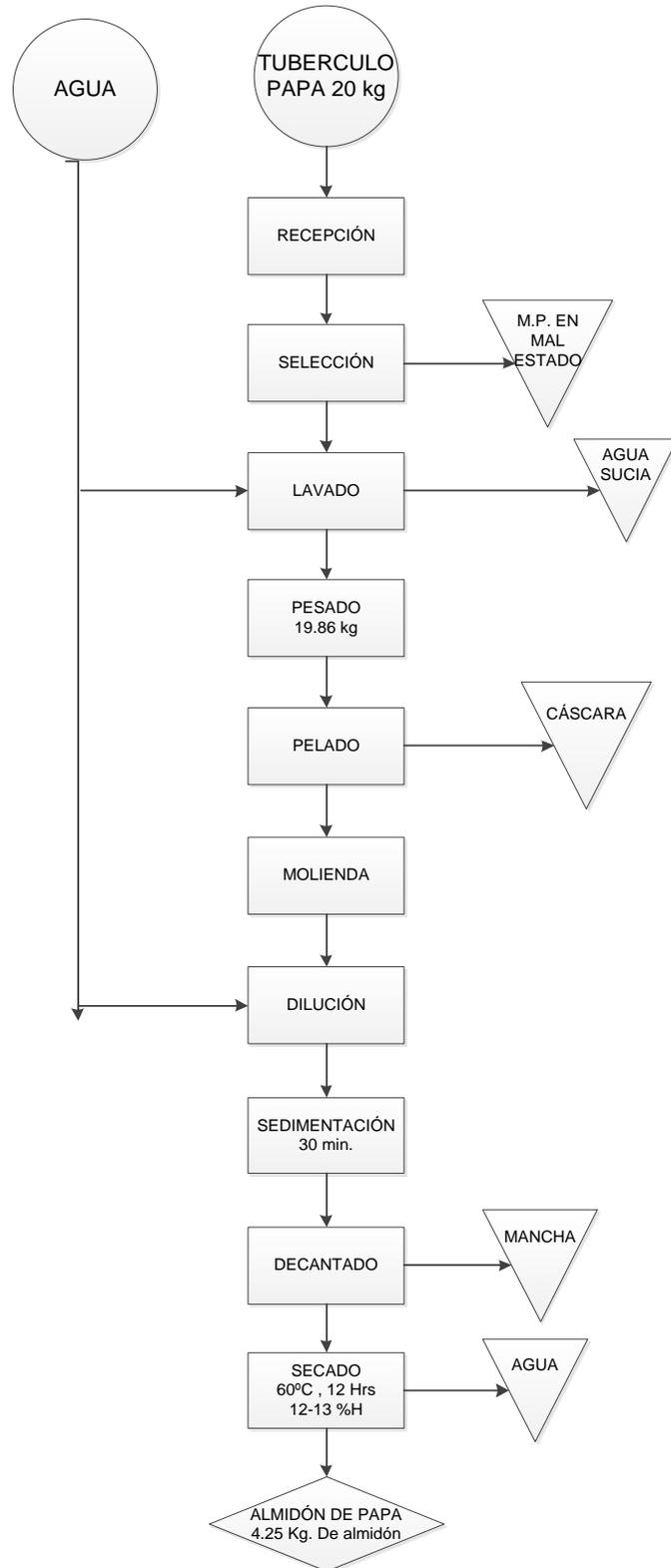
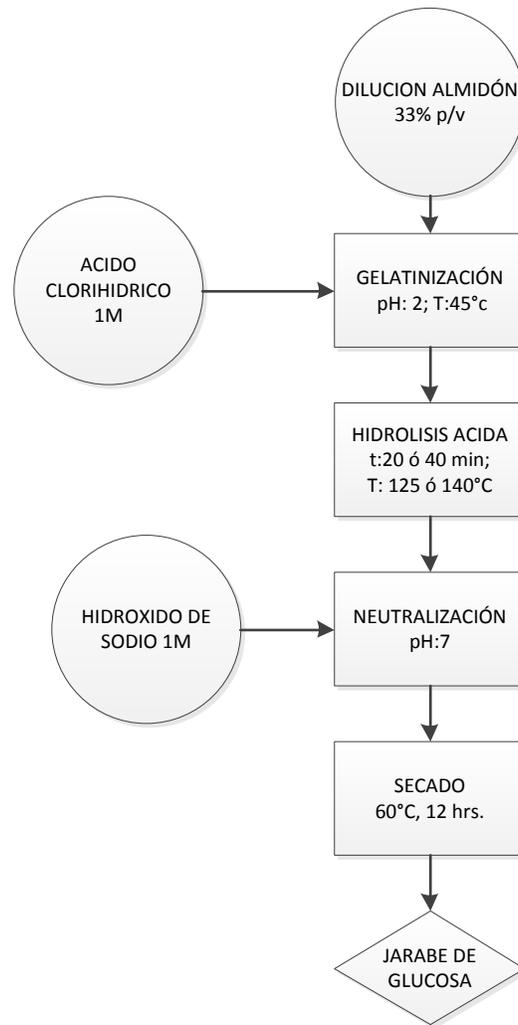


Fig. 3. 9 Proceso de Obtención de jarabe de glucosa



## IV. METODOLOGÍA

El Trabajo experimental del presente estudio se llevó a cabo en la ciudad de Managua, Nicaragua en el laboratorio de Química y de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ), de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI); utilizando variedades de papa y yuca que se comercializan en los mercados capitalinos.

### 4.1. Materiales

#### 4.1.1. Materia Prima

Para la presente investigación se trabajó aproximadamente 20 kg de yuca de las variedades algodón, e igual cantidad para yuca perla; se seleccionaron dichas especies puestos que según productores de yuca de la asociación Nicarahuac estas variedades se encuentran dentro de las seis variedades producidas en el territorio nacional con mayor rendimiento, y de gran comercialización en los mercados. Dicho material fue adquirido del mercado Carlos Roberto Huembés de Managua y supermercado PALI y MaxiPalí (Ver Figura 4.1)

*Fig. 4. 1 Variedades de yuca*



(a) Yuca algodón

(b) Yuca perla

**Fuente: Propia**

La especie (a) de color de piel blanca, posee una fibra de mayor firmeza, al contrario de la yuca (b) de color de piel rosa y textura más blanda, lo que requiere un menor esfuerzo en la etapa de pelado.

En el caso de la papa, las variedades fueron seleccionadas tomando en cuenta la disponibilidad de estas en el mercado, ya que según Leiva C. et all (2014) se obtienen mayores rendimientos con variedades como Santé y Granola, sin embargo estas no se comercializan en los mercados populares.

Fig. 4. 2 Variedades de papa



(a) Papa Blanca

(b) Papa Amarilla

**Fuente: Propia**

#### 4.1.2 Reactivos, Materiales y Equipos de laboratorios

La tabla 4.1 muestra los reactivos utilizados para la obtención de almidón y jarabe de glucosa, así como para la determinación de azúcares reductores por el método de Lane - Eynon.

Tabla 4. 1 Descripción de los reactivos

Item	Descripción	Cantidad*muestra
1	Metabisulfito	5g
2	Ácido Clorhídrico	100 ml
3	Sulfato de Cobre pentahidratado	3.463 g
4	Tartrato de sodio y potasio	17.3 g
5	Hidróxido de Sodio	5.0 g
6	Sacarosa	0.95 g
7	Ácido Clorhídrico [ 0.1N]	250 ml
8	Azul de metileno	2 %

**Fuente: Propia**

Los diferentes materiales de laboratorios para llevar a cabo el presente estudio incluyen: pipetas, beakers, y probetas de diferente graduación, buretas, soporte universal, gotero, tubos de ensayos entre otros. (Ver Tabla 4.2)

*Tabla 4. 2 Materiales y Equipos de Laboratorio utilizados para la obtención de almidón y jarabe de glucosa*

<b>Materiales</b>					
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
1	Panas de plástico.	4	8	Cuchillos	2
2	Coladores de plástico.	2	9	Pipetas de 25 ml	2
3	Guantes	4	10	Goteros	3
4	Probeta de 100ml	2	11	Papel de Aluminio	1
5	Tamiz	3	12	Beakers de 500 ml	3
6	Bureta de 25 ml	1	13	Rayador	2
7	Tubo de ensayo	5	14	Soporte Universal	1

<b>Equipos Utilizados</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Observación</b>
1	Balanza de precisión	OHAUS	FD series	Pesaje de Materiales
2	pH – metro	TermoOrion	410 A+	Análisis de acides
3	Refractómetro	Thermolyne	----	Análisis de Grados Brix
4	Licuada	Waring	70115	Reducción de tamaño
5	Horno	Binder	Hotline	Secado
6	Plancha Térmica	CINAMAC	Barsted	Aumento de Viscosidad
7	Auto clave	AllAmerican	25 x-1	Reactor

**Fuente: Propia**

## **4.2. Métodos**

### **4.2.1. Obtención del jarabe de glucosa**

Para la obtención de jarabe de glucosa existen dos métodos diferenciados, para el desarrollo de esta investigación se utiliza el método de vía ácida, ya que a pesar de las desventajas que presenta el mismo, el uso de enzimas en el país es escaso, muy costosos y no se comercializa en pequeñas cantidades.

Primeramente se llevó a cabo la dilución del almidón en agua, en proporción 30% peso/volumen; esto debido a que según Montes E. et al (2008) con esta concentración se obtienen mejores resultados al momento de la acidificación.

Posteriormente se realizó la gelatinización de la solución, lo cual permitió el desorden de la estructura del almidón, facilitando la acción del ácido. En esta etapa se le adicionó el  $\text{HCL}_{(ac)}$  (1M) hasta obtener un pH de  $2 \pm 0.5$ . No se considera la concentración del ácido como una variable de control puesto que a una menor concentración se obtiene una mayor cantidad de volumen, lo que ocasionaría cambios en la concentración del soluto.

Luego, se trasladó la solución acidificada al autoclave según los tratamientos definidos en el diseño experimental, consecutivamente el hidrolizado se neutralizó con NaOH (1M) a pH  $7 \pm 0.5$ , el jarabe obtenido fue secado durante 12 horas a  $60^\circ\text{C}$ .

### **4.2.2. Análisis Proximal a las variedades de almidón.**

Para determinar la calidad de los distintos almidones obtenidos a partir de las dos fuentes de materia prima se realizaron análisis proximales, los cuales fueron efectuados en el Laboratorio de Química General de la FIQ. A continuación se muestra los análisis realizados, así como sus respectivos métodos.

Tabla 4. 3 Análisis realizados al almidón

<b>Análisis</b>	<b>Métodos</b>	<b>No. muestras</b>
Proteínas (%)	AOAC Método oficial 928.08	4
Ceniza (%)	AOAC Método oficial 920.03, 1990	4
Humedad (%)	AOAC Método oficial indirecto 925.10, 1990	4
Fibra	A.O.A.C., 926.09, 1990	4
Grasa	A.O.A.C., 15th edición, 1990	4
Carbohidratos (%)	Cantidad necesaria para completar el 100%	4

#### **4.2.3. Método Lane Eynon.**

Para la determinación de azúcares reductores por el método cuantitativo de Lane – Eynon se procedió de la siguiente manera:

##### **Para la solución A (Solución de sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ )):**

Se disolvió 3.46 g en agua, hasta completar un volumen de 50 ml y posteriormente fue filtrado

##### **Para la solución B (Solución alcalina de tartrato de sodio y potasio):**

Se disolvió por separado 17.3 g de tartrato doble de sodio y potasio (Sal de Rochelle,  $\text{K NaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) y 5.0 g de hidróxido de sodio (NaOH) en agua, luego se procedió a mezclar y diluir hasta completar un volumen de 50 ml, una vez hecho esto se deja reposar y seguidamente se filtró través de papel filtro.

##### **Para la solución patrón de sacarosa invertida al 1%:**

La muestra de 0.95 g de sacarosa fue pesada en una balanza analítica, posteriormente se adicionó 0.5 ml de HCl concentrado y se diluye con 10 ml de agua, se dejó reposar por 30 min a temperatura ambiente, seguidamente se aforó con agua destilada a 100 ml, para luego neutralizar una alícuota con NaOH 1N, seguidamente se diluye a una concentración conocida, inmediatamente antes de usarse.

##### **Solución acuosa de azul de metileno al 0.2%. HCl concentrado**

Hidróxido de sodio, en escamas, 1:1 p/v y solución 1N

### Para la Titulación de la solución patrón de sacarosa invertida

Se tomaron 10 ml. de la solución de sacarosa invertida previamente neutralizada y se aforó a 100 ml, luego se colocara en una bureta, seguidamente se deja caer la solución de sacarosa invertida a un matraz que contenía 5 ml de la solución **A**, 5 ml de la solución **B** y 50 ml de agua en ebullición, posteriormente antes de la total reducción del cobre se adicionó 1 ml de la solución de azul de metileno al 0.2% y se termina la titulación hasta la decoloración del indicador.

### Para la Muestra

Se colocaron 10 g de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 500 ml y se adicionaron 150 ml de agua y 25 ml de HCl concentrado, posteriormente se pone a calentar durante 60 min para luego enfriar y neutralizar, una vez hecho esto se colocó el hidrolizado en un matraz aforado de 250 ml para luego aforar con agua y filtrar, para colocar en una bureta y finalmente realizar la titulación con este hidrolizado.

### 4.3. Procedimiento Experimental

Para la extracción de almidón de yuca como de papa se realizó una única corrida, esto debido a que previo a la realización de los experimentos se indagó sobre los métodos que presentaban mejores rendimientos.

Se utilizaron estas dos fuentes de materia prima, por ser estos rubros de gran cosecha en el país, y debido a la necesidad de brindar una alternativa de valor agregado a los productores artesanales de los mismos.

A fin de determinar la cantidad de experimentos a realizar para conocer el grado de conversión a jarabe de glucosa, se consideró un nivel de confianza de 95%, por lo tanto se realizan 3 réplicas para obtener una varianza mínima de los datos obtenidos, a como se observa a continuación.

Tabla 4. 4 Tamaño mínimo aceptable de la muestra (n) para un 95% de confianza.

<b>Tabla 2. Tamaño mínimo aceptable de la muestra (n) para un 95% de confianza.</b>									
<b>Coefficiente de Variación V (%)</b>	<b>Error Relativo permisible de la muestra <math>e_{rp}</math> (%)</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	4	1							
<b>2</b>	16	4	<b>2</b>	<b>1</b>					
<b>3</b>	35	9	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	1			
<b>4</b>	62	16	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	2	2		
<b>5</b>	96	24	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	3	2	2	1
<b>6</b>		35	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	4	3	2	2
<b>7</b>		47	<b>21</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	6	4	3	2
<b>8</b>		62	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	7	5	4	3
<b>9</b>		78	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	9	7	5	4
<b>10</b>		96	<b>43</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	11	8	6	4

Durante el proceso de hidrólisis las variables que ejercen mayor influencia sobre la conversión de almidón a glucosa son: tiempo, temperatura, concentración del soluto (la cual se dejó constante) y tipo de catalizador; sin embargo, está comprobado que el ácido clorhídrico funciona mucho mejor como catalizador en comparación con el ácido sulfúrico, puesto que este último tiende a formar sales, las cuales inhiben el proceso, provocando interferencias durante la hidrólisis. (Vega, 2004).

Se considera las variedades de yuca y papa como variable durante el diseño de experimento ya que son las mayores fuentes de almidón en el país después del maíz, además por encontrarse en auge la apertura de nuevas plantas procesadoras de almidón.

Por lo tanto las variables de operación o factores<sup>3</sup> seleccionados fueron: variedad del almidón (yuca y papa), tiempo del tratamiento térmico y Temperatura para la cual se obtiene un diseño 4x2x2 con tres repeticiones para cada tipo de materia prima. El orden de corrida de los experimentos fue realizado de acuerdo al establecido por medio del programa estadístico minitab V17 y se muestra en los Anexos B.

#### **4.4. Variable Respuesta**

La variable respuesta a considerar para conocer el grado de conversión de almidón a jarabe de glucosa fue el porcentaje de dextrinas equivalentes (DE), dicho valor fue obtenido por medio del método de Lane-Eynon.

Para conocer que tan dispersos están los resultados obtenidos se realizó un ANOVA por medio del programa estadístico Minitab versión 17.

---

<sup>3</sup> Ver ANEXOS B

## V. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Obtención de almidón de yuca

Para el proceso de obtención de almidón de yuca se utilizaron dos variedades nativas: tipo perla y de tipo algodón. Estas son comercializadas en los mercados capitalinos, y se distinguen principalmente por la pigmentación de su piel, para el caso de la variedad perla la cáscara de esta presenta tono violáceo, mientras que la otra es de color hueso.

El rendimiento en la extracción de almidón fue calculado para ambas variedades, este fue calculado como el cociente del peso de almidón obtenido entre el contenido de materia seca. Cabe destacar que a pesar que los valores tradicionales de rendimientos rondan desde 17% hasta 20% en base a transformación materia prima-almidón, se toma la consideración de no se obtendrán valores tan altos debido a que el tiempo transcurrido desde la cosecha hasta iniciado el proceso productivo pudo ocasionar que el almidón contenido en la yuca se desdoblara en azúcares debido a las condiciones de almacenamiento, lo que disminuye los rendimientos obtenidos, los cuales sin embargo se encuentran dentro de los rangos reportados por la FAO. Los datos de estos experimentos se presentan en la tabla 5.1.

*Tabla 5. 1 Rendimientos Materia Prima – Almidón*

<b>Rendimientos</b>					
<b>Materia prima</b>	<b>Peso bruto (kg)</b>	<b>Perdidas en cascaras (kg)</b>	<b>Peso Real (kg)</b>	<b>Almidón Obtenido (kg)</b>	<b>Rendimiento %Bs</b>
<b>Yuca Perla</b>	20	0.86	19.14	3.63	18.15
<b>Yuca Algodón</b>	20	1.6	18.4	3.50	17.5

**Fuente: Propia**

De las variedades utilizadas la que tiene mayor contenido de materia seca convertible en almidón es la yuca tipo perla, esta variedad se produce localmente, por lo tanto es de gran importancia el comportamiento de este factor durante el análisis del diseño experimental.

Según el análisis proximal el almidón de yuca presentó una humedad por encima del parámetro reportado para almidones por el Nton- (13 - 002 – 07). Elaboración de almidones. La humedad entre 30.17% y 32.84%, pudo haber afectado directamente el rendimiento del proceso planteado en este trabajo, ya que representa un riesgo en el almacenamiento del almidón, puesto que se genera una

actividad de agua (Aw) propicia para el ataque de microorganismos, que no sólo afecta la calidad de este, sino también la calidad del producto final por la acumulación de pirógenos.

Los contenidos de proteína, cenizas y fibra, también, se encuentran por debajo de los parámetros establecidos por la CIAT (Centro de Internacional de Agricultura trópica), señalando una falta de refinamiento del producto o fallas en el proceso de extracción. En la tabla 5.2 se muestran dichos resultados.

*Tabla 5. 2 Análisis Proximal del almidón de yuca*

Parámetros	Tipos de Yuca	
	Perla	Algodón
%H	32.84	30.17
%Proteína	1.63	2.35
%Grasa	0.11	0.09
%Cenizas	1.75	1.55
%Fibra	2.74	2.89
%Carbohidratos	60.93	62.95

## 5.2. Obtención de almidón de papa

Para el proceso de obtención de almidón de papa se utilizaron dos variedades: blanca y amarilla, estas al igual que en el caso de la yuca son comercializadas en mercados capitalinos, se distinguen principalmente por la coloración de su piel, en el caso de la papa amarilla es de piel fina, y coloración clara, de forma contraria a la papa blanca, que su piel oscura y un poco más gruesa, y pulpa blanca.

El rendimiento obtenido para estas variedades oscila entre 20.87 y 21.39, estos son menores a los reportados en la bibliografía (42.02% - 44.2%, Melián,2010). Esto se debe principalmente a que las variedades seleccionadas no son de carácter industrial, por lo que no contienen alto porcentaje de materia seca.

*Tabla 5. 3 Rendimientos materia prima-almidón*

Materia prima	Peso bruto (kg)	Perdidas en cascaras (kg)	Peso Real (kg)	Almidón Obtenido (kg)	Rendimiento %Bs
Papa Blanca	19.86	2.38	17.48	4.25	21.39
Papa Amarilla	19.5	2.39	17.11	4.07	20.87

**Fuente: Propia**

Los contenidos de proteína, cenizas y fibra, se encuentran dentro de los parámetros señalados en la literatura de referencia. En la tabla 5.4 se muestran dichos resultados.

*Tabla 5. 4 Análisis Proximal de almidón de Papa*

Parámetros	Tipos de Papa	
	Blanca	Amarilla
%H	19.28	16.85
%Proteína	1.32	1.28
%Grasa	0.12	0.1
%Cenizas	0.67	0.95
%Fibra	2.43	2.37
%Carbohidratos	76.18	78.45

**Fuente: Propia**

### 5.3. Cuantificación del jarabe de glucosa

El método de Lane- Eynon se basa en determinar los azúcares totales y reductores de la solución problema mediante el poder reductor de la misma, al reducir iones cúpricos a cuprosos. Inicialmente, se calcula un factor f, el cual será constante para los cálculos posteriores. Los resultados de este se muestran en la tabla 5.5:

#### **Ecuación.1 Cálculo del Factor f**

$$f = \frac{\text{ml de solución gastadas} * \% \text{ solución de glucosa} * 10 \text{ ml de solución de Fehling}}{1000}$$

*Tabla 5. 5 Determinación del factor f*

Calculo del Factor f			
N° de Experimentos	Volumen de Solución Gastados (ml)	Título de Licor de Fehling (f)	Concentración de Azúcar en la Muestra
1	10.5	0.0525	0.5
2	10.3	0.0515	0.5
3	10.5	0.0525	0.5
Factor f promedio: 0.0521			

#### **Ecuación.2 Cálculo % de Azúcares Reductores**

$$\%A.R = \left( \frac{f}{\text{Volumen de Solucion gastados}} \right) * 100$$

### Ecuación. 3 Cálculo de % Azúcares Totales

$$\% A.T = \left( \frac{f}{\text{Volumen de Solucion Gastados}} \right) * 100$$

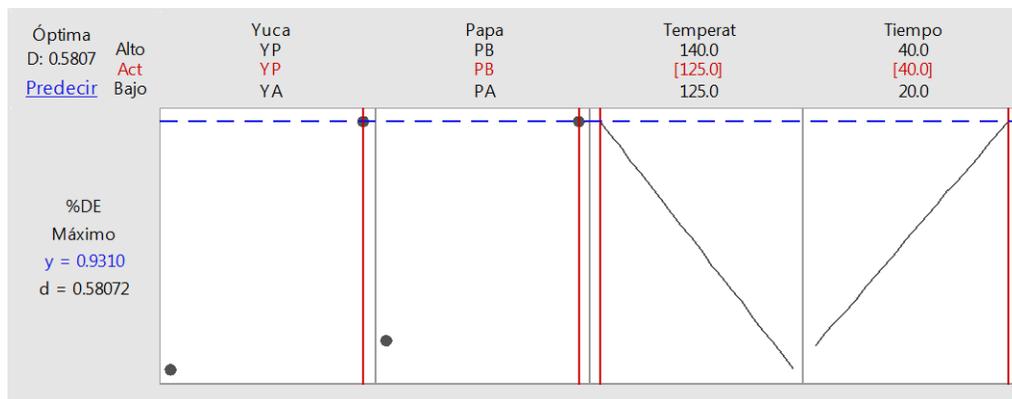
### Ecuación. 4 Cálculo % DE

$$\% DE = \frac{(\% \text{ de Azucares Reductores})}{\% \text{ Sustancia seca}} * 100$$

En la transformación del almidón se obtienen subproductos no deseados, tal es el caso de los polisacáridos que no reducen los iones de cobre, esto debido al enlace glucosídicos presente en la glucosa, el cual le resta reactividad a la molécula; estos son conocidos como azúcares no reductores. La cuantificación de los mismos se llevó acabo efectuando la diferencia entre los azucares totales y los azúcares reductores.

El porcentaje de dextrina equivalente (DE) es la medida del grado de conversión sufrido por el almidón al transformarse en glucosa. Los valores obtenidos variaron desde 0.172 a 1.479, los mejores resultados se obtuvieron con la combinación de yuca perla a 125°C y 40min, seguidos de la yuca amarilla con el mismo tratamiento (125°C, 40 min). Para verificar dichos datos se realizó una gráfica de optimización de factores. (Ver Fig. 5.1.)

Fig. 5. 1 Gráfica de optimización de factores



En la gráfica anterior se muestra para que tratamientos serán obtenidos los mejores resultados, permitiendo concluir que una temperatura de 125°C y 40 min de

hidrólisis proporcionan el mejor grado de conversión almidón-glucosa, esto expresado como DE.

Los valores en %DE para los jarabe de obtenidos, según el método de Lane-Eynon son bajos, en comparación a fuentes bibliográficas. Estos datos reflejan que el grado de desdoblamiento del almidón a glucosa no fue completo, a pesar que los datos de sólidos solubles totales fueron altos (desde 50 hasta 86°Brix), este alto valor de sólidos solubles se debe a que se encuentran combinados tanto glucosa como fructuosa, debido a esto al realizar el %DE estos valores son bajos. Se presume que en la solución se encuentra mayor porcentaje de fructuosa. Los resultados del %DE obtenidos en las diferentes pruebas se presentan en los Anexos C.

#### **5.4. Caracterización físico-química de los jarabes de glucosa**

El jarabe de glucosa tradicional es un producto cristalino y viscoso resultado de la hidrólisis de almidón, no obstante, los resultados obtenidos utilizando yuca y papa como materia prima la coloración adquirida fue inicialmente cristalina, sin embargo al momento de neutralizar el producto, este se vio oscurecido por la acción del NaOH. La apariencia del jarabe obtenido fue similar a la del jarabe de glucosa, de aspecto viscoso, sabor un tanto dulce y olor neutral.

Fue necesario llevar el pH de la solución a un nivel en donde no afectara las características organolépticas del mismo, por lo que se estandarizó el pH final de la solución en valores de  $7 \pm 0.5$

La cuantificación de sólidos solubles medidos en °Brix, reflejan la presencia de altos niveles de azúcares en el jarabe obtenido, ya que los resultados muestran datos desde los 50 hasta los 86°Brix, no obstante a como se logró corroborar no incide en el grado de conversión del hidrolizado de almidón.

Según las características físico-químicas del jarabe de glucosa comercial el %DE debe sobrepasar el 15%, sin embargo el valor máximo obtenido fue de 1.479 por lo cual el producto obtenido entra en clasificación de jarabe maltodextrinizado (Serna, 2012); este tipo de jarabe no cristaliza y no presenta dulzura, por lo cual son utilizados como agentes espesantes y estabilizadores.

Los posibles motivos por los cuales la hidrólisis del almidón fue parcial se debe principalmente a los siguientes factores: tiempo de elaboración del almidón desde su cosecha, ya que sabemos que los azúcares presentes en la materia prima son fermentables, y la cantidad de materia seca disponible se degrada; porcentaje de humedad por encima de los parámetros en el caso del almidón de yuca, esto afectó

los experimentos finales, ya que parte del almidón disponible se pudo haber desdoblado mientras se encontraba almacenado.

### 5.5. Comparación de resultados obtenidos con valores tradicionales y dispersión de los datos.

Con el objetivo de proporcionar un soporte estadístico y analizar la dispersión de los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con los factores inicialmente considerados en el diseño de experimentos. Para esto se plantearon las hipótesis donde se definió lo siguiente:

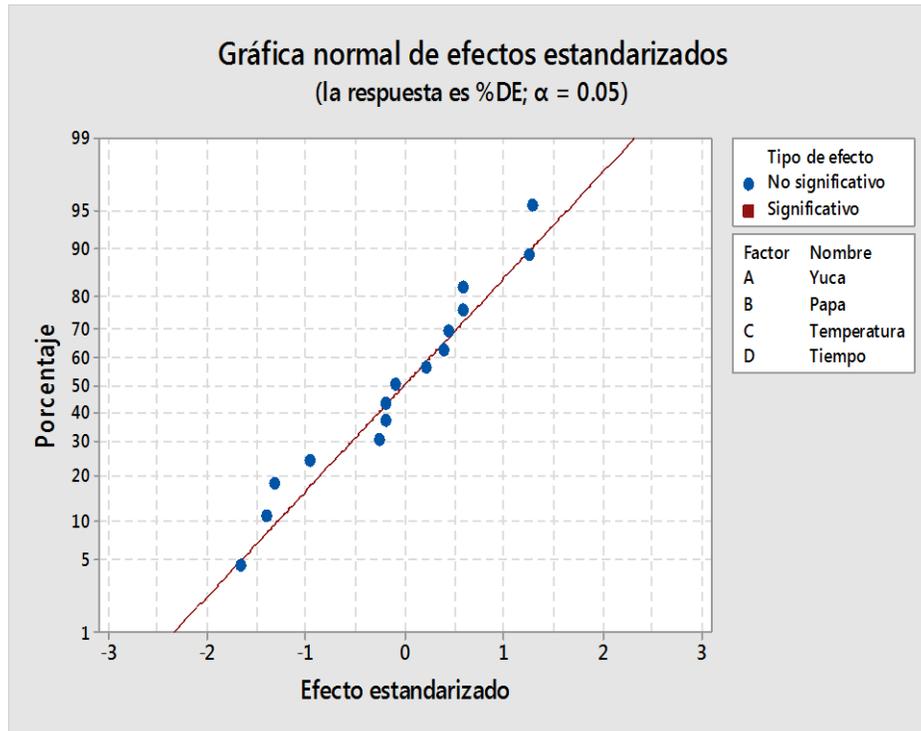
Ho: “No existe diferencia significativa entre las medias poblacionales de los porcentajes de dextrinas equivalentes obtenidos entre los 4 tratamientos”

Ha: “Existe diferencia significativa entre las medias poblacionales de los porcentajes de dextrinas equivalentes obtenidos en los cuatro tratamientos.”

Tabla 5. 6 Análisis de Varianza

<b>Análisis de varianza</b>						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<b>Entre Grupos</b>	1.3715	11	0.1247	2.0360	0.0566	2.0933
<b>Dentro de los Grupos</b>	0.3111	3	0.1037	1.6932	0.1875	2.8916
<b>Error</b>	2.0208	33	0.0612			
<b>Total</b>	3.7034	47				

Fig. 5. 2 Gráfica de Efectos Estandarizados del %DE



En la Fig. 5.2 se observa que no existe ningún efecto significativo por los diferentes factores, además de esto se puede apreciar una distribución normal de los datos.

A partir de esto podemos decir que el tipo de factor no influye directamente en los resultados, ya que estadísticamente no hay valores significativos. Según los resultados estadísticos obtenidos, se puede concluir con un nivel de confianza del 95% que no existe diferencia estadística significativa, entre tratamientos o dentro de los tratamientos ya que el factor  $F < F_c$  (factor f crítico)(Ver Tabla 5.6.), por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Como se mencionó anteriormente el producto obtenido no fue un jarabe de glucosa, sino que fue un producto intermedio de la hidrolisis parcial del almidón conocido como jarabe dextrinizado ó maltodextrinizado, esto comparado con los valores tradicionales en %DE obtenido para el jarabe de glucosa que sobrepasa el 20%.

Por otra parte, se puede observar que los sólidos solubles reportados en la ficha técnica de jarabe de glucosa comercial son similares a los obtenidos en los experimentos.

## VI. CONCLUSIONES

- La cuantificación del %DE en el jarabe permitió clasificar al mismo como un jarabe maltodextrinizado, y no como jarabe glucosado que se esperaba obtener, debido a una hidrólisis imparcial del almidón, donde los factores que posiblemente afectaron los resultados fueron: El uso de NaOH como un agente neutralizador, El porcentaje de humedad por encima de lo establecido por la NTON ocasionado posiblemente por las condiciones de almacenamiento a la que fueron sometidas las diferentes fuente de almidón.
- Se obtuvo almidón de yuca a partir de dos distintas variedades, los rendimientos presentados por estas son similares a los reportados en la literatura. El porcentaje de humedad en ambos almidones permite la degradación de estos y pudo afectar los valores finales.
- Los ensayos utilizando papa dieron resultados inferiores en cuanto a rendimiento materia prima/almidón, esto se debe principalmente al contenido de materia seca presente en las variedades de materia prima seleccionada., ya que las variedades utilizadas no son de uso industrial.
- Al caracterizar fisicoquímicamente el producto final se pudo observar que tiene las características de un jarabe, en cuanto a ph, coloración, sólidos solubles. Sin embargo el mismo se clasificó como jarabe maltodextrinizado ya que no cumple con los valores mínimos en %DE para el jarabe de glucosa.
  - Los resultados fueron analizados mediante un ANOVA, para determinar si existe diferencia estadística significativa entre tratamientos o dentro de los tratamientos, donde los resultados obtenidos arrojaron que no existe diferencia estadística significativa entre tratamientos o dentro de los tratamientos.
- Se realizó un análisis de efectos estandarizados encontrando que no existe algún factor significativo. Además cabe mencionar que los resultados obtenidos presentan una distribución normal.

## VII. RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar una curva de calibración de la pureza del almidón a utilizar, ya que debido al período de almacenamiento y las características físico-químicas que presente el mismo, parte del almidón se puede desdoblar antes de ser utilizado lo que disminuye la disponibilidad de este al momento de realizar la hidrólisis.
- Realizar un diseño experimental donde se incluya únicamente el jarabe de glucosa, y no las variedades de almidón, ya que de estas ya se conoce cuál es la que presenta mejores rendimientos.
- Proporcionar las condiciones adecuadas, para el almacenamiento de la fuente de jarabe de Glucosa (almidón).
- Sustituir el NaOH por  $\text{CaCO}_3$  para neutralizar la solución de almidón 33% p/v esto para evitar que se formen subproducto no deseados como ácido furfural.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Anaya, F. (2004). *Obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de yuca mediante hidrólisis ácida asistida por microondas..* Recuperado el 18 de octubre del 2014 de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/517/2/112505.pdf>

A.W., J. (1981). *Fuentes Nicaraguenses de almidón para sustitución de trigo en la fabricación de pan. Managua: Dpto. Inv. Banco Central de Nicaragua.*

Cadena Agroindustrial Yuca. (2004). *IICA, MAGFOR, JICA, Nicaragua.*

Censo Nacional Agropecuario. (2013). *CENAGRO Vol. 4*

Chávez, D. (2002). *Elaboración de jarabe de Glucosa partiendo del almidón de camote.* Recuperado el 15 de Junio del 2014 de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r106297.PDF>

CODEX STAN 212-1999. (1999). *Norma del Codex para los azúcares.*

Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad. (2008). *Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense para la elaboración de almidón.* Managua.

Cruz, K. (2012). *Modelado del proceso de Hidrólisis enzimática de almidones gelatinizados del fruto de la planta del banano recuperado el 31 de julio del 2014 de* <http://www.bdigital.unal.edu.co/7435/1/73007073.2012.pdf>

FAO Guía Técnica para la producción y análisis de almidón de yuca. Recuperado el 28 de Enero de 2016 de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s03.pdf>

Fornos, E. (1997). *Toxicología Alimentaria: peligrosidad de alimentos y bebidas.* Managua: MINSA.

Hernández, M. (2008). *Caracterización de fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México.* Recuperado el 2 de julio del 2014 de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612008000300031](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612008000300031)

*Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2004). Cadena Agroindustrial Yuca. Informe técnico, IICA, MAGFOR, JICA, Nicaragua.*

- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2003). *Guía Tecnológica de la yuca*.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2008). *Fomento de la competitividad y producción de raíces y tubérculos para contribuir a la seguridad nutricional y alimentaria de las familias pobres rurales*. Managua.
- López, L. *Estudio de la influencia de la agitación y concentración de almidón de yuca en la hidrólisis ácida*. Recuperado el 2 de Octubre del 2014 de <http://revistatukuru.com/v01n01dic2010/articulo03.pdf>
- Martínez, F. (2010). *Obtención y caracterización de almidón resistente tipo IV en sistemas modelo de almidón de papa mediante introducción de ligaciones cruzadas por extrusión y su evaluación en la preparación de yogurt*. Recuperado el 3 de julio del 2014 de <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2010/ee-10-2010/documentos/conferencias/04.pdf>
- Melian , D. (2010). *Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chiloé y dos variedades comerciales*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Ministerio de Fomento Industria y Comercio (MIFIC). (2012). *Guía para exportar yuca en CAFTA-DR*. Managua.
- Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2007). *Guía Técnica para producción y análisis de yuca*. Roma.
- Paz, D. (Diciembre de 2002). Recuperado el 29 de Junio de 2014, de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r106297.PDF>
- Quitiguiña, C. (2012). *Obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática de almidón de banano, musa cavendish*. Quito.
- Redmore, F. H. (1981). *Fundamentos de Química*. Illinois, USA: Prentice Hall.
- Serna, S. *Bioconversión de almidones en Jarabes dextrinizados, Maltosados, Glucosados y Fructosados*. Recuperado el 1 de Agosto del 2014 de <http://www.innova-uy.info/docs/presentaciones/20111012/SergioSerna.pdf>
- Sikorski, C. (Junio de 2002). Recuperado el 29 de Junio de 2014
- Vidal, J. (1984). *Curso de Química Orgánica con Nociones de Química Biológica* (17a ed.). Buenos Aires: Stella.

## IX. ANEXOS

### ANEXOS A

Fig. 9. 1 Ficha Técnica de Jarabe de Glucosa Comercial



# Jarabe de Glucosa Nat-Bio Mix 5570



Soluciones Biotecnológicas  
que brindan bienestar y salud  
N.º 1. 900.142.547-0

# Bocadillo

**Descripción**  
El jarabe Nat-Bio de glucosa es empleado comercialmente en la elaboración de un gran número de alimentos con riendo y mejorando propiedades fisicoquímicas a los mismos. Se produce a partir de la hidrólisis enzimática controlada del almidón de yuca, sustituyendo los métodos tradicionales vía ácida y ácida enzimática garantizando un producto de origen natural, alta pureza y calidad; compuesto por carbohidratos entre los que se encuentran alfa-glucosa, maltosa, oligosacáridos y polisacáridos, así como saborizantes, colorantes y otros endulzantes de origen natural a solicitud del cliente.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
FISICOQUÍMICAS		RANGO			MICROBIOLÓGICAS	
PROPIEDAD	Min.	Máx.	PROPIEDAD	Min.	Máx.	
Sólidos brix (a 20°C)	68	72	Aerobios Mesófilos (UFC/ml)	0	5000	
Grados Baumé (°Be)	38	40	Coliformes Fecales (NMP)	0	3	
Equivalente de dextrosa (ED)	40	50	Mohos y Levaduras (UFC/ml)	0	500	
pH	4.0	6.0	Salmonella/25g.	0	0	
Dióxido de Azufre (ppm)	0	40				

PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS		
Color Ambar	Olor Característico	Sabor Ligeramente dulce

**Presentación**  
Envases de polietileno de alta densidad, aprobados por la FDA, en diversas presentaciones:  
Garrafas de 5 y 30 Kg, Tambores de 60 y 290 Kg

**Ventajas de su uso en el bocadillo de guayaba:**  
Realza el sabor de la guayaba, retarda la cristalización prolongando el tiempo de vida útil del bocadillo, presenta mejor textura, mejor consistencia y mejor resistencia al corte.

**Recomendaciones de almacenamiento y vida útil**  
Almacenar en un lugar seco y mantener recomendablemente en un rango de temperatura de 21°C a 38°C. Mantener el producto en el envase original y asegurarse de no dejar expuesto su contenido al medio ambiente por periodos prolongados de tiempo. Como es un producto natural que no contiene estabilizantes ni inhibidores de cristalización, si esta última llegare a presentarse, simplemente calentar a temperatura media para retornar a la forma líquida (lo cual no altera sus propiedades). Vida útil bajo condiciones adecuadas de almacenamiento: 5 meses.

Fecha de revisión y aprobación: 15 de Marzo de 2010

## ANEXOS B

Tabla 9. 1 Código de factores experimentales

<b>Código para Factores</b>	
<b>Factores</b>	<b>Código</b>
<b>Almidón de Yuca</b>	
Yuca Perla	<b>Yb</b>
Yuca Algodón	<b>Ya</b>
<b>Almidón de papa</b>	
papa Blanca	<b>Pb</b>
papa Amarilla	<b>Pa</b>
<b>Temperaturas</b>	
125 °C	<b>T1</b>
140 °C	<b>T2</b>
<b>Tiempo</b>	
20 min	<b>t1</b>
40 min	<b>t2</b>

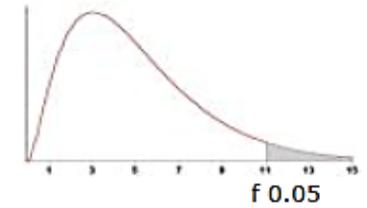
*Tabla 9. 2 Replicas Experimentos*

<b>Experimentos</b>	<b>Combinaciones</b>
Experimento 1 (E1)	<b>YbT1t1</b> (125°C, 20min)
Experimento 2 (E2)	<b>YbT1t2</b> (125°C, 40min)
Experimento 3 (E3)	<b>YbT2t1</b> (140°C, 20min)
Experimento 4 (E4)	<b>YbT2t2</b> (140°C, 40min)
Experimento 5 (E5)	<b>YaT1t1</b> (125°C, 20min)
Experimento 6 (E6)	<b>YaT1t2</b> (125°C, 40min)
Experimento 7 (E7)	<b>YaT2t1</b> (140°C, 20min)
Experimento 8 (E8)	<b>YaT2t2</b> (140°C, 40min)
Experimento 9 (E9)	<b>PbT1t1</b> (125°C, 20min)
Experimento10(E10)	<b>PbT1t2</b> (125°C, 40min)
Experimento11(E11)	<b>PbT2t1</b> (140°C, 20min)
Experimento12(E12)	<b>PbT2t2</b> (140°C, 40min)
Experimento13(E13)	<b>PaT1t1</b> (125°C, 20min)
Experimento14(E14)	<b>PaT1t2</b> (125°C, 40min)
Experimento15(E15)	<b>PaT2t1</b> (140°C, 20min)
Experimento16(E16)	<b>PaT2t2</b> (140°C, 40min)

*Tabla 9. 3 Orden Aleatorio de corrida de los experimentos*

<b>Orden Corrida</b>	<b>Orden Aleatorio</b>	<b>Orden Corrida</b>	<b>Orden Aleatorio</b>
1	15	25	41
2	44	26	28
3	26	27	34
4	2	28	25
5	38	29	40
6	43	30	20
7	48	31	23
8	30	32	33
9	19	33	14
10	29	34	17
11	22	35	39
12	37	36	21
13	1	37	46
14	6	38	18
15	8	39	4
16	5	40	16
17	7	41	3
18	10	42	32
19	11	43	24
20	27	44	42
21	12	45	31
22	35	46	36
23	13	47	9
24	45	48	47

**Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)**



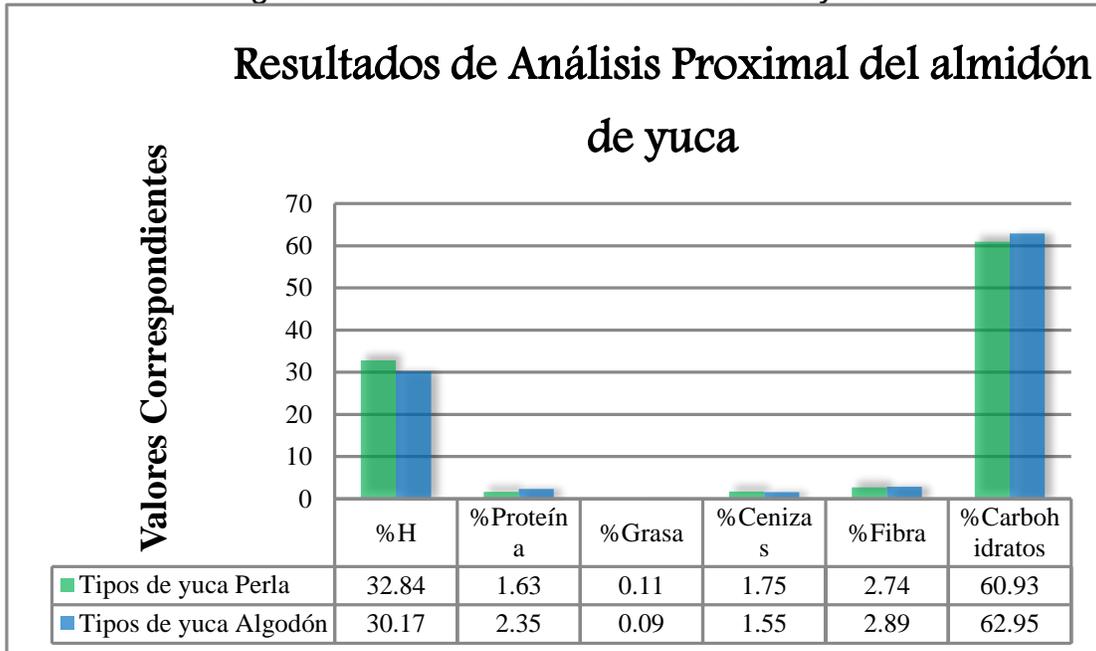
área a la derecha del valor crítico = 0,05

g.d.l.	Grados de libertad del Numerador														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,189	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972

Grados de libertad del Denominador

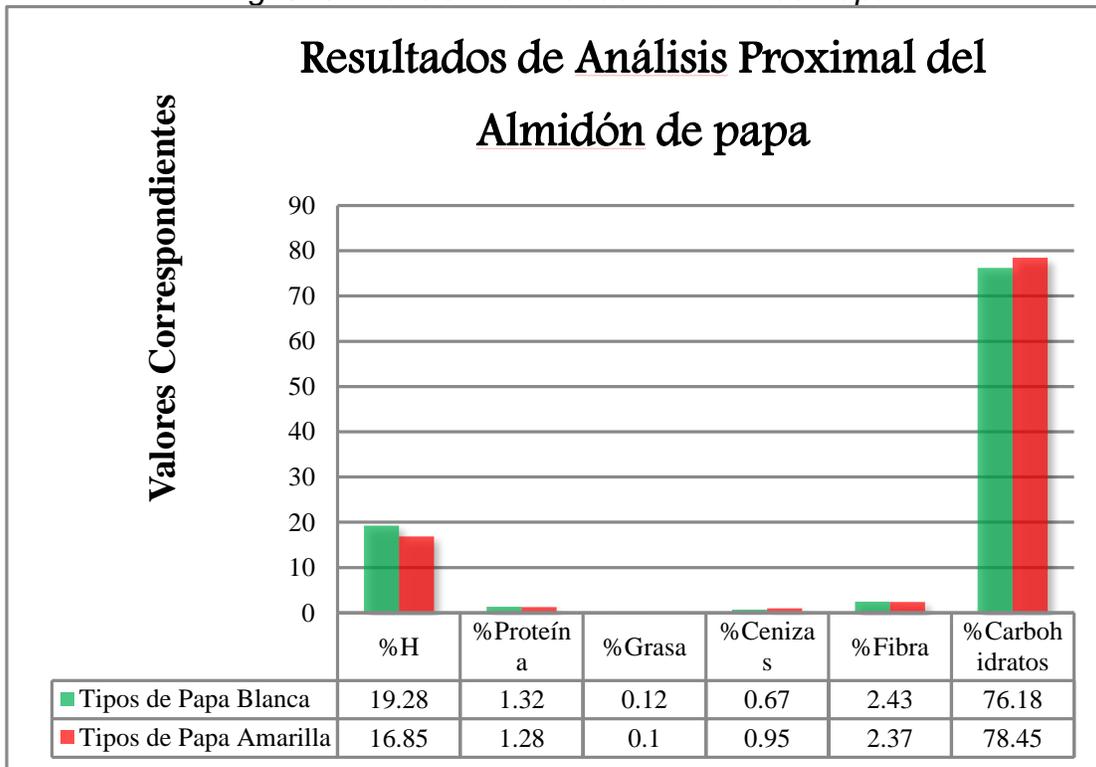
ANEXOS C

Fig. 9. 2 Análisis Proximal del Almidón de yuca



Fuente: Elaboración propia

Fig. 9. 3 Análisis Proximal del Almidón de Papa



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. 4 Obtención de %DE y azúcares No Reductores

N° de Experimento	CORRIDA 1				CORRIDA 2				CORRIDA 3			
	% AR	% ANR	% AT	% DE	% AR	% ANR	% AT	% DE	%AR	% ANR	% AT	% DE
1	0.260	0.083	0.343	0.655	0.260	0.069	0.329	0.667	0.257	0.070	0.327	0.655
2	0.500	0.079	0.579	1.326	0.309	0.087	0.396	1.146	0.400	0.086	0.486	1.479
3	0.064	0.073	0.137	0.237	0.078	0.060	0.138	0.274	0.068	0.059	0.127	0.248
4	0.130	0.068	0.228	0.338	0.140	0.073	0.183	0.379	0.135	0.069	0.204	0.363
5	0.190	0.066	0.256	0.582	0.201	0.070	0.271	0.613	0.203	0.071	0.274	0.614
6	0.316	0.058	0.374	0.853	0.309	0.068	0.377	0.830	0.317	0.069	0.386	0.834
7	0.195	0.067	0.262	0.655	0.202	0.069	0.271	0.677	0.200	0.065	0.265	0.666
8	0.090	0.053	0.143	0.261	0.098	0.066	0.164	0.285	0.097	0.070	0.167	0.285
9	0.068	0.069	0.137	0.172	0.083	0.062	0.145	0.213	0.071	0.061	0.132	0.182
10	0.130	0.073	0.203	0.369	0.300	0.065	0.365	0.854	0.200	0.066	0.266	0.571
11	0.213	0.077	0.290	0.695	0.198	0.065	0.263	0.646	0.210	0.068	0.278	0.687
12	0.082	0.060	0.142	0.242	0.086	0.076	0.162	0.259	0.090	0.077	0.167	0.273
13	0.190	0.055	0.245	0.488	0.172	0.060	0.232	0.442	0.172	0.068	0.240	0.444
14	0.164	0.053	0.217	0.496	0.156	0.060	0.216	0.481	0.154	0.064	0.218	0.481
15	0.267	0.063	0.330	0.731	0.258	0.063	0.321	0.707	0.258	0.069	0.327	0.707
16	0.197	0.082	0.279	0.498	0.209	0.073	0.282	0.532	0.200	0.073	0.273	0.506

**%AR: Azúcares Reductores**

**%DE: Dextrinas Equivalentes**

**%ANR: Azucares no Reductores**

**%AT: Azúcares Totales**

Tabla 9. 5 Caracterización físico-química de los jarabes de glucosa

No. Exp	CORRIDA 1				CORRIDA 2				CORRIDA 3						
	Origen	pH f	SST (°Brix)	% de Sustancia Seca	Origen	pH f	SST (°Brix)	% de Sustancia Seca	Origen	pH f	SST (°Brix)	% de Sustancia Seca			
1	Yuca	Perla	7.72	59	39.32	Yuca	Perla	7.77	58	38.97	Yuca	Perla	6.9	60	39.24
2			7.46	61	30.61			7.48	61	30.23			7.23	57	29.98
3			9.42	70	27.64			9.38	68	28.42			6.89	65	27.41
4			7.01	76	37.5			7.01	70	36.97			6.92	77	37.2
5		Algodón	7.25	38	32.84		Algodón	7.2	73	32.8		Algodón	7.16	82	33.05
6			6.96	83	37.41			6.99	80	37.23			7	81	38.01
7			7.21	86	29.86			7.1	85	29.85			6.93	83	30
8			7.05	84	34.21			7.05	80	34.35			7	82	33.98
9	Papa	Blanca	9	53	39.01	Papa	Blanca	6.97	50	39.05	Papa	Blanca	6.94	57	38.96
10			7.3	57.2	35.14			7.16	55	35.14			7	58	35.03
11			7.05	57	30.62			7.04	52	30.66			7.15	54	30.54
12			7.21	53	33.3			7.19	50	33.15			7.17	55	32.99
13		Amarilla	7.35	57	38.89		Amarilla	7.02	54	38.9		Amarilla	6.88	58	38.7
14			7.01	63	32.51			6.96	65	32.4			6.96	60	32
15			6.98	63	36.49			6.98	63	36.51			7.03	61	36.5
16			7.26	64	39.44			7.07	60	39.3			7.19	67	39.56

**SST: Sólidos solubles totales**

Fig. 9. 4 Porcentaje Dextrinas Equivalentes

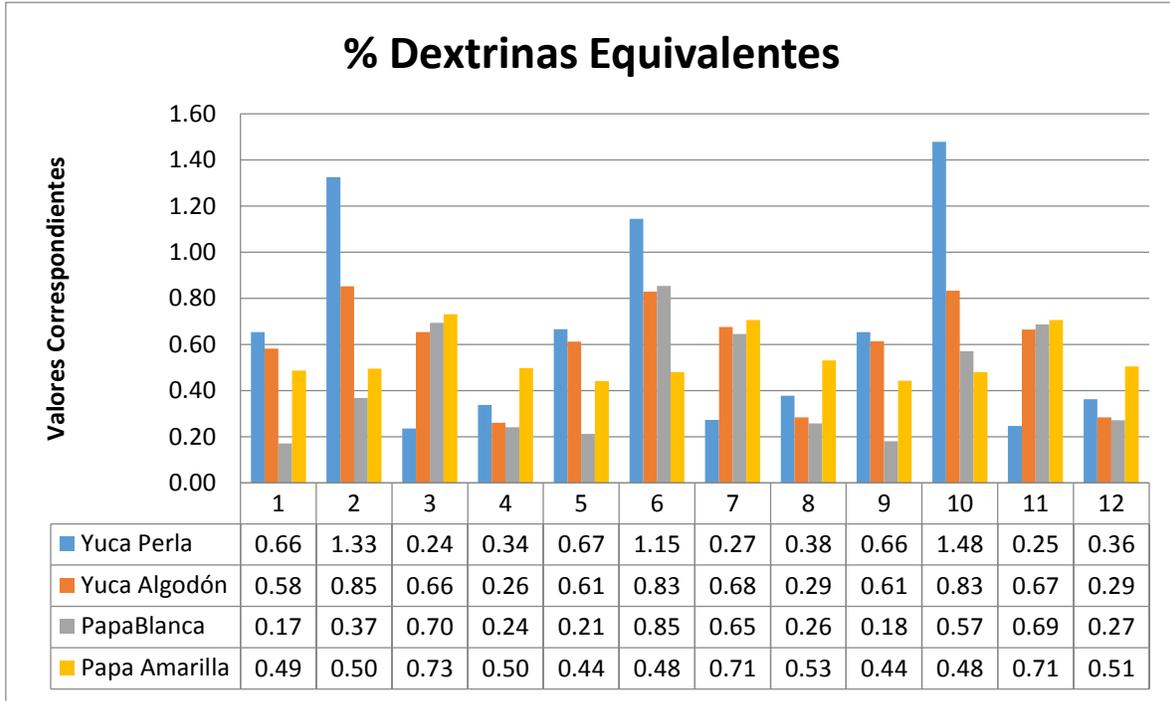
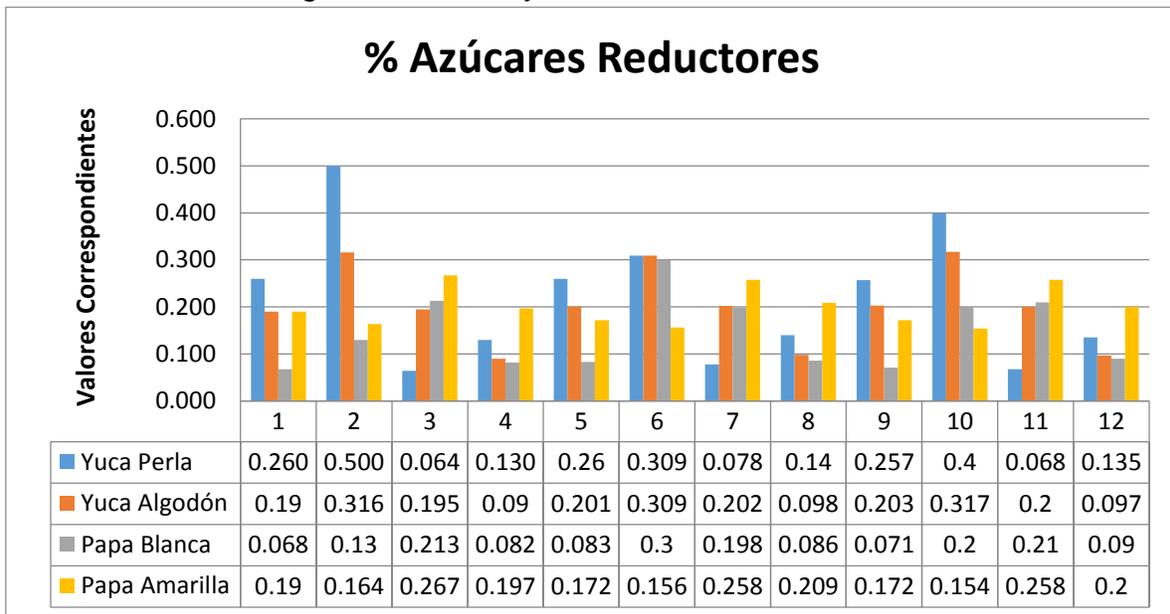


Fig. 9. 5 Porcentaje de Azúcares Reductores



*Fig. 9. 6 Obtención de Almidón.*



**Fuente Propia**

Fig. 9. 7 Jarabe de Glucosa

 <p>Jarabe a partir de almidón de papa amarilla</p>	 <p>Jarabe a partir de papa amarilla</p>	 <p>Jarabe a partir de almidón de papa blanca</p>
 <p>Jarabe a partir de almidón de yuca perla</p>	 <p>Jarabe a partir de almidón de yuca blanca</p>	 <p>Jarabe a partir de almidón de yuca blanca</p>

Fuente Propia