

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

**“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS EXPERIMENTALES
EN LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA, A PARTIR DE LA YUCA DEL
VALLE DE VIRÚ”**

AUTORES : Br. VELÁSQUEZ SERRANO, PERCY OMAR
Br. VILLANUEVA SÁNCHEZ, JULIO CRISTIAN

ASESOR : MSC. WALTER MORENO EUSTAQUIO

Trujillo – Perú
2010

SUMARIO

DEDICATORIA

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1 YUCA O MANDIOCA	1
1.2 ORIGEN, HISTORIA Y GEOGRAFÍA	1
1.3 BOTÁNICA	2
1.3.1 TAXONOMÍA.....	2
1.4 CARACTERES BOTÁNICOS	3
1.4.1 Definición.....	3
1.4.2 Porte y Ramificación.....	4
1.4.3 Biología Floral.....	4
1.4.4 Fruto y Semilla	5
1.5 ESTRUCTURA.....	5
1.6 VARIEDADES	6
1.7 CONTENIDO DE ÁCIDO CIANHÍDRICO.....	6
1.8 LUGAR Y FORMA DE CULTIVO	7
1.8.1 Clima y Suelo	7
1.8.2 Cultivo	7
1.9 COSECHA	8
1.10 CARÁCTER DE SU CULTIVO Y USOS DE LA YUCA EN EL MUNDO	8
1.11 VARIEDADES DE YUCA EN EL PERÚ.	8
1.12 ALMACENAMIENTO	10

CAPÍTULO II

2.1 ANÁLISIS Y COMPOSICIÓN	12
2.2 CARACTERES ORGANOLÉPTICOS	13
2.3 CARACTERES FÍSICOS	13
2.4 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS	14
2.5 ANÁLISIS CUALITATIVO	16
2.6 INVESTIGACIÓN DE ALMIDÓN	19

2.7 INVESTIGACIÓN DE DEXTRINA	19
2.8 INVESTIGACIÓN CUANTITATIVO DE GLÚCIDOS	19
2.9 DETERMINACIÓN DE AZUCARES REDUCTORES LIBRES	19
2.10 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES SOLUBLES TOTALES	20
2.11 DETERMINACIÓN DE AZUCARES NO REDUCTORES	20
2.12 RESULTADO DE ANÁLISIS DE LA YUCA	21
2.13 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO	22
2.14 RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA HARINA DE YUCA COMPARADO CON LA HARINA DE TRIGO	23
2.15 CUADRO GENERAL DEL ANÁLISIS REALIZADO	24
2.16 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA TOXICIDAD	24
2.17 DOSIS LETAL	26
2.18 SELECCIÓN PARA TOXICIDAD POR DEGUSTACIÓN	26
2.19 COMPOSICIÓN DE MUESTRA DE YUCA DE 100 GRAMOS (BASE HÚMEDA)	27
2.20 COMPOSICIÓN DE HENO DE YUCA (14% DE HUMEDAD)	28
CAPÍTULO III	
3.1 LA HARINA DE YUCA	30
3.2 ALMIDÓN	31
3.2.1 Estructura molecular	31
3.2.2 Estructura granular	33
3.2.3 Tipos de almidones de los Alimentos	34
3.2.4 Fabricación de almidón	35
3.2.5 Azúcar, almidón y azúcar de almidón	36
3.2.6 Hidrólisis del almidón	39
3.2.7 Azúcar de almidón	39
3.2.8 Propiedades Físicas y Químicas de los Gránulos de Almidón	40
3.2.9 El almidón de yuca	41
3.2.10 Diferentes Aplicaciones del Almidón de Yuca	41
3.3 DEXTRINA	42
3.4 GLUCOSA	43
3.4.1 Glucosa y Jarabe de Almidón	43
3.4.2 Propiedades Físicas y Químicas	44
3.4.3 Fabricación	48

3.4.4	Análisis y Especificaciones	52
3.4.5	Usos	53
3.5	JARABES DE ALMIDÓN	54
3.5.1	Fabricación	54
3.5.2	Análisis y Especificaciones	56
3.5.3	Aspectos Económicos	57
3.5.4	Usos	57
CAPÍTULO IV		
4.1	PARTE EXPERIMENTAL	59
4.1.1	Materiales y Equipos	59
4.1.2	Reactivos	60
4.1.3	Extracción mecánica del almidón (jarabe de almidón)	60
4.1.4	Conversión de Almidón en Glucosa	61
4.1.5	Gelatinización del Almidón	62
4.1.6	Licuación del Almidón	62
4.1.7	Sacarificación del Almidón	62
4.1.8	Purificación y Concentración del Jarabe de Glucosa	63
4.1.9	Isomerización	64
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES.....		65
CAPÍTULO VI		
RECOMENDACIONES		66
CAPÍTULO VII		
BIBLIOGRAFÍA		67

INTRODUCCIÓN

La yuca es la principal planta alimenticia en vastas regiones de los trópicos, como la cuenca amazónica. Es primariamente un alimento energético, que suple por área más calorías que ninguna otra planta, muy superior en ese aspecto al maíz, arroz y tubérculos. La yuca es rica en vitamina B, fósforo y hierro, y baja en calcio.

El consumo humano en América se hace en tres formas principales. La más importante es como verdura, cocinando o asando las raíces. En segundo lugar en la preparación de un pan, el casabe; el cual se obtiene por un proceso largo que permite transportarlo y conservarlo por meses. Un tercer uso, mucho más reducido, es la preparación de salsas en que la yuca sirve de base.

La yuca tiene otras aplicaciones industriales, como es en la preparación de almidón, dextrina, carburantes, alcohol, etc.

Ofrece también muchas posibilidades como planta forrajera. La harina de hojas y ramas nuevas tiene alrededor de 15% de proteína, y en rendimiento es superior a la alfalfa.

Toas las especies del género *Manihot* son americanas. Hay dos áreas de concentración de especies: una en la vertiente del Pacífico de México y el Norte de Centro América; la otra se extiende desde Paraguay al Noreste del Brasil. Ambas áreas son de clima seco, con estaciones alternas. Las especies más vecinas a la yuca cultivada se hallan en la segunda área de concentración de especies; en vista de que no se conoce ningún tipo de yuca realmente silvestre, y de que en esa área es donde los cultivares son más numerosos y los usos más variados.

RESUMEN

Diversos son los motivos que han impulsado la presente investigación, uno de ellos, creemos el más importante, es que el campesinado peruano en general que con mucho esfuerzo y abnegación contribuye siempre con la producción de materia prima en calidad y cantidad suficiente, es constantemente olvidado o relegado por los gobiernos de turno.

Muchas de nuestras industrias alimentarias, farmacéutica, edulcorantes, etc., requieren de insumos y derivados que en la mayoría de veces con materiales importados gravando con ello las divisas de nuestra nación.

En el caso de la especie, bastante popular, denominada “manihot esculenta”, mandioca o yuca, de la cual, entre otros, se puede obtener almidón y a partir de éste, por degradación cuidadosa se puede llegar a glucosa y otros derivados.

Conscientes de esta dura realidad hemos creído conveniente hallar rentabilidad mediante la transformación de esta materia prima, partiendo primero de una investigación a escala de laboratorio para obtener glucosa de óptima calidad y segundo contar con valores confiables para un posterior diseño de una planta piloto que permita a pequeños agricultores asociados del medio circundante, producir muestras comerciales de almidón y glucosa.

ABSTRACT

Several are the reasons that have prompted this investigation, one of them, we believe the most important, is that the Peruvian peasantry in general that with hard work and dedication always contributes to the production of raw material in sufficient quality and quantity, is constantly forgotten or relegated by governments.

Many of our food industry, pharmaceutical, sweeteners, etc., require inputs and derivatives that at most times with imported materials thereby burdening the currencies of our nation.

In the case of the species, quite popular, called "esculenta manihot", cassava, which, among others, can be obtained starch and from it, by thorough degradation can reach glucose and other derivatives.

Aware of this harsh reality we find it convenient to find profitability by transforming this raw material, first starting from a research laboratory scale to obtain glucose optimal quality and second to have reliable values for a subsequent design of a pilot plant that allows associated small farmers from the surrounding medium, producing commercial samples of starch and glucose.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 YUCA O MANDIOCA

Manihot esculenta – EUPHORBIACEAE

SINONIMIA Y NOMBRES VULGARES

(Manihot utilísima, Manihot dulces, Manihot aipi, Manihot edule, Manihot manihot, Jatropha stipulata, Mandioca utilísima, Mandioca edulis, Manihot palmata, Jatropha dulces).

Yuca (Venezuela, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Centro América y Antillas); Guacamote (México);

1.2 ORIGEN, HISTORIA Y GEOGRAFÍA

La primera mención del transporte de la yuca desde América fue hecha, según Bethune, por Hawkins, quien al mencionar la captura de un barco portugués en el Atlántico en 1953, y describir la carga, dice que se encontraba: “Harina de yuca”, que los portugueses llaman “farinha de pao”. Se llevaba como mercancía para Angola, para la alimentación de la tripulación y para la alimentación de los negros en el viaje de retorno.

De las costas de África Occidental su cultivo se expandió rápidamente al interior del continente, Jones. Hacia fines del siglo XVI, los portugueses al llevaron a Goa (India). Los franceses en 1735 la buscaron en Brasil APRA introducirla a Cabo Verde, Mauricio y la Reunión; a Madagascar pasó en época relativamente reciente, alrededor de 1800.

El cultivo de esta nueva planta alimenticia provoca en parte, el abandono del cultivo base de los africanos: el ñame y el de otras raíces tuberosas, como sucede en las islas del Pacífico y en el Sureste Asiático.

Otras rutas que han podido trazarse de esta planta americana, es su movimiento desde Mauricio en 1740, hacia Indonesia y Ceilán y su llegada a Calcuta hacia 1790.

De Candolle señala el origen americano de *M. esculenta* e indica el Este de Brasil como su área original. Vavilov (86) apoya esta hipótesis. Saber (80) considera que el sitio de origen de esta especie serían las Sabanas de Venezuela, por su evidencia etnológica y botánica.

Rogers estima que esta especie tiene dos centros geográficos de dispersión: uno en México y en América Central; y otro en el Noreste de Brasil, el que alcanza hacia el Oeste hasta Matto Grosso e incluyen partes de Paraguay.

Actualmente, los cultivares de *Manihot esculenta* se encuentran distribuidos principalmente en las tierras bajas y calientes de los trópicos. Sin embargo, hay algunos cultivares de *Manihot esculenta* en tierras altas y frías de Bolivia.

1.3 BOTÁNICA

1.3.1 TAXONOMÍA.

La familia de las Euforbiáceas, a la cual pertenece *Manihot esculenta* Crantz, presenta varios otros géneros de importancia alimenticia en los pueblos tropicales y algunos de éstos son: *Antidesma*, *Bridelia*,

Drypetes, Hymenocardia, Jatropha, Macaranga, Ricinodendron, Tetracarpidium, Hapaca, etc.

El género *Manihot* tiene alrededor de 180 especies. En el género hay árboles de más de 15m de alto. Entre los árboles hay algunos que producen caucho de poco valor industrial. El género se compone principalmente de arbustos y está confinado al Nuevo Mundo desde Arizona, en E.U.A., hasta Argentina.

1.4 CARACTERES BOTÁNICOS.

1.4.1 DEFINICIÓN.

La yuca cuyo nombre científico es MANIHOT ESCULENTA, es una planta de la familia EUPHORBEACEAS que generalmente se consume a diario en nuestro país.

Botánicamente tiene la siguiente ubicación:

División.....	Siphonogamas
Sub-división.....	Angiospermas
Clase.....	Dicotiledóneas
Orden.....	Geraniales
Familia.....	Euphorbiáceas
Género.....	Manihot

La yuca es el tubérculo de más importancia después de la papa por sus grandes aplicaciones, botánicamente pertenece a la familia de las Euphorbiáceas, con raíces tuberosas fasciculadas de forma y tamaño variables de 25 a 30cm. por término medio, a veces mucho mayores. Su tallo es un arbusto de 2 a 3m de altura ramificado con grandes nudos de

consistencia leñosa, sus hojas son grandes nudos de consistencia leñosa, sus hojas son grandes, pecioladas, alternas, p almeadas con 3 ó 7 lóbulos que miden de 8 a 17 cm, sus flores sus flores son unisexuales y crecen en racimos auxiliares, raramente llegan a la fase floración reproduciéndose por estacas; el fruto es una cápsula con 3 cavidades y 3 semillas. Esa es la yuca amarga, brava o mortífera llamada también mandioca que es la más importante de todas.

1.4.2 PORTE Y RAMIFICACIÓN.

El porte de la yuca es extremadamente variables y depende del tipo de ramificación. Plantas crecidas de semillas tienen por lo común un solo tallo, largo y simple, con escasa ramificación en el ápice. En la mayoría de las plantas propagadas vegetativamente el tronco se divide a cierta altura, en 2 ó 3 ramas, las que a su vez se dividen en otras tantas sucesivamente, dando a la planta forma de parasol. El ángulo en que las ramas brotan del tronco y su crecimiento recto curvo son característicos de cada cultivar. Hay clones en que las plantas se ramifican en 2 ó 3 ramas cada vez pero no llegan a formar una planta simétrica.

El tronco y las ramas tienen nudos formados por las bases de las hojas que son caedizas.

Los nudos s por lo común cilíndrico en la parte inferior, y su diámetro varía de 2 a 6 cm.

1.4.3 BIOLOGÍA FLORAL.

La protaginia es normal en la yuca, es decir que las flores postiladas son receptivas cuando los estambres aún no producen polen. Por lo

común las flores postiladas se abren de 6 a 10 días antes que las estaminadas, y cuando estas comienzan a soltar polen ya las primeras están marchitas en condiciones favorables de temperatura, las flores se abren por pocas horas al mediodía y continúan abriéndose por 8 a 10 días consecutivas.

1.4.4 FRUTO Y SEMILLA.

El fruto es una cápsula ovoidea, verde de 1 a 1,5 cm de largo, con 6 aristas longitudinales prominentes, onduladas y a menudo de color diferente del resto del fruto.

La semilla es aplanada, de perfil elíptico por el frente, de 10mm de largo por 5mm de ancho, con testa dura y brillante, cubierta de manchas oscuras.

1.5 ESTRUCTURA.

Al observar una porción de yuca en el microscopio se puede distinguir gran parte de almidón, así como pequeños fragmentos de tejidos corticales y de parénquima interno.

También se encuentran células suberosas de color pardusco, de contorno poligonal o exagonal; otras células incoloras y de membrana delgada corresponden al parénquima interno, muchos de ellos están llenos de granos de almidón.

Los granos de almidón que tiene por término medio 18 micras, son redondeados o más o menos poliédricos, simples o reunidos en grupos de 2 ó 3, con el hilo central que unas veces se presenta a modo de grieta, de Y o como una pequeña oquedad.

1.6 VARIABLES.

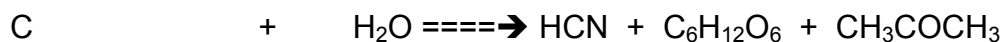
Según la clasificación más corriente, las yucas se dividen en amargas y dulces de acuerdo al sabor y al contenido de principios venenosos. En Brasil y Paraguay se conocen las primeras con el nombre colectivo de mandioca, las segundas como aipim. La diferenciación entre los dos grupos dio base para considerarlas como especies diferentes, pero como se expresó al principio, esa distinción ya no se acepta. Las yucas amargas son más comunes en el área amazónica y zonas vecinas de Sur América. En la expansión primitiva del cultivo a nuevas áreas desde Perú a México, se propagaron principalmente los tipos dulces.

En conjunto el género Manihot comprende más de 180 especies, la manihot utilísima o yuca agria y la manihot palmata o yuca dulce son las que se cultivan en el Perú.

1.7 CONTENIDO DE ÁCIDO CIANHÍDRICO.

La yuca puede contener cantidades considerables de un glucósido, linamarina, el cual por efecto de una enzima, la linasa, origina ácido cianhídrico en dosis que pueden variar desde inocuas hasta mortales. El glucósido se halla en la cáscara o floema de la raíz, donde se encuentra en las hojas y otros órganos. La concentración de glucósidos varía de 0,005 a 0,02 por ciento en las yucas bravas o amargas, y de 0,005 a 0,0075 por ciento en las dulces.

Linamarina + Agua -----→ Ácido + Azúcar + Acetona cianhídrico



1.8 LUGAR Y FORMA DE CULTIVO.

Es uno de los requisitos más importantes para la obtención de una buena yuca.

1.8.1 CLIMA Y SUELO

La yuca es una planta de clima seco, tropical o subtropical; necesita pues, bastante calor y por lo tanto veranos largos para alcanzar su completo desarrollo, no resistiendo la acción de las heladas. Requiere suelos sueltos, ricos y bien drenados preferentemente bajos hasta los 1000 metros de altitud.

1.8.2 CULTIVO.

Se prepara la tierra como para el maíz, dándole dos rejas con sus correspondientes rastrillos. La multiplicación se hace por estacas, que se guardan del año anterior o conservándolas en lugar seco. La plantación se efectúa desde medio invierno a principios de primavera, según las latitudes, en líneas a 1m de distancia uno de otro y a 80cm entre planta y planta, utilizándose estacas de unos 25 cm por lo menos, con 3 yemas ó más cada una. Debe enterrarse cosa de unos 2/3 de su longitud. Los cuidados culturales se reducen a las oportunas escardas para impedir que en yucal prosperen las plantas adventicias o las malezas. Cuando la yuca comienza a cubrir el terreno se da por aporcarlo en vez de escarcharla.

1.9 COSECHA

Se realiza según la época en que se efectuó la siembra y el clima del lugar. Las grietas que muestra el suelo al pie de la mata son indicios del desarrollo y por ello hay que guiarse para proceder a la recolección. Primero se cortan los tallos y se procede a estratificarlos para obtenerlas estacas para la próxima plantación, luego se recogen los tubérculos si la cosecha no se destina a fines industriales sino al consumo local, puede extraerse los tubérculos de manera discontinua. Los tubérculos destinados a la alimentación se cosecha siempre antes que los destinados a la obtención de almidón o fécula, en este último caso la cosecha suele efectuarse hasta el año de la plantación que es cuando aquellos poseen la máxima riqueza amilácea. El rendimiento se calcula en unos 10 a 15 toneladas por hectárea.

1.10 CARÁCTER DE SU CULTIVO Y USOS DE LA YUCA EN EL MUNDO.

En las regiones tropicales de condiciones difíciles para el cultivo de plantas alimenticias, la yuca, casava o mandioca, se ha constituido como uno de los alimentos básicos para la alimentación, cultivándola bajo los aspectos de consumo doméstico para satisfacer las necesidades inmediatas de los pobladores.

En las zonas tropicales tiene una gran importancia social y económica ya que el campesino la cultiva para obtener de sus raíces el alimento necesario satisfaciendo en parte el problema de la alimentación.

1.11 VARIETADES DE YUCA EN EL PERÚ.

Sarmiento describe las siguientes variedades de yuca del Perú:

NEGRA MOCHERA; tamaño 1,15m, raíces de 30cm pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

COLORADA: tamaño 2,40m, raíces de 25cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

HUACHO II: tamaño 1,30 m, raíces de 30cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

PATA DE PALOMA: tamaño 1m, raíces de 33cm, pulpa blanca, palatabilidad regular, periodo vegetativo 10 meses.

MALEÑA: tamaño 1,10 m, raíces de 34cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

VALENCA: tamaño 1,65 m, raíces de 38cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

HUACHO I: tamaño 1,15 m, raíces de 30cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

BLANCA MOCHERA: tamaño 1,30 m, raíces de 32cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

AMARILLA: tamaño 1,20 m, raíces de 25cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

ROSADA MOCHERA: tamaño 1,50 m, raíces de 30cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

MORROPONA: tamaño 1,25 m, raíces de 37cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

PATA DE PALOMA II: tamaño 1 m, raíces de 34cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

PAVA: tamaño 1,40 m, raíces de 28cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

LAMBAYECANA: tamaño 1,27 m, raíces de 30cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

SAUCE: tamaño 1,47 m, raíces de 32cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

BLANCA NORTEÑA: tamaño 1,45 m, raíces de 24cm, pulpa blanca, palatabilidad buena, periodo vegetativo 10 meses.

NEGRA MOCHERA: supera significativamente en rendimiento a todas las otras con 18,9 ton/Hect., seguida de Colorada y Huacho II. Amarilla es de muy buena palatabilidad pero es afectada por ataque de nemátodos. Valenca es la más susceptible a los ataques de plagas y enfermedades.

1.12 ALMACENAMIENTO

Las raíces de yuca no se conservan bien una vez cosechadas y existe muy poca información sobre las causas que originan su deterioro. Diversos autores indican como métodos apropiados de conservación, rebanarlas, secarlas al sol y almacenarlas en un lugar seco, enterrarlas en arena

fresca; refrigerarlas a 0-2.5°C y 85-90% de humedad relativa; y por último, desecarlas hasta dejarlas con un 10 a 12% de humedad.

Normanha y Pereira aconsejan impedir que las raíces se asoleen durante la cosecha.

Varios autores han atribuido la decoloración de las raíces a la acción de enzimas.

Averre estudia la causa, las condiciones de desarrollo y los métodos para controlar el rayado vascular de la pulpa de raíz de yuca y llega a las siguientes conclusiones:

Los resultados de la experimentación no explican la causa del rayado vascular, pero sugieren su naturaleza enzimática.

CAPÍTULO II

2.1 ANÁLISIS Y COMPOSICIÓN

Un corte en la raíz de yuca muestra las siguientes partes:

1. El periderma o película suberosa que se desprende fácilmente y que representa 1-2% de la raíz total.
2. La cáscara o corteza que forma del 12 – 20% de la raíz.
3. El cilindro central o pulpa, compuesto del liber (floema) y del tejido leñoso (xilema). Este último tiene dos clases de elementos: los vasos leñosos: los vasos leñosos y la células parenquimáticas llenas de almidón.

Forma del 78 – 85% de la raíz.

Cuadro. Composición media de la raíz entera de la corteza y del cilindro central en porcentaje, (producto húmedo y seco)

Compuestos	Raíz entera		Corteza		Cilindro Central	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Humedad	61,0	-	72,0	-	59,0	-
Proteína	1,2	3,1	1,5	5,4	1,0	2,4
Grasa	0,4	1,1	0,6	2,1	0,4	1,0
Carbohidratos	34,9	89,4	21,7	77,5	37,3	91,0
Fibra	1,2	3,1	2,5	8,9	1,1	2,7
Cenizas	1,3	3,3	1,7	6,1	1,2	2,9

En cuadro N° 24 se podrá ver que la mayor proporción de proteína y materiales minerales está localizada en la corteza, en cambio los carbohidratos están preferentemente en el cilindro central.

2.2 CARACTERES ORGANOLÉPTICOS.

Sirve para ver su grado de conservación y sino presenta signos de descomposición, lo que nos permitirá saber si reúne o no las condiciones de un alimento normal.

Yuca en breve estado

Color de la corteza.....	Pardo claro
Color de la pulpa.....	Blanco
Olor.....	Sui - Géneris
Sabor.....	Ligeramente dulce
Reacción.....	Acido al papel tornasol
Forma del tubérculo.....	Alargada

2.3 CARACTERES FÍSICOS

Son determinaciones sujetas a cambios exteriores y que incluyen en la composición del producto.

a) Determinación de Humedad.

Se entiende por humedad el agua libre, es decir no combinada químicamente que tiene una sustancia.

- MÉTODO GRAVÍMETRO DE LA ESTUFA

Se basa en la pérdida de peso que sufre un cuerpo sometido a la acción del calor.

El tubérculo dividido en porciones pequeñas, es colocado en una cápsula previamente tarada y llevado a la estufa a una temperatura de 105° durante dos horas. La diferencia entre el peso inicial y el peso obtenido después de ser sometida a la estufa relacionando a 100, nos da el porcentaje de humedad.

Resultado: 72%.

b) Determinación del Residuo Seco.

El residuo seco es un producto alimentario, está compuesto por proteínas, grasas, glúcidos, residuos celulósicos, sales minerales, vitaminas, gomas y otras sustancias que tienen valor particular según el alimento. Su determinación nos indica la cantidad de alimento sólido y por lo tanto casi la totalidad de su poder energético y plástico, es decir tener como alimento. El residuo seco está dado por la diferencia del peso inicial del tubérculo y el peso perdido por la eliminación del agua.

Se relaciona a 100 para obtener el porcentaje.

Resultado: 28%

2.4 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS. Mediante:

a) Reacciones de Precipitación.

Se funda en el carácter coloidal de las proteínas:

- Al acción del calor..... (+)
- Al acción del alcohol..... (+)
- Al acción del HgCl₂..... (+)
- Reactivo de Gautier..... (+)
- Reactivo de Esbach..... (+)

- Reactivo de Scheibler..... (+)
- Reactivo de Almen..... (+)
- Reactivo de Brucke..... (+)

b) Reacción de Ciuret o Protrowski.

Sirve para reconocer el enlace peptídico – CO – NH.

- La solución examen tratada con un centímetro cúbico de NaOH al 10% y unas gotas de solución de CuSO₄ al 1% debe dar una coloración azul o violeta.

Resultado: Positivo.

c) Reacción de Hopkins – Cole o Glioxilica.

Sirve para identificar el triptófano.

Técnica. En un tubo de ensayo se toman volúmenes iguales de la solución examen y el reactivo de Hopkins – Cole y por las paredes del tubo se va agregando H₂SO₄, en presencia de triptófano se formará un anillo rojo violeta.

d) Reacción Xantoprotéica.

Sirve para identificar a los núcleos bencénicos (Fenilamina).

Técnica. Unos cc de la solución examen tratada con HNO₃ concentrado da una coloración amarilla que si se le trata luego con amoniaco o cualquiera otra base varía hacia anaranjado.

Resultado. Negativo.

2.5 ANÁLISIS CUALITATIVO.

a) Determinación de Nitrógeno Total.- Método de Kjeldahl - Grunning.

Fundamento. Se basa en la transformación del nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal, su destilación posterior, previa disolución y alcalinización recibiendo el amoniaco destilado en una cantidad exactamente medida y en exceso de un ácido valorado, titulándose finalmente el exceso de este ácido con una solución de NaOH de la misma normalidad.

b) Determinación de Grasas.

Es importante efectuar estas determinaciones para hallar después junto las proteínas y glúcidos su valor nutritivo. Hemos determinado mediante:

- Método de Soxhlet.

Fundamento. Se funda en la extracción de la grasa de cualquier sustancia por medio de un disolvente orgánico, en forma continua y en la que la solubilidad de la grasa en el solvente es cuantitativa porque éste actúa al estado puro.

Resultado. 0,11%

c) Determinación de Glúcidos.

La solución examen fue obtenida por filtración del macerado de manihot esculenta, en el que se llevaron a cabo las siguientes reacciones:

- Reacción de Molish.

Nos permite identificar la presencia de monosacáridos y disacáridos (pentosa, glucosa, galactosa, sacarosa, lactosa, maltosa).

Técnica. La solución examen tratados con gotas de solución alcohólica de alfa-naftol al 1,5% se le agrega lentamente por las paredes del tubo H_2SO_4 se observará en la zona de separación un anillo de color rosado o violeta.

Resultado. Positivo.

- **Reacción de Bial.**

Se usa para reconocer pentosas en presencia de hexosas.

Técnica. La solución examen, tratada con el reactivo de Bial, sometida a la acción del calor, debe dar una coloración verde.

Resultado. Positivo.

- **Reacción de Brown.**

Sirve para identificar glucosa.

Técnica. 2cc de solución examen tratados con 10cc de NaOH al 10% debe dar una coloración amarilla (Reacción de Moore) y al agregarle gotas de ácido pícrico y sometida a la acción del calor una coloración roja.

Resultado. Positiva.

- **Reacción de Salivanoff.**

Identifica a los cetosas en presencia de aldosas y también sirve para reconocer a la sacarosa.

Técnica. Se trata 2cc de la solución análisis con 1cc de reactivo de Salivanoff y se somete a la acción del calor debe dar una coloración roja (levulosa si la coloración la presencia de sacarosa).

Resultado. Positivo.

- **Reacción de Fehling.**

Nos permite identificar azúcares reductores.

Técnica. Solución examen 3cc más 1cc del reactivo de Fehling, por acción del calor debe dar un precipitado rojo ladrillo.

Resultado. Positivo.

- **Reacción de Heraail.**

Sirve para identificar sacarosa.

Técnica. Solución análisis 2cc más 1cc de nitrato de Cobalto al 5% y gotas de NaOH al 10% de una coloración azul o violeta.

Resultado. Positivo.

- **Reacción de Acido Múxico.**

Sirve para identificar a las galactosas en presencia de glucosa.

Técnica. 10cc de la solución análisis tratados con 2cc de HNO_3 se concentra a baño maría hasta la cuarta parte, se le trata posteriormente con agua destilada, dejándolo hasta el segundo día. Se observará al microscopio unos cristales rectangulares de ácido múxico.

Resultado. Positivo.

- **Reacción con la enilhidracina Acética dando las Osazonas.**

Técnica. A 10cc de solución examen se le trata de Fenilhidracina Acética, se lleva a baño maría durante unos 20 minutos y se observará la precipitación de unos cristales de color amarillo, los que observados al microscopio dan formas diferentes, según el azúcar de que se trata, y reciben el nombre de osazonas.

Resultado. Positivo para glucosazona y galactosazona.

2.6 INVESTIGACIÓN DE ALMIDÓN.

La sustancia análisis tratada con lugol dará una coloración azul.

Resultado. Positivo.

2.7 INVESTIGACIÓN DE DEXTRINA.

Tratada la muestra examen con lugol dará una coloración roja.

Resultado. Negativo.

2.8 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE GLÚCIDOS.

Método químico de Fehling.

- **Determinación de Glúcidos Totales.**

Se procede por hidrólisis completa en medio ácido, transformándolo en glucosa posteriormente con el licor de Fehling.

Fundamento. Se basan en que ciertos azúcares que presentan carácter reductor a las sales de cobre al estado de Cu_2O , que es un precipitado de color rojo ladrillo.

Resultado. 25,39%.

2.9 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES LIBRES. MÉTODO DE FEHLING.

Procedimiento. Se procede en maceración 10gram de muestra preparada durante 3 horas con 100 cc de agua destilada, filtrar y al filtrado agregamos solución de acetato de plomo hasta completa precipitación, eliminado el exceso con solución de Na_2SO_4 , filtramos y al filtrado fue aforado a 100cc y en este aforado se determinó los azúcares reductores libres mediante el método de Fehling.

Resultado. 0,76%.

2.10 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES SOLUBLES TOTALES.

Procedimiento: Del aforado en la determinación de azúcares reductores libres se tomó 20cc de solución, se trató con 0,5cc del NCL concentrado, luego se llevó a ebullición a baño maría durante 1 hora, dejar enfriar y filtrar.

Neutralizar con solución saturada de NaOH y se aforó a 100cc. En este aforado se determinó los azúcares solubles totales mediante el método de Fehling.

Resultado: 1,26%.

- **Determinación de Glúcidos Insolubles.**

Para su determinación se restan del porcentaje de glúcidos totales el porcentaje de azúcares solubles totales y la diferencia nos da glúcidos insolubles.

Resultados. 24,13.

- **Cálculo de Almidón.**

Se multiplica la cantidad de azúcares reductores provenientes de glúcidos insolubles por el factor 0,9 y nos da el porcentaje de almidón.

Resultado. 21,71.

2.11 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES NO REDUCTORES.

Para su determinación se restan del porcentaje de azúcar solubles totales el porcentaje de azúcares reductores libres y la diferencia nos da azúcares no reductores.

Resultado. 0,50%

- **Cálculo de Sacarosa.**

Se multiplica la cantidad de azúcares no reductores por el factor 0,95 y nos da el porcentaje de sacarosa.

Resultado. 0,475%.

- **Determinación de Cenizas Totales.** Método Oficial de la A.O.A.C.

Reactivo. Solución de etanol.

Resultado. 0,45%.

- **Determinación de Residuo Celulósico.** Método Gravimétrico de Kurscher y Hanak con Acido Acético.- Acido Nítrico.

Fundamento. Este método se basa en la insolubilidad de la celulosa en ácidos diluidos.

Resultado. 0,94%.

2.12 RESULTADO DE ANÁLISIS DE LA YUCA.

- **Análisis Cuantitativo de Proteínas.** Método Kjeldahl Gunning.

Resultado. 2,9%.

- **Análisis Cuantitativo de Grasas.** Método de Soxhlet.

Resultado. 76,57%

- **Análisis Cuantitativo de Glúcidos.** Método de Fehling.

Resultado. 76,57%

- **Determinación de Glúcidos Totales.** Método de Fehling.

Resultado. 0,86%.

- **Determinación de Azúcares Solubles Totales.** Método de Fehling.

Resultado. 3,07%,

- **Almidón.**

Resultado. 74,77%.

- **Sacarosa.**

Resultado. 0,41%

- **Cenizas.** Método Oficial de la A.O.A.C.

Resultado. 2,9%.

- **Residuo Celulósico.-** Método Gravimétrico de Kurschener, y Hanak con Ácido Acético – Ácido Nítrico.

Resultado. 3,5%.

2.13 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO.

Valor Nutritivo. Se calcula aplicando la fórmula de Atwater.

Resultado. 26,6%.

VALOR CALÓRICO.

Valor Calórico Bruto.-

Proteínas	: 2,90 x 3,9 calorías	11,89 calorías
Glúcidos	: 76,57 x 4,1 calorías.....	313,94 calorías
Lípidos	: 0,33 x 9,4 calorías.....	3,10 calorías

Valor Calórico Neto.-

Proteínas	: 2,90 x 3,9 calorías	11,31 calorías
Glúcidos	: 76,57 x 3,9 calorías.....	298,94 calorías
Lípidos	: 0,33 x 9,2 calorías.....	328,93 calorías

En el cuadro que se expone a continuación están considerados los resultados del análisis de la harina de yuca en comparación con los de la harina de trigo Santa Rosa.

2.14 RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LA HARINA DE YUCA COMPARADO CON LA HARINA DE TRIGO.

CUADRO N°

Determinación	Harina de trigo "Santa Rosa"	Harina de Yuca
Humedad	14,4 %	13,8 %
Extracto Seco	85,60 %	86,2 %
Grasa	1,20 %	0,33 %
Proteína	12,5 %	2,9 %
Cenizas	0,83 %	2,9 %
Carbohidratos	69,07 %	76,57 %
Valor Nutritivo	5,7 %	23,2 %
Valor Calórico	333,08 %	328,9 %

2.15 CUADRO GENERAL DEL ANÁLISIS REALIZADO.

CUADRO Nº 3

Determinaciones Caracteres Organolépticos	Yuca Fresca Sui – Géneris	Harina de Yuca Sui – Géneris
Extracto Seco	28,00 %	86,20 %
Humedad	72,00 %	13,80 %
Proteínas	1,10 %	2,90 %
Grasas	0,11 %	0,33 %
Glúcidos	25,83 %	76,57 %
Cenizas	0,45 %	2,90 %
Residuos Celulósico	0,95 %	3,50 %
Otras determinaciones		
Almidones	21,71 %	74,77%
Azúcares Product. Libres	0,76 %	0,86 %
Sacarosa	0,48 %	0,41 %
Dextrina	---	1,8 %
Azúcares Solubles Totales	1,26%	3,07 %
Análisis Bromatológico		
Valor Nutritivo	23,2 %	26,6 %
Valor Calórico Bruto	109,6 %	328,9 %
Valor Calórico Neto	104,3 %	312,0 %

2.16 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA TOXICIDAD.

La toxicidad de la yuca se debe al ácido cianhídrico (HCN) que queda en libertad por acción del agua, en presencia de ácidos orgánicos débiles (ácido tartárico, ácido acético, etc.), del calor (en el intestino del hombre o animales) o de la emulsina (una enzima muy corriente en los forrajes y plantas) sobre el glucosido: linamarina.

La presencia del ácido cianhídrico se hace por el método que se describe a continuación:

Se preparan tiras de papel filtro de 5 x 1 cm y se sumergen en solución de ácido pícrico al 1%. Se secan, luego se sumergen en solución de Na_2CO_4 al 10%.

Se toman muestras de hojas corteza y pulpa de raíz de cada variedad de yuca. Cada muestra deberá tener como mínimo 50 gramos.

La corteza debe lavarse previamente con agua corriente. El tratamiento posterior para hojas, corteza y pulpa es igual. Se corta el material en pequeños trozos y se lleva a la licuadora, agregando 200cc de agua destilada. Se agita por 5 a 10 minutos. Se transvasa a las fiolas de 2500 cc que contienen previamente 10 cc de ácido tartárico en solución al 10%. Hay que tener la precaución de no mojar las paredes internas superiores de la fiola (usar embudo) con ácido tartárico o con la suspensión de yuca. Se cierra la fiola con un tapón de corcho al cual se adhiere una tira de papel picrosódico mediante un "chinche". Se debe tener cuidado de que el papel no toque las paredes del frasco ni la suspensión del fondo.

Se deja en reposo por 15 minutos y se verá una reacción de color de acuerdo a la siguiente pauta:

Amarillo	=	inocuo (menos de 50mg HCN por kg materia fresca)
Rojo	=	moderadamente venenosos (50-100mg HCN x kg materia fresca)
Rojo Oscuro	=	muy venenoso (+ 100 mg HCN x kg materia fresca)

La coloración se debe a la formación de cianopierato de sodio y es más intensa (rojo oscuro) cuando mayor es la cantidad de HCN en la muestra de yuca. Si no hay cambio de color den 10 a 15 minutos es porque no hay desprendimiento de HCN.

2.17 DOSIS LETAL.

Se considera que una dosis de 50mg puede ser letal para un hombre adulto. Es interesante anotar que las yucas venenosas pierden fácilmente el principio cianogenético por exposición al sol, en caso de preparación de heno, o por maceración o cocción, en caso de preparación de casabe o almidón.

2.18 SELECCIÓN PARA TOXICIDAD POR DEGUSTACIÓN.

Un estudio de correlación entre gusto de la pulpa cruda de las raíces de yuca al paladar y toxicidad y establecen que las muestras amargas siempre dieron en el análisis químico alto contenido en HCN y que las raíces no amargas, tenían un bajo porcentaje de sustancia tóxica.

2.19 COMPOSICIÓN DE MUESTRA DE YUCA DE 100 GRAMOS (BASE HÚMEDA).

CUADRO N° 4

Composición	Raíz Yuca Dulce (89)	Raíz Yuca Amarga (89)	Raíz Yuca (85)
Valor energético cal.	132	148	131
Humedad %	65.2	60.6	-----
Proteínas g.	1.0	0.8	0.1
Grasa g.	0.4	0.3	-----
Carbohidratos totales g	32.8	37.4	-----
Fibra g	1.0	1.0	-----
Cenizas g	0.6	0.9	-----
Calcio mg	40	46	-----
Fósforo mg	34	48	-----
Hierro mg	1.4	1.1	-----
Tiamina mg	0.05	0.06	0.02
Riboflavina mg	0.04	0.04	0.1
Niacina mg	0.6	0.7	0.6
Ácido ascórbico	19	40	30

2.20 COMPOSICIÓN DE HENO DE YUCA (14% DE HUMEDAD)

CUADRO Nº 6

Muestra Selecta	% Grasa	% Proteína	% Fibra
2001	7.73	17.5	14.2
2002	7.40	25.9	12.0
2003	8.06	24.1	14.4
2004	10.90	24.9	14.2
2005	9.45	24.5	12.3
2006	10.40	23.6	12.1
2007	9.17	25.8	----
2008	8.75	26.2	16.6
2009	9.13	20.1	12.3
2010	----	23.4	----
2011	9.55	25.4	12.8
2012	6.88	25.2	9.0
2013	7.87	22.7	12.0
2014	----	24.9	12.2

CUADRO Nº 6

ANÁLISIS QUÍMICO BROMATOLÓGICO DE LAS RAÍCES TUBEROSAS

(Contenido en 100 gramos de parte comestible)

Alimentos	Calorías g.	Proteínas g.	Grasas g.	H. de carbono	Ceniza g.	Hum. g.	Fibra g.
Yuca mondada	189	6	-	46.5	1.0	52.0	0.8
Yuca fresca	192	7	3	46.7	1.0	56.1	---
Harina de Yuca	335	1.7	5	80.9	2.6	14.3	1.8
Papa	100	2.1	3	22.4	1.1	74.0	9
Harina de papa	331	6.1	4	77.0	5.2	10.9	2.3
Camote	113	1.2	2	27.10	1.1	69.9	1.0
Harina de camote	364	1.6	8	84.4	2.2	11.0	1.4

Fuente: Universidad Nacional Agraria

CUADRO Nº 7

CONTENIDO VITAMÍNICO DE LA YUCA EN COMPARACIÓN CON OTROS TUBÉRCULOS

Alimentos	Calcio mg.	Fósforo mg.	Hierro mg.	Carot. mg	Miami. mg	Ribofl mg	Hiac mg	Vit-C mg
Yuca preparada	28	67	2	24	02	02	69	23.3
Yuca fresca	25	66	4	2	02	01	62	42.0
Harina de Yuca	155	110	5.3	0	08	07	1.60	13.6
Harina de papa	82	199	-	0	18	--	--	8.9
Papa	6	55	6	-	07	08	1.89	20.5
Camote	41	31	2.8	29	10	05	61	10.0
Harina de cam.	106	99	5.3	19	12	15	1.10	6.3

Fuente: Universidad Nacional Agraria

CAPÍTULO III

LA HARINA DE YUCA

Debido a su contenido alimenticio hidrocbonato, esto conduce a preparar la yuca al estado de harina.

CARACTERES ORGANOLÉPTICOS

Color	Blanco amarillento
Olor	Sui - Géneris
Sabor	Agradable
Reacción	Acida al tornasol

ANÁLISIS DE LA YUCA FRESCA Y LA HARINA DE YUCA

CUADRO Nº 8

DETERMINACIONES	YUCA FRESCA	HARINA DE YUCA
Humedad	72.90 %	13.80 %
Proteínas	1.10 %	2.90 %
Grasas	2.90 %	0.33 %
Glúcidos	25.39 %	76.57 %
Cenizas	0.45 %	2.90 %
Residuo Celulósico	0.95 %	3.50 %

Existe poca diferencia entre la harina de yuca y la harina de trigo, lo cual podremos apreciarlo en el siguiente cuadro.

CUADRO Nº 9

DETERMINACIONES	HARINA DE TRIGO	HARINA DE YUCA
Humedad	14.40 %	13.8 %
Extracto Seco	85.60 %	86.2 %
Grasa	1.20 %	0.33 %
Proteínas	12.50 %	2.90 %
Cenizas	0.83 %	2.90 %
Carbohidratos	69.75 %	76.57 %
Valor Nutritivo	5.70 %	23.2 %
Valor Calorífico	337.08 %	328.9 %

ALMIDÓN

El almidón proporciona la fuente principal de energía en la dieta del hombre. Casi en todas las partes del mundo, ciertos granos de cereales, fundamentalmente arroz, trigo o maíz, constituyen la fuente más importante de alimento y el almidón supone, aproximadamente, el 75% de dichos granos. Otros artículos leguminosos, también son ricos en almidón. Gran parte del almidón se consume sin que se aisle del material vegetal en que se encuentra; pero el almidón refinado, ya sea natural o modificado, desempeña un destacado papel en la técnica de los alimentos (219).

Estructura molecular.

El almidón se compone de dos tipos de moléculas de polisacárido, una lineal (amilasa) y otra ramificada (amilopeptina). Ambas son

homoglicanos de D-glucosa. En el almidón natural, estas moléculas están íntimamente asociadas en gránulos estructurados, microscópicos. Los gránulos suelen contener ambos tipos de almidón, con amilasa en un 15-30% del total. Algunos cereales (maíz, sorgo y arroz) tienen variedades “córneas”, que sólo tienen amilopectina. Se han desarrollado otras variedades en que la amilasa supone un 85% del contenido total del almidón.

a) Amilasa: Las unidades de D-glucosa condensadas se presentan como anillos de piranosa unidos en $\alpha - (1 \rightarrow 4)$; así, pues, la unidad de disacárido que se repite es la maltosa. Se supone que la fracción amilasa del almidón es completamente lineal, aunque de hecho, se ha aislado pequeñas cantidades de un glucano poco ramificado junto con la amilasa.

El peso molecular de la amilasa varía según su origen botánico, el cuidado puesto en su aislamiento y el método utilizado son mucho mayores de lo que se pensaba. Hoy día, se considera que los valores válidos para la amilasa son de 1,1 a 1,9 millones de daltons (15,70, 108). En general, parece que las amilasas de las raíces y tubérculos tienen pesos moleculares mayores que las de los cereales.

b) Amilopectina.

La mayoría de los enlaces entre las unidades de D-glucosa de la amilopectina son del tipo $\alpha (1 \rightarrow 4)$, como en la amilasa. Además, un 4 – 5 de las unidades de glucosa están unidas $\alpha - (1 \rightarrow 6)$ y dan

una estructura ramificada creciente. La isomaltosa es el disacárido que contiene el enlace de ramificación.

Estructura granular.

El almidón se presenta en los tejidos vegetales en forma de gránulos. Estos gránulos permanecen prácticamente intactos durante la mayoría de los procesos empleados para preparar almidón como ingrediente de alimentos, tales como molienda de la harina, separación, separación y purificación del almidón, o, incluso, durante la mayoría de los tipos de modificaciones químicas. La estructura granular del almidón precocido se destruye antes de ser incorporado a un producto alimenticio. La estructura del gránulo y los cambios que experimenta durante la elaboración del alimento son de la mayor importancia para el bromatólogo. Otros constituyentes de los alimentos ejercen acciones importantes sobre los cambios de los gránulos de almidón, los cuales, a su vez, afectan a la consistencia y estabilidad de los productos alimenticios ya terminados de preparar. En muchos casos, la observación de la forma microscópica de los gránulos de almidón de las diferentes especies botánicas muestra que son tan particulares, que la identificación sólo es posible por este método. Características particulares son el tamaño, forma y uniformidad de los gránulos, la localización (céntrica o excéntrica) del hilo (punto sencillo o intersección de dos líneas cortas); la presencia o ausencia de capas que, total o parcialmente, envuelven al hilo; el aspecto de los gránulos a la luz polarizada (birrefringencia). Algunos de estos detalles son evidentes en

las representaciones de los almidones alimenticios más corrientes, como se advierte en la figura 2.

Tipos de almidones de los Alimentos.

a) Almidones no modificados: Ya se ha indicado que los almidones de distintos orígenes botánicos difieren en tamaño, forma, aspecto general y temperatura de gelificación. De mayor importancia para su empleo en los alimentos son las diferencias en las propiedades de sus pastas y las discrepancias en las características de sus geles, si los forman. Por ejemplo, en los estudios de Osman y Mootse, para conseguir pastas de igual viscosidad máxima, tan sólo se precisó un tercio de almidón de patata, en comparación con el que se habría necesitado de almidón de trigo. Sin embargo, el almidón de patata no pudo formar un gel en las condiciones propuestas, mientras que el del de almidón de trigo fue muy consistente. El almidón de tapioca, que igual que el de patata, gela bajo ciertas condiciones, tampoco produce el gel a la concentración empleada e este estudio.

b) Almidones modificados: El creciente conocimiento que se tiene de la estructura molecular y granular de los diferentes almidones y su relación con las propiedades físicas, ha permitido a los químicos modificar los almidones naturales para satisfacer de esta manera necesidades especiales de los alimentos y otras industrias. Algunas modificaciones son muy útiles cuando se aplican a los almidones córneos.

En los Estados Unidos, los almidones modificados químicamente, han de pasar por unos rigurosos controles de toxicidad ante de ser aprobados para uso alimentario, es un hecho evidente que las modificaciones químicas, corrientemente aprobadas, no entrañan peligro alguno para la salud, incluso, cuando el almidón se consume en cantidades bastante superiores a las esperadas. El Sub-Committee on Safety and Suitability of MSG and other Substances in Baby Foods of the National Academy of Sciences – National Research Council ha dicho: "...parece no existir una base toxicological para excluir de la dieta de los niños el uso de los almidones alimenticios modificados, teniendo en cuenta las limitaciones técnicas sobre la naturaleza y grado de modificación, como define la ley, y que las cantidades empleadas, como suplemento, para conseguir el beneficio que se persigue, no rebasen la buena práctica de fabricación".

A pesar de todo, parece que la modificación química afecta poco a la digestibilidad de los almidones.

Fabricación de almidón.

El almidón ($C_6H_{10}O_5$), es la sustancia de reserva más difundida del reino vegetal. Se forma en el proceso de asimilación de las plantas verdes por la acción de la luz, a partir del dióxido de carbono y del agua. La presencia de almidón se puede comprobar en los cloroplastos de las hojas. En las plantas, los hidratos de carbono son transportadores en forma de glucosa soluble, quedando después depositados en las semillas de los frutos y en los tubérculos de las raíces en forma de gránulos redondeados de almidón. Cada clase de almidón tiene un

aspecto característico y su procedencia se puede reconocer en el microscopio. De toda la cosecha recogida hasta 1944 se trabajada el 3 – 4% para obtener almidón, lo que correspondía a 1,5 – 2 Mill. t. después de la guerra la producción de almidón en la Alemania Occidental se hacía exclusivamente empleando como materia prima el maíz americano, mientras que en la DDR la materia prima más importante seguían siendo las patatas. Además en las dos Alemanias se empleaba el trigo para preparar el almidón.

Otra materia prima empleada recientemente para la fabricación de almidón ha sido el arroz.

El almidón encuentra muy variadas aplicaciones en la industria de la alimentación y en la de medicamentos, así como en otras ramas industriales. Se le emplea para polvo de puding, para pasta de sopa, para pasteles, como excipiente en las píldoras y en la industria textil para aprestos y para alisar los tejidos. En su descomposición hidrolítica es completa se obtiene el jarabe de glucosa, jarabe capilar y azúcar de almidón.

Azúcar, almidón y azúcar de almidón.

Para la obtención del almidón las patatas deben ser primeramente trituradas. Después de esto, son limpiadas cuidadosamente en unos molinillos y a continuación convertidas en pulpa mediante máquinas ralladoras. Las máquinas ralladoras están formadas por tambores giratorios provistos de muchas hojas aserradoras. Durante el rallado se va inyectando agua. Después del rallado, los gránulos de almidón puestos en libertad son separados con una máquina “cepilladora”, en la

que son lavados mediante movimiento constante. El proceso de lavado y de cepillado es el mismo que desarrollan en sus trabajos las mujeres domésticas en la cocina cuando preparan pulpa de patata. También ellas cuidan de aislar los granos de almidón separados en el agua de lavado.

Los tamices de cepillo están formados por un cilindro horizontal limitado por una tela filtrante de cobre, girando en su interior un eje con brazos armados de cepillos. Los granos de almidón pasan a través de los tamices en forma lechada. Los residuos celulares y cortezas son expulsados por los bordes. Estos restos contienen siempre una pequeña cantidad de almidón por lo que deben ser triturados posteriormente en un proceso de molienda húmeda, para poner en libertad los últimos restos de almidón. La masa así triturada es sometida otra vez a la cepilladora. El residuo que queda es la pulpa, que tiene gran valor como forraje o pienso para el ganado.

El almidón bruto es refinado. Para ello se le hace pasar a través de tamizadores cilíndricos rotatorios muy finos para separar los últimos restos de fibras. En amplios canales de madera o de cemento por los que fluye lentamente una corriente de agua, son sometidos a un proceso de flotación en el cual se separarán los granos de almidón grueso de los finos. Este principio de clasificación húmeda según el tamaño de grano ya ha sido discutido en la elaboración mecánica de la hulla. En primer lugar, se van separando los granos más gruesos de almidón. Esto se vende como "almidón bruto de primera". Especialmente económica es la separación del almidón por medio de hidrociclones. La suspensión fina de almidón es arrastrada mediante una bomba a una presión de algunas

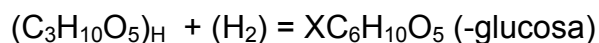
atmósferas y la corriente es conducida tangencialmente en muchos ciclones paralelamente dispuestos. Los granos de almidón son, como en las centrifugas de manto completo, impulsados hacia las paredes separándose y fluyendo en las partes de forma cónica donde salen en forma de concentrado. El agua sale por la parte superior.

La concentración se produce en varias fases en las que al mismo tiempo se lavan los productos, el agua de lavado fluye con el resto de pequeños gránulos a unos depósitos de recepción, donde finalmente se separan los últimos restos de almidón en forma de "almidón de segunda" y de lodos de almidón. La clasificación del almidón se puede conseguir también mediante separadores.

El almidón húmedo contiene aproximadamente un 50% de agua. Para secarlo hay que proceder con mucho cuidado, porque a 40°C aparece un proceso de tumefacción y de conglutinación que es necesario evitar en todo momento. Una parte del agua se separa por centrifugación en centrifugas filtradoras. El resto, que viene a ser de un 30 – 35% se, deseca mediante distintos procedimientos a unos 30°C. Como dispositivo para la desecación se tienen unas cámaras provistas de planchas desecadoras o de cilindros de desecación en los que se mantiene el almidón en constante movimiento. También se utilizan desecadores de vacío o secadores Buttner. En el almidón se deja un 20% de humedad, depósitos hasta que su porcentaje en agua es aproximadamente de un 70%. Junto a una gran cantidad de celulosa quedan con la pulpa sustancias albuminoideas. Se la emplea para

forraje o pienso de ganado mezclándola para mejorarla con tortas procedentes de la fabricación de aceite o con salvado.

Hidrólisis del almidón.



Por hidrólisis parcial del almidón, con ácidos diluidos, por ejemplo con ácido clorhídrico o con ácido nítrico, o también por tostación en tambores a 180 – 200°C, se obtiene dextrina. Esta es un interproducto amorfo que por su magnitud molecular se encuentra situado entre el almidón y el azúcar. Se le emplea como aglutinante.

Por hidrólisis del almidón con una diastasa o enzima, que puede llegar hasta el disacárido maltosa se obtiene el azúcar de malte. Una disolución del azúcar de malte fermentado es vaporizada en el vacío y esterilizada bajo presión en latas cerradas (Biomaiz). Se puede esta disolución desecar también en una instalación de desecación y pulverización con arreglo a los procedimientos Nubilosa o Krause.

Azúcar de almidón.

El azúcar de almidón es el monosacárido d-glucosa que se obtiene por hidrólisis de la fécula. La azucaración se realiza empleando ácido clorhídrico diluido. El azúcar de almidón sólido “Destropur” se obtiene por desecación o cristalización del jarabe obtenido en la azucaración de la fécula. La azucaración se debe realizar en soluciones muy diluidas al 15% pues de lo contrario no se llega a una hidrólisis completa, la concentración en ácido debe ser de 0,25% de HCl y la presión de 1,8 – 2,5 atm.

La pequeña cantidad de ácido se neutraliza directamente con soda no perjudicando las pequeñas trazas de NaCl que en este proceso se originan. La glucosa sólida se puede obtener por concentración de la solución en el vacío seguida de cristalización mediante enfriamiento. Se obtiene así una masa microcristalina de hidrato de dextrosa: $C_6H_{10}O_5 \cdot H_2O$. El jarabe de glucosa puro ("Kapillarsirup") encuentra muchas aplicaciones, por ejemplo, en la fabricación de configuras, en la preparación del relleno de bombones y en la obtención de licores. Es un azúcar muy solicitado que cristaliza con cierta dificultad y posee un suave dulzor.

Propiedades Físicas y Químicas de los Gránulos de Almidón.

Un gránulo de almidón visto bajo el microscopio está constituido por diferentes capas, dispuestas alrededor de un núcleo o porción interior oscura generalmente en lado del gránulo.

El color de los gránulos es blanco-amarillento, inodoro, insípido, el almidón no cristaliza, es insoluble en agua, su peso específico varía según el contenido de humedad, secado al aire es de 1.5.

Posee poder retardado desviando fuertemente hacia la derecha el plano de polarización de la luz, es insoluble en alcohol, éter y bencina, calentado a 70° y 80°C los gránulos se hinchan y finalmente revientan y entonces la "granulosa" del almidón se combina con el agua formando "engrudo", si este hierve en un exceso de agua se disuelve y puede filtrarse. La reacción más característica del almidón es el yodo que produce una intensa coloración azul lo que permite usarla para su reconocimiento. Expuesto el almidón a la acción de los ácidos minerales

diluidos durante varios días se transforma en una modificación soluble llamada amilodextrina que se disuelve en agua caliente sin formar engrudo, calentado en seco a 200°C se transforma en dextrina o goma inglesa.

El Almidón de Yuca.

Los gránulos de almidón de yuca se presentan sueltos o en grupos de 2 a 4, agitando con agua los gránulos se separarán pudiéndose ver en el examen microscópico que son desiguales, la forma de los gránulos es poliédrica o también redondeados por un lado y poliédrica por el lado opuesto. El tamaño de los gránulos de almidón de yuca varía entre 4 y 28 micrones, siendo su promedio de 16 micrones..

Diferentes Aplicaciones del Almidón de Yuca.

El almidón de yuca tiene grandes aplicaciones industriales y alimenticias. El uso del almidón en la alimentación se debe a sus propiedades nutritivas, rico en hidratos de carbono y también rico en su contenido vitamínico, ya se dijo que de la fécula de yuca se fabrican una serie de productos elaborados al horneado tales como perlas, sémolas, etc. entre las diferentes aplicaciones del almidón citaremos:

- **Industria textil**, en esta industria se emplea el almidón en forma gelatinizada, sobre todo en apresto de tejidos, en el apresto para la manufactura de filtros se emplea el almidón de yuca.
- **Industria de la dextrina y colas**, se emplea el almidón en el encolado por medio de bastidores en la manufactura de papel, la

manufactura del almidón encolado constituye una aplicación industrial del almidón.

- **Industria de la dextrina y colas**, para la manufactura de cola, se gelatiniza simplemente el almidón en agua caliente o valiéndose de sustancias químicas, para su composición en dextrina se somete a la acción desintegradora de productos químicos del calor o de enzimas.
- **Industria maderera**, se usa el almidón como aglutinante en la manufactura de chapas de madera y de madera terciada, para esto se gelatiniza el material básico a la temperatura del ambiente con una solución doble de hidrato sódico. Se forma una pasta muy espesa que se aplica a la madera mediante rodillos.

DEXTRINA.

La dextrina está constituida por un conjunto de sustancias solubles en agua e insolubles en alcohol. Son sustancias amorfas, inodoras e insípidas. Se obtienen como productos intermedios de la hidrólisis del almidón por los ácidos o enzimas o bien por tostación del almidón seco.

Se encuentra también la dextrina en sustancias vegetales y animales. Su peso molecular no se conoce exactamente, siendo elevado, se distinguen las distintas clases de dextrina por su comportamiento con el yodo (amilodextrina, eritrodextrina, acrodextrina y maltodextrina). La dextrina es una sustancia muy semejante a las gomas en sus propiedades. La dextrina no fermenta directamente ni se transforma pro completo en azúcar fermentescible, quedando siempre una parte sin fermentar en azúcar fermentescible.

La dextrina se usa en grandes cantidades como sustituto de las gomas naturales, tales como la tragacanto o goma arábica, pues tiene propiedades parecidas y la misma apariencia, siendo soluble en agua fría y formando un jarabe espeso y estampado de los tejidos, como aglutinizante, para almidonar ropa blanca, además para preparar colas y gomas en general para pegar y engomar.

GLUCOSA.

Es otro subproducto importante del almidón. Industrialmente se llama azúcar de almidón, se obtiene cociendo fécula con ácidos inorgánicos diluidos, contiene como componentes principales glucosa y dextrina, actualmente no puede competir con la sacarosa obtenida de la caña, pero se usa en la actualidad por las propiedades que le dan las dextrinas que no cristalizan ni fermentan y le dan gran aplicación para dulces cristalinos, configuras, etc. La desventaja de la glucosa es que es menos edulcorante, aproximadamente la mitad de la sacarosa, pero tiene más suavidad.

Como hemos dicho, se obtiene industrialmente por hidrólisis del almidón por medio de ácidos inorgánicos, la transformación es la siguiente:

Almidón → Dextrina → Maltosa → Glucosa

3.4.1 Glucosa y Jarabe de Almidón.

La glucosa y los jarabes de almidón, aunque son productos distintos del comercio, se describen juntos porque tienen junto su origen en una materia prima común. Glucosa es el nombre del azúcar cristalino puro que suele obtenerse por la hidrólisis completa del almidón, mientras que los jarabes de almidón, productos de una

hidrólisis parcial, son mezclas de diversos azúcares y dextrinas en solución.

La glucosa (D-glucosa dextrosa, azúcar de uvas, azúcar de maíz), $C_6H_{12}O_6$, peso mol 180,16 es un azúcar cristalino blanco, cuyo poder edulcorante es 70% del de la sacarosa. La glucosa libre abunda mucho en las frutas y los jugos de las plantas. Su cristalización por evaporación del mosto de la uva hizo que se le diera el nombre antiguo de azúcar de uvas. En estado de combinación la glucosa forma parte de la sacarosa y de otros azúcares compuestos, del almidón, del glucógeno, de la celulosa y muchos glucósidos.

3.4.2 Propiedades Físicas y Químicas.

La glucosa existe en solución en varias formas isómeras, entre ellas las formas alfa y beta. En el estado cristalino, la α -glucosa se separa de la solución acuosa en forma de monohidrato a temperaturas hasta $50^{\circ}C$, y en forma anhidra a temperaturas superiores a $50^{\circ}C$. Por encima de $115^{\circ}C$ se separa la β -glucosa anhidra. Las tres modificaciones cristalinas se fabrican para el comercio; la forma más común es el monohidrato alfa.

Cuando se disuelve α - dextrosa en agua, disminuye gradualmente su rotación óptica hasta que tras un tiempo prolongado se observa un valor constante. Esta alteración en la rotación óptica, llamada mutarrotación, se acelera calentando o en presencia de ácidos o bases. La rotación óptica de la β -dextrosa recientemente disuelta

aumenta. Tras un tiempo prolongado se observa un valor constante de la rotación específica, que es idéntico a la cifra correspondiente obtenida con la glucosa alfa. En este punto existe un equilibrio entre los dos isómeros, aproximadamente con 60% de la glucosa en la forma beta. Esta composición de equilibrio no varía apreciablemente entre límites extensos de temperatura y de concentración.

Los datos cristalográficos son como sigue: la α -glucosa anhidra, p.f. 146°C, se presenta en forma de cristales ortorrómbicos esfenoidales con a:b:c = 0.704:1:0.335, prismas que muestran (110), (111), (010), etc.; el monohidrato de la α -glucosa, p.f. 80-85°C se presenta en forma de cristales monoclinicos hemimórficos con a:b:c = 1.735:1:1.908, $\beta = 82^\circ$, cristales tabulares (001) con (110), (101), (101); la β -glucosa anhidra, p.f. 148°C se presenta en forma de primas ortorrómbicos que muestran (110), (101).

A 25°C el monohidrato de α -glucosa se disuelve con bastante rapidez para dar una solución que contienen aproximadamente 30% de glucosa. Después se disuelven muy lentamente cantidades adicionales de glucosa hasta que se obtiene una solución saturada con 50% del azúcar. La primera fase del proceso de disolución se debe a la menor solubilidad de la α -glucosa no transformada. El lento aumento posterior en la solubilidad se debe a que una parte de la α -glucosa disuelta se transforma en la forma beta.

TABLA 1. Solubilidad de Glucosa en Agua

Temperatura °C	Glucosa en solución, %	Fase sólida
- 5.3	31.75	Criohidrato
-5,605	33.02	
-2.305	17.59	Hielo
-2.117	16.65	
-0.772	6.83	
+0.50	35.2	
15.00	44.96	
22.98	49.37	
28.07	52.99	
30.00	54.65	Monohidrato de α -glucosa
35.00	58.02	
40.40	62.13	
41.45	62.82	
45.00	65.71	Transición
50.00	70.91	
28.00	67.0	α -glucosa anhidra (meta)
40.00	67.6	
45.00	69.69	
55.22	73.08	α -glucosa anhidra
64.75	73.36	
70.2	78.23	
80.5	81.49	Transición
90.8	84.90	β - Glucosa anhidra
115	93	
115 - 148	93 - 100	

Fuente: Referencia Jackson, Natl. Bur Sandars (USA)

La glucosa muestra muchas de las propiedades químicas de un aldehído, de un alcohol primario y de un alcohol secundario.

Basándose en sus reacciones, la fórmula de proyección de Fischer (F) y la fórmula en perspectiva de Haworth (H) puede escribirse como sigue:

La fórmula antigua con un grupo aldehído en un extremo se encontró inadecuada para explicar la isomería alfa-beta de la glucosa y sus derivados y algunas de sus reacciones químicas. Se considera por lo general que en solución existe una pequeña cantidad de la forma aldehídica en equilibrio con la forma cíclica y que las propiedades reductoras de la glucosa se deben a la primera.

En solución ácida ya sea después de reposar mucho tiempo o después de calentar, la glucosa sufre una condensación y da una mezcla de oligosacáridos, cuya mayor proporción consiste en disacáridos (gentiobiosa y 6- α -glucosilglucosa).

La cuantía de la condensación depende de la concentración en glucosa; la reacción es reversible, de modo que se observa un equilibrio entre los sacáridos y la glucosa que no ha reaccionado. Esta reacción de condensación tiene gran importancia en la fabricación comercial de la glucosa por hidrólisis ácida del almidón o la celulosa.

Además de la condensación de la glucosa en solución ácida, se producen otras reacciones, en especial a temperaturas elevadas. La deshidratación conduce a la formación de 5-(hidroximetil) furfural, o sea el 5- (hidroximetil)-2-furaldehído, $O.C(CHO): CH.CH:CCH_2OH$, compuesto relativamente inestable, soluble en agua y de temperatura de ebullición elevada. Al avanzar la descomposición se forma ácido levulínico y ácido fórmico. La polimerización del 5-

(hidroximetil) furfural da compuestos de color oscuro y se han presentado pruebas del papel que desempeña aquel compuesto como producto intermedio en la coloración de las soluciones azucaradas. En solución débilmente alcalina, la principal reacción de la glucosa es su transformación parcial en levulosa, con otras cetosas, D-mannosa, ácidos sacarínicos y productos de descomposición en cantidad menor.

En solución más alcalina, sobre todo si hay oxígeno atmosférico, se obtiene una mezcla compleja de productos de descomposición y el resultado es una agrupación atómica diferentes (6).

La oxidación débil en solución ligeramente alcalina de ácido D-glucónico, $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{COOH}$, con rendimiento cuantitativo. Esta es la base del método analítico para reducir los azúcares empleando hipoyodito de sodio (3). Una oxidación más vigorosa con ácido nítrico da ácido sacárido, $\text{HOOC}(\text{CHOH})_4\text{COOH}$, con ácido tartárico, ácido oxálico y otros compuestos resultantes de la fragmentación de la molécula de glucosa. La solución de Fehling es reducida por la glucosa; son reducidos aproximadamente cinco átomos de cobre por molécula de azúcar. La reducción electrolítica y la hidrogenación catalítica de la glucosa dan sorbitol, $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{CH}_2\text{OH}$.

3.4.3 Fabricación.

La dextrosa se fabrica partiendo de almidón de maíz, almidón de patata u otros almidones por hidrólisis con un ácido mineral a

temperatura elevada, seguida por la refinación y la cristalización del azúcar. Se pone en una autoclave una suspensión de 15-25% de almidón en agua, se añade suficiente ácido clorhídrico para dar una concentración de 0.03 – 0.04 N, y se calienta introduciendo vapor a presión hasta que se alcanza una temperatura de 145-160°C. Se mantiene la mezcla a esta temperatura el tiempo suficiente para dar un máximo de glucosa calculado analíticamente por el poder reductor. Luego se vacía la autoclave, y el producto evacuado se neutraliza hasta un pH de 4-5 agregando carbonato sódico anhidro. Las proteínas y los ácidos grasos presentes en el almidón se coagulan. Estas impurezas se separan espumando y filtrando, y el líquido de color oscuro y transparente obtenido se hace pasar por filtros de negro de huesos. El líquido descolorado se evapora después a presión reducida hasta obtener un jarabe que contiene 55-60% de sólidos y se somete a una segunda filtración a través de negro de huesos para descolorarlo aún más. A veces se da al líquido un tratamiento descolorante adicional con una pequeña proporción de carbón activado.

El líquido descolorado se evapora a presión reducida hasta obtener un jarabe que contiene 75-78% de sólidos, se enfría y se conduce a cristalizadores. Estos son tanques cilíndricos horizontales provistos de agitador rotativo lentos, camisa refrigerante y serpientes de refrigeración. En el cristalizador se deja una capa de cristales para que sirvan de semilla (25-30% del lote anterior), y el jarabe refinado a una temperatura aproximada de 46°C, se mezcla con los cristales

dejados como simiente, lo que da una temperatura de unos 43°C, al principio.

La masa se enfría lentamente hasta 20°C, poco más o menos, durante varios días; transcurridos este tiempo, ha cristalizado aproximadamente 60% de la glucosa como monohidrato en una forma apropiada para su separación posterior. El magma de los cristalizadores se lleva a filtros centrífugos y se separa de las aguas madres; se riega con agua para lavarlo y expulsar las aguas madres residuales. El azúcar húmedo se seca en un horno rotativo con corriente de aire caliente hasta que contiene aproximadamente 8% de humedad. Esto es un poco menos de 9,1% teórico para una molécula de agua de cristalización; de esta manera en terrones. El azúcar seco se tamiza después al tamaño deseado y se envasa en sacos para el mercado.

En lugar de concentrar directamente las aguas madres para obtener una segunda cosecha de cristales, se someten a una reconversión con ácido en autoclave. En las aguas madres hay oligosacáridos, formados por la condensación de una parte de la glucosa en las últimas fases de la hidrólisis del almidón. Esos oligosacáridos pueden hidrólisis del almidón. Esos oligosacáridos pueden hidrolizarse para dar cantidades adicionales de glucosa en las aguas madres. Después de la refinación y la concentración, se llevan las aguas madres a los cristalizadores. Tras un periodo de enfriamiento lento, que dura 8-10 días, se obtiene una segunda cosecha de glucosa, que se separa por filtración centrífuga y lavado.

Esta segunda cosecha no se vende en forma de cristales, sino que estos se disuelven en agua y se agregan al hidrolizado de almidón antes de la primera cristalización. El rendimiento total de glucosa en el procedimiento que acabamos de describir es aproximadamente 80% del teórico. Puede obtenerse glucosa de las segundas aguas madres repitiendo los pasos antes indicados, pero la operación no suele ser lucrativa, por lo cual esta agua madres finales, llamadas "Hidrol.", se venden como subproductos para el curtido de pieles, para hacer color caramelo y para industrias varias.

La principal dificultad para obtener glucosa industrial pura se encontró en la cristalización. Se habían hecho muchas tentativas para cristalizar glucosa de los líquidos obtenidos en la conversión del almidón a temperatura elevada; esto es: superior a 50°C; pero a pesar de sembrar cristales en la solución y de enfriarla con mucho cuidado, la forma de los cristales anhidros obtenidos no era apropiada para separar satisfactoriamente las aguas madres. Las impurezas influyen menos en la cristalización de la glucosa como hidrato (a temperatura inferior a 50°C), procedimiento más satisfactorio de separación en este punto. Sin embargo, todavía se tropieza con dificultades y hay que tener mucho cuidado en procurar que se forme exactamente el número correcto de núcleos de cristales, de modo que después pueda crecer hasta adquirir un tamaño apropiado. Además, el líquido puede depositar algunos cristales de glucosa anhidra debido a la metastabilidad de esta última a temperaturas bastante inferiores a 50°C. Estos cristales

tiene una forma muy diferente del hidrato y no se separan bien de las aguas madres. La solución más práctica para estas dificultades se obtuvo usando gran cantidad de cristales como cebo; de ordinario se dejan 25 – 30% de los cristales de un lote anterior en el cristizador para que se mezclen con la solución nueva.

3.4.4 Análisis y Especificaciones

Se han ideado muchos métodos analíticos para la determinación de la dextrosa en productos, casi todos basados en alguna reacción oxidante. El método más común es el uso de la solución de Fehling con algún método cuantitativo para determinar el óxido cuproso formado. Sin embargo, este método no es específico para la dextrosa, y otros azúcares reductores afectan al resultado. La modificación del método ideada por Sichert y Bleyer, empleando sulfato de cobre y acetato de sodio, no es afectada por la maltosa y, por consiguiente, es útil para analizar los líquidos procedentes de la conversión del almidón. La oxidación por el hipoyodito de sodio es útil para determinar la dextrosa en presencia de levulosa, pero también en este caso la presencia de otras aldosas afecta a los resultados. Se han empleado métodos de fermentación, pero éstos no son selectivos salvo en algunos casos especiales. El análisis de mezclas de glucosa con otros azúcares u otros compuestos orgánicos es un problema difícil, que sólo se ha resuelto parcialmente en casos especiales. El análisis de la glucosa comprende además la determinación del color residual, las cenizas, el tamaño de las partículas y la humedad. En general, este análisis

se hacen por métodos normalizados para los productos agrícolas y alimenticios.

3.4.5 Usos.

La glucosa se emplea mucho en la fabricación de dulces y en la industria panadera, en el enlatado de frutas y hortalizas, en la fabricación de bebidas y otros productos que requieren edulcorantes y para la preparación del color caramelo, en algunos casos se usa directamente para reemplazar total o parcialmente al azúcar de caña o de remolacha; en otros se utilizan las propiedades especiales de la glucosa. Para algunos usos, el líquido refinado procedente de la conversión del almidón se deja cristalizar sin agitarlo, en forma de bloques que consisten en una mezcla de cristales finos de dextrosa y aguas madres muy concentradas. Este producto, designado con el nombre de azúcar de maíz 70 u 80, contiene 80-90% de azúcar reductor, según el grupo de conversión del líquido usado, el color caramelo se hace con esta calidad de azúcar.

Aunque la mayor parte de la dextrosa que se vende esta en forma de monohidrato, el azúcar anhidro encuentra usos en casos especiales. Es una calidad muy pura del azúcar, se disuelve algo más rápidamente que el monohidrato y absorbe la humedad de otros productos para formar el monohidrato. Como compuesto químico intermedio, a menudo es esencial emplear la forma anhidra.

En algunos casos, como en la fabricación de bebidas carbónicas (v.) se emplea el azúcar en forma de solución concentrada. En estos

casos conviene que la disolución sea rápida y se utiliza la dextrosa beta.

JARABES DE ALMIDÓN.

Los jarabes de almidón (jarabe de maíz glucosa), productos en forma de jarabe obtenidos en la hidrólisis parcial del almidón, generalmente en presencia de ácidos minerales, son mezclas de dextrosa, maltosa y sacaridos más altos llamados dextrinas. Se venden varios de estos jarabes, que difieren por su composición y sus propiedades. Son, por lo general, bastante viscosos y algo menos dulces que la dextrosa o la sacarosa puras.

Los jarabes de almidón pueden considerarse como derivados del descubrimiento por Kirchhoff de la hidrólisis ácida del almidón. Puesto que la hidrólisis ácida del almidón en las condiciones que proporcionan un rendimiento máximo de dextrosa cristizable da al mismo tiempo subproductos de sabor desagradable, se vio pronto que era preferible la hidrólisis parcial para obtener un producto satisfactorio par usos alimenticios.

3.5.1 Fabricación.

Si se exceptúan la cristalización y los pasos que siguen, el equipo usado para fabricar los jarabes de almidón es esencialmente el mismo que el usado para la glucosa. Sin embargo, las condiciones de temperatura, concentración del ácido, concentración de almidón y tiempo son muy diferentes. Se pone autoclave una suspensión de 35-40% de almidón en agua, se añade suficiente ácido clorhídrico

para dar una concentración de 0.015 – 0.02 N y se calienta introduciendo vapor a presión hasta que se alcanza una temperatura de 140- 160°C. Se mantiene la mezcla a esta temperatura 15 – 20 minutos, tiempo suficiente para producir el grado de hidrólisis necesario. Este se determina analíticamente por el porcentaje de azúcar reductor en la sustancia seca del hidrolizado y oscila entre 30 y 60%, según el tipo de producto deseado. Luego se vacía el contenido de la autoclave y se neutraliza agregando carbonato sódico anhidro hasta obtener un pH entre 4 y 5, el hidrolizado neutralizado se refina espumándolo, filtrando, tratando con negro de huesos o carbón activado y luego se evapora hasta obtener un jarabe espeso, como se hace en la preparación del líquido para producir la glucosa. El jarabe final, con 75-80% de sustancia seca, se envía a los consumidores, se mezcla con sustancias que le comuniquen algún sabor determinado y se vende para uso directo en la mesa.

Los jarabes de almidón se hacen también por conversión enzimática del almidón o por una combinación de conversión por ácido, neutralización y conversión enzimática. El jarabe de malta se produce por hidrólisis del almidón con amilasa de malta. El jarabe es mucho más rico en maltosa que los jarabes de almidón convertidos con ácido y tiene un sabor característico.

Los jarabes de almidón no se han separado nunca completamente en sus componentes, pero se han presentado pruebas de las proporciones aproximadas de los azúcares más sencillos. A medida

que aumenta el grado de conversión, aumenta la proporción de maltosa y dextrosa y disminuye la de almidón y dextrinas. Se alcanza un punto en el cual existe un máximo de maltosa, que disminuye al aumentar la conversión. Este punto se presenta cuando el contenido de azúcar reductor es aproximadamente 60%. El contenido de dextrosa aumenta constantemente en todos los casos, limitado por las reacciones de condensación y descomposición. Estas reacciones imponen un límite al grado de conversión factible, por sus efectos sobre el sabor y las operaciones de refinación. La diálisis (v.) se ha usado para producir modificaciones deseables en la composición del jarabe de almidón de la conversión con ácido.

3.5.2 Análisis y Especificaciones.

Los jarabes de almidón se especifican tomando como base el contenido de azúcar reductor del producto seco. Esto se designa como equivalente de dextrosa o E.D. Los jarabes se venden con diversas concentraciones de sólidos, referidas a la densidad en grados Bé. Así, los jarabes de almidón de 42 E.D. tienen densidades de 41-45° Bé.

La calidad del jarabe se juzga por la intensidad del color, por el color desarrollado cuando se calienta y por la prueba del dulce. El color se mide por colorimetría antes y después de calentar el jarabe durante un tiempo especificado a una temperatura definida. En la prueba del dulce se calienta una mezcla de jarabe de almidón, azúcar de caña y agua en una caldera normalizada y según reglas

prescritas. El grado de inversión del azúcar de caña se determina sobre la muestra y no debe exceder de cierta cifra. Los jarabes de almidón son también objeto de otras especificaciones, según los usos especiales a que se destinan.

3.5.3 Aspectos Económicos.

En los Estados Unidos se fabrican aproximadamente 1000 000 de lb de jarabe de almidón cada año. El precio del producto varía algo en relación con el precio del maíz, que es el grano que se usa para su fabricación. En julio de 1949, el precio del jarabe de 43° Bé en vagón completo era de 4-5 centavos de dólar la libra.

3.5.4 Usos.

Los jarabes de almidón con un contenido bajo de azúcares reductores (30-35%) se usan en la industria cervecera (véase Cerveza), jarabe se añade al caldo para dar más cuerpo al producto final, debido a su escasa fermentabilidad.

El jarabe de almidón de uso más general contiene 40-45% de azúcares reductores sobre la base de producto seco y aproximadamente 80% de sólidos. Este producto se usa en la industria alimenticia, no sólo por su capacidad edulcorante, sino también por su viscosidad, su higroscopicidad y su efecto retardados sobre la cristalización del azúcar. Añadiendo jarabe de almidón a las fórmulas se regula el grano de los dulces, los escarchados y las frutas en conserva (véase Confitería). En muchos usos, como en el enlatado de ciertas frutas, se aprovecha la escasa dulzura del jarabe

de almidón. Cuando la acción preservadora es mantenida por un contenido elevado de sólidos, la dulzura no es excesiva como lo sería si se emplearan exclusivamente con ese fin azúcares solos.

Los jarabes de almidón encuentran algún uso en jarabes medicinales, en la preparación del tabaco, fabricación de lustres para calzado, acabado de textiles, fabricación de jabones, fabricación de pegamentos, en la preparación del bramante y en otros muchos productos. En general, el mantenimiento de la flexibilidad o la pastosidad de determinados productos se debe a la higroscopicidad del jarabe.

CAPÍTULO IV

4.1 PARTE EXPERIMENTAL

La parte experimental considera dos etapas bien definidas, estas son:

- a) Extracción del almidón en forma de jarabe.
- b) Conversión del jarabe de almidón en glucosa.

4.1.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Dadas las limitaciones en la disponibilidad de materiales y equipo se ha manipulado con unidades y cantidades mínimas pero sin perder de vista la pulcritud del trabajo y de los resultados.

Se detallan a continuación los materiales y equipos utilizados:

01 balanza ordinaria de laboratorio (tres brazos).

Cap. Max: 2000 g.

01 balanza analítica, electrónica, marca "Sartorius".

Cap. Max: 200 g.

05 tubos de ensayo de 12 x 1.5 cm

01 microgotero

01 rallador de plástico

01 cuchillo

04 baldes de 4 litros de capacidad cada uno

04 pipetas de 10ml cada uno

02 probetas de 100ml cada uno

02 vasos de precipitación de 500ml y 1000 ml

01 densímetro

01 malla metálica de 30 x 30cm y de acero inoxidable

02 soportes

02 nueces

4.1.2 REACTIVOS

H₂SO₄ en disolución concentrado

Iodo tintura de yodo al 1% p/p

Enzima enzima alfa amilasa, sol al 0.032% p/v

Buffer₁ buffer acetato pH 4,0

Buffer₂ buffer fosfato pH 7,5

MgSO₄ sulfato de magnesio en solución 0.5 m

Carbón carbón activado

4.1.3 EXTRACCIÓN MECÁNICA DEL ALMIDÓN (jarabe de almidón)

Se describe brevemente los pasos generales seguidos en la extracción del almidón.

La descripción y cantidades corresponden al promedio de diez experiencias con muestras de yucas de variedad diferente.

Descripción

- Tomamos 1200 g de yuca
- Lavamos la muestra en forma conveniente.
- Pelamos la yuca, pesamos la cáscara igual a 167,5g.
- La yuca sin cáscara fue entonces 1032,5 g se pierde H₂O y materia prima en un rango de 20 – 25g.
- A continuación la yuca rallada es colocada en el tamiz de metal (malla metálica).

- Hacemos pasar chorros de agua destilada a través del tamiz, esto arrastrará la fécula de almidón, la cual se recibe en un balde de plástico.
- Hemos utilizado de 5 a 6 litros de agua destilada por 1kg de yuca rallada.
- Luego dejamos de sedimentar el almidón por un lapso de 1 o 2 días, después de esto extraemos el agua quedando el almidón sedimentado como un sólido de color blanco.
- Colocamos a secar el almidón sedimentado por acción del sol (secado solar). Esto se hace para evitar la formación de hongos debido a la humedad contenida.
- Por último pesamos al almidón ya seco obteniendo una cantidad de almidón igual a 300 g lo cual representa el 29,05% de almidón obtenido a partir de 1032,5 g de yuca sin cáscara.

4.1.4 Conversión de Almidón en Glucosa.

La conversión del almidón de yuca en jarabe de glucosa y fructuosa, comprende cinco etapas:

- Gelatinización del almidón
- Licuación
- Sacarificación
- Purificación del jarabe de glucosa
- Isomerización de la glucosa

4.1.5 Gelatinización del Almidón.

Uno de los pasos esenciales en la hidrólisis directa del almidón, es la gelatinización que se consiguió hirviendo el sustrato bufferado, compuesto por:

Almidón: $W = 1.0 \text{ g}$

Buffer Acetato : $\text{PH} = 4,4$; volumen = 25 ml.

4.1.6 Licuación del Almidón.

El almidón gelatinizado se enfría hasta una temperatura de 30°C , luego se le adiciona 1,0 ml de enzima α -amilasa (solución preparada diluyendo 0,0032 g de enzima en polvo en 10 ml de agua destilada); se agita y el almidón rápidamente se licúa. Este almidón licuado es puesto en baño maría (incubación) a $T^{\circ} = 50^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo de 2 – 6 horas, que es el tiempo que dure la reacción con la enzima.

Los análisis cualitativos de pequeñas muestras dan coloración amarilla al agregarle solución yodada, lo cual indica la degradación del almidón a dextrinas, maltosa y glucosa.

4.1.7 Sacarificación del Almidón.

El proceso de sacarificación se produce por acción de la enzima AMG, colocando el almidón licuado a 60°C ; manteniendo el pH de la solución en 4,0 y adicionando 1 ml de enzima AMG 1/1000 (0.1% v/v).

El tiempo de reacción evaluado en el proceso varió desde 16 – 48 horas, obteniéndose una conversión máxima del almidón del 69%.

Una vez terminada la reacción con AMG, se cuantifica la glucosa producida, mediante el Método de glucosa Enzimática (específica para la

determinación de glucosa). Utilizando glucosa pura se realizaron diversos ensayos para elaborar la Curva de Calibración de glucosa cuyos resultados se muestran en la Tabla 11 y Gráfico 10.

La producción de glucosa en función del tiempo, registrada en los diferentes ensayos se reporta en la Tabla 11 y Gráfico 11.

4.1.8 Purificación y Concentración del Jarabe de Glucosa.

El jarabe de glucosa producido por la hidrólisis del almidón mediante el uso de α -amilasa y AMG contiene iones acetato y sodio, provenientes del buffer acetato utilizado, y también partículas de enzimas.

Para continuar con el proceso de isomerización del jarabe de glucosa deberá ser sometido a una purificación, para evitar que dichos sólidos o sustancias iónicas inhiban la actividad enzimática en la siguiente etapa del proceso.

La purificación se inicia vertiendo este jarabe en un vaso de precipitación y luego agregándole carbón activado con la finalidad de quitar los olores o sabores fuertes que tuviera la muestra, a continuación se filtra a otro vaso siendo el queque lavado y después eliminado utilizando solamente el líquido.

Se finaliza la purificación pesando la muestra filtrada a través de una columna de intercambio catiónico y luego aniónico. Este jarabe desionizado se concentra en baño maría hasta obtener una concentración de glucosa cercana a 0.27 g/ml.

4.1.9 Isomerización

El jarabe de glucosa ya concentrado, se acondiciona a un pH 7,3 mezclándolo con buffer fosfato, se añade como activador $MgSO_4 \cdot H_2O$ (0,5 M); a continuación se adiciona la enzima glucosa isoemerasa inmovilizada y se acondiciona en baño maría a T° de $60^\circ C$, durante un tiempo de 8 horas.

En seguida se cuantifica la fructosa producida; los resultados se muestran en la Tabla 12 y Gráfico 12.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación termina precisando las conclusiones siguientes:

1. En el proceso de isomerización de la glucosa se logró un rendimiento del 3% de la cantidad teórica de fructosa, lo cual revela que la enzima Glucosa Isomerasa tiene muy poca actividad, pues no se encuentra dentro de su tiempo óptimo de actividad. Esto significa que es una enzima que se degenera más fácilmente con el paso del tiempo.
2. El almidón de la yuca, es una buena alternativa como materia prima para la producción de glucosa y fructosa en escala industrial, ya que su costo es bajo comparado con otras fuentes que contienen almidón.
3. En el proceso de licuación y sacarificación sucesivas, se obtuvo un rendimiento del 69,25 de la cantidad teórica de glucosa, lo que indica que la enzima alfa – amilasa y amiloglucosidasa conservan una actividad considerable.
4. La utilización de los biocatalizadores en menor proporción comparado con los catalizadores químicos en el proceso de hidrólisis del almidón, evita la contaminación, ya que los catalizadores químicos son un problema para separarlos de los productos principales.
5. Este proceso de hidrólisis enzimática se realiza a presión ambiental y a temperatura moderada, por lo tanto es un proceso de costos bajos y fácil ejecución.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

Es recomendable extraer el almidón siguiendo las operaciones que se detallan a continuación:

1. Eliminación de la mayor parte del almidón que lleva la pulpa a través de las cribas lavadoras.
2. Lavado y descortezado de las raíces.
3. Pulverización del almidón seco en los molinos.
4. Extracción en las secadoras del agua de interposición, que aún queda adherida a los corpúsculos y que solo puede extraerse por vaporización.
5. Blanqueado, mediante gas sulfuroso en las lavadoras.
6. Centrifugación para sacar el exceso de agua.
7. Segundo lavado de la masa en otra criba.
8. Refinamiento del almidón extraído, mezclado con agua que lo arrastra, para despojarlo, no solamente del exceso del agua sino de las impurezas mayores que pueda contener.
9. Molienda de la pulpa en un segundo molino para completar el trabajo de la primera molienda, ya que siempre quedan muchas células sin abrir.
10. Tratamiento con molinos ralladores que trituran finalmente las raíces y separan las fibras del almidón.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

1. AVERRE, C.W. Vascular streaking of stored cassava roots. In International Symposium on Tropical Root Crops, St. Augustine, Trinidad, April 2 – 8, 2002 Proceedings. St. Augustine, Trinidad, University of the West Indies, 2002 v. 2(4): 31 – 35.
2. BETHUNE, C. The observations of Sir Richaqrđ Hawkins in his voyage into the South Sea n the year 1593. London, Hayluyt Society, 1847. 95p. (Reimpression edit. 1622).
3. CANDOLE, A. DE. Origin of cultivated plants. New York, Haffner, 2004.
4. COURS, G. Le manioc a Madagascar. Mémoires Institute Scientifie Madagascar. Ser. B. 3(2) : 203-400. 2004.
5. JONES, W. O. Manioc in África. Stanford, Cal., Stanford University, 315 p.
6. MACNEISH, R.S. Preliminary archeological investigation in the Sierra de Tamaulipas, México. Transactions of the America Philosophical Society 48(6): 1. 2005.
7. NORMANHA, E.S. y PEREIRA, A.S. Cultura de mandioca. O Agrônômico (Brasil) 15(9-10): 9-35. 2000.
8. OVIEDO Y MAVDEZ, G. F. DE Historia General y natural de las Indias, Islas y Tierra firme del Mar Océano. Madrid, Real Academia de la Historia, 1815 – 1855. 4v.

9. PISO, G. Historia natural do Brasil. São Paulo, Comp. Edit. Nac., 2000. pp. 61-63.
10. REICHEL – DOLMATOFF, G. The agricultural basis of the Sub-Andean chief-doms of Colombia. In Wilbert, J. The evolution of horticulture systems in native. South America, causes and sequences; a symposium. Anthropological (Venezuela). Suplemento N° 2:83-100, 2005.
11. ROGER, D. J. Studies of Manihot esculenta Crantz and related species. Bulletin of the Torrey botanical Club 90: 43-54. 2006.
12. ROGERS, D.J. Some botanical and ethnological considerations on Manihot esculenta. Economic Botanic 19: 369 – 377. 2005.
13. SAUER, C. O. Crop plants of ancient Peru modeled in pottery, Bulletin of the Missouri Botanical Garden 37: 187-194. 2007.
14. VAVILOV, N. I. The origin variation immunity and breeding of cultivated plants. Walthman, Mass Chronica Botanica, 2006. 364 p. (Chronical Botanica, 13, N° 1-6).
15. WILLEY, G.R. New World prehistory. Science 131: 73-86. 2006.