



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales
Cuautitlán**

**ESTUDIO MONOGRAFICO SOBRE EL VALOR
ALIMENTICIO Y LA TOXICIDAD DE LA
YUCA MANIHOT ESCULENTA CRANTZ**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

Q. F. B. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

EDUARDO GERSON GALINDO VILLA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MEX. 1980



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PRESIDENTE

Q. ARTURO JANOVITZ KLAP

V O C A L

Q. LAURA BERTHA REYRS SANCHEZ

SECRETARIO

Q. CONSUELO YEPEZ IZQUIERDO

1er. SUPLENTE

I.Q. MARTIN TREJO BURGUEÑO

2o. SUPLENTE

I.Br. ARMANDO JAYME SALAZAR

Lugares donde se desarrolló el tema:

ENEP-C. Departamento de Química.

Sección de Química Agrícola.

Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del IPN.

Instituto de Biología de la UNAM.

Universidad Nacional Autónoma de Chapingo.

Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas.

Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarías.

INDICE

INTRODUCCION -----	1
Capítulo 1. GENERALIDADES -----	2
1.1 Nomenclatura -----	2
1.2 Descripción Botánica de la Yuca -----	2
1.3 Distribución Geográfica de la Yuca -----	4
1.4 Condiciones Ecológicas Apropriadas Para el Desa- rrollo de la Yuca -----	6
1.5 Cultivo de la Yuca, Cosecha y Rendimiento -----	7
1.6 Influencia de los Fertilizantes en el Desarro- llo y Rendimiento de la Yuca -----	8
1.7 Efecto de los Reguladores del Desarrollo (Hormo- nas) en la Yuca -----	12
1.8 Enfermedades y Plagas de la Yuca -----	13
1.9 Deterioro, Cambios y Conservación de la Yuca --	14
1.10 Formas de Consumo de la Yuca Para Alimentación_ Humana y Animal -----	16
1.11 Hojas de Yuca Como Alimento -----	17
Capítulo 2. COMPOSICION QUIMICA DE LA YUCA -----	19
2.1 Contenido de Protefnas, Lípidos, Carbohidratos, Minerales y Vitaminas de la Yuca -----	19
2.1.1 Tubérculo Completo -----	19
2.1.2 Corteza del Tubérculo -----	19

	pag
2.1.3 Pulpa o Porción Comestible del Tubérculo -----	22
2.1.4 Composición Química de las Hojas de Yuca -----	22
2.1.5 Principales Preparaciones de la Yuca y su Composición Química -----	25
2.2 Contenido de Acido Cianhídrico de la Yuca y su Toxicidad -----	30
2.2.1 Forma en que se Encuentra el Acido Cianhídrico en la Yuca -----	30
2.2.2 Liberación Enzimática del Acido Cianhídrico y Contenido de Linamarasa -----	31
2.2.3 Contenido de Acido Cianhídrico, Causas que lo Provocan y Características que Imparte a la Yuca -----	31
2.2.4 Importancia del Acido Cianhídrico en la Yuca -----	37
2.2.5 Detoxificación de la Yuca -----	38
2.2.6 Cianuro y Tiocianato en el Cuerpo -----	39
2.2.7 Alteraciones que Sufre el Organismo Debido a la Detoxificación del Cianuro Contenido en la Yuca -----	40

	pag
Capítulo 3. CALIDAD NUTRITIVA DE LA YUCA -----	42
3.1 Calidad Nutritiva del Tubérculo de Yuca -----	42
3.1.1 Digestibilidad de la Yuca en Relación con la Actividad de la α -Amilasa y la Influencia que Puede Tener Sobre Cier tas Enzimas -----	42
3.1.2 Calidad de la Protefna del Tubérculo --	44
3.1.3 Energía Metabolizable de la Yuca -----	48
3.2 El Tubérculo de Yuca en la Alimentación Animal -	49
3.2.1 Formas de Suministrar el Pubérculo a los Animales -----	49
3.2.2 La Harina de Yuca Como Parte de las Die tas Para Pollos -----	50
3.2.3 La Harina de Yuca en la Alimentación de los Cerdos -----	51
3.2.4 La Harina de Yuca en la Dieta Humana --	54
3.3 Calidad Nutritiva de las Hojas de Yuca -----	59
3.3.1 Composición de Aminoácidos de la Pro tefna de las Hojas de Yuca -----	59
3.3.2 Digestibilidad, Valor Biológico, Utili zación Neta de Protefna y Nitrógeno Uti lizable de la Protefna de Hojas de Yuca. Disponibilidad Verdadera de los Aminoá cidos -----	61
3.4 Las Hojas de Yuca en la Alimentación Animal -----	66

Capítulo 4. IMPORTANCIA ECONOMICA Y APROVECHAMIENTO DE LA YUCA -----	70
4.1 Producción Mundial de Yuca -----	70
4.2 Importancia Económica de la Yuca -----	70
4.3 Problemas de la Yuca -----	74
4.4 Investigación Sobre el Cultivo de la Yuca -----	77
CONCLUSIONES -----	78
Apéndice 1 -----	80
Apéndice 2 -----	81
Apéndice 3 -----	84
Apéndice 4 -----	85
Referencias -----	88

INTRODUCCION

La presente investigación tiene como objetivo cubrir parte de los conocimientos que deben tomarse en cuenta en cualquier proyecto de desarrollo agrícola y/o agroindustrial de la yuca, cuya área de aplicación comprende las zonas tropicales.

Esta monografía incluye la revisión de una gran parte de artículos editados por revistas científicas en los últimos 10 años (1968---1978), sobre investigaciones hechas en la yuca, en lo referente a sus propiedades químicas, específicamente, contenido de sustancias nutritivas y tóxicas. La revisión también incluye información de artículos anteriores a los años citados, así como de algunos libros cuyo contenido resultó ser de importancia para cubrir los diferentes temas.

En esta monografía, se presenta el contenido de sustancias nutritivas en diferentes partes del tubérculo y de las hojas de la yuca, un estudio del compuesto tóxico (ácido cianhídrico) natural de la planta y la forma más adecuada de incluir la yuca en la alimentación, tanto humana como animal.

En el capítulo de generalidades, se expone una serie de circunstancias (condiciones ecológicas, fertilizantes, plagas, etc.) que afectan las propiedades químicas de la yuca, y datos sobre la descripción, cultivo, cosecha, conservación, etc., de la misma.

También se habla de la "importancia económica y aprovechamiento de la yuca" en el capítulo que lleva el mismo nombre, donde se da, a las características de la planta, el enfoque respectivo.

De esta forma, se espera que la información que aquí se presenta sirva para dar claridad en las decisiones y así contribuir al desarrollo de los cultivos y su subsecuente aprovechamiento de la manera más racional en las zonas tropicales del país.

Capítulo 1

GENERALIDADES

1.1 Nomenclatura

La planta de yuca o mandioca cuyo nombre científico es Manihot esculenta Crantz o, también, Manihot utilissima Phol (género, Manihot; - especie, esculenta = utilissima), pertenece a la familia de las euforbiáceas (1,27,64), recibe muchos nombres (2), de los cuales, los principales son: kaspe, (Indonesia); manioca, mandioca, yuca, (América Latina); manioc, (Madagascar); y cassava, (regiones de habla inglesa).

Dentro de esta especie de yuca existen muchísimas variedades (1, 27) que tradicionalmente se dividen en dos grupos de acuerdo a la toxicidad¹ de sus raíces: a) variedades "amargas" y b) variedades "dulces", siendo más tóxicas las primeras que las segundas (30).

1.2 Descripción Botánica de la Yuca

La yuca es una planta perenne, que alcanza entre 2 y 3 metros de altura (2,26); sus tallos son suculentos (4), semileñosos y quebradizos, generalmente de color blanco cremoso, pero que en algunas variedades pueden ser café-rojizo (31). Las hojas están profundamente lobuladas (26), conteniendo de 3 a 9 lóbulos angostos y desiguales de 5 a 17 cm de largo y 1 a 5 cm de ancho (3,4), ver figuras 1 y 2; su color va-

¹ Debido al contenido de ácido cianhídrico (HCN).

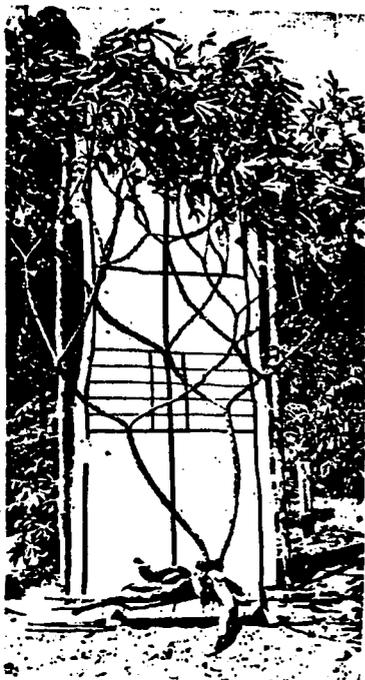


Figura 1.- Planta de yuca (*Manihot esculenta* Grantz) de 10 meses de edad lista para ser cosechada (35), variedad experimental Rogers 331, en la que se aprecian las hojas, los tallos y los tubérculos.

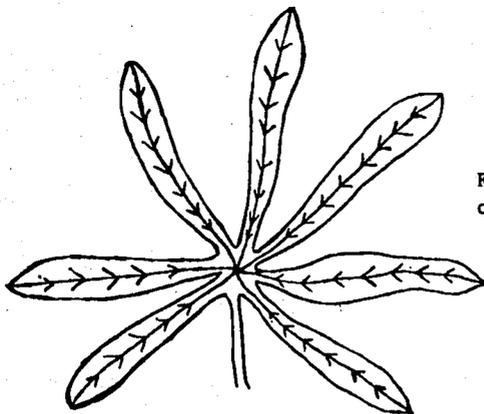


Figura 2.- Hoja de yuca con 7 lóbulos (4).

ría de verde claro a verde oscuro y algunas veces son rojas cuando es tan jóvenes (26). Sus flores son unisexuales apétalas (3,26), pero raramente llegan a la fase de floración, particularmente en bajas altitudes (2).

Las raíces tuberosas tienen formas muy diferentes según la variedad a la que pertenezcan (2). En circunstancias favorables, pueden llegar a alcanzar un peso de unos 15 Kg y una longitud superior a un metro (2). La corteza de la raíz está formada por una parte exterior y otra interior, constituida la primera por una capa de células suberosas y el felógeno, ver figura 3. La capa suberosa es, generalmente de color oscuro y puede eliminarse raspándola en agua (2). Debido a la textura de la capa de transición, la piel se desprende fácilmente de la parte central, lo cual facilita el mondado de las raíces (2). El peso de la capa de corcho oscila entre el 0.5 y el 2% del total del tubérculo, mientras que el de la parte interior de la corteza varía entre el 8 y el 15 % (2); en las raíces maduras, por lo general esta parte tiene de 2 a 3 mm de espesor (2). La parte central del tubérculo, que es la que comprende la mayor proporción está formada por agua y almidón (2,78).

1.3 Distribución Geográfica de la Yuca

Todas las especies del género *Manihot* son nativas de la región comprendida entre los trópicos del Continente Americano. La yuca fue primeramente llevada de Brasil a Africa Occidental por los portugueses, esparciéndose lentamente en este continente. Posteriormente fue llevada al este de Meso-América, Filipinas, sureste de Asia y la India; también se extendió su cultivo en las islas del Pacífico y sur de Florida en E.U.A.. Las especies de Norteamérica particularmente son encontra--

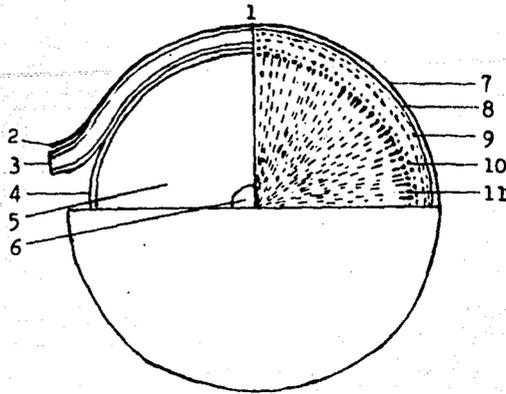


Figura 3.- Corte transversal de la raíz de yuca (2).

Cuadrante superior de la izquierda:

- | | |
|---------------------------|-------------------|
| 1. Piel | 4. Región cambial |
| 2. Capa suberosa exterior | 5. Parte central |
| 3. Capa interior | 6. Médula |

Tanto la piel como la médula contienen relativamente poco almidón.

Cuadrante superior de la derecha: elementos estructurales de la raíz:

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 7. Corcho | 10. Cábium |
| 8. Fibras esclerenquimáticas | 11. Vasos de rilema |
| 9. Tubos laticíferos | |

das a lo largo de las orillas de las Sierras Madre Oriental y Occidental (1). En México se cultiva principalmente en los estados de Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán (64).

1.4 Condiciones Ecológicas Apropriadas Para el Desarrollo de la Yuca.

La yuca necesita un clima cálido y húmedo (2) con temperaturas medias de 18 a 35°C (31); su crecimiento se detiene a 10°C (31). En las regiones tropicales crecen algunas variedades en puntos situados entre 1500 y 2000 metros de altura (1,2), no más, pues son sensibles a las heladas (1); además se sabe que, a mayor altura sobre el nivel del mar, el contenido de ácido cianhídrico (HCN) de la raíz aumenta (31).

Esta planta no es muy exigente en lo que se refiere a suelo, conviene que éste sea de mediana fertilidad; deben evitarse tanto los suelos muy fértiles como los muy pobres, siendo preferibles los de tipo ligero (2). La planta no resiste los suelos pantanosos y por eso se acostumbra evitar las tierras bajas que anteriormente han sido utilizadas como arrosales, aunque algunas variedades parecen tolerar este tipo de suelos (2).

Las exigencias hídricas¹ de la yuca durante su ciclo son de 500 a 2000 mm, con la necesidad aparente de una estación seca (18); calculando que esta estación se presente cuando la planta tenga entre 4 y 5 meses de edad para que pueda resistir la falta de agua, aunque la ausencia de ésta se prolongue (31). El índice agroclimático que reúne las características anteriormente mencionadas, y que, por lo tanto es el -

¹ Se sabe que mientras mayor es el contenido de humedad de la tierra donde se cultiva la yuca, la cantidad de ácido cianhídrico en ésta, disminuye (40), y el rendimiento de almidón es mayor (94).

apropiado para el desarrollo de la yuca es el denominado subhúmido (18).

1.5 Cultivo de la Yuca, Cosecha y Rendimiento

Cuando se trata de su cultivo agrícola, la yuca se reproduce exclusivamente por medio de la multiplicación vegetativa por estacas (2, 63), ya que se ha demostrado un alto rendimiento de tubérculos, comparado con el que se obtiene de los cultivos donde se emplean semillas - (63); la propagación por semilla solamente se emplea si la finalidad que se persigue es la selección (2); las estacas se obtienen de los tallos de plantas que tengan por lo menos 10 meses y un diámetro de 2.5 a 3.5 cm; después de la recolección se almacenan las estacas en un lugar seco hasta el momento de plantarlas¹ (2).

Es factible mencionar que no es conveniente plantar la yuca durante el período de sequía (octubre - junio) ya que afecta negativamente el desarrollo de la planta (20).

El mejor tiempo de cosecha de la parte aérea de la planta es cuando tiene entre 4 y 9 meses de edad, debido a que hay una mayor cantidad de proteína en las hojas; y para la raíz, cuando la planta tiene entre 12 y 18 meses de edad ya que es cuando se encuentra un mayor contenido de almidón en los tubérculos (20).

Los rendimientos de la yuca se pueden aumentar substancialmente eliminando la competencia de malezas durante los períodos iniciales de crecimiento (19,94). La época crítica de competencia ocurre en las 16 primeras semanas de desarrollo, por lo que es necesario controlar las malezas hasta que la plantación tenga un follaje tupido (19).

Las malezas principales que se desarrollan son: *Cyperus rotundus* (coquito), *Rottboellia exaltata* (caminadora), *Sorghum helepense* (paso

¹ Mayores detalles de su cultivo aparecen en las referencias (2,5,94).

Johnson) e Ipomoea spp. (batatilla) (19).

Se han obtenido buenos rendimientos empleando métodos químicos, - por ejemplo, el uso de un herbicida preemergente (diurón) más una deshierba manual dos o tres semanas antes de cerrar el follaje (27 ton/Ha) sin embargo, se ha encontrado que tres deshierbas manuales realizadas oportunamente dan el mejor rendimiento (31 ton/Ha a los 10 meses) (19).

Se han encontrado rendimientos de las cosechas de raíz bastante - altos; hay variedades que producen hasta 78 ton/Ha (31).

Como la importancia que tiene el cultivo del tubérculo de yuca es por su contenido de carbohidratos (almidón) es, por consiguiente, importante conocer el rendimiento de éstos por hectárea. En la tabla la, aparecen datos al respecto comparados con el rendimiento del maíz.

El contenido más bajo de almidón que se ha encontrado en el tubérculo es de 12 % y el más alto de 33 %; el contenido normal en el tiempo de cosechado es entre 22 y 31 %.

Análogo a todas las plantas sintetizadoras de carbohidratos, la yuca presenta una alta demanda de nutrientes, agotando rápidamente los suelos si éstos no son dotados por lo menos de cantidades de nutrientes equivalentes extraídos por la planta. En la tabla lb, aparecen los requerimientos nutritivos (Nitrógeno, Fósforo y Potasio)/Ha para la yuca y el maíz (95).

1.6 Influencia de los Fertilizantes en el Desarrollo y Rendimiento de la Yuca

La información disponible acerca de los requerimientos minerales nutritivos para el cultivo de la yuca (*Manihot utilissima* Phil) es limitada.

Se han hecho investigaciones concernientes a los efectos que pro-

Tabla 1a.- Datos comparativos de producción de almidón entre la yuca¹ y el maíz (27).

	Producción (Kg/Ha)	Carbohidratos %	Carbohidratos (Kg/Ha)
Maíz (grano)	1250	70	875
Yuca (tubérculo)	13600	27	3672

¹ La referencia no cita el nombre de la variedad.

Tabla 1b.- Comparación de requerimientos nutritivos (NPK)/Ha para yuca y maíz (95).

	N (Kg/Ha)	P ₂ O ₅ (Kg/Ha)	K ₂ O (Kg/Ha)	Rendimiento (Kg/Ha)
Maíz (grano)	128	48	140	4400
(paja)				7500
Yuca (tubérculo)	60	50	260	35000

duce la variación de las cantidades de NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), sobre la producción de tubérculos y follaje de la yuca, observándose las siguientes características:

- a) Sólo grandes¹ cantidades de P incrementan el tamaño de la planta (6).
- b) La producción de follaje en g/planta es favorecida por grandes cantidades de N y reducida con grandes cantidades de K (6).
- c) No se forman tubérculos con grandes cantidades de N y bajas² de P y K (6).
- d) Grandes cantidades de N reducen el desarrollo de los tubérculos en un 41 % (6).
- e) Se obtiene un mayor rendimiento de tubérculo usando grandes cantidades de P, aumentando la producción en un 93 % (6).
- f) Excelente producción de tubérculos está asociada con una razón 1:1 de follaje a tubérculo la cual se consigue usando cantidades elevadas de P (6).
- g) Cantidades grandes de K no favorecen la producción de tubérculos (6), sin embargo, en suelos arenosos de baja fertilidad aumenta significativamente la producción (10). El K aumenta la cantidad de porción comestible (11,45), el contenido de materia seca (11,45) y el contenido de almidón (9,11,45) de los tubérculos; pero disminuye el contenido de proteína cruda (11) y el contenido de HCN (5,8,11,45), de los mismos. En suelos ácidos lateríticos, la adición de 100 Kg/Ha de K₂O aumentó en 30 %

¹ Grandes cantidades se refiere a 240 ppm de c/elemento (N, P ó K) suministrado por medio de 2 1/2 lts. de solución, 2 veces por semana.

² Bajas cantidades se refiere a 40 ppm de c/elemento suministrado de igual forma.

la producción (12), comparado con un cultivo de referencia (sin K_2O).

- b) El efecto del N, que se adiciona como $(NH_4)_2SO_4$, y el P_2O_5 en forma de superfosfato, suministrados en cantidades de 150 y 100 Kg/Ha respectivamente, dió un máximo rendimiento de almidón y aumentó el contenido de proteína cruda (13); pero aumenta el contenido de HCN con el N (5,13,28,45). Excluyendo este inconveniente, una razón 3:2 de N y P da los mejores resultados (13).

También se han estudiado (11) los efectos de la combinación potasio-calcio sobre el rendimiento y la calidad de los tubérculos:

- a) El Ca disminuye el contenido de almidón cuando no se adiciona K, pero lo incrementa cuando se adicionan altos niveles de éste, por ej.: 125 Kg de K_2O /Ha y 600 Kg de CaO/Ha.
- b) El calcio disminuye el contenido de proteína cruda sólo cuando no se adiciona K, y disminuye el contenido de HCN en el caso de algunas variedades.

1.7 Efecto de los Reguladores del Desarrollo (Hormonas) en la Yuca

- a) El ácido naftalen acético (NAA), LD_{50} 1.0 g/Kg en ratas (15), el ácido indolacético (IAA), el ácido indolbutírico (IBA) y el ácido indolpropiónico (IPA) promueven la formación de las raíces (14,15,29), la deposición de almidón (14), y el número de tubérculos de la yuca (14,29), sin embargo, no aumentan el rendimiento de los mismos (14). Estos reguladores del desarrollo parece ser que toman parte en la supresión de la biosíntesis de cianoglucósidos en las raíces y reducen su contenido de HCN en un 36-50 % cuando son aplicados a las estacas que se van a

plantar, en la cantidad de 25-50 ppm (29).

- b) La aplicación de 2,3,5-ácido tiiodobenzóico (TIBA) en forma de spray acuoso en la cantidad de 1000 ppm, aumenta el rendimiento de los tubérculos de la yuca en un 35%, sobre las variedades que no reciben tratamiento (16).
- c) La aplicación, al follaje, de 500 ppm de Zn disminuye el contenido de HCN (17). 1000 ppm de CCC (carbamida cítrica de calcio), 1000 ppm de 2,4-D ácido (2,4-diclorofenoxi) acético (17) y 500 ppm de etbrel aplicados al follaje también disminuyen el HCN - (17,39).

1.8 Enfermedades y Plagas de la Yuca

La yuca está propensa al igual que muchas otras plantas a sufrir las consecuencias del ataque de virus, enfermedades producidas por bacterias y hongos que producen manchas en las hojas de la planta, putrefacción de los tubérculos y otros defectos (5,94).

Los insectos como el saltamontes, moscas, escarabajos y termitas, diversos tipos de arañas, gusanos, lombrices y ácaros, producen daños a la planta. Algunos de éstos, también atacan a los productos secos de la yuca durante el almacenamiento. Algunos animales mamíferos también producen daños a la planta (5).

Todo esto repercute en el rendimiento y composición química de la yuca (5,94).

Las medidas de prevención de enfermedades que se toman, involucran el uso de variedades resistentes, cuidadosa selección del material de propagación, rotación de cultivos, uso de insecticidas y destrucción del material y plantas infectadas con fuego (94).

1.9 Deterioro, Cambios y Conservación de la Yuca

La yuca es un producto que se comercia en forma fresca. Su deterioro, a partir de los dos días después de recolectada crea problemas en su comercialización. Es necesario venderla antes de que se inicien los daños y no permite ser transportada a grandes distancias (21).

El deterioro de la raíz se inicia con un oscurecimiento de la parte externa de la pulpa a los dos días de recolectada, posteriormente aparecen los fenómenos de ablandamiento y de crecimiento de hongos; estos defectos van acompañados de sabores amargos extraños (21).

El daño mecánico es un factor decisivo en el deterioro de las raíces de yuca recién cosechadas; el deterioro se inicia donde hay células lesionadas; en seguida, se establecen los patógenos en las heridas, invadiendo las raíces a través de éstas (22).

Los mohos que provocan un rápido deterioro son: *Aspergillus niger*, *Penicillium* y un moho blanco, probablemente *Cylindrium clodostrinum*, y el moho responsable del color azul oscuro, probablemente *Clodosporium* (23).

Otros causantes del deterioro son: las amilasas que degradan el almidón, y la peroxidasa junto con el oxígeno en el oscurecimiento (21).

Las variedades de yuca difieren en la resistencia que oponen al deterioro, por lo que, si se piensa en almacenamiento se deben seleccionar variedades resistentes al deterioro posterior a la cosecha, y además sólo se deben almacenar raíces en buen estado (22).

Las raíces de yuca pueden ser curadas mediante un proceso en el cual las heridas sanan y se previene la iniciación del deterioro. La curación ocurre entre los 4 y 9 días, a altas humedades relativas, 80-85 % (5), y a temperaturas entre 25 y 40°C (22).

Existe un rápido aumento (de 2 ó 3 veces) en el contenido total de azúcares y también, una pequeña disminución en el contenido de almidón, después de uno o dos días de cosecha (22,24); luego, estos niveles de carbohidratos se mantienen relativamente constantes por un período de almacenamiento de ocho semanas (22,24), tanto en silos de campo como en cajas de almacenamiento (22). También se encontró una pequeña disminución del contenido de ácido cianhídrico durante 6-8 semanas de almacenamiento (22). Estos cambios se reflejan en el sabor más dulce y menos amargo que tienen las raíces almacenadas con relación a las recién cosechadas de la misma variedad (22).

Se han obtenido buenos resultados de almacenamiento cuando la humedad relativa es de 65 % o más baja, permitiendo esto que el contenido de humedad de la raíz sea de 10 % o menor (23,25); bajo estas condiciones la yuca se mantiene satisfactoriamente en las áreas tropicales (25).

Existe otro método de conservación de la yuca que es el de parafinado a 90°C durante 45 seg, este método conserva el 100 % de la yuca a los 30 días y es muy económico (21).

La refrigeración de la yuca a 6°C es un método efectivo, pero a los 30 días se conserva solamente del 30 al 40 % de la yuca (21).

Aún cuando la calidad de las raíces almacenadas nunca será tan buena como la de las raíces recién cosechadas, podrán mantener una calidad aceptable para el consumo humano (22). Para propósitos prácticos se puede aprovechar la yuca que después de almacenada, por su calidad, no es aceptable para consumo humano, incluyéndola en dietas para animales, como pollos y cerdos (24).

1.10 Formas de Consumo de la Yuca Para Alimentación Humana y Animal

Aunque la raíz de la yuca puede consumirse cruda, en general, para que sea sabrosa, digestible y sobre todo, para eliminar el ácido cianhídrico es preciso someterla a cierta preparación. Esta se realiza de distintas maneras que dan por resultado diversos productos que constituyen alimentos de uso tradicional en aquellas regiones donde se conoce la yuca desde hace mucho tiempo. Algunos de ellos tienen que ser consumidos en cuanto se preparan, mientras que otros se conservan durante mucho tiempo (2).

Dos factores importantes tienden a limitar la utilización de la yuca en forma de tubérculo fresco. El primero es que los tubérculos no procesados tienen relativamente grandes cantidades de ácido cianhídrico (5). El segundo factor es que los tubérculos frescos de yuca, a diferencia del camote, no pueden ser almacenados por más de unos cuantos días después de ser cosechados (5). Sólo los tubérculos de variedades que contienen muy poco ácido cianhídrico pueden ser consumidos, previamente mondados, sin peligro, después de un pequeño proceso o sin aplicar proceso alguno (5). Los tubérculos pueden comerse crudos, como ensalada o bocadillos (5), también pueden hervirse o asarse (2,5). Es recomendable que los tubérculos destinados a la alimentación del hombre sean cosechados en cualquier momento antes de los 12 meses de edad, ya que después de este plazo el contenido de fibra alcanza proporciones inconvenientes (2).

Los tubérculos frescos de yuca también se usan como alimento para ganado: carneros, cabras, bovinos, aves de corral y principalmente cerdos. Para su administración al ganado, deben suplementarse con proteínas, minerales y vitaminas; y la yuca no debe representar más del 40 % del contenido de materia seca de la ración (5).

La mayoría de las formas procesadas de los tubérculos de yuca, — caen dentro de cuatro categorías generales: comestibles, harina, brizas o trozos y almidón (5).

Las formas comestibles incluyen, por lo general, tubérculos de yuca fermentados, de los cuales existen diversos tipos y variaciones — en su elaboración de acuerdo al país donde éstos se consumen (2,5,26); de los más comunes son el gari (5,26) y la masa o papilla (26). Las — formas comestibles y la harina de yuca ocurren en la mayoría de los — usos en la alimentación humana en las áreas tropicales (5). La yuca en trozos se usa para la alimentación de ganado (5). Y, el almidón y la — tapioca son, principalmente, productos industriales que casi no se — usan directamente en la alimentación humana, pero representan la mayoría de la yuca que entra en el comercio internacional (5).

Existen también los residuos de la industrialización del tubérculo de la yuca a los cuales se les ha estudiado su composición química y valor nutritivo (27). Estos residuos podrían tener aplicación, integrándolos a dietas balanceadas para ganado (27).

La forma más común en que se consume¹ la yuca (tubérculo) en algunas regiones de México (Veracruz, Tabasco, Campeche), es hervida, después de haberle quitado la piel, o, una vez hervida, guisada de diferentes formas y también, acompañando diversos platillos.

1.11 Hojas de Yuca Como Alimento

El uso de las hojas y retoños tiernos como alimento para el consumo humano está difundido en Africa (5). Prevalece particularmente en Sierra Leona y en la Cuenca del Congo. El único requerimiento de las —

¹ Comunicación personal con comerciantes.

hojas es que deben ser suficientemente detoxificadas antes de comerse. Esto se realiza machacando o cortando las hojas e hirviéndolas posteriormente, quedando listas para ser consumidas; también pueden ser incorporadas a caldos o guisados.

Las hojas deshidratadas de yuca tienen un valor nutritivo semejante al de la alfalfa (deshidratada), por lo que, la pueden substituir eficazmente en dietas valanceadas para ganado (73,74,76), principalmente bovinos y pollos.

Capítulo 2

COMPOSICION QUIMICA DE LA YUCA

2.1 Contenido de Proteínas, Lípidos, Carbohidratos, Minerales y Vitaminas de la Yuca

El tubérculo está formado por dos partes: la porción comestible (pulpa) o parte carnosa que compone el 80-90 % del peso total del tubérculo (5,27), y la piel o corteza que representa el 10-20 % restante del peso (5,32).

Así como difiere la cantidad de pulpa y corteza de una variedad de yuca a otra, lo mismo sucede con los componentes químicos.

2.1.1 Tubérculo Completo

En la tabla 2, se da la composición química del tubérculo completo (corteza y pulpa) de yuca.

2.1.2 Corteza del Tubérculo

Como ya se dijo anteriormente la corteza posee una capa de corcho que representa el 0.5-2.0 % del peso total del tubérculo (5). La corteza es más rica en proteínas, extracto etéreo (lípidos), fibra cruda y ceniza que la porción comestible (5,26,32). En la tabla 3, se da la composición química de la corteza del tubérculo de la yuca.

Tabla 2.- Composición química del tubérculo completo (corteza y pulpa) de yuca, en 100 g.

Componentes	Base fresca	Referencias	Base seca	Referencias
Calorías	157.35	(26)	393.68 ¹	(26)
Humedad (%)	53.1-75.6	(32,64)	-	
Proteína (%)	0.71-0.91 ¹	(26,32)	1.4-3.3	(32,64)
Lípidos (%)	0.21-0.30 ¹	(26,32)	0.41-0.94	(32,64)
Fibra cruda (%)	1.04-1.84 ¹	(26,32)	2.8-5.7	(32,64)
Carbohidratos (%)	28.51-36.95 ¹	(26,32)	88.27-94.1	(32,64)
Ceniza (%)	0.50-1.02 ¹	(26,32,64)	2.76-2.92	(32)
Calcio (mg)	24.5 ¹	(26)	40.0-124.0	(32)
Fósforo (mg)	46.8 ¹	(26)	101.5-102.5	(32)
Hierro (mg)	1.38 ¹	(26)	27.4-44.3	(32)
Vit. B ₁ (mg)	0.067 ¹	(26)	2	
Vit. B ₂ (mg)	0.023 ¹	(26)	2	
Niacina (mg)	0.72 ¹	(26)	2	
Vit. C (mg)	24.25 ¹	(26)	2	

¹ Valores calculados por conversión, a partir de los que aparecen en las tablas de la referencia.

² No aparecen valores en las referencias consultadas, y los valores de la conversión a partir de los de base húmeda serían erróneos porque se pierde parte de estos compuestos en el proceso de secado, e incluso con la luz.

Tabla 3.- Composición química de la corteza del tubérculo de yuca, en 100 g.

Componentes	Base fresca	Referencias	Base seca	Referencias
Calorías	114.0	(26)	382.5 ¹	(26)
Humedad (%)	70.2-75.9	(26, 32, 40)	-	
Proteína (%)	1.29-2.54 ¹	(26, 32)	4.75-5.49	(32)
Lípidos (%)	0.04-0.60 ¹	(26, 32)	0.17-2.23	(32)
Fibra cruda (%)	2.4-4.02 ¹	(26, 32)	14.52-14.76	(32)
Carbohidratos (%)	20.2-23.7 ¹	(26, 32)	73.66-74.14	(32)
Ceniza (%)	0.9-1.9 ¹	(26, 32)	3.92-4.36	(32)
Calcio (mg)	67.0	(26)	92.4-681.6	(32)
Fósforo (mg)	23.0	(26)	101.1-116.6	(32)
Fierro (mg)	5.8	(26)	76.9-98.5	(32)
Vit. B ₁ (mg)	0.22	(26)	2	
Vit. B ₂ (mg)	0.04	(26)	2	
Niacina (mg)	1.0	(26)	2	
Vit. C (mg)	20.0	(26)	2	

¹ Valores calculados por conversión, a partir de los que aparecen en las tablas de la referencia.

² No aparecen valores en las referencias consultadas, y los valores de la conversión a partir de los de base húmeda serían erróneos porque se pierde parte de estos compuestos en el proceso de secado, e incluso con la luz.

2.1.3 Pulpa o Porción Comestible del Tubérculo

Esta porción es rica en almidón y vitamina C, tiene poco contenido de fibra cruda y es demasiado pobre en todos los demás nutrimentos¹: lípidos, minerales, vitaminas y sobretodo proteínas (26,86).

El almidón forma la mayor parte de los carbohidratos; a los 8 meses de edad (de la planta), se observa la concentración más elevada en el tubérculo, que es del 81 %; al siguiente mes (9 meses de edad), la concentración disminuye a 78 % pero, va acompañada de un incremento en la concentración de azúcares, de 3.5 % a 5.7 %. La sacarosa forma la mayor parte de los azúcares del tubérculo encontrándose en más del 67 % del total de éstos; otros azúcares, incluyen la fructosa, glucosa y maltosa. Como ya se dijo, la concentración mayor de azúcares (5.7 %) se alcanza a los 9 meses de haber sido plantada la yuca. La suma de la celulosa y hemicelulosa constituye la fracción de carbohidratos no disponibles (fibra cruda), y constituye menos del 7 % del total de los carbohidratos (90). En la tabla 4, se da la composición química de la pulpa del tubérculo.

2.1.4 Composición Química de las Hojas de Yuca

Las hojas de yuca son mucho más ricas en proteínas (5,26), vitaminas (5), principalmente en vitaminas A y C (5) y en sales minerales (26), que el tubérculo de la misma, como puede apreciarse en la tabla 5; solamente el contenido de calcio, sodio y magnesio son un poco bajos (36).

¹ Para fines comparativos, ver el contenido de nutrientes de algunos cereales en el apéndice 1.

Tabla 4.- Composición química de la pulpa del tubérculo de yuca, en --
100 g.

Componentes	Base fresca	Referencias	Base seca	Referencias
Calorías	127-165	(2,26)	362.8-395.7 ¹	(2,26)
Humedad (%)	50.0-67.9	(2,5,26,27,31, 32,33,34,40)	-	
Proteínas (%)	0.63-2.0	(2,5,26)	1.3-3.5	(27,30,31,32, 34,64,85,86)
Lípidos (%)	0.2-0.5	(2,5,26)	0.36-0.9	(30,31,32,34, 64)
Fibra cruda (%)	0.8-2.0	(2,5,26)	2.51-5.7	(30,31,32,34, 64)
Carbohidratos (%)	32.0-39.3	(2,5,26,27)	88.2-90.7	(30,31,32,34)
Ceniza (%)	0.3-1.0	(2,5,26,27,64)	2.32-4.18	(30,31,32,34, 27,85)
Calcio (mg)	17.0	(26)	2.71-176.8	(32,85)
Fósforo (mg)	51.0	(26)	80.0-240.0	(32,85)
Hierro (mg)	0.6	(26)	52.9-72.9	(32)
Vit. B ₁ (mg)	0.04	(26)	2	
Vit. B ₂ (mg)	0.02	(26)	2	
Niacina (mg)	0.67	(26)	2	
Vit. C (mg)	25.0	(26)	2	

¹ Valores calculados por conversión, a partir de los que aparecen en --
las tablas de la referencia.

² No aparecen valores en las referencias consultadas, y los valores de
la conversión a partir de los de base húmeda serían erróneos porque
se pierde parte de estos compuestos en el proceso de secado, e inclu
so con la luz.

Tabla 5.- Composición química de las hojas de yuca, en 100 g.

Componentes	Base fresca	Referencias	Base seca	Referencias
Calorías	50.0-118.0	(5,26,35)	372.5-411.0	(35)
Humedad (%)	71.2-83.8	(5,26,32,35)	-	
Proteína (%)	5.4-7.8	(5,26,32,35)	20.6-37.4	(32,35,36,37,89)
Lípidos (%)	0.2-3.42	(5,26,32,35)	5.74-13.5	(32,35,36)
Fibra cruda (%)	0.8-1.7	(26,32,35)	4.58-11.8	(32,35,36)
Carbohidratos (%)	7.0-14.9	(5,26,32,35)	39.9-51.9	(32,35,36)
Ceniza (%)	0.7-2.1	(26,32,35)	5.2-8.8	(32,35,36)
Calcio (mg)	200.0-328.2	(5,26,32)	1295.0	(32)
Fósforo (mg)	47.8-74.0	(26,32)	188.7	(32)
Hierro (mg)	2.0-12.8	(26,32)	50.5	(32)
Vit. B ₁ (mg)	0.2	(5)	1	
Vit. B ₂ (mg)	0.3	(5)	1	
Niacina (mg)	1.5	(5)	1	
Vit. C (mg)	200.0-242.0	(5,26)	109.0-421.0	(38)
Vit. A (UI)	10000	(5)	1	

¹ No aparecen valores en las referencias consultadas, y los valores de la conversión a partir de los de base húmeda serían erróneos porque se pierde parte de estos compuestos en el proceso de secado, e incluso con la luz.

2.1.5. Principales Preparaciones de la Yuca y su Composición

Química

Raíz cocida en agua (26).- Únicamente se pela, se corta en pedazos y se coloca en agua hirviendo hasta que se ablanda lo suficiente para ser consumida.

Raíz cocida y lavada (26).- Los pedazos de la preparación anterior se cortan en fragmentos más pequeños y se ponen a remojar en agua corriente durante 12-36 hrs. Esta preparación se conoce también con el nombre de medua-me-mbong en Africa y se puede usar yuca amarga ya que el lavado prolongado elimina el principio tóxico.

Gari (5).- Es la forma más popular en que se consume la yuca en el oeste de Africa. Para su preparación, las raíces de yuca cosechadas, se pelan, se lavan y luego se rallan. El producto rallado se pone dentro de bolsas de tela y éstas se someten a fuerte presión durante 2-4 días para exprimir la mayor parte de jugo de la yuca; durante este período ocurre una ligera fermentación. Después, la yuca se saca de las bolsas y se tamiza. El material tamizado se coloca en pequeñas cantidades sobre recipientes metálicos amplios que se ponen en la lumbre para tostar el material; constantemente se remueve durante el tostado. Una pequeña cantidad de aceite puede ser adicionada al alimento mientras está en el recipiente, para prevenir que se queme y para impartir color. Cuando el alimento está suficientemente seco se retira del recipiente y se esparce en un lugar aislado para que se continúe secando y se enfríe. El producto está listo para ser consumido, aunque a veces es tamizado nuevamente para producir varios tamaños de partículas de gari. El gari es una forma seca de la yuca y puede almacenarse por largo tiempo a temperatura ambiente; éste, requiere entonces una pequeña preparación adicional antes de ser consumido, adicionando agua caliente, fría, etc. Dos Kg de yuca fresca rinden un Kg de gari.

Fariña de yuca.- Esta es la forma más común en que se consume la yuca en Brasil y en algunas otras partes de América del Sur. Para prepararla, los tubérculos de yuca fresca se lavan, se pelan, se rallan y se prensan durante unas cuantas horas, se tamiza y después se tuestan colocándolos en la superficie de un recipiente a fuego lento. La fariña de yuca es muy parecida al gari por su forma de preparación, la diferencia principal son los tiempos de prensado y fermentación, que para la fariña son mucho más cortos. La forma en que se consume la fariña es también muy parecida al gari: se puede comer seca o mezclada con agua fría o caliente para formar una pasta (2,5). Un Kg de yuca fresca rinde 350-400 g de fariña (5).

Harina de yuca (5).- Se pelan los tubérculos frescos, se lavan y se cortan en trozos delgados longitudinales; son secados extensamente al sol y después se pueden almacenar. Cuando se necesita harina, los trozos secos son molidos, resultando una harina de color blanco grisáceo. Para consumirse, la harina se vierte lentamente en un recipiente con agua hirviendo, se menea sin retirar de la lumbre hasta que se forma una pasta viscosa de color café. La pasta se pone a enfriar y endurecer, y se come con la sopa o el guisado. La harina de yuca se consume comunmente en el sur de Nigeria.

Almidón de yuca.- Existe una gran demanda de almidón en la industria, y el almidón de yuca ha sido usado para satisfacer parte de esa demanda. La producción de almidón de yuca para uso industrial es un proceso altamente mecanizado y especializado. Los tubérculos que llegan a la planta productora de almidón son pelados y lavados, después se muelen para producir una pulpa; ésta se suspende en agua y por medio de una serie de tamices revolvedores, el material fibroso es separado dejando una lechada de almidón. El agua usada en esta etapa de extracción debe contener cerca de 0.05 % de dióxido de azufre para prevenir la acción de microorganismos o la fermentación durante la extrac-

ción. La lechada de almidón es pasada a través de un ciclón, para separar la arena y partículas de polvo; después, el almidón se deja sedimentar en tanques de reposo. Alternativamente, es usada una centrifuga para separar el agua del almidón, éste es secado posteriormente hasta un contenido de humedad de 10-14 %, el cual es pulverizado, pasado por un tamiz secador y empaçado. Como otro tipo de almidones industriales, en las fábricas se encontró la forma para producir glucosa, textiles y confitería a partir del almidón de yuca. Los gránulos de almidón de yuca, varían en su forma y tamaño (5,30). El contenido de amilosa es cerca del 17 %. El almidón puede llegar a ser de buena calidad, con un pH de 4.7-5.3, un contenido de humedad de 10.0-13.5 % y una cantidad de cenizas menor de 0.2 % y tener un color blanco uniforme (5).

Tapioca (sago) (5).- Esencialmente es almidón de yuca producido por un método especial. Antes de secar el almidón, es puesto sobre una hoja metálica previamente untada con aceite y puesta sobre el fuego; para prevenir que se queme el almidón, se debe agitar. Los gránulos de almidón se expanden, y hay una dextrinización parcial, causando que las partículas del mismo se adhieran. El producto final es más digestible que el almidón común de yuca.

Hojuelas de tapioca (5).- Son preparadas exparciendo el almidón sobre una sartén, formando una capa delgada, se cuece durante dos minutos aproximadamente y se seca a 50°C hasta un contenido de humedad de 12 %.

Perlas de tapioca (5).- Primero se humedece el almidón, después se gelatinizan los gránulos del mismo por medio de un cocido durante 15 minutos sobre sartenes calientes untados con aceite de coco. Posteriormente se secan en una corriente de aire a 40-50°C durante dos horas.

El consumo directo de almidón de yuca, existe entre ciertos gru-

pos de Nigeria en el oeste de Africa. El almidón después de extraerse, es agitado en agua hirviendo hasta formar una pasta gruesa semi-sólida, la cual es consumida (5).

En la tabla 6, aparece la composición química de algunas preparaciones de la yuca.

Tabla 6.- Composición química de algunas preparaciones de la yuca
(por cada 100 g de parte comestible), (26).

Componentes	Raíz cocida en agua	Raíz cocida en agua y lavada	Gari	Harina
Calorías	127	114	309-340 ¹	346
Humedad (%)	67.7	71.5	22.8	13.4
Proteína (g)	0.48	0.24	0.97-1.5 ¹	0.75
Lípidos (g)	0.03	0.06	0.5	0.2
Carbohidratos (g)	30.8	27.6	72.3	83.7
Fibra cruda (g)	0.5	0.5	1.4	1.3
Ceniza (g)	0.52	0.1	0.87	0.64
Calcio (mg)	14.0	17.0	26.0	28.0
Fósforo (mg)	36.0	11.0	47.0	38.0
Fierro (mg)	0.6	0.3	4.1	2.3
Vit. B ₁ (µg)	23.0	4.0	47.0	39.0
Vit. B ₂ (µg)	18.0	9.0	38.0	33.0
Niacina (µg)	469.0	46.0	871.0	615.0
Vit. C (mg)	0.1	-	5.0	-

¹ Referencia (5)

2.2 Contenido de Acido Cianhídrico de la Yuca y su Toxicidad

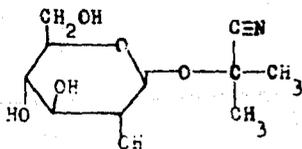
Como ya se dijo anteriormente (en la parte 1.1) existen muchas variedades de yuca que tradicionalmente se dividen en dos grupos de acuerdo con la toxicidad de sus raíces: a) variedades "amargas" y b) variedades "dulces", siendo más tóxicas las primeras que las segundas (30).

2.2.1 Forma en que se Encuentra el Acido Cianhídrico en la Yuca

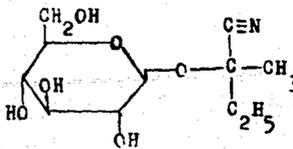
Los responsables de la toxicidad de la yuca son dos glucósidos cianogénicos (56,57) linamarina o 2-(β -D-glucopiranosil-oxi)-2-metilpropanonitrilo (15,29,30,59) y lotaustralina o 2-(β -D-glucopiranosil-oxi)-2-metilbutironitrilo (29,55); los cuales, al ser tratados con ácido diluido (58) o por hidrólisis enzimática (57,58,59) rinden cantidades equimolares de glucosa, acetona (en el caso de la linamarina) y HCN^1 (ácido cianhídrico) (27,58,59), siendo este último compuesto el que imparte propiedades tóxicas a la yuca. La toxicidad de los glucósidos cianogénicos intactos no ha sido demostrada (56).

La linamarina es sintetizada a partir del aminoácido L-valina (5,55) y la lotaustralina a partir del aminoácido L-isoleucina (5,55). Ambos glucósidos son muy solubles en agua (5,15) y tienden a descomponerse (punto de fusión) cuando son calentados a temperaturas por encima de 150°C (5,15). La linamarina está distribuida en todas las partes de la planta (58), pero no en proporciones iguales.

¹ Ver toxicidad del HCN en el apéndice 2.



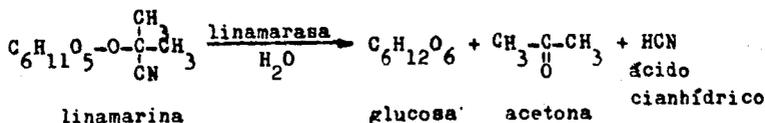
Linamarina (55)



Lotaustralina

2.2.2 Liberación Enzimática del Acido Cianhídrico y Contenido de Linamarasa

La yuca contiene una enzima que recibe el nombre de linasa (28) o linamarasa (5). Cuando esta enzima se pone en contacto con la linamarina y lotaustralina, como resultado de picar, cortar o dañar el tejido de cualquier parte de la yuca, el HCN es liberado (5,28,57).



La concentración de linamarasa es mayor en la corteza del tubérculo lo que en la pulpa del mismo (5,26,41), sin embargo, la hoja tiene una concentración mucho más elevada (más de 100 veces) que el tubérculo — (5).

2.2.3 Contenido de Acido Cianhídrico, Causas que lo Provocan y Características que Imparte a la Yuca

Se emplea más comunmente el término contenido de ácido cianhídri-

co para referirse a su elemento tóxico, que el término contenido de -- glucósido cianogénico, debido a que los análisis químicos se efectúan sobre el primero.

Las variedades de yuca difieren considerablemente en su contenido de HCN (29); incluso, éste difiere de una planta a otra en el mismo -- cultivo, de la misma variedad, debido a la influencia de diversas condiciones (41). El contenido de HCN es mayor en la raíz que en las hojas (42) y no existe ninguna relación del contenido entre una y otras (42). El contenido de HCN en las raíces de yuca es variable, siendo -- más abundante en la corteza que en la pulpa (26,30,32,43) en relación de 9:1 (30), y tampoco existe relación alguna entre el contenido de -- una y otra parte de la raíz (54). La linamarina da origen al 93 % del HCN y la lotaustralina al restante 7 % del HCN involucrado en la hidrólisis (55).

En la tabla 7, aparece un sistema de clasificación de la porción comestible del tubérculo de yuca, relacionado con su toxicidad. En la tabla 8, se dan los niveles de HCN de diferentes partes de la planta de yuca. Y en la tabla 9 se da la variación del HCN, en dos variedades de yuca cultivadas en dos tipos de terreno (húmedo y seco) y cosechadas a edades diferentes.

La cantidad de HCN en la yuca está influenciada por:

- A) Las condiciones del suelo y el clima bajo las cuales la planta ha sido cultivada (2,29,41,54,94):
 - a) Existe menor contenido de HCN cuando se cultiva en terreno húmedo que en seco (40,41); tanto las variedades de bajo -- contenido de HCN como las de alto, rinden el triple de HCN cuando se cultivan en regiones secas, del que rinden cuando son cultivadas en regiones húmedas (41); incluso una misma planta es más tóxica en la estación seca que en la húmeda -- (41).

Tabla 7.- Sistema de clasificación de la porción comestible, o pulpa de los tubérculos de yuca, en cuanto a su contenido de ácido cianhídrico (HCN) relacionado con su toxicidad (41).

Menor de 50 mg de HCN/Kg (ppm) de raíz fresca	¹ Inocua (no tóxica)
De 50 a 100 mg de HCN/Kg (ppm) de raíz fresca	¹ Moderadamente venenosa o venenosa
Más de 100 mg HCN/Kg (ppm) de raíz fresca	¹ Muy venenosa

¹ Las cantidades de HCN son las que provocan cada nivel de toxicidad, pudiéndose aplicar este sistema de clasificación a cualquier otro derivado de la yuca, e incluso a cualquier otro alimento que contenga HCN, siempre y cuando se exprese el contenido de HCN en ppm para poderlo relacionar con esta clasificación.

Tabla 8.- Niveles¹ de ácido cianhídrico (HCN) de diferentes partes de la planta de yuca, en partes por millón (ppm), o mg HCN/Kg que es lo mismo.

	Base fresca	Referencias	Base seca	Referencias
Tubérculo (corteza)	50.8-1475.0	(28, 32, 40, 44, 57)	170.9-3929.0	(32, 40, 64)
Tubérculo (pulpa)	5.0-698.0	(5, 28, 30, 32, 40, 41, 44, 47, 54, 57)	28.2-1327.0	(32, 40, 42, 64)
Hojas	3.0-622.0	(32, 35, 46)	10.1-970.4	(32, 42)
Harina de yuca			30	(57)

¹ En los límites citados, está incluido el contenido de HCN de variedades no venenosas y variedades muy venenosas.

Tabla 9.- Variación del contenido de ácido cianhídrico (HCN) en -- dos variedades de yuca, una no venenosa y otra muy venenosa, culti vadas en dos tipos de terreno (húmedo y seco) y cosechadas a eda-- des diferentes, en el estado de Tjitajam, Java (41).

Variedad	Edad al ser cosechada	mg de HCN/Kg, o ppm (base fresca)	
		terreno húmedo	terreno seco
Mangi (no venenosa)	6 meses	32	98
	8 "	29	116
	10 "	41	137
	12 "	36	148
Sao Pedro Preto (muy venenosa)	6 meses	183	562
	8 "	164	537
	10 "	166	516
	12 "	152	451

- b) A mayor altitud sobre el nivel del mar, mayor es el contenido de HCN (30).
 - c) Los cultivos de yuca en suelos cuya base es granito poseen mayor contenido de HCN, en cambio, la yuca cultivada en suelos cuya base es basáltica tienen menor contenido de esta substancia (59).
 - d) Las plantas cultivadas en suelos con bajo contenido de potasio o alto de nitrógeno, tienen altas concentraciones de HCN en sus tubérculos (5,94).
 - e) Si la yuca se cosecha en el mismo terreno (sin hacer una rotación de cultivo adecuada), irá aumentando la toxicidad de los tubérculos (41).
- B) Capacidad de producción de HCN, de la misma planta (41).
- C) Edad de la planta (29,41,54,94); entre las hojas jóvenes existe un mayor contenido de HCN, y esta concentración disminuye con el aumento de edad de las mismas (43). Los tubérculos de yuca cosechados a los 6-7 meses de edad contienen más HCN que los tubérculos maduros cosechados a los 8-9 meses (48). Conforme la planta envejece, el contenido de HCN aumenta (5). Es mayor el porcentaje de HCN de la yuca cosechada a los 15 meses de edad que el de la cosechada a los 9 meses (7).
- D) Métodos de cultivo (abonado) (29,41). La fertilización con potasio reduce el contenido de HCN del tubérculo (8), y la fertilización con nitrógeno lo incrementa (13,28).

La mayoría de las variedades de yuca que tienen bajos niveles de HCN se caracterizan por tener tubérculos de sabor dulce (5,27), ya que algunos tubérculos con bajo contenido de HCN tienen ligero sabor amargo, por lo cual, es posible que exista otra substancia que imparta sabor amargo a la yuca además de HCN (49).

Las variedades con altos niveles de HCN, por lo regular, poseen sabor amargo (2,5,27). El amargor del tubérculo no parece estar asociado con la cantidad de HCN (55). Es probable que la cantidad de azúcares del tubérculo tenga algún efecto que impida la percepción total del sabor amargo del mismo (54).

En las variedades dulces, el HCN en el tubérculo tiende a concentrarse más en la corteza que en la pulpa (5), mientras que en las variedades amargas, con un alto contenido de HCN, éste tiende a distribuirse igualmente en todo el tubérculo (5).

En ciertas circunstancias de cultivo y factores (humedad, clima, altitud, tipo de suelo, fertilizantes) que afectan el desarrollo de la planta, una variedad amarga puede transformarse en dulce y viceversa (2).

2.2.4 Importancia del Acido Cianhídrico en la Yuca

El HCN parece tener importancia como mecanismo de defensa contra el organismo *Cerospora henningsii* que produce manchas en las hojas (53).

La cantidad de roedores que dañan los tubérculos de yuca en los sembradíos, disminuye con el aumento de HCN en la corteza del tubérculo (51).

El desarrollo de variedades resistentes a los roedores, por su contenido de HCN, es útil cuando la raíz de yuca se destina a la producción de almidón, ya que en el proceso de obtención de éste se elimina casi todo el HCN.

2.2.5 Detoxificación de la Yuca

El riesgo de intoxicaciones puede reducirse al disminuir el contenido de HCN mediante procesos de lavado, cocimiento o desecación de las raíces (27,30). La ebullición en agua, de los tubérculos y de las hojas, reduce grandemente la concentración de HCN pero no los elimina completamente (43,80). De esta forma se elimina del tubérculo un 50-67 % del contenido de HCN (79). Si las hojas de yuca se machucan o se cortan, se hierven en agua por unos minutos y se deshecha el agua de ebullición, es suficiente para detoxificarlas (5).

Para eliminar el HCN de la raíz fresca, se elimina la corteza, se corta en pedazos, se echan éstos a un recipiente con agua fría luego se deshecha ésta y después se ponen a cocer en agua, a fin de que el calentamiento gradual dé por resultado la hidrólisis del principio tóxico (2,26); se lleva a ebullición hasta el necesario ablandamiento para ser comestible, cediendo de esta forma casi todo el HCN (5,44). Se debe tener presente que siempre que se someten las raíces a un calor demasiado intenso se suprime con ello la acción enzimática y puede ocurrir que no desaparezca el HCN combinado, con el peligro consiguiente (2).

Como el calor es agente eliminador de HCN de la yuca (80), el tubérculo cortado y expuesto al sol durante tres días (27,44) pierde hasta el 73 % de HCN (44) por volatilización y pueden ser ingeridos sin peligro (27).

La forma más efectiva de suprimir el HCN de los tubérculos es: eliminar la corteza, cortarlos en trozos, deshidratarlos, lavarlos por más de 6 hrs. con agua y secarlos nuevamente por 48 hrs. (48). Al freír los trozos frescos de tubérculos se obtiene un producto con cantidades insignificantes de HCN (50). El HCN de la harina de yuca se

pierde cuando se prepara pan, a partir de ésta (50). Otros productos - preparados a partir del tubérculo (ver parte 2.1.5) pierden casi todo el HCN en las diferentes etapas de elaboración; por ejemplo, un Kg de gari regularmente contiene 20-30 mg de HCN, tomando en cuenta que se usaron 2 Kg de raíz fresca para su preparación, los cuales contienen - aproximadamente un total de 800 mg de HCN (400 mg/Kg), puede apreciarse una substancial disminución de éste (5).

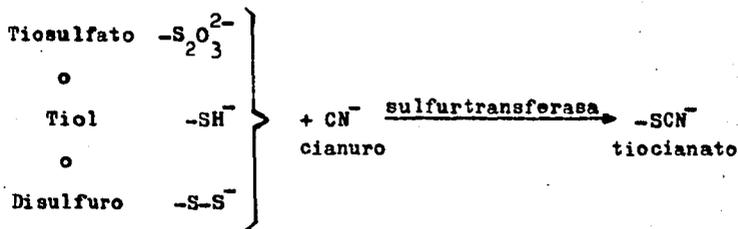
2.2.6 Cianuro y Tiocianato en el Cuerpo

Después de la ingestión de la yuca, el cianuro (CN^-) es absorbido por el tracto intestinal y rápidamente convertido en tiocianato (SCN^-) por un mecanismo enzimático que involucra a la enzima sulfurtransferasa (rodanasa), la cual está ampliamente distribuida en varios órganos (56,57,59), como el hígado, el riñón y otros tejidos (56). El consiguiente aumento del tiocianato en el plasma es el resultado de la detoxificación del cianuro (56,58,61).

La enzima sulfurtransferasa cataliza la formación de tiocianato a partir del cianuro libre y un donador de azufre (58). El azufre necesario para la conversión del cianuro en tiocianato se obtiene a partir del tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$) (56,57,58) o del 3-mercaptopiruvato (57), los cuales son productos del catabolismo de los aminoácidos sulfurados (cisteína y metionina), que en presencia de cianuro son convertidos rápidamente, por acción de la sulfurtransferasa, en tiocianato (56,57). El ión disulfuro ($-S-S^-$) también puede ser un efectivo donador de azufre (58).

Ya sea que se consuma yuca o no, la concentración de sulfurtransferasa se mantiene constante en el cuerpo (56). La sulfurtransferasa - además de estar presente en el tejido animal (58) también ha sido en-

contrada en bacterias (*Ferrobacillus ferrooxidans*) (58), en la misma -yuca (58) y en otras plantas que no contienen HCN (58). El papel de la rodanasa en la yuca podría ser para asimilar el cianuro liberado por -hidrólisis en el microambiente celular (58).



2.2.7 Alteraciones que Sufre el Organismo Debido a la Detoxificación del Cianuro Contenido en la Yuca

Cuando personas o animales ingieren cianuro, por medio de la yuca, vegetales de la familia Brassicaceae u otros alimentos, en pequeñas cantidades, con respecto a las dosis letales, por tiempo prolongado como resultado de una dieta monótona, el cuerpo sufre una intoxicación crónica, la cual se manifiesta en forma de desnutrición, trastornos nerviosos (28,56) y goitre (bocio) (28,57).

El tiocianato resultante de la transformación del cianuro contenido en la yuca ingerida, induce una considerable caída en la retención de yodo en la glándula tiroides (59) acompañado de un aumento de la excreción de yodo (59) y tiocianato en la orina (56) y como ya se había mencionado, un aumento del tiocianato en el plasma (56).

El ión tiocianato inhibe competitivamente el mecanismo de concentración del yodo en la glándula tiroides, sin ser acumulado en cantidades significativas, en la misma (61,81). La consecuente acción antitiroides del tiocianato (57) trae como resultado una hipertrofia de la -

glándula tiroides (62) conocida con el nombre de bocio (62) o goitre - (28,57).

La enfermedad llamada neuropatía atáxica también es ocasionada por la intoxicación crónica con cianuro (56). Los pacientes con esta enfermedad, también presentan aumento en la concentración de tiocianato en el plasma y en la orina (56). La concentración de tiocianato disminuye cuando los pacientes son alimentados con dietas que no contienen yuca pero aumenta cuando se vuelve a incluir yuca en la dieta (56). La adición de yodo a la dieta no modifica la concentración de tiocianato plasmático (57).

La desnutrición se debe a que, además de ser la yuca deficiente en aminoácidos que contienen azufre (cisteína y metionina) (56), existe la demanda de éstos para detoxificar el cianuro ingerido con la yuca, condicionando aún más la deficiencia de estos aminoácidos en el organismo (56).

Capítulo 3

CALIDAD NUTRITIVA DE LA YUCA

El valor nutritivo de un alimento no sólo depende de su composición bioquímica y además, no puede ser deducido únicamente de su análisis in vitro (26).

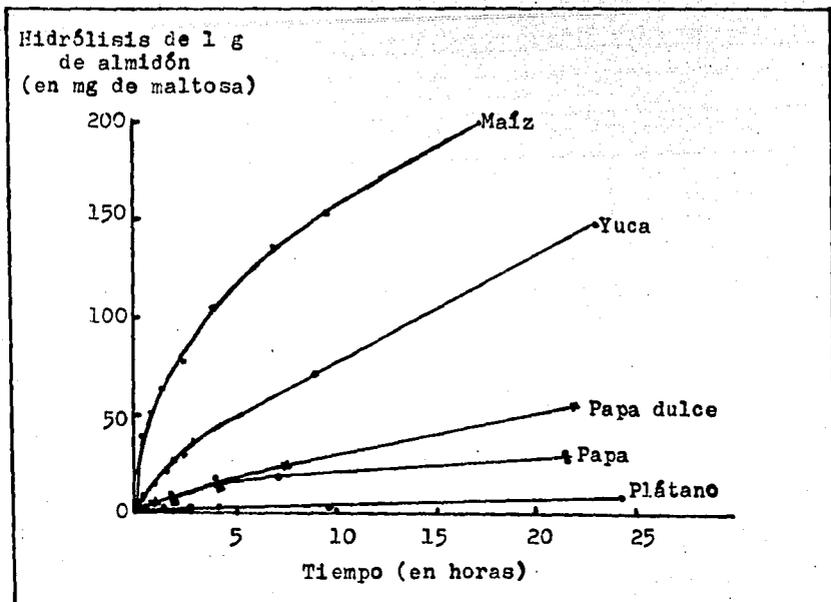
Existen diversos factores en el mismo alimento que intervienen en la acción de sus constituyentes nutritivos, por ejemplo: las características organolépticas y la apetecibilidad, la digestibilidad, los factores estimulantes o inhibidores de enzimas, etc. (26).

3.1 Calidad Nutritiva del Tubérculo de Yuca

3.1.1 Digestibilidad de la Yuca en Relación con la Actividad de la α -Amilasa y la Influencia que Puede Tener Sobre Ciertas Enzimas

El almidón de yuca cruda se sitúa, desde el punto de vista de la velocidad de hidrólisis por la α -amilasa bacteriana, entre los almidones de cereales y los almidones de plátano y otros tubérculos (26), — ver gráfica 1.

La α -amilólisis del almidón de yuca no se acelera durante la fermentación a la que se somete la yuca para obtener diversos productos — como el gari, fariña, etc, (26). Las diversas harinas, la pulpa fermentada y los productos que no son sometidos a la acción del calor, son — mucho menos sensibles a la acción de la α -amilasa que la raíz fresca —



Gráfica 1.- Velocidad de hidrólisis de la α -amilasa bacteriana sobre diversos almidones.¹

¹ La curva de yuca es el valor promedio obtenido con algunas de las variedades comestibles, por lo tanto dulces, comunes en los mercados de diversas regiones de Africa, como: Camerun, - Nigeria, Madagascar, Togo y Congo (26).

(26), ver gráfica 2. Esta diferencia, probablemente se debe a la presencia de una amilasa en la raíz fresca, que alcanza una acción similar a la de la α -amilasa bacteriana utilizada experimentalmente (26).

Solamente el gari, después de ser sometido al calor, con objeto de secarlo, presenta una velocidad de α -amilólisis elevada, mayor que la de productos frescos y fermentados (26), ver gráfica 3.

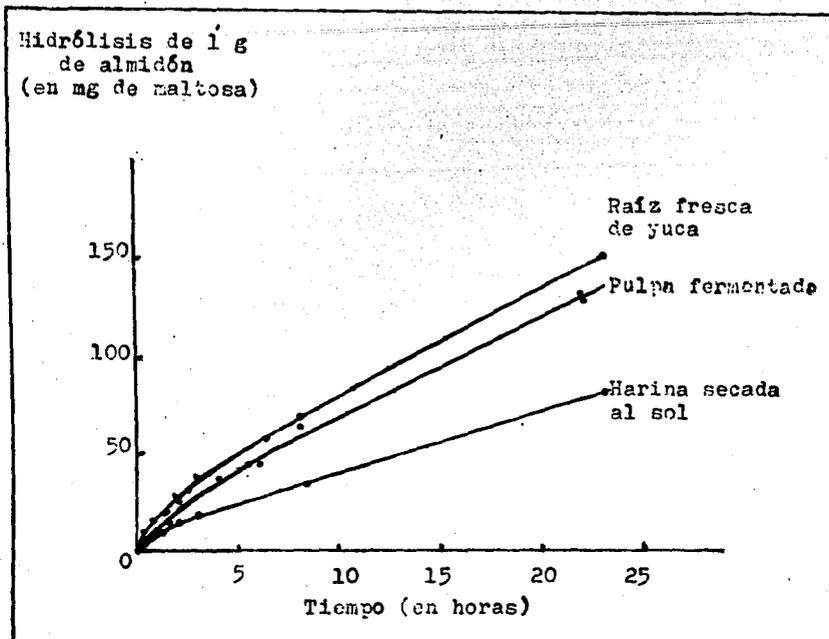
En lo que concierne a la influencia de la yuca sobre ciertas ensimas, se ha notado que la tapioca en presencia de lactoalbúmina acelera la actividad de la tripsina y disminuye la actividad de la pepsina; en cambio, otras amilasas como la de trigo o la de papa disminuyen la actividad de las enzimas proteolíticas, sobre todo de la tripsina (26).

3.1.2 Calidad de la Proteína del Tubérculo

La proteína del tubérculo es de muy baja calidad, debido a que su contenido de aminoácidos¹ sulfurados (metionina y cistina) es casi imperceptible, y su contenido de otros aminoácidos esenciales es muy bajo (33). Aún cuando se compara con el maíz, se puede apreciar que el porcentaje de algunos aminoácidos esenciales de la proteína de yuca es muy bajo con respecto a los de la proteína de maíz, de ahí que su calidad sea tan pobre (33), ver tabla 10.

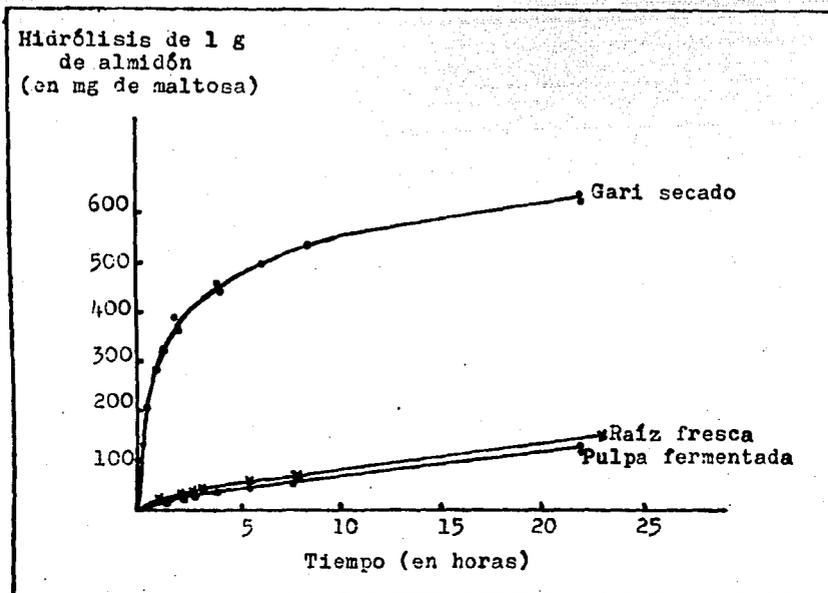
La concentración de nitrógeno es muy alta en las capas exteriores de la raíz, y de todas las porciones analizadas, es en la corteza, donde se encuentra la mayor concentración, siendo más de la mitad del total nitrógeno no protéico (NPN), del cual el 50 % es alfa-aminonitrógeno: residuos como, nitratos, nitritos, amoníaco, etc. (33).

¹ Para fines comparativos, ver el contenido de aminoácidos de las proteínas de algunos cereales en el apéndice 3.



Gráfica 2.- Influencia de la fermentación y el secado, de la yuca, sobre la velocidad de hidrólisis de la α -amilasa¹.

¹ Se usaron variedades de yuca comestibles, comunes en los mercados de algunas regiones de Africa: Camerun, Togo, Nigeria, Congo; y las curvas son los valores promedio obtenidos con las distintas variedades.



Gráfica 3.- Influencia del secado del gari en la velocidad de hidrólisis de la α -amilasa¹.

¹ Las curvas representan el valor promedio obtenido con variedades comestibles comunes en los mercados de diversas regiones de Africa: Camerun, Nigeria, Togo, Congo y Madagascar.

Talla 10.- Análisis de aminoácidos de tres variedades de yuca (pulpa), en comparación con los del maíz (33)

Aminoácidos ¹	Variedades de Yuca			Maíz ²
	I	II	III	
Isoleucina	2.9	2.4	1.7	4.62
Leucina	3.2	2.1	2.0	12.96
Lisina	3.2	3.0	2.6	2.38
Metionina	trazas	trazas	trazas	1.86
Treonina	6.8	6.7	6.2	3.98
Valina	2.2	1.4	1.2	5.1

¹ Expresados en %, en la proteína; (%=g de aminoácido/16 g de N).

² Los datos del maíz fueron tomados de la referencia (75).

Variedad I bajo contenido de proteína, 1.56 %, base seca, (33).

Variedad II contenido medio de proteína, 3.59 %, base seca, (33).

Variedad III alto contenido de proteína, 5.78 %, base seca, (33).

El contenido de NPN de la pulpa del tubérculo es por lo menos de 25 % (33), lo cual sugiere que el contenido de proteína sea aún menor del ya conocido, si al calcular su contenido se tomó como base la cantidad de nitrógeno y se usó el factor 6.25 para hacer la conversión.

No obstante, como constituyente de solo una porción de la dieta, la yuca puede aportar cantidades limitadas de aminoácidos esenciales y algunas vitaminas, además de una cantidad considerable de energía (33).

3.1.3 Energía Metabolizable de la Yuca (65,83)

Se llevó a cabo un experimento en pollos de 2-4 semanas de edad, para medir la energía metabolizable de la harina de yuca. Un lote de pollos se alimentó con la dieta de referencia, la cual contenía 50 % de glucosa, otro con la dieta a prueba donde se reemplazó la glucosa por harina de yuca, y un tercero donde el maíz reemplazó a la glucosa.

El valor promedio de la energía metabolizable¹ de la harina de yuca, fue de 3.44 Kcal/g (base seca) o sea, 3.09 Kcal/g para la harina que normalmente contiene 10.00-13.00 % de humedad. El promedio de peso ganado fue 121 g/pollo en un período de 2 semanas, y la conversión alimenticia (alimento ingerido/peso ganado) de 2.77.

Cuando el maíz reemplazó la glucosa en la dieta, el promedio de peso ganado fué 167 g/pollo en un período de 2 semanas y la conversión alimenticia fué de 2.18.

Por lo tanto, la harina de yuca contiene el 92 % de la energía metabolizable que contiene el maíz además de una pobre conversión alimenticia, ya que los pollos sólo ganaron el 72 % del peso que lograron los alimentados con la dieta que contenía maíz.

¹ 3.23-3.43 Kcal/g (base seca) (84,86).

3.2 El Tubérculo de Yuca en la Alimentación Animal

3.2.1. Formas de Suministrar el Tubérculo a los Animales

El aprovechamiento del tubérculo como alimento para animales puede hacerse en forma fresca, ensilada y como harina (31).

Yuca fresca (31).- Para proporcionar el tubérculo en esta forma la cosecha debe hacerse cada 3 ó 4 días, ya que el material no puede almacenarse por más tiempo sin que ocurran fenómenos de putrefacción, como ya se ha mencionado. Una vez cosechada, la yuca debe ser lavada y posteriormente picada o triturada antes de ser suministrada. Debido a la rápida putrefacción del producto picado o triturado, la yuca debe ser proporcionada diariamente, eliminando el deshecho del día anterior. Los datos experimentales encontrados sobre el uso del tubérculo en forma fresca se reducen a trabajos utilizando cerdos como sujetos de experimentación.

Yuca ensilada.- Los datos sobre este renglón son todavía más escasos, sin embargo, se ha encontrado que la yuca picada, sola o con follaje, produce fermentación adecuada; la yuca sola produce aumentos comparables a los logrados alimentando a los animales (cerdos) a base de yuca fresca (31). Por otra parte, se ha encontrado que es posible obtener buenas ganancias de peso (en cerdos) cuando la yuca se ensila sola o con pequeñas cantidades de maíz, y que la adición de ingredientes protéicos, resulta en una marcada reducción en la aceptación del silo (31).

Harina de yuca.- Los experimentos hechos con harina de yuca para conocer sus propiedades cuando ésta forma parte de la dieta de animales, son más numerosos. A los animales que se les proporciona harina de yuca en la dieta son: a pollos, cerdos y ganado vacuno (31); y se

han encontrado factibles, niveles del 40-50 % de harina de yuca en la -
dieta (31,67,70).

3.2.2 La Harina de Yuca Como Parte de las Dietas Para Pollos

Con el fin de conocer el efecto que tiene la harina de yuca sobre el desarrollo y la conversión alimenticia (alimento ingerido/aumento - de peso) en pollos, se han realizado un número considerable de experimentos. En la mayoría de las pruebas se han utilizado pollos de un día de edad, a los que durante 3-4 semanas se les suministra las dietas-- prueba (con harina de yuca) y la dieta testigo (con maíz) en lotes de pollos por separado. Cada dieta prueba contiene diferentes niveles de yuca en forma progresiva, en combinación con maíz, hasta que substituye casi completamente a éste último, y, por lo general el maíz compone el 60-65 % del total en las dietas para pollos.

Se ha observado que conforme aumenta la concentración de harina - de yuca en la dieta suministrada a los pollos, el desarrollo (aumento de peso) de los animales disminuye (34,65), y la conversión alimenticia es deficiente (34).

La conversión alimenticia es mejor cuando la dieta contiene maíz (83) o harina de soya (30), que cuando contiene harina de yuca. Se obtienen buenos resultados cuando el contenido de harina de yuca en la - dieta, constituye el 10-15 % (27,65) del total. Ya que, niveles de 20 % y 30 % disminuyen la ganancia de peso (27,65), aunque esta disminu- ción no es significativa en el desarrollo de los pollos (65).

Cuando la harina de yuca forma parte de más del 30 % del total de la dieta, la disminución en la ganancia de peso y la deficiencia en la conversión alimenticia son apreciables (66,77,83).

La adición de melazas y aceite de soya a dietas que contienen 50

‰ de yuca (o sea, que se reemplaza totalmente el maíz) no tiene efectos benéficos, indicando esto que, la palatabilidad y la (posible) deficiencia de ácidos grasos esenciales no son responsables de la disminución del desarrollo y la deficiente conversión alimenticia de los pollos (34). Sin embargo, al suplementar las dietas que contienen 50 ‰ de harina de yuca con 0.15 ‰ de metionina se superan grandemente los defectos (34,86), deduciéndose de aquí que la metionina es el nutriente limitante principal (34).

La harina de yuca puede ser incorporada en dietas para pollos en niveles superiores a 30 ‰, pero sólo hasta el 50 ‰ del total, sin sacrificar la ganancia en peso de los pollos y obtenerse una eficiente conversión alimenticia, siempre y cuando la dieta esté balanceada con respecto al contenido de proteína (34,65,77), energía (65) y metionina (34). Además de la adición de metionina, es conveniente adicionar 0.10-0.25 ‰ de Na_2SO_4 debido a que estimula el desarrollo de los pollos por ser fuente de azufre utilizada en la detoxificación del cianuro (86).

En la tabla 11, aparecen los componentes de: una dieta testigo, - los límites en que varían al aumentar la concentración de harina de yuca con el fin de que la dieta esté balanceada y, una dieta balanceada conteniendo 50 ‰ de harina de yuca.

3.2.3 La Harina de Yuca en la Alimentación de los Cerdos

Al igual que en los pollos, se han hecho experimentos en cerdos para conocer el efecto que tiene la harina de yuca en su desarrollo y en la conversión alimenticia. En las pruebas se substituye el maíz progresivamente por harina de yuca hasta reemplazarlo completamente (50-60 ‰ del total de la dieta). El tiempo de duración de los experimentos,

Tabla 11.- Componentes de una dieta testigo; límites en que estos varían al aumentar la concentración de harina de yuca; y una dieta con 50 % de harina de yuca (34). (Diets para pollos).

Componentes	Dieta testigo	Variación de los componentes al aumentar la concentración de harina de yuca					50 % de harina de yuca
	%	%					%
Harina de tubérculo de yuca	-	5	10	20	30	40	50
Maíz	64	58	52	40	28	16	-
Harina de soya (44 % de proteína)	22	23	24	26	28	30	32
Harina de atún (60 % de proteína)	5	5	5	5	5	5	5
Harina de carne y hueso (45 % de proteína)	5	5	5	5	5	5	5
Harina de alfalfa deshidratada (20 % de proteína)	2	2	2	2	2	2	2
Fosfato	1	1	1	1	1	1	1
Sal	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25
Mezcla ¹ de vitaminas y minerales	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25
DL-metionina	-	-	-	-	-	-	.15

¹ Suplementación por Kg de dieta: Vit. A, 3850 UI; Vit. D₃, 1100 UI; - Vit. E, 1.1 UI; Vit. B₁₂, 5.5 µg; Vit. B₂, 3.3 mg; ácido d-pantoténico, 5.5 mg; niacina, 2.2 mg; cloruro de colina, 220 mg; BHT, 124 mg; Mn, 59.9 mg; Fe, 20.0 mg; Zn, 27.5 mg; Cu, 2.0 mg; I, 1.2 mg; Co, - 0.2 mg; bisulfito sódico de menadiona, 0.55 mg.

puede ser cierto número de semanas, o hasta que los animales aumentan un determinado número de Kgs. Las pruebas, por lo regular se inician con animales del mismo peso.

En el engorde de cerdos, éstos obtienen muy buena ganancia de peso cuando se les suministran dietas balanceadas en las que la yuca forma el 50 % de la ración (67,70); la ganancia en peso es similar y, a veces superior que con las dietas comunes donde el 50 % de la ración está compuesto por maíz (67,70). Sin embargo, la conversión alimenticia de las dietas que contienen yuca es mucho más deficiente que la que se obtiene con dietas a base de maíz (70). Cuando los niveles de harina de yuca en la dieta son superiores al 50 %, se observa una disminución significativa en la ganancia de peso y una conversión alimenticia aún más deficiente (67).

En otros experimentos (68) se observó que las dietas para cerdos que contienen hasta un 42 % (base seca de la dieta) de harina de yuca cruda, producen desarrollo normal y eficiente conversión alimenticia en los animales; sin embargo, cuando los niveles de yuca están cercanos al 50 % (base seca de la dieta) la ganancia de peso de los cerdos no es satisfactoria, a no ser que la yuca esté hervida; y cuando se incluyen niveles de 60 % (base seca de la dieta) de yuca, la ganancia de peso no es satisfactoria, aún cuando la yuca esté hervida.

La yuca cruda en niveles de 42 %, en la dieta, tiende a mejorar la retención de nitrógeno, en comparación con la yuca hervida, lo cual mejora ligeramente la ganancia de peso de los cerdos (68); sin embargo, las dietas que contienen yuca cruda parecen tener una apreciable disminución en la digestibilidad y absorción del calcio y el fósforo, factor que puede ser responsable en la disminución en la ganancia de peso de los cerdos cuando la dieta contiene alta proporción de harina de yuca (68).

Con dietas que contienen 60 % de harina de yuca y un balance adecuado de la fracción proteica, vitamínica y mineral, se ha obtenido excelente: ganancia de peso, conversión alimenticia, digestibilidad de la materia orgánica, retención de nitrógeno, largo de la canal, espesor de la grasa dorsal y número de yodo de los depósitos adiposos de los cerdos. Cabe mencionar, que dietas de este tipo deben suplementarse con 0.2 % de L-lisina y 0.1 % de DL-metionina (71).

La harina de yuca es una excelente fuente de carbohidratos para la alimentación del cerdo y puede substituir al maíz cuantitativamente, haciendo los ajustes correspondientes a la fracción proteica, vitamínica y mineral de la dieta (27,71). En la tabla 12, aparecen las cantidades de los componentes de dietas recomendables para cerdos, a base de maíz, combinaciones maíz-yuca y substitución del maíz por yuca.

3.2.4 La Harina de Yuca en la Dieta Humana (72)

La harina de yuca es un alimento que se consume bastante, principalmente en las zonas rurales de países tropicales, donde los recursos económicos de la gente son escasos. El consumo de harina de yuca, en algunas regiones de Brasil, per capita/día, varía de 66 a 189 g.

Partiendo de esta información, y como la harina de yuca es un alimento de bajo contenido proteico, se han llevado a cabo estudios, enriqueciéndola con proteína aislada de soya, concentrado proteico de pescado y caseína, midiendo la eficiencia proteica (PER) de las diferentes dietas, en ratas, como etapa previa a su aplicación en humanos, en las regiones que lo requieran.

Tanto las dietas de referencia (harina de pescado, soya y caseína) como las de yuca enriquecidas con cada uno de los concentrados proteicos (tabla 13) estaban compuestas por : 10 % de proteína 65 % de carbo

Tabla 12 (71).- Componentes, y cantidades de éstos, en dietas a base de maíz, combinaciones maíz-yuca y sustitución del maíz por yuca. (Dietas para cerdos).

Componentes	Maíz/Yuca (%)			
	60/0	40/20	20/40	0/60
Harina de carne	5	5.5	6	6.5
Harina de ajonjolí	20	23	26	29
Harina de maíz	60	40	20	0
Harina de yuca	0	20	40	60
Pulidura de arroz	9	5.5	2	0
Melaza	5	5	5	5
Minerales y vitaminas ¹	1	1	1	1
L-lisina	0.2	0.2	0.2	0.2
DL-metionina	0.1	0.1	0.1	0.1

¹ La mezcla contiene 45 % de sal común, 50 % de fosfato dicálcico y 5 % de elementos menores en las siguientes proporciones, por - kg: Vit. A, 700 UI; Vit. D₃, 1320 UI; Vit. B₁₂, 22 µg; colina, 770 mg; niacina, 37 mg; Vit. B₂, 5 mg; pantotenato de calcio, 20 mg; cobalto, 20 µg; yodo, 11 mg; zinc, 100 µg; manganeso, 176 mg cobre, 20 mg.

Tabla 13 (72).- Composición de las dietas (%).

Componentes (%)	Dietas					
	Harina de pescado	Yuca + Harina de pescado	Caseína	Yuca + Caseína	Soya	Yuca + Soya
Harina de pescado	11.8	10.0	-	-	-	-
Caseína	-	-	13.2	11.7	-	-
Proteína aislada de soya	-	-	-	-	11.5	9.7
Harina de yuca	-	78.0	-	75.8	-	78.3
Aceite	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Sales minerales	3.3	3.0	4.0	3.5	4.0	3.0
Almidón	75.9	-	73.8	-	75.5	-

hidratos, 10 % de grasa, 4.5 % de ceniza y 1.3 % de fibra cruda.

Estudiando los resultados (tabla 14) de proteína ingerida, ganancia de peso, y PER, después de los 28 días que dura la prueba, se llegó a la conclusión de que el mejor suplemento para enriquecer la harina de yuca es el concentrado protéico de pescado, le sigue, con buenos resultados el enriquecimiento con caseína y, con muy bajos valores (de proteína ingerida, ganancia de peso y PER), el enriquecimiento con proteína aislada de soya.

Tabla 14 (72) .- Eficiencia protéica (PER) de la harina de yuca enriquecida con proteína aislada de soya, concentrado protéico de -- pescado y caseína, comparada con sus respectivos testigos, durante un período de 28 días. (La composición de las dietas aparece en la tabla 13).

Dietas	Proteína ingerida g/día	Ganancia de peso g/día	Ganancia de peso Proteína ingerida PER
Harina de yuca + Harina de pescado	1.27	4.00	3.14
Harina de pescado	1.30	3.89	2.99
Harina de yuca + Proteína aislada de soya	0.94	1.61	1.71
Proteína aislada de soya	0.89	1.60	1.79
Harina de yuca + Caseína	1.17	3.14	2.68
Caseína	1.18	3.30	2.79

3.3 Calidad Nutritiva de las Hojas de Yuca

3.3.1 Composición de Aminoácidos de la Proteína de las Hojas de Yuca

En la tabla 15, se presenta el contenido de aminoácidos de la proteína de las hojas de yuca. Se incluyen los requerimientos de aminoácidos esenciales indicados por la FAO Reference Protein, para considerar si la proteína de yuca es adecuada para el mantenimiento y desarrollo del humano (35). Esta comparación indica que la proteína de las hojas de yuca es deficiente en metionina (35,36,82,88,89). Los valores mínimos para todos los otros aminoácidos esenciales excede al requerimiento indicado por la FAO Reference Pattern (35). La cantidad de lisina es excelente (88), ya que se encuentra en casi el doble de los requerimientos mínimos nutricionales (35). El contenido de la mayoría de los aminoácidos esenciales de las hojas de yuca, es más alto que el del frijol soya (36), particularmente en treonina y triptófano. Con respecto al patrón de aminoácidos esenciales, la proteína de hojas de yuca es similar a la del frijol soya, la cual está considerada entre las mejores proteínas vegetales disponibles de valor nutritivo (35).

Tabla 15.- Aminoácidos de la proteína de la hoja de yuca (35,36) y requerimientos/persona/día de los aminoácidos esenciales según la FAO — (35).

Aminoácido	Hojas de yuca	Requerimientos/persona/día según la FAO
	(%)	(g)
Alanina	5.22 - 6.66	-
Arginina	4.00 - 7.35	-
Acido aspártico	9.10 - 10.72	-
Cistina	0.74 - 1.99	-
Acido glutámico	8.80 - 11.83	-
Glicina	4.29 - 5.95	-
Histidina	1.44 - 3.40	-
Isoleucina	4.34 - 6.31	4.2
Leucina	7.66 - 9.67	4.8
Lisina	5.60 - 8.24	4.2
Metionina	1.39 - 2.00	2.2
Fenilalanina	5.06 - 6.65	2.8
Prolina	4.12 - 6.40	-
Serina	3.58 - 5.81	-
Treonina	4.49 - 5.14	2.8
Triptófano	1.28 - 2.50	1.4
Tirosina	3.71 - 4.82	-
Valina	5.30 - 6.22	4.2

3.3.2 Digestibilidad¹, Valor Biológico¹, Utilización Neta de Proteína¹ y Nitrógeno Utilizable¹ de la Proteína de Hojas² de Yuca. Disponibilidad Verdadera de los Aminoácidos

Se ha encontrado una alta digestibilidad (verdadera) de la proteína de hojas de yuca (36), especialmente la de hojas jóvenes (36). La digestibilidad verdadera de la proteína de hojas jóvenes es del 80 % - pero disminuye a 67 % en hojas maduras (viejas) (36).

La utilización neta de la proteína es de 30-40 %, la cual es relativamente baja (36). Se ha encontrado un aumento en la utilización neta de la proteína de las hojas maduras cuando se suplementan con metionina sintética (36).

La concentración de aminoácidos sulfurados (metionina y cistina) es bastante baja, siendo esto, probablemente, la causa del relativamente bajo valor biológico de la proteína, el cual se encuentra en un intervalo de 48.9 % a 57.1 % (36).

Debido al alto contenido de nitrógeno de las hojas, el nitrógeno utilizable de éstas, es de 2.00-2.43 % (36), lo cual corresponde al doble del nitrógeno utilizable de cualquier cereal (36).

En la tabla 16, aparecen a manera de resumen los valores de: digestibilidad verdadera, utilización neta de proteína, valor biológico y nitrógeno utilizable de la proteína de hojas de yuca.

Cuando se mezclan hojas de yuca y bacalao seco de tal forma que - cada uno de éstos aporte 50 % de nitrógeno, se obtiene un incremento - en el valor biológico de las hojas de yuca de 49 a 73 % (tabla 17) (36)

¹ Ver apéndice 4.

² La energía metabolizable de las hojas de yuca es 1.59 Kcal/g (base - seca) (84).

Tabla 16.- Valor de la proteína de hojas de yuca (36) expresada como:

Digestibilidad verdadera	67.0 - 80.0 %
Utilización neta de proteína	30.0 - 40.0 %
Valor biológico	48.9 - 57.1 %
Nitrógeno utilizable	1.99 - 2.43 %

Tabla 17.- Valor de la proteína de una mezcla de hojas de yuca y -
 bacalao seco, donde cada uno de estos aporta 50 % del nitrógeno --
 (36).

	Yuca (variedad 61584 Ohupon)	Bacalao seco	Yuca (variedad 61534 Ohupon) + Bacalao seco	Yuca (variedad 61584 Ohupon) + Metionina
Digestibilidad verdadera (%)	74.5	98.4	80.7	72.1
Valor biológico (%)	48.9	78.1	72.8	80.4
Utilización neta de proteína (%)	36.4	76.8	58.7	46.5
Nitrógeno utilizable (%)	2.04	11.2	-	3.20

sin embargo, la sola adición de metionina a las hojas de yuca tiene efectos positivos en el valor biológico, incrementándolo de 49 a 80 %, y un incremento en el nitrógeno utilizable de 2.04 a 3.2 %, el cual es extremadamente alto para un producto vegetal (36,87). Como muestra la tabla 15, la proteína de las hojas de yuca es muy pobre en aminoácidos sulfurados como para obtener una excelente utilización de la proteína (36).

Es recomendable combinar las hojas de yuca con una proteína de alto contenido de metionina, como lo es el bacalao (36), ya que una sobredosis de un aminoácido solo, puede tener efectos adversos (36). Otra fuente de metionina que puede usarse es el girasol (36).

Sobre la base de la composición total de aminoácidos de las hojas de yuca, el concentrado proteico de éstas podría ser una fuente para preparar dietas proteicas balanceadas si se suplementan con metionina (36).

Para ilustrar la disponibilidad verdadera de los aminoácidos de las hojas de yuca hervidas durante 15 min, se midió y comparó con la disponibilidad de los aminoácidos de bacalao seco (36). Como puede apreciarse en la tabla 18, todos los aminoácidos, y por lo tanto el nitrógeno total en el bacalao, son 100 % disponibles. Las hojas de yuca se comportaron diferente, y la disponibilidad de cada aminoácido individual varió considerablemente. Sólo el 60 % de la metionina fué biológicamente disponible. Esto indica que la digestibilidad de la proteína de las hojas de yuca disminuye con el calentamiento (36).

Tabla 18.- Disponibilidad (%) de los aminoácidos individuales del bacalao seco y de las hojas de yuca hervidas (36).

Aminoácido	Bacalao seco	Hojas de yuca hervidas (variedad 61584 Ohupon)
Lisina	99.6	72.8
Metionina	98.7	59.2
Cistina	99.2	75.3
Acido aspártico	97.8	72.3
Treonina	98.8	62.2
Serina	100.0	84.0
Acido glutámico	98.9	64.4
Glicina	98.5	58.7
Alanina	99.5	64.3
Valina	98.7	55.2
Isoleucina	98.9	55.2
Leucina	98.8	61.0
Tirosina	96.9	61.5
Fenilalanina	96.9	62.5
Histidina	100.0	71.7
Arginina	99.0	65.8
Triptófano	96.9	78.1
Nitrógeno total	98.4	66.1

3.4 Las Hojas de Yuca en la Alimentación Animal

Las hojas deshidratadas de yuca disminuyen el desarrollo y la conversión alimenticia de los pollos (84) alimentados con raciones que — las incluyen en un 15-20 % o más (73). En las dietas para pollos que — contienen hojas deshidratadas de yuca, la metionina es el primer fac— tor limitante, y el segundo es la energía. A su vez, la presencia de — cantidades apreciables de glucósidos cianogénicos en las hojas de yuca, sugiere que la toxicidad del cianuro es la responsable de la deficien— cia de metionina (73), ya que las raciones que contienen hojas de yuca requieren mayor cantidad de metionina, para que ésta proporcione azu— fre adicional para la detoxificación del cianuro (73). Por lo tanto, — cuando las dietas que contienen 20 % de hojas de yuca son suplementa— das con 0.15-0.20 % de metionina (tabla 19), producen excelente gana— cia de peso y conversión alimenticia en los pollos (73). Cabe mencio— nar que la adición de tiosulfato de sodio (0.15 %) como fuente adicio— nal de azufre para la detoxificación del cianuro, además de la metioni— na suministrada, mejora aún más el desarrollo de los pollos (73).

En lo que se refiere a bovinos, se ha encontrado que la harina de hojas tiernas y tallos de yuca deshidratados, no causan ningún tras— torno en el organismo de estos animales, y que su uso en las raciones_ (tabla 20) de vacas lecheras en lugar de harina de alfalfa deshidrata— da, es recomendable económicamente (74). La edad óptima de las hojas — de yuca para obtener un producto de calidad nutritiva es a los 3 meses (74).

Como puede observarse, la harina de hojas (y a veces con tallos)— deshidratadas de yuca puede substituir satisfactoriamente a la harina_ de alfalfa (76) en las dietas para pollos y ganado bovino (88), ya que su contenido de protefna es muy similar al de ésta (76), teniendo cui—

Tabla 19.- Dietas para pollos conteniendo hojas de yuca, deshidratadas, suplementadas con metionina y tiosulfato de sodio (73).

Componentes	Dieta común	Yuca 15 %	Yuca 20 %
	%	%	%
Maíz	53.6	53.6	51.9
Harina de soya (44 % proteína)	22.0	19.9	16.6
Harina de carne y hueso (45 % proteína)	5.0	5.0	5.0
Harina de atún (54 % proteína)	5.0	5.0	5.0
Harina de yuca (15-19 % proteína)	-	15.0	20.0
Harina de alfalfa (20 % proteína)	2.0	-	-
Fosfato	1.0	1.0	1.0
Sal	0.25	0.25	0.25
Mezcla ¹ de vitaminas y minerales	0.25	0.25	0.25
DL-metionina	-	0.15	0.15
Tiosulfato de sodio	-	0.15	0.15

¹Suplementación de dietas para pollo/kg: Vit. A, 3850 UI; Vit. D₃, 1100 UI; Vit. E, 1.1 UI; Vit. B₁₂, 5.5 µg; Vit. B₂, 3.3 mg; ácido d-pantoténico, 5.5 mg; niacina, 22 mg; cloruro de colina, 220 mg; BHT, 124.7 mg; manganeso, 59.9 mg; fierro, 20.0 mg; zinc, --- 27.5 mg; cobre, 2.0 mg; yoduro, 1.2 mg; cobalto, 0.2 mg.

Tabla 20.- Dietas de yuca y alfalfa para ganado lechero (bovinos) (74).

Componentes	Dietas	
	Yuca %	Alfalfa %
Harina de yuca (hojas y tallos deshidratados)	35	-
Alfresco de trigo	20	20
Pulidura de arroz	20	20
Harina de semilla de algodón	25	25
Harina de alfalfa deshidratada	-	35

dado de hacer las suplementaciones necesarias (con metionina principalmente).

También se han observado buenos resultados en la producción de leche cuando se administra yuca fresca a las vacas (27), y puede sustituir al maíz de la dieta de las mismas, siempre y cuando las raciones se balanceen en cuanto al contenido de proteína (27).

Capítulo 4

IMPORTANCIA ECONOMICA Y APROVECHAMIENTO DE LA YUCA¹

4.1 Producción Mundial de Yuca

La producción de yuca en la década 1965-1974 se muestra en la tabla 21. Africa, Sudamérica y Asia, aportan casi toda la producción. El área dedicada a la yuca, en Africa, es muy grande sin embargo, el rendimiento por hectárea es muy bajo. Los rendimientos de yuca en Sudamérica son cerca del doble de los de Africa. Brasil es el productor más grande de yuca en el mundo. La producción de yuca en los últimos 10 años a tendido a ir en aumento (tabla 22). Los países que exportan mayores cantidades de yuca y productos de yuca son: Tailandia, Angola, Brasil, Malasia y Malawi (tabla 23); y los principales países importadores son: Alemania Occidental, U.S.A., Francia y Japón. El comercio internacional de la yuca se ha ido incrementando a partir de los años 70s.

4.2 Importancia Económica de la Yuca

La importancia económica de la yuca depende de diversos factores:

- a) Alto rendimiento de calorías.- La yuca produce una mayor cantidad de calorías comestibles por hectárea, que los demás cultivos tropicales. Produce más calorías por hectárea que el arroz,

¹ Referencia (5).

Tabla 21.- Producción media anual de yuca en el período 1965-1974.

Región o País	Área sembrada de yuca en hectáreas (por 1000)	% de áreas destinadas a la yuca	Producción en toneladas (por 1000)	% de producción mundial	Rendimiento (Kg/Ha)
Mundial	10532	100	94325	100	9046
África	5567	53	39831	42	7159
Sudamérica	2413	23	33300	35	13743
Asia	2378	23	21160	22	8891
Norte y Centroamérica	104	1	654	0.007	6255
Brasil	2004	19	23297	31	14458
Indonesia	1466	14	10701	11	7300
Zaire	343	8	8631	9	11588
Nigeria	928	9	8048	9	9749
India	528	3	4863	5	14642
Tailandia	206	2	3083	3	15060

Tabla 22.- Tendencias de la producción mundial de yuca, (F.A.O., 1974).

Año	Producción en toneladas (por 1000)	Hectáreas (por 1000)	Rendimiento (Kg/Ha)
1962	72550	8501	8535
1963	76133	8854	8599
1964	80275	8946	8973
1965	83249	9329	8924
1966	84286	9598	8782
1967	88237	10131	8715
1968	94714	10237	9252
1969	95410	10271	9290
1970	96627	10743	8994
1971	96742	10814	8946
1972	102618	11196	9166
1973	106418	11123	9567
1974	104891	11878	8831

Tabla 23 .- Exportaciones e importaciones medias, de yuca, de los_ más importantes países exportadores e importadores, durante el período 1966-1970.

Exportadores		Importadores	
País	Cantidad en toneladas (por 1000)	País	Cantidad en toneladas (por 1000)
Tailandia	554	Alemania del Este	466
Brasil	61	Bélgica/Luxemburgo	154
Angola	49	U.S.A.	113
Malawi	28	Japón	45
Malasia	20	Francia	23

trigo, maíz y sorgo.

- b) Fácil de producir.- Un factor que ha promovido el rápido esparcimiento de la yuca en varias partes del mundo, es la facilidad con que se produce. Rendimientos razonablemente buenos pueden ser obtenidos, aún si el cultivo sufre descuidos por parte del campesino.
- c) Material de plantación ideal.- El material de plantación usado para la propagación comercial de la yuca son los tallos cortados; o sea, que se propaga a partir de una parte inservible, - pudiéndose consumir y utilizar la cosecha entera de tubérculos.
- d) Características resistentes de la planta.- La yuca es una planta relativamente resistente con respecto a la sequía, la cual es una condición ambiental común en los trópicos. También tiene habilidad para desarrollarse bien en suelos relativamente pobres. Estas características facilitan que la yuca sea cultivada en una amplia variedad de zonas ecológicas.

4.3 Problemas de la Yuca

La yuca es un cultivo que ofrece pocos problemas en su producción, sin embargo éstos se multiplican cuando se considera la utilización — del tubérculo:

- a) El contenido de proteína es muy bajo, y la poca cantidad que contiene es de mala calidad. La yuca no puede considerarse como un alimento relativamente balanceado, y las dietas que la contienen deben suplementarse con todos los requerimientos que incluye una dieta balanceada; el tubérculo de yuca es sólo una fuente de carbohidratos. Las hojas de yuca contienen buena cantidad de proteína, pero su consumo no es tan grande ni está —

tan difundido como el de los tubérculos.

b) El problema del ácido cianhídrico.- La necesidad de detoxificar el tubérculo de yuca antes de ser consumido, es el mayor de los problemas concernientes a su utilización. En los lugares donde se consume tradicionalmente, se somete a una serie de tratamientos para poder ser utilizado. Cuando la yuca es procesada para obtener almidón y otros productos industriales, el ácido cianhídrico residual es muy bajo y no constituye un problema. La solución al problema del ácido cianhídrico se encuentra en el desarrollo y selección de cultivos que contengan poco, o que no lo contengan. En el futuro, probablemente sea necesario tener dos clases de cultivo de yuca, uno destinado para la alimentación y otro para producción de almidón (industrial); el primero con un bajo contenido de fibra y de ácido cianhídrico, serían los principales requerimientos; y el segundo, con un alto contenido de almidón, sería la consideración principal.

c) Rápido deterioro del tubérculo fresco.- Como ya ha sido mencionado, el tubérculo fresco de yuca sufre deterioro si se guarda por más de dos o tres días después de haberse cosechado. Las consecuencias económicas de esta característica son numerosas:

- 1o) Desde el punto de vista económico lo mejor sería cosechar las plantaciones de yuca en una sola operación; pero, como deben usarse únicamente tubérculos frescos en las plantas procesadoras, la cosecha debe hacerse a diario según la cantidad que se vaya a procesar, lo cual es económicamente incosteable.
- 2o) La necesidad de que los tubérculos sean frescos, implica que la cosecha deba hacerse también en la estación seca cuando la tierra es muy dura y por lo tanto difícil de cavar. La única alternativa es, entonces, cerrar la planta procesadora du-

rante la estación seca, siendo esto también incosteable. El -- problema del almacenamiento de tubérculos frescos es difícil de resolver; se ha reportado que los tubérculos pueden ser almacenados por algunas semanas bajo condiciones especiales, sin embargo, considerando el bajo costo del cultivo de la yuca, es dudoso que el almacenado bajo condiciones semejantes fuese económico, excepto para la yuca que es cultivada como un vegetal destinado a mercados especiales. Se continúan haciendo investigaciones con el fin de encontrar métodos más económicos para poder almacenar grandes cantidades de tubérculos; mientras tanto, para el procesado debe continuar evitándose el almacenamiento de la yuca y únicamente se deben usar tubérculos frescos recién cosechados.

- d) Mecanización de la plantación y cosechado.- Mientras el procesado de la yuca ha alcanzado una avanzada mecanización en sus diferentes etapas, su plantación y su cultivo aún se ejecutan mediante métodos muy rudimentarios. La cosecha de la yuca ha sido difícil de mecanizar debido al excesivo follaje de la planta y la embarazosa geometría del tubérculo. En lo concerniente a la mecanización del cosechado de la yuca, son muy recientes los intentos que se han hecho por llevarla a cabo. Se espera que, en no mucho tiempo, una mecanización económica y eficiente de la plantación y cosechado de la yuca pueda ser realizada.
- e) Enfermedades.- Las enfermedades ocasionadas por virus y las enfermedades bacterianas son las más comunes, las cuales constituyen un problema en la producción de la yuca.

4.4 Investigación Sobre el Cultivo de la Yuca

En el presente, la investigación sobre yuca está dirigida hacia - la producción de un cultivo que:

- a) Sea resistente a plagas y enfermedades virales y bacterianas.
- b) Tenga altos rendimientos.
- c) Produzca tubérculos de buena calidad con un alto contenido de almidón y bajo de fibra.
- d) Contenga bajos niveles de ácido cianhídrico, particularmente - aquellos cultivos destinados a usarse en alimentación.
- e) Que tenga mayor contenido de proteína.
- f) Que tenga características que lo hagan fácil de cosechar mecánicamente (tubérculos robustos, no esparcidos, y la parte aérea con un mínimo de follaje).
- g) Que sea adaptable a una amplia diversidad de condiciones ambientales.

Diferentes métodos han sido usados con el fin de aprovechar la yuca. La introducción de cultivos en otros países a partir de otras localidades ha sido uno de los métodos más usados para el aprovechamiento de la yuca. En muchas áreas, aún la simple selección entre los cultivos locales daría como resultado cultivos de calidad superior. La hibridización, seguida de una selección adecuada, es otro método usado para el aprovechamiento de la yuca.

CONCLUSIONES

1) El valor alimenticio del tubérculo de yuca es muy bajo debido a su escaso contenido de proteínas, vitaminas y minerales. Aunque puede aportar una cantidad elevada de calorías, debido al casi exclusivo contenido de almidón.

2) La toxicidad de la yuca, por su contenido de ácido cianhídrico, no constituye un problema, siempre y cuando se cultiven las variedades convenientes en las condiciones adecuadas. Si a esto se le suma el tratamiento que se le da al tubérculo antes de ser consumido, ya sea por el humano o por los animales, el peligro que ofrece el ácido cianhídrico desaparece.

3) Es recomendable incluir la yuca (tubérculo) en dietas para animales (pollos y cerdos), siempre y cuando se balanceen con respecto al contenido de proteínas, vitaminas, minerales y metionina, ya que, el tubérculo únicamente es fuente de carbohidratos. En la alimentación del hombre la yuca puede formar parte de la dieta en pequeñas proporciones, en ensaladas, acompañando guisados, o como golosina, debido a que no aporta compuestos de calidad nutritiva a la dieta y únicamente cubrirá demandas de energía del organismo.

4) Aunque el contenido de proteína de las hojas de yuca es elevado, esto sólo es una cualidad aparente, ya que la disponibilidad de los aminoácidos disminuye considerablemente con el tratamiento térmico al cual deben someterse para eliminar el ácido cianhídrico. Sin embargo, se pueden incluir en dietas balanceadas para ganado bovino, que es donde se han observado mejores resultados; y en la dieta humana, en pe

queñas proporciones, como si fuesen espinacas.

5) La yuca es fácil de producir, ya que para su propagación se usa una parte inservible de la planta. Son pocas las atenciones que requiere por parte del campesino durante su cultivo. Es una planta relativamente resistente a las sequías y puede desarrollarse en suelos relativamente pobres. Además, rinde una mayor cantidad de calorías por hectárea que cualquier cereal.

6) Sin embargo, como todas las plantas, la yuca es susceptible al ataque de numerosas plagas y microorganismos. Otro problema que presenta la yuca, es el rápido deterioro del tubérculo (en dos o tres días) después de ser cosechado, sin existir aún, métodos económicos para su conservación; debido a esto el tubérculo se tiene que cosechar conforme se va utilizando.

7) La yuca tiene importancia para México, especialmente en aquellas áreas tropicales donde se puede cultivar con más facilidad y mayores rendimientos que el grano (30).

8) Cualquiera que sea la finalidad del empleo de la yuca, se debe hacer un estudio a fondo de las características de las variedades más convenientes.

Apéndice 1

Composición química, promedio, del arroz, trigo, avena y maíz (75).

Componentes	Arroz	Trigo	Avena	Maíz
Humedad (%)	12.0	12.5	8.3	13.8
Calorías/100 g	360.0	330.0	390.0	348.0
Proteína (%)	7.5	12.3	14.2	8.9
Lípidos (%)	1.9	1.8	7.4	3.9
Carbohidratos (%)	77.4	71.7	68.2	72.2
Fibra (%)	0.9	2.3	1.2	2.0
Ceniza (%)	1.2	1.7	1.9	1.2
Vit. B ₁ (mg/100 g)	0.34	0.52	0.60	0.37
Vit. B ₂ (mg/100 g)	0.05	0.12	0.14	0.12
Niacina (mg/100 g)	4.7	4.3	1.0	2.2

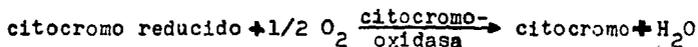
¹Apéndice 2

-Mecanismo de Acción del Cianuro (CN⁻)

- 1) Mediante la formación de un complejo de coordinación relativamente estable con el hierro férrico, el CN⁻ tiende a mantener a este metal en su estado de oxidación más elevado (Fe³⁺) y reduce así su eficacia como transportador de electrones en las transiciones



Mediante esta formación de complejos de hierro, la enzima respiratoria ferrocitocromo-oxidasa es cambiada a ferrocitocromo-oxidasa-cianuro e inhibida su capacidad para catalizar la reacción:



con el impedimento consiguiente para la utilización celular de oxígeno.

- 2) Ya que numerosas vías metabólicas convergen en el sistema citocromo, el impedimento a la capacidad de las células para utilizar oxígeno reduce e incluso detiene el metabolismo aeróbico. De esto resulta una verdadera hipoxia histotóxica (citotóxica) con desplazamiento hacia el metabolismo anaeróbico y acumulación de lactato, piruvato y glucosa.
- 3) Las células son entonces incapaces de usar el O₂ traído -- hasta ellas en forma de O₂Hb por la sangre arterial. La oxihemoglobina continúa en las venas, la diferencia arteriovenosa de O₂ disminuye, y la sangre venosa se tiene de un rojo casi tan brillante como la sangre arterial.

¹ Referencia (91).

- Efectos Tóxicos

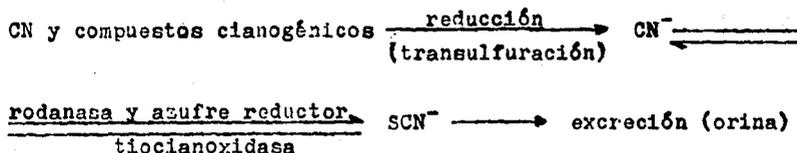
Los cianuros se absorben por todas las vías. En la práctica - la forma de intoxicación de desarrollo más rápido es por inhala- - ción de HCN; 10 ppm de HCN en el aire, es la máxima permisible pa- - ra exposiciones ocupacionales de 8 hrs/día durante 5 días/semana; - 100 ppm ponen en peligro la vida en una hora; 2000 ppm (2.4 mg de HCN/lit de aire) o más, muerte en menos de un minuto.

Cuando se ingiere KCN o NaCN generalmente su absorción en el aparato gastrointestinal es más lenta y más variable que en los -- pulmones. Causa un síndrome sobre el sistema nervioso central; co- - múnmente, en el término de 1 a 5 min. hiperpnea por estimulación - - quimiorreceptora y vómito por la irritación local alcalina, de la - - mucosa gástrica, así como por estimulación hipóxica del centro del vómito. La inconciencia, convulsiones generalizadas, trismus de -- los músculos del maxilar inferior, piel rubicunda, caliente y seca, pulso lleno, rápido e irregular, alta presión sistólica con baja - - presión diastólica y esfuerzos respiratorios con jadeos en 5 a 20 min., son seguidos por dilatación hipóxica de las pupilas, colap- - so vascular y cianosis. Ocasionalmente la muerte es lenta y tran- - quila. La dosis letal mínima de sales inorgánicas de CN^- es de a- - proximadamente 0.2 g para los adultos.

La muerte por absorción cutánea se produce con HCN al 5 % en solución acuosa, y de KCN al 10 % también en solución acuosa.

-Destino del CN^- Absorbido

Vía principal:



El factor limitante de la detoxificación del CN^- , es la canti- - dad disponible de azufre reductor intracelular que puede servir co

mo, o ser transformado en, sustrato, como ha sido mencionado anteriormente (ver, Cianuro y Tiocianato en el Cuerpo; parte 2.2.6).

- Tratamiento

Los compuestos que fijan CN^- fácil y que son tolerados fisiológicamente para ser útiles in vivo, son quelatos de hierro férrico como la metahemoglobina y posiblemente la hematina, así como -- los quelatos de cobalto, la hidroxicobalamina (Vit. B_{12}), el ácido etilendiaminotetraacético dicobáltico (Co_2EDTA) y la histidina cobáltica.

La metahemoglobina coordina CN^- mediante su hierro férrico y lo retiene casi tan ávidamente como la citocromo-oxidasa. En la -- práctica se ha encontrado que hay que convertir rápidamente 20-30% de la hemoglobina intraerocítica circulante en metahemoglobina -- haciendo que el paciente inhale nitrito de amilo y mediante inyecciones intravenosas de 1 g (20 mg/Kg) de $NaNO_2$.

El actual método de tratamiento standard de la intoxicación -- por CN^- en E.U.A. consiste en la inyección intravenosa rápida de -- 1 g de $NaNO_2$ y 10 g de $Na_2S_2O_3$ y la administración de oxígeno a -- presión positiva.

Apéndice 3

Porcentaje de aminoácidos de las proteínas del arroz, trigo, avena y maíz (75).

Aminoácido	Arroz	Trigo	Avena	Maíz
Triptófano ¹	1.08	1.24	1.29	0.61
Treonina ¹	3.92	2.88	3.31	3.98
Isoleucina ¹	4.69	4.34	5.16	4.62
Leucina ¹	8.61	6.71	7.50	12.96
Lisina ¹	3.95	2.82	3.67	2.88
Metionina ¹	1.80	1.29	1.47	1.86
Cistina	1.36	2.19	2.18	1.30
Fenilalanina ¹	5.03	4.94	5.34	4.54
Tirosina	4.57	3.74	3.69	6.11
Valina ¹	6.99	4.63	5.95	5.10
Arginina ¹	5.76	4.79	6.58	3.52
Histidina ¹	1.68	2.04	1.84	2.06
Alanina	3.56	3.50	6.11	9.95
Acido aspártico	4.72	5.46	4.13	12.42
Acido glutámico	13.69	31.25	20.14	17.65
Glicina	6.84	6.11	4.55	3.39
Prolina	4.84	10.44	5.70	8.35
Serina	5.08	4.61	4.00	5.65

¹ Aminoácidos esenciales.

Apéndice 4

-Digestibilidad

La digestibilidad es la facilidad y la rapidez con la cual se digiere un alimento (26). Dos características permiten su cuantificación:

- a) El coeficiente digestivo de utilización, que traducido, es la capacidad que tiene un alimento de donar una proporción más o menos grande de nutrimentos realmente absorbibles a nivel de la mucosa intestinal.
- b) La facilidad de ataque enzimático.

La forma más común de determinar la digestibilidad de una proteína es utilizando animales de laboratorio, a los cuales se les suministra una dieta libre de nitrógeno (sin proteína) durante algún tiempo antes de la prueba, para hacer las determinaciones requeridas (U_0 , F_0); posteriormente, se incorpora la proteína a la dieta para obtener los datos necesarios para el cálculo de % de digestibilidad (92).

$$\% \text{ de digestibilidad} = \frac{D - (F - F_0)}{D} (100)$$
$$= \frac{N \text{ absorbido}}{N \text{ en la dieta}} (100)$$

donde:

$$N \text{ absorbido} = D - (F - F_0)$$

D = N en la dieta = cantidad de nitrógeno en la dieta durante la prueba

F = nitrógeno fecal durante la prueba

F_0 = nitrógeno fecal cuando la dieta no contiene proteína

U = nitrógeno urinario durante la prueba

U_0 = nitrógeno urinario cuando la dieta no contiene proteína

-Valor Biológico (BV)

Su determinación se hace, también, en animales de laboratorio — (se puede hacer en humanos). El valor biológico es la medida del nitrógeno retenido durante el desarrollo o mantenimiento del sujeto de prueba, y es expresado como nitrógeno retenido dividido entre el nitrógeno absorbido (93). El BV puede expresarse (92,93) como:

$$\text{BV} = \frac{D - (F - F_0) - (U - U_0)}{D - (F - F_0)} (100)$$
$$= \frac{N \text{ retenido}}{N \text{ absorbido}} (100)$$

-Utilización Neta de Proteína (NPU)¹

Quantitativamente el NPU está representado por una simple fórmula; $N \text{ retenido}/N$ en la dieta. El NPU es equivalente a: valor biológico x digestibilidad.

El NPU representa la proporción de nitrógeno alimenticio retenido. Cualquier método de medición del NPU requiere de dos grupos de animales experimentales del mismo peso y de la misma edad; un grupo es alimentado con una dieta en la que se incluye la proteína a probar, y el otro grupo es alimentado con una dieta libre de proteína. Al final del período de alimentación, se matan los animales y mediante un análisis se les determina el contenido de nitrógeno. La fórmula para calcular el NPU es la siguiente:

¹ Referencia (93).

$$NPU = \frac{N_p - N_t + N_{ct}}{N_{cp}}$$

donde:

N_p = nitrógeno corporal del grupo prueba

N_t = nitrógeno corporal del grupo testigo

N_{ct} = nitrógeno consumido por el grupo testigo

N_{cp} = nitrógeno consumido por el grupo prueba

también:

$$NPU = (\% \text{ de digestibilidad})(BV)(100)$$

y

$$NPU = \frac{N \text{ retenido}}{N \text{ en la dieta}}(100)$$

-Nitrógeno Utilizable (UN)

El UN es la cantidad de nitrógeno protéico, exclusivamente. La fórmula para calcular el UN es la siguiente (36):

$$UN = \frac{(\% N \text{ en la muestra})(NPU)}{100}$$

Referencias

1. Rogers, David J., S. G. Appan. *Flora Neotrópica*. Monograph No. 13, *Manihot Manihotoides (Euphorbiaceae)*. Hafner Press, N. York. -- June 22, 1973.
2. Holleman, L. W. J. *Elaboración de la Yuca y sus Productos en las Industrias Rurales*. Colección FAO. Cuaderno de Fomento Agropecuario No. 54. Roma. 1956.
3. *Revista de la Facultad de Agronomía*. Maracay, Venezuela. Vol. 3, Alcance No. 3: 622-623, 1960.
4. Martínez, M. *Familia de las Euforbiaceas del Estado de México*. Gobierno del Edo. de México. Dirección de Agric. y Ganad. Toluca, Mex., Agosto de 1955.
5. Onweme, I.C. *The Tropical Tuber Crops*. Caps. 14,15 y 16. John Wiley & Sons. Great Britain. 1978.
6. Krochmal, A and G. Samuels. The influence of NPK levels on the growth and tuber development of cassava in tanks. *Ceiba*, 16 (2): 35-43, 1970.
7. Obigbesan, G. O., A. O. Ketiku and A. A. Fayemi. Effects of age at harvest and fertilizer application on the yield, available carbohydrates and hydrocyanic acid content of cassava (*Manihot palmta Pohl*). *J. agric. Sci., Camb.* 88: 679-81, 1977.
8. Obigbesan, G. O. Crop variety as a factor in the rational use of fertilizers. *Dokl. Zarub. Uchastnikov - Mezhdunar. Kongr. Miner. Udobr.*, 8th. 1 (2): 134-47, 1976. (Citado en Chemical Abstracts, 88:73609g)

9. Obigbesan, G. O. Investigations on Nigerian root and tuber crops: effect of potassium on starch yields, HCN content and nutrient uptake of cassava cultivars (*Manihot esculenta*). *J. agric. Sci. Camb.* 89: 29-34, 1977.
10. Ribeiro Da Silva, J. Efeito de doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio sobre a produção de mandioca em solos de baixa e alta fertilidade. *Bragantia*, 27 (29): 357-64, 1968.
11. Pashpadas, M. V., R. S. Aiyer. Nutritional studies on cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Effect of potassium and calcium on yield and quality of tubers. *J. Root Crops*, 2 (1): 42-51, 1976. (Citado en Chemical Abstracts, 87:21312q).
12. Rajendran, N., P. G. Nair, B. M. Kumar. Potassium fertilization of cassava in acid laterite soils. *J. Root Crops*, 2 (2): 35-8, 1976. (Citado en Chemical Abstracts, 87:67235v).
13. Vijayan, M. R., R. S. Aiyer. Effect of nitrogen and phosphorus on the yield and quality of cassava. *Agr. Res. J. Kerala*, 7 (2): - 84-90, 1969. (Citado en Chemical Abstracts, 75:87570f).
14. Indira, P., S. B. Maini. Effect of growth regulators on tuberization in cassava. *Indian J. Plant Physiol.*, 16 (1-2): 16-20, 1973. (Citado en Chemical Abstracts, 82:120004u).
15. The Merck Index. Ninth Edition. Published by Merck and Co., Inc. - Rahway, N. J., U.S.A. 1976.
16. Shanmugam, A., S. Thamburaj, C. R. Muthukrishnan. Effect of 2,3,5-triiodobenzoic acid (TIBA) on tapioca (*Manihot esculenta* Crantz) *Madras Agric. J.*, 61 (10-12): 1007-8, 1974. (Citado en Chemical Abstracts, 84:160502c).
17. Kurian, T., S. B. Maini. Regulation of the levels of cyanogenic -- glucosides in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J. Root Crops*, 2 (2): 39-44, 1976. (Citado en Chemical Abstracts, 87:128670g).

18. García, B. y A. Montaldo. Exigencias hídricas de la yuca o mandioca. *Agronomía Tropical*, 21 (1): 25-31, 1971.
19. Doll, J. D. y W. Piedrahita C. Metodos de control de malezas en yuca. Centro Int. de Agr. Trop., Cali Colombia. Serie ES-21, Junio 1976.
20. De Albuquerque, M. , M. Guimaraes, R. Viegas. Effects of planting and harvesting times on the starch and protein content of cassava grown in eastern Para State., Bol. Tec. Inst. Pesqui. Agropecu. Norte, 60: 193-221, 1974. (Citado en Chemical Abstracts, 83:146357g).
21. Conservación de Yuca Fresca. Trabajo realizado bajo el patrocinio de la Organización de Estados Americanos, O.E.A., Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá, D. E. Abril de 1971.
22. Booth, R. H. Almacenamiento de raíces de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. Serie ES-16, Agosto 1976.
23. Wegmann, K. Cause of the rapid spoiling of manioc roots and the effect of preserving agents in manioc flour. *Brot. Gebaeck*, 24 (9): 175-8, 1970. (Citado en Chemical Abstracts, 74:30815q).
24. Booth, R. H., T. S. De Duckle , O. S. Cardenas, G. Gómez, E. Hervas. Changes in quality of cassava roots during storage., *J. Food Technol*, 11 (3): 245-63, 1976. (Citado en Chemical Abstracts, 85:76522x).
25. Wegmann, K. Storability of cassava flour. *Brot. Gebaeck*, 24 (1): 16-18, 1970. (Citado en Chemical Abstracts, 73:2736a).
26. Favier, J. C. , S. Chevassus. Traditional technology of cassava in Cameroun. Effect on the nutritive value. *Ann. Nutr. Aliment.*, 25 (1): 1-59, 1971.

27. Melotti, L. Contribuição para o estudo da composição química e valor nutritivo dos resíduos da industrialização da mandioca, *Manihot utilissima*, Pohl, no estado de São Paulo. B. Industr. Anim., SP, n.s. 29 (2): 339-74, 1972.
28. Muthuswamy, P., K.K. Krishnamoorthy. Hydrocyanic acid content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) peel, as affected by fertilizer application. *Current Science*. 43 (10): 312, 1974.
29. Indira, P., S. B. Maini, R. C. Mandal. Effect of growth on the cyanoglucoside content in *Manihot esculenta* Crantz. *Current Science*. 41 (9): 340, 1972.
30. Tejada de H. Irma y S. Brambila. Investigaciones acerca del valor nutritivo de la yuca para el pollito. *Tec. Pec. en Méx.* 12-13: 5-11, 1969.
31. Shimada, A. Utilización de la yuca en la alimentación animal. *Tec. Pec. en Méx.* 25: 50-57, 1973.
32. Barrios, E. A. y R. Bressani. Composición química de la raíz y de las hojas de algunas variedades de yuca, *Manihot*. Turrialba. 17 (3): 314-20, 1967.
33. Pradilla, A., F. Frenes y E. Alvarez. Analytical and biological studies of a high-yielding, high protein cassava. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 25 (2): 175-86, 1975.
34. Enriquez, F. Q. and E. Ross. The value of cassava root meal for chicks. *Poul. Sci.* 46 (3): 622-26, 1967.
35. Rogers, D. and M. Milner. Amino acid profile of manioc leaf protein in relation to nutritive value. *Economic Botany*. 17: 211-16, 1963.
36. Eggum, B. O. The protein quality of cassava leaves. *Br. J. Nutr.* - 24: 761-68, 1970.

37. Rogers, D. J. Cassava leaf protein. *Economic Botany*. 13: 261-63, - 1959.
38. Fafunso, M. and O. Passir. Effect of cooking on the vitamin C content of fresh leaves and wilted leavaes. *J. Agric. Food Chem.* - 24 (2): 354-55, 1976.
39. Shanmugam, A. Effect of ethrel on the cyanoglucoside content of ta pioca (*Manihot esculenta* Crantz) roots. *Sci. Cult.* 40 (8): 366-68, 1974. (Citado en Chemical Abstracts, 82:39449w).
40. Oyenuga, V. A. and E. O. Amazigo. A note on the hydrocyanic acid - content of cassava (*Manihot utilissima* Pohl). *West African Journal of Biological Chemistry*. 1 (2): 39-43, 1957.
41. Bolhuis, G. G. The toxicity of cassava roots. *Netherlands Journal of Agricultural Science, Wageningen*. Agosto: 176-185, 1954.
42. Muñoz, G. Contenido de ácido cianhídrico en raíces y hojas de clones "amargos" de yuca (*Manihot esculenta*). *Turrialba*. 22 (2): - 221-23, 1972.
43. Gondwe, A. T. D. Hydrocyanic acid contents of some local varieties of cassava products. *East African Agric. For. J.* 40 (2): 161-67, 1974. (Citado en Chemical Abstracts, 83:176906c).
44. Alves, C. F. Acido cianídrico em algumas variedades de mandioca. - *Bragantia*. 7:15-22, 1947.
45. Obigbesan, G. O. Influence of potassium nutrition on the yield and chemical composition of some tropical root and tuber crops. *Potassium Cult. Sols Trop., C. R. Colloq. Inst. Int. Potasse*, 10th. 439-51, 1973 (Pub 1974). (Citado en Chemical Abstracts, --- 83:95471e).
46. Chew, M. Y. Cyanide content of tapioca (*Manihot utilissima*) leaf. *Malaysian Agr. J.* 48 (4): 354-56, 1972. (Citado en Chemical - Abstracts, 79:134341b).

47. Muthuswamy, P., K. K. Krishnamoorthy, G. S. N. Raja. Hydrocyanic - acid content of tapioca tubers. Madras Agr. J. 60 (8): 1009-10, 1973. (Citado en Chemical Abstracts, 81:10962b)
48. Rajaguru, A. S. B. Elimination of hydrocyanic acid from processed_ manioc chips. J. Natl. Agric. Soc. Ceylon. 9-10: 53-62, 1972-73 (Pub. 1973). (Citado en Chemical Abstracts, 83:145957r).
49. Miya, E.E., S. Dedeca da Silva, S. Pereira, I. Shisose, E. Angelucci. Sensory-chemical evaluation of new manioc cultivars. Colet. --- Inst. Tecnol. Aliment. 6: 257-75, 1975. (Citado en Chemical Abs tracts, 84:15848r).
50. Pieris, N., E. R. Jansz. Cyanogenic glucoside content of manioc. - III. Fate of bound cyanide on processing and cooking. J. Natl. _ Sci. Counc. Srilanka. 3 (1): 41-50, 1975. (Citado en Chemical - Abstracts, 84:163120n).
51. Lal, S. S., S. B. Maini. The dependence of rodent damage on the by drogen cyanide content in tubers of Manihot esculenta Crantz. - Umweltschutz. 50 (9): 138-40, 1977. (Citado en Chemical Abstra cts, 88:34560q).
52. Tewe, O. O., J. H. Maner, J. Gómez. Influence of cassava diets on_ placental thiocyanate transfer, tissue rhodanese activity, and_ performance of rats during gestation. J. Sci. Food Agric. 28 -- (8): 750-56, 1977. (Citado en Chemical Abstracts, 87:166500j).
53. Sadasivam, K. V. Composition of leaf exudate and leaf leachate of_ tapioca (Manihot utilissima) foliage. Sci. Cult. 36 (11): 608-9, 1970. (Citado en Chemical Abstracts, 75:45616v).
54. Sinha, S. K., T. V. R. Nair. Variability of cyanogenic glucoside - content in cassava tubers. Indian J. Agr. Sci. 38 (6): 958-63, _ 1968. (Citado en Chemical Abstracts, 72:2282d).

55. Nartey, P. Studies on cassava, *Manihot utilissima* Pohl-I. Cyanogenesis: the biosynthesis of linamarin and lotaustralin in etiolated seedlings. *Phytochemistry*. 7 (8): 1307-12, 1968.
56. Osuntokun, B. O. Cassava diet and cyanide metabolism in Wistar rats. *Br. J. Nutr.* 24: 797-800, 1970.
57. Van der Velden, M. and J. Kinthaert. A preliminary study on the action of cassava on thyroid iodine metabolism in rats. *Br. J. Nutr.* 30 (3): 511-17, 1973.
58. Chew, M. Y. and C. G. Boey. Rhodanese of tapioca leaf. *Phytochemistry*. 11: 167-69, 1972.
59. Delange, F. and A. M. Ermans. Role of a dietary goitrogen in the etiology of endemic goiter on Idjwi Island. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 24: 1354-60, 1971.
60. Osuntokun, B. O., M. J. S. Langman, J. Wilson and A. Aladetoyinbo. Controlled trial of hydroxocobalamin and riboflavine in Nigerian ataxic neuropathy. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 33 (5): 663-66, 1970.
61. Wolff, J. Transport of iodine and other anions in the thyroid gland. *Physiol. Rev.* 44: 45-90, 1964.
62. Ganong, F. W. *Fisiología Médica*. 2a. ed., El Manual Moderno. México. 1968.
63. Nartey, P., B. L. Moller and M. R. Andersen. Changes in the major constituents of *Manihot esculenta* seeds during germination and growth. *Economic Botany*. 28: 145-54, 1974.
64. Martínez, A. L. Estudio Tóxico y Bromatológico de la "Yuca *Manihot Esculenta*, Crants", Para su Utilización Integral en un Sistema Ejidal en el Estado de Tabasco. Tesis: Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx. 1978.

65. Olson, D. W., M. L. Sunde and H. R. Bird. The metabolizable energy content and feeding value of mandioca meal in diets for chicks. Poul. Sci. 48: 1445, 1969.
66. Squibb, R. L. and M. K. Wyld. Effect of yuca meal in baby chick rations. Turrialba. 1 (6): 298-99, 1951.
67. Shimada, A. S., C. Peraza y F. Cabello. Valor alimenticio de la harina de yuca (Manihot utilissima Pohl) para cerdos. Tec. Pec. - en Méx. 15-16: 31-35, 1971.
68. Oyenuga, V. A. Nutritive value of cereal and cassava diets for growing and fattening pigs in Nigeria. Brit. J. Nutr. 15: 327, 1961.
69. Manjarrez, M. B., C. Arteaga. Valor nutritivo de una combinación de harina de yuca (Manihot esculenta) con puliduras de arroz, como sustituto de maíz en la alimentación de pollos y cerdos. Tec. Pec. en Méx. 25: 58-63, 1973.
70. De Alba, J. Ensayos de engorde de cerdos con raciones a base de maíz, yuca y bananas. Turrialba. 1 (4): 176-84, 1951.
71. Chicco, C. F., S. T. Garbati, B. Müller-Haye y H. Vecchionacce. La harina de yuca en el engorde de cerdos. Agronomía Tropical. 22 (6): 599-603, 1972.
72. Valença, de A. C., E. S. Lago, F. M. Bion, J. S. Nascimento, L. P. Costa, N. L. M. Antunes, Nelson Chaves y A. V. de Mello. Valor biológico da farinha de mandioca enriquecida com concentrado proteico de peixe, proteína isolada da soja e caseína. Rev. --- Bras. de Pesquisas Méd e Biol. 8 (2): 139-142, 1975.
73. Ross, E. and F. Q. Enriquez. The nutritive value of cassava leaf meal. Poul. Sci. 48: 846-53, 1969.
74. Echandi, N. O. Valor de la harina de hojas y tallos deshidratados de yuca en la producción de leche. Turrialba. 2 (4): 166-69, --- 1952.

75. American Association of Cereal Chemists, Inc. Rice, Chemistry and Technology, Cap. I. Production and Utilization of Rice. p. 1-15 Edited by D. F. Houston. United States of America. 1972.
76. Bangham, W. N. La yuca reemplaza a la alfalfa. La Hacienda. agosto, 1950.
77. Moncada, M. E. Efecto de la Suplementación de los Aminoácidos Limitantes en la Yuca en Dietas sin Cereales para Pollos de Engorda. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, MVZ. 1976.
78. Rios, F. La yuca o mandioca. El Surco. 71 (1): 9, 1966.
79. Pieris, N., E. R. Jansz. Cyanogenic glucoside content of manioc. I. Enzymic method of determination applied to processed manioc. J. Natl. Sci. Council, Srilanka. 2 (1): 67-76, 1974. (Citado en - Chemical Abstracts, 82:153873e).
80. Bassler, R. Prussic acid glucoside content of manioc products its localization and modification in drying. Landwirtsch. Forsch. - 27 (3-4): 211-21, 1974. (Citado en Chemical Abstracts, 82:123547 j).
81. Ermans, A. M., P. Delange, M. Van der Velden, J. Kinthaert. Goitrogenic action of cyanogenic glucosides present in cassava. Acta Endocrinol. (Copenhagen), Suppl. 31 (179), 1973. (Citado en Chemical Abstracts, 80:104672p).
82. Otoul, E. Nutritional study of manioc leaves. Manihot esculenta -- (Manihot utilissima). Bull. Rech. Agron. Gembloux. 8 (2): 117-23, 1973. (Citado en Chemical Abstracts, 83:77202p)
83. Olson, D. W. Metabolizable energy and feeding value of Mandioca -- meal. Poultry Science. 47 (5): 1703, 1968.
84. Hutayalung, R. I., S. Jalaludin, Ch. Choo. Evaluation of agricultural products and by-products as animal feeds. II. Effects of levels of dietary cassava (tapioca) leaf and root on performance, digestibility and body composition of broiler chicks. Malays. -

- Agric. Res. 3 (1): 49-59, 1974. (Citado en Chemical Abstracts, 83:57223t).
85. Muthuswamy, P., S. Thamburaj, A. Shanmugam, K. K. Krishnamoorthy, C. R. Muthukrishnan. Composition and nutritive value of certain cultivars of cassava tubers (*Manihot esculenta* Crantz). Madras Agric. J. 62 (2): 68-70, 1975. (Citado en Chemical Abstracts, - 85:19329r).
86. Rhee, Y. Ch., J. Hung, J. Rhee. The nutritive value of tapioca --- root meal for broiler chicks. Hanguk Chuksan Hakhoe Chi. 18 (1): 31-6, 1976. (Citado en Chemical Abstracts, 85:158431f).
87. Umoh, I. B., O. L. Oke. Cassava leaf mixture as animal feed. II. - Nutr. Rep. Int. 16 (6): 821-4, 1977. (Citado en Chemical Abs--- tracts, 88:61363j).
88. Kling, S., E. Solewics. Industrial use of manioc leaves. Inf. INT. 9 (11): 13-18, 1976. (Citado en Chemical Abstracts, 88:103315c).
89. Adrian, J., P. Peyrot, S. Oliveira. Nutritional study of *Manihot - utilisissima* (cassava) leaf. Rev. Cienc. Agron., Ser. A. 2: 43-59, 1969. (Citado en Chemical Abstracts, 74:73586h).
90. Ketiku, A. O., V. A. Oyenuga. Changes in the carbohydrate conti--- tuents of cassava root-tuber (*Manihot utilisissima*) during growth. J. Sci. Food Agr. 23 (12): 1451-6, 1972. (Citado en Chemical --- Abstracts, 78:55406c).
91. Drill, A. Farmacología Médica. Cianuros, p. 1032-1044. 1969.
92. Beaton, G. H. and E. W. Mc Henry. Nutrition. A Comprehensive Treatise. Vol. I. Macronutrients and Nutrient Elements. pp 130-33, - 214-217. Academic Press. U.S.A. 1964.
93. Pike, R. and M. Brown. Nutrition: An Integrated Approach. Cap. 23. determination of nutrient needs: energy, protein, minerals. --- p. 814-73. 2a. ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1975.

94. Whistler, R. L. and E. F. Paschall. STARCH: Chemistry and Technology. Vol. II. Industrial Aspects. Cap. V. Manufacture of Tapioca, Arrowroot, and Sago Starches. p 103-119. Academic Press, Inc. New York. 1967.

95. Jacob, A. and H. Von Uexkull. Fertilización Nutrición y Abono de los Cultivos Tropicales y Subtropicales. 4a ed. EUPAM. México.