

SEMINARIOS INTERNOS

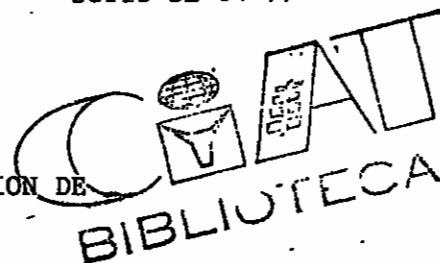


Instituto de Agricultura Tropical

Serie SE-04-77

SEMINARIO DEL CIAT

PROGRESOS EN LA INVESTIGACION SOBRE LA UTILIZACION DE YUCA COMO ALIMENTO PARA PORCINOS



Guillermo G. Gómez G.

RESUMEN

La yuca es uno de los cultivos más difundidos en los países tropicales y se emplea principalmente para consumo humano. Las perspectivas de los aumentos de producción hacen prever mayores posibilidades de utilizar las raíces para alimentación animal en general, y para porcinos en particular. Existen sin embargo ciertos aspectos aparte del económico, que deben ser tomados en consideración al formular programas de alimentación a base de yuca.

Las raíces de yuca contienen dos glucósidos cianogénicos, de los cuales el más importante es conocido con el nombre de "linamarina". Este compuesto libera ácido cianhídrico al hidrolizarse. Las plantas de yuca tienen la habilidad de detoxificar el ácido cianhídrico. Los humanos y animales do-

mésticos poseen otros sistemas de detoxificación, que permiten transformar el ácido cianhídrico en otros compuestos aparentemente inocuos.

Ségún los hábitos alimenticios de cada región o país, la forma como se consume la yuca varía considerablemente. Investigaciones nutricionales en países africanos han permitido establecer que el consumo de yuca es uno de los factores responsables del síndrome conocido como "Neuropatía atáxica tropical" observada en poblaciones de Nigeria; además en zonas con dietas deficientes en yodo tales como Nigeria y la Isla Idjwi (Rep. Zaire) el consumo de yuca ejerce un efecto bociógeno como consecuencia del proceso de detoxificación del cianuro de las raíces al convertirse en tiocianatos. Se ha formulado un modelo hipotético del mecanismo responsable del carácter bociógeno de la yuca.

Existen relativamente pocos datos sobre el efecto de "linamarina" en alimentación animal pero en general los cerdos no consumen las yucas amargas, que contienen cantidades elevadas del glucósido cianogénico. Consecuentemente, los rendimientos de producción animal son significativamente afectados. En casos extremos cuando las cantidades de ácido cianhídrico liberado son considerables puede resultar en un efecto letal para los animales domésticos.

Las raíces de yuca tienen un alto valor energético por su contenido de almidón y pueden ser utilizadas en diferentes formas en alimentación porcina. Normalmente se emplean frescas o secadas al sol y transformadas en harina de yuca. Gran parte de la información disponible en la utilización de las raíces de yuca en alimentación porcina ha sido obtenida en Colombia, tanto en el CIAT como en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Programas de alimentación porcina a base de raíces de yuca requieren normalmente un 65-70% más del suplemento proteico cuando se compara con las necesidades de este suplemento en sistemas de alimentación a base de granos de cereales. Esto es debido a la limitada cantidad y pobre calidad de las proteínas presentes en las raíces de yuca.

En vista de que en muchas regiones tropicales en donde se produce yuca no hay disponibilidad de fuentes proteicas convencionales, la Unidad de Producción Porcina y el Programa de Yuca del CIAT están trabajando en un proyecto cooperativo con la Universidad de Guelph del Canadá, para producir proteína microbiana utilizando las raíces de yuca como substrato energético.

El microorganismo empleado a nivel de la Planta Piloto construida en CIAT es el hongo Aspergillus fumigatus I-21A, un mutante asporógeno que puede crecer en condiciones muy selectivas de temperatura (45°C) y pH (3.5). Actualmente se está utilizando un mutante (A. fumigatus ON5) sensible a temperaturas de 37-40°C, que produce esporas, pero las cuales no pueden crecer a temperaturas del organismo animal. El proceso se encuentra en una fase netamente experimental y los resultados preliminares obtenidos hasta la fecha en la planta piloto sugieren buenas perspectivas potenciales del proceso, una vez que se obtenga una seguridad operacional adecuada que reduzca al mínimo o elimine cualquier posibilidad de infección a nivel humano y animal.

PROGRESOS EN LA INVESTIGACION SOBRE LA UTILIZACION DE
YUCA COMO ALIMENTO PARA PORCINOS

Guillermo G. Gómez G.

Seminario del CIAT
18 de Mayo, 1977

El problema mundial de producción y disponibilidad de alimentos para cubrir los requerimientos nutricionales mínimos de la población humana en los países en desarrollo, afecta directamente las perspectivas de aumentar la producción de carne de las especies animales que por sus características fisiológicas compiten con la especie humana en la utilización de los recursos alimenticios. Los granos de cereales contribuyen, más que cualquier otro cultivo alimenticio, a cubrir proporciones considerables de calorías y proteína en la dieta humana, y por tanto su disponibilidad para alimentación porcina en América Latina es muy limitada. Consecuentemente, los programas de alimentación para proyectos porcinos en esta región deben basarse prioritariamente en la eficiente utilización de sub-productos industriales derivados del procesamiento de ciertos cultivos (residuos de molinería de cereales, polvillo de arroz, melaza de caña) o en el aprovechamiento de cultivos que tradicionalmente no son usados en alimentación animal.

Entre los cultivos promisorios en América Latina, el de la yuca ofrece perspectivas halagadoras por el potencial de incremento de su producción. Como resultado de una activa labor de investigación en aspectos de selección genética, en el desarrollo de prácticas agronómicas de producción más eficientes y en la selección por resistencia al ataque de enfermedades y de insectos,

los aumentos de producción de yuca son aparentemente fáciles de obtener bajo condiciones prácticas, de acuerdo a los resultados de pruebas regionales (CIAT, 1975, 1976).

La yuca es cultivada en la mayoría de países tropicales por su alto valor energético. Alrededor de una tercera parte de la producción mundial es obtenida en América Latina, siendo Brasil el primer productor de yuca en el mundo (FAO, 1974). Aunque la mayoría de las raíces de yuca es normalmente empleada en alimentación humana, las perspectivas de su uso en alimentación animal han sido estimuladas por los cambios en las políticas agrícolas de la Comunidad Económica Europea (European Economic Community, EEC) los cuales han hecho posible el uso de alimentos energéticos no-convencionales para ganado, tales como yuca importada, para reemplazar los cereales de precio elevado en dietas balanceadas para animales, en especial para porcinos (Coursey and Halliday, 1974; Phillips, 1974).

La información existente sobre la utilización de las raíces de yuca en alimentación humana y animal es demasiado amplia y variada como para pretender resumirla. Por lo tanto, el presente trabajo enfocará solamente los siguientes aspectos: 1) Efecto de los glucósidos cianogénicos de la yuca en programas de alimentación; 2) Aspectos importantes en el uso de las raíces de yuca en programas de alimentación porcina; y 3) Uso de las raíces de yuca como substrato energético para la producción de proteína microbiana.

1) Efecto de los glucósidos cianogénicos de la yuca en programas de alimentación.

Las variedades de yuca son normalmente clasificadas como dulces o amargas

de acuerdo a su contenido de cianuro. El ácido cianhídrido (HCN) o cianuro (CN) presente en las raíces de yuca se encuentran en la forma de dos glucósidos cianogénicos conocidos como linamarina y lotaustralina. Se estima que el 96% de los glucósidos cianogénicos de la yuca se encuentran en la forma de linamarina y el restante 4% lo constituye lotaustralina (Nartey, 1973). Estos y otros 18 glucósidos cianogénicos están ampliamente distribuidos en el reino vegetal.

La estructura química de la linamarina y los compuestos derivados de su hidrólisis son mostrados en la Figura 1. La linamarina libera HCN al tratarse con ácidos diluidos; sin embargo, en forma natural, la liberación de HCN es producida por la acción de la enzima linamarasa, normalmente presente en los tejidos de las raíces de yuca, especialmente en la cáscara. El contacto de la enzima linamarasa con el substrato linamarina se produce normalmente cuando los tejidos son dañados mecánicamente por trituración o por destrucción de la estructura celular de la planta o tejidos. Químicamente o analíticamente, la concentración de linamarina es medida por la cantidad de cianuro o ácido cianhídrico liberado; la adición de extractos u homogenados crudos de linamarasa permiten obtener una mayor liberación de HCN (Cuadro 1). Por lo menos parte de las discrepancias, en el contenido de HCN en muestras de yuca, reportadas en la literatura se debe a la falta de un método estándar para la determinación de la linamarina. En general, la concentración de la linamarina es substancialmente mayor en la cáscara de las raíces que en la pulpa (Bruijn, 1973; Wood, 1965). Gran parte de la linamarina se hidroliza durante el proceso de secado de la yuca y por tanto las harinas de yuca muestran concentraciones menores comparadas con las raíces frescas (Cuadro 1).

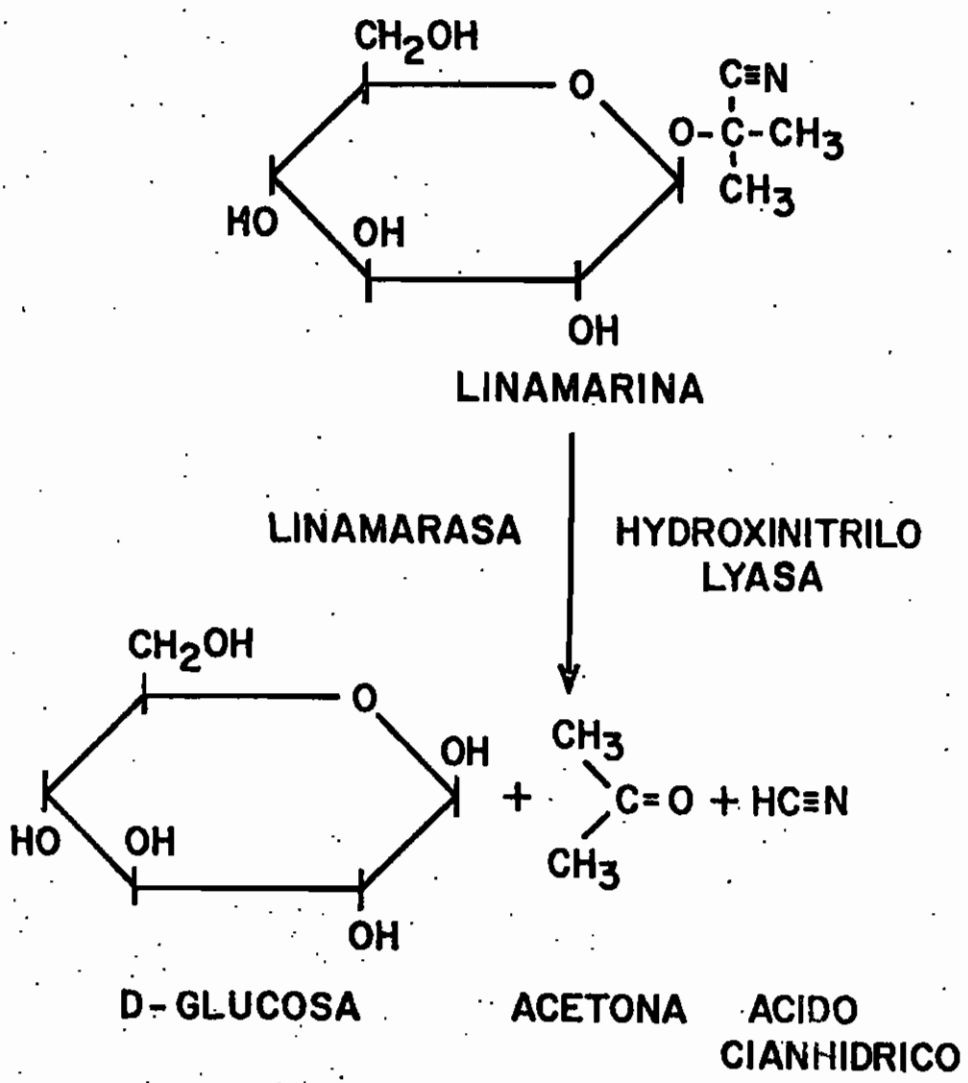


Figura 1

Estructura química de la linamarina y compuestos derivados de su hidrólisis

Cuadro 1. Efecto de la adición de un homogenado de linamarasa sobre el contenido de HCN en muestras de yucas amargas (CMC 84)

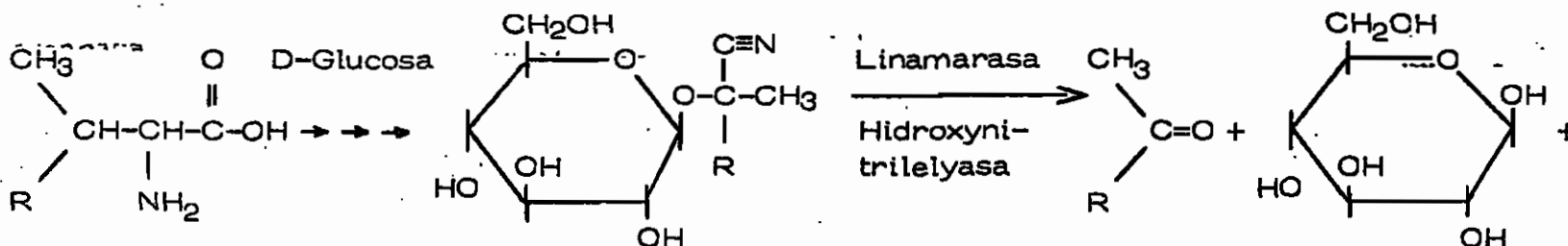
Muestra	Contenido de HCN	
	- Linamarasa	+ Linamarasa
	mg/kg materia seca	
Cáscara	557.0	954.8
Pulpa	281.4	540.5
Raíz completa	482.7	621.8
Harina	42.1	102.4

Poco se conoce sobre la función o rol de los glucósidos cianogénicos en la yuca. Aparentemente los glucósidos cianogénicos no poseen un rol metabólico o fisiológico primario y por tanto se les considera como productos vegetales secundarios. Parece ser que durante la evolución algunas plantas adquirieron la habilidad bioquímica para sintetizar estos compuestos y que esta habilidad ha sido mantenida debido al valor protectorio que estas sustancias confieren a las plantas.

La concentración total de los glucósidos cianogénicos en las plantas de yuca fluctúa con el período de crecimiento y con las condiciones medio ambientales (Bruijn, 1973). Plantas de yuca mantenidas en sistemas cerrados conteniendo altos niveles de HCN crecen normalmente sugiriendo así que ellas poseen mecanismos para la detoxificación de altos niveles de HCN. Investigaciones sobre el metabolismo de HCN en plantas de yuca indican que $H^{14}CN$ se encuentra predominantemente incorporado en las reservas de aminoácidos libres. La mayoría de la radioactividad se encontró en asparagina, ácido aspártico, glutamina y ácido glutámico (Nartey, 1973). El esquema de detoxificación y asimilación de HCN por las raíces de yuca es mostrado en la Figura 2; de acuerdo a este esquema, serina y cisteína pueden actuar como receptores del cianuro para convertirse rápidamente en asparagina, y luego en ácido aspártico el cual a su vez puede intervenir en el metabolismo de proteínas, en el ciclo del ácido cítrico o en el metabolismo de carbohidratos (Nartey, 1973). Aunque también se ha reportado el mecanismo de detoxificación por el sistema de rhoanasa, parece ser que en las plantas de yuca sólo un mecanismo de detoxificación puede operar pues el substrato de un sistema inhibe la actividad de la enzima que cataliza el otro sistema (Nartey, 1973).

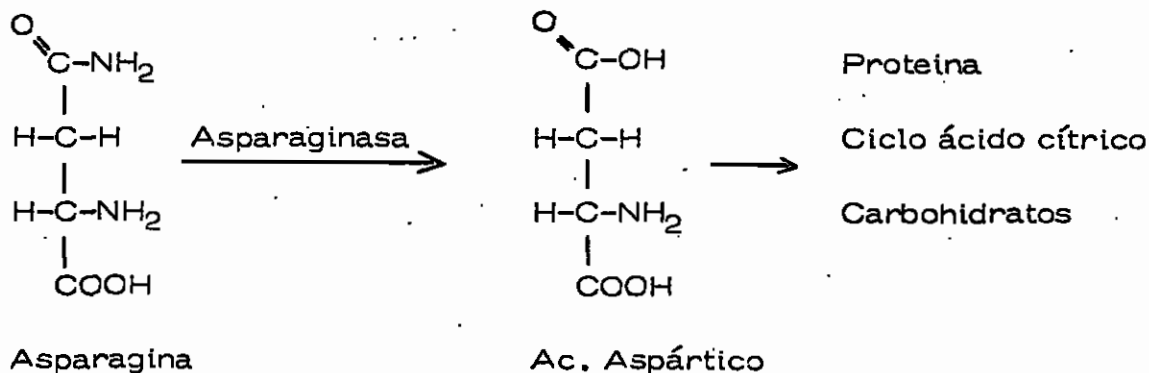
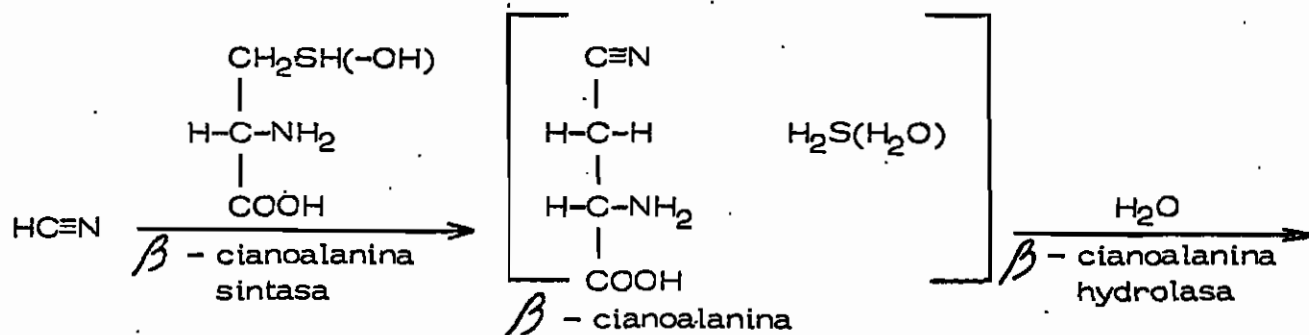
Figura 2

DETOXIFICACION Y ASIMILACION DEL ACIDO CIANHIDRICO EN LA YUCA



Valina, Linamarina: R= CH₃

Isoleucina, Lotaustralina: R= C₂H₅



Por lo expuesto anteriormente se puede concluir que las plantas de yuca son capaces de metabolizar el HCN. Cuáles son las implicaciones del contenido de los glucósidos cianogénicos de la yuca cuando ésta es empleada en alimentación humana o animal ?. Las raíces de yuca son consumidas por los humanos en forma muy variada y por tanto los hábitos nutricionales pueden fluctuar considerablemente. En países como Nigeria, en donde el consumo de yuca o de sus derivados es muy alto se ha reportado un síndrome conocido como "Neuropatía atáxica tropical" (Osuntokun, 1973) o la presencia de bocio (Ekpechi, 1967; 1973). Investigaciones en zonas de bocio endémico en la República de Zaire han confirmado la acción bociógena de la yuca en humanos y ratas, debido a la producción de tiocianatos. (Delange and Ermans, 1971; Delange et al., 1973; Ermans et al., 1973).

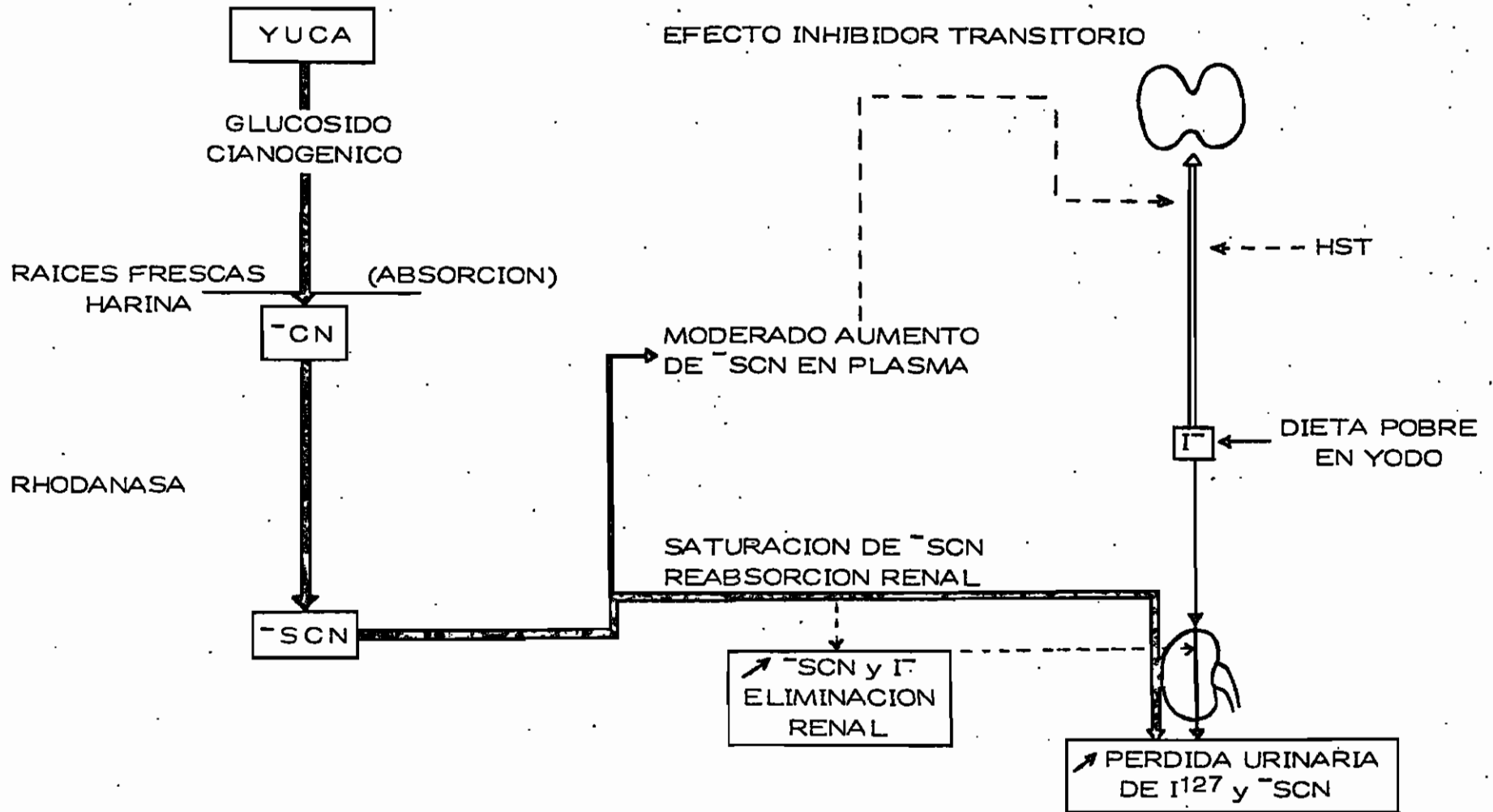
Los estudios de Osuntokun (1973) demuestran que la "Neuropatía atáxica tropical" se manifiesta por lesiones de la piel, de las membranas mucosas, de los nervios ópticos y auditivos, de la espina dorsal y de los nervios periféricos. La neuropatología de la enfermedad sería compatible con los efectos de intoxicación crónica de cianuro. La enfermedad afectaba a grupos de diferentes edades pero era rara en niños de 1-10 años observándose la mayor frecuencia en personas de 40-50 años de edad. En la mayoría de los casos estudiados existía una casi total dependencia a dietas monótonas a base de yuca o derivados de la yuca. Uno de estos derivados el llamado "purupuru" mostraba la más alta concentración de cianuro en comparación con el resto de alimentos. Parámetros clínicos demostraron que el agente causal lo constituye el cianuro procedente de los altos consumos de dietas a base de yuca.

En relación a la acción bociógena de la yuca los estudios más detallados

han sido realizados por un grupo de científicos belgas (Delange and Ermans, 1971; Delange et al., 1973; Ermans et al., 1973). Los estudios epidemiológicos y metabólicos orientados a determinar la etiología del bocio endémico en la Isla Idjwi (Rep. de Zaire) mostraron que el consumo de la yuca producida en esta región agravaba la deficiencia básica de yodo y por tanto se constituía en un factor bociógeno. Investigaciones con animales de laboratorio han permitido concluir que la acción bociógena de la yuca es causada por la producción endógena de tiocianatos resultantes de la detoxificación de cianuro; de acuerdo al nivel de los tiocianatos en la sangre pueden bloquear o reducir la captación de yodo por parte de la glándula tiroides resultado en la presencia de bocio (Ermans et al., 1973). El modelo tentativo del mecanismo de la acción bociógena de la yuca en ratas que recibían una dieta deficiente en yodo es mostrado en la Figura 3.

Los hábitos alimenticios en animales domésticos y en especial en cerdos son diferentes a los de humanos. Las formas de preparación de las yucas para ser alimentadas a cerdos son diferentes a aquellas empleadas para consumo humano. Los cerdos alimentados con yuca fresca consumen cantidades variables del material fresco según se trate de yucas "dulces" o "amargas". El Cuadro 2 muestra los resultados de un estudio con cerdos en acabado. Puede observarse que los cerdos consumieron cantidades de aproximadamente 3 kg diarios por animal de yuca fresca "dulce" bien que fuere proporcionada separada del suplemento proteico o mezclada con el mismo; en cambio, los cerdos alimentados con yuca fresca "amarga", consumieron en promedio solamente 1 kg diario de yuca por animal, compensando esta deficiencia con un mayor consumo del suplemento proteico. Los cerdos a los cuales se les proporcionó la yuca "amarga" mez-

Figura 3



MODELO TENTATIVO DEL MECANISMO DE LA ACCION GOITROGENICA
DE LA YUCA EN RATAS DEFICIENTES EN YODO
(ERMANS ET. AL., 1973)

Cuadro 2. Resultados de la alimentación de cerdos en acabado con yucas frescas dulces (Llanera) y amarga (CMC84).

Parámetro	Yuca dulce +		Yuca amarga +	
	Suplemento A voluntad	Suplemento Controlado	Suplemento A voluntad	Suplemento Controlado
Ganancia diaria, kg	.66	.77	.56	-.08
<u>Consumo diario</u>				
Yuca, kg	2.99	3.40	.99	.93
Supl. proteico, kg (30%)	.81	.82	1.21	.22
Proteína en dieta, %	14.1	13.3	23.5	13.3

ciada con el suplemento proteico consumieron una cantidad de alimento total mucho menor que el requerido para cubrir sus necesidades mínimas de mantenimiento y por tanto perdieron peso durante el período experimental (Gómez et al., 1976). Estos resultados indican que los cerdos no consumen yucas frescas "amargas" en las cantidades requeridas para obtener rendimientos aceptables y que estas yucas deben ser procesadas convenientemente para eliminar la mayor cantidad de linamarina presente en ellos.

Al secar las raíces de yuca, el contacto de la linamarasa y linamarina resultante de la molienda de las raíces permite una gran liberación del HCN; las pruebas de alimentación con harinas de yucas dulces o amargas indican que las diferencias en consumo son mucho menores comparadas con las raíces frescas. Por lo tanto las harinas de yuca no representan un problema práctico, del punto de vista de toxicidad, en dietas para cerdos.

Por los resultados observados en humanos se pensaba que los efectos de toxicidad debidos al contenido de linamarina en las raíces de yuca podría ser más perjudicial durante las etapas más críticas del ciclo de vida del cerdo, en especial durante el período de gestación. Aunque los resultados experimentales son muy limitados, se encontró que tanto en ratas como en cerdas gestantes niveles relativamente altos de cianuro, incorporados en las dietas como cianuro de potasio, no afectaban significativamente los rendimientos reproductivos (Tewe, 1975). Parece ser que la placenta actúa como una barrera protegiendo a los fetos de compuestos tóxicos tales como cianuro o tiocianatos. Es probable que los efectos a largo plazo sean diferentes a aquellos observados experimentalmente.

2) Aspectos importantes en el uso de las raíces de yuca en programas de alimentación

Los resultados experimentales obtenidos en CIAT e ICA respecto a los aspectos prácticos en la utilización de las raíces de yuca han sido resumidos y publicados en su mayor parte (Buitrago, 1964; Maner, 1973; Gómez et al., 1976, 1976a; Gómez, 1977). Existen datos especialmente en lo referente al uso de yuca fresca y de harina de yuca y en menor escala de ensilaje de yuca en dietas prácticas para los diferentes periodos del ciclo de vida del cerdo.

Un aspecto importante al usar yuca es el suplemento proteico a emplearse para obtener una ración balanceada. Normalmente se emplean suplementos que aportan 30 a 40% de proteína cruda y que son suministrados en comederos separados, especialmente cuando se utiliza yuca fresca picada. La tendencia observada en cerdos durante los periodos de crecimiento y acabado (20-95 kg de peso vivo) es que los animales consumen menor cantidad del suplemento cuando el aporte de proteína del mismo es más alto y por lo tanto consumen mayor cantidad de yuca fresca (Job, 1975). Además hay una tendencia a consumir mayor cantidad del suplemento proteico cuando es suministrado a voluntad en comedero separado que cuando es mezclado en proporciones adecuadas con la yuca fresca picada. Datos experimentales que proporcionan una idea sobre los consumos de yuca fresca y del suplemento y de los rendimientos de cerdos en crecimiento y acabado son mostrados en el Cuadro 3 (Buitrago, 1964).

Debido a las dificultades de manejo en la alimentación de yuca fresca es más recomendable, cuando las condiciones lo permitan, secar la yuca para luego molerla y transformarla en harina e incorporarla en dietas balanceadas para cerdos. El proceso del secado se complica en los lugares con alto por-

Cuadro 3. Rendimientos de cerdos en crecimiento y acabado alimentados con yuca dulce fresca y un suplemento proteico (43%).

Parámetro *	Control maíz	Yuca dulce fresca	
		+ S.P.	Mezclado con S.P.
Ganancia diaria (kg)	0.84	0.83	0.79
Prom. peso final (kg)	100.4	99.5	95.6
<u>Consumo prom. diario (kg)</u>			
Yuca fresca	-	4.05	3.89
Suplemento proteico	-	1.17	0.73
Consumo total **	2.89	2.80	2.30
Alimento/ganancia	3.43	3.36	2.90

* Promedios de cinco cerdos por grupo; peso prom. inicial, 17.8 kg; duración del experimento: 98 días.

** Aproximadamente calculado con 10 por ciento de humedad.

centaje de humedad relativa tales como los observados en zonas tropicales bajas.

La calidad de la proteína suplementaria para balancear las dietas a base de yuca es otro aspecto importante a tenerse en consideración. Debido al limitado aporte de proteína en la yuca, la cantidad de proteína suplementaria es mucho mayor que la que requieren los granos de cereales. Casi, la totalidad de proteína y de aminoácidos son prácticamente aportados por la fuente proteica.

Resultados experimentales publicados en la literatura sugieren la conveniencia de suplementar metionina en las dietas a base de yuca por la doble finalidad de mejorar la calidad proteica de las dietas - especialmente cuando se usan fuentes proteicas de origen vegetal - así como de abastecer cantidades suficientes de azufre para los procesos de detoxificación. La información que respaldaba esta sugerencia provenía generalmente de resultados de pruebas experimentales por cortos períodos de tiempo o de evaluaciones biológicas con ratas (Maner and Gómez, 1973). Experimentos realizados posteriormente (Job, 1975) por períodos experimentales más prolongados sugieren que la necesidad de suplementar metionina debe ser revisada. Un experimento con cerdos en crecimiento y acabado utilizando dietas con niveles elevados de harina de yuca (61-68%) suplementada con torta de soya, o torta de algodón, o una mezcla de torta de algodón y harina de pescado ha demostrado que existen diferencias debidas a la calidad de la proteína suplementaria pero que la adición de metionina no mejoró los rendimientos que se obtuvieron con las dietas sin adición de metionina (Cuadro 4). Además otros compuestos azufrados (tiosulfatos, sulfatos inorgánicos) parecen ser igualmente eficientes, como

Cuadro 4

UTILIZACION DE HARINA DE YUCA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO Y ACABADO
 EFECTO DIFERENTES INGREDIENTES PROTEICOS Y SUPLEMENTACION DE METIONINA
 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Parámetro	Maíz + T. Soya + Met	Harina de yuca +				
		T. Soya	T. Soya + Met	T. Algodón	T. Algodón + Met	T. Algodón + H. Pescado
Número de cerdos	10	9	10	9	9	9
Días en prueba	112	112	112	133	133	119
<u>Ganancia peso *</u>						
Total por cerdo (kg)	78.5	78.0	78.0	77.4	75.0	78.0
Prom. diario (kg)	0.70	0.70	0.70	0.58	0.56	0.66
<u>Consumo dieta/cerdo (kg)</u>	243.3	270.4	279.2	323.5	294.1	268.4
<u>Dieta/ganancia</u>	3.1	3.5	3.6	4.2	3.9	3.4

* Peso promedio inicial 17.5 kg.

CIAT 76-8

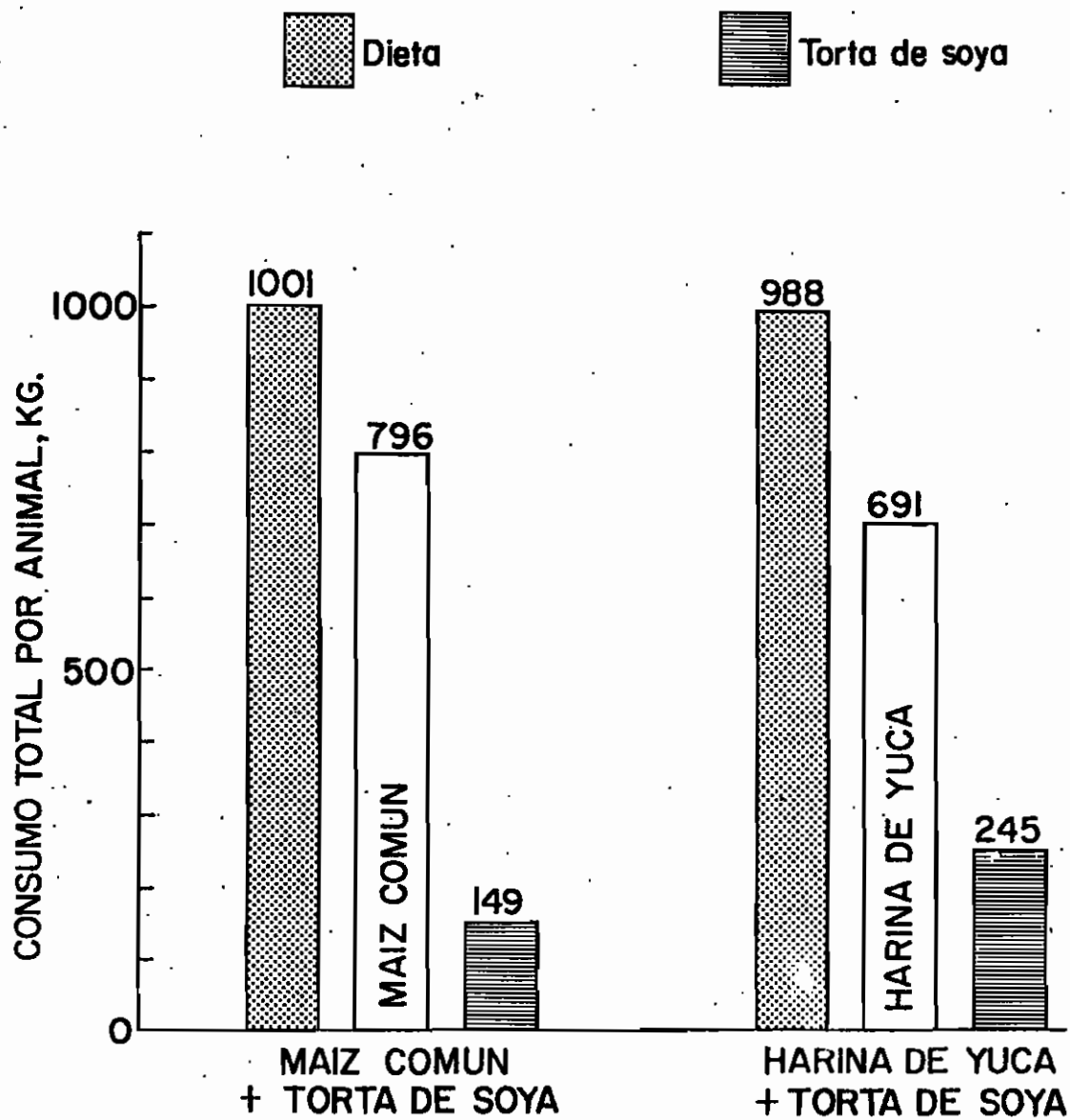
fuentes de azufre, que la metionina (Job, 1975). Se requieren mayores datos experimentales para establecer la necesidad de adicionar metionina a las dietas en base a yuca fresca o harina de yuca (Adegbola, 1977).

El aspecto quizás de mayor importancia al evaluar la conveniencia de utilizar las raíces de yuca en alimentación animal, y porcina en particular, es su costo como alimento. La factibilidad económica de utilizar yuca como sustituto de otras fuentes energéticas dependerá de su precio relativo a las fuentes convencionales así como al precio de los suplementos proteicos necesarios para balancear las dietas a base de yuca (Phillips, 1974). La figura 4 muestra las cantidades de dieta, de harina de yuca y de torta de soya requeridos para un ciclo completo de vida del cerdo de un programa de alimentación a base de harina de yuca comparadas con las cantidades de dieta, maíz y torta de soya de un programa de alimentación convencional a base de maíz amarillo. Los resultados detallados de este experimento han sido publicados (Gómez et al., 1976a; Gómez, 1977). La diferencia principal la constituye la mayor cantidad de torta de soya requerida que fue de un 65% mayor para el programa de alimentación a base de harina de yuca. La diferencia se acentúa más si se tiene en consideración que los resultados reproductivos fueron significativamente inferiores para los cerdos alimentados con dietas a base de harina de yuca (Gómez et al., 1976a).

Una de las soluciones transitorias sería la de limitar el empleo de harina de yuca y sustituirla parcialmente por otro ingrediente más barato que la yuca o que cualquier otro ingrediente energético. La melaza de caña de azúcar es uno de estos ingredientes que además mejora la presentación física de las dietas con altos niveles de harina de yuca. Resultados obtenidos

Figura 4

COMPARACION DEL CONSUMO DE DIETAS, MAIZ COMUN,
HARINA DE YUCA Y TORTA DE SOYA DURANTE UN CICLO
DE VIDA DEL CERDO



(CRECIMIENTO, ACABADO, PREGESTACION, GESTACION,
LACTANCIA Y LECHONES).

en CIAT (Informe Anual, 1976) permiten vislumbrar una solución factible de esta naturaleza, reduciendo la cantidad de yuca necesaria para abaratar los costos de alimentación (Cuadro 5).

Sin embargo, el aspecto de mayor necesidad de la fuente proteica no se elimina pues la melaza prácticamente no aporta proteína. Una posibilidad a más largo plazo y una alternativa de uso para la mayor producción de yuca esperada, sería la de utilizar el almidón procedente de las raíces de yuca como substrato energético para producir proteína microbiana.

3) Uso de las raíces de yuca como substrato energético para la producción de proteína microbiana.

Durante los últimos años se ha despertado gran interés en la tecnología alimenticia para transformar ciertos sub-productos agro-industriales o aún sub-productos industriales, como los derivados de la industria del petróleo, en medios de cultivo que convenientemente suplementados proveerían los nutrientes necesarios para el crecimiento y multiplicación de microorganismos tales como bacterias, hongos o levaduras. La biomasa final convenientemente secada resultaría en un alimento básicamente constituido de proteína microbiana, el cual podría ser utilizado en alimentación animal para reemplazar a las fuentes proteicas convencionales.

Estos procesos requieren de una tecnología bastante avanzada y algunos de ellos, especialmente los que utilizan los derivados del petróleo, han sido ensayados a escala de plantas de producción. Los precios elevados del petróleo en el mercado internacional y sus repercusiones sobre sus sub-productos han frenado momentáneamente la expansión de la producción de proteína microbiana derivada del petróleo y su utilización en alimentación animal. Los

Cuadro 5. Utilización de harina de yuca con niveles crecientes de melaza para cerdos en crecimiento y acabado. Resultados experimentales.

Parámetro	Variable experimental	
	Control maíz	Harina de yuca + Melaza
No. de días experimento	119	112
No. de cerdos/grupo	8	7
Ganancia total/animal, $\frac{1}{2}$ kg	76.4	80.7
<u>Consumo total/animal, kg</u>		
Dieta	227.8	264.7
Maíz o harina de yuca	188.6	120.5
Melaza	-	62.1
Torta de soya	28.4	69.5
Alimento/ganancia	2.98	3.28

$\frac{1}{2}$ = Pesos promedios iniciales y finales para los dos grupos: 17.3 y 93.7, 16.9 y 97.6, respectivamente.

aspectos económicos de estos procesos serán los determinantes de su producción a escala comercial. El mayor despliegue de esfuerzos hasta la fecha se ha concentrado en el potencial de utilización de sub-productos del petróleo, los cuales así tratados eliminarían o reducirían el peligro de convertirse en contaminantes del medio ambiente.

En el área agrícola existe un potencial poco explorado en relación a la utilización de sub-productos agrícolas tales como melaza de caña o aún el aprovechamiento de raíces y tubérculos con elevados contenidos de almidón que podrían ser convertidos en proteína microbiana. Recientemente, investigadores de la Universidad de Guelph han desarrollado un proceso orientado a producción de proteína microbiana utilizando el almidón de yuca como substrato energético. El proceso desarrollado estará dirigido a buscar un método simple y económico para convertir las raíces de yuca en proteína microbiana.

Los estudios se han concentrado en un hongo filamentoso, amilolítico, termotolerante que puede utilizar el almidón de las raíces de yuca sin necesidad de hidrolizar el almidón antes del proceso de fermentación; además el nivel de asepsia del proceso no requiere mayores cuidados debido a las condiciones altamente selectivas del método de cultivo (pH 3.5 y temperaturas de 45-50°C); el costo de enfriamiento es relativamente barato y la naturaleza filamentosa del hongo permitirá su recuperación por filtración (Gregory et al., 1976). El hongo seleccionado para este proceso es el Aspergillus fumigatus I-21. Un mutante de este hongo que no produce esporas, para evitar el posible problema de aspergilosis, ha sido obtenido y designado I-21A, el cual está actualmente siendo usado en pruebas a nivel de planta piloto. Actualmente se están realizando estudios para seleccionar otros hongos (Cephalosporium sp.

y Rhizopus sp.) que muestran potencial aún mayor que el A. fumigatus I-21, en términos de calidad y cantidad de proteína.

Los detalles de la producción de la proteína microbiana a nivel de laboratorio han sido publicados por Reade y Gregory (1975). Actualmente el CIAT en Cali, Colombia, ha construido una planta piloto para estudiar la factibilidad del proceso a una escala práctica de forma de producir proteína microbiana a ser evaluada nutritiva y toxicológicamente en alimentación porcina (Gregory et al., 1976).

El proceso de conversión de raíces de yuca en proteína microbiana procede de la siguiente forma: Las raíces son lavadas para remover la tierra y arena que puedan tener un efecto detrimento en el mecanismo del fermentador. Las raíces enteras son luego pasadas por una ralladora de yuca y esta yuca rallada es colocada en el fermentador, el cual se encuentra con agua a 70°C hasta la mitad de su capacidad. La temperatura es mantenida a esta temperatura por aproximadamente 10 minutos con el fin de gelatinizar el almidón. Agua a temperatura ambiente es agregada hasta casi alcanzar la capacidad operatoria del fermentador y al mismo tiempo reduce la concentración de carbohidratos a 4% y a la temperatura del medio de cultivo a 46-47°C. Acido sulfúrico es agregado para ajustar el pH del medio a 3.5 y proveer suficiente azufre. Urea es agregada como fuente de nitrógeno y fosfato monopotásico para aportar potasio y fósforo. Ningún otro ingrediente es requerido desde que la yuca aporta los otros nutrientes. El inóculo es producido en otro fermentador pequeño y se agrega a razón de aproximadamente 7% volumen a volumen. La fermentación es mantenida a 46-47°C por medio de agua a temperatura ambiente y es controlada por una válvula solenoide. El fermentador

requiere un motor para rotar el eje central de agitación. El oxígeno del aire es utilizado por el hongo y el pH del medio no necesita ser controlado pues permanece casi constante hasta el final del proceso. El cultivo completa su crecimiento en aproximadamente 20 horas. Parte de la biomasa sirve de inóculo para la siguiente fermentación y el resto es cosechado por un proceso de filtración. La biomasa final puede ser suministrada a los animales directamente o secada al sol para luego ser incorporada a dietas balanceadas.

La planta piloto construida en el CIAT (Gregory et al., 1976) está en funcionamiento con el fin de producir suficiente cantidad de biomasa para realizar su evaluación nutricional y toxicológica en alimentación porcina. Datos preliminares de rendimientos de fermentaciones utilizando yuca fresca o harina de yuca han sido obtenidos en el fermentador de 200 litros y son presentados en el Cuadro 6 (Santos y Gómez, 1977). Evaluaciones biológicas de la biomasa secada al sol con ratas en crecimiento ratifican la limitación del aminoácido metionina en la proteína microbiana, requiriendo su suplementación en dietas prácticas. El proceso ofrece perspectivas futuras halagadoras y representa un esfuerzo conjunto de la Universidad de Guelph en Canadá y de los Programas de Yuca y Porcinos en CIAT. El proyecto cuenta con el apoyo y respaldo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) de Canadá.

Cuadro 6. Resultados producción proteína microbiana (Aspergillus fumigatus I-21A) en fermentador de 200 litros usando yuca fresca o harina de yuca como substratos.

<u>YUCA FRESCA *</u>	
Cantidad de yuca picada (kg)	25.3
Cantidad biomasa secada al sol (kg)	4.4
Rendimiento: peso biomasa/peso yuca fresca (%)	16.9
peso biomasa/mat. seca yuca (%)	48.5
Proteína cruda en biomasa seca (%)	28.6
<u>HARINA DE YUCA **</u>	
Cantidad harina de yuca (kg)	11.5
Cantidad biomasa secada al sol (kg)	5.4
Rendimiento: peso biomasa/peso harina yuca (%)	47.0
Proteína cruda en biomasa seca (%)	28.2

* Promedios de 10 fermentaciones

** Promedios de 5 fermentaciones

REFERENCIAS

- Adegbola, A.S. 1977. Methionine as an additive to cassava based rations. In Cassava as an animal feed. Proceedings of an interdisciplinary workshop, Guelph, Canada, 18-20 April, 1977. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-
- Bruijn, G.H. de. 1973. The cyanogenic character of cassava (Manihot esculenta), p 43-48. In Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-010e.
- Buitrago, J.A. 1964. Utilización de la yuca en dietas para crecimiento y ceba de cerdos. Tesis de grado. Fac. Medicina Veterinaria y Zootecnia, Bogotá, Colombia.
- CIAT - Informe Anual 1975. Sistemas de producción de yuca, CIAT, Cali, Colombia.
- CIAT - Informe Anual 1976. Sistemas de producción de yuca, CIAT, Cali, Colombia.
- CIAT - Informe Anual 1976. Unidad de Nutrición Porcina, CIAT, Cali, Colombia.
- Coursey, D.G. and D. Halliday. 1974. Cassava as animal feed. Outlook of Agriculture 8:273.
- Delange, F. and A.M. Ermans. 1971. Role of a dietary goitrogen in the etiology of endemic goitre on Idjwi Island. Amer. J. Clin. Nutr. 24:1354.
- Delange, F., M. van der Velden and A.E. Ermans. 1973. Evidence of an antithyroid action of cassava in man and in animals, p. 147-151. In Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-010e.
- Ekpechi, O.L. 1967. Pathogenesis of endemic goitre in eastern Nigeria. Brit. J. Nutr. 21:537.
- Ekpechi, O.L. 1973. Endemic goitre and high cassava diets in eastern Nigeria, p. 139-145. In Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-010e.
- Ermans, A.M., M. van der Velden, J. Kinthaert, and F. Delange. 1973. Mechanism of the goitrogenic action of cassava, p. 153-157. In Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-010e.
- FAO. 1974. Production yearbook. Vol. 28.

- Gómez, Guillermo. 1977. Life-cycle swine feeding systems with cassava. In Cassava as an animal feed. Proceedings of an interdisciplinary workshop, Guelph, Canada, 18-20 April, 1977. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-
- Gómez, Guillermo, C. Camacho y J. H. Maner. 1976. Utilización de yuca fresca y harina de yuca en alimentación porcina, p 91-102. En Memoria del Seminario Intern. de Ganadería Tropical, Acapulco, Mexico, 8-12 Mayo 1976.
- Gómez, Guillermo, C. Camacho y J. H. Maner. 1976a. Utilización de dietas a base de harina de yuca, sin suplementación de metionina, durante los períodos del ciclo de vida del cerdo, p. 262-266. In Proceedings Fourth Symp. Intern. Soc. for Tropical Root Crops, CIAT, Cali, Colombia, 1-7 Aug. 1976.
- Gregory, K. F., A.E. Reade, G.L. Khor, J. C. Alexander, J. H. Lumsden and G. Losos. 1976. Conversion of carbohydrates to protein by high temperature fungi. Food Technol. 30:30-35.
- Gregory, K. F., A. G. Meiering, F. A. Azi, J. A. D. Sedgwick, J. D. Cunningham, S. J. MacLean, J. Santos and G. Gómez. 1976. Establishment of a pilot plant for the production of fungal protein from cassava, p 267-270. In Proceedings Fourth Symp. Intern. Soc. for Tropical Root Crops, CIAT, Cali, Colombia, 1-7 Aug. 1976.
- Job, T. A. 1975. Utilization and protein supplementation of cassava for animal feeding and the effects of sulphur sources on cyanide detoxification. Ph. D. Thesis, Depart. Animal Science, University of Ibadan, Nigeria.
- Maner, J. H. 1972. La yuca en la alimentación de cerdos, p 189-227. En Seminario sobre Sistemas de Producción de Porcinos en América Latina, CIAT, Cali, Colombia, 8-12 Setiembre 1972.
- Maner, J. H. and Guillermo Gómez. 1973. Implications of cyanide toxicity in animal feeding studies using high cassava rations, p 113-120. In chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England. 29-30 January 1973. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-010e.
- Nartey, Frederick. 1973. Biosynthesis of cyanogenic glucosides in cassava (Manihot spp), p 73-87. In Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-010e.
- Osuntokun, B.O. 1973. Ataxic neuropathy associated with high cassava diets in West Africa, p 127-138. In Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-010e.
- Phillips, P. Truman. 1974. Cassava utilization and potential markets. Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-020e.

- Reade, A. E. and K. F. Gregory. 1975. High-temperature production of protein enriched feed from cassava by fungi. *Applied Microb.* 30:897-904.
- Santos, N., J. and G. Gómez. 1977. Pilot plant for single-cell protein production. In Cassava as an animal feed. Proceedings of an interdisciplinary workshop, Guelph, Canada, 18-20 April 1977. *Int. Develop. Res. Centre Monogr.* IDRC-
- Tewe, O.O. 1975. Implications of the cyanogenic glucoside fraction of cassava in the growth and reproductive performance of rats and pigs. Ph. D. Thesis, Dept. Animal Science, University of Ibadan, Nigeria.
- Wood, T. J. 1965. The cyanogenic glucoside content of cassava and cassava products. *J. Sci. Fd. Agric.* 16:300.