

A PARTIR DE YUCA

Jorge Santos N. \*  
Guillermo Gómez \*\*

## CENTRO DE INVESTIGACION

Los cultivos de raíces comestibles como la yuca (Manihot esculenta Crantz) se producen comunmente en el trópico como fuente de alimento y contribuyen a proporcionar una cantidad apreciable del consumo total de calorías de la población humana (FAO, 1974). La yuca ha llegado a considerarse como alimento básico en la dieta de más de 200 millones de personas que viven en la faja tropical (Coursey and Haynes, 1970).

Las perspectivas para aumentar la producción de yuca en las regiones tropicales son muy promisorias, no sólo como consecuencia de un incremento en el área sembrada de yuca, sino mas bien como resultado de una mejora tecnológica por medio de la cual pueden obtenerse altos rendimientos en el cultivo mediante selección genética y prácticas culturales apropiadas (CIAT 1975, 1976).

Debido a que los cerdos convierten en forma eficiente el alto contenido de energía de las raíces de yuca, su mayor utilización como alimento para animales tiene, por lo tanto, amplias perspectivas en programas de alimentación porcina. El factor más importante que determina el uso de yuca como alimento para animales es su precio con relación al de otras fuentes energéticas disponibles así como la dependencia existente con relación al precio de las fuentes proteicas suplementarias (Phillips, 1974). Su bajo contenido de proteína comparado con el de los cereales trae como consecuencia el que cualquier substitución de éstos por yuca (fresca, ensilada o seca) en raciones completas esté acompañada por un aumento en la proteína suplementaria. Los datos experimentales indican que es un programa de alimentación porcina con harina de yuca durante todo un ciclo de vida se requiere aproximadamente 60-65 por ciento más del suplemento proteico (e.g. torta de soya) que en un programa de alimentación similar basado en maíz común (Gómez et al., 1976). Por consiguiente, el potencial de la yuca como alimento para animales en el trópico dependerá en alto grado de la disponibilidad de fuentes convencionales de proteína o de su utilización y aprovechamiento para el desarrollo de nuevas fuentes proteicas.

Las fuentes convencionales de proteína, tales como la harina de pescado y la torta de soya, además de utilizarse competitivamente en alimentación humana, están alcanzando precios tan elevados que su uso en alimentación porcina se verá seriamente restringido en el futuro. Otras fuentes proteicas, tales como la torta de algodón, tienen un uso limitado debido a su naturaleza tóxica. Además, en muchas áreas productoras de yuca es difícil establecer otros cultivos (e.g. soya) que proporcionen la proteína requerida para un

\* Investigador Asociado, CIAT

\*\* Nutricionista - Bioquímico, CIAT

balance nutricional adecuado, requerido en los programas de alimentación animal. Se crea de tal modo la necesidad de encontrar o desarrollar nuevas fuentes no-convencionales de proteína para alimentación animal. Por todas estas razones, se justifica el adelanto de investigaciones relacionadas con el uso de la yuca como alimento energético para animales o como medio de cultivo (sustrato) para la producción de proteína microbiana.

El proceso de conversión de la yuca a proteína microbiana es un área atractiva de investigación para aquellas regiones productoras de yuca donde se pueda aumentar significativamente la producción animal, especialmente la producción porcina. La producción de proteína microbiana a partir de yuca aumentaría significativamente el valor nutritivo del alimento.

La existencia de un Programa de Yuca y de una Unidad de Producción Porcina en el CIAT, hace especialmente factible la realización de un proyecto para la producción de proteína microbiana a escala de una planta piloto. El CIAT llevó a cabo la construcción de la planta piloto, con el fin de estudiar los diferentes aspectos involucrados en la producción de proteína en la cual se utiliza la yuca como sustrato energético. Este trabajo se está adelantando en colaboración con la Universidad de Guelph bajo el auspicio del Centro Internacional para Investigación y Desarrollo (CIID), del Canadá. El objetivo de este artículo es el de presentar un informe sobre los resultados y experiencias más recientes.

#### Descripción del Proceso

La planta piloto para la producción de proteína microbiana ha sido construida en el CIAT, habiéndose instalado en ella dos fermentadores (diseñados y construidos en la Universidad de Guelph, Canadá) con capacidad de 200 y 3000 litros respectivamente, los cuales constituyen el equipo principal. La planta consta de un equipo adicional que incluye una lavadora y una ralladora de yuca así como una máquina cosechadora (filtro-prensa) para recuperar el producto final de los fermentadores. También se instaló un micro-fermentador de laboratorio\* (10 litros de capacidad) en un lugar adyacente a la planta piloto, en el cual se produce el cultivo inicial que va a servir como inóculo para el fermentador de 200 litros. En un área adyacente a la planta piloto se dispone de facilidades para el secamiento de la biomasa que se expone en bandejas de madera al sol y al aire.

El proceso ha sido diseñado para operar con un mínimo de instrumentación. La temperatura, el pH y el oxígeno disuelto en el medio son algunos de los parámetros que se controlan durante el desarrollo del proceso. Aunque dichos parámetros no se requieren necesariamente en las unidades prácticas de producción, facilitan la labor de investigación ya que permiten confirmar la información preliminar encontrada a escala de laboratorio. Esta información ha sido previamente descrita en detalle por Reade y Gregory (1975).

El microorganismo utilizado es el hongo Aspergillus fumigatus I-21A (ATCC32722) (Reade y Gregory, 1975), el cual por ser un mutante que no produce esporas disminuye significativamente el riesgo de contaminación para el

---

\* New Brunswick Scientific Co., New Brunswick, N.J.

personal involucrado en la operación. La Figura 1 muestra esquemáticamente el diagrama de flujo del proceso para la producción de la biomasa final rica en proteína. El proceso se inicia con la preparación del medio de cultivo utilizando yuca fresca o harina de yuca como substrato energético. Cuando se usa yuca fresca, las raíces son lavadas para eliminar la tierra adherida a ellas y evitar el efecto abrasivo que pueda afectar los equipos. Posteriormente son ralladas mecánicamente y la cantidad resultante colocada en el fermentador, el cual contiene agua hasta la mitad de su capacidad, previamente calentada a 70°C para gelatinizar el almidón y facilitar así su utilización por el microorganismo. La adición posterior de agua, hasta completar la capacidad del tanque, permite reducir la temperatura del medio hasta la temperatura óptima de fermentación (45°C) y diluir la concentración de carbohidratos totales aproximadamente a un 4 por ciento (p/v). Una vez estabilizada la temperatura, se reduce el pH del medio a 3.5 mediante una solución de ácido sulfúrico, el cual proporciona además parte del azufre requerido para el proceso. Finalmente se agregan úrea y fosfato monopotásico como fuentes de nitrógeno y fósforo, respectivamente. Las raíces de yuca aportan en su totalidad los demás elementos minerales requeridos por el microorganismo. El proceso requiere un promedio de 20 horas de fermentación continua al cabo de las cuales el producto final es recuperado por medio de un sistema de prensado y filtrado, que permite la extracción parcial del agua en el proceso de secado de la biomasa final. El producto resultante es luego expuesto al sol y al aire en bandejas inclinadas para lograr así una mayor deshidratación (14% humedad) antes de ser transformado en harina.

En el Cuadro 1 se muestra un resumen de datos procedentes de un total de 35 fermentaciones llevadas a cabo en el fermentador de 3000 litros de capacidad y utilizando como substrato raíces frescas molidas de yuca, de diferentes variedades, con un total utilizado de aproximadamente 420 kg de yuca fresca por fermentación. Esta cantidad de yuca se determinó mediante el análisis previo del contenido de almidón de las raíces con el fin de obtener la concentración de carbohidratos deseada para el medio de cultivo, o sea, del 4 por ciento ó 40 g/l. Se utilizó el hongo identificado como Aspergillus fumigatus I-21A en todas las fermentaciones siguiendo el procedimiento ya descrito anteriormente. Los resultados obtenidos con el fermentador de 3000 litros han mejorado notablemente con relación a los reportados previamente para el fermentador de 200 litros, especialmente en lo que se refiere al contenido de proteína cruda total en la biomasa seca final, lo cual es el resultado de una utilización más eficiente de los carbohidratos de la yuca por el microorganismo utilizado en el proceso.

### Evaluación clínica y nutricional

Para determinar la calidad nutritiva de la proteína total de la biomasa final resultante del grupo de fermentaciones con yuca fresca en el fermentador de 3000 litros, se llevó a cabo una evaluación biológica utilizando cerdos alimentados individualmente durante los períodos de crecimiento y acabado. Resultados anteriores obtenidos en Guelph y en el CIAT han demostrado que esta proteína tiene una deficiencia marcada en aminoácidos azufrados, especialmente metionina. Dichos experimentos también habían demostrado los efectos benéficos logrados al suplementar este aminoácido en la ración de ratas en crecimiento (Gregory et al, 1977).

En los experimentos con cerdos realizados en el CIAT se utilizó esta proteína unicelular como la única fuente de proteína en las dietas, con (0.3%) o sin la adición de DL-metionina. La biomasa proteínica secada al sol presentó la siguiente composición química (en porcentaje): humedad, 11.6; proteína cruda (N x 6.25), 35.0; extracto etéreo o grasas totales, 3.0; fibra cruda, 19.3; extracto no nitrogenado, 30.0; cenizas, 4.1; calcio, 0.2; y fósforo, 0.8. Según las mediciones hechas en una bomba calorimétrica, la energía total fue de 4260 cal/g.

El Cuadro 2 presenta los resultados experimentales de la evaluación nutricional de la proteína unicelular. Su calidad nutritiva fue buena y se comparó favorablemente con la torta de soya, siempre y cuando se suplementara con metionina. La biomasa no suplementada con metionina produjo resultados inferiores; los animales requirieron 3 semanas adicionales para alcanzar un peso promedio final similar al de los grupos alimentados con proteína unicelular adecuadamente suplementada. Estos dos grupos experimentales presentaron tasas promedio diarias de consumo por cerdo similares, pero la suplementación con metionina aumentó significativamente las ganancias de peso y la eficiencia de conversión alimenticia.

Durante el experimento se tomaron periódicamente muestras de sangre de todos los cerdos para hacer análisis hematológicos y otras determinaciones de parámetros bioquímicos sanguíneos. Los resultados indicaron que la proteína unicelular suministrada a los cerdos no alteró significativamente ninguno de los parámetros estudiados, lo cual confirma los resultados de experimentos previos hechos con animales de laboratorio, en la Universidad de Guelph (Gregory *et al.*, 1977).

Al término de la evaluación nutricional, se sacrificaron 11 cerdos (2 del grupo alimentado con harina de yuca más torta de soya y 3 de cada uno de los otros tres grupos), con el fin de evaluar características de las canales y de tomar muestras de órganos y tejidos para efectuar estudios histopatológicos. No se observaron diferencias en las calidades de las canales a juzgar por las medidas del espesor de grasa dorsal ni en las proporciones obtenidas en los diferentes cortes. Se tomaron muestras de un total de 18 tejidos u órganos de cada cerdo, las cuales están siendo analizadas. De acuerdo a la observación macroscópica directa no se observaron alteraciones significativas en las muestras tomadas de los grandes órganos internos.

La experiencia adquirida a través del tiempo de operación de la planta piloto, demuestra la factibilidad técnica de producir proteína unicelular utilizando raíces molidas de yuca fresca como substrato energético para obtener un producto final (biomasa) que presente un buen contenido de proteína cruda. La calidad nutricional de esta proteína es buena para ser usada en alimentación animal si se suplementa adecuadamente con metionina. La salud y estado general de los animales no parece verse afectado por su consumo. Las precauciones de seguridad que son normalmente observadas en una planta piloto se pueden considerar como una protección adecuada para el manejo del microorganismo empleado en el proceso de fermentación. Sin embargo, la transferencia de esta tecnología requiere la consideración cuidadosa de aspectos tales como la factibilidad económica y otros factores que pueden afectar el comportamiento de la operación total de producción a escala comercial.

Resumen

Se desarrolló y ensayó a nivel de laboratorio en la Universidad de Guelph un proceso para la producción de proteína unicelular. El microorganismo utilizado es el hongo Aspergillus fumigatus I-21A, un mutante que no produce esporas y puede crecer bajo condiciones muy selectivas a una temperatura de 45°C y pH de 3,5. En el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se construyó una planta piloto, con el fin de evaluar la tecnología desarrollada a escala de laboratorio y para producir suficiente cantidad de biomasa para la evaluación práctica en la alimentación animal, especialmente de porcinos. Se presenta un informe de los resultados más recientes obtenidos en la planta piloto, los cuales indican la potencialidad del proceso. Los resultados de los varios ensayos de alimentación con la biomasa proteínica obtenida en la planta piloto, indican que el producto tiene una buena calidad nutricional, siempre y cuando se suplemente adecuadamente con metionina.

## BIBLIOGRAFIA

- CIAT. 1975. Informe Anual. Sistemas de producción de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- CIAT. 1976. Informe Anual. Sistemas de producción de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Coursey, D.G. and P.H. Haynes. 1970. Root crops and their potential as food in the tropics. *World Crops* 22:261-265.
- Food and Agriculture Organization. 1974. Production yearbook 1973. Vol.27. Rome, FAO, 1974.
- Gómez, G.G., C. Camacho and J.H. Maner. 1976. Utilization of cassava-based diets in swine feeding. Proc. 4th Symp. Int. Soc. Trop. Root Crops. CIAT, Cali, Colombia, 1-7 August, 1976. International Development Research Centre, IDRC-080e, 262-266.
- Gregory, K.F., A.E. Reade, J. Santos-Núñez, J.C. Alexander, R.E. Smith and S.J. MacLean. 1977. Further thermotolerant fungi for the conversion of cassava starch to protein. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 2:7-19.
- Phillips, T.P. 1974. Cassava utilization and potential markets. International Development Research Centre, Ottawa, Canada, IDRC-020e, 182 pp.
- Reade, A.E. and K.F. Gregory. 1975. High-temperature production of protein-enriched feed from cassava by fungi. *Appl. Microbiol.* 30:897-904.

Cuadro 1. Producción de proteína unicelular (PUC) a partir de raíces de yuca utilizando A. fumigatus I-21A en un fermentador de 3000 litros

Parámetros	Valor
Cantidad yuca/fermentación (kg)	423
Conce. carbohidratos solubles (g/litro)	
Inicial	41.1
Final	15.1
pH medio de fermentación	
Inicial	3.5
Final	5.2
Proteína cruda en biomasa seca (%)	34.2
Duración promedio fermentación (hrs)	21
Cantidad biomasa seca/fermentación (kg)	55.5

Cuadro 2. Evaluación nutritiva de la proteína unicelular (PUC) A. fumigatus I-21A, con cerdos en crecimiento y acabado<sup>1/</sup>

Resultados experimentales

Parámetro	Sorgo + T. soya	H. yuca + T. soya	Harina de yuca +	
			PUC sin met.	PUC con met.
No. días	112	119	140	119
No. cerdos/tratamiento	7	6	6	6
Peso vivo final, kg	94.4	95.7	90.0	90.7
Ganancia peso total, kg	78.6	79.9	74.2	74.9
Ganancia prom. diaria, kg	0.70	0.67	0.53	0.63
Alimento total, kg	288.2	282.4	292.1	252.8
Alimento prom. diario, kg	2.57	2.37	2.09	2.12
Alimento/ganancia	3.7	3.5	3.9	3.4

<sup>1/</sup> Cerdos alimentados individualmente; peso vivo prom. inicial: 15.8 kg.

Figura 1

# Planta Piloto para Producción de Proteína Microbiana

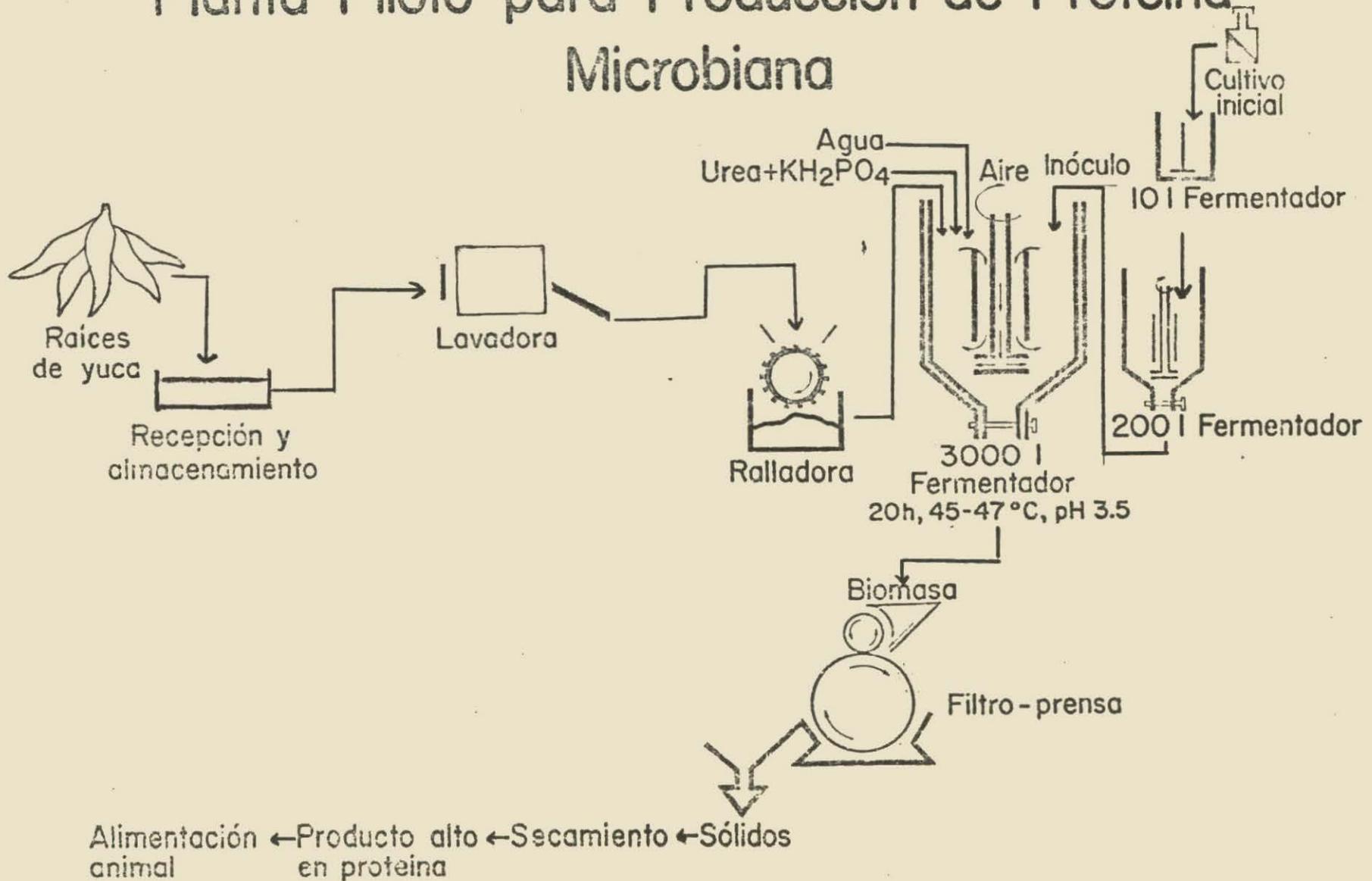




Fig. 2 Vista de la planta piloto en la Unidad de Porcinos del CIAT para producir proteina microbial utilizando raices de yuca como medio de cultivo.