



Perspectivas para el Desarrollo Agroindustrial del Cultivo de Yuca

Documento de trabajo
Número 2



CIAT

67355

COLECCION HISTORICA

Perspectivas para el Desarrollo Agroindustrial del Cultivo de Yuca¹

Julián Buitrago A., MVZ, PhD.²

Generalidades

El cultivo de la yuca tiene su mayor potencial en la región tropical situada entre las latitudes 30 Norte y 30 Sur. La mayor productividad se obtiene en áreas ubicadas desde el nivel del mar hasta 1.300 msnm y temperatura promedio de 25 a 30 oC. De todas maneras, la planta de yuca se adapta a condiciones extremas donde otros cultivos no pueden prosperar. Su tolerancia a suelos ácidos, con alta concentración de aluminio, su resistencia a la sequía y a suelos de baja fertilidad, permiten el desarrollo de cultivos en extensas regiones del trópico.

Los países con mayor producción de yuca son Nigeria, Brasil, Zaire y Tailandia, con 32, 26, 18 y 17 millones de toneladas por año, respectivamente (Cuadro 1). La producción mundial pasó de 70 millones de toneladas en 1960 a 170 millones de toneladas en el año 2002. Colombia ocupa el tercer lugar en Latinoamérica (después de Brasil y Paraguay), como productor de yuca, con 180.000 hectáreas sembradas, para una producción total de 1.9 millones de toneladas, de las cuales más del 90 % se utilizan como producto fresco para consumo humano.

Cuadro 1. Producción de yuca en países seleccionados.

País	Área cultivada hectáreas x 1000	Producción total toneladas x 1000
Nigeria	2.889	30.770
Zaire	2.225	18.405
Brasil	1.876	24.117
Tailandia	1.315	18.331
Indonesia	1.341	15.989
India	245	5.732
China	230	3.470
Vietnam	274	2.370
Filipinas	212	1.848
Paraguay	178	2.602
Colombia	187	1.848
Total mundial	16.136	161.400

Fuente: FAO. 1997 - 2001

En general, el cultivo de la yuca está orientado casi totalmente al uso de las raíces frescas para alimentación humana. Menos del 10 % se dedica al procesamiento para alimentación animal u otros productos de interés industrial. Únicamente Tailandia, y más recientemente China y

¹ Colaboradores: Jorge L. Gil (Clayuca), Bernardo Ospina (Clayuca), Gilberto Escobar (Nutribal) y Mario Tobar (Armare).

² Consultor Clayuca. E-mail: jabuitrago@telesat.com.co

Vietnám, han logrado establecer industrias importantes para la producción de almidón y otros productos industriales.

Con la excepción de Tailandia, en la mayoría de países productores de yuca, el cultivo se realiza en forma extensiva, como cultivo de subsistencia para pequeños productores, con grandes deficiencias tecnológicas, incluyendo la escasa incorporación de variedades mejoradas, fertilizantes, mecanización de siembras y cosechas, controles sanitarios, etc. Por tratarse de un producto altamente perecedero, los sistemas de mercadeo, transporte y comercialización, tienen un efecto negativo drástico en el precio y disponibilidad para el consumidor final.

Producción en Colombia

A pesar de que el cultivo de la yuca está diseminado en todas las regiones del país con altitudes inferiores a 1.800 msnm, alrededor del 50 % del área sembrada está ubicada en la Costa Norte. Otro 25 % se produce en los Valles interandinos y el 18 % en la zona Andina y parte central del país. En el Cuadro 2 se presenta información más detallada sobre producción de yuca en diferentes regiones del país.

Cuadro 2. Producción y productividad de la yuca en Colombia

Región	Área hectáreas	Producción t/año	Rendimiento t/ha
Costa Atlántica: Atlántico, Bolívar, Cesar, Sucre, Córdoba, Guajira, Magdalena.	85.268	813.184	9.5
Centro Oriente: Tolima, Huila, Boyacá, Cundinamarca, Santanderes.	46.325	385.435	8.3
Occidente: Antioquia, Caldas, Cauca, Valle, Risaralda, Quindío, Chocó, Nariño.	23.675	319.947	13.5
Orinoquia Arauca, Casanare, Guaviare Meta, Guainía, Vaupés, Vichada	14.023	156.521	11.0

Fuente: URPA. Minagricultura. Anuarios estadísticos. 1995 – 1996

Potencial agronómico

Existe una oportunidad de especial importancia para la obtención de resultados altamente positivos en el mejoramiento de la productividad del cultivo de yuca en el país. A pesar de que -en las condiciones actuales- se logran rendimientos aceptables de la cosecha en condiciones donde otros cultivos difícilmente pueden prosperar, su respuesta a la incorporación de mejoras en el manejo y a la introducción de tecnología sencilla, es altamente satisfactoria. La utilización de variedades de alto rendimiento en materia seca, variedades con mayor resistencia a plagas y enfermedades, utilización de fertilizantes y de riego, control de malezas, etc. producen respuestas evidentes en el incremento de la productividad.

En el Cuadro 3, se aprecia el rendimiento promedio por hectárea de yuca fresca en algunos países productores de importancia, donde se pueden apreciar contrastes muy marcados en productividad, así como el amplio espacio para lograr incrementos significativos hacia el futuro.

Cuadro 3. Rendimiento de yuca en varios países productores.

País	Rendimiento promedio por hectárea (toneladas métricas)
India	23.5
El Salvador	22.5
China	15.1
Paraguay	14.6
Tailandia	13.1
Brasil	12.9
Indonesia	11.9
Nigeria	10.6
Colombia	9.9
Zaire	8.0
Potencial posible con tecnología disponible actualmente	Más de 50 toneladas

Potencial agroindustrial

Aunque la harina de yuca para alimentación animal es el producto de menor rentabilidad, ya que debe competir con los cereales importados (casi siempre a precios subsidiados), la gran demanda de fuentes energéticas para concentrados animales en el país (más de 1.5 millones de toneladas por año), hacen que este mercado constituya el principal objetivo primario para un desarrollo agroindustrial amplio. Los mercados de mayor interés económico (almidones, dextrinas, alcoholes, etc), constituyen un objetivo de primordial importancia a futuro, pero exigen mayor grado de tecnología y de consolidación en los proyectos agroindustriales. La integración de uno o varios desarrollos industriales, seguramente proporcionarán mayor solidez al mercado de los productos derivados de la yuca, aprovechando al máximo la flexibilidad en los procesos de transformación.

En el listado siguiente se ubican, en orden prioritario, los productos con mayor demanda que pueden elaborarse a partir del cultivo de yuca, como una aproximación al concepto de integración en su desarrollo industrial primario:

1. Harina de raíces y de follaje para consumo animal
2. Trozos congelados para consumo humano
3. Almidones dulces
4. Almidones fermentados

5. Dextrinas, adhesivos
6. Alcoholes

Aunque existen publicaciones especializadas en los temas industriales de la yuca, se incluye un breve análisis del potencial que se presenta con los productos de mayor impacto en el procesamiento industrial primario.

En los siguientes párrafos se presenta información actualizada sobre las posibilidades que ofrece la harina de raíces y follaje yuca para participar como componente básico en la industria de concentrados animales, siempre y cuando su calidad y precios le permitan competir con los granos de cereales convencionales (maíz y sorgo).

No se incluye información detallada sobre el resto de productos con valor agregado (2 a 6), pero se reconoce que, aunque con demanda especializada y mayores exigencias tecnológicas, son productos de mejor rentabilidad en los mercados locales y de exportación.

Potencial industrial para otros productos derivados de la yuca

A partir de 1000 kilogramos de raíces de yuca, se pueden obtener 350 kilos de harina integral de yuca, 230 kilos de almidón o 170 litros de alcohol (CIAT, 1996).

A pesar del alto potencial para la producción de almidones y otros productos industriales con valor agregado, el desarrollo industrial de la yuca en Latinoamérica es casi nulo. El principal productor –Brasil– produce el mayor volumen de almidón industrial (alrededor de 50.000 toneladas por año), el cual se consume localmente en su mayoría.

A nivel mundial, Tailandia ha logrado el mayor desarrollo agroindustrial, a través de dos fases de escalamiento industrial: durante las décadas del 70 y 80, el país logró estimular el procesamiento de grandes volúmenes de yuca (entre 6 y 8 millones de toneladas de yuca seca por año) que se estuvo exportando a los mercados europeos para fabricación de alimentos animales. Durante la década del 90 gran parte de la industria experimentó una reorientación hacia una fase más avanzada, para obtener productos de mayor tecnología, incluyendo almidones modificados, dextrinas, glutamato de sodio, sorbitol, ácido cítrico, etc. Las exportaciones de yuca seca han disminuido (entre 3 y 4 millones de toneladas), mientras que los nuevos productos industriales han crecido en forma sostenida. En la actualidad existen alrededor de 400 plantas para producción de harina de yuca y alrededor de 80 fábricas de almidón y otros productos con valor agregado a partir de la yuca, diseminadas en toda la región productora de yuca. La producción de almidón es superior a un millón de toneladas por año, de las cuales se exportan más de la mitad.

En 1980 más del 90 % de la producción de yuca en Tailandia se procesaba como yuca seca para alimentación animal. En 1982, el 70 % se destinaba a producción de yuca seca y el 12 % para la elaboración de almidón. En 1992, la producción de almidón representaba el 28 %, proporción que se ha seguido incrementando con la introducción de almidones modificados (Henry and Gottret, 1996).

Las propiedades funcionales del almidón de yuca ofrecen características de gran importancia para numerosas industrias. El Cuadro 4, presenta un resumen de las principales especificaciones del almidón natural.

Cuadro 4. Especificaciones generales en el almidón de yuca*

Almidón de yuca	Especificaciones
Tamaño del gránulo de almidón	5 - 50 micrones
Contenido de amilosa	15 - 29 %
Contenido de amilopectina	71 - 85 %
Máxima viscosidad	700 - 1100 BU
Temperatura de gelatinización	49 - 73 °C
Olor	Neutro
Sabor	Neutro

Fuente: *Bradbury y Holloway. 1988.

China, Tailandia y Vietnam han iniciado una expansión significativa en el desarrollo de productos industriales a partir de yuca y en los próximos 5 años se esperan desarrollos genéticos importantes en la modificación de algunas características de importancia para procesos industriales específicos (Ha, 1994; Titapiwatanakun, 1998 y Goletti, 1999)

Potencial nutricional

El principal mérito de la yuca como fuente de nutrientes, radica en la gran capacidad para producción de energía en forma de almidones. El potencial de producción de almidones por hectárea, es superior a cualquier otro cultivo. Con la incorporación de tecnología de fácil aplicación (semilla mejorada, fertilizantes, control de malezas) se pueden obtener producciones hasta de 50-60 toneladas de raíces frescas por hectárea -con una concentración de almidón del 28 al 29 %- lo cual equivale a más de 11 toneladas de almidón por hectárea, descontando la porción de almidón que no se recupera durante el proceso.

En condiciones de producción comercial convencional, los rendimientos esperados pueden llegar a cifras de 20 a 30 toneladas de raíces por hectárea (10 - 12 toneladas de yuca deshidratada), en regiones donde otros cultivos productores de almidón (maíz, sorgo, arroz) no alcanzan producciones mayores a 4 - 5 toneladas.

El contenido de materia seca de la raíz de yuca fluctúa entre 32 y 38 %, la cual está constituida en más del 80 % por almidón. Por otra parte, el follaje de yuca contiene 20 a 30 % de materia seca, con un alto porcentaje de proteína (20 a 24 %) y fibra (25 a 30 %). En el Cuadro 5, se incluye información más detallada sobre el contenido de otros nutrientes en raíces y hojas de yuca.

Cuadro 5. Contenido de nutrientes principales en la raíz y follaje de yuca

Nutrientes %	Productos frescos		Productos secos	
	Raíces	Follaje	Raíces	Follaje
Humedad	65.00	72.0	12 – 14	12 – 14
Almidón	28.00	4.10	73.00	14.00
E. metabólica*	1.20	0.34	3.0 – 3.1	1.38
Proteína	1.10	6.50	2.80	21.00
Fibra	1.20	4.70	3.20	18.40
Grasa	0.47	1.80	1.20	5.90
Ceniza	1.12	1.70	2.90	5.60
Metionina	0.01	0.07	0.03	0.28
Cistina	0.008	0.04	0.02	0.16
Lisina	0.02	0.37	0.06	1.60
Triptofano	--	0.05	--	0.20
Treonina	0.01	0.27	0.03	1.17
Calcio	0.10	0.52	0.30	1.70
Fósforo	0.15	0.09	0.40	0.26
Potasio	0.25	0.34	0.65	1.20

Fuente: Buitrago, J.A. 1990.

*Megacalorías por kilogramo de producto.

Potencial de la yuca en la alimentación animal

Los dos productos industriales con mayor potencial en alimentación animal se relacionan con la harina integral de raíces y con la harina de follaje procedente del tercio superior de la planta de yuca.

En ambos casos, el proceso de transformación involucra la eliminación de un alto porcentaje de humedad, así como de procesos complementarios de molienda, mezclado y/o peletizado.

Teniendo en cuenta que el propósito de la presente revisión se relaciona mayormente con la producción agroindustrial, se incluye una breve descripción de los sistemas industriales desarrollados recientemente para la deshidratación y precocción de raíces y follaje. Este tipo de tecnología permit, además, que en los mismos equipos se pueda realizar el procesamiento de otro ingrediente fundamental en el balance de dietas animales con base en yuca: soya integral.

La combinación harina de yuca – soya integral proporciona la mayor parte de los elementos nutricionales en dietas para aves, cerdos, peces y ganado bovino. Esta complementariedad afortunada, fortalece y simplifica los programas nutricionales para la mayoría de las etapas productivas, donde existe una exigencia alta de energía metabolizable, proteína y ácidos grasos esenciales. La harina de yuca es rica en almidones y energía, pero pobre en proteína y ácidos

grasos esenciales. Por su parte, la soya integral es pobre en almidones, pero rica en proteína y ácidos grasos esenciales.

En el Cuadro 6, se destacan las principales diferencias nutricionales entre los dos productos mencionados:

Cuadro 6. Principales componentes nutricionales en la harina de yuca y en la soya integral precocida.

Nutrientes principales	Unidad	Harina de yuca precocida	Soya integral precocida
Proteína	%	2.50	38.00
Almidones	%	70.00	9.00
Grasa	%	1.20	19.00
Energía metabolizable, aves	Mcal/kg	3.05	3.70
Energía metabolizable, cerdos	Mcal/kg	3.10	3.80
Ácido linoléico	%	0.00	8.90

➤ **Equipos para procesamiento de yuca y soya integral:**

El desarrollo tecnológico más reciente para la industrialización de la yuca se fundamenta en el proceso de precocción y deshidratación, con graduación en las especificaciones de temperatura y tiempo de proceso, lo cual facilita tanto el procesamiento de los subproductos de yuca (raíces y follaje) como del grano de soya integral.

Los efectos principales del proceso sobre cada uno de los productos mencionados, se sintetizan en los siguientes puntos:

- Raíces de yuca: deshidratación, eliminación del ácido cianhídrico, gelatinización de almidones.
- Follaje de yuca: deshidratación, eliminación del ácido cianhídrico.
- Soya integral: deshidratación, eliminación de antienzimas y factores antinutricionales (antitripsina, ureasa, lipoxigenasa), gelatinización y almidones.

Aunque las especificaciones de la maquinaria pueden adaptarse a diferentes volúmenes de producción, la mayor parte de los equipos instalados hasta el momento han sido diseñados para procesar un mínimo de 4 toneladas de raíces y/o follaje de yuca fresca (1.5 toneladas de raíces y/o follaje secos) y de 1 tonelada de soya integral por hora.

Las etapas principales del proceso incluyen los siguientes pasos:

- Prelimpieza para raíces de yuca y grano de soya.
- Picadora de raíces para obtención de trozos (chips).
- Picadora de follaje.

- Cámara para proceso de deshidratación y eliminación del ácido cianhídrico en raíces y follaje de yuca.
- Cámara para proceso de precocción y gelatinización de almidones en yuca y granos.
- Cámara para precocción y eliminación de factores antinutricionales en la soya.

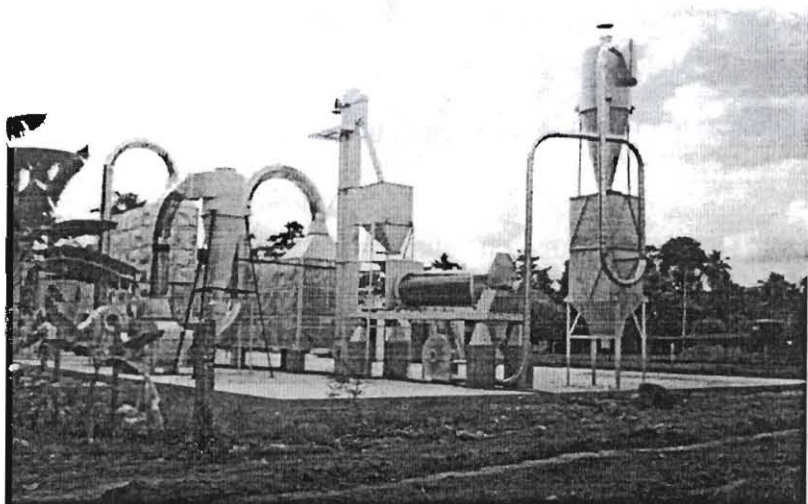
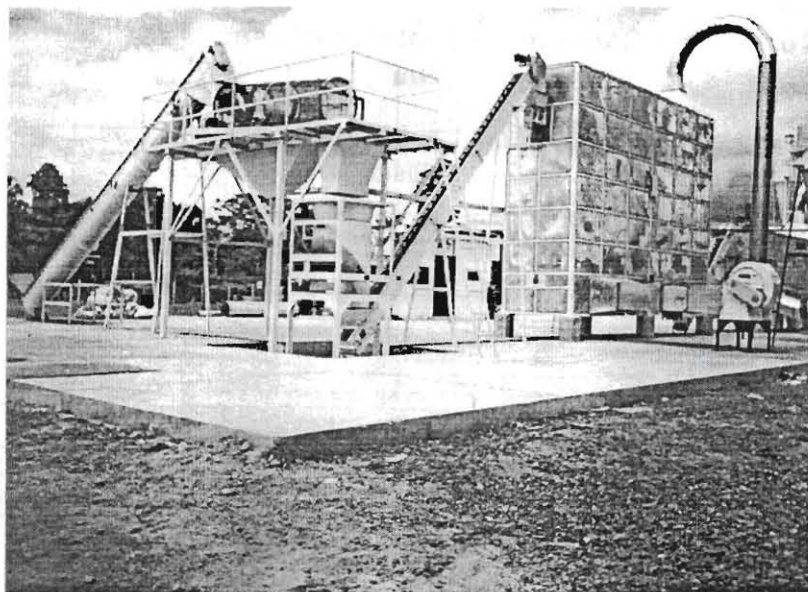


Ilustración de equipos para el secado de yuca. Planta de Valencia Córdoba. ARMARE.

➤ **Programas de alimentación para avicultura**

La harina de raíces de yuca puede reemplazar total o parcialmente a los cereales convencionales en raciones para pollos de engorde o aves de postura. Sin embargo, es importante tener en cuenta que con niveles superiores al 15 - 20 por ciento es altamente recomendable proceder a la peletización o crombelización de las dietas con harina de raíces, debido a la característica polvorienta de la mezcla final, lo cual genera problemas de manejo y molestias en el consumo del alimento. La adición de aceites o la inclusión de soya integral ayudan a disminuir esta limitación, pero la mejor solución se obtiene a través del peletizado.

El procesamiento de la yuca y la soya integral mediante el sistema de deshidratación y precocción permite la elaboración de dietas de excelente calidad nutricional y sanitaria, gracias a la eliminación de los factores antinutricionales de la yuca y la soya, la gelatinización de almidones y la destrucción de microorganismos patógenos en las materias primas. La temperatura utilizada garantiza el control de los principales gérmenes y el efecto de gelatinización mejora la digestibilidad de los almidones.

La harina de follaje de yuca se puede utilizar en niveles máximos de 6 a 8 por ciento, teniendo en cuenta el alto nivel de fibra y la disminución en la palatabilidad cuando se superan estos niveles.

Los resultados en el rendimiento de pollos y ponedoras son altamente satisfactorios cuando se utilizan porcentajes altos de harina de yuca y de soya integral precocida (tostada), incluyendo un nivel de 6 a 7 % de harina de follaje de yuca. En estas condiciones los tres ingredientes anteriores pueden representar más del 90 por ciento del programa de alimentación. Este tipo de dietas garantizan –además– un grado de pigmentación excelente en la yema del huevo y en la piel del pollo, gracias al efecto de las xantofilas presentes en el follaje de yuca.

a) Pollos de engorde:

En los Cuadros 7 y 8 se presenta la composición de las dietas y los resultados de rendimiento en pollos de engorde con productos peletizados y con niveles máximos de harina de raíces, harina de follaje y soya integral tostada. El Cuadro 9 se incluye información complementaria en relación con formulaciones balanceadas con base en la utilización de niveles máximos de harina de yuca, soya integral y harina de follaje. Asimismo en el Cuadro 10 se incluyen ejemplos donde se limita la harina de raíces hasta un máximo de 25 por ciento de la dieta.

Cuadro 7. Dietas para pollos de engorde con niveles máximos de soya integral, harina de raíces y follaje de yuca para 1 tonelada.

Ingredientes	Control Maíz – Torta de soya		Harina de raíces		Harina de raíces y follaje	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Maíz	59.37	68.85	--	--	--	--
Harina de raíces (yuca)	--	--	44.75	46.11	40.05	46.10
Harina de follaje (yuca)	--	--	--	--	6.00	6.00
Soya integral	12.80	6.10	30.00	41.60	30.00	45.10
Aceite vegetal	3.00	--	2.90	--	4.40	--
Torta de soya	21.00	20.70	18.70	5.20	16.40	--
Metionina	0.16	0.13	0.29	0.23	0.29	0.23
Lisina	0.07	0.19	--	--	--	--
Harina de huesos	1.70	1.60	1.90	1.50	1.90	1.40
Carbonato de calcio	1.50	1.10	0.50	0.40	0.50	0.40
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Mín - vit - aditivos	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Nutrientes principales						
E. met, Mcal/kg	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
Proteína, %	22.0	20.0	22.0	20.0	22.0	20.0
Lisina, %	1.25	0.49	1.25	0.49	1.25	0.49
Met + Cistina, %	0.90	0.78	0.90	0.78	0.90	0.78
Calcio, %	0.91	0.90	0.91	0.90	0.91	0.90
Fósforo disponible, %	0.42	0.40	0.42	0.40	0.42	0.40

Cuadro 8. Resultado en el rendimiento de pollos de engorde consumiendo dietas con niveles máximos de soya integral, harina de raíces y follaje de yuca.

Parámetro	Control Maíz – Torta de Soya	Harina de Raíces	Harina de Raíces y Follaje
Peso inicial, gr	39.80	39.50	39.70
Peso final, kg	2.14	2.39	2.11
Consumo total, kg	4.73	4.68	4.72
Conversión	2.21	1.96	2.24

Fuente: Clayuca – Nutribal. 2001

Cuadro 9. Dietas para pollos de engorde con niveles máximos de soya integral, harina de raíces y follaje de yuca para 1 tonelada.

Ingredientes	Iniciación	Finalización
Maíz	-----	-----
Harina raíces (yuca)	433.01	441.77
Harina follaje (yuca)	70.00	70.00
Soya integral	362.67	400.00
Torta de soya	103.00	32.00
Aceite vegetal	-----	25.00
Metionina	3.80	2.73
Lisina	-----	-----
Fosfato bicálcico	12.00	12.00
Carbonato de calcio	9.00	10.00
Sal	4.00	4.00
Min-vit-aditivos	2.50	2.50
Nutrimentos		
E. metabolizable, Mcal/kg	3.00	3.20
Proteína, %	21.00	19.00
Lisina, %	1.24	1.12
Met + Cistina, %	0.94	0.78
Calcio, %	0.90	0.95
Fósforo disponible, %	0.41	0.40

Cuadro 10. Dietas para pollos de engorde con 25% de harina de raíces de yuca y niveles máximos de soya integral y follaje de yuca par 1 tonelada

Ingredientes	Iniciación	Finalización
Maíz	221.00	225.00
Harina raíces (yuca)	250.00	250.00
Harina follaje (yuca)	70.00	70.00
Soya integral	297.89	398.76
Torta de soya	124.00	3.00
Aceite vegetal	--	14.00
Metionina	3.48	2.40
Lisina	--	--
Fosfato bicálcico	13.00	12.00
Carbonato de calcio	14.50	18.00
Sal	0.40	0.40
Min-vit-aditivos	2.50	2.50
Nutrientes principales		
E. metabolizable, Mcal/kg	3.00	3.20
Proteína, %	21.00	19.00
Lisina, %	1.24	1.12
Met + Cistina, %	0.94	0.78
Calcio, %	0.90	0.95
Fósforo disponible, %	0.41	0.40

b) Ponedoras:

En los Cuadros 11, 12, 13 y 14 se presentan ejemplos de programas nutricionales para aves ponedoras cuando se utiliza soya integral y los niveles intermedios de harina de raíces de yuca, teniendo en cuenta el proceso de la dieta final en forma de harina y su característica polvorienta.

En el Cuadros 15 y 16 se ilustra el tipo de dietas que pueden elaborarse mediante la inclusión de niveles mayores de soya integral y harina de raíces y follaje de yuca, siempre y cuando exista la posibilidad de preparar raciones peletizadas o crombelizadas.

Cuadro 11. Dietas para aves ponedoras con niveles máximos de soya integral y 15 por ciento de harina de raíces de yuca para 1 tonelada.

Ingredientes	Control maíz – soya	15 % harina de raíces de yuca
Maíz	41.10	34.10
Harina raíces (yuca)	--	15.00
Soya integral	20.00	20.00
Torta de soya	8.10	11.60
Harina de arroz	10.00	--
Mogolla de trigo	9.10	7.60
Metionina	0.18	0.19
Harina de huesos	1.30	1.50
Carbonato de calcio	9.60	9.30
Sal	0.35	0.35
Min-vit-aditivos	0.30	0.30
Nutrientes principales		
E. metabolizable, Mcal/kg	2.75	2.75
Proteína, %	17.00	17.00
Lisina, %	0.85	0.85
Met + Cistina, %	0.70	0.70
Calcio, %	3.90	3.90
Fósforo disponible, %	0.42	0.42

Cuadro 12. Rendimiento de aves ponedoras con harina de raices de yuca (15 %) en la dieta – semanas 55 a 61. para 1 tonelada

Rendimiento	Control maíz – soya integral	15 % harina de raices de yuca
Número de aves	15.000	5.000
Consumo alimento / día, (g)	114.0	115.0
Postura, %	78.3	79.0
Conversión por docena de huevos	1.37	1.37

Fuente: Granja Avícola Santa Anita. Pradera, Valle. 1.010 msnm. 26 o C. ASA. 2000

Cuadro 13. Dietas para aves ponedoras con niveles máximos de soya integral y 20 por ciento de raices de yuca para 1 tonelada.

Ingredientes	Control maíz – soya	20 % harina de raices de yuca
Maíz	50.60	36.20
Harina raices (yuca)	--	20.00
Soya integral	15.00	15.00
Torta de soya	12.30	16.50
Mogolla de trigo	10.30	0.20
Metionina	0.23	0.23
Fosfato bicálcico	1.40	1.60
Carbonato de calcio	9.20	9.30
Min-vit-aditivos	0.50	0.50
Nutrientes principales		
E. metabolizable, Mcal/kg	2.70	2.70
Proteína, %	17.00	17.00
Lisina, %	0.85	0.85
Met + Cistina, %	0.70	0.70
Calcio, %	3.90	3.90
Fósforo disponible, %	0.42	0.42

Cuadro 14. Rendimiento de aves ponedoras con harina de raices de yuca (20 %) en la dieta – semanas 39 a 46 para 1 tonelada.

Rendimiento	Control maíz – soya integral	20 % harina de raices de yuca
Consumo alimento / día, gr	111.6	111.1
Postura, %	92.4	91.0
Conversión por docena de huevos	1.50	1.46

Fuente: Gutiérrez y Martínez. U. Nacional. 1998. Granja Avícola Montegrande. Tulúa, Valle. 1.025 m.s.n.m. 25 oC.

Cuadro 15. Dietas para ponedoras con niveles máximos de soya integral, harina de raíces y follaje de yuca para 1 tonelada.

Ingredientes	Pre-pico	Pos-pico
Maíz	--	--
Harina raíces (yuca)	424.58	461.71
Harina follaje (yuca)	80.00	80.00
Soya integral	336.05	279.16
Torta de soya	47.00	68.00
Metionina	2.87	2.63
Fosfato bicálcico	15.00	14.00
Carbonato de calcio	89.00	89.00
Sal	3.50	3.50
Min-vit-aditivos	2.00	2.00
Nutrientes principales		
E. metabolizable, Mcal/kg	2.75	2.70
Proteína, %	17.5	16.5
Lisina, %	0.92	0.85
Met + Cistina, %	0.75	0.70
Calcio, %	3.90	3.90
Fósforo disponible, %	0.44	0.42

Cuadro 16. Dietas para ponedoras con 25 % de harina de raíces de yuca y niveles máximos de soya integral y follaje de yuca para 1 tonelada

Ingredientes	Pre - pico	Pos - pico
Maíz	220.00	265.39
Harina raíces (yuca)	250.00	250.00
Harina follaje (yuca)	80.00	80.00
Soya integral	259.00	185.88
Torta de soya	78.00	106.00
Metionina	2.54	2.23
Fosfato bicálcico	15.00	14.00
Carbonato de calcio	89.80	91.00
Sal	3.50	3.50
Min-vit-aditivos	2.00	2.00
Nutrientes principales		
E. metabolizable, Mcal/kg	2.75	2.70
Proteína, %	17.5	16.5
Lisina, %	0.92	0.85
Met + Cistina, %	0.75	0.70
Calcio, %	3.90	3.90
Fósforo disponible, %	0.44	0.42

➤ **programas de alimentación para porcicultura**

Las consideraciones nutricionales analizadas para los programas de alimentación en aves se ajustan casi totalmente al caso de alimentación porcina. Las harinas de raíces y follaje de yuca -debidamente procesadas- pueden reemplazar total o parcialmente a los cereales convencionales en raciones para cerdos de todas las edades. Cuando se utilicen niveles altos (más de 20 por ciento) de harina de raíces de yuca se recomienda el proceso de peletización o extrudización durante las etapas de preiniciación e iniciación. En cerdos con más de 40 kilos y en cerdas reproductoras, aunque es recomendable, no es indispensable la presentación de dietas peletizadas. La adición de aceites y melaza, o la inclusión de soya integral ayudan a disminuir la característica polvorienta de la dieta.

En los estudios más recientes se han utilizado dietas que contienen hasta 50 por ciento de harina de raíces de yuca como reemplazo total del maíz en programas de alimentación para cerdos en finalización (Cuadros 17 y 18).

Cuadro 17. Dietas con base en harina de yuca y soya integral para cerdos en finalización – porcentaje

Ingredientes	Dieta comercial		Dieta con harina de yuca y soya integral	
	Levante	Final	Levante	Final
Maíz	36.70	33.80	--	--
Harina de raíces (yuca)	--	--	44.93	48.10
Soya integral	20.00	18.60	20.00	20.00
Sorgo	16.00	16.00	--	--
Harina de pescado	--	0.50	--	--
Salvado de maíz	8.00	12.00	--	--
Torta de soya	7.60	3.40	16.71	10.90
Mogolla de trigo	8.00	12.00	12.00	15.00
Aceite vegetal	--	--	3.70	3.30
Sal	0.39	0.39	0.39	0.39
Min-vit-aditivos	3.31	3.31	2.27	2.31
Nutrientes principales				
E. met., Mcal/kg	3.31	3.32	3.36	3.34
Proteína, %	18.30	17.30	16.30	16.30

Cuadro 18. Rendimiento de cerdos en finalización con dietas a base de harina de yuca y soya integral

Parámetro	Dieta comercial	Harina de yuca – soya integral
Peso inicial, kg	48.10	49.29
Peso final, kg	96.00	96.41
Aumento diario, kg	0.75	0.74
Consumo diario, kg	2.22	2.12
Conversión alimenticia	2.96	2.89

Fuente: Clayuca. Informe anual 2001 - 2002.

Los Cuadros 19 y 20 ilustran programas de alimentación para varias etapas productivas del cerdo, con base en la inclusión de diferentes niveles de soya integral, harina de raíces y follaje de yuca. En el primer caso se presenta información con niveles de harina de raíces de yuca en reemplazo total del maíz. En el Cuadro 20, se analiza la información con niveles fijos de 50 por ciento de harina de raíces para todas las etapas.

Cuadro 19. Dietas para cerdos con 25 % de harina de raíces de yuca y niveles máximos de soya integral y follaje de yuca. para 1 tonelada.

Ingredientes	Iniciación	Levante	Final	Gestación	Lactancia
Maíz	253.00	314.00	349.77	397.07	331.10
Harina raíces (yuca)	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
Harina follaje (yuca)	-----	40.00	80.00	80.00	80.00
Soya integral	373.00	355.17	277.69	226.42	293.55
Torta de soya	93.00	16.00	-----	-----	-----
Aceite vegetal	-----	-----	20.00	21.00	20.00
Metionina	0.46	0.33	0.03	-----	-----
Lisina	0.03	-----	-----	-----	-----
Fosfato bicálcico	12.00	8.00	5.00	11.00	10.00
Carbonato de calcio	13.00	11.00	12.00	9.00	9.00
Sal	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Min – vit - aditivos	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Nutrientes principales					
E. met, Mcal/kg	3.35	3.35	3.35	3.32	3.35
Proteína, %	21.00	18.00	15.50	14.00	16.00
Lisina, %	1.20	0.95	0.75	0.58	0.95
Met + Cistina, %	0.65	0.54	0.44	0.37	0.48
Calcio, %	0.90	0.90	0.88	0.90	0.86
Fósforo disponible, %	0.40	0.32	0.25	0.35	0.35

Cuadro 20. Dietas para cerdos con 25 % de harina de raíces de yuca y niveles máximos de soya integral y follaje de yuca para 1 tonelada.

Ingredientes	Iniciación	Levante	Final	Gestación	Lactancia
Maíz	--	--	--	--	--
Harina raíces (yuca)	452.00	504.34	534.50	571.50	516.92
Harina follaje (yuca)	--	40.00	80.00	80.00	80.00
Soya integral	457.88	428.62	337.74	295.00	352.15
Torta de soya	60.00	--	--	--	--
Aceite vegetal	--	4.00	28.00	30.0	28.00
Metionina	0.62	0.54	0.26	--	0.43
Lisina	--	--	--	--	--
Fosfato bicálcico	12.00	8.00	5.00	11.00	10.00
Carbonato de calcio	12.00	9.00	9.00	7.00	7.00
Sal	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Min-vit-aditivos	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Nutrientes principales					
E. met, Mcal/kg	3.35	3.35	3.35	3.32	3.35
Proteína, %	21.00	18.00	15.50	14.00	16.00
Lisina, %	1.20	0.95	0.75	0.58	0.95
Met + Cistina, %	0.65	0.54	0.44	0.37	0.48
Calcio, %	0.90	0.90	0.88	0.90	0.86
Fósforo disponible, %	0.40	0.32	0.25	0.35	0.35

➤ Programas de alimentación para rumiantes

Gracias a las características del sistema digestivo de los rumiantes, existe la posibilidad de utilizar todos los componentes de la planta de yuca con la mayor eficiencia posible.

El follaje de yuca tiene porcentajes altos de fibra y proteína. Aunque el nivel de proteína en el follaje deshidratado puede llegar hasta 22 por ciento, el alto contenido de fibra (más de 15 por ciento) solamente permite incluir cantidades no mayores al 7 – 8 por ciento en dietas para aves y cerdos. Por el contrario, en el caso de los rumiantes el nivel de fibra no es un factor limitante y el follaje puede llegar a representar el total o un porcentaje alto de la ración. Esta particularidad permite utilizar la mayor parte de la planta de yuca (raíces y tercio superior del follaje) al momento de la cosecha, realizar varios cortes y rebrotes del follaje durante el período vegetativo o programar cultivos orientados mayor o totalmente hacia la producción de follaje. Es importante tener en cuenta que el follaje procedente de rebrotes tiernos (menos de 3 meses) posee mejores características nutricionales (más de 18 por ciento de proteína y menos de 20 por ciento de fibra) en contraste con el producto maduro (menos de 18 por ciento de proteína y más de 20 por ciento de fibra), tal como se puede apreciar en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Composición nutricional de harina de follaje de yuca con varias edades

Nutrientes principales	Harina de follaje *		
	2 – 3 meses	5 – 6 meses	Más de 8 meses
Proteína, %	21.00	18.00	16.00
Fibra, %	16.00	20.00	26.00
Ceniza, %	5.50	5.80	5.80
Grasa, %	5.20	5.60	5.60
Calcio, %	1.60	1.70	1.70
Fósforo, %	0.26	0.28	0.28
NDT	68.00	66.00	58.00
E.Digestible, Mcal/kg	2.94	2.65	2.40

* Tercio superior de la planta (incluyendo hojas, pecíolos y tallos tiernos)

El proceso de deshidratación elimina la mayor parte del ácido cianhídrico en el follaje y la raíz, razón por la cual las dietas con alto contenido de follaje y/o raíces no presentan problemas de toxicidad.

Los terneros y rumiantes jóvenes todavía no han desarrollado totalmente el remen y el nivel de fibra en la dieta debe ser inferior al de los rumiantes adultos. Asimismo, la necesidad de proteína y energía digestible es mayor en los animales jóvenes que en adultos.

Con base en las consideraciones anteriores, se presentan tres programas de suplementación alimenticia para ganado bovino joven y adulto, teniendo presente que los cálculos se han realizado a partir de harina de follaje tierno (Cuadro 22). A partir de este primer ejercicio pueden diseñarse gran cantidad de posibilidades nutricionales donde las harinas de follaje y de raíces de yuca constituyan los ingredientes principales de la dieta, tanto para presentaciones en forma de harina, productos peletizados o en bloques nutricionales.

Cuadro 22. Ejemplo de dietas para ganado de leche con base en harinas de follaje y de raíz de yuca para 1 tonelada.

Ingredientes	Terneros	Vacas producción media	Vacas alta producción
Harina de follaje	590	780	735
Harina de raíces	170	50	60
Melaza	100	160	140
Soya tostada	120	--	50
Carbonato de calcio	8.0	2.0	4.0
Fosfato bicálcico	5.0	1.0	2.0
Sal	6.0	8.0	8.0
Minerales trazas	1.0	1.0	1.0
Composición nutricional			
Proteína	17.0	15.5	16.5
NDT	70.0	65.0	68.0
Fibra	14.0	16.2	15.5
Grasa	5.8	4.4	5.2
Calcio	1.2	1.3	1.3
Fósforo	0.75	0.70	0.70

BIBLIOGRAFÍA

- Bradbury, J., H. y W. W. D. Holloway. 1998. Chemistry of tropical root crops. Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR). Series No 6. Camberra, Australia.
- Buitrago, J.A. 1990. La yuca en alimentación animal. ISBN 958-9183-10-7. 446 pp. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.
- CIAT. 1996. Centro Internacional de Agricultura Tropical. The latest facts about an ancient crop. Cali, Colombia.
- CLAYUCA – CIAT. 2002. Informe Anual de Actividades.
- Goletti, F., K. Rich and C. Wheatley. 1999. Agroindustrialization, Globalization and Economic Development. August 6-7, 1999. Nashville, TN. USA.
- Ha, D.T., L.C. Tru y G. Henry. 1994. Analysis of the future cassava starch potential in Vietnam. International Meeting on Cassava Starch and Flour. January 11-15, 1994. CIAT. Cali, Colombia.
- Henry, G. y V. Gottret. 1996. Global Cassava Trends. Working Document No. 157. CIAT. Cali, Colombia.
- Titapiwatanakun, B. 1998. Opportunities for the use of cassava in Thailand. dTp studies, Inc. Gielph, Ontario, Canada.