

Contenido de cianuro total y libre en parénquima y cáscara de raíces de diez variedades promisorias de yuca¹/

GUILLERMO GOMEZ*, DEBORA DE LA CUESTA*, MAURICIO VALDIVIESO* y KAZUO KAWANO*

Abstract

Because of the lack of cyanide content data and the great degree of variability in earlier such reports, roots of promising cassava genotypes from the Cassava Varietal Improvement Program at CIAT were analyzed for total and free cyanide content of the parenchyma and peel. Data are given on fresh basis, but dry matter content is also reported. The 10 varieties were ranked according to the total cyanide in the parenchyma and the peel. The majority studied were classified according to their total cyanide content in the parenchyma as intermediate- (50-100 ppm HCN) and one as high-cyanide (> 100 ppm) varieties. These findings have important implications in animal feeding since some varieties may have low cyanide levels in the parenchyma but very high levels in the peel, the latter representing 10-15% of total root weight.

Introduction

El cultivo de la yuca se encuentra ampliamente distribuido en las regiones tropicales del mundo, y sus raíces constituyen un importante alimento energético para más de 200 millones de personas (11). Las raíces de yuca contienen los glucósidos cianogénicos, linamarina y lotaustralina; la linamarina es el glucósido cianogénico más importante cuantitativamente en las raíces, representando más del 90% de los glucósidos totales (10). El contenido de linamarina en la cáscara es normalmente varias veces más alto que el que se encuentra en el tejido parenquimatoso o pulpa de las raíces. Los glucósidos cianogénicos son normalmente hidrolizados por acción de la enzima linamarasa, presente principalmente en la cáscara, al destruirse la estructura física de las raíces (2). Los glucósidos cianogénicos al hidrolizarse liberan ácido cianhídrico, que dependiendo de los niveles, puede ser tóxico para humanos y animales. Se han publicado varios reportes sobre la toxicidad crónica del cianuro derivado de las raíces o productos a base de yuca (12).

En la mayoría de los trabajos sobre la calidad nutricional de las raíces de yuca o productos derivados de ellas no se menciona el contenido de cianuro resultante de los glucósidos cianogénicos. Además la concentración de estos glucósidos para una misma variedad puede ser afectada por factores agronómicos y edáficos (1). Por otra parte, en algunos trabajos se observa una variabilidad considerable en las determinaciones del cianuro. Estas diferencias y discrepancias pueden atribuirse en parte a la carencia de una metodología adecuada para la determinación del cianuro procedente de los glucósidos cianogénicos. Recientemente, se ha desarrollado un método enzimático (3, 4) para la determinación del cianuro en raíces y productos derivados de yuca, el cual es más rápido, exacto y reproducible que otros métodos analíticos previamente usados.

En vista de las implicaciones nutricionales que el contenido de cianuro puede tener en el uso de las raíces de yuca en la alimentación tanto humana como animal, este trabajo fue realizado para determinar los contenidos de cianuro total y libre en el tejido parenquimatoso y en la cáscara de raíces de diez cultivares o variedades promisorias del Programa de Fitomejoramiento de Yuca del CIAT.

Metodología

Los diez genotipos de yuca usados para este estudio fueron dos variedades locales (Llanera y Valluna), tres de las mejores accesiones de la colección de germoplasma (M Col 22, M Col 1684, M Ven 218), y cinco líneas de híbridos seleccionados (CM-305-38, CM-321-188, CM-323-375, CM-326-407 y CM-342-55).

1 Recibido para publicación el 30 de abril de 1979. Los autores desean expresar su agradecimiento a las siguientes personas: Al Dr. Gastón Mendoza, por su asistencia en los análisis estadísticos, Sra. Trudy M. Brekelbaum, por su ayuda en la edición del manuscrito y a la Sra. Maruja Bejarano, por su colaboración mecanográfica.

* Nutricionista/Bioquímico, Zootecnista, Laboratorista y Fitomejorador, respectivamente, del Programa de Yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. Actualmente los 4 autores pertenecen al mismo Programa en CIAT.

El ensayo de rendimiento con estas variedades se sembró en octubre de 1977 en el CIAT y se cosechó en octubre de 1978. La precipitación total durante la época de ensayo fue 940 mm, con dos épocas de sequía (Dic-Feb y Jun-Ago). La temperatura promedio durante la misma época fue 24°C. El suelo en el CIAT es fértil, caracterizándose por su alto pH (7.4-7.8) y contenido de fósforo (45-55 Bray II ppm), representando un ambiente muy favorable para la producción de yuca (8).

El ensayo tenía dos repeticiones en las cuales las variedades fueron "randomizadas". Cada parcela tenía 30 plantas sembradas a una distancia de 1 m x 1 m. Para los datos de rendimiento no se tuvo en cuenta las plantas de bordes. Se tomaron al azar 6 kg de raíces para determinación de materia seca por gravedad específica; de cinco plantas dentro de cada parcela, se muestrearon dos raíces de cada una para análisis químico, para un total de 10 raíces por cada variedad. Las raíces muestreadas representaban el tamaño promedio del total de raíces de cada planta y fueron lavadas con agua para eliminar la tierra adherida a ellas, antes de ser procesadas para los análisis químicos.

Para el análisis de cianuro se procesaron las raíces de la siguiente manera, antes de una hora luego de haber sido cosechadas: De cada raíz se cortó un disco aproximadamente 2-3 cm de ancho en la parte central de la raíz y se separó la cáscara del parénquima del disco. Se pesaron muestras de cáscara y del parénquima para luego ser homogenizadas siguiendo la técnica descrita por Cooke (3). En 3 de las 10 raíces de cada variedad, tomadas al azar, se determinó el contenido de materia seca en muestras de cáscara y parénquima.

Se analizaron enzimáticamente (3, 4) los contenidos de cianuro total y libre en la cáscara y parénquima de las raíces muestreadas. Todos los análisis de cianuro de cada muestra fueron realizados por duplicado. Se calcularon la relación del contenido de cianuro total y libre entre cáscara y parénquima, así como la proporción del cianuro total presente como cianuro libre. Los coeficientes de variación y los análisis de varianza, completamente al azar, de los parámetros estudiados y la prueba de rangos múltiples de Duncan para cada variedad fueron computarizados.

Resultados y discusión

Los rendimientos de las diez variedades de yuca expresados en base fresca y seca son presentados en el Cuadro 1. Los rendimientos más altos correspondieron a los híbridos CM-321-188 y CM-342-55 con más de 60 TM de raíces frescas/ha/año. Las variedades locales, Llanera y Valluna, fueron las menos productivas con rendimientos de 17.2 y 18.9 TM de raíces frescas/ha/año, respectivamente. El efecto varietal fue altamente significativo en cuanto a rendimiento en peso fresco y contenido de materia seca en las raíces.

El Cuadro 2 presenta los resultados del contenido de cianuro total, libre y de materia seca en las raíces de las diez variedades. La variedad que mostró la más alta concentración de cianuro total (301.2 ppm) en el parénquima fue la M Col 1684, considerada como amarga, y contenía tres veces más que el híbrido CM-323-375, segundo en el rango de contenidos de cianuro total.

Las variedades con los contenidos más bajos de cianuro total en el parénquima fueron la Valluna,

Cuadro 1: Rendimientos de yuca expresados en base fresca y seca.

Variedad	Rendimiento fresco Ton/ha/año	Materia seca, %	Rendimiento seco Ton/ha/año
Llanera (local)	17,2	30,1	5,2
Valluna (local)	18,9	34,1	6,4
MCol 22	37,9	40,8	15,5
MVen 218	34,4	35,1	12,1
MCol 1684	43,3	34,3	14,8
CM-305-38	33,7	37,6	12,7
CM-321-188	67,2	37,5	25,2
CM-323-375	36,3	37,1	13,5
CM-326-407	25,8	40,4	10,4
CM-342-55	61,7	35,7	22,0

Cuadro 2: Contenido de cianuro total y libre y de materia seca en el parénquima de diez variedades de yuca.

Variedad	CN en Parénquima			Coef. de variación en CN		Materia seca*
	Total	Libre	Lib/Tot.	Total	Libre	
	ppm		%	%	%	
Llanera	25,9 ^{e, f**}	1,9 ^{c, d}	7,7	59,8	65,9	35,1
Valluna	18,0 ^f	1,5 ^d	8,2	40,6	40,2	34,6
MCol 22	38,4 ^{d, e}	4,5 ^{c, d}	11,6	22,8	29,6	43,7
MVen 218	47,5 ^{c, d}	4,7 ^{c, d}	10,5	37,6	32,2	39,5
MCol 1684	301,2 ^a	42,7 ^d	14,2	13,9	22,1	36,5
CM-305-38	19,4 ⁱ	2,4 ^{c, d}	13,9	38,9	25,7	40,0
CM-321-188	64,2 ^c	11,3 ^b	17,3	20,0	30,0	43,7
CM-323-375	90,6 ^b	12,9 ^b	14,3	23,8	31,7	40,9
CM-326-407	41,6 ^{d, e}	12,7 ^b	35,2	45,5	41,0	41,7
CM-342-55	39,2 ^{d, e}	5,7 ^c	15,2	38,9	37,6	37,1

* Promedios de 3 raíces/variedad, tomadas al azar del total de las 10 analizadas para cianuro.

** Valores de cada columna con las mismas letras exponenciales no son estadísticamente diferentes ($P > 0,05$).

CM-305-38 y Llanera con niveles entre 18-25 ppm. El contenido de cianuro libre en el parénquima fue en general del orden del 10-15% del cianuro total, con excepción de la variedad CM-326-407 en la cual el cianuro libre representaba 35% del cianuro total. Estos resultados confirman los reportes que indican que normalmente el cianuro presente en la forma de glucósidos cianogénicos, especialmente linamarina, representa el 90% o más del cianuro total en las raíces de yuca (1,10). Los altos coeficientes de variación de los contenidos de cianuro (Cuadro 2), enfatizan el problema de muestreo derivado de la variación entre raíces de una misma o de diferentes plantas del mismo cultivar (5) y de las gradientes radiales y longitudinales en el contenido de cianuro en las raíces de yuca (1). El contenido de materia seca del tejido parenquimatoso osciló dentro de un rango de 34-44%.

El Cuadro 3 presenta los contenidos de cianuro total y libre de cáscaras de las raíces de las 10 variedades de yuca estudiadas. Las variedades M Col 22 y CM-321-188 mostraron los contenidos más elevados 1129.1 y 1086.1 ppm, respectivamente, de cianuro total en la cáscara, que fueron significativamente ($P < 0,05$) superiores al de las otras variedades. La mayoría de las variedades mostraron contenidos de cianuro total en el rango de 400-700 ppm; la variedad Valluna mostró el contenido más bajo de cianuro total (110.3 ppm). El contenido de cianuro libre en la cáscara fue del orden del 7-17% del cianuro total. El rango del contenido de materia seca en las cáscaras de las raíces de yuca fue mucho más amplio (15-34%) que el observado en el tejido parenquimatoso (34-44%) de las mismas raíces.

El contenido de cianuro total o libre, en las cáscaras es varias veces superior a su contenido en el parénquima (1) pero varía en un rango muy amplio entre 1.6-32.8 para el cianuro total y entre 1.3 y 24.2 para el cianuro libre, respectivamente (Cuadro 4). El contenido de cianuro total en el parénquima es el que normalmente determina la clasificación en cuanto a toxicidad de yucas, especialmente para consumo humano, debido a que la cáscara normalmente no se utiliza. En cambio para alimentación animal se utilizan las raíces completas y por tanto el contenido de cianuro en la cáscara debe ser tomado en consideración. Las variedades M Col 1684, CM-323-375, CM-321-188 y M Ven 218 son las de mayor contenido de cianuro total en la parénquima, y con excepción de la M Col 1684 que ocupa el 7° lugar en contenido de cianuro total en cáscara, son también las que mostraron mayores contenidos de cianuro en cáscara. Por otro lado, las variedades Llanera y Valluna son las de más bajos contenidos de cianuro en parénquima como en cáscara.

Aunque no existe una escala establecida para clasificar las raíces de yuca en base a su contenido de cianuro o glucósidos cianogénicos, Coursey (5) ha resumido informes de varias investigaciones y menciona una clasificación tentativa en las tres siguientes categorías: a) inocuas, con menos de 50 ppm de HCN, b) moderadamente tóxicas, entre 50-100 ppm de HCN, y c) tóxicas, con más de 100 ppm de HCN, concentraciones expresadas para raíces frescas sin cáscara, o sea para tejido parenquimatoso. De acuerdo a esta escala, la mayoría de las variedades estudiadas en el presente trabajo se clasificarían como inocuas o bajas

Cuadro 3: Contenido de cianuro total y libre y de materia seca en cáscara de raíces de diez variedades de yuca.

Variedad	CN en cáscara			Coef. de variación en CN		Materia seca*
	Total	Libre	Lib/Tot.	Total	Libre	
	ppm		%	%	%	%
Llanera	494,4 ^{c**}	32,2 ^{d, e}	7,5	37,1	33,8	15,4
Valluna	110,3 ^d	17,8 ^e	17,1	46,4	41,4	27,1
MCol 22	1129,1 ^a	79,2 ^b	7,1	19,5	26,1	26,7
MVen 218	669,1 ^b	82,4 ^b	12,7	21,9	39,3	22,4
MCol 1684	494,6 ^c	51,3 ^{c, d}	10,6	21,3	19,0	34,1
CM-305-38	565,0 ^{b, c}	57,4 ^{b, a}	10,7	19,5	26,1	28,8
CM-321-188	1086,1 ^a	74,5 ^{b, c}	7,2	30,8	43,4	28,0
CM-323-375	710,4 ^b	112,8 ^a	16,3	10,4	36,8	24,7
CM-326-407	631,1 ^{b, c}	80,3 ^b	12,7	19,6	34,2	26,6
CM-342-55	493,2 ^c	65,4 ^{b, c}	13,7	35,3	58,5	25,4

* Promedios de 3 raíces/variedad, tomadas al azar del total de las 10 analizadas para cianuro.

** Valores de cada columna con las mismas letras exponenciales no son estadísticamente diferentes ($P > 0,05$).

(< 50 ppm) e intermedias (50-100 ppm), de acuerdo a su contenido de cianuro. La variedad M Col 1684 contiene niveles de cianuro altos, tres veces mayor que el límite de la categoría considerada como tóxica (6).

En el caso de utilizar las raíces de yuca en alimentación animal, las implicaciones pueden ser algo diferentes especialmente si se usan las raíces frescas picadas. El contenido de cianuro en la cáscara de algunas variedades, tales como la M Col 22 y la

CMC-321-188, es bastante elevado aunque su parénquima posee niveles muy bajos de cianuro; esta concentración se diluye, sin embargo en vista de que la cáscara representa sólo un 10-15% del peso total de la raíz. Animales monogástricos como los cerdos consumen cantidades limitadas de raíces de yuca frescas con contenidos elevados de cianuro, las cuales no les permite cubrir sus requerimientos energéticos de mantenimiento (7). Al procesar las raíces (p. ej. secado y ensilaje) para su uso en la alimentación animal, varían los niveles de cianuro en los productos derivados de yuca y solucionar

Cuadro 4: Relación del contenido de cianuro en cáscara/parénquima y rango de las variedades según su contenido de cianuro total.

Variedad	CN cáscara/parénquima		Rango según CN total	
	Total	Libre	Parénquima	cáscara
Llanera	23,7	23,0	8°	8°
Valluna	6,5	13,6	10°	10°
MCol 22	29,9	18,5	7°	1°
MVen 218	14,8	18,4	4°	4°
MCol 1684	1,6	1,3	1°	7°
CM-305-38	32,8	24,2	9°	6°
CM-321-188	18,1	7,1	3°	2°
CM-323-375	8,2	8,9	2°	3°
CM-326-407	16,9	6,7	5°	5°
CM-342-55	13,0	12,0	6°	9°

los problemas de toxicidad. Las implicaciones de toxicidad por cianuro en alimentación animal usando raciones con niveles altos de yuca han sido consignadas previamente (9).

Datos sobre el contenido de cianuro en las raíces de las 10 variedades de yuca estudiadas en el presente trabajo, procesadas para alimentación animal en la forma de raíces frescas picadas y la producción de harina de yuca por secado al sol y al horno serán publicados posteriormente.

Resumen

Debido a la ausencia de datos sobre el contenido de cianuro y el grado elevado de variabilidad en informes previos sobre este tema, se analizaron las raíces de genotipos promisorios de yuca del Programa de Mejoramiento de Variedades de Yuca del CIAT, para detectar el contenido total y libre de cianuro en el parénquima y la cáscara. Se clasificaron la mayoría de las raíces estudiadas, según su contenido de cianuro total en el parénquima como variedades intermedio (50-100 ppm HCN) y de alto contenido de cianuro (> 100 ppm).

Estos resultados son importantes para fines de alimento animal ya que algunas variedades pueden tener bajos niveles de cianuro en el tejido parenquimatoso pero niveles muy altos en la cáscara, la cual representa entre el 10 y el 15 por ciento del peso total de la raíz.

Literatura Citada

1. BRUIJN, G. H. de. The cyanogenic character of cassava (*Manihot esculenta*). In Nestel, B and R. MacIntyre, ed., Chronic cassava toxicity; proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. International Development Research Centre, Ottawa, IDRC-010e, 43-48.
2. CONN, E. E. Cyanogenic glycosides. *Journal of agricultural and Food Chemistry* 17, 519-526. 1969.
3. COOKE, R. D. An enzymatic assay for the total cyanide content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 29, 345-352. 1978.
4. COOKE, R. D., BLAKE G. G. and BATTERSHILL, J. M. Purification of cassava linamarase. *Phytochemistry* 17:381:383. 1978.
5. COOKE, R. D., HOWLAND, A. K. and HAHN, S. K. Screening cassava for low cyanide using an enzymatic assay. *Experimental Agriculture* 14, 367-372. 1978.
6. COURSEY, D. G. Cassava as food: toxicity and technology. In Nestel, B. and R. MacIntyre, ed., Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. International Development Research Centre, Ottawa, IDRC-010e, 27-36.
7. GOMEZ, G. Life-cycle swine feeding systems with cassava. In Nestel, B. and M. Graham, eds., Cassava as animal feed: proceedings of a workshop held at Guelph, 18-20 April 1977. International Development Research Centre, Ottawa, IDRC-095e, 65-71.
8. KAWANO, K., DAZA, P., AMAYA, A., RIOS, M. and GONCALVES, W. M. F. Evaluation of cassava germplasm for productivity. *Crop Science* 17:377-380. 1978.
9. MANER, J. H. and GOMEZ, G. Implications of cyanide toxicity in animal feeding studies using high cassava rations. In Nestel, B. and MacIntyre, R., ed. Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. International Development Research Centre, Ottawa, IDRC-010e, 113-120.
10. NARTEY, F. *Manihot esculenta* (cassava). Cyanogenesis, ultrastructure and seed germination. Munksgaard, Copenhagen, Denmark, 1978. 262 p.
11. NESTEL, B. L. Current utilization and future potential for cassava. In Nestel, B. and R. MacIntyre, ed. Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. International Development Research Centre, Ottawa, IDRC-010e, 11-26.
12. NESTEL, B. L. and MACINTYRE, R., ed. Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop, London, England, 29-30 January 1973. International Development Research Centre, Ottawa, IDRC-010e, 162 p.

Reseña de Libros

HANKS R. J. y ASHCROFT G. L. *Applied Soil Physics*. New York, Springer Verlag. 1980. 159 p.

Este libro representa el intento de dos experimentados profesores de esta rama por escribir una obra que, en un número mínimo de páginas, presente los conceptos fundamentales de la física del suelo.

El primero de los cinco capítulos se dedica a las cantidades de agua contenidas en el suelo, su medición, cálculo y la interpretación de estos datos. Ilustran con ejemplos simples los diferentes procedimientos de cálculo y contribuyen, con un lenguaje claro, a que el libro sea fácilmente comprendido por aquellos lectores que han recibido un curso básico de suelos. Al final del capítulo, como en cada uno de los demás, se incluye un grupo de ejercicios que permiten al estudiante afirmar su conocimiento al resolverlos.

El segundo capítulo se dedica al potencial de agua en los suelos. De nuevo se ilustran los principios expuestos con ejemplos y ejercicios que facilitan la comprensión del tema. Tanto este capítulo, el más largo del volumen, como los restantes, tienen bibliografías con énfasis en trabajos básicos y de reseña, que permiten con mayor profundidad los diferentes aspectos discutidos en el capítulo.

En el tercer capítulo, el segundo más largo del volumen, se estudia el flujo del agua en los suelos. Aquí, igual que en los capítulos anteriores, la explicación es sencilla y compacta y se presentan las ecuaciones básicas, pero sin excederse en matemáticas avanzadas y derivados, lo que hace el volumen particularmente útil para quienes no son especialistas en altas matemáticas o en alguna rama de ingeniería y disciplinas afines que requieren del uso frecuente y conocimientos en matemáticas avanzadas. Casi cualquier universitario o lector con cierta formación científica elemental podrá estudiar en esta obra los fenómenos del agua en el suelo, que tienen gran importancia por ejemplo en ecología, y que por

desgracia muchos de los estudiosos de esta materia no incluyen en su preparación académica, atemorizados por las matemáticas avanzadas que despliegan muchos volúmenes sobre este tópico.

El cuarto capítulo se refiere a las relaciones suelo-plantas-atmósfera, especialmente desde el punto de vista del balance energético en este sistema. Se analizan las maneras de estimar la evapotranspiración a partir de datos climáticos y del suelo, y se discuten los coeficientes de diferentes cultivos. Se analiza en el capítulo la evapotranspiración de sistemas donde el agua es el factor limitante y las relaciones entre el crecimiento de las plantas y la evapotranspiración. Se propone además un método para estimar la transpiración de los cultivos, y el capítulo termina también con una buena bibliografía e incluye múltiples ejemplos que ayudan a comprender los conceptos presentados.

En el capítulo quinto este libro aborda la temperatura del suelo y el flujo del calor. Para ilustrarlo no menos de la cuarta parte del capítulo se dedica a ejemplos completamente desarrollados que reseñan los principios expuestos. No faltan aquí tampoco las referencias básicas y los ejercicios a ser resueltos.

Al final del volumen se incluye un apéndice con factores de conversión, un índice de ejemplos y un buen índice de materias.

En general, el volumen presenta una buena introducción a la física del suelo para estudiantes de esta rama y para los no especialistas. El contenido es claro, y tan conciso que el suscrito duda que se pudiera haber presentado más información en menos páginas, aún en una forma menos clara. La presentación del libro, sus gráficos e ilustraciones, así como el papel y forros, son de muy buena calidad como acostumbra la bien conocida editorial Springer.

Se recomienda el volumen para toda clase de bibliotecas, estudiantes universitarios y técnicos de organizaciones de investigación donde los no especialistas en este campo buscan información concisa, clara y precisa sobre física del suelo.

ELEMER BORNEMISZA
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA