

CAPÍTULO 4

CONSTITUYENTES QUÍMICOS DE LA CASSAVA, SU CONTENIDO DE CIANURO Y DETOXIFICACIÓN DE ESTE

Data de submissão: 28/10/2024

Data de aceite: 02/12/2024

A.L. Paredes-Doig

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería
Lima, Perú.

E. Doig-Camino

Departamento de Ciencias, Pontificia Universidad Católica del Perú
San Miguel, Lima, Perú.

A. La Rosa-Toro

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería
Lima, Perú.

RESUMEN: Se ha descrito las propiedades y características fundamentales de la Cassava, tanto como su composición química como sus sustancias bioactivas constituyentes como son los glucósidos cianogénicos que poseen. Estos al estar en contacto con la enzima linamarasa producen cianuro de hidrógeno, el cual es tóxico para el ser humano y el medio ambiente. Es por ello, que se presentan en este capítulo los métodos más comunes de detoxificación con el fin de tener un alimento libre de cianuro que llega a millones de personas cada año en su dieta principal. Se observa que hay una mayor concentración

de cianuro en las hojas. Lo que es un resultado importante porque estas no tienen ningún valor monetario y usándolas para la minería artesanal como lixiviante del oro aumenta su precio.

PALABRAS CLAVE: Cassava o Yuca Peruana, Glucósidos cianogénicos, Cianuro, Detoxificación

ABSTRACT: The fundamental properties and characteristics of Cassava have been described, as well as its chemical composition and its constituent bioactive substances such as the cyanogenic glycosides that it possesses. These, when in contact with the enzyme linamarase, produce hydrogen cyanide, which is toxic to humans and the environment. Seeing a higher concentration of cyanide in the leaves. This is an important result because these have no monetary value and using them for artisanal mining as a gold leaching agent increases their price.

KEYWORDS: Cassava or Yuca, Cyanogenic glycosides, Cyanide, Detoxification

INTRODUCCIÓN

La Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) es un alimento que posee muchos fitoconstituyentes. Pertenece a la familia Euphorbiaceae, que tiene más de 7200 especies, y está formado principalmente por células secretoras llamadas lacticíferas. Se estima que más de 250 millones de toneladas de raíces frescas se producen a nivel mundial cada año y llegan a significar el 32% de la producción total de raíces y tubérculos (Howeler et al., 2013; Scaria, S. S et al., 2024)

La raíz de la Yuca se compone de corteza (peridermo), piel (corteza) y parénquima. El parénquima es aproximadamente el 85% del peso total (Wheatley y Chuzel, 1993). Del total de su composición, los porcentajes son los siguientes: entre 60 y 65 por ciento de humedad, entre 20 y 31 por ciento de carbohidratos, entre otros. Las raíces son ricas en calcio y vitamina C y contienen una cantidad nutricionalmente significativa de tiamina, riboflavina y ácido nicotínico. El almidón de Yuca contiene un 70 por ciento de amilopectina y un 20 por ciento de amilosa. La raíz de la cassava no posee mucha proteína, sin embargo, esa proteína contiene aminoácidos esenciales como la metionina, cisteína y la cistina. (Charles et al., 2005).

Las hojas de Yuca ofrecen más proteínas que las raíces (Chijindu y Boateng, 2008; Habib Alhassan, 2017)

CONTENIDO

I) Componentes Bioactivos de la Cassava

La cassava posee glucósidos, hidroxicumarinas, terpenoides, fenólicos, ácidos, flavonoides, carbohidratos, azúcares, esteroides, grasas, ácidos, taninos y vitaminas.

Glucósidos cianogénicos que se encuentran en los tubérculos incluyen la linamarina y loteaustralina (Bayoumi et al., 2010). Glucósidos flavonoides como rutina, apigenina, kaempferol, y nicotiflorina se encuentran en las hojas (Jampa et al., 2022; Prawat et al., 1995). Las hidroxicumarinas son cruciales para la supervivencia de las plantas porque las protegen de enfermedades, estrés oxidativo e inestabilidad hormonal (Bourgaud et al., 2006).

Las plantas son una fuente rica de sustancias bioactivas como terpenoides, flavonoides y ácidos fenólicos. Ellos poseen una variedad de cualidades medicinales, incluidas antibacterianas, antioxidante, analgésico, antipirético, antiartrítico y los antiinflamatorios (Bokanisereme et al., 2013).

Con respecto a sus condiciones de cultivo, la Yuca necesita un poco de calor para cultivarse. El clima debe ser templado (temperaturas diurnas superiores a 20 °C de media) para lograr el máximo crecimiento y producción, así como para una óptima temperatura de las hojas de 25 a 35 °C para la fotosíntesis (EL-Sharkawy, 2003).

La yuca es la tercera fuente de carbohidratos alimentarios en los trópicos, después del arroz y maíz. También es el alimento básico de más de 500 millones de personas en los trópicos, muchas de las cuales son muy pobres (Katz y Weaver, 2003, FAO, 2007). También se ha establecido a través de investigación como uno de los cultivos de tubérculos más perecederos y con una alta pérdida poscosecha (Diasolua et al., 2003).

1997). Por ejemplo, de la yuca, se contiene la farinha, la cual es un alimento que se consume en gran cantidad en Brasil.

Las ventajas de esta es que posee componente de alimentos para animales, un ingrediente crudo para el procesamiento de alimentos, recubrimientos, fuente de bebidas alcohólicas de producción local y fabricación de etanol.

Según investigaciones, las hojas, tallos, y los extractos tienen efectos cicatrizantes, anticancerígenos e hipotensores.

Propiedades (Lehmane et al., 2023).

II) Los Glucósidos Cianogénicos y el cianuro en la cassava

La presencia de glucósidos cianogénicos en la yuca que, cuando se descomponen mediante una reacción enzimática, libera cianuro de hidrógeno, plantea una gran preocupación en la utilización de la yuca como alimento y como materia prima industrial.

El cianuro total en los productos de yuca existe en forma de CG (linamarina y loteaustralina), cianhidrina y ácido cianhídrico libre (HCN).

Hay más de 2650 especies de plantas que contienen glucósidos cianogénicos y además una enzima hidrolítica correspondiente (β -glucosidasa). Cuando la estructura celular se destruye o se ve alterada por un depredador, se descomponen estos glucósidos en un azúcar y un cianhidrina, los cuales derivan rápidamente en cianuro de hidrógeno y un aldehído o una cetona (Haque y Bradbury, 2002). Hay aproximadamente veinticinco (25) glucósidos cianogénicos conocidos con los principales glucósidos cianogénicos que se encuentran en las partes comestibles de las plantas: cassava, almendras, sorgo, mandioca, frutas de hueso y brotes de bambú (OMS, 1993).

El nivel máximo seguro de cianuro total en los alimentos es de 10 ppm.

El cianuro y los compuestos químicamente relacionados que se encuentran en la naturaleza se forman, excretan y degradan por cientos de especies de bacterias, algas, hongos, plantas e insectos (Knowles, 1976, US Fish and Servicio de Vida Silvestre, 1991). Como resultado, pueden aparecer niveles bajos de cianuro en aguas superficiales o subterráneas, que normalmente donde no se esperaría que existieran (Duffey, 1981).

El nivel de cianuro de la yuca varía entre 75 y 350 ppm, pero puede llegar hasta 1.000 ppm o más dependiendo de la variedad, la edad de la planta, las condiciones del suelo, la aplicación de fertilizantes, el clima y otros factores. Los estudios han demostrado que los niveles de glucósidos cianogénicos en las raíces de yuca son generalmente más

bajos que los de las hojas y los tallos. Se ha informado que las raíces de yuca contienen un contenido de cianuro de 10 a 500 mg/kg de materia seca y que las hojas contienen 53 a 1300 equivalentes de cianuro/kg de materia seca. Los cultivos de yuca se clasifican en "amargos" o "dulces" según el nivel de glucósido cianogénico (de ahí el cianuro de hidrógeno). Se han informado valores de 15 a 400 mg de cianuro de hidrógeno por kilogramo de peso fresco de raíces de yuca para las variedades amargas. Las variedades dulces de yuca (bajo contenido de cianuro) normalmente contienen aproximadamente entre 15 y 50 mg de cianuro de hidrógeno/kg de yuca fresca [Gomez et al., 1983; Aregheore et. Al, 1991, Siritunga et al., 2000]

El consumo de residuos de cianuro causa envenenamiento, como causa trastornos neurológicos, parálisis, respiración, hipotensión, taquicardia, dolor de cabeza, dolor de estómago, náuseas, diarrea, mareos, confusión mental y convulsiones [Bradbury et al, 2011; Siritunga, 2004; Kambale et al., 2017]. Además, el consumo continuo de cianuro en dosis bajas provoca efectos como bocio, retraso del crecimiento y enfermedades neurológicas [Indrastuti et al, 2018].

Varios estudios han informado que los métodos de procesamiento, como pelar, secar, moler, remojar, hervir o cocinar, remojar y fermentar, causan una reducción significativa de los glucósidos cianogénicos de los alimentos procesados.

En condiciones neutras, la acetonacianhidrina se descompone en acetona y cianuro de hidrógeno. Aunque los métodos de procesamiento pueden reducir la linamarina y el cianuro en los alimentos, los procesados inadecuadamente harían que los productos de yuca contengan cierta cantidad de linamarina residual y cianuro de hidrógeno. Esto resultaría en la toxicidad potencial de los productos de yuca. (Bokanga et al, 1994, Akintowa y Tunwase, 1992). La cianogénesis se inicia cuando se rompen las barreras físicas entre los sustratos y las enzimas que siguen al daño estructural celular (Poulton, 1990). La toxicidad potencial de la yuca está relacionada con la capacidad de todas las partes de la planta para liberar HCN de los glucósidos cianogénicos almacenados. Esta capacidad se conoce como cianogénesis

(Ermans et al., 1980, Nahrstedt, 1993).

Los cianógenos residuales, linamarina y acetonacianhidrina, son la fuente aparente de cianuro. Toxicidad para animales y humanos, cuando se convierte en cianuro dentro del cuerpo. Para un ser humano adulto, el consumo de 50 a 100 mg o 2 mmol de HCN en 24 horas puede bloquear completamente la respiración celular que conduce a la muerte (Rosling, 1994). El consumo de productos de yuca con altas concentraciones de cianógenos puede provocar enfermedades o incluso la muerte (Tylleskär et al., 1991).

III) Métodos de Detoxificación

Varios estudios han informado que los métodos de procesamiento, como pelar, secar, moler, remojar, hervir o cocinar, remojar y fermentar, causan una reducción significativa de los glucósidos cianogénicos de los alimentos procesados.

En condiciones neutras, la acetonacianhidrina se descompone en acetona y cianuro de hidrógeno. Aunque los métodos de procesamiento pueden reducir la linamarina y el cianuro en los alimentos, los procesados inadecuadamente harían que los productos de yuca contengan cierta cantidad de linamarina residual y cianuro de hidrógeno. Esto resultaría en la toxicidad potencial de los productos de yuca. (Bokanga et al, 1994, Akintowa y Tunwase, 1992). La cianogénesis se inicia cuando se rompen las barreras físicas entre los sustratos y las enzimas que siguen al daño estructural celular (Poulton, 1990). La toxicidad potencial de la yuca está relacionada con la capacidad de todas las partes de la planta para liberar HCN de los glucósidos cianogénicos almacenados. Esta capacidad se conoce como cianogénesis (Ermans et al., 1980, Nahrstedt, 1993).

Los cianógenos residuales, linamarina y acetonacianhidrina, son la fuente aparente de cianuro. Toxicidad para animales y humanos, cuando se convierte en cianuro dentro del cuerpo. Para un ser humano adulto, el consumo de 50 a 100 mg o 2 mmol de HCN en 24 horas puede bloquear completamente la respiración celular que conduce a la muerte (Rosling, 1994). El consumo de productos de yuca con altas concentraciones de cianógenos puede provocar enfermedades o incluso la muerte (Tylleskär et al., 1991).

Investigadores llevaron a cabo la desintoxicación del cianuro mediante el proceso térmico [Latif et al, 2019], la fermentación mediante la utilización de microbios [Cicek et al, 1998], enzimática [Latif et al, 2019] y el uso de equipos como ultrasonido [Latif et al, 2019].

Hay más cianuro presente en la cáscara que en la pulpa (Samson & Akomolafe, 2017).

Alrededor del 50% de los glucósidos cianogénicos de la raíz pueden ser eliminados pelando la raíz.

Para mejorar la superficie y permitir más contacto entre linamarina y linamarasa también como proceso de desintoxicación más rápido, se utiliza el rallado.

Mientras que rallar solo es insuficiente para la desintoxicación, se puede combinar con otras técnicas para acelerar el proceso de fermentación que reduce o evapora el HCN.

El método más sencillo de desintoxicación de las raíces de yuca que contienen 61% de agua en peso, es secarlas.

1. El secado

La eliminación de cianhidrina aumenta con el secado completo al sol. Una posible explicación sería que la deshidratación de las raíces y la pérdida de humedad provocan cambios de pH lo que afecta la estabilidad de la cianohidrina

Durante la alta temperatura al secarse, la carcasa de la muestra se endurece, impidiendo la descomposición del cianógeno.

2. La Fermentación

La ayuda de microorganismos. Estos microorganismos pueden dañar la pared celular, lo que provoca una disminución del cianuro.

La fermentación como método de procesamiento mejora principalmente las propiedades nutricionales a través de biosíntesis de vitaminas, aminoácidos esenciales y proteínas, mejorando la calidad de las proteínas y digestibilidad de la fibra, así como la mejora de la biodisponibilidad de micronutrientes y la degradación de factores antinutricionales (Achinewhu et al., 1998, Motarjemi, 2002). Fermentación de la yuca, ambas aeróbico y anaeróbico, favorece la hidrólisis de la linamarina en HCN. Aunque los detalles de los mecanismos involucrados no están claros (Vasconcelos et al., 1990), la fermentación suaviza la estructura célula de las raíces y favorece el contacto de las enzimas con su sustrato (Essers, 1995). En el caso del tipo de fermentación sumergida, este proceso se combina en gran medida con la lixiviación de cianógeno para desintoxicar las raíces de yuca (Westby y Choo, 1994).

Se ha informado del potencial cianogénico de la yuca después de la fermentación. Más del 50 % y anteriormente se había logrado una reducción del 35 % en los niveles de cianógeno en la producción de garri y harina de yuca fermentada respectivamente (Kemdirim et al., 1995). Iyayi y Dosei, (2000) y Enidiok et al., 2008) también han informado de hasta un 80 % y un 41 % de reducción en los niveles de cianuro respectivamente durante la fermentación. Otros investigadores también han informado diferentes niveles de disminución en el potencial de cianógeno después de la fermentación (Cardoso et al., 2005, Bradbury, 2004, Djoulde et al., 2007, Oyewole y Ogundele, 2001, Zvauya y Muzondo, 1995). Reducción del nivel de cianuro en todos los casos depende de los niveles iniciales de cianuro de la materia prima.

La fermentación por bacterias del ácido láctico es un método de procesamiento comúnmente utilizado en África.

La fermentación de raíces remojadas en agua es mucho más eficaz que la de raíces ralladas en términos de reducción de cianógeno. De hecho, más del 90% de los cianógenos totales se eliminaron después de 3 días de fermentación y aproximadamente un tercio de la linamarina inicial se encontró en el agua. El proceso de eliminación de cianógeno se puede mejorar aumentando los tiempos de remojo y fermentación y pelando y rallando las raíces de yuca entre las etapas de remojo y fermentación.

3. Entre otros métodos de detoxificación

El cianuro de la yuca se desintoxicó pulverizándolo durante 15 minutos y seguido de un proceso de ebullición durante 10-120 minutos [Bradbury et al, 2011]. Otros métodos de desintoxicación de cianuro son el tratamiento térmico, la asistencia enzimática, la asistencia de microorganismos del proceso de fermentación, el uso de productos químicos como el bicarbonato de sodio y herramientas como el ultrasonido [Latif et al, 2019].

A) Enzimático

El cianuro se puede desintoxicar utilizando la enzima. En la investigación realizada por [10], la desintoxicación se llevó a cabo utilizando celulasas, hemicelulasas, xilanases y betaglucanasa.

B) Químico

La adición de bicarbonato de sodio. El bicarbonato de sodio dañó las células vegetales y facilitó el contacto entre las enzimas linamarina y linamarasa. El bicarbonato de sodio también aumentó el pH, lo que resultó en la descomposición espontánea de la cianhidrina acetona. Disminuyó el cianuro en un 93%.

C) Destilación al vapor

Por ejemplo, Meuser y Smolnick (1980) demostraron que la destilación al vapor de pulpa de yuca fresca daba como resultado la eliminación total del cianógeno para un volumen mínimo de destilado de 100 ml (que se supone normalizado a 1 kg). La destilación al vapor de la pulpa fermentada eliminó lentamente los cianógenos. Para un volumen de destilado de 100 ml, sólo se eliminó el 65% de los cianógenos. Se necesitó un volumen de destilado ≥ 550 ml para eliminar aproximadamente el 90 % de los cianógenos. La resistencia de la pulpa fermentada a la eliminación del cianógeno puede explicarse por la estabilidad de la cianhidrina a valores de ph bajos.

D) Últimas Técnicas de Detoxificación

Las industrias de procesamiento de alimentos están aumentando su productividad para satisfacer la demanda global, sin embargo, existen algunos problemas asociados con la calidad e higiene de los alimentos que limitan su progreso. La aplicación del plasma atmosférico no térmico tiene una aplicación importante en la esterilización de superficies en las industrias de procesamiento de alimentos, en el envasado de alimentos, la germinación de semillas, la alteración de las propiedades bioquímicas de los granos y la masa, la destrucción de patógenos.

El llamado plasma se considera una alternativa a otros tratamientos físicos y químicos con varios beneficios, como operar a baja temperatura y requerir menos recursos

como energía, solvente y agua junto con un impacto insignificante o nulo en el producto.

Los plasmas térmicos se operan a una presión muy alta y requieren una gran potencia para producirlo. Se caracteriza por el equilibrio térmico entre los electrones, iones y gases a una temperatura muy alta. Los plasmas no térmicos se producen a menor presión o temperatura atmosférica y relativamente a temperatura ambiente y requieren menos energía para generarlos [Moussa D et al, 2003].

En los últimos 20 años, se han demostrado varias técnicas para generar plasmas no térmicos, como radiofrecuencia (RF), descargas de corona (CD), descargas de barrera dieléctrica (DBD), descargas de arco deslizante (GAD), descargas de brillo uniforme atmosférico, pulverización de plasma, aguja de plasma y chorro de plasma a presión atmosférica (APPJ) [Stepczynska M, 2016]. Descontaminación con microplasmas a través de chorro de plasma, agujas de plasma, lápices de plasma, generador de plasma de microhaz y antorchas de plasma [Pankaj SK et al., 2017].

La interacción de los radicales libres con el sitio activo de las enzimas ha producido cambios estructurales en las enzimas y ha provocado un cambio profundo en la conformación de las enzimas, como podría ser la beta-glucosidasa que se encuentra en la cassava.

Recientemente, Pashkuleva et al. [Pashkuleva I et al, 2009] propusieron el uso de la tecnología de plasma no térmico en la modificación de la superficie del almidón mediante la introducción de oxígeno en forma de grupo hidroxilo, carboxilo y carbonilo con aumento de la hidrofilicidad. En particular, la modificación del almidón se lleva a cabo mediante dos mecanismos: reticulación y despolimerización.

El plasma incandescente puede inducir la polimerización por injerto de etileno en almidones de arroz y batata, y la homopolimerización en almidones de Cassava (yuca), maíz, maíz ceroso y patata [Thirumdas R. et al, 2017].

D. Combinación de varios métodos de procesamiento

Las raíces de yuca secadas al sol generalmente retienen alrededor del 25% al 33% del total de cianógenos.

Además, si las raíces de yuca se remojan antes de secarlas al sol, la eliminación de cianógeno es mayor (97,8% a 98,7%)

De manera similar, triturar y luego secar al sol las raíces de yuca hasta convertirlas en harina permitió una eliminación total de cianógeno del 96% al 99%. Que se obtiene después de secar al sol raíces enteras de yuca, retiene el 33% del cianógeno total. De hecho, triturar las raíces de yuca daña las células de la planta y, por tanto, pone la linamarasa directamente en contacto con la linamarina. Luego, el secado al sol reduce la cianhidrina y el cianuro libre a niveles bajos.

La linamarasa interactúa de manera más eficiente. A 60°C, hay pérdida de HCN del 94,6%, mientras que a 105°C se da una pérdida del 87,1%. Las raíces de yuca secas retienen cianógenos como resultado del aumento de temperaturas porque la linamarasa se

vuelve inactivo a temperaturas superiores a 55°C (Lambri et al., 2013). Una desintoxicación exitosa requiere de 5 a 6 días. Utilizando el proceso de destilación al vapor, Se aisló ácido cianhídrico de las muestras resultantes.

La yuca se puede rallar y pelar antes de la fermentación. Y secar al sol o en un horno a baja temperatura para producir

Un producto final libre de cianógeno (Oke, 1994).

CONCLUSIONES

La Cassava peruana de variedad amarga posee sustancias bioactivas, entre ellas se encuentran los Glucósidos Cianogénicos que al hidrolizarse producen HCN, el cual es venenoso y peligroso para el ser humano y el medio ambiente. Por esta razón se emplean método de detoxificación como los mostrados en el presente Capítulo.

Los desafíos recaen en su mayoría en las técnicas que se puedan implementar para la detoxificación de la Cassava en las zonas marginales, en las que este producto se consume en su mayoría. Es decir, que la población se capacite y logre procesar la cassava de tal manera de que extraiga el cianuro y se quede con el alimento sin riesgo de envenenarse. Además, es necesario mejorar la ciencia y tecnología de extracción de los glucósidos cianogénicos o del cianuro libre. Este cianuro se puede emplear en la minería ecológica, dándole un valor agregado a los residuos agrícolas como son las hojas de la Cassava.

REFERENCIAS

- Achinewhu, S.C., Barber, L.I. and Ijeoma, I.O. (1998). Physicochemical properties and garification (gari yield) of selected cassava cultivars in River States, Nigeria. *Plant Food for Human Nutrition*, 52: 133 – 140
- American Public Health Association. (1992). ALPHA Method 4500-CN Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Aregheore E.M, Agunbiade OO (1991) “The toxic effects of cassava . For reducing toxicity and improving food safety. *Food Chem Toxi-col* 49: 690 -693.
- Balasubramanian, B., Meyyazhagan, A., Gangwar, J., Jaison, J. P., Kurian, J. T., Pushparaj, K., Pappuswamy, M., Park, S., & Joseph, K. S. (2024). Cassava (*Manihot esculenta Crantz*)—A potential source of phytochemicals, food and nutrition—An updated review. *Efood*, 5(1), e127. [Https://doi.org/10.1002/efd2.127](https://doi.org/10.1002/efd2.127)
- Bayoumi, S. A. L., Rowan, M. G., Beeching, J. R., & Blagbrough, I. S. (2010). Constituents and secondary metabolite natural products in fresh and deteriorated cassava roots. *Phytochemistry*, 71(5–6), 598–604. [Https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.10.012](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.10.012)
- Bokanga, M., Ekanayake, I., Dixon, A., Porto, M. (1994). Genotype-environment interactions for Cyanogenic potential in cassava. *Acta Horticulturae*, 375: 131–139.

Bokanisereme, Yusuf, U. F., & Okechukwu, P. N. (2013). Antiinflammatory, analgesic and anti - pyretic activity of cassava leaves extract Anti-inflammatory, analgesic and anti - pyretic activity of cassava leaves extract. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 6, 89.

Bourgaud, F., Hehn, A., Larbat, R., Doerper, S., Gontier, E., Kellner, S., & Matern, U. (2006). Biosynthesis of coumarins in Plants: A major pathway still to be unravelled for cytochrome P450 enzymes. Phytochemistry Reviews, 5(2–3), 293–308. [Https:// doi.org/10.1007/s11101-006-9040-2](https://doi.org/10.1007/s11101-006-9040-2)

Bradbury J H, Cliff J, Denton I C 2011 Uptake of wetting method in Africa to reduce cyanide poisoning and konzo from cassava Food Chem. Toxicol 49 3 539–542

Bradbury, M., Egan, S., Bradbury, J. (1999). Determination of all forms of cyanogens in cassava roots and cassava products using picrate paper kits. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79:593–601.

Brinker, A. M., & Seigler, D. S. (1989). METHODS FOR THE DETECTION AND QUANTITATIVE DETERMINATION OF CYANIDE IN PLANT MATERIALS. *PHYTOCHEMICAL BULLETIN*, 24-31.

Cardoso, A., Mirone, E., Ernest, M., Massza, F., Cliff, J., Haque, R., Bradbury, J. (2005). Modification of nutritional quality of cassava through plant nutrition. Journal of Food Composition and Analysis, 18: 451-461.

Carreón, N. V., Hernández, M. S., & Rodríguez, E. E. (2011). DETERMINACIONES DE CIANURO TOTAL SOBRE MUESTRAS DE EFLuentes DE UNA CÍA. MINERA. *UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO*.

Cicek M, Esen A (1998) Structure and Expression of a Dhurrinase (β -Glucosidase) from Sorghum

CRISON INSTRUMENTS. (2012). *Electrodo selectivo de cianuro. Manual del usuario*. (R. Principal, Ed.)

De-la-pava, R., Gómez-García, M. C., & Albis, A. R. (2023). Gold recovery in aqueous medium by cassava peels (*Manihot esculenta*) modified with citric acid. *Revista EIA*, 1-20.

Diasolua, D., Kuo Y., Lambein, F. (2003). Cassava cyanogens and free amino acids in raw and cooked leaves. Food and Chemical Toxicology, 41:1193–1197.

Enidiok, S.E., Attah, L.E. and Otuechere, C.A. (2008). Evaluation of moisture, total cyanide and fiber contents of Garri produced from cassava (*Manihot utilissima*) varieties obtained from Awassa in Southern Ethiopia. Pakistan Journal of Nutrition, 7:625 – 629.

EL-Sharkawy, M. A. (2003). Cassava biology and physiology. Plant Molecular Biology, 53(5), 621–641. [Https://doi.org/10.1023/B:PLAN.0000019109.01740.c6](https://doi.org/10.1023/B:PLAN.0000019109.01740.c6)

Ermans, M., Mbulamoko, M., Delange, F., Ahluwalia, R. (1980). Role of cassava in the etiology of endemic goitre and cretinism. Ottawa, Ontario, International Development Research Centre, 182

Essers, A.J.A. (1995). Removal of cyanogens from cassava roots: studies on domestic sun-drying and solid substrate fermentation in rural Africa. Phd thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Fomunyam RT, Adegbola AA, Oke OL (1984) Hydrolysis of linamarin by intestinal bacteria. Canadian Journal of Microbiology 1530-3330.

Habib alhassan. Determination of cyanogenic glycosides in roots of cassava plant and some cassava products. Thesis, 2017.

HANNA instruments. (s.f.). Electrodo combinado de cianuro HI 4109 y HI 4009. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahukewia4afq8jifaxwrzuchxp1bi0qfnoecbaqaq&url=https%3A%2F%2Fcdn.hannacolombia.com%2Fhannacdn%2Fsupport%2Fmanual%2F2020%2F10%2FH1_4109_Manual_Espanol.pdf&usg=aovvaw2l4oadhgps3y5-1Eeb7l4g&

Haque, M., Bradbury, J. (2002). Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis methods. Food Chemistry, 77(1): 107-114.

Howeler, R., Lutaladio, N., & Thomas, G. (2013). Save and grow: Cassava: A guide to sustainable production intensification. Food and Agriculture Organization of the United States of America.

Indrastuti Y E, Estiasih T, Christanti R A, Pulungan M H, Zubaedah E, Harijono (2018) Microbial and some chemical constituent changes of high cyanide cassava during simulant spontaneous submerged and solid-state fermentation of "gadungan pohung" Int. Food Res. J 25 2: 487-98

Gomez G, Valdivieso M (1983) The effect of variety and plant age on cyanide content, chemical composition and quality of cassava roots. Nutrition Reports International 27: 857-865.

Gomez, g., cuesta, d. D., valdivieso, m., & kawano, k. (1980). Contenido de cianuro total y Libre en parénquima y cáscara de raíces de diez variedades promisorias de Yuca. *Turrialba*, 361-365.

Iyayi, E.A. and Losel, D.M. (2000). Cyanide detoxification in cassava by-products by fungal solid state fermentation. The Journal of Food Technology in Africa, 5:48 – 51

Jampa, M., Sutthanut, K., Weerapreeyakul, N., Tukumdee, W., Wattanathorn, J., & Muchimapura, S. (2022). Multiple bioactivities Of Manihot esculenta leaves: UV filter, anti-oxidation, anti-melanogenesis, collagen synthesis enhancement, and anti-adipogenesis. Molecules, 27(5), 1556. <Https://doi.org/10.3390/molecules27051556>

Kambale K J, Ali E R, Sadiki N H, Kayembe K P, Mvumbi L G, Yandju D L, Boivin M J, Boss G R, Stadler D D, Lambert W E, Lasarev M R, Okitundu L A, Ngoyi D M, Banea J P, tshalakatumbay D D (2017) Lower sulfurtransferase detoxification rates of cyanide in konzo— A tropical spastic paralysis linked to cassava cyanogenic poisoning Neurotoxicology 59 256–62

Katz, S.H., Weaver, W.W. (2003). Encyclopedia of Food and Culture. New York: Schribner, New York, NY USA.

Kemdirim, O.C., Chukwu, O.A. and Achinewhu, S.C. (1995). Effect of traditional processing of cassava on the cyanide content of gari and cassava flour. Plant food for Human Nutrition, 48:335 – 339.

Knowles, C. (1976). 'Micro-organisms and Cyanide', Biological Reviews, (40):652-680

Koç, E., Ahlatci, F., Celep, O., Yazici, E. Y., & Deveci, H. (2014). INTERFERENCE OF METALS WITH THE DETERMINATION OF FREE CYANIDE. *Hydromet B&PM Group*, 1027-1033.

Lambri, M., Fumi, M. D., Roda, A., & De Faveri, D. M. (2013). Improved processing methods to reduce the total cyanide content of cassava roots from Burundi, 12(19), 2685–2691.

Latif S, Zimmermann S, Barati Z, Müller J (2019) Detoxification of cassava leaves by thermal, sodium bicarbonate, enzymatic, and ultrasonic treatments. *J. Food Sci.* 84: 1986-1991

Lehmane, H., Kohonou, A. N., Tchogou, A. P., Ba, R., Dah Nouvlessounon, D., Didagbé, O., Sina, H., Senou, M., Adjanoohoun, A., & Baba-Moussa, L. (2023). Antioxidant, antiinflammatory, and anti-cancer properties of amygdalin extracted from three cassava varieties cultivated in Benin. *Molecules*, 28(11), 4548. [Https://doi.org/10.3390/molecules28114548](https://doi.org/10.3390/molecules28114548)

Meeussen, o. C., Keizer, M. G., & Lukassen, W. D. (1992). Determination of Total and Free Cyanide in Water After Distillation. *ANALYST*.

Moussa D, Brisset J-L: Disposal of spent tributylphosphate by gliding arc plasma. *J Hazard Mater* 2003, 102:189-200.

Nahrstedt, A. (1993). Cyanogenesis and food plants. In: van Beek, T.A., Breteler, H., eds. *Proceedings of the International Symposium on Phytochemistry and Agriculture*, 22–24 April 1992, Wageningen. Oxford, Oxford University Press, 107–129

Nava-Alonso, Elorza-Rodríguez, Uribe-Salas, & Pérez-Garibay. (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: revisión de los principales métodos. *REVISTA DE METALURGIA*.

Ndubuisi, N. D. (2018). Cyanide in Cassava: A Review. *International Journal of Genomics and Data Mining*.

OMEGA. (1992). Operators Manual: Cyanide Ion Selective Electrodes. USA.

Oke, O. L. (1994). Eliminating cyanogens from cassava through processing: Technology and tradition. *Acta Horticulturae*, 375, 163–174. [Https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.375.14](https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.375.14)

Pankaj SK, Keener KM: Cold plasma: background, applications and current trends. *Curr Opin Food Sci* 2017, 16:49-52.

Pashkuleva I, Marques AP, Vaz F, Reis RL: Surface modification of starch based biomaterials by oxygen plasma or UV-irradiation. *J Mater Sci: Mater Med* 2009, 21:21-

Poulton, J. (1990). Cyanogenesis in plants. *Plant Physiology*, (94): 401-405.

Rodríguez, E. T., Álvarez, Y. A., Espinosa, R. H., & ramosescalona, M. (2022). Determinación de cianuro en harina y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) de la variedad censa 64-7329. *Revista Cubana de Química*, 462-476.

Rojas, i. M. (2023). Evaluación del cianuro total de hojas de yuca (*manihot esculenta*) y propuesta de métodos de eliminación en diferentes variedades de colombia2023.

Rosling, H. (1994). Measuring effects in humans of dietary cyanide exposure from cassava. *Acta Horticulturae*, 375: 271-284.

Samson, S. O., & Akomolafe, O. M. (2017). Fermentation: A means of treating and improving the nutrition content of cassava (*Manihot Esculenta C.*) Peels and reducing its cyanide content. *Genomics and Applied Biology*, 8(3), 17–25.

Scaria, S. S., Balasubramanian, B., Meyyazhagan, A., Gangwar, J., Jaison, J. P., Kurian, J. T., Pushparaj, K., Pappuswamy, M., Park, S., & Joseph, K. S. (2024). Cassava (*Manihot esculenta* Crantz)—A potential Source of phytochemicals, food and nutrition—An updated review. *Efood*, 5(1), e127. [Https://doi.org/10.1002/efd2.127](https://doi.org/10.1002/efd2.127)

Siritunga D, Sayre R 2004 Engineering cyanogen synthesis and turnover in cassava (*Manihot esculenta*) *Plant Mol. Biol.* 56 661–9

Thirumdas R, Trimukhe A, Deshmukh R, Annapure U: Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch. *Carbohydr Polym* 2017, 157:1723-1731.

Tylleskär, T., Banea, M., Bikangi, N., Fresco, L., Persson, L.A., Rosling, H. (1991) Epidemiological evidence from Zaire for a dietary etiology of konzo, an upper motor neuron disease. *Bull World Health Organ*, 69: 581–589.

Vasconcelos, A.T., Twiddy, D.R., Westby, A. And Reilly, P.J.A. (1990). Detoxification of cassava during gari preparation. *International Journal of Food Science and Technology*, 25:198– 203

Westby, A. And Choo, B.K. (1994). Cyanogen reduction during the lactic fermentation of cassava. *Acta Horticulturae*, 373: 209 – 215.

Wheatley, C.C. and Chuzel, G. (1993). Cassava: the nature of the tuber and use as raw material. In: Macrae, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J. (Eds). *Encyclopedia of food science, food technology and Nutrition*. Academic Press, San Diego, California, 734 – 743.