Hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz): un estudio exploratorio proporciona indicios de su potencial como fuente de proteína vegetal para consumo humano

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves: an exploratory study provides indications of their potential as a source of vegetable protein for human consumption.

Folhas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): um estudo exploratório fornece indicações sobre o seu potencial como fonte de proteína vegetal para consumo humano.

Priscilla Alvarado-Marenco

Docente e Investigadora Universidad Técnica Nacional, Costa Rica

Contacto: palvarado@utn.ac.cr

ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2855-9353

Resumen:

El crecimiento acelerado de la población demanda una mayor producción de alimentos. Las proteínas son nutrientes esenciales que tradicionalmente se han obtenido de fuentes animales, sin embargo, las personas consumidoras buscan alternativas más nutritivas y sostenibles para satisfacer sus necesidades. Se realizó una investigación exploratoria para evaluar el potencial de hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad Valencia como fuente de proteína vegetal para consumo humano. Las hojas previamente lavadas y desinfectadas se cortaron de forma manual y se sometieron a secado con aire caliente a tres temperaturas (45, 62 y 75 °C), luego del secado, se molieron y almacenaron en bolsas laminadas

CC BY NC SA

de alta barrera hasta su análisis. Los resultados preliminares obtenidos indican que los procesos de secado pueden disminuir el contenido de ácido cianhídrico de las hojas a niveles seguros. En cuanto a la proteína, su contenido fue de 14,1 % (base seca), y se encontraron presentes los nueve aminoácidos esenciales. Este estudio exploratorio arroja evidencia preliminar que proporciona una base para continuar estudiando la proteína presente en las hojas de yuca, por lo que profundizar en la estandarización del proceso de secado, validar el contenido final de HCN y evaluar su funcionalidad y posibles mezclas con otros alimentos de origen vegetal puede convertir las hojas de yuca en una materia prima prometedora, no solo desde el punto de vista funcional y nutricional, sino también por el valor agregado que el aprovechamiento del subproducto pueda generar a los productores costarricenses.

Abstract:

Accelerated population growth demands increased food production. Proteins are essential nutrients that have traditionally been obtained from animal sources; however, consumers are looking for more nutritious and sustainable alternatives to meet their needs. Exploratory research was conducted to evaluate the potential of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) Valencia variety, as a source of vegetable protein for human consumption. The previously washed and disinfected leaves were manually cut and subjected to hot air drying at three temperatures (45, 62 and 75 °C). After drying, they were ground and stored in high barrier laminated bags until analysis. Preliminary results obtained indicate that drying processes can decrease the hydrocyanic acid content of leaves to safe levels. As for protein, its content was 14.1 % (dry basis), and all nine essential amino acids were present. This exploratory study yields preliminary evidence that provides a basis for further study of the protein present in cassava leaves, so that further standardization of the drying process, validation of the final HCN content and evaluation of its functionality and possible mixtures with other plant-based foods can make cassava leaves a promising raw material, not only from a functional and nutritional point of view, but also for the added value that the use of the by-product can generate for Costa Rican producers.

CC BY NC SA

Resumo:

O rápido crescimento da população exige um aumento da produção alimentar. As proteínas são nutrientes essenciais que têm sido tradicionalmente obtidos a partir de fontes animais, no entanto, os consumidores estão à procura de alternativas mais nutritivas e sustentáveis para satisfazer as suas necessidades. Foi realizada uma pesquisa exploratória para avaliar o potencial das folhas de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) variedade Valência, como fonte de proteína vegetal para consumo humano. As folhas, previamente lavadas e desinfetadas, foram cortadas manualmente e submetidas à secagem ao ar quente em três temperaturas (45, 62 e 75 °C). Após a secagem, foram moídas e armazenadas em sacos laminados de alta barreira até a análise. Os resultados preliminares obtidos indicam que os processos de secagem podem diminuir o teor de ácido cianídrico das folhas para níveis seguros. O teor de proteínas foi de 14,1 % (base seca), e todos os nove aminoácidos essenciais estavam presentes. Este estudo exploratório fornece provas preliminares que constituem uma base para um estudo mais aprofundado das proteínas presentes nas folhas de mandioca, de modo a que uma maior normalização do processo de secagem, a validação do teor final de HCN e a avaliação da sua funcionalidade e possíveis misturas com outros alimentos à base de plantas possam fazer das folhas de mandioca uma matéria-prima promissora, não só do ponto de vista funcional e nutricional, más também pelo valor acrescentado que a utilização do subproduto pode gerar para os produtores da Costa Rica.

Palabras clave:

Manihot esculenta Crantz, proteína alternativa, ácido cianhídrico, sostenibilidad, hojas de yuca.

Manihot esculenta Crantz, alternative protein, hydrocyanic acid, sustainability, cassava leaves.

Manihot esculenta Crantz, proteína alternativa, ácido cianídrico, sustentabilidade, folhas de mandioca.

CC BY NC SA

Agradecimientos.

Se agradece la colaboración de Ana Cristina Araya Montenegro, Yeslin Magdalena Cubillo Solís, Raúl González Rodríguez, Estrella Fabiola Mesén Navarro y Arlyn Montero Cerdas, quienes, como parte de los requisitos para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería en Tecnología de Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica Nacional, participaron en el seminario "Evaluación exploratoria del aprovechamiento de las hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para la obtención de proteína vegetal".

Justificación:

El crecimiento esperado en la población requerirá un aumento considerable en la necesidad mundial de producción de alimentos, y, según la Oficina de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la demanda de proteínas de origen animal, uno de los macronutrientes más importantes, cuya cadena productiva tiene un alto impacto ambiental, se duplicará para el año 2050 (Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER], 2019).

Tradicionalmente se ha considerado que estas proteínas son las únicas nutricionalmente completas, ya que contienen, en cantidades suficientes, los nueve aminoácidos esenciales, es decir, aquellos indispensables para los procesos metabólicos y que el cuerpo humano no puede sintetizar; sin embargo, la industria de productos de origen animal se ha venido cuestionando por varias razones, entre ellas los efectos nocivos asociados con enfermedades no transmisibles que el consumo excesivo de carne ocasiona a la salud, el bienestar animal, y sus prácticas de producción poco sostenibles (Quesada y Gómez, 2019; Santillán *et al*., 2019).

Con respecto a la sostenibilidad, según un informe publicado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) *et al*. (2022), se prevé que el costo social de los hábitos alimenticios actuales y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), superará los 1,7 billones de USD al año para 2030. Este informe menciona además que, según estimaciones, la adopción de dietas saludables con alimentos producidos de manera sostenible, podría reducir el costo de las emisiones de GEI en al menos un 41%, con el consiguiente beneficio para el ambiente.

Si bien una sola fuente de proteína vegetal resulta insuficiente para sustituir a las proteínas de origen animal, se ha demostrado que, al realizar combinaciones de distintos granos, semillas y cereales, se puede obtener un patrón de proteína completa. Por ejemplo, en un estudio realizado por Santillán (2018) el autor concluyó que "se pueden emplear mezclas de

CC BY NC SA

cereales y legumbres para la alimentación infantil en las proporciones que aseguren la mejor calidad aminoacídica y biológica, con miras a disminuir los elevados índices de desnutrición infantil" (p. 370).

Por lo anterior, la búsqueda de proteínas vegetales alternativas de fuentes locales puede representar un tema interesante para ser abordado desde la investigación exploratoria; tal es el caso del aprovechamiento de las hojas de yuca, residuo no valorizado de la producción de la raíz, cuyo cultivo, industrialización y consumo fue declarado en el año 2021 de interés público por el Gobierno de la República (Presidencia de la República de Costa Rica, 2021).

En el año 2021, la producción mundial de raíz de yuca fue de 315 millones de toneladas, de las cuales, un 65% se sembró en África; en cuanto a su consumo, debido a su alto contenido de almidón, constituye la cuarta fuente más importante de calorías para la población humana, por lo que se considera uno los pilares de la seguridad alimentaria, sobre todo en países pobres, sin embargo, pese al importante aporte energético, no posee atributos nutricionales adecuados para una dieta balanceada (Díaz y López, 2020; Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo [CIRAD], 2023) .

A nivel mundial, la yuca se considera un cultivo familiar con niveles muy bajos de insumos (CIRAD, 2023); en Costa Rica es sembrada principalmente por pequeños y medianos productores en zonas rurales, mayoritariamente en las regiones Huetar Norte, Huetar Atlántica y Brunca (Aguilar *et al*., 2017). En el año 2022, un 79,7 % de la venta de yuca se realizó al por mayor (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2023), como una materia prima genérica para su posterior industrialización, por lo que la búsqueda de alternativas que agreguen valor a las cosechas puede tener un impacto positivo en la mejora de la calidad de vida de estas poblaciones.

Se ha reportado que la raíz de la yuca tiene un contenido de proteína relativamente bajo, de alrededor de 3,67 % (López *et al*., 2019); sin embargo, hay estudios que mencionan que el contenido proteico de las hojas frescas es de 12 - 38 % (Latif & Müller, 2015; Gómez *et al*., 2016; Aguilar *et al*., 2017; Abrafi, 2021). Un estudio realizado por Ospina (2017) utilizando 112 genotipos de yuca, reveló que las hojas contienen aminoácidos como: valina, leucina, fenilalanina y lisina, y, bajos niveles de metionina e isoleucina; el estudio evidenció, además, que las hojas son fuente importante de carotenos (moléculas precursoras de vitamina A), otras vitaminas y minerales; por su parte, Bradbury y Denton (2014), señalan que son deficientes en los aminoácidos metionina y cisteína.

CC BY NC SA

Pese al alto nivel de proteína presente en las hojas, en Costa Rica y otros países de Latinoamérica, su consumo es prácticamente inexistente, debido principalmente al desconocimiento de sus cualidades nutricionales y a la presencia de ácido cianhídrico (HCN), compuesto tóxico para las personas (Díaz y López, 2021). Sin embargo, países africanos como Mozambique, Sierra Leona y Senegal, consumen las hojas como fuente proteica que complementa el contenido calórico que proporciona el consumo de la raíz, ya que se ha demostrado que los glucósidos cianogénicos presentes se pueden eliminar con aplicación de calor y otras operaciones unitarias menos drásticas, tales como machacar, moler, picar, secar al sol y lavar con agua, las cuales no solamente reducen el contenido de HCN a valores seguros, sino que permiten mantener el contenido de vitaminas de las hojas (Bradbury & Denton, 2014).

Por su parte, la disponibilidad de las hojas como materia prima, también es prometedora; en el año 2022 el área sembrada de yuca en Costa Rica fue de 7.084,4 ha (INEC, 2023), y, diversos estudios indican que se pueden obtener entre 1,7 - 4,6 toneladas de hojas de yuca por hectárea (Díaz y López, 2021; Abrafi, 2021), lo cual arroja una cifra cercana a la generación de 220 millones de toneladas de hojas/año.

Por todo lo anterior, se consideró interesante y pertinente evaluar, de manera exploratoria, la viabilidad técnica de utilizar las hojas de yuca como fuente de proteína vegetal para consumo humano. Además de sentar las bases para profundizar en la investigación de este tema en el futuro, esta primera fase exploratoria dio lugar a la realización de un seminario que permitió que cinco personas estudiantes de la carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos de la Universidad Técnica Nacional realizaran su trabajo final de graduación.

Metodología:

Se planteó un abordaje exploratorio-experimental, el cual permitió un acercamiento inicial para recopilar información acerca de la utilización actual de las hojas de yuca, las variedades sembradas en la zona, así como su contenido de plaguicidas, HCN, composición química proximal e identificación de los aminoácidos presentes.

Con el fin de conocer información relacionada con el cultivo y variedad de yuca sembrada, así como el interés en realizar estudios de investigación con las hojas, se desarrolló un formulario que fue respondido por 18

CC BY NC SA

personas productoras. Además, se realizó una visita de campo a dos fincas ubicadas en la Región Huetar Atlántica.

Se utilizaron hojas de yuca variedad Valencia con edad fisiológica entre 7 – 9 meses, con máximo 5 días de cosechadas, las cuales se lavaron con agua potable y luego se desinfectaron con una disolución de hipoclorito de sodio (NaClO) a 20 ppm. Posteriormente, las hojas se cortaron manualmente y se sometieron a un proceso de secado por circulación continua de aire caliente a distintas temperaturas (45, 62 y 75 °C), hasta alcanzar una humedad final entre 5 – 9 %. Una vez secas, las hojas se molieron finamente en un procesador de alimentos comercial, se empacaron en bolsas laminadas de alta barrera y se almacenaron a temperatura ambiente en un lugar seco hasta su análisis.

Los análisis de residuos de plaguicidas, identificación de aminoácidos presentes y análisis proximal se realizaron mediante prestación de servicios en diferentes laboratorios externos a la Universidad Técnica Nacional. El análisis de residuos de plaguicidas se realizó a un lote de hojas frescas, tres días después de su cosecha, en el laboratorio Suplilab mediante cromatografía de gases/espectrometría de masas, ensayo acreditado INTE-ISO/IEC 17025:2017 (Comunicación personal, 11 de noviembre 2022). La identificación de aminoácidos se realizó en el laboratorio del Centro Nacional de Investigaciones Biotecnológicas (CENIBIOT) a partir de una hidrólisis ácida y posterior análisis por cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas (Comunicación personal, 18 de noviembre 2022). El análisis proximal se realizó mediante métodos acreditados en el laboratorio de química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), según se detalla: ceniza (923.03 AOAC, P-SA-MQ-004), grasa cruda (11.0 ASTA, Official Analytical Methods, P-SA-MQ-005), humedad (2.1 ASTA, Official Analytical Methods, P-SA-MQ-002), proteína (920.152 AOAC modificado, P-SA-MQ-003), fibra soluble (993.19 AOAC) y fibra insoluble (991.42 AOAC) (Comunicación personal, 10 de julio 2023). Tanto el análisis proximal como el perfil de aminoácidos se realizaron a muestras de un lote de hojas secadas a 75 °C, que fue el tratamiento más drástico.

El análisis de HCN se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), adscrito al Ministerio de Agricultura y Ganadería, gracias a una colaboración inter-institucional. Este laboratorio, ubicado en Ochomogo, Cartago, tiene implementado el método para análisis de HCN en la raíz de yuca y algunos forrajes, pero no está implementado para la matriz de hojas de yuca. La determinación cuantitativa se realizó por

CC BY NC SA

triplicado a tres lotes de hojas secadas a las distintas temperaturas (45, 62 y 75 °C), mediante espectrometría UV-Vis, de acuerdo con el método descrito por Bradbury *et al*. (1994) con modificaciones.

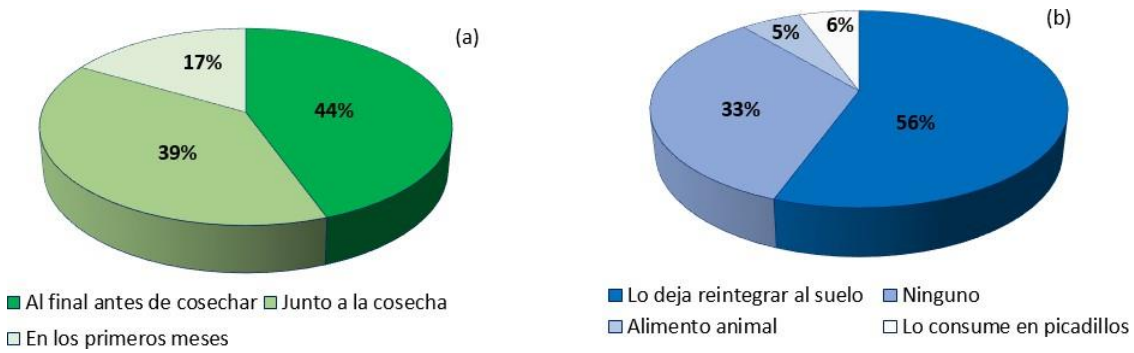
Resultados:

Manejo de hojas de yuca en la Región Huetar Atlántica:

Un 89 % de las personas productoras que llenaron el formulario indicaron estar interesadas en la búsqueda de alternativas para agregar valor a sus cosechas, así como su disposición para colaborar con el suministro de materia prima para la investigación. Además, un 72 % de las personas indicaron sembrar exclusivamente variedad Valencia, que, según Aguilar (2017) es de las variedades más sembradas en Costa Rica. En la figura 1 se muestran los tiempos de corte de las hojas, así como los usos que se le da actualmente a este follaje; como se puede apreciar, la mayoría de las personas productoras corta las hojas muy cerca o en el momento de la cosecha de la raíz (figura 1a) y no utilizan las hojas para ningún uso posterior a la corta o dejan que se reintegren al suelo (figura 1b).

Figura 1

Tiempos de corte y usos de las hojas de yuca. Elaboración propia con base en encuesta llenada por 18 personas productoras de la Región Huetar Atlántica.



Fuente: elaboración propia con base en resultados de encuesta a 18 personas productoras.

Rendimiento de harina de yuca (hojas deshidratadas) obtenida por secado con circulación continua de aire caliente:

El rendimiento de secado de las hojas estuvo entre 9,3 – 10,1 % (según la temperatura de secado de 75 - 45 °C respectivamente). Este es un

CC BY NC SA

rendimiento relativamente bajo que se ve influido por el alto contenido de humedad de las hojas (69,3 %) y por la humedad final a la que se llevó el producto deshidratado, la cual estuvo entre 5 – 9 %.

Aunque no existe legislación específica para hojas de yuca deshidratadas, la norma para la harina de yuca comestible (CXS 176-1989, enmendada en el año 2019), indica que el contenido de humedad máximo recomendado es 13,0 % m/m (Codex Alimentarius, 2019b), contenido mayor que el obtenido en esta investigación exploratoria. Cumplir con esta humedad máxima de referencia permitirá tener un mayor rendimiento del proceso, aumentando la viabilidad comercial del residuo valorizado; por lo tanto, es necesario realizar más ensayos y pruebas en planta para estandarizar los parámetros de tiempo y temperatura del proceso de secado, así como establecer la humedad final requerida para la conservación de las hojas, en función de disminuir las mermas de secado.

Contenido de ácido cianhídrico en las hojas de yuca:

Con el fin de reducir el contenido de ácido cianhídrico, las muestras de hojas de yuca se sometieron a tres diferentes temperaturas de secado, a saber: 45, 62 y 75 °C. El secado se considera una operación de aplicación de calor que permite reducir el contenido de HCN en las hojas (Giraldo *et al*., 2008; Abrafi, 2021), ya que el calor permite la acción de la enzima linamarasa que cataliza su descomposición hidrolítica (Díaz & López, 2021). A su vez, al reducirse el contenido de humedad, se puede obtener una materia prima microbiológicamente estable durante el almacenamiento.

Durante esta investigación exploratoria se presentaron algunos retos relacionados con el análisis de HCN. Inicialmente, en la primera corrida, las muestras no desarrollaron el color necesario para obtener la concentración de HCN en el equipo de espectrometría UV-Vis. Al revisar el procedimiento y reactivos utilizados, se determinó que el Trihidrato de Cloramina T, reactivo que permite la generación de color, tuvo un proceso previo de degradación, lo cual pudo haber influido en el resultado.

La tabla 1 muestra los resultados de la segunda y tercera corridas de análisis de HCN. Para la segunda corrida, pese a que se obtuvo una curva de calibración con un factor de correlación (R^2) de 0,9999, los datos mostraron inconsistencias en cuanto a la variabilidad de las repeticiones analíticas; para la tercera corrida, en general, los datos arrojaron que el contenido de HCN no es detectable.

CC BY NC SA

Tabla 1

Contenido de ácido cianhídrico (HCN) en muestras de hojas de yuca variedad Valencia.

Muestra	Contenido HCN, mg/kg (n=3), corrida 2	Contenido HCN, mg/kg (n=3), corrida 3
Hojas frescas	23,20 ± 1,90	No detectable
Hojas secadas a 45 °C	37,44 ± 15,10	No detectable
Hojas secadas a 62 °C	38,71 ± 10,15	1,67 (1)
Hojas secadas a 75 °C	115,69 ± 11,20	No detectable

(1) Dos de las tres muestras reportaron valores no detectables

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de análisis del Laboratorio

Como se aprecia en la tabla 1, los resultados de la segunda corrida muestran un comportamiento no esperado, ya que se contradicen con lo descrito en distintos estudios. Por ejemplo, Abrafi (2021) encontró que el contenido de HCN en las hojas frescas está entre 53 - 1300 mg/kg, siendo esta la razón por la cual no se consumen sin tratamiento. Por su parte, Ospina (2017) reportó, con base en el análisis de 112 genotipos de yuca, contenidos entre 538 y 6181 mg/kg de hoja fresca. Además, se observa un comportamiento directamente proporcional entre la temperatura de secado y el contenido de HCN (a mayor temperatura, mayor contenido), esperándose un resultado contrario, debido a que la aplicación del calor y los tratamientos previos de preparación de la muestra debieron provocar la reducción del contenido inicial de HCN en las hojas frescas.

En la tercera corrida se aplicaron algunas mejoras en la ejecución del análisis y solo la muestra secada a 62 °C arrojó un resultado numérico, 1,67 mg/kg, inferior al nivel máximo permitido de 10 mg/kg en harina de yuca, utilizado como referencia (Codex Alimentarius, 2019a)

Siendo que el contenido de HCN es el principal marcador tecnológico para establecer preliminarmente la viabilidad de consumo de las hojas de yuca, es importante explicar algunos aspectos clave de la cuantificación realizada:

- Previamente al desarrollo de esta investigación, no se había realizado análisis de contenido de HCN en las hojas de yuca, por lo que el método utilizado no está desarrollado para esa matriz.

CC BY NC SA

- En la segunda corrida, la preparación de la muestra para la extracción del HCN se vio afectada por un tiempo de espera considerablemente mayor al indicado por el método.
- Debido a que no se cuenta con la experiencia de una curva de aprendizaje, la falta de destreza en la aplicación del método puede haber involucrado errores humanos involuntarios.
- Para la tercera corrida, pese a no haberse obtenido datos números representativos, la ausencia de HCN es congruente con lo reportado por otros autores acerca de la efectividad de distintos tratamientos en la disminución de los glucósidos cianogénicos (Giraldo, 2006; Castro *et al*., 2021; Murgueitio-Adum *et al*., 2022).

Por tanto, los resultados obtenidos preliminarmente indican que la aplicación de calor mediante secado por circulación continua de aire caliente a 40 °C podría reducir el contenido de HCN presente en las hojas frescas, por lo que se considera importante continuar realizando estudios más profundos, que incluyan el establecimiento de un método analítico estandarizado y confiable para validar estadísticamente si los tratamientos previos aplicados durante la preparación de las hojas, así como el secado por circulación continua de aire caliente a diferentes temperaturas, permiten obtener una harina de hojas de yuca con contenido de HCN menor a 10 mg/kg, considerado apto para consumo humano (Codex Alimentarius, 2019a).

Contenido de proteína y presencia de aminoácidos de las hojas de yuca deshidratadas:

Preliminarmente, los análisis realizados indican que la harina de hojas de yuca tiene un 14,1 % de proteína (base seca); este contenido de proteína se encuentra en la parte baja del rango reportado por distintos autores (Latif & Müller, 2015; Gómez *et al*., 2016; Aguilar *et al*., 2017; Abrafi, 2021). Además, se determinó que en la proteína están presentes todos los aminoácidos esenciales (histidina, leucina, valina, metionina, lisina, treonina, fenilalanina, isoleucina, triptófano). Estos resultados proporcionan una base interesante para continuar estudiando la proteína presente en las hojas de yuca, por lo que cuantificar los aminoácidos y evaluar su funcionalidad y posibles mezclas con otros alimentos de origen vegetal puede convertirla en una materia prima prometedora, no solo desde el punto de vista funcional y nutricional, sino también por el valor agregado que el aprovechamiento del subproducto pueda generar a las personas productoras costarricenses.

CC BY NC SA

Conclusiones y recomendaciones:

Esta investigación exploratoria permitió realizar un primer acercamiento a personas productoras de yuca de la región Huetar Atlántica de Costa Rica; además, obtener resultados preliminares sobre la viabilidad de utilizar las hojas de yuca como fuente de proteína para consumo humano.

Se implementó un proceso tecnológico de elaboración de harina de hojas de yuca para reducir su contenido de HCN a niveles que permitan utilizarlas en consumo humano; sin embargo, se debe desarrollar y estandarizar un método analítico para la matriz de hojas de yuca, que permita obtener resultados representativos. Una vez estandarizado el método de análisis, se deben realizar más ensayos para validar estadísticamente cual es el proceso de secado que permite la mayor reducción de HCN.

El rendimiento de secado de las hojas de yuca variedad Valencia para las tres temperaturas de proceso utilizadas fue bajo, cercano al 10 %. Este proceso debe ser estandarizado para obtener un producto con una humedad final que permita garantizar su estabilidad microbiológica con una menor merma de proceso.

El contenido de proteína de las hojas de yuca deshidratadas por circulación continua de aire caliente a 75 °C fue de 14,1 g/100 g base seca, lo cual la hace nutricionalmente viable como fuente de proteína vegetal. Se deben realizar más ensayos para validar estadísticamente estos resultados. En cuanto al perfil de aminoácidos, en las hojas de yuca deshidratadas están presentes los nueve esenciales, por lo que es importante, realizar una cuantificación de los mismos para poder establecer posibles combinaciones con otras materias primas que den como resultado una proteína completa. Por último, es necesario continuar investigando sobre las propiedades funcionales de esta proteína para poder proponer aplicaciones potenciales en distintas matrices alimentarias.

CC BY NC SA

Referencias

Abrafi, C. (2021). Health issues related to the production and consumption of Cassava as a staple food. [Tesis de posgrado], Norwegian University of Life Sciences, Noruega. https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2771129/NYAMEKYE2021.pdf?sequence=1

Aguilar, E., Segreda, A., Saborío, D., Morales, J., Chacón, M., Rodríguez, L., Acuña, P., Torres, S. & Gómez, Y. (2017). Manual del cultivo de yuca Manihot esculenta Crantz. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA, Costa Rica. http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf

AOAC (2007) Residuos de pesticidas en alimentos por acetonitrilo, extracción y partición con sulfato de magnesio. https://nucleus.iaea.org/sites/fcris/Shared%20Documents/SOP/AOAC_2007_01.pdf

Bradbury, J., Bradbury, M. & Egan, S. (1994). Comparison of methods of analysis of cyanogens in cassava. *Acta Horticulturae* 375, 87-96. https://www.researchgate.net/publication/284250145_Comparison_of_methods_of_analysis_of_cyanogens_in_cassava/link/5653cfd308ae4988a7afc2b4/download

Bradbury, J. & Denton, I. (2014). Mild method for removal of cyanogens from cassava leaves with retention of vitamins and protein. *Food Chemistry*, 158, 417-420. https://www.academia.edu/22617867/Mild_method_for_removal_of_cyanogens_from_cassava_leaves_with_retention_of_vitamins_and_protein

Castro, Y., Cristellot, F., Murgueitio, N., Gómez, Y. & Rosero, E. (2021). Efecto del procesamiento tradicional de la yuca (*Manihot esculenta*) y derivados sobre el contenido de glucósidos cianogénicos. *INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, 4*(8), 157-170. https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/49/70

Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo [CIRAD]. (2023). Síntesis de la hoja de ruta de raíces y tubérculos. Hacia un cultivo sostenible de raíces y tubérculos [2023-2033]. https://www.cirad.fr/view_pdf/8396

CC BY NC SA

Comisión del Códex Alimentarius [CAC]. (2019a). Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos, CXS 193-1995. Enmend. 2019. p.76. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf

Comisión del Códex Alimentarius [CAC]. (2019b). Norma para la harina de yuca comestible, CXS 176-1989. Enmend. 2019. p.4. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ar/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B176-1989%252FCXS_176s.pdf

Díaz, A. & López, C. (2021). Yuca: Pan y carne, una alternativa potencial para hacer frente al hambre oculta. *Acta Biol Colomb, 26*(2):235-246. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2021000200235&script=sci_arttext

Giraldo, A. (2006). Estudio de la obtención de harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para consumo humano. [Tesis de grado]. Universidad del Cauca. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19219

Giraldo, A., Velasco, R. & Villalta, H. (2008). Digestibilidad Aparente de una Harina Proveniente de Hojas de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Información Tecnológica 19(1), 11-18. https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n1/art03.pdf

Gómez, W., Cardona, C. & Rivera, S. (2016). Producción y calidad del forraje de tres variedades de yuca bajo tres densidades de siembra. *Temas Agrarios 21*(2), 9-20 https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/897

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2023). Encuesta Nacional Agropecuaria 2022 resultados generales de la actividad agrícola y forestal. https://admin.inec.cr/sites/default/files/2023-10/reagropecENAAGR%C3%8DCOLA2022.pdf

Latif, S. & Müller, J. (2015). Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. *Trends in Food Science & Technology, 44*(2), 147-158.

CC BY NC SA

https://www.academia.edu/20880191/Potential_of_cassava_leaves_in_human_nutrition_A_reviewlopez

López M., Rojas, A. & Castillo, M. (2019). Efecto de la sustitución de King grass (*Cenchrus purpureus*) por yuca (*Manihot esculenta* Crantz) sobre la calidad nutricional del ensilaje. *Nutrición Animal Tropical 13*(2): 21-42. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7136800

Murgueitio-Adum, N., Fernández-Andrade, A. & Rosero-Delgado, E. (2022). Efecto del procesamiento tradicional de producción de Almidón de Yuca en la concentración de compuestos cianhídricos. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies 3*(7):102-110. Doi: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Concentracion-de-HCN-con-relacion-al-tiempo-A-y-concentracion-de-linamarina_fig1_366061645

Organización de las Naciones Unidas., Oficina de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola., Organización Mundial de la Salud, Programa Mundial de Alimentos & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (2022). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. https://www.fao.org/3/cc0640es/cc0640es.pdf

Ospina, M. (2017). Evaluación de propiedades nutricionales y de calidad comercial en siete centros de diversidad de yuca con genotipificación para contenido de Cianuro. [Tesis de posgrado] Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63355/2017-Maria_Alejandra_Ospina_Portilla.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Presidencia de la República de Costa Rica. (2021, 18 de agosto). Declaran de interés público el cultivo, industrialización y consumo de yuca. https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2021/08/declaran-de-interes-publico-el-cultivo-industrializacion-y-consumo-de-yuca/#:~:text=El%20presidente%20de%20la%20Rep%C3%BAblica%2C%20Carlos%20Alvarado%20Quesada%2C%20y%20el,de%20yuca%20(Manihot%20seculenta)

Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER]. (2019, 2 de abril). Insectos, leguminosas y algas serán las proteínas sostenibles del futuro. https://www.procomer.com/alertas_comerciales/insectos-leguminosas-y-algas-seran-las-proteinas-sostenibles-del-futuro/

CC BY NC SA

Quesada, D. & Gómez, G. (2019). ¿Proteínas de origen vegetal o de origen animal?: Una mirada a su impacto sobre la salud y el medio ambiente. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo 2*(1):79-86. https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/82330/2019%20Articulo%20Prote%c3%adnas%20vegetales%20y%20animales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Santillán, E. (2018). Sobre el desarrollo de mezclas de alimentos andinos aminoacídicamente completas de bajo costo para la Alimentación infantil. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición, 28*(2), 370-392. https://revalnutricion.sld.cu/index.php/rcan/article/view/608

Santillán, E., Abril, D. & Andrade, C. (2019). Proteínas de alta calidad biológica a bajo costo a base de mezclas vegetales aminoacídicamente completas valoradas por cómputo aminoacídico. *La Ciencia al Servicio de la Nutrición y la Salud*, (10), 193-201. http://revistas.espoch.edu.ec/index.php/cssn/article/view/288

CC BY NC SA