

Evaluación de la composición proximal, propiedades fisicoquímicas y funcionales de harina precocida de camote de cerro (*Dioscorea remotiflora*)

Evaluation of the proximate composition, physicochemical and functional properties of precooked wild yam flour (*Dioscorea remotiflora*)

Estrada-Girón, Y.^{1*}, Bravo-Ramírez, G.E.¹, Fernández-Escamilla, V.V.A.², T.J Jaime-Ornelas³, Martín-del-Campo A¹, and R.M. Esparza-Merino¹

¹⁾ Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara CUCEI, Blvd. Marcelino García Barragán #1421, Guadalajara Jalisco, 44430. ²⁾ Departamento de Ciencias Tecnológicas, Universidad de Guadalajara CUCIENEGA, Av. Universidad 1115, Ocotlán, Jalisco, 47820. ³⁾ Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara CUCBA, Cam. Ramón Padilla Sánchez 2100, Zapopan, Jalisco, 44600. *Correo: mara.estrada@academicos.udg.mx

RESUMEN

El camote de cerro (*Dioscorea remotiflora*) es un tubérculo rico en carbohidratos, consumido principalmente como botana hervida. Para diversificar su uso, se obtuvo la harina del tubérculo por dos métodos diferentes; precocción a vapor o ebullición (12 y 20 min), seguido de secado y molienda para obtener harina. Las harinas se caracterizaron por su rendimiento, composición proximal, propiedades físicas y funcionales; la harina cruda se consideró como el control. El mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento de precocción a vapor (12 min). Con respecto a la composición proximal, las harinas tuvieron contenidos de humedad entre 5.36-7.0%, proteína entre 3.10-5.29%, y carbohidratos de 86.62-89.16%; grasa <0.63, fibra cruda <1%, y cenizas entre 1.6-1.7%. Por difracción de rayos X, se presentaron patrones cristalinos tipo A, con un pico intenso a $2\theta=17.5^\circ$ y otro a $2\theta=23.5^\circ$. Además, en las harinas precocidas se observó un patrón cristalino-amorfo, debido a la cristalinidad residual. En las harinas precocidas, la capacidad de retención de agua, el índice de solubilidad y la capacidad emulsificante incrementaron con respecto al control, excepto en la capacidad de hinchamiento. Por lo tanto, los tubérculos de camote de cerro podrían aprovecharse en la obtención de harinas para la formulación de diversos alimentos.

PALABRAS CLAVE: camote de cerro, precocción, harina, composición proximal, caracterización

ABSTRACT

Wild yam (*Dioscorea remotiflora*) is a type of tuber rich in carbohydrates, which is mainly consumed as a boiled snack. To diversify its uses, flour was obtained from tubers by two different methods: steam precooking or boiling (12 and 20 min), followed by drying and milling to obtain flour.; the control was the raw flour. The flours were characterized by their yield, proximate composition, physical and functional properties. The highest yield of 16.2% was obtained under steam precooking for 12 min. Regarding proximate composition, the flours had moisture contents between 5.36–7.0%, protein between 3.10–5.29%, and carbohydrates of 86.62–89.16%; fat <0.63, crude fiber <1%, and ash between 1.6–1.7%. X-ray diffraction revealed type A crystalline patterns, with an intense peak at $2\theta=17.5^\circ$ and another at $2\theta=23.5^\circ$. In addition, an amorphous crystalline pattern was observed in the precooked flours due to residual crystallinity. In the precooked flours, the water retention capacity, solubility index, and emulsifying capacity increased compared to the control, except for the swelling capacity. Therefore, wild yam tubers could be used to obtain precooked flour for the formulation of diverse foods.

KEYWORDS: wild yam, precooked, flour, proximate composition, characterization

INTRODUCCIÓN

Las raíces y tubérculos son considerados como una fuente alimenticia principalmente por la cantidad de carbohidratos que contienen. Además de ser de fácil acceso por su bajo costo, se utilizan en la obtención de harinas, para usos medicinales y como forraje. A diferencia de los cereales, los tubérculos se caracterizan por contener grandes cantidades de almidón resistente, y se les considera libres de gluten (Castagnino & Marina, 2022), por lo que son una alternativa en la dieta de personas alérgicas a la proteína del trigo.

Dentro de la gran variedad de tubérculos de Dioscorea, *Dioscorea alata* es uno de los tubérculo más ampliamente distribuido y cultivado alrededor del mundo, se ha reportado que su composición nutrimental es comparable con la de otros tubérculos como la papa (Shan et al., 2020). Mientras que, los tubérculos del género Dioscorea que crecen en algunas zonas de México, como en la región Ciénega de Chapala Jalisco, son principalmente las especies *D. remotiflora* y *D. parsiflora*, donde comúnmente se le conoce como camote de cerro. Este recurso agroindustrial se consume como botana hervida y constituye una de las fuentes de ingresos complementarios para los pobladores de la región de la Ciénega de Chapala (Guízar-Miranda et al., 2008).

Las harinas son una excelente alternativa en la alimentación actual y en los últimos años, debido a la tendencia en el consumo de alimentos de rápida preparación, el uso y diversificación de los tipos de harinas no convencionales ha incrementado, así como sus usos en panadería, producción de pastas o como sustituto de harinas de otras fuentes (Abiodun et al., 2014). La harina se considera un alimento de larga vida de anaquel debido a su bajo contenido de agua; además, es un ingrediente de fácil acceso.

Las harinas deben cumplir con ciertos parámetros y al mismo tiempo, deben aportar un valor nutrimental. Los parámetros funcionales más importantes que se deben medir en una harina son: capacidad de retención de agua, índice de solubilidad, capacidad de hinchamiento y capacidad emulsificante; a través de estas se evalúan las características físicas de las masas que forman las harinas. Un ejemplo de ello es qué capacidad tiene una harina para retener agua, y al ser hidratada, que porcentaje de líquido se necesitaría para tomar la consistencia deseada. Asimismo, la capacidad de esta para ser soluble en agua nos ayuda a entender qué tipo de alimentos se pueden realizar con dicha harina y si es posible utilizarla como materia prima. Por lo que, conocer las propiedades funcionales de las harinas es de utilidad para la correcta aplicación en el desarrollo de productos alimenticios (Wheat Marketing Centre, 2008).

Debido al interés en la búsqueda de métodos de conservación del camote de cerro, y debido que en la actualidad no se ha implementado alguna tecnología para su procesamiento, en este trabajo, se propuso elaborar harinas precocidas a partir de tubérculos de *D. remotiflora*, que se producen en la región de la Ciénega, y caracterizarlas en su rendimiento, composición proximal, propiedades físicas y funcionales.

MATERIAL Y MÉTODO

Preparación de la materia prima

Los tubérculos de camote de cerro (*D. remotiflora*) se compraron en la región de la Ciénega de Chápala, Jalisco con los vendedores locales. Los tubérculos se lavaron, desinfectaron, y pelaron de forma manual con un cuchillo; después se cortaron en trozos de 5-6 cm de espesor, manteniéndolos todo el tiempo en agua para evitar el pardeamiento.

Precocción y obtención de la harina de camote de cerro

La precocción del camote se realizó usando dos métodos: a vapor con el uso de una vaporera y ebullición en agua a 94 °C, por 12 y 20 min. Estas condiciones se seleccionaron con base en pruebas preliminares y por comunicación directa con vendedores de camote cocido, que señalan un tiempo de cocción completa de aproximadamente 40 minutos.

El camote, control o precocido, se cortó en rebanadas delgadas (~5 mm), y se colocó en charolas de un horno deshidratador (modelo DESH304/032014, Todumex, Jal, México), a 70° C por 6 h (o hasta una humedad $\leq 10\%$). El material seco se molió en un micropulverizador (MF 10.2, IKA-Works, USA). Las harinas molidas se tamizaron a un máximo de 10 % de retención en un tamiz no. 50 M, de acuerdo con la NMX-F-007-1982. La harina en polvo se almacenó en bolsas de polietileno hasta su posterior uso.

Composición proximal de las harinas de camote de cerro

El análisis químico de la harina cruda y precocida se realizó de acuerdo con los métodos estándar de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC International, 2002); contenido de humedad (934.01), cenizas (924.05), proteínas (960.52), grasas (960.39) y fibra cruda (962.09). Los carbohidratos se determinaron por la diferencia con los demás componentes.

Caracterización física de las harinas

El *color* de las harinas se midió con un colorímetro CR-410 con iluminante C y el observador estándar de 2° como sistema de referencia. Las mediciones se realizaron con el sistema CIELAB para obtener las coordenadas de color L* (luminosidad), a* (- verde, + rojo), b* (-azul, + amarillo). Con las coordenadas de color se calculó la diferencia total de color (ΔE) a partir de la siguiente Ec. (1)

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

donde ΔL^* , Δa^* y Δb^* representan las diferencias entre los parámetros de color (Pathare et al., 2013), de las harinas precocidas con respecto a la harina cruda.

La *difracción de rayos X* (XRD) de las harinas se realizó con 0.1 g de muestra que se depositó sobre una superficie de vidrio y se colocó en el equipo de difracción. El ángulo de difracción (2θ) se exploró de 5° a 60°, con una velocidad de barrido de 2 °C/min, una operación de 30 mA y 40 kV y con frecuencia de 0.020° (Pathare et al., 2013).

Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y funcionales

El pH de las harinas se determinó de acuerdo con la norma NOM-F-317-S-1978 (Dirección General de Normas, 1978), mediante el método de inmersión del electrodo. Se tomaron 15 g de muestra y se hidrataron con 15mL de agua destilada, a una temperatura a 20 °C. La lectura del pH se realizó directamente de la pantalla del equipo. La acidez titulable se determinó de acuerdo con el método 02-31 de la AACC. Se preparó una suspensión de harina en agua destilada, después se agregó agua destilada hirviendo, y se dejó reposar hasta el enfriamiento.

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó de acuerdo con el método de Beuchat, reportado por (Chaparro et al., 2011). A 1 g de muestra se le agregaron 10 mL de agua destilada, el pH se ajustó a 7 y se agitó con un vórtex. Posteriormente, se centrifugó a 3000 rpm por 30 min. Los resultados se expresaron como gramos de agua retenida por gramo de muestra.

El índice de solubilidad en agua (ISA) se determinó de acuerdo con el método reportado por (Lopez-Silva et al., 2022). A 2.5 g de muestra, se le adicionaron 50 g de agua destilada para agitarse durante 30 min a 3,000 rpm. De la suspensión formada se tomó una alícuota de 10 g y se centrifugó a 3,000 rpm por 15 min. El sobrenadante se decantó y se secó a 100 °C por 24 h. El gel retenido en los tubos se pesó para calcular el I.S.A de acuerdo con las Ecs. (2)-(3):

$$\text{Peso de la muestra}(g) = \frac{\text{Peso seco de la muestra}(g)}{\text{Peso seco de la muestra}(g) + \text{agua}(g)} * \text{alícuota}(g) \quad (2)$$

$$\text{ISA}(\%) = \frac{\text{Peso del sobrenadante}(g) - \text{Peso seco del sobrenadante}(g)}{\text{Peso de la muestra}(g)} * 100 \quad (3)$$

La capacidad emulsificante (CE) se determinó de acuerdo con el método reportado por (Jideani, 2011). Se mezcló 1 g de muestra con 20 mL de agua destilada, agitando durante 15 min. Se ajustó el pH a 7.0 y se llevó el volumen hasta 25 mL con agua destilada. Después se mezclaron en partes iguales (25 mL) de esta solución con aceite de

maíz y se homogeneizó por 5 min en un vórtex, finalmente se centrifugó a 1300 rpm por 10 min. El resultado se expresó en términos de porcentaje, como la altura de la capa emulsificada con respecto al total del líquido.

La capacidad de hinchamiento (CH) se determinó de acuerdo con los métodos reportados por (Ozyurt & Ötles, 2016). A 100 mg de muestra se le agregó agua destilada hasta 10 mL, agitando suavemente para dispersar la muestra. Luego se dejó en reposo durante 16 h hasta su hidratación, midiendo el volumen final que ocupó la muestra. Los resultados se expresaron en mL/g de muestra.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza ANOVA, a un nivel de confianza del 95%, usando el programa estadístico StatGraphics versión XVII. La diferencia entre medias se determinó aplicando la comparación de medias LSD de Fisher con un valor de significancia de $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de la harina

Los rendimientos de las harinas control (cruda) y precocidas se muestran en la Tabla 1. Los tratamientos térmicos aplicados redujeron significativamente ($p < 0.05$) el rendimiento de las harinas con respecto al control, que exhibió el mayor porcentaje (24.46%). De los tratamientos con calor evaluados, el mayor rendimiento se obtuvo a con la precocción a vapor por 12 min; bajo estas condiciones el camote precocido tuvo una consistencia firme, intacta, sin la pérdida visible de tamaño, previo a corte y deshidratado. Esto se atribuye a que el vapor penetra los poros del material, sin que se genere un daño importante de la estructura del material, por lo que no colapsó y mantuvo la forma del material, a las condiciones estudiadas.

Por otro lado, el menor rendimiento se obtuvo para el tratamiento de ebullición por 20 min, obteniendo casi la mitad del rendimiento respecto al tratamiento control. Con la ebullición, el camote presentó una desintegración parcial y mayor reblandecimiento al tacto debido al contacto directo con el agua el cual, alteró la estructura ordenada de las moléculas de almidón durante el procesamiento térmico (Karunarathna et al., 2024). Aunque la cocción no fue completa, tanto el tamaño de los trozos de camote, como el tiempo de exposición en agua a ebullición, causa que el tejido vegetal se ablande más rápido, y que los gránulos de almidón se hinchen y gelatinicen (Badui Dergal, 2006). Además, el hinchamiento permite la liberación de la amilosa fuera del gránulo, por lo que ésta queda en dispersión coloidal con los gránulos intactos en suspensión. De ahí que, la pérdida del material por efecto del método de tratamiento influye en el rendimiento de las harinas. También se pudo observar que el tiempo del tratamiento térmico influyó en el rendimiento de las harinas, debido a que, a mayor tiempo de aplicación del tratamiento térmico, se obtuvo un menor rendimiento, como también lo señalan Karunarathna et al., (2024) en almidones resistentes.

Tabla 1. Rendimiento de harinas de camote de cerro crudo (control) y precocido bajo diferentes tratamientos.

Rendimiento (%)	Tratamientos				
	Control	Vapor		Ebullición	
		12 min	20 min	12 min	20 min
	24.46 ± 1.8 ^e	16.27 ± 0.9 ^{cd}	14.79 ± 0.7 ^{bc}	14.09 ± 1.4 ^{ab}	13.63 ± 0.8 ^a

Superíndices con letras diferentes indican una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, con la prueba estadística de LSD (Least Significant Difference)

Composición proximal de las harinas

En la Tabla 2 se muestra la composición proximal de las harinas evaluadas. El contenido de humedad de las harinas estuvo entre el 5.38 al 7.0%, estos valores son menores al parámetro establecido por la norma mexicana NOM-147-SSA1-1996 (Secretaría de Salud, 1996), la cual, señala que una harina comestible debe tener como límite máximo un 15% de humedad. Por lo tanto, las harinas de camote de cerro cumplen con las especificaciones de la norma.

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Aunque los valores de humedad entre los tratamientos fueron muy cercanos, estadísticamente, este parámetro fue significativo ($p < 0.05$) con respecto al control, al observarse valores mayores, lo que indica que los tratamientos inducen a una mayor absorción de agua. El contenido de humedad es uno de los parámetros más importantes para el almacenamiento de los productos alimenticios en polvo, ya que le confiere estabilidad química, física y microbiológica durante la vida de anaquel (Isengard, 2001).

Con respecto al contenido de cenizas, todas las harinas presentaron un contenido similar al del control de 1.6-1.7%. Estos valores son bajos con respecto a los reportados por (Guízar-Miranda et al., 2008) en tubérculos de camote de cerro crudo. Las diferencias en el contenido de cenizas de otras investigaciones pueden atribuirse al tipo de suelo y ambiente donde se cultivan los camotes y la época de cosecha. En harinas de tubérculos como la papa criolla amarilla, el contenido de cenizas se ha reportado en 3.20%, sin embargo, hay que considerar el contenido de cenizas varía en relación con la variedad del alimento. Es decir, las papas son tubérculos ricos en hierro, potasio y sodio, en comparación con la mayoría de los tubérculos (Chisenga et al., 2019). La harina de camote, aunque contiene la mitad de los minerales (cenizas) de la papa, no pierde su contenido durante los tratamientos aplicados para su precocción, con respecto al control.

Los tubérculos no representan una fuente importante de grasa; esta característica, desde el punto de vista tecnológico, es una ventaja para la vida de anaquel de la harina, ya que puede ser menos propensa a la rancidez. Aunque hubo diferencia estadística entre el control y los tratamientos ($p < 0.05$); en general, los valores fueron muy bajos ($< 0.63\%$) y similares entre los tratamientos de precocción evaluados.

El contenido de proteínas en una harina es muy importante ya que, influye en sus propiedades funcionales, como la capacidad de hinchamiento y solubilidad (Asranudin et al., 2021). Las harinas de camote de cerro presentaron un contenido de proteínas de 3.10 a 5.29% en base húmeda. Estos valores son superiores a los reportados para otras variedades de ñame (0.7-3.1%) (Shan et al., 2020); y para diferentes variedades de papa criolla comunes en el mercado (2.3-2.5%) pero, es menor al de la harina obtenida a partir de ñame morado sometido a tratamiento térmico (6.53%, en base seca) (Asranudin et al., 2021). En general, los tubérculos contienen proteínas en menores cantidades que otros alimentos, siendo la papa uno de los tubérculos con mayor contenido proteico (Guízar-Miranda et al., 2008). Por lo tanto, se puede afirmar que la harina de camote de cerro obtenida por los métodos evaluados podría considerarse con mayor contenido proteico respecto a la papa criolla.

Tabla 2. Análisis químico proximal de harinas de camote de cerro crudo y precocido bajo diferentes tratamientos.

Componente (%)	Tratamientos				
	Control	Vapor		Ebullición	
		12 min	20 min	12 min	20 min
Humedad	5.38 ± 0.39 ^a	5.70 ± 0.28 ^a	7.00 ± 0.17 ^b	6.95 ± 0.75 ^b	5.55 ± 0.26 ^a
Cenizas	1.61 ± 0.01 ^a	1.60 ± 0.001 ^a	1.61 ± 0.006 ^a	1.70 ± 0.185 ^a	1.60 ± 0.051 ^a
Grasas	0.63 ± 0.04 ^c	0.55 ± 0.002 ^a	0.61 ± 0.001 ^b	0.55 ± 0.001 ^a	0.55 ± 0.001 ^a
Proteínas	5.29 ± 0.13 ^c	4.23 ± 0.04 ^b	4.10 ± 0.11 ^b	3.30 ± 0.04 ^a	3.10 ± 0.11 ^a
Fibra cruda	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Carbohidratos	87.02 ± 0.28 ^{ab}	87.86 ± 0.32 ^c	86.62 ± 0.22 ^a	87.45 ± 0.53 ^a	89.16 ± 0.19 ^d

Superíndices con letras diferentes indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, con la prueba LSD (Least Significant Difference).

Se sabe que el tratamiento térmico, dependiendo de su intensidad, puede inducir a reacciones de desnaturalización de las proteínas (Yang et al., 2021). En este caso, el tratamiento de ebullición a 20 min causó una mayor pérdida de proteínas (3.10%), con respecto al tratamiento control (5.20%). Mientras que, el tratamiento de vapor fue menos severo contra la pérdida de proteínas, disminuyendo alrededor del 1% del contenido inicial. Estadísticamente, hubo

una diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de proteína entre los tratamientos y el control, así como entre tratamientos.

Con respecto al contenido de fibra cruda, tanto la harina control como las precocidas presentan un contenido $< 0.1\%$, casi nulo (Tab. 2); por lo tanto, se puede decir que la harina de camote de cerro no es una fuente rica en fibra. A diferencia de otras harinas de tubérculos, como la de mandioca o la de arrurruz, estas contienen mayor cantidad de fibra cruda entre 1.18 y 1.79% (en base seca), respectivamente (Marta et al., 2023). Por otro lado, en las harinas de tubérculos y cereales, los carbohidratos suele ser el componente mayoritario (con respecto a los demás componentes), esto debido al contenido de almidón (Dussán-Sarria et al., 2019) y, por ello, proporcionan mayor aporte calórico en la dieta diaria. Las harinas estudiadas presentaron contenidos de carbohidratos entre 86.62 y 89.16%, incluyendo el control. Estos porcentajes son cercanos al de otras harinas como la de ñame morado con 85.84% de carbohidratos (Asranudin et al., 2021). Asimismo, de acuerdo con los resultados de la Tab (2), el tipo de tratamiento térmico y el tiempo, influyen de manera significativa en el contenido de carbohidratos ($p < 0.05$); coincidiendo con lo indicado por Karunarathna et al. (2024) quien señala que el tiempo de contacto con el agua, afecta la estructura del almidón.

Propiedades físicas de las harinas

Evaluación del color

El color de las harinas es un parámetro que puede influir en su aplicación o uso e incluso, facilita la estandarización del producto; es primordial en los criterios de aceptación y rechazo de la materia prima y, además, puede definir el proceso alimenticio que se debe aplicar (Dussán-Sarria et al., 2019). En la Tab. (3) se presentan los parámetros de color de las harinas de camote de cerro. La luminosidad (L^* ; $L^*=0$: negro; $L^*=100$: blanco) de las harinas tiende a la región clara o blanca. Aunque el camote de cerro crudo tiene un color amarillo claro a la vista, los procesos de precocción y deshidratado, incrementan de forma significativa ($p < 0.05$) los valores de L^* . El incremento es mayor en los tratamientos de ebullición, que presentan mayor luminosidad, en comparación con los de vapor y el control, lo que se atribuye a la pérdida de pigmentos, por degradación térmica y lixiviación al agua de cocción (Sun et al., 2020). Mientras que, en el control, la temperatura de deshidratación pudo desarrollar reacciones de pardeamiento entre carbohidratos y proteínas, formando algunos productos de bajo peso molecular o melanoidinas (Badui Dergal, 2006), lo que reduce la luminosidad de la harina.

Tabla 3. Parámetros de color de harinas de camote de cerro crudo y precocido bajo diferentes tratamientos.

Tratamiento	L^*	a^*	b^*	ΔE	
Control	83.03 ± 0.01^a	3.09 ± 0.01^c	15.16 ± 0.02^d	-	
Vapor	12 min	86.54 ± 0.96^b	1.42 ± 0.09^b	12.43 ± 0.39^b	4.77 ± 0.93^a
	20 min	87.02 ± 0.60^b	1.40 ± 0.30^b	14.35 ± 1.42^c	4.58 ± 0.87^a
Ebullición	12 min	90.67 ± 0.42^c	0.14 ± 0.04^a	11.05 ± 0.39^a	9.17 ± 0.47^b
	20 min	90.37 ± 1.13^c	0.18 ± 0.08^a	11.03 ± 0.22^a	8.93 ± 0.96^b

L^* : Luminosidad; a^* (+:rojo, -:verde); b^* (+:amarillo, -:azul). Superíndices con letras diferentes entre filas indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), con la prueba LSD (Least Significant Difference).

Los parámetros a^* (+: rojo; -: verde) y b^* (+: amarillo; -: azul) de las harinas evaluadas es positivo, e indica que las harinas tienen un color amarillo claro con ligeras tonalidades rojas. Para la diferencia total de color (ΔE), el tratamiento de ebullición presenta la mayor diferencia respecto al tratamiento control. Cuando los valores de ΔE son > 1.5 indican que a simple vista hay un cambio perceptible en el color de las muestras (Shan et al., 2020); al comparar los tratamientos, las harinas precocidas presentaron un color más beige respecto al tratamiento control. Por lo tanto, se puede afirmar que, el tratamiento térmico aplicado influye en el color de las harinas obtenidas del camote de cerro ($p < 0.05$).

Difracción de rayos X

En la Figura 1 se muestran los difractogramas de Rayos X (XRD) de la harina cruda y las harinas precocidas con los diferentes pretratamientos. En general, en todas las muestras se identifica el pico de cristalinidad característico de los almidones, con mayor o menor intensidad. Todos los tratamientos mostraron patrones cristalinos tipo A, con un pico pequeño en aproximadamente $2\theta=15^\circ$, y otro muy prominente a $2\theta=17.5^\circ$; así como otro pico a $2\theta=23.5^\circ$. Este último pico es más ancho en el difractograma de la harina cruda, debido a que el almidón está intacto. Asimismo, los XRD de las harinas precocidas muestran un patrón cristalino-amorfo con picos anchos, pero con una menor cristalinidad indicada por la menor intensidad de los picos que en la harina cruda, debido a la fusión parcial de los gránulos de almidón durante los pretratamientos. En las harinas a ebullición se presentó una menor intensidad en los picos, con una apertura más ancha. Sin embargo, la cristalinidad se mantiene en mayor medida en los tratamientos a vapor, ya que los picos fueron casi similares al control, pero con una leve disminución en la intensidad. Estos resultados pueden deberse a la cristalinidad residual que permaneció después de los pretratamientos, debido a la gelatinización parcial del almidón. Patrones de XDR similares se han reportado en almidón de maíz o en harina de ñame morado (Núñez-Santiago et al., 2004; Asranudin et al., 2021).

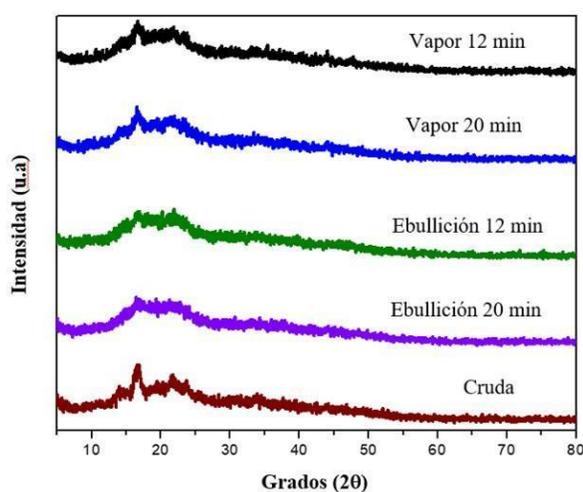


Figura 1. Difracción de Rayos X de harinas de camote de cerro crudo y precocido bajo diferentes tratamientos. *Propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas*

Con respecto al pH, se observó un aumento significativo ($p < 0.05$) para todos los tratamientos en comparación al control (Tab. 4). Sin embargo, los valores de pH de las harinas precocidas fueron muy similares entre sí, con un valor promedio de pH de 7.5, en la región de pH neutro. Estos resultados están ligeramente por arriba de los valores de pH reportados para harina de yuca con 6.1 (Techeira et al., 2014) o para harinas de *D. decorticans* y *D. trifida* (6.40-6.50). Es de notarse que la harina cruda presentó un pH de 2.35, en la región del ácido, debido a que los tubérculos pueden contener fitoquímicos como el taro (*Colocasia esculenta*) que contiene alcaloides, taninos, terpenoides, ácido fítico, saponinas o fenoles (Krishnapriya & Suganthi, 2017), que le otorgan un bajo pH. En concordancia, la harina cruda presentó mayor acidez (54% superior a las harinas precocidas) que las harinas precocidas. Por lo que, el tratamiento térmico es indispensable para degradar los compuestos químicos naturales del camote y que pueda ser consumida sin causar daños a la salud, al ser considerados como antinutricionales.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de harinas de camote de cerro crudo y precocido bajo diferentes tratamientos.

Parámetro (%)	Tratamientos				
	Control	Vapor		Ebullición	
		12 min	20 min	12 min	20 min
<i>Fisicoquímicos</i>					
pH	2.35 ± 0.3 ^a	7.39 ± 0.52 ^{bc}	7.31 ± 0.70 ^b	7.98 ± 0.30 ^d	7.35 ± 0.07 ^{bc}

Acidez	4.90 ± 0.8 ^e	2.25 ± 0.31 ^a	2.39 ± 0.12 ^b	3.34 ± 0.42 ^d	2.62 ± 0.09 ^c
<i>Funcionales</i>					
CRA	2.28 ± 0.10 ^a	3.57 ± 0.22 ^b	3.57 ± 0.34 ^b	3.57 ± 0.32 ^b	3.56 ± 0.04 ^b
ISA	4.35 ± 0.10 ^a	4.90 ± 1.02 ^a	4.46 ± 0.29 ^a	4.41 ± 0.30 ^a	4.46 ± 0.22 ^a
CE	30.1 ± 0.0 ^a	41.0 ± 7.07 ^b	38.0 ± 4.24 ^{ab}	32.0 ± 4.27 ^{ab}	30.0 ± 1.41 ^a
CH	1.01 ± 0.0 ^b	0.5 ± 0.0 ^a	0.5 ± 0.0 ^a	0.5 ± 0.0 ^a	0.5 ± 0.0 ^a

CRA: Capacidad de Retención de Agua; ISA: Índice de Solubilidad en Agua; CE: Capacidad Emulsificante; CH: Capacidad de Hinchamiento. Superíndices con letras diferentes indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, con la prueba LSD (Least Significant Difference)

De acuerdo con la Tabla 4, la capacidad de retención de agua (CRA) de las harinas fue similar entre los tratamientos de vapor y ebullición, por lo que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0.05$); aunque con respecto al control, si hubo diferencia estadística ($p < 0.05$). Esto se debe a que cuando se aplica el tratamiento con calor, los gránulos de almidón (amilosa) comienzan a absorber agua en las zonas inter micelares amorfas que son menos organizadas y a su vez, son las más accesibles. A medida que aumenta la temperatura y el tiempo del tratamiento térmico, el gránulo del almidón retiene más agua y, en consecuencia, comienza a hincharse, pero sin llegar a la retención máxima debido a que solo se realiza una precocción del camote de cerro. Entonces, como se mencionó anteriormente, los gránulos de almidón dispersos en suspensión presentan una retrogradación debido a la insolubilización de la amilosa; tal precipitación depende del tipo de almidón, su contenido y temperatura de proceso (Awuchi et al., 2019; Badui Dergal, 2006).

La harina de camote de cerro precocido tuvo un índice de solubilidad (ISA) ligeramente superior al control ($p < 0.05$). Al comparar los valores de ISA entre las harinas obtenidas con camote de cerro precocido no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos térmicos aplicados tal como se aprecia en la Tabla 4. Cuando el tratamiento térmico es muy severo o prolongado, las interacciones que existen entre las cadenas de almidón dentro de las regiones amorfas y cristalinas se ven afectadas de manera permanente, ocasionando que las cadenas de almidón dentro de los gránulos se vuelven más amorfas y, en consecuencia, disminuyen su solubilidad con el agua (Hoover, 2010). En este caso, las condiciones empleadas en los tratamientos de ebullición y de vapor, no modificaron de forma relevante este parámetro. En un estudio realizado por (Rodríguez et al., 2006) en harina de yuca obtenida con un tratamiento térmico más prolongado, se obtuvieron valores de ISA de alrededor de 15%. Por lo tanto, podemos inferir que el tiempo de precocción del tubérculo influye en el ISA de la harina que se obtiene a partir de éste. En comparación con la harina de yuca (~3.8%), los resultados con el camote de cerro están ligeramente por debajo, en alrededor de 5%. Es probable que el CRA y el ISA presenten valores más bajos en la harina de camote de cerro ya que este tubérculo contiene un porcentaje de alrededor del 5% más alto de almidón, y aunque a temperaturas altas es soluble, bajo las condiciones estudiadas no alcanza el 100% de gelatinización (Asranudin et al., 2021).

Con relación a la capacidad emulsificante (CE) de las harinas, ésta aumentó de forma significativa ($p < 0.05$) en las harinas tratadas con vapor, y el tratamiento de ebullición a 12 min; mientras que fue igual para los tratamientos control y ebullición de 20 min (Tab. 4). Esta propiedad está directamente relacionada con el contenido de proteínas, así como con la composición de aminoácidos presentes en las harinas. Debido a que la harina de vapor a 12 min es la que contiene mayor porcentaje de proteínas, su capacidad emulsificante aumenta. No obstante, la harina a ebullición por 12 min contiene menor cantidad de proteínas debido a la desnaturalización ocasionada por el tratamiento térmico, lo cual disminuye su CE. Sin embargo, en la conformación nativa de las proteínas globulares de los granos de cereales, los aminoácidos polares están expuestos hacia la fase acuosa, lo que favorece la emulsificación y propiedades espumantes (Yekta et al., 2023), pero esto a su vez depende del tipo y de la intensidad del tratamiento al que se expongan estos componentes.

Por otro lado, la capacidad de hinchamiento (CH) es una propiedad relacionada directamente con la cantidad de proteínas presentes en las harinas; al disminuir su contenido en las harinas precocidas, este valor disminuyó. Aunque no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la CH de las harinas obtenidas con los tratamientos térmicos de precocción de camote de cerro evaluados ($p > 0.05$) evaluados; si hubo diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos térmicos de precocción y el control (Tabla 4). Esta propiedad es de particular interés para la preparación de alimentos viscosos como sopas, salsas, purés y productos horneados, donde se requiere una buena interacción proteína-agua (Awuchi et al., 2019).

CONCLUSIÓN

El camote de cerro es tipo de tubérculo poco aprovechado y del cual, aún no existe una tecnología establecida para su procesamiento industrial. Por ello, para diversificar sus aplicaciones, se estudiaron diferentes métodos para obtener su harina y caracterizarla. El tipo de precocción, vapor o ebullición influye en el rendimiento, ya que con el tratamiento térmico se pierden materiales, sobre todo por ebullición. Asimismo, el contenido de proteína y carbohidratos disminuyó, pero las pérdidas fueron menores con la precocción de vapor. Las harinas presentaron alta luminosidad, de color amarillo claro y con ligeras tonalidades rojas. De manera que, los parámetros de color se vieron modificados en función del tratamiento térmico, y fueron favorables ya que la precocción dio un color más claro a la harina al incrementar la luminosidad. Los patrones de difracción de las harinas del tratamiento con vapor presentaron el pico de cristalinidad a 17° , por lo que el almidón no está completamente gelatinizado; a diferencia de la precocción a ebullición donde el pico muestra menor intensidad.

Con respecto al pH y la acidez, todos los tratamientos dieron valores en un intervalo corto, de manera que cualquiera de los métodos evaluados resulta efectivo en la reducción de componentes considerados como perjudiciales, principalmente los fitoquímicos. Mientras que, para las propiedades funcionales de las harinas de camote de cerro, capacidad de retención de agua y el índice de solubilidad de agua incrementaron en las harinas de camote precocido, lo que indica que hubo una modificación del gránulo de almidón como consecuencia del tratamiento térmico. Asimismo, la capacidad emulsificante incrementó debido a la desnaturalización parcial de las proteínas; mientras que, la capacidad de hinchamiento disminuyó con respecto a la harina de camote crudo.

Estos resultados permiten conocer el comportamiento de las propiedades de la harina de camote de cerro, sin embargo, es necesario realizar más estudios de caracterización de la harina para determinar su posible aplicación como aditivo alimentario en la elaboración de otros productos como purés, bebidas, botanas o productos de panificación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abiodun, O. A., Akinoso, R., & Oluoti, O. J. (2014). Changes in Functional and Pasting Properties of Trifoliolate Yam Flour during Storage. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 18(2), 337–340. <https://doi.org/10.4314/jasem.v18i2.26>
- AOAC International. (2002). *Official Methods of Analysis* (17th ed.). AOAC International.
- Asranudin, Holilah, Syarifin, A. N. K., Purnomo, A. S., Ansharullah, & Fudholi, A. (2021). The effect of heat moisture treatment on crystallinity and physicochemical-digestibility properties of purple yam flour. *Food Hydrocolloids*, 120, 106889. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106889>
- Awuchi, C. G., Igwe, V. S., & Echeta, C. K. (2019). The functional properties of foods and flours. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11), 139–160.
- Badui Dergal, S. D. (2006). *Química de los alimentos* (4th ed.). Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Castagnino, A. M., & Marina, J. A. (2022). Panorama de la cadena agroalimentaria del ñame (*Dioscorea spp.*): Importancia, características, cultivo, mercado, usos y valor medicinal. *Horticultura Argentina*, 41(106). <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/86zx16p4g>
- Chaparro A., S. P., Gil G., J. H., & Aristizabal T., I. D. (2011). Effect of hydration and baking on the physical and functional properties of vitabosa flour (*Mucuna deeringiana*). *Vitae*, 18(2), 133–143. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.10066>
- Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., & Alimi, B. A. (2019). Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 2799–2813. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03814-6>
- Dirección General de Normas. (1978). *Determinación del pH en alimentos - Método electrométrico*.
- Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro. *Información Tecnológica*, 30(5), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>
- Guízar-Miranda, A., Montañéz-Soto, J. L., & García- Ruiz, I. (2008). Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (*Dioscorea spp.*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9(1), 81–88.
- Hoover, R. (2010). The Impact of Heat-Moisture Treatment on Molecular Structures and Properties of Starches Isolated from Different Botanical Sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(9), 835–847. <https://doi.org/10.1080/10408390903001735>
- Isengard, H.-D. (2001). Water content, one of the most important properties of food. *Food Control*, 12(7), 395–400. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(01\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(01)00043-3)
- Jideani, V. A. (2011). Functional Properties of Soybean Food Ingredients in Food Systems. In T.-B. Ng (Ed.), *Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology* (pp. 345–366). InTech. <https://doi.org/10.5772/14668>
- Karunarathna, S., Wickramasinghe, I., Brennan, C., Truong, T., Navaratne, S., & Chandrapala, J. (2024). Investigating the impact of boiling and pressure cooking on resistant starch levels in food. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(6), 3907–3917. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17138>
- Krishnapriya, T. V., & Suganthi, A. (2017). Biochemical and phytochemical analysis of *Colocasia esculenta* (L.) Schott tubers. *International Journal of Research in Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(3), 21–25.
- Lopez-Silva, M., Agama-Acevedo, E., Yee-Madeira, H., Bello-Perez, L. A., & Alvarez-Ramirez, J. (2022). Effect of gelatinization degree on emulsification capacity of corn starch esterified with octenyl succinic acid. *Food Chemistry*, 375, 131657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131657>
- Marta, H., Febiola, C., Cahyana, Y., Arifin, H. R., Fetriyuna, F., & Sondari, D. (2023). Application of Composite Flour from Indonesian Local Tubers in Gluten-Free Pancakes. *Foods*, 12(9), 1892. <https://doi.org/10.3390/foods12091892>
- Núñez-Santiago, M. C., Bello-Pérez, L. A., & Tecante, A. (2004). Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 56(1), 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.12.003>
- Ozyurt, V. ye H., & Ötles, S. (2016). Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 15(3), 233–245. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2016.3.23>

- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A.-J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Rodríguez, E., Fernández, A., Alonso, L., & Ospina, B. (2006). Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería y Desarrollo*, 19, 17–30.
- Secretaría de Salud. (1996). *NOM-147-SSA1-1996: Bienes y servicios. Cereales y sus productos*.
- Shan, N., Wang, P., Zhu, Q., Sun, J., Zhang, H., Liu, X., Cao, T., Chen, X., Huang, Y., & Zhou, Q. (2020). Comprehensive characterization of yam tuber nutrition and medicinal quality of *Dioscorea opposita* and *D. alata* from different geographic groups in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(11), 2839–2848. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63270-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63270-1)
- Sun, X., Jin, X., Fu, N., & Chen, X. (2020). Effects of different pretreatment methods on the drying characteristics and quality of potatoes. *Food Science & Nutrition*, 8(11), 5767–5775. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1579>
- Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A., & Sosa, F. (2014). Caracterización físicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39(3), 191–197. <https://www.proquest.com/docview/1517930100?sourcetype=Scholarly Journals>
- Wheat Marketing Centre. (2008). *Wheat and Flour Testing Methods: A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality (Version 2)*.
- Yang, T., Wang, P., Zhou, Q., Wang, X., Cai, J., Huang, M., & Jiang, D. (2021). Investigation on the Molecular and Physicochemical Changes of Protein and Starch of Wheat Flour during Heating. *Foods*, 10(6), 1419. <https://doi.org/10.3390/foods10061419>
- Yekta, R., Assadpour, E., Hosseini, H., & Jafari, S. M. (2023). The influence of ionic polysaccharides on the physicochemical and techno-functional properties of soy proteins; a comprehensive review. *Carbohydrate Polymers*, 319, 121191. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121191>