

Explorando la funcionalidad de la harina de tiusinte (*Dioon Mejiae*). Un cultivo ancestral y endémico de Honduras

¹ Caleb S. Calix-Rivera

Resumen

El tiusinte (*Dioon Mejiae*) es un cultivo endémico del noreste de Honduras. Sus semillas ofrecen una importante fuente de carbohidratos con un alto potencial para ser utilizado como ingrediente agroalimentario. Este estudio tuvo como objetivo explorar la composición química, morfología y propiedades tecnofuncionales de la harina de tiusinte, utilizando a las harinas de maíz y arroz como referencias. Los resultados revelaron que la harina de tiusinte contenía alta cantidad de carbohidratos (83.7 g/100 g), proteína (11.9 g/100 g) y ceniza (2.2 g/100 g). Los gránulos de almidón de tiusinte presentaron formas irregulares, ovoidales y esféricas con tamaños entre 5 y 20 μm . En cuanto a su funcionalidad, la harina de tiusinte presentó valores intermedios de absorción de agua (WAC), aceite (OAC), propiedades de emulsión (EA y ES) y estabilidad de espuma (FS) en comparación a las referencias. Además, los valores más bajos de poder de hinchamiento (SP) se observaron en la harina de tiusinte, indicando la presencia de almidón muy resistente al hinchamiento y la ruptura. En general, estos resultados ponen de manifiesto el potencial del tiusinte como una nueva fuente de harina con características fisicoquímicas y funcionales únicas que le confieren un buen potencial de desarrollo en la industria alimentaria.

Palabras clave: *Dioon Mejiae*, análisis proximal, morfología, características tecno-funcionales

Exploring the functionality of tiusinte (*Dioon Mejiae*) flour. An ancestral and endemic crop from Honduras

Abstract

Tiusinte (*Dioon Mejiae*) is a crop endemic from northeastern of Honduras. Its seeds offer an important carbohydrate source with high potential for use as an agri-food ingredient. The objective of this study was to explore the chemical composition, morphology and technofunctional properties of tiusinte flour, using maize and rice flours as references. The results revealed that tiusinte flour contained high carbohydrate (83.7 g/100 g), protein (11.9 g/100 g) and ash (2.2 g/100 g) contents. Tiusinte starch granules exhibited irregular, ovoid and spherical shapes with sizes between 5 and 20 μm . In terms of functionality, the tiusinte flour exhibited intermediate values for water absorption (WAC), oil (OAC), emulsion properties (EA and ES) and foam stability (FS) compared to references. Moreover, lowest swelling power (SP) values were observed in tiusinte flour, indicating the presence of starch highly resistant to swelling and rupture. Overall, these results highlight the potential of tiusinte as a new source of flour with unique physicochemical and techno-functional characteristics, give it a good development potential in the food industry.

Keywords: *Dioon Mejiae*, proximal analysis, morphology, tecno-functional features

¹ Docente del Departamento Académico de Agroindustria, Campus Choloteca de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. <https://orcid.org/0000-0003-2710-1795> Correo electrónico: caleb.calix@unah.edu.hn

Introducción

Las cícadas representan un grupo de “fósiles vivientes” que una vez fueron las plantas más abundantes de la tierra. Su historia data desde el periodo jurásico (Whitelock, 2002). Además de su larga historia y biología única, las cícadas también son plantas ornamentales de gran interés y valor. Tanto su historia anciana como su rareza en el presente les infieren una gran popularidad en el mundo científico (Haynes & Bonta, 2003). El tiusinte o teocinte (*Dioon mejiae* Standl. & L.O. Williams, Zamiaceae) es una especie de cícada, endémica del noreste de Honduras, donde la mayor densidad de cultivo se localiza en las comunidades de Río Grande y Saguary (Bastias-Montes et al., 2020). Según registros el primer trabajo que estudió al tiusinte data del año de 1950 y fue publicado por Paul standley & Louis O. Williams (Standley & Williams, 1950), abordando antecedentes botánicos, información del cultivo y sobre cómo los indígenas lo utilizaban como fuente de alimento. Actualmente, el tiusinte representa una fuente de alimento que complementa la dieta de maíz y frijol de unos 33,000 hondureños indígenas y mestizos (Bonta et al., 2006). Desde tiempos antiguos los nativos han cosechado los conos femeninos del tiusinte por sus semillas (parecidas a las castañas), las cuales procesan para obtener harina, posteriormente esa harina la convierten en tamales, tortillas y otros productos (Bastias-Montes et al., 2020). Además del uso alimenticio, el tiusinte tiene un fin ornamental, las hojas parecidas a las palmeras se utilizan para diversas ceremonias católicas, decorar altares, coronas funerarias, etc (Bonta et al., 2006). Cabe mencionar que la escasez de estudios científicos acerca del desarrollo de nuevos productos a base de las cícadas, se debe a la arraigada idea de que el consumo de estos puede generar serias enfermedades debido a la presencia de toxinas en

ellas (Bonta et al., 2006; Haynes & Bonta, 2003). J. Haynes & Bonta, (2003), afirman que el tiusinte es venenoso, sin embargo también declaran que el tratamiento de sus semillas mediante lavados y cocción lo hace apto para el consumo humano, aun así recomiendan estudios neurotoxicológicos que lo confirmen. A pesar de la gran relevancia cultural y gastronómica de este cultivo, existe escasa información científica acerca de las propiedades que puede aportar la harina producida a partir de sus semillas. En consecuencia, es necesario que esta harina sea estudiada para obtener y reportar sus propiedades singulares, información necesaria para promover el cultivo, procesamiento y conservación. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar la composición química, morfológica y las características tecnofuncionales de la harina de tiusinte y compararlas con harinas de maíz y arroz. Estos resultados podrían sentar las bases teóricas para futuros estudios sobre su aplicabilidad en el desarrollo de nuevos productos.

Materiales y métodos

Materiales

Las semillas de tiusinte fueron compradas de un mercado local ubicado en la comunidad de Gualaco, Honduras. Cada semilla fue seleccionada mediante criterios de uniformidad de forma, tamaño y color. El proceso de producción de harina a partir de semillas de tiusinte se describe esquemáticamente en la Figura 1. Brevemente, las semillas de tiusinte se lavaron con agua potable, luego se secaron. Posteriormente se molieron y tamizaron. La harina de tiusinte se guardó herméticamente en bolsas de plástico hasta su posterior análisis. La harina de maíz (*Zea Mays* L.) se adquirió mediante la empresa ADPAN (Asturias, España). La harina de arroz índica (*Oryza sativa* L.) fue proporcionada por Herba Ricemills S.L.U. (Valencia, España).



Figura No. 1. Diagrama esquemático para la producción de harina procedente de semillas de tiusinte (*Dioon Mejiae*)

Análisis composicional de las harinas

El análisis composicional de las harinas se determinó siguiendo los métodos oficiales de la AACC: 44-19 (humedad), 30-25 (grasa), 08-12 (ceniza) (AACC, 2000). El contenido de nitrógeno se determinó con un analizador de carbono, nitrógeno

y azufre LECO CNS 928 (LECO Instrumentos S.L., Madrid, España), la cantidad de proteína se calculó usando el factor de conversión de $N \times 6.25$. Los carbohidratos se determinaron por diferencia a 100%. Las calorías y energía se calcularon con las ecuaciones (1) y (2) (Huang, 2020):

$$\text{Calorías} \left(\frac{\text{kcal}}{100\text{g}} \right) = \left[4 \times \text{contenido de proteína} \left(\frac{\text{g}}{100\text{g}} \right) \right] + \left[4 \times \text{contenido de carbohidratos} \left(\frac{\text{g}}{100\text{g}} \right) \right] + \left[9 \times \text{contenido de grasa} \left(\frac{\text{g}}{100\text{g}} \right) \right]$$

Ecuación No. 1

$$\text{Ecuación No. 2} \quad \text{Energía} \left(\frac{\text{kJ}}{100\text{g}} \right) = 4.184 \times \text{Calorías} \left(\frac{\text{kcal}}{100\text{g}} \right)$$

Morfología de las harinas mediante microscopía de barrido electrónico

La morfología de la harina de tiusinte fue determinada mediante un microscopio electrónico de barrido modelo Quanta 200FEG (FEI, Hillsboro, OR, USA), equipado con un detector de rayos X. La muestra se montó sobre una lámina de carbono adhesiva y se recubrió con una capa de oro de 5 nm. La muestra se analizó con un voltaje de aceleración de 4 KeV en modo de bajo vacío, utilizando un detector de electrones secundarios a magnitudes de 1000× y 3000×.

Capacidad de absorción de agua y aceite

La capacidad de absorción de agua (WAC) y aceite (OAC) de las diferentes harinas se determinó mediante el método de centrifugación (Calix-Rivera, Villanueva, et al., 2023). 2 g de la muestra de harina fue mezclado con 20 mL de agua destilada o 20 mL de aceite refinado de maíz. La mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 min, con agitación cada 10 min. Posteriormente se centrifugó (Sorvall ST16R, ThermoFisher Scientific, Alemania) a 3000 ×g durante 30 min. El sobrenadante fue descartado y el precipitado se pesó. WAC y OAC se expresaron como gramo de agua o aceite ligados por gramo de harina en base seca.

Actividad y estabilidad emulsionante

Para la determinación de la actividad (EA) y estabilidad (ES) emulsionante de las harinas se utilizaron los métodos descritos por Náthia-Neves et al., (2023). 7 g de harina fue mezclada con 100 mL de agua destilada y 100 mL de aceite de maíz, la mezcla fue homogeneizada a 1000 rpm durante

1 min, seguidamente la mezcla se centrifugó a 1300 ×g durante 5 min. La EA se determinó como la relación entre el volumen de la emulsión y el volumen total inicial, expresada en porcentaje. La ES se determinó tras someter la emulsión a 80 °C durante 30 min, enfriar a temperatura ambiente y centrifugar a 1300 ×g durante 5 min. La ES se expresó como la relación entre la capa emulsionada y el volumen inicial total y se expresó como porcentaje.

Capacidad y estabilidad espumante

La capacidad (FC) y estabilidad (FS) espumante fueron determinadas usando la metodología descrita por Náthia-Neves et al., (2023). Brevemente, 2 g de harina se mezclaron con 40 mL de agua destilada a 30 °C en una probeta de 100 mL. Para producir espuma, la suspensión se agitó manualmente durante 5 min. El volumen de espuma se midió después de 0 min (V0) y 60 min (V60). La FC se estableció directamente a partir de V0 y fue expresado en mL. La FS se determinó midiendo el volumen de espuma después de 60 min de reposo y se calculó como $(V60/V0) \times 100$, expresándose como porcentaje del volumen de espuma inicial.

Poder de hinchamiento e índice de solubilidad en agua de las harinas

El poder de hinchamiento (SP) y el índice de solubilidad en agua (WSI) de las harinas fueron determinados según los métodos descritos por Calix-Rivera, Villanueva, et al., (2023) con leves modificaciones. 1 g de harina fue mezclada mediante vortex con 10 mL de agua destilada, la suspensión acuosa fue calentada a diferentes temperaturas las cuales oscilaban entre 55 y 95

°C durante 30 min usando un baño de agua. A continuación, las suspensiones calentadas se enfriaron a temperatura ambiente (~25 °C) antes de centrifugarse a 3000 ×g durante 10 min. El sedimento se pesó y el sobrenadante se vertió en una cápsula de evaporación previamente pesada y se secó a 110 °C durante toda la noche para determinar la cantidad de los sólidos disueltos (WSI (g de sólidos solubles/100 g de materia seca de harina) y SP (g de sedimento/g de sólidos insolubles de materia seca de harina)).

Análisis estadístico

Los análisis ANOVA se realizaron con el programa Statgraphics Centurion XIX (Statgraphics Technologies, Inc., Virginia, EE.UU.). Para determinar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras, se aplicó la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Todas las mediciones se realizaron como mínimo por duplicado.

Resultados y Discusión

Análisis proximal

La composición proximal de las harinas analizadas se presentan en la Tabla 1. El contenido de humedad de los productos en polvo es una propiedad crítica para la vida útil, además puede afectar a otras propiedades físicas y químicas. El contenido de humedad de las harinas osciló entre 7.01 y 12.66 g/100 g, con el contenido más bajo para la harina de tiusinte, a pesar de ello todas las harinas estaban dentro del párametro de humedad recomendada para su almacenamiento seguro ($< 14\%$) (Calix-Rivera, Mendoza-Perez, et al., 2023). El contenido de grasa de las muestras mostró el siguiente orden: maíz (4.4 g/100 g) > tiusinte (2.2 g/100 g) > arroz (1.3 g/100 g). Bastias-Montes et al., (2020) reportaron contenidos de grasa ligeramente más bajos para la harina de tiusinte

(1.16 g/100 g), estas diferencias pueden atribuirse a influencias medioambientales, características agronómicas y métodos analíticos utilizados en la determinación (Calix-Rivera, Mendoza-Perez, et al., 2023). A pesar de ello, todas las harinas contenían bajos niveles de grasa ($< 5\%$), lo cuál es un atributo deseable en ellas, ya que demasiada grasa puede dar lugar a una alta posibilidad de enranciamiento, además de influir en el hinchamiento y solubilidad de las harinas. El contenido de proteína fue significativamente mayor ($p < 0.05$) para la harina de tiusinte en comparación con las referencias. El alto contenido en proteínas de la harina de tiusinte (> 6 g/100 g), es prometedor para considerarla una buena fuente proteica y posteriormente incorporarla a la dieta humana. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los contenidos de ceniza. El alto contenido en ceniza (2.20 g/100 g) de la harina de tiusinte denota que este tipo de harina puede ser una fuente importante de minerales (Culetu et al., 2021). El principal componente en la composición de las harinas estudiadas fueron los carbohidratos, compuestos principalmente de almidón (Bastias-Montes et al., 2020). El contenido de carbohidratos exhibido por la harina de tiusinte fue de 83.7 g/100 g, significativamente ($p < 0.05$) menor a los valores presentados por las harinas de maíz (87.0 g/100 g) y arroz (90.4 g/100 g). A pesar de ello la harina de tiusinte presentó mayor cantidad de carbohidratos a los presentados por Culetu et al., (2021) en otras harinas de granos libres de gluten, por ello se puede considerar a las semillas de tiusinte como una importante y novedosa fuente de carbohidratos (Bastias-Montes et al., 2020). En términos de calorías y energía metabolizable, la harina de tiusinte presentó valores similares ($p > 0.05$) a los de las referencias, a su vez estos valores fueron ligeramente mayores a los reportados por Huang, (2020) para harinas de banana y trigo. Por lo tanto, la harina de tiusinte podría utilizarse como un alimento energético para el ser humano.

Tabla No. 1. Análisis proximal de la harina de tiusinte en comparación con las demás harinas sin gluten

Harina	Contenido de humedad	Grasa*	Proteína*	Ceniza*	Carbohidratos*	Calorías (kcal/100 g)	Energía (kJ/100 g)
Tiusinte	7.01 ± 0.05a	2.2 ± 0.7b	11.9 ± 0.1b	2.20 ± 0.08c	83.7 ± 0.9a	402 ± 15a	1683 ± 61a
Maíz	11.96 ± 0.01b	4.4 ± 0.9c	7.5 ± 0.3a	1.14 ± 0.06b	87.0 ± 1.3b	418 ± 21a	1747 ± 86a
Arroz	12.66 ± 0.01c	1.3 ± 0.2a	7.8 ± 0.3a	0.57 ± 0.03a	90.4 ± 0.6c	405 ± 8a	1692 ± 32a

* Los resultados se expresan en g/100 g de muestra en base a materia seca. Los datos presentados son la media ($n = 2$) ± desviación estándar. Los valores dentro de una misma columna con diferentes letras en los superíndices son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Microscopía electrónica de barrido

Las microfotografías electrónicas de barrido (SEM) de la harina de tiusinte son presentadas en la Figura No. 2. El SEM es una técnica utilizada para estudiar la morfología de la superficie, la integridad estructural, así como para determinar el tamaño y la forma de los gránulos de almidón. La harina de tiusinte presentó ciertas sustancias que recubrían los gránulos de almidón, mostrando una apariencia rugosa en ellos, estas sustancias eran principalmente tegumentos, pectinas, celulosa, proteínas, etc. Además, cerca de los gránulos de almidón se pueden visualizar ciertas estructuras irregulares de grán tamaño relacionados principalmente a las fibras, lo cual tiene coherencia al ser una harina procedente de la

molienda integral de la semilla de tiusinte. Los gránulos de almidón de tiusinte variaron en tamaño (entre 5 y 20 μm) y forma (irregulares, ovoidales y esféricos). Estos resultados están en concordancia a los reportados por Bastias-Montes et al., (2020). No se presentaron las microfotografías SEM de las harinas de las otras fuentes botánicas estudiadas, ya que están ampliamente descritos en otros estudios. Li et al., (2023) informaron que los gránulos de almidón del maíz y arroz presentaban formas poligonales y que sus tamaños variaban entre 1 y 20 μm para el almidón de maíz y entre 3 y 5 μm para el almidón de arroz. El tamaño de los gránulos de almidón puede afectar a las propiedades fisicoquímicas, funcionales y digestibilidad de las muestras.

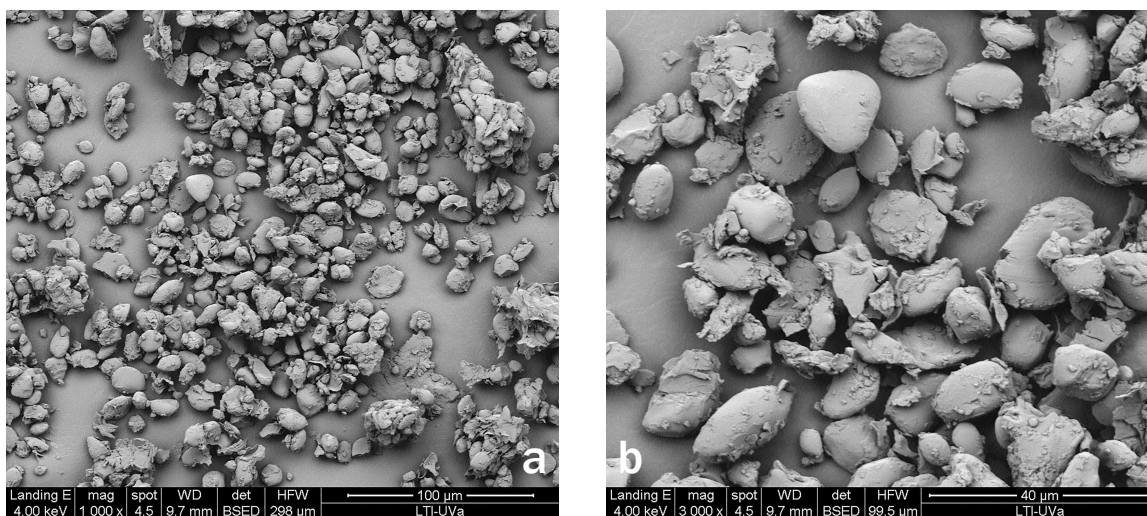


Figura No. 2. Fotomicrografías de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la harina de tiusinte a diferentes aumentos (a): 1000 \times y (b): 3000 \times

Capacidad de absorción de agua y aceite de las harinas

Tabla No. 2. Propiedades tecno-funcionales de la harina tiusinte en comparación con las demás harinas estudiadas

Harina	WAC (g/g)	OAC (g/g)	EA (g/100 g)	ES (g/100 g)	FC (mL)	FS (%)
Tiusinte	1.14 \pm 0.01 ^b	0.98 \pm 0.01 ^b	7.8 \pm 0.9 ^b	7.2 \pm 0.2 ^b	2.75 \pm 0.40 ^b	55 \pm 7 ^a
Maíz	1.34 \pm 0.02 ^c	0.90 \pm 0.01 ^a	47 \pm 1 ^c	15.3 \pm 0.8 ^c	1.57 \pm 0.17 ^a	76 \pm 8 ^b
Arroz	0.98 \pm 0.01 ^a	0.99 \pm 0.01 ^b	0 \pm 0 ^a	0 \pm 0 ^a	1.74 \pm 0.01 ^a	50 \pm 1 ^a

WAC: Capacidad de absorción de agua (g H₂O/g harina en base seca (bs)), OAC: Capacidad de absorción de aceite (g aceite/g harina, bs), EA: actividad emulsionante, ES: estabilidad de la emulsión, FC: capacidad espumante, FS: estabilidad de la espuma. Los datos son la media \pm desviación estándar. Los valores con una letra superíndice en común en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La capacidad de absorción de agua (WAC) y aceite (OAC) de las muestras estudiadas se presentan en la Tabla 2. El WAC es la capacidad que tienen las harinas para retener agua y esta asociado principalmente al contenido de grupos hidrofílicos presentes en las cadenas moleculares de los compuestos mayoritarios (polisacáridos y proteínas) de las harinas (Godswill et al., 2019). Los valores de WAC fueron significativamente diferentes entre las muestras ($p < 0.05$). La harina de tiusinte (1.14 g/g) presentó mayor valor de WAC que la harina de arroz (0.98 g/g), pero menor al de la harina de maíz (1.34 g/g). La variación de los valores de WAC entre las muestras puede deberse a las diferentes concentraciones de proteínas y carbohidratos presentes en ellas, además de las características conformacionales y su grado de interacción con el agua (Godswill et al., 2019). El conocimiento del WAC es necesario para determinar la idoneidad de las harinas al ser incluidas como ingredientes en diversos productos alimenticios donde la viscosidad juegue un papel fundamental (quesos, masa de panes, sopas, salsas, fideos, etc.). La capacidad de absorción de aceite (OAC), es la capacidad de retener físicamente el aceite gracias a la atracción capilar (Singh et al., 2017), mediante la unión de las grasas con las cadenas no polares de las proteínas presentes en la harina. El OAC es una propiedad funcional esencial que contribuye a mejorar la sensación en boca y a conservar el sabor de los productos alimenticios, además de incrementar su valor calórico (Godswill et al., 2019). Las harinas de tiusinte y arroz, presentaron los mayores valores de OAC siendo de 0.98 y 0.99 g/g, respectivamente. En cambio la harina de maíz presentó el valor más bajos de OAC (0.90 g/g). Estas diferencias están relacionadas con la composición de aminoácidos, la polaridad o hidrofobicidad de la superficie y la conformación de las proteínas (Wonglek et al., 2024). La elevada capacidad de retención de aceite de la harina de tiusinte, sugiere que esta harina sería útil en la formulación de alimentos en los cuales se desee una absorción óptima del aceite como: productos de panadería, masas para frituras, salchichas, coberturas batidas, pasteles y bizcochos (Godswill et al., 2019). En general, los resultados mostrados demuestran que la harina de tiusinte puede ser un sustituto ideal a la harina de arroz en productos que se necesiten alta hidratación y a la harina de maíz en productos en los que se requiera mejorar

la palatabilidad, textura, sabor y sensación en boca.

Actividad y estabilidad emulsionante

La Tabla No. 2 nos muestra las propiedades emulsionantes (actividad emulsionante (EA) y estabilidad emulsionante (ES)) de la harina de tiusinte y sus contrapartes de maíz y arroz. Las propiedades emulsionantes de la harina están asociadas a las propiedades tensioactivas de las proteínas, que forman atracciones o repulsiones electrostáticas alrededor de las gotas de aceite (Wonglek et al., 2024). La EA refleja la capacidad de la harina para adsorberse rápidamente en la interfase agua-aceite durante la formación de la emulsión, evitando así la floculación y la coalescencia (Kumar et al., 2017). Los resultados mostraron que la harina procedente de las semillas del tiusinte (7.8 g/100 g) presentó una mayor EA que la harina de arroz (no presentó emulsión), pero su valor fue significativamente ($p < 0.05$) menor a la harina de maíz (47 g/100 g), a pesar de contener un mayor contenido de proteínas, estas diferencias pueden atribuirse a la naturaleza de los distintos tipos de proteína contenidos en las harinas (Wonglek et al., 2024). La ES es la capacidad que tiene el sistema de emulsión formado por la harina para resistir los cambios y alteraciones de sus propiedades fisicoquímicas a lo largo del tiempo (Godswill et al., 2019). Además de la acción de las proteínas, los carbohidratos, como el almidón y la fibra, pueden inferir en la ES al actuar como barreras voluminosas entre las gotas de aceite, impidiendo o ralentizando la velocidad de coalescencia de las gotas de aceite (Wonglek et al., 2024). La ES, presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todas las muestras y similar a lo observado en la EA, la harina de tiusinte presentó valores de ES intermedios a los de sus referencias. Estos resultados indican que la harina de tiusinte posee propiedades emulsionantes interesantes, lo cual expande su potencial uso como un posible agente emulsificante en productos alimenticios (Kaushal et al., 2012).

Capacidad y estabilidad espumante

Las espumas se utilizan para mejorar la textura, la consistencia y el aspecto de los alimentos (Wonglek et al., 2024). La capacidad espumante (FC) y estabilidad de la espuma (FS) de las harinas analizadas se presentan en la Tabla No. 2. Las

proteínas son las principales responsables de la formación de espuma, aunque la presencia de otros compuestos como las grasas pueden intervenir con la red proteica que crea esta estructura (Wonglek et al., 2024). La FC y FS dependen generalmente de la película interfacial formada por las proteínas, que mantiene la suspensión de las burbujas de aire y ralentiza la velocidad de coalescencia (Godswill et al., 2019). La FC de una harina se mide como la cantidad de área interfacial creada al batir una dispersión de harina (Kaushal et al., 2012) y depende de la configuración de las moléculas de proteínas e hidratos de carbono presentes en la matriz (Culetu et al., 2021). Tal como se observa en la Tabla No. 2. La harina de tiusinte presentó el mayor valor de FC de las muestras, siendo casi el doble a sus referencias. La elevada FC de la harina de tiusinte sugiere su idoneidad para ser utilizada en sistemas alimentarios con el fin de mejorar las características de textura y fermentación, como helados, pasteles o coberturas y productos de confitería en los que las propiedades espumantes son importantes (Kaushal et al., 2012). La FS es importante, ya que la utilidad de los agentes de batido depende de su capacidad para mantener la espuma el mayor tiempo posible (Kaushal et al., 2012) y se representa como el porcentaje de volumen de espuma restante transcurrido 1 hora. Los resultados mostrarán que la harina de tiusinte presentó valores de FS similares a la harina de arroz, sin embargo menores a la referencia de maíz. Wonglek et al., (2024) explican que las harinas con un FC elevado podrían formar grandes burbujas de aire rodeadas por una película proteica más fina y menos flexible, susceptible de colapsarse y dar lugar a una menor FS, lo que podría explicar este comportamiento en las propiedades espumantes de la harina de tiusinte.

Poder de hinchamiento e índice de solubilidad en agua de las harinas

El poder de hinchamiento (SP) y el índice de solubilidad en agua (WSI) de las harinas a diferentes temperaturas se ilustran en las figuras 3a y 3b, respectivamente. El SP es la medida de la capacidad del almidón para absorber agua e hincharse ante el calentamiento en exceso de agua, también refleja el alcance de las fuerzas de asociación, así como las interacciones entre las regiones amorfas y cristalinas en los gránulos de almidón (Calix-Rivera, Mendoza-Perez, et al.,

2023). Como se observa en la Figura 3a, todas las harinas mostraron un aumento general del SP a medida que se incrementaba la temperatura. Mientras tanto la muestra de harina de tiusinte exhibió este aumento a partir de los 65 y 75 °C, las harinas de referencia lo exhibieron a menores temperaturas (entre 55 y 65 °C). Este comportamiento está relacionado con la temperatura de gelatinización del almidón de las harinas (Calix-Rivera, Villanueva, et al., 2023). A 55 °C la harina de tiusinte presentó similar valor ($p > 0.05$) de SP que la harina de arroz, en cambio la muestra de maíz, presentó el mayor SP, demostrando una mayor absorción de agua a bajas temperaturas. Por encima de los 75 °C todas las muestras incrementaron significativamente su SP y continuaron aumentando a medida la temperatura alcanzaba los 95 °C. La harina de tiusinte exhibió los perfiles más bajos de SP a las temperaturas de 65 y 75 °C. Sin embargo, a los 85 y 95 °C el SP de la harina de tiusinte no se diferenció significativamente ($p < 0.05$) con la harina de maíz, aunque ambos valores fueron mas bajos que los presentados por la referencia de arroz. Los bajos valores de SP por parte de la harina de tiusinte a todas las temperaturas estudiadas, pueden deberse a la mayor fuerza de unión e integridad de sus gránulos de almidón, lo cual sugiere la presencia de almidón muy resistente al hinchamiento y a la ruptura. La WSI de las harinas esta determinada como la cantidad de partículas solubles en agua presentes en la muestra seca (Calix-Rivera, Mendoza-Perez, et al., 2023). En términos de WSI, todas las harinas mostraron tendencias contrarias al SP. La WSI de las harinas tendió a disminuir a medida aumentaba la temperatura, tal como se puede observar en la Figura 3b. En el caso de la harina de tiusinte la WSI disminuyó desde 6 hasta 3.17 g/100 g, este descenso se vió marcado a temperaturas mayores de 75 °C, concordando claramente con las temperaturas en el que el aumento del SP fue más prominente. Para la muestra de maíz este descenso ocurrió a menores temperaturas (65 °C), disminuyendo de 8.4 a 3.5 g/100 g, y en la muestra de arroz, esta caída no fue tan evidente, sino hasta los 95 °C, disminuyendo hasta un 45% de su valor inicial. La diferencia en la WSI de las harinas está influenciada por diversos factores como: la fuente de procedencia, la cantidad de amilosa, las fuerzas interasociativas entre los dominios amorfo y cristalino, y la

presencia de otros componentes (lípidos, proteínas, fibra y fósforo) (Wonglek et al., 2024). Adicionalmente, el mayor WSI de la muestra de tiusinte en comparación a la de arroz a todas las temperaturas, indica que esta puede utilizarse

para aumentar la cantidad de materiales solubles en productos, tales como el almidón y los aminoácidos, que pueden digerirse fácilmente (Kaushal et al., 2012).

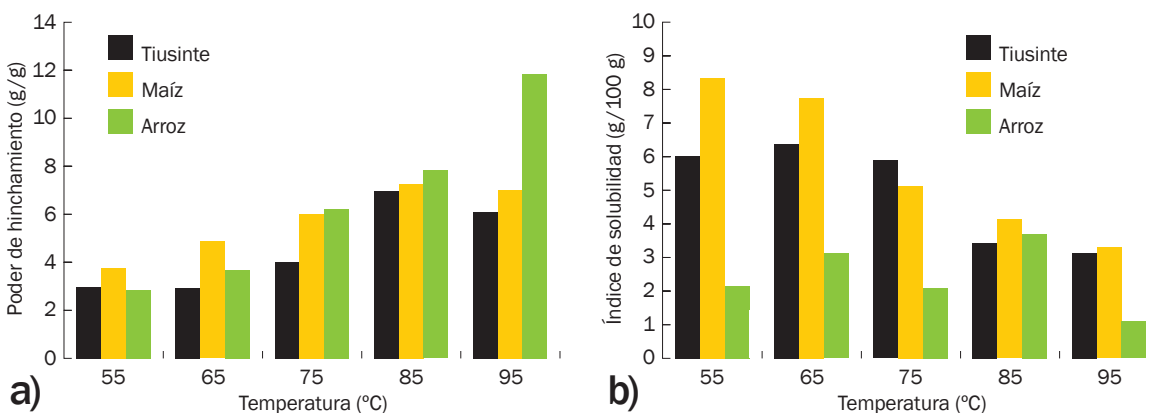


Figura No. 3. Poder de hinchamiento (a) e índice de solubilidad en agua (b) de las harinas

Conclusiones

Los resultados de este estudio revelan que la harina procedente de las semillas de este cultivo ancestral y endémico de Honduras como es el tiusinte (*Dioon Mejiae*) puede ser un ingrediente potencial para el desarrollo de una gran variedad de productos alimenticios. La harina de tiusinte, no solo posee características básicas parecidas a las de las harinas de maíz y arroz, sino que también posee algunas características únicas. La harina de tiusinte presentó valores más altos de proteína y ceniza, comparado con las referencias, lo cual incrementa su perfil nutricional. Los gránulos de almidón de tiusinte presentaron formas irregulares, ovoidales y esféricas con tamaños entre 5 y 20 μm . La harina de tiusinte presentó valores intermedios de WAC, OAC, EA y ES, además de mayor FC, sugiriendo que esta harina puede ser un sustituto ideal a las harinas de maíz y arroz, dependiendo de las necesidades del producto. Adicionalmente, menores valores de SP se observaron en la muestra de tiusinte a todas las temperaturas estudiadas, siendo resultado de una mayor fuerza de unión en sus granulos de almidón. En general, los datos obtenidos ponen de manifiesto el potencial del tiusinte como una nueva fuente de harina con características químicas y funcionales peculiares, lo que lo hace muy versátil para

multitud de aplicaciones en la industria alimentaria, se espera que con este soporte científico se promueva su procesamiento y propagación, siendo una consecuencia directa la preservación del cultivo.

Como recomendación final, la harina de tiusinte no nixtamalizada presenta el inconveniente de la presencia de compuestos nocivos para la salud. Esta limitación restringe considerablemente su aplicación. Es necesario indagar más en la eliminación óptima de estos agentes neurotóxicos, para producir harinas seguras que puedan ser relevantes para su futura aplicación.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo financiero de los proyectos del Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2019-110809RBI00/AEI/10.1303/501100 011033) y de la Junta de Castilla y León/FEDER (VA195P20). Este trabajo ha contado con el apoyo de la Junta de Castilla y León y del programa UE-FEDER (CLU 2019-04-Unidad de Excelencia BIOECOIVA de la Universidad de Valladolid). Se agradece al proyecto Bioplástico EUROSAN/UNAH-TEC Danlí (LA/2019/406-056), al profesor Octavio Rivera-Flores y a las técnicas de laboratorio Karla Martínez y Génesis Nohal Limas por el procesamiento de la harina. El autor

agradece a la Universidad de Valladolid por la beca de doctorado.

Referencias bibliográficas

AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (Issue v. 1-2). AACC.

<https://books.google.es/books?id=xJwQAQAAMA AJ>

Bastias Montes, J. M., Flores Varela, L. E., Reyes Calderón, O. A., Vidal San Martín, C., Muñoz Fariña, O., Quevedo León, R., & Acuña Nelson, S. M. (2020). Teosinte (*Dioon mejiae*) Flour: Nutritional and Physicochemical Characterization of the Seed Flour of the Living Fossil in Honduras. *Agronomy*, 10(4), 481.

<https://doi.org/10.3390/agronomy10040481>

Bonta, M., Flores Pinot, O., Graham, D., Haynes, J., & Sandoval, G. (2006). Ethnobotany and Conservation of Tiusinte (*Dioon Mejiae* Standl. & L.O. Williams, Zamiaceae) in Northeastern Honduras. *Journal of Ethnobiology*, 26(2), 228–257.

https://doi.org/10.2993/0278-0771_2006_26_228_eacotd_2.0.co_2

Calix Rivera, C. S., Mendoza Perez, R. J., Rivera Flores, O., & Ronda, F. (2023). Physicochemical, Hydration and Steady Shear Rheological Properties of Flours Derived From Different Crop Residues From the Honduran Agro–Food Industry. *Bionatura*, 8(3), 1–10.

<https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.03.34>

Calix Rivera, C. S., Villanueva, M., Náthia Neves, G., & Ronda, F. (2023). Changes on Techno-Functional, Thermal, Rheological, and Microstructural Properties of Tef Flours Induced by Microwave Radiation—Development of New Improved Gluten-Free Ingredients. *Foods*, 12(6), 1345. <https://doi.org/10.3390/foods12061345>

Culetu, A., Susman, I. E., Duta, D. E., & Belc, N. (2021). Nutritional and functional properties of gluten-free flours. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(14), 6283.

<https://doi.org/10.3390/app11146283>

Godswill, C., Somtochukwu, V., & Kate, C. (2019). The Functional Properties of Foods and Flours. *International Journal of Advanced Academic Research | Sciences*, 5(11), 2488–9849.

Haynes, J., & Bonta, M. (2003). *Montgomery botanical center Cícadas de Honduras 2003: Informe Final de la Expedición. Reporte inédito remitido a la AFE-COHDEFOR.*

Huang, S. (2020). *Functional Properties of Breadfruit Flour and Its Application in Processed Meat* (Issue September). University of Purdue.

Kaushal, P., Kumar, E., & Sharma, H. K. (2012). Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *LWT - Food Science and Technology*, 48(1), 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.028>

Kumar, V., Sharma, H. K., & Singh, K. (2017). Effect of precooking on drying kinetics of taro (*Colocasia esculenta*) slices and quality of its flours. *Food Bioscience*, 20, 178–186.

<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.10.003>

Li, K., Zhang, T., Zhao, W., Ren, H., Hong, S., Ge, Y., & Corke, H. (2023). *Characterization of starch extracted from seeds of Cycas revoluta*. May, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1159554>

Náthia Neves, G., Calix Rivera, C. S., Villanueva, M., & Ronda, F. (2023). Microwave radiation induces modifications in the protein fractions of tef flours and modulates their derived techno-functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(August), 126908.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126908>

Singh, A., Sharma, S., & Singh, B. (2017). Influence of grain activation conditions on functional characteristics of brown rice flour. *Food Science and Technology International*, 23(6), 500–512.

<https://doi.org/10.1177/1082013217704327>

Standley, P. C., & Williams, L. O. (1950). *Dioon Mejiae*, A new cycad from Honduras. *Ceiba*, 1, 36–38.

Whitelock, L. M. (2002). *The Cycads*. Timber Press. <https://books.google.es/books?id=Cqor3asUllcC>

Wonglek, S., Jaikaew, C., Ogawa, Y., & Singh, J. (2024). Characterization of flours from some underutilized carbohydrate sources of Thailand for potential food applications. *LWT*, 199(April), 116079.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116079>