

Caracterización proximal de maíz cultivado con riego de agua residual y temporal Proximal characterization of corn cultivated with reclaimed water and rainfed irrigation

L. Valencia-Hernández ^a, C. Camacho-López ^a, C. Romo-Gómez ^{a,*}, A. Castañeda-Ovando ^a,
E. Contreras-López ^a O. A. Acevedo-Sandoval ^a

^a Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los cereales más representativos de México, y es considerado parte fundamental de la alimentación mexicana, aportando aproximadamente un 50% de proteína y algunos nutrientes como grasas insaturadas, fibra dietética y minerales que complementan la dieta diaria. La calidad nutricional, depende de algunos factores como la genética y el ambiente de cultivo. En el estado de Hidalgo se cultiva este cereal con diferentes tipos de agua: riego de aguas residuales sin tratar o tratamiento deficiente y como cultivo de temporal. El objetivo del presente estudio fue evaluar granos de maíz utilizando riego con agua residual y agua de temporal, a fin de analizar si existen diferencias nutricionales. El grano de maíz con mayor valor nutricional fue el proveniente de siembra de temporal de las localidades de Benito Juárez y Atotonilco el Grande (MT-BJ y MT-AG), dado que se cuantificó la mayor cantidad de proteína. Mientras que el grano de maíz con menor valor nutricional es el de las localidades de Atitalaquia y Benito Juárez (MR-A y MR-BJ).

Palabras Clave: *Zea mays L.*, Maíz, Caracterización proximal, Nutricional.

Abstract

Corn (*Zea mays L.*) stands as one of Mexico's most emblematic cereals and is deemed a pivotal component of the Mexican diet, contributing roughly 50% of protein content along with essential nutrients such as unsaturated fats, dietary fiber, and minerals that complement daily intake. Nutritional quality is subject to genetic and environmental factors, including cultivation practices. In Hidalgo state, this cereal is grown with different types of water: irrigation with untreated or poorly treated wastewater and as a rainfed crop. The objective of this study was to evaluate corn grains using irrigation with wastewater and rainwater, in order to analyze whether there are nutritional differences. Corn grain exhibiting superior nutritional value originated from rainfed farming in the localities of Benito Juárez and Atotonilco el Grande (MT-BJ and MT-AG), evidencing higher protein content. Conversely, maize grain displaying inferior nutritional value was identified in the localities of Atitalaquia and Benito Juárez (MR-A and MR-BJ).

Keywords: *Zea mays L.*, Corn, Proximate Characterization, Nutritional.

1. Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los cereales más representativos de México, actualmente, se han reportado 64 razas, de las cuales 59 son consideradas nativas y el resto son alóctonas (Vázquez *et al.*, 2023; CONABIO, 2022). De acuerdo a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Hidalgo, México (SEDAGRO-H, 2021), el estado de Hidalgo ocupa el lugar número 12 a nivel nacional en la producción de maíz, aportando el 2.6 % de la producción total. Cabe mencionar que los 84 municipios que conforman al estado de

Hidalgo cultivan maíz, de modo que, el principal productor a nivel estatal es el municipio de Tezontepec de Aldama, seguido por Mixquiahuala de Juárez y San Salvador (SEDAGRO-H, 2021).

Zea mays L. es considerado parte fundamental de la alimentación mexicana, aportando aproximadamente un 50 % de proteína y algunos nutrientes como grasas insaturadas, fibra dietética y minerales que complementan la dieta diaria (Chan-Chan *et al.*, 2021). Sin embargo, la calidad nutricional de este cereal depende de algunos factores como la genética y el ambiente de cultivo (Mex-Álvarez *et al.*, 2016). En

*Autor para la correspondencia: claudiar@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: va419069@uaeh.edu.mx (Lorena Valencia-Hernández), cesar_camacho@uaeh.edu.mx (César Camacho-López), claudiar@uaeh.edu.mx (Claudia Romo-Gómez), ovandoa@uaeh.edu.mx (Araceli Castañeda-Ovando), elizac@uaeh.edu.mx (Elizabeth Contreras-López), acevedo@uaeh.edu.mx (Otilio Acevedo-Sandoval).

diferentes lugares el suministro de agua para cultivos proviene de dos fuentes, de agua residual (cultivo de riego) o de lluvia (cultivo de temporal) jugando un papel muy importante en el desarrollo del maíz. Es conocido que en la mayoría de los cultivos de riego se utilizan aguas residuales sin tratar o con un tratamiento deficiente, lo que pone en riesgo la salud humana y al medio ambiente. Dado que, las aguas residuales proveen microorganismos tóxicos y otros elementos contaminantes orgánicos e inorgánicos como los iones nitrato, nitrito, metales pesados, compuestos orgánicos, entre otros (Díaz y Peña-Alvares, 2017; Rubio-Franchini *et al.*, 2016; Sarabia Meléndez *et al.*, 2011). Por otro lado, los cultivos de temporal dependen de las precipitaciones de la región y son directamente afectados por la variación de lluvias, las que se han visto intensificadas por los efectos del cambio climático. De hecho, en años recientes, se han presentado fenómenos climatológicos extremos como ondas de calor, sequías prolongadas, lluvias torrenciales y granizadas que dañan a todos los cultivos y disminuyen su rendimiento (Montiel - González *et al.*, 2019). El-Hassanin *et al.* (2020), menciona que, en los cultivos de riego con agua residual, la calidad y seguridad del producto obtenido se ve afectada por la constante exposición de las plantas como el maíz a contaminantes altamente tóxicos. El riego constante de cultivos de maíz con agua residual contaminada, es un problema que puede afectar directamente a la salud pública de las personas que consumen este cereal, dados los efectos de biomagnificación que se pueden presentar. Atitalaquia, Hidalgo es una zona en donde el uso de agua residual para riego agrícola inició en el año de 1978 (SEMARNAT, 2020), y se fue incrementando a medida que transcurrió el tiempo tanto las áreas de riego, acarreado tanto beneficios económicos como problemas ambientales, como la proliferación de lirio acuático, plaga de mosquitos, contaminación por contaminantes orgánicos e inorgánicos (Garduño-Jiménez *et al.*, 2023), por citar algunos. Por otro lado, depender de cultivos donde el principal suministro de riego son las precipitaciones anuales, representa un reto, dados los constantes cambios del clima, causados por el calentamiento global. Además, se pueden presentar diferencias nutricionales y de rendimientos de cultivos, comparado con los sistemas de riego. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar granos de maíz utilizando riego con agua residual y agua de temporal, a fin de analizar si existen diferencias nutricionales.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

Se tomaron muestras de maíz de parcelas de riego y temporal, provenientes de las localidades de Atitalaquia, Atotonilco el Grande y Benito Juárez en el Estado de Hidalgo, México, todas las muestras fueron de la producción del año 2023. En la localidad de Atitalaquia (MR-A) las muestras provinieron de cultivos de riego. En la localidad de Benito Juárez (BJ), municipio de San Agustín Tlaxiaca, se tomaron muestras tanto de cultivo de riego (MR-BJ) como de temporal (MT-BJ). En Atotonilco el Grande (MT-AG) las muestras se tomaron de cultivos de temporal. Es importante mencionar que, en Atotonilco el Grande y Benito Juárez, las

principales actividades son agrícolas, comparado con el municipio de Atitalaquia en donde existe una importante actividad industrial, y estar rodeado del corredor industrial, en donde se encuentran la refinería Miguel Hidalgo y la Central Termoeléctrica de ciclo combinado de Tula de Allende.

2.2 Análisis proximal

Para el análisis proximal de cada una de las muestras de maíz se trituraron 150 gr de grano seco y se mantuvieron en refrigeración hasta el análisis de cada parámetro, los granos fueron considerados de acuerdo a la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

2.2.1 Humedad

La determinación de humedad se realizó de acuerdo al método establecido por el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-211-SSA1-2002. Se tomaron 3 gramos (P_0) de maíz previamente triturado y se llevaron a 105 °C por 4 horas en recipientes de aluminio. Los recipientes se mantuvieron a peso constante, previo a ser utilizados con el maíz. Posteriormente, se tomó el peso de la muestra a temperatura ambiente (P_f). El porcentaje de humedad se obtuvo mediante la Ecuación 1.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_0 - P_f}{P_0} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2 Análisis de ceniza

Para la determinación de cenizas se siguió la metodología descrita en la NMX-F-607-NORMEX-2020. Para ello, se colocaron 3 g de muestra (m) en un crisole, puesto previamente a peso constante (P_0) de 20 mL y se colocaron en una estufa mufla (marca Thermo Scientific, modelo Lindberg/Blue) a 550 °C por 6 horas. Después de transcurrir el tiempo se colocaron las muestras en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente para registrar el peso (P_f) y calcular el porcentaje de cenizas de acuerdo con la Ecuación 2.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_f - P_0}{m} \times 100 \quad (2)$$

2.2.3 Determinación de grasa cruda

La determinación de grasa se realizó por el método Soxhlet, siguiendo la norma NMX-F-615-Normex-2018, se tomaron 4 g (m) de maíz completamente seco, se colocaron en 130 mL de éter de petróleo en un matraz bola previamente pesado (P_0) bajo calentamiento y recirculación con agua durante 4 h. Se recuperó el solvente en un rotavapor, manteniendo la muestra a 65 °C por 1 h. Posteriormente, la muestra fue pesada a temperatura ambiente y se registró el peso (P_f). Para el cálculo del porcentaje de grasa se empleó la Ecuación 3. El resultado obtenido está expresado en base seca.

$$\% \text{ Grasa cruda} = \frac{P_f - P_0}{m} \times 100 \quad (3)$$

2.2.4 Determinación de proteína cruda

La determinación de proteína se realizó por el método Kjeldahl, descrito en la norma NMX-F-608-NORMEX-2011. Esta determinación se llevó a cabo en tres etapas: digestión, destilación y valoración. En la digestión se colocaron 70 mg de muestra seca y desgrasada con 3 mL de solución digestiva en tubos para digestión. Composición de la solución digestiva: 0.3 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2O destilada, H_3PO_4 y H_2SO_4 concentrado 2, 5 y 43 mL, respectivamente. Los tubos fueron colocados en un digestor Kjeldahl marca SEV-PRENDO[®], modelo DIK-12, a 370 °C durante 15 min. Después de transcurrido el tiempo, se añadieron 1.5 mL de H_2O_2 a temperatura ambiente y se colocaron nuevamente en el digestor a 370 °C, hasta que la solución se tornó de color azul verdoso. Esto último fue indicativo del final de la digestión. La destilación se realizó en un analizador de proteína automático Kjeldahl marca BIOBASE[®], donde se colocaron 60 mL de NaOH 6.25 M en tubos con muestra previamente digerida durante 6 min. El destilado resultante fue mezclado con 50 mL de solución indicadora, con la siguiente composición: 5 g H_3BO_3 , 35 mg de indicador A (50 mg de fenoltaleína disueltos en 50 mL de etanol) y 10 mg de indicador B (33 mg de verde de bromocresol con 66 mg de rojo de metilo disueltos en 100 mL de etanol). Finalmente, se realizó una valoración de la solución resultante con HCl, 0.1 N hasta alcanzar el cambio de color del indicador (café rojizo). En todos los casos se corrió un blanco para eliminar cualquier interferencia.

La determinación del porcentaje de proteína se realizó mediante las Ecuaciones 4 y 5. El resultado obtenido es en base seca.

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{(P - B) \times N \times \text{meq} \times 100}{m} \quad (4)$$

$$\% \text{Proteína} = \% \text{Nitrógeno} \times F \quad (5)$$

Donde: *P*, es el volumen gastado en la valoración de la muestra (mL), *B*, es el volumen gastado en la valoración del blanco (mL); *N*, es la normalidad del HCl; meq, son los miliequivalentes de nitrógeno (0.014); *m*, es el peso de la muestra (g) y *F*, el factor de conversión (6.25).

2.2.5 Determinación de fibra cruda

La determinación de fibra se llevó a cabo realizando una digestión ácida y una digestión básica. Para la digestión ácida se pesaron 3 g de muestra seca y desgrasada. Se adicionaron 200 mL de H_2SO_4 al 1.25% a 40 °C y se digestó a reflujo constante durante 30 min. La solución resultante fue filtrada empleando tela de lino. El residuo (muestra de maíz), fue lavado 3 veces con 50 mL de agua destilada a 50 °C, eliminando el exceso de agua. Para la digestión básica se recuperó el material previamente filtrado y se adicionaron 200 mL de solución de NaOH 0.004 M, a 40 °C. Se digestó con refrigerante a reflujo constante durante 30 min. Al finalizar, la solución resultante fue filtrada con tela de lino. El residuo se lavó con 25 mL de solución de H_2SO_4 al 1.25% a 40 °C y con 50 mL de agua destilada a 75 °C, en tres

ocasiones. Finalmente, el residuo se deshidrató con 25 mL de etanol al 95% (NOM-F-90-S-1978). La muestra (*m*) retenida en el filtró de tela de lino se colocó en un crisol de porcelana previamente puesto a peso constante (en un horno durante 1 hora a 100 °C y posteriormente, fue retirada y pesada a temperatura ambiente (P_1)). El contenido del crisol fue incinerado a 550 °C por 6 h. Pasado este tiempo, fue retirado y pesado a temperatura ambiente (P_2). El porcentaje de fibra cruda se obtuvo mediante la Ecuación 6 (se corrige tomando en cuenta el porcentaje de humedad y grasa):

$$\% \text{Fibra cruda} = \frac{P_2 - P_1}{m} \times 100 \quad (6)$$

2.2.6 Determinación de carbohidratos

El porcentaje de carbohidratos se estimó mediante la Ecuación 7.

$$\% \text{Carbohidratos} = 100 - (\% \text{humedad} + \% \text{cenizas} + \% \text{grasas} + \% \text{proteína} + \% \text{fibra}) \quad (7)$$

3. Resultados y Discusión

Los resultados de la composición de humedad, ceniza, grasa, proteína, fibra y carbohidratos de las cuatro muestras de maíz (Tabla 1).

Los resultados de porcentaje de humedad de las muestras de maíz de MR-A, MR-BJ y MT-BJ no superaron el límite establecido de la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, donde se menciona que el porcentaje de humedad debe ser menor o igual a 14% en el grano de maíz. El resultado obtenido permite prolongar el tiempo de vida útil del grano para su almacenamiento y conservación. Sin embargo, el porcentaje de humedad en el maíz MT-AG superó el 14 % establecido por la norma, indicando que hace más susceptible al maíz a la proliferación de plagas y hongos y, por ende, su descomposición temprana, lo que disminuye su valor comercial y posibilidad de distribución (Chan-Chan *et al.*, 2017; Valdéz *et al.*, 2016).

En el maíz proveniente de cultivos de riego, los resultados del porcentaje de humedad obtenido fueron muy similares entre sí, pues los valores se encontraron alrededor del 11 % (Tabla 1), mientras que en muestras provenientes de siembra temporal se encontraron diferencias de más del 50 %. La diferencia de humedad es atribuida al suministro de agua durante su cultivo, debido a que en el cultivo de riego la disponibilidad de agua para la planta es constante y en la de temporal varía y depende del clima de procedencia del maíz. Asimismo, el grano de MT-AG representó los valores más altos (18.23 ± 0.02) y MT-BJ más bajo (8.75 ± 0.04) de las cuatro localidades de procedencia del maíz.

Se ha reportado que cuando los granos de maíz no son almacenados correctamente, suelen absorber oxígeno y consumir carbohidratos de su estructura, liberando calor, lo

cual provoca mayor respiración del grano, que se ve reflejada en variaciones de humedad relativa del grano (Valdés *et al.*, 2016). En este sentido, el maíz MT-AG, donde el porcentaje de humedad fue del 18.23 %, se obtuvo el porcentaje de carbohidratos más bajo de las 4 muestras de maíz estudiadas (Tabla 1).

Los resultados de humedad obtenidos en el presente estudio fueron mayores a lo reportado por Chan-Chan *et al.* (2021) y Mex-Álvarez *et al.* (2016) como se muestra en la Tabla 1. Solo la humedad obtenida del maíz MT-BJ fue similar a la del maíz predecesor de Chichen Itzá y predecesor Sac Béh, analizados por Chan-Chan *et al.* (2021), que provinieron de un cultivo temporal y nativo de la región.

Los resultados del porcentaje de cenizas de las muestras estudiadas de maíz de diferentes zonas y sistemas de riego de Hidalgo (Tabla 1) fueron similares entre sí, ya que todos los porcentajes obtenidos estuvieron entre 1.06 y 1.33 ± 0.12 %. El mayor porcentaje se obtuvo en la muestra MT-BJ con 1.33 ± 0.12 %, seguida por MR-BJ con 1.22 ± 0.10 %, MT-AG con 1.09 ± 0.03 % y finalmente la muestra MR-A, donde se obtuvo el valor menor de 1.06 ± 0.01 %. Los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron ligeramente menores que lo reportado por Mex-Álvarez *et al.* (2016) y Chan-Chan *et al.* (2021), en donde obtuvieron porcentajes entre 1.29 % y 1.50 %. Cabe mencionar que, el contenido de cenizas representa la cantidad de materia inorgánica en el grano de maíz, que se compone de los minerales como calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio y en menor cantidad hierro, manganeso, cobre y zinc. La presencia de estos minerales en el grano depende de algunos factores como el tipo de suelo, la frecuencia con la que se suministran fertilizantes y las condiciones climáticas de la zona de siembra (Mex-Álvarez *et al.*, 2016; Cázares-Sánchez *et al.*, 2015). Los resultados presentados en la Tabla 1 muestran que no se observaron diferencias significativas en los porcentajes de ceniza entre los granos de maíz analizados. Esto sugiere que los tipos de riego y las regiones de siembra no afectaron el contenido de ceniza de los granos.

En cuanto al contenido de grasa en el grano de maíz temporal proveniente de Benito Juárez (MT-BJ) y Atotonilco el Grande (MT-AG), ambos granos mostraron un mayor porcentaje de grasa con resultados de 5.01 ± 0.17 y 3.69 ± 0.09 %, respectivamente; mientras que en las muestras restantes el porcentaje estuvo por debajo del 3.3 %. Libron *et al.* (2021), mencionan que el contenido de grasa en maíz oscila entre el 3 al 6 % y granos con porcentaje mayor al 5 %, pueden ser utilizados en el mejoramiento de especies de maíz con alto contenido de aceite, así como de actividad antioxidante. Al realizar la comparación con lo reportado por Chan-Chan *et al.* (2021), quienes mencionan que el porcentaje de grasa obtenido de las variedades de grano de Predecesor Chichén Itzá y Predecesor Sac Béh fue de $5.01 \pm$

0.04 y 5.05 ± 0.08 %, respectivamente, estos resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio.

Los resultados presentados en la Tabla 1 indican que los granos de maíz de riego provenientes de Atitalaquia (MR-A) y Benito Juárez (MR-BJ) exhiben los porcentajes más bajos de grasa, con valores de 3.27 ± 0.03 % y 2.19 ± 0.38 %, respectivamente. En general, el contenido de grasa en los granos de maíz analizados en este estudio es inferior al reportado por Chan-Chan *et al.* (2021) y Mex-Álvarez *et al.* (2016). Diversos factores pueden influir en el contenido de grasa en el grano de maíz, destacando el germen y la capa de aleurona como las principales áreas de acumulación. Este contenido varía en función del genotipo o variedad del grano, el tipo de siembra, y el uso de fertilizantes o compostas elaboradas a partir de materia orgánica. Además, el contenido de grasa se ve afectado durante las etapas de desarrollo vegetativo y la floración del cultivo (Oliva-Llaven *et al.*, 2019; Mex-Álvarez *et al.*, 2016).

En relación con el contenido de proteína, los granos de maíz provenientes de Atotonilco el Grande (MT-AG) y Benito Juárez (MT-BJ), cultivados con riego temporal, mostraron los mayores porcentajes de proteína, con valores de 7.97 ± 0.24 % y 7.42 ± 0.07 %, respectivamente. En contraste, los granos cultivados con riego de agua residual presentaron los menores porcentajes de proteína. Se ha reportado que el grano entero de maíz contiene entre 6 y 12 % de proteína, localizada principalmente en el endospermo y el germen. Sin embargo, el maíz es deficiente en lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para los humanos (Libron *et al.*, 2021; Broa *et al.*, 2019 y Bello-Pérez *et al.*, 2016).

Los granos de maíz analizados en el presente estudio muestran un contenido de proteína menor en comparación con los reportados por Chan-Chan *et al.* (2021) y Mex-Álvarez *et al.* (2016), donde el promedio del porcentaje de proteína superó el 6.7 %. Sin embargo, Mex-Álvarez *et al.* (2016) también informaron que el contenido de proteína en muestras de maíz morado y maíz rojo varió entre 5.42 % y 7.92 %, lo que es consistente con los resultados obtenidos en este estudio.

La cantidad de proteína determina la dureza del grano de maíz, pero esto a su vez depende del genotipo, medio ambiente y condiciones de cultivo, como es el caso de las muestras provenientes de siembra de riego (MR-A, MR-BJ), donde se obtuvo un menor porcentaje de contenido proteínico en comparación con las muestras provenientes de siembra temporal (MT-AG, MT-BJ). El maíz es considerado como una de las fuentes esenciales de proteína en la dieta de la población mexicana, debido a que provee de componentes estructurales y enzimas para el ser humano (Libron *et al.*, 2021).

Tabla 1: Análisis proximal de maíz con riego con agua residual y temporal proveniente de localidades de Atitalaquia, Benito Juárez y Atotonilco el Grande, Hidalgo.

Los resultados obtenidos del contenido de fibra en este estudio, muestran que los granos regados con agua residual proveniente de Benito Juárez (MR-BJ) y Atitalaquia (MR-A), presentaron el mayor porcentaje de contenido de fibra con 3.29 ± 0.09 y 3.11 ± 0.16 %, respectivamente. En general, en el contenido de fibra no hubo una diferencia importante, esto, porque los resultados de los granos provenientes de riego temporal de Benito Juárez (MT-BJ) y Atotonilco el Grande (MT-AG) fueron de 3.10 ± 0.06 % y 2.54 ± 0.32 %. Chan-Chan *et al.*, (2021) y Mex-Álvarez *et al.* (2016), reportaron resultados similares, puesto que obtuvieron contenidos de fibra en granos de maíz en un rango de 2.42 y 7.79 %.

Según Libron *et al.* (2021), el contenido de fibra es un indicador importante de la cantidad de materia no digerible en los alimentos, compuesta por pentosanos, ligninas, celulosa y algunas bases nitrogenadas. La fibra juega un papel crucial en la regulación de los niveles de azúcar en sangre y en la conversión de carbohidratos en azúcares, contribuyendo a la saciedad y a la regulación del apetito.

Un factor que se debe considerar en la determinación de cantidad de fibra soluble e insoluble es la madurez del grano de maíz. La fibra soluble se encuentra en el pericarpio, aleurona y pared celular del endospermo, asociado principalmente a arabinosilanos, mientras que la fibra insoluble se encuentra en el pericarpio y se encuentra en mayor proporción en granos de maíz (Rodríguez *et al.*, 2023; Villanueva, 2019; Bello-Pérez *et al.*, 2016). Las muestras de maíz de este estudio, presentaron contenidos de fibra mayores al 3 %, por lo que es necesario estudiarse más a fondo en relación con el mejoramiento de variedades de maíz con alto contenido de fibra y alta actividad antioxidante, de acuerdo con Libron *et al.* (2021).

En cuanto al porcentaje de carbohidratos, los resultados obtenidos en este estudio muestran que los granos de maíz de Atotonilco el Grande (MT-AG) presentó el menor porcentaje, con 66.47 %. En el resto de las muestras analizadas los contenidos de carbohidratos fueron superiores al 70%. Estos resultados sugieren una variabilidad significativa en el contenido de carbohidratos entre las distintas localidades de cultivo, destacando a Atotonilco el Grande como la muestra con el menor contenido en comparación con los demás sitios estudiados.

De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2023), los carbohidratos representan hasta el 76% del peso seco del grano, mayoritariamente formado por almidón, el cual influye en las propiedades nutricionales y funcionales del maíz (Bello-Pérez *et al.*, 2016 y Mex-Álvarez *et al.*, 2016). El bajo contenido de carbohidratos está directamente relacionado con el contenido de almidón, lípidos y proteína. Entre menor sea el contenido de carbohidrato del grano de maíz, mayor será el contenido de lípidos y proteínas (Alamilla-Beltrán *et al.*, 2022; Chan-Chan *et al.*, 2021). En este sentido, en las muestras de maíz provenientes de siembra de temporal de Atotonilco el Grande y Benito Juárez se obtuvieron menores porcentajes de carbohidratos, por lo que la siembra de temporal enriqueció mayoritariamente al grano de proteínas y no de carbohidratos.

Por todo lo anterior, de las muestras de maíz estudiadas, el grano con menor valor nutricional es el proveniente de cultivo de riego con aguas residuales (MR-A y MR-BJ), dado que presentó un menor porcentaje de grasa y proteínas, pero mayor contenido de carbohidratos. Mientras que el maíz con mayor valor nutricional fue el proveniente de siembra de temporal de Benito Juárez (MT-BJ) y Atotonilco el Grande (MT-AG), puesto que se obtuvieron los mayores porcentajes de proteína y menores porcentajes de carbohidratos. En el caso del contenido de fibra y cenizas, no hubo diferencias significativas entre todas las muestras de grano estudiadas. Los resultados sugieren que, debe considerarse mantener la producción de maíz mediante cultivos de temporal y promover el cuidado del medio ambiente para revertir los efectos del cambio climático, los cuales repercuten en los patrones de precipitación en las regiones de siembra, contribuyendo al mayor uso de riego con agua residual.

4. Conclusiones

El análisis de los granos de maíz reveló que aquellos provenientes de siembra de temporal en las localidades de Benito Juárez (MT-BJ) y Atotonilco el Grande (MT-AG) presentan el mayor valor nutricional. Estos granos exhibieron los porcentajes más altos de proteína y los más bajos de carbohidratos, en comparación con otros grupos. La variabilidad en la composición proximal de los granos de maíz se puede atribuir a factores como el genotipo, la especie y la disponibilidad de agua para riego. La calidad y disponibilidad del agua de riego juegan un papel crucial en el contenido de proteína del maíz.

En contraste, los granos de maíz obtenidos de siembra bajo riego en los municipios de Atitalaquia (MR-A) y Benito Juárez (MR-BJ) mostraron un valor nutricional inferior, con los menores porcentajes de grasa y proteína, así como los mayores niveles de carbohidratos.

Estos resultados sugieren que la siembra de maíz de temporal ofrece mayores beneficios nutricionales en comparación con la siembra bajo riego. Además, el uso de agua residual para el riego no solo no mejora el valor nutritivo del grano, sino que también plantea riesgos potenciales para la salud de los consumidores debido a la posible bioacumulación de contaminantes presentes en el agua residual.

En conclusión, se recomienda continuar con la producción de maíz mediante cultivos de temporal y promover prácticas de manejo ambiental sostenibles para obtener granos de mayor valor nutricional y asegurar la salud de los consumidores.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONACYT por el proyecto 301060.

Referencias

Alamilla-Beltrán, L., Buera, M. D. P., Camacho-Díaz, B. H., Gabilondo, J. (2022). Subproductos agroindustriales y recursos autóctonos.

- Procesamiento y técnicas de análisis. Ediciones INTA, EEA San Pedro. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/11770>
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, G. A., Agama-Acevedo, E., Utrilla-Coello, R. G. (2016). Nutraceuic aspects of pigmented maize: Digestibility of carbohydrates and anthocyanins. *AGROCIENCIA*, 50(8), 1041–1063. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30249305008>
- Broa, R. E., Vázquez, C. M. G., Estrella, C. N. G., Hernández, S. J. H., Ramírez, V. B., Bahena, D. G. (2019). Características fisicoquímicas y calidad de la proteína de maíces nativos pigmentados de Morelos en dos años de cultivo. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 683–697. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.481>
- Cázares-Sánchez, E., Chávez-Servia, J. L., Salinas-Moreno, Y., Castillo-González, F., Ramírez-Vallejo, P. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1), 15–30. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236850002>
- Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 23(2), 11–21. Doi: <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334>
- CONABIO. (2022). Razas de maíz de México. *Biodiversidad Mexicana*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- Díaz, A. & Peña-Álvarez A. (2017). A Simple Method for the Simultaneous Determination of Pharmaceuticals and Personal Care Products in River Sediment by Ultrasound Assisted Extraction Followed by Solid-Phase Microextraction Coupled with Gas Chromatography–Mass Spectrometry. *Journal of Chromatographic Science*. 55(9), 946–953 Doi: 10.1093/chromsci/bmx058.
- El-Hassanin AS, Samak MR, Abdel-Rahman GN, Abu-Sree YH, Saleh EM. (2020). Risk assessment of human exposure to lead and cadmium in maize grains cultivated in soils irrigated either with low-quality water or freshwater. *Toxicol Rep*. 29(7), 10–15. Doi: 10.1016/j.toxrep.2020.12.006. eCollection 2021.
- Garduño-Jiménez, A-L., Durán-Álvarez, J-C., Ortori, C-A., Abdelrazig, S., Barrett, D.A., Gomes, R.L. (2023). Delivering on sustainable development goals in wastewater reuse for agriculture: Initial prioritization of emerging pollutants in the Tula Valley, Mexico. *Water Research*, 238, 119903. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119903>.
- Libron, J. A. M., Cardona, D. E. M., Mateo, J. M. C., Beltran, A. K. M., Tuano A. P. P., Laude, T. P. (2021). Nutritional properties and phenolic acid profile of selected Philippine pigmented maize with high antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 101, 103954. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103954>
- Mex-Álvarez, R. M. J., Garma-Quen, P. M., Bolívar-Fernández, N. J., Guillén-Morales, M. M. (2016). Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del Estado de Campeche (México). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 74–80. [https://www.itson.mx/publicaciones/rln/Documents/v12-n2-4-an%C3%A1lisis-Proximal-y-Fitoqu%C3%ADmico-de-Cinco-Varietades-de-Ma%C3%ADz-del-Estado-de-Campeche-\(M%C3%A9xico\).pdf](https://www.itson.mx/publicaciones/rln/Documents/v12-n2-4-an%C3%A1lisis-Proximal-y-Fitoqu%C3%ADmico-de-Cinco-Varietades-de-Ma%C3%ADz-del-Estado-de-Campeche-(M%C3%A9xico).pdf)
- Montiel-González, C., Gallegos, Á., Ortega Gómez, A. M., Bautista, F., Gopar-Merino, F., Velázquez, A. (2019). Análisis climático para la agricultura de temporal en Michoacán, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 307–316. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1972>
- NMX-F-607-NORMEX-2020; NORMEX. Alimentos. Determinación de Cenizas en Alimentos—Método de Prueba.
- NMX-F-608-NORMEX-2011. Alimentos-determinación de proteínas en alimentos-método de ensayo.
- NMX-F-615-Normex-2018. Alimentos. Determinación de extracto etéreo (Método soxhlet) en alimentos.
- NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano –cereales- parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – Especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-90-S-1978. Alimentos. Determinación de fibra cruda en alimentos.
- Oliva-Llaven, M. Á., Palacios-Pola, G., Abud-Archila, M., Hernández-Solis, J. A., Ruiz-Valdiviezo, V. M., Gutierrez Miceli, F. A. (2019). Nutritional characteristics of maize cultivated with vermicompost. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 407–413. Doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.534>
- PROY-NOM-211-SSA1-2002. Métodos de prueba fisicoquímicos. Determinación de humedad y sólidos totales en alimentos por secado en estufa.
- Rodríguez, P. G., García, R. A., Reynaga, F. F. de J., Mendivil, M. J. E., Salazar, H. F. J., Hidalgo Ramos, D. M. (2023). Composición fisicoquímica en granos de maíz morado mejorado (*Zea Mays* L.) en el sur de Sonora, como alternativa funcional a la salud humana. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1). Doi: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.567>
- Rubio-Franchini, I., López-Hernández, M., Ramos-Espinosa, M.G., Rico-Martínez, R. (2016). Bioaccumulation of Metals Arsenic, Cadmium, and Lead in Zooplankton and Fishes from the Tula River Watershed, Mexico. *Water Air Soil Pollut* 227, 5. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2702-1>
- Sarabia-Meléndez, I. F., Cisneros-Almazán, R., Aceves de Alba, J., Durán García, H. M., Castro Larragoitia, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 103–113. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/25009>
- SEDAGRO-H. (2021). Maíz. <http://indicadores.sedagrohidalgo.site/compendio/>
- SEMARNAT, 2020. Región Atitalaquia-Tula-Apaxco: Hacia un modelo de restauración ecológica. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/538909/22_TulaD.pdf (Consultada 13/04/2024)
- Valdés, B. Y., Durañona, H., Roca, A. R. (2016). The effect of temperature and humidity on maize grains conservation in metal silos. *Cultivos tropicales*, 37(4), 105–114. Doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13900.21127>
- Vázquez, M. G., Toledo, R., Aragón, F., Salinas, Y., Palacios, N., Santiago, D. (2023). From maize to tlayuda, a traditional big-flat leathery tortilla. Effect of two nixtamalization processes on some physicochemical and nutraceutical properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 31, 100661. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100661>
- Villanueva, F. R. M. (2019). Fibra dietaria: una alternativa para la alimentación. *Ingeniería industrial*, 037, 229–242. Doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2019.n037.4550>