

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.567>

Composición fisicoquímica en granos de maíz morado mejorado (*Zea Mays L.*) en el sur de Sonora, como alternativa funcional a la salud humana

Physicochemical composition of improved purple corn (*Zea Mays L.*) grains in southern Sonora, as a functional alternative to human health

Gilberto Rodríguez Pérez

gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2297-8598>

Tecnológico Nacional de México - Valle del Yaqui

Ciudad Obregón - México

Alejandro García Ramírez

alejandro.gr@vyaqui.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5719-8412>

Tecnológico Nacional de México - Valle del Yaqui

Ciudad Obregón - México

Felipe de Jesús Reynaga Franco

felipe.rf@vyaqui.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8474-7763>

Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui

Ciudad Obregón - México

Jaime Edzael Mendivil Mendoza

jmendivil.mendoza@itvy.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2562-7550>

Tecnológico Nacional de México - Valle del Yaqui

Ciudad Obregón - México

Francisco Javier Salazar Huerta

francisco.sh@vyaqui.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México - Valle del Yaqui

Ciudad Obregón - México

Dreyli Maygualida Hidalgo Ramos

dmaygualida@itvy.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8797-7284>

Tecnológico Nacional de México - Valle del Yaqui

Ciudad Obregón - México

Artículo recibido: 08 de abril de 2023. Aceptado para publicación: 14 de abril de 2023.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

En México, el maíz es considerado el cultivo más importante, el 88% es sembrado de maíz blanco, 11% amarillo y 1% de diferente color, los maíces azules o morados son ricos por sus propiedades nutrimentales al contener antocianinas caracterizándoles como especiales para el consumo humano. La mayoría de los estudios de propiedades fisicoquímicas en México han sido de maíces nativos; sin embargo existen estudios limitados en maíces pigmentados mejorados, por este motivo se planteó como objetivo de esta investigación caracterizar las propiedades fisicoquímicas en híbridos de maíz morado en el sur de Sonora, se evaluaron 19 híbridos y un


maíz criollo en campo, una vez cosechado el experimento, la semilla se evaluó en el laboratorio de alimentos del TecNM-Valle del Yaqui, las variables evaluadas fueron: peso de mil granos, peso hectolítrico, índice de flotación, grasa, cenizas, fibra, proteínas, carbohidratos y antocianinas: Los resultados mostraron diferencias estadísticas en todas las variables, los híbridos 19, 14, 7, 16 y 18 obtuvieron mayor PMG, PH fueron de textura más cristalina, en los caracteres químicos los híbridos 16, 6, 14, 19 y 12 presentaron mayor proporciones de fibra, proteínas, antocianinas y carbohidratos, por lo contrario los híbridos 19 y 8 obtuvieron mayores rangos de grasas y cenizas respectivamente.

Palabras clave: maíces nativos, maíz morado, caracteres fisicoquímicos, antocianinas

Abstract

In Mexico, corn is considered the most important crop, 88% is planted with white corn, 11% yellow and 1% of a different color, blue or purple corns are rich for their nutritional properties as they contain antho-cyanins, characterizing them as special for the human consumption. Most of the studies of physicochemi-cal properties in Mexico have been of native maize; However, there are limited studies on improved pig-mented maize, for this reason, the objective of this research was to characterize the physicochemical prop-erties of purple maize hybrids in southern Sonora, 19 hybrids and one Creole maize were evaluated in the field. , once the experiment was harvested, the seed was evaluated in the food laboratory of TecNM-Valle del Yaqui, the variables evaluated were: thousand grain weight, hectoliter weight, flotation index, fat, ash, fiber, protein, carbohydrates and anthocyanins: The results showed statistical differences in all the varia-bles, hybrids 19, 14, 7, 16 and 18 obtained higher PMG, PH were more crystalline in texture, in the chemical characters hybrids 16, 6, 14, 19 and 12 presented higher proportions of fiber, protein, anthocya-nins and carbohydrates, on the contrary, hybrids 19 and 8 obtained higher ranges of fat and ash respec-tively.

Keywords: native corn, purple corn, physicochemical characters, anthocyanins

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons . 

Como citar: Rodríguez Pérez, G., García Ramírez, A., Reynaga Franco, F. de J., Mendivil Mendoza, J. E., Salazar Huerta, 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), 4327–4340. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.567>

COMPOSICIÓN FISCOQUÍMICA EN GRANOS DE MAÍZ MORADO MEJORADO (*ZEAMAYS L.*) EN EL SUR DE SONORA, COMO ALTERNATIVA FUNCIONAL A LA SALUD HUMANA

Por su importancia económica y social, el maíz es el cultivo de mayor producción en el mundo (Rouf-Shah *et al.*, 2016). En México, es considerado el más importante, dado que se obtuvieron 27.5 millones de toneladas; el 88% fue de maíz blanco, 11% amarillo y 1% de color (SIAP, 2021). El 65% de la producción en México se obtiene con maíces nativos, los cuales son de una amplia adaptación a condiciones agroclimáticas muy diversas, además, por sus características como el color, sabor y textura son muy apreciados para la elaboración de tortillas, tamales, atoles, totopos y otras comidas tradicionales mexicanas, tal es el caso de los maíces pigmentados (azul, negro, rojo, morado entre otros colores) (Urías-Lugo *et al.*, 2015). Los maíces nativos poseen características fisicoquímicas importantes que al consumirlos aportan nutrientes favorables en el consumo humano principalmente; a pesar de ello, el mejoramiento genético ha ido modificando las características fisicoquímicas con el paso de los años para tener mejores propiedades; sin embargo, en México existen pocos estudios de maíces pigmentados mejorados de estas propiedades en aportaciones a la salud, que son una alternativa funcional para el consumo humano (López-Morales *et al.*, 2019).

Estos genotipos de maíz morado o azul poseen una rica fuente de polifenoles como son las antocianinas. Datos recientes indican que el maíz azul contiene antocianinas monoméricas (Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017), el maíz azul o morado nativo ha sido parte importante de la dieta mexicana, sobre todo por su perfil de antocianinas y propiedades anticancerígenas (Delucchi *et al.*, 2019). La composición fisicoquímica en granos de maíz azul es un factor que debe considerarse en la selección de nuevos genotipos por su impacto en la actividad biológica, y por sus potenciales aplicaciones para el tratamiento de enfermedades como el cáncer. Por esta razón, es importante realizar investigaciones para evaluar la aplicación potencial de los fitoquímicos del maíz azul (Bello-Pérez *et al.*, 2016; Aguilar-Hernández *et al.*, 2019), así como la calidad proteínica (García-Campos *et al.*, 2020); sin embargo, se cuenta con información limitada de características físicas y químicas de maíces mejorados o conocidos como híbridos, que se han ido formando en el programa de mejoramiento en los últimos cinco años por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el pigmento es el resultado de mayores concentraciones de antocianina, un antioxidante que ha sido relacionado con un menor riesgo de padecer cáncer. El maíz de color azul se puede utilizar para generar productos alimentarios especiales o para usos industriales; por ejemplo, esos colores naturales son extraídos para usarlos al fabricar otros productos alimentarios con el propósito de posicionarlos en las industrias demandantes (Alegria-Marroquín *et al.*, 2020).

Las proporciones de las características fisicoquímicas del grano de maíz dependerá del genotipo, así como los métodos de selección implementados por el genetista (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2018). Los genotipos sobresalientes con características fisicoquímicas pueden aprovecharse en procesos como nixtamalización que es fundamental para mejorar el valor nutricional del maíz, en específico los de color por sus propiedades antioxidantes (Wang y White, 2019; Roque-Maciel *et al.*, 2016).

El cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en el sur de Sonora es el segundo cultivo de mayor importancia, después del trigo, donde el 97% de la producción corresponde a maíces de color blanco, a pesar de que se cuentan con híbridos mejorados de empresas transnacionales con estabilidad de rendimiento (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2018); sin embargo, los maíces de color azul o morados pueden ser una opción en Sonora dado que no existen registros ni programas de mejoramiento de maíces pigmentados, que pueden ser una alternativa para establecer siembras por sus rendimientos aceptables pero mayormente por sus propiedades antioxidantes que contienen. Por esta razón, surge la importancia de promover siembras y realizar innovaciones agrícolas en

el manejo agronómico del maíz morado que puedan contribuir con buena productividad, además de las condiciones edafoclimáticas que se presentan en el sur de Sonora son idóneas, lo cual es un indicador importante para introducir materiales competitivos en rendimiento y calidad nutrimental, e incrementar significativamente la producción de grano de este tipo de maíces pigmentados.

No obstante, la importancia de este tipo de maíz actualmente sigue siendo escasa la información sobre las características físicas y químicas en México, es por ello que el objetivo de este estudio fue de caracterizar las propiedades fisicoquímicas en maíces mejorados de color azul como una alternativa biológica en el consumo humano en el sur de Sonora, México.

MÉTODO

Desarrollo del experimento

Se utilizaron 19 híbridos (Tabla 1) de color morado y un maíz criollo como testigo, se realizaron los análisis fisicoquímicos en el laboratorio de alimentos del TecNM-Valle del Yaqui, las variables evaluadas fueron: peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH), índice de flotación (IF), cenizas, grasa, fibra, proteínas, carbohidratos y antocianinas.

Tabla 1

Genealogía de híbridos de maíz de color morado utilizado en el TecNM-Valle del Yaqui, en el sur de Sonora, México

HÍBRIDO	GENEALOGÍA	TEXTURA	HÍBRIDO	GENEALOGÍA	TEXTURA
1	Testigo maíz azul criollo	dentado	11	BLST002TC-1349/1351	semidentado
2	BLST006TC-1031/1029	semicristalino	12	BLST003TC-1413/1417	semidentado
3	BLST011TC-1539/1543	semidentado	13	BLST006TC-1055/1051	dentado
4	BLST011TC-1559/1557	semicristalino	14	BLSTA3WTC-1593/1597	semicristalino
5	BLST002TC-1325/1323	dentado	15	BLST007TC-1147/1143	semicristalino
6	BLSTA3WTC-1587/1591	semicristalino	16	BLST007TC-1139/1137	semicristalino
7	BLSTA3WTC-1581/1585	semicristalino	17	BLST003TC-1397/1395	semidentado
8	BLST008TC-1273/1269	dentado	18	BLST008TC-1255/1257	semicristalino
9	BLST007TC-1163/1165	semicristalino	19	BLSTA3WTC-1577/1575	cristalino
10	BLST002TC-1333/1329	semidentado	20	BLST008TC-1265/1263	dentado

Análisis fisicoquímicos

Para el peso de 1000 granos (PMG), se realizó por triplicado mediante el conteo de mil granos, posteriormente fueron pesados en una báscula digital, al final el dato se expresó en gramos. Para peso hectolítrico (PH) se utilizó la metodología de la American Association of Cereal Chemists (AOAC, 2012), se dividió el peso de los granos entre el volumen del recipiente y fue relacionado al volumen de 100 L, las mediciones se realizaron con 10 repeticiones utilizando 200 gramos por genotipo, el dato fue expresado en kg hL⁻¹.

El índice de flotación, se preparó una solución de azúcar refinada al 67%, agregando agua al vaso de plástico con 580 ml, después se pesaron 670 g de azúcar refinada agitando constantemente con una cuchara de plástico, el volumen total de esta solución fue de un litro, para esta variable se seleccionaron y pesaron 100 granos sanos de cada híbrido, posteriormente se adicionaron 500 mL de la solución de azúcar en un recipiente de un litro, posteriormente se introdujeron los 100 granos en la solución para agitar tres veces a la derecha y tres a la izquierda, dejándose reposar por 30 segundos para que algunos granos flotarán y otros fueran al fondo del recipiente. Por último, se colectaron los granos flotantes con una malla con perforaciones, para ser depositados en un colador y cuantificarlos, así mismo, se contaron los granos que cayeron al fondo del recipiente, la dureza se determinó de acuerdo a la referencia de (CIMMYT, 2016).

El contenido de proteína cruda se calculó a partir del nitrógeno total utilizando el método de Kjeldhal. La digestión se realizó con ácido sulfúrico concentrado y en la destilación se utilizó hidróxido de sodio al 40%. Para la titulación se utilizó una solución valorada de ácido sulfúrico, método oficial de la (AOAC, 2012).

La determinación de grasa se realizó por triplicado de acuerdo con el método 923.03 de la AOAC (2012). Las extracciones se realizaron en muestras de 1 g de harina que se pasaron a través de una malla 80 (0.180 mm). Se utilizó un equipo Soxhlet System HT 1043, con éter de petróleo como disolvente.

El análisis de cenizas se realizó en una mufla según la AOAC (2012) con temperaturas de 550°C. Se utilizó un crisol a masa constante, se colocaron de 3 a 5 g de muestra de grano molido de los genotipos, después en un crisol se pusieron en una parrilla para quemarse lentamente el material hasta que ya no desprende humo, evitando que se proyectara fuera del crisol. Posteriormente, el crisol se llevó a una mufla y se efectuó la calcinación completa. Por último, se dejó enfriar en la mufla, transfiriendo al desecador para su completo enfriamiento y se determinó la masa del crisol con cenizas utilizando la siguiente fórmula para los cálculos: % de cenizas = $(P-p)/M \times 100$, donde: P = masa del crisol con las cenizas en gramos, p = masa del crisol vacío en gramos M = masa de la muestra en gramos.

Los carbohidratos se determinaron por diferencia, restando a 100 los porcentajes calculados para cada nutriente, los valores se expresaron en g kg⁻¹.

La determinación de fibra se basó en el método de digestión ácida y alcalina de 2.0 g de muestra desgrasada. La muestra se transfirió a un vaso de 600 ml para evitar la contaminación con la fibra de papel, se agregó 1.0 g de asbesto preparado y 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% hirviendo. Posteriormente se giró el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes. Después se retiró el vaso y se filtró, posteriormente se lavó el residuo varias veces hasta que las aguas del lavado presentaran un pH igual al agua destilada. Al final, se calcinó a 600 °C durante 30 minutos para enfriar y determinar su masa, la fórmula que se aplicó fue: % de fibra = $(A-B) / C \times 100$; donde: A = crisol con la muestra seca; B = peso del crisol y C = gramos de la muestra.

Antocianinas totales, se usó el método de Abdel–Aal et al. (2006) y modificado por Salinas et al. (2013). La absorbancia del extracto metanólico de la muestra se midió en un espectrofotómetro (Perkin–Elmer Lambda 25) a 520 nm. Se elaboró una curva patrón de cianidina 3–glucósido (Extrashintasa, FR) para expresar el contenido de antocianinas totales en mg equivalentes de cianidina 3–glucósido (ECG) kg⁻¹ de muestra seca.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza completos al azar con tres repeticiones y en las variables que presentaron diferencias significativas, se procedió a realizar la comparación de medias diferencia mínima significativa (DMS) $P \leq 0.05$. Así mismo, se realizó la correlación entre los caracteres fisicoquímicos. Para la generación de los datos, se utilizó en software SAS, versión 9.4 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS

En la Tabla 2, el análisis de varianza indicó diferencias significativas en los 20 híbridos en todas las variables en estudio. Los efectos que contribuyeron más a la variación total entre los híbridos de acuerdo a los cuadrados medios del error fueron en PMG e IF. Los coeficientes de variación fluctuarán entre 9.14 a 13.76%, lo que representa el 90.86% y 86.24% de precisión de que el experimento fue conducido de manera eficiente. En las variables químicas hubo diferencias estadísticas significativas entre los híbridos.

Tabla 2

Análisis de varianza (cuadrados medios) en híbridos de maíz morado de las propiedades fisicoquímicas de grano en el sur de Sonora, México

FV	GL	PMG (g)	PH (Kg hL ⁻¹)	IF (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (g)	Proteína (g)	Carbohidratos (g)	Antocianinas (g)
Híbrido	19	8172.87**	17.12**	2637.0**9	17.14**	0.18**	0.41**	1.94**	298.32**	149.45**
Error	95	1.44	0.03	0.42	0.044	0.002	0.08	0.004	0.34	0.06
Total	119	2639.61	5.55	852.58	5.57	0.06	0.26	0.63	98.25	48.29
Media		317.67	79.02	59.43	12.37	1.40	2.07	8.01	59.45	57.60
CV (%)		12.84	12.35	10.92	17.11	12.04	14.48	18.23	16.98	14.32

FV= fuentes de variación, GL= grados de Libertad, PMG= peso mil granos, PH= peso hectolitrico e IF=índice de flotación.

Los híbridos que destacaron con mejores promedios en PMG y PH (Tabla 3) fueron: 7, 14 y 19, esto debido a que, presentaron mayores pesos de mil granos y peso hectolítrico. Durante el experimento las temperaturas promedio oscilaron en los 26°C, no se presentaron bajas temperaturas y el experimento se condujo en sistema de riego por gravedad. Los resultados indican que los híbridos 7, 14 y 19 en PMG son considerados como mejores por sus valores mayores a 300 g, en PH obtuvieron pesos entre 80 y 83 Kg hL⁻¹, superiores al resto de los híbridos, los datos registrados de estos híbridos en PMG y PH, se encuentran dentro de los valores establecido por la norma NMX-034-2002 de 300 g y 80 Kg hL⁻¹; a su vez el testigo nativo o criollo obtuvo promedios inferiores y fue de una textura muy suave.

Tabla 3

Comparación de medias (DMS) en híbridos de maíz morado evaluados, de las propiedades fisicoquímicas de grano en el sur de Sonora, México

Hibrido	PMG (g)	PH (Kg hL ⁻¹)	IF (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (g)	Proteína (g)	Carbohidratos (g)	Antocianinas (g)
1	220.62 s	74.82 q	97.66 ab	10.25 l	1.03 p	1.44 h	6.48 o	41.26 p	42.41 lmn
2	328.66 i	78.65 i	59.36 ghi	12.03 h	1.35 i	2.21bcd	8.14 hi	62.01 h	56.16 efg
3	285.67 n	77.37 l	85.67 de	10.73 k	1.56 f	2.09 bcde	6.86 n	48.43 m	53.94 ghij
4	309.14 l	80.64 f	40.66 klmn	11.68 i	1.38 h	1.98 bcdefg	8.42 fg	60.82 i	57.86 ef
5	232.33 r	75.88 p	95.36 bc	16.26 b	1.73 bc	1.59 fgh	7.11 m	51.83 l	52.26 ijk
6	322.68 j	79.89 g	52.33 hijk	11.49 ij	1.28 j	2.42 ab	8.21 h	64.02 g	55.54 ghij
7	406.69 a	81.95 bc	25.33 qrst	17.46 a	1.22 kl	2.04 bcdef	8.66 d	68.73 d	68.67 a
8	242.82 q	76.34 o	99.67 a	8.97 n	1.86 a	1.73 defgh	6.96 n	45.59 n	51.08 ijk
9	351.61 e	81.68 cd	32.15 opq	13.93 e	1.16 o	1.65 efgh	8.49 ef	65.26 f	61.54 cd
10	349.26 f	79.39 h	75.67 ef	12.68 g	1.42 h	1.91 cdefgh	8.34 g	63.39 g	59.38 def
11	316.14 k	76.56 no	81.26 e	11.23 j	1.65 d	1.54 gh	7.23 l	54.65 k	54.59 ghij
12	345.34 g	78.23 j	64.67 fgh	12.44 g	1.49 g	2.31 abc	8.14 i	57.13 j	60.32 cde
13	276.36 o	76.98 m	91.45 cd	8.18 o	1.75 b	2.22 bc	7.29 l	43.32 o	44.32 klm
14	369.69 c	82.53 a	18.45 rs	15.19 c	1.13 n	2.46 ab	9.06 b	73.01 b	64.76 bc
15	264.33 p	80.11 g	46.68 ijkl	13.32 f	1.08 o	2.42 ab	8.61 d	67.35 e	63.74 bcd
16	349.34 f	81.48 de	14.33 rst	13.73 e	1.19 lm	2.47 ab	9.47 a	75.17 a	66.97 ab
17	335.68 h	77.71 k	71.43 efg	13.15 f	1.24 k	1.83 cdefgh	7.82 j	57.68 j	56.98 efg
18	357.67 d	81.25 e	38.33 lmno	14.46 d	1.73 c	2.72 a	8.55 de	66.17 f	62.68 cd
19	398.68 b	82.18 b	12.45 rstu	9.75 m	1.18 m	2.46 ab	8.79 c	71.26 c	65.72 bc
20	293.15 m	76.76 mn	88.69 e	10.48 k	1.61 e	1.89 cdefgh	7.66 k	52.03 l	52.93 ijk
DMS (0.01)	1.98	0.3	1.07	0.34	0.02	0.49	0.11	0.97	0.41
Desv St	52.2	2.4	29.6	2.4	0.3	0.4	0.8	10.0	7.1

PMG= peso mil granos, PH= peso hectolitrico e IF=índice de flotación.

En el índice de flotación (IF) (Tabla 3), los híbridos 8, 5, 1 y 13 presentaron granos muy suaves, debido a sus valores superiores a 90, en la clasificación de suave (rango entre 63 a 87) se agruparon los híbridos 12, 17, 10, 11 y 3, ambas agrupaciones (50% de los híbridos) son especiales para la elaboración de tortillas. En el rango de 38 a 62 se agruparon los híbridos 2, 17, 10, 11 y 3, los cuales son considerados como textura intermedia; por otra parte, los híbridos 16, 14, 7 y 9 resultaron ser de textura dura y el híbrido 19 quien obtuvo 12 granos flotantes se considera de textura muy dura, estos últimos cinco híbridos por su textura de dura a muy dura son especiales para la elaboración de frituras, o cereales como corn flakes. Para la industria alimentaria pueden ser aprovechados por distintas opciones para su uso, ya sea para consumo de elotes, tortillas, cereales, totopos o cualquier otro subproducto, dado que estos maíces mejorados por sus pigmentos y ser antioxidantes son favorables para consumo por sus propiedades funcionales.

En cuanto a cenizas (Tabla 3), presentaron diferencias en promedios muy marcadas entre los híbridos y el testigo, destacando los porcentajes superiores de cenizas en los híbridos 8, 13, 5 y 18% cuyos valores fueron entre 1.70 a 1.81%, mientras que el testigo tuvo 1.03% quedando en último lugar. En proteínas, el 60% de los híbridos (16, 14, 19, 7, 15, 18, 9, 4, 10, 6, 2 y 12) mostraron una ligera diferencia de 1.35%, con promedios entre 8.0 y 9.45%; siete híbridos y el testigo obtuvieron porcentajes inferiores al 8% de proteína. Existió una similitud entre los contenidos de fibra, grasa y carbohidratos, donde los híbridos con valores superiores fueron en 18, 16, 14, 19 y 7.

La concentración más alta de carbohidratos (Tabla 3) en esta investigación se registró con los híbridos 19, 14 y 16, los cuales tuvieron 71.26, 73.01 y 75.08% respectivamente, mientras que el testigo obtuvo 41.26%. Del contenido de antocianinas totales presentaron una distribución similar respecto de su media, lo que reveló que hubo una diferencia marcada entre los híbridos y el testigo, el 50% se posicionó por arriba de la media, con valores superiores a 57.0 g el resto obtuvieron promedios inferiores respecto hasta un 42.41 g.

En cuanto a las correlaciones entre caracteres físicos con químicos (Tabla 4), mostraron asociación positiva entre PMG con PH, grasa y antocianinas; PH se asoció más con IF, grasa, cenizas, proteínas, carbohidratos y antocianinas; IF tuvo asociación con todas las variables químicas. Respecto a las correlaciones entre las variables químicas, se observó que grasa tuvo mejor asociación con cenizas, proteína, carbohidratos y antocianinas; cenizas solamente se asoció con proteínas, carbohidratos y antocianinas; proteínas con carbohidratos y antocianinas.

Tabla 4

Correlación entre propiedades fisicoquímicas en granos de híbridos de maíz morado en el sur de Sonora, México

	PH	ÍF	Grasa	Cenizas	Fibra	Proteína	Carbohidratos	Antocianinas
PMG	0.81	0.79	0.92	0.72	0.78	0.77	0.79	0.80
PH		0.96	0.86	0.91	0.61	0.93	0.92	0.88
IF			0.87	0.82	0.61	0.92	0.93	0.84
Grasa				0.85	0.75	0.81	0.87	0.93
Cenizas					0.62	0.87	0.91	0.84
Fibra						0.64	0.71	0.72
Proteína							0.96	0.89
Carbohidratos								0.93

DISCUSIÓN

La significancia encontrada entre híbridos fue debido a la expresión genética de cada uno de ellos, tal como afirma Broa et al. (2019). La media de los valores de grasa, cenizas, fibra, proteínas, carbohidratos y antocianinas estuvieron por arriba de los rangos que se presentan en maíces criollos (Bautista-Ramírez et al., 2019). Esta diferencia se atribuye a la expresión genética entre los híbridos, ya que son de diferente origen de la manera en que se formaron en cuanto a sus progenitores.

Broa et al. (2019) señalan que el peso de mil granos y el peso hectolítrico son variables indicadoras del potencial de rendimiento de grano que posee un grupo de híbridos, a la vez Martínez-Martínez, (2019) mencionaron que PH y PMG pueden ser afectados por siembras tempranas o tardías, el uso eficiente de agua, así como por temperaturas altas o bajas. De acuerdo con la clasificación por CIMMYT (2016), maíces con valores altos de PMG y PH tienden a tener buena calidad, esto también lo confirman Alegría-Marroquín et al. (2020), quienes concluyeron que aquellos genotipos de maíz de mayor peso hectolítrico y peso de mil granos, son apropiados para tener buena calidad física y por consiguiente mejor propiedad en la harina para elaborar productos como tortillas, totopos. García-Campos et al. (2020), también mencionaron que entre mayor PMG y PH tiende a obtener mayor rendimiento de grano y mejor calidad.

De acuerdo con la clasificación de CIMMYT (2016), refiere que los granos entre 88 y 100 que tienden a estar flotando se consideran muy suaves, aquellos granos entre 63 a 87 son de textura suave.

De acuerdo a la NMX-F-046-S-1980 el rango de cenizas en maíces azules debe ser menor a 2%; García-Campos et al. (2020) reportaron que en maíces azules criollos tienen a tener porcentajes entre 1.38 a 1.68% de cenizas, dado los resultados obtenidos en esta investigación todos los híbridos están dentro de este rango, excepto el testigo, no obstante, los híbridos con porcentajes superiores en cenizas son permisibles de obtener harinas para elaborar diferentes subproductos como tortillas, totopos, tlacoyos, cereales, etc. Por otra parte, estas diferencias en el contenido de cenizas pudieran deberse a los fertilizantes utilizados y factores ambientales (Mex-Álvarez et al., 2016). Un maíz de buena calidad no debe contener arriba de 2.0% de cenizas; valores por arriba indican contaminaciones por calcio, sal y la poca limpieza durante la cosecha y recolección de las muestras (Vázquez-Carrillo et al., 2018; Martínez-Martínez et al., 2019).

García-Campos et al. (2020) mencionaron que porcentajes superiores al 8.0% en maíces de color favorecen la actividad biológica que conlleven a la prevención de diferentes enfermedades crónico-degenerativas por sus contenidos nutrimentales. Por otra parte, Alegría-Marroquín et al. (2020); (Wang y White, 2019), hicieron referencia que los maíces criollos de color azul tienden a obtener promedios entre 8.85 y 11.50% de proteínas, esto conlleva que los híbridos en este estudio son una alternativa en el sur de Sonora, ya que aporta porcentajes de proteínas aceptables, sin embargo, establece que el contenido de proteína presente en los maíces puede ser favorecido por factores climáticos y edáficos durante el desarrollo del cultivo, en este caso, las temperaturas no sobrepasaron los 26°C lo que permitió que obtuvieran porcentajes aceptables (CONAGUA, 2021). Bello-Pérez et al. (2016); Peña et al. (2017) y Larkins, (2019) mencionaron que el contenido de proteínas está determinado también por la dureza del grano de maíz, y éstos varían de acuerdo al genotipo; por lo anterior, los híbridos 16, 14 y 19 también presentaron una textura de grano suave a muy suave, lo que confirman Bello-Pérez et al. (2016). Por lo que puede explicar que la variación existente en el contenido de proteína entre los híbridos fue debido a la constitución genética de cada uno de ellos (Roque-Maciél et al., 2016).

En la composición química de fibra, grasa y carbohidratos, Vázquez-Carrillo et al. (2018) mencionaron que las razas de maíces de color azul con endospermo cristalino y semicristalino influyen más en el contenido de estos parámetros que los maíces con endospermos suaves o dentados, esta referencia concuerda ya que los híbridos son de textura de grano intermedia a cristalina; por otra parte, Salinas et al. (2013), encontraron mayores contenidos de grasa y fibra en los maíces pigmentados en comparación del maíz blanco y amarillo por arriba de 2.3% y 1.9g.

Los carbohidratos representan alrededor del 76% del peso seco del grano, aunque genotipos de maíces azules o morados presenta variantes hasta un 84% (Alegría-Marroquín et al., 2020). Los porcentajes de carbohidratos presentes en grano de maíces morados puede ser afectado por la expresión genética del genotipo, el medio ambiente y por las condiciones de desarrollo del cultivo, en esta investigación se encontraron porcentajes inferiores a lo mencionado anteriormente. A pesar que en México los maíces pigmentados se utilizan para el autoconsumo en la elaboración de diferentes subproductos, principalmente en tortillas, sería importante continuar con investigaciones y siembras de estos híbridos en el sur de Sonora para complementar la parte nutricional (Maldona-do-Astudillo et al., 2021).

Los valores observados en la concentración de antocianinas se debe a que hubo menor variabilidad en el contenido de antocianinas que en características agronómicas del grano lo que puede ser atribuible al número de genes presentes del genotipo, estos resultados tienen similitud con lo referido por Aguilar-Hernández et al. (2019), donde mencionaron que los contenidos de antocianinas y características físicas de grano varían en sus porcentajes y contenidos de acuerdo al genotipo y el medio ambiente en que estos se evalúen. En México se han realizado diferentes estudios en maíces pigmentados; sin embargo, los genotipos utilizados han sido maíces criollos, que son de bajos rendimientos de grano, pero con aportaciones nutrimentales como las antocianinas, esto deriva que los híbridos 7, 16 y 19 especialmente por haber obtenido mayores rendimientos se pueden sembrar en el Sur de Sonora como una alternativa desde el punto de vista nutrimental, más por la cercanía con Estados Unidos, cuyo mercado de los alimentos nutraceuticos y alimentos funcionales se ha incrementado como resultado de la demanda de estos tipos de maíces especiales por parte de los consumidores.

En lo concerniente a la correlación entre caracteres fisicoquímicos se puede considerar que al consumir este tipo de maíces azules pueden obtener beneficios fisiológicos en la presión arterial, latido cardíaco, niveles de triglicéridos, inflamación intestinal (Yokoyama et al., 2007). Por otra parte, al consumir alimentos derivados de maíces de color azul pueden prevenir algunas enfermedades cardiovasculares, la diabetes y cáncer. Esto hace que la ingesta continua de este tipo de maíz en niños, adolescentes y adultos mayores puedan beneficiarse saludablemente por sus propiedades nutrimentales (Urango, 2018).

CONCLUSIONES

Los híbridos 7, 14, 19 y 7 obtuvieron mayor PMG, PH; los híbridos 19 y 16 fueron de endospermo duro, 19 y 16 fueron de textura suave, para los caracteres químicos los híbridos 16, 6, 12, 14 y 19 contribuyeron más en fibra, proteínas, carbohidratos y antocianinas; sin embargo, los híbridos 1, 20 y 15 tuvieron valores inferiores en grasas y cenizas, estos híbridos presentan alternativas favorables para el consumo de maíz morado debido a sus propiedades químicas en cualquier subproducto elaborado ya que favorecerá la parte nutrimental a personas en específico en el sur de Sonora.

REFERENCIAS

Abdel-Aal, E.S.M. P., Young, J.C. y Rabalski, I. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains. *J. Agric. Food Chem.* 54:4696-4704.

Aguilar-Hernández, Á. D., Salinas-Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J. L., Bautista-Ramírez, E., Flores-López, H. E. (2019). Antocianinas y color en grano y olote de maíz morado peruano cultivado en Jalisco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas.* 10(5): 1071-1082.

Alegria-Marroquín¹, J., Castillo-Ruiz, O., y Saldaña-Trinidad, S. 2020. Caracterización fisicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) pigmentado para potenciar su consumo. *Rev. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos.* 5. 272-276.

AOAC. 2012. *Official Methods of Analysis.* 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.

Bautista-Ramírez, E., Salinas-Moreno, Y., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., y López-Sánchez, H. 2019. Características físicas y químicas de la raza de maíz Palomero Toluqueño. México. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas.* 10(2): 441-446.

Bello-Pérez, L. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E., Utrilla-Coello, R. G. 2016. Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia.* 50: 1041-1063.

Broa, R.E., Vázquez, C.M.G., Estrella, C.N.G., Hernández, S.J.H., Valverde, R.B. y Bahena, D.G. 2019. Características fisicoquímicas y calidad de la proteína de maíces nativos pigmentados de Morelos en dos años de cultivo. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas.* 10(3): 683-697.

CIMMYT. 2016. *Calidad de grano para técnicos postcosecha.* Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo, pp. 1-52.

Comisión Nacional del Agua 2021. *Normales climatológicas por estado.* Servicio Meteorológico Nacional. Consultado: <https://smn.conagua.gob.mx>. Fecha 12/08/2021.

Delucchi, C., Percibaldi, M., Trejo, M., Eyhérbide, G. 2019. Mejoramiento genético del perfil de ácidos grasos del aceite de maíz. *Revista de Investigaciones Agropecuarias.* 45(2): 1-23.

García-Campos, A.U., Cruz-Monterrosa, R.G., Rayas-Amor, A.A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M.F., Salgado-Cruz, M.P., Cortés-Sánchez, A.J., Villanueva-Carvajal, A., Díaz-Ramírez, M. 2020. Caracterización físicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agroproductividad.* 13(7): 95-100.

Larkins, A. 2019. "Proteins of the Keren". En: Serna-Saldivar, S.O. (comp.). *Corn: Chemistry and technology.* EUA: Elsevier Inc.

López-Morales, F., Vázquez-Carrillo, M.G., García-Zavala, J.J., López-Romero, G., Reyes-López, D., y Molina-Galán, J.G. 2019. Estabilidad y adaptación del rendimiento y calidad de tortilla en maíz Tuxpeño, Valles-Altos. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas.* 10(8): 1809-1821.

Maldonado-Astudillo, Y., Ana Alicia Gutiérrez-González, A.L., Flores-Rogel, Y.L., Arámbula-Villa, G., Flores-Casamayor, V., Jiménez-Hernández, J., Ramírez, M., Álvarez-Fitz, P., y Salazar, R. 2021. Propiedades morfo métricas, fisicoquímicas y actividad antiproliferativa de maíces pigmentados de Guerrero. *Revista Nova Scientia.* 13(27): 1-20.

Martínez-Martínez, R., Vera-Guzmán, A.M., Chávez-Servia, J.L., Bolaños, E.N.A., Carrillo-Rodríguez, J.C., y Pérez-Herrera, A. 2019. Bioactive compounds and antioxidant activities in pigmented maize landraces. *Interciencia.* 44(9): 549–556.

Mendoza-Mendoza, C.G., Mendoza-Castillo, M.C., Delgado-Alvarado, A., Castillo-González, F., Kato-Yamakake, A., y Cruz-Izquierdo, S. 2017. Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Rev. Fitotec. Mex.* 40(4): 471-479.

Mex-Álvarez, R.M.J., Garma-Quen, R., Bolívar-Fernández, N.J., and Guillén-Morales, M.M. 2016. Análisis Proximal y Fotoquímico de Cinco Variedades de Maíz del Estado de Campeche (México). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales.* 12(2): 74-80.

Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/1-2002, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales. Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5154226&fecha=07/12/2022.

NMX-F-068-S-1980. Alimentos. Análisis proximal y fitoquímico. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5154226&fecha=16/11/2022.

Peña, S., Gutiérrez, R., Schettino, B. 2017. "Proximate composition, fatty acid profile and mycotoxin contamination in several varieties of Mexican maize", en *Food and Nutrition Sciences*, 8: 861-868.

Roque-Maciel, L., Arámbula-Villa, G., López-Espíndola, M., Ortiz-Laurel, H., Carballo-Carballo, A., and

Rouf-Shah, T., Prasad, K., y Kumar, P. 2016. Maize-A potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food and Agriculture.* 2(1): 1–9.

Salinas M.Y., García S.C., Coutiño E.B., y Vidal M.V.A. 2013. Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotec. Mex.* 36: 285-294.

SAS. 2002. *SAS/STAT User's Guide: Statistics.* SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 5136 p.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2018. *Estadística Básica Agrícola, Anuario 2021.* www.siap.gob.mx. Fecha=14/09/2021.


Urías-Lugo, D.A., Heredia, J.B., Muy-Rangel, M.D., Valdez-Torres, J.B., Serna-Saldívar, S.O., and

Urango, M.L.A. 2018. Componentes del maíz en la nutrición humana. En: *Algunos componentes generales particulares y singulares del maíz en Colombia y México.* Edit. Gloria Marcela Hoyos Gómez. Universidad de Antioquía. pp. 185-208.

Vázquez-Carrillo, M.G., Aparicio-Eusebio, L.A., Salinas-Moreno, Y. 2018. *Plant Foods Hum Nutr.* 2018. 73: 321.

Wang, T. and White P.J. 2019. Lipids of the kernel. In: *Corn. Chemistry and technology.*

Yokoyama, M., Origasa, H., Matsuzaki, M., Matsuzawa, Y., Saito, Y., Ishikawa, Y., Oikawa, S., Sasaki, J., Hishida, H., Itakura, H., Kita, T., Kitabatake, A., Nakaya, N., Sakata, T., Shimada, K. and Shirato, K. 2007. Effects of eicosapentaenoic acid on major coronary events in hypercholesterolaemic patients (JELIS): a randomised open-label, blinded endpoint analysis. *Lancet.* 369(9567): 1090-1098.

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) .