



ÍNDICES DE SELECCIÓN ENTRE CARACTERES AGRONÓMICOS Y QUÍMICOS EN HÍBRIDOS DE MAÍZ MORADO (*Zea mays* L.) EN EL SUR DE SONORA, MÉXICO

Selection indices between agronomic and chemical traits in purple corn (*Zea mays* L.) hybrids in southern Sonora, Mexico

Gilberto Rodríguez-Pérez¹ ; Alejandro García-Ramírez^{1*} ; Felipe de Jesús Reynaga-Franco¹ ; Jaime Edzael Mendivil-Mendoza¹ ; Alba Rocío Ochoa Meza¹ 

¹ Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui, Av. Tecnológico, Block 611, Valle del Yaqui Bácum, Ciudad Obregón Sonora, México.  gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx, alejandro.gr@vyaqui.tecnm.mx, felipe.rf@vyaqui.tecnm.mx, jmendivil.mendoza@itvy.edu.mx, aochoa.meza@itvy.edu.mx

*Email: alejandro.gr@vyaqui.tecnm.mx

Recibido: 31/12/2022; Aceptado: 18/05/2023; Publicado: 16/06/2023

ABSTRACT

In Mexico, corn is considered the most important crop, 88% is planted with white corn, 11% yellow and 1% colored, blue or purple corns are rich for their nutritional properties as they contain anthocyanins, characterizing them as special for consumption human. The objective of this research was to estimate selection indices using agronomic and chemical traits in purple maize hybrids in southern Sonora, 19 hybrids and one Creole maize were evaluated in the field and in the laboratory, once the experiment was harvested, the seed was evaluated in the food laboratory of the TecNM-Valle del Yaqui, the agronomic variables were days to female flowering (FF), grain yield (GY), thousand grain weight (TW), hectoliter weight (HW), flotation index (FI), grains per row (GR), rows per ear (RE), ear length (EL), chemical: fat, ash, fiber, protein, carbohydrates and anthocyanins. The results showed statistical differences in all the variables, the selection indices allowed to identify the hybrids 19, 14, 7, 16, 18, 15, 9 and 10 for presenting minimum values in all the simultaneous variables studied, they had the best yields, They were from a later cycle, presented higher PMG, had a smooth texture, special for making tortillas, also obtained the highest averages in fat, fiber, protein,

Forma de citar el artículo(Formato APA):

Rodríguez-Pérez, G., García-Ramírez, A., Reynaga-Franco, F., Mendivil-Mendoza, J., Ochoa, A. (2023). Indices de selección entre caracteres agronómicos y químicos en híbridos de maíz morado (*Zea mays* L.) en el sur de Sonora, México. *Anales Científicos*. 84(1), 35-53. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v84i1.1981>

Autor de correspondencia (*): García-Ramírez. Email:gr@vyaqui.tecnm.mx

© Los autores, Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

This is an open access article under the CC BY.

anthocyanins and carbohydrates, which are favorable due to their nutritional properties, which will have beneficial and antioxidant effects that can benefit human health in different products derived from pigmented corn, these same hybrids were associated with more GH, RG, IF, PH, fat, fiber, protein and anthocyanins.

Key words: purple corn | physicochemical characters | selection indexes

RESUMEN

En México, el maíz es considerado el cultivo más importante, el 88% es sembrado de maíz blanco, 11% amarillo y 1% de color, los maíces azules o morados son ricos por sus propiedades nutrimentales al contener antocianinas caracterizándoles como especiales para el consumo humano. El objetivo de esta investigación fue estimar índices de selección utilizando caracteres agronómicos y químicos en híbridos de maíz morado en el sur de Sonora, se evaluaron 19 híbridos y un maíz criollo en campo y laboratorio, una vez cosechado el experimento, la semilla se evaluó en el laboratorio de alimentos del TecNM-Valle del Yaqui, las variables agronómicas fueron días a floración femenina (DFF), rendimiento de grano (RG), peso de mil granos (PMG), peso hectolitrico (PH), índice de flotación (IF), granos por hilera (GH), hileras por mazorca (HM), longitud de mazorca (LM), las químicas: grasa, cenizas, fibra, proteínas, carbohidratos y antocianinas. Los resultados mostraron diferencias estadísticas en todas las variables, los índices de selección permitieron identificar a los híbridos 19, 14, 7, 16, 18, 15, 9 y 10 por presentar valores mínimos en todas las variables simultaneas estudiadas, tuvieron los mejores rendimientos, fueron de ciclo más tardío, presentaron mayor PMG, fueron de una textura suave, especiales para la elaboración de tortillas, también obtuvieron los promedios superiores en grasa, fibra, proteínas, antocianinas y carbohidratos, los cuales son favorables por sus propiedades nutrimentales, las cuales tendrán efectos benéficos y antioxidantes que pueden beneficiar a la salud humana en diferentes productos derivados de maíces pigmentados, estos mismos híbridos se asociaron más GH, RG, IF, PH, grasa, fibra, proteína y antocianinas.

Palabras clave: maíz morado | caracteres fisicoquímicos | índices de selección

1. INTRODUCCIÓN

Por su relevancia económica y social, el maíz es la especie que más se produce en el mundo (Rouf-Shah et al., 2016). En México, es considerado el cereal más importante, pues se sembraron más de siete millones de hectáreas de las que se obtuvieron 27.5 millones de toneladas; el 88% fue de maíz blanco, 11% amarillo y 1% de color. Se estima que el 80% de la superficie cultivable se trabaja bajo condiciones de temporal, donde la distribución y volumen de agua depende de las lluvias, lo cual reduce de manera

significativa con rendimientos promedios de 2.3 t ha⁻¹, especialmente si se compara con el de riego donde los rendimientos fueron de 7.3 t ha⁻¹, (SIAP, 2021). El 65% de la superficie sembrada en México se realiza con maíces nativos, los cuales tienen una amplia adaptación a condiciones agroclimáticas muy específicas por región, además, por sus características como el color, sabor y textura son muy apreciados por los consumidores para la elaboración de tortillas, tamales, atoles, totopos y otras comidas tradicionales mexicanas (Urías-Lugo et al., 2015).

Tal es el caso de los maíces pigmentados (azul, negro, rojo, morado entre otros colores), los cuales se siembran en gran medida para satisfacer el autoconsumo familiar especialmente. Los maíces nativos o también llamados por los productores maíces “criollos” poseen un arraigo ancestral en la vida de los mexicanos, a pesar de ello, el uso de estos maíces se ha ido modificando con el paso de los años debido a factores como la globalización, cambios en la vida social y productiva del sector rural, cambios de preferencias de los consumidores y la migración (López-Morales et al., 2019).

Estas variedades de maíz pigmentado han sido objeto de distintos estudios científicos porque son una rica fuente de polifenoles como las antocianinas. Datos recientes indican que el maíz azul contiene antocianinas monoméricas (Mendoza-Mendoza et al., 2017), si bien el maíz azul o morado es una parte importante de la dieta mexicana, existe poca información científica sobre su perfil de antocianinas y propiedades anticancerígenas (Delucchi et al., 2019). La composición química es un factor que debe ser considerado en la selección de genotipos de maíz azul debido a su impacto en la actividad biológica, y por ende sus potenciales aplicaciones para el tratamiento de enfermedades como el cáncer. Por esta razón, es importante realizar una investigación para evaluar la aplicación potencial de los fitoquímicos del maíz azul (Bello-Pérez et al., 2016).

En México, se han evaluado las características físicas y químicas del grano de maíces nativos pigmentados, también se han cuantificado las antocianinas (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 de color morado, 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 características físico-químicas del grano de maíz dependen de la variedad, las condiciones del cultivo, así como los métodos de selección implementados por los mejoradores, también pueden modificarse por los cambios climatológicos. Vázquez-Carrillo et al. (2018) informaron que con precipitaciones superiores a 500 mm y temperaturas promedio de 15-26°C en la etapa de llenado del grano, puede variar en las propiedades físicas y químicas del genotipo. Los genotipos con características físico-químicas sobresalientes pueden ser aprovechados en los procesos como la 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-Maciél et al., 2016).

Para la selección simultánea del mejor genotipo, hay que tomar en cuenta un gran número de características agronómicas y químicas, algunas de las cuales pueden estar correlacionadas desfavorablemente. Una herramienta de gran utilidad son los índices de selección (IS) que permiten identificar genotipos que involucren varias características simultáneas. Así, Smith

(1936), fue quien sugirió el empleo del concepto de una función discriminante como una forma lógica y sistemática en la selección de líneas para mejorar simultáneamente varias características cuantitativas y cualitativas. El principal objetivo del índice de selección es maximizar el promedio del valor genético de varios genotipos con distintas características. Actualmente se requiere estudiar en el maíz para grano una metodología para determinar que caracteres deben incluirse en la selección simultánea (Barreto et al., 1991).

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el sur de Sonora es el segundo cultivo de mayor importancia, después del trigo, la superficie de maíz se ha incrementado sustancialmente en los últimos cuatro años, en 2018 fue de 50,499 ha, donde se obtuvo un rendimiento promedio de 10.83 t ha⁻¹ produciendo 547 mil toneladas, para el 2021 se establecieron 69,828 ha, con rendimientos de 11.30 t ha⁻¹ obteniendo una producción de 70 mil toneladas (SIAP, 2021), la producción de este cereal es principalmente en condiciones de riego empleando genotipos mejorados, donde el 97% de la producción corresponde a maíces de color blanco, lo producen productores que cuentan con tecnologías adecuadas y recursos económicos en la conducción de este cultivo, con estas tecnologías se han alcanzado potenciales máximos de rendimiento del grano de 14.2 t ha⁻¹. 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 el sur de Sonora dado que no existen registros ni programas de mejoramiento de maíces pigmentados, que son una alternativa para establecer siembras por sus rendimientos y propiedades antioxidantes que contienen los maíces pigmentados. 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 en el mercado local y nacional, 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, estabilidad y precio para incrementar significativamente la producción de grano en maíces (López-Torres et al., 2016). No obstante, la importancia de este tipo de maíz actualmente sigue siendo escasa la información sobre las características agronómicas y químicas de maíces pigmentados mejorados en México, es por ello que el objetivo de este estudio fue selección simultánea entre características agronómicas y químicas en maíces mejorados de color azul en el sur de Sonora, México.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área experimental

El ensayo se estableció en el campo experimental del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui en Av. Tecnológico, Block 611, Valle del Yaqui Bácum, Sonora, situado al sur del estado de Sonora, entre la Sierra Madre Occidental, y el Mar de Cortés, entre 27.41367 latitud y -100.13194 longitud a una altura de 13 msnm, presenta clima semiárido BSh de acuerdo a la clasificación climática de Köppen.

Tratamientos y diseño experimental

Se utilizaron 19 híbridos (Tabla 1). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, la fecha de siembra fue el 20 de diciembre 2020, las parcelas fueron de dos surcos en cuatro metros de longitud, con una distancia entre surcos de 80 cm y entre plantas de 12.5 cm, para tener una densidad de 100 mil plantas por hectárea; la cosecha fue de manera manual, se contaron el número de mazorcas

cosechadas por cada unidad experimental. Las variables que se registraron fueron: rendimiento de grano (RG): para esta variable se cosechó cada parcela de forma manual, después se desgranaron para determinar el porcentaje de humedad para justar el dato al 15%, el dato se registró en kg para posteriormente transformarlo a toneladas por hectárea; días a floración femenina (DFF), se realizó el conteo del 50% más uno de plantas con emergencia de jilote por cada híbrido; longitud de mazorca (LM), se midieron 10 mazorcas al azar con una regla y el dato se registró en cm; granos por hileras (GH), hileras por mazorca (HM), para estas últimas variables se realizó el conteo del número de GH y HM en 10 mazorcas al azar de cada híbrido.

Los híbridos fueron formados en el campo experimental de CIMMYT en la localidad de San Juan de Abajo, Nayarit, al que se le aplicaron tres ciclos de autofecundación, durante los ciclos agrícolas 2016 a 2017, con este procedimiento se generaron 20 híbridos con nivel de endogamia S_5 .

Evaluaciones agronómicas y análisis químicos

Para el peso de 1000 granos (PMG), la determinación se realizó por triplicado mediante el conteo de los granos donde 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 15 edición (AOAC, 2012), al dividir el peso de los granos entre el volumen del recipiente y relacionado al volumen de 100 L. Las mediciones se realizaron con 10 repeticiones utilizando 200 gramos por muestra lo cual 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, se pesaron 670 g de azúcar refinada agitando constantemente con una cuchara de plástico, el volumen total de esta solución fue de exactamente 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, después se introdujeron los 100 granos en la solución agitando tres veces a la derecha y tres a la izquierda con ayuda de una espátula, dejándose reposar 30 segundos para que los granos flotaran o se fueran al fondo. Por último, se retiraron los granos flotantes con una malla con perforaciones, para ser depositados en un colador y cuantificarlos.

Tabla 1. Germoplasma utilizado en el TecNM-Valle del Yaqui, en el sur de Sonora, México.

Hibrido	Genealogía	Textura	Hibrido	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

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

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 desprendiera 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:

$$\% \text{ de cenizas} = [(P-p)/M] \times 100$$

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:

$$\% \text{ de fibra} = [(A-B)/C] \times 100$$

donde: A=crisol con la muestra seca; B= peso del crisol y C= gramos de la muestra.

Antocianinas totales, se usó el método 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 y en las variables que presentaron diferencias significativas, se procedió a realizar la comparación de medias diferencia mínima significativa (DMS) $P \leq 0.05$. Se utilizó el software SAS, versión 9.4 (SAS Institute, 2020).

Para la selección de los híbridos entre caracteres agronómicos químicos se construyeron los índices con base a la metodología propuesta por Barreto et al.

(1991). Este método es muy eficiente para el mejoramiento y realización de selección simultánea de varias características cuantitativas en un programa de mejoramiento; la fórmula empleada para estimar el índice fue la siguiente:

$$IS = \{[(Y_j - M_j)^2 * I_j] + [(Y_i - M_i)^2 * I_i] + [(Y_n - M_n)^2 * I_n]\}^{1/2}$$

donde: IS = Índice de selección; $Y_{j,n}$ = variable; $M_{j,n}$ = meta de selección; $I_{j,n}$ = intensidad de selección.

La meta de selección fue asignada a cada variable, esta se refirió a las unidades de desviación estándar del promedio que se deseó lograr en la selección; por lo tanto, la meta toma valores de -3 a +3, con valor negativo la selección será para aquellos genotipos que se encuentren por debajo de la media de la población para la variable en evaluación; por el contrario, con valores positivos aquellos genotipos que se encuentren por arriba de la media de la población y para seleccionar genotipos que se encuentren cercanos al promedio se utilizan metas con valor de cero. La intensidad de selección es el grado de importancia que se le asignan a cada una de las variables a ser utilizadas en la selección y toma valores de 1 a 10. Este valor es diferente para cada una de las variables, según el criterio del investigador.

El valor de intensidad más pequeño (1) fue asignado a la variable de menor interés y el valor más alto (10) representa la variable de mayor importancia; para RG (10), PMG (8), PH (9), IF (8), grasa (10), cenizas (8), fibra (8), proteínas (10), carbohidratos (10) y antocianinas (10).

Las variables que fueron incluidas en la selección se encontraban con valores en unidades distintas (toneladas, centímetros, días, porcentajes, etc.). Debido a esto fue necesario estandarizar cada uno de ellos de manera que las características pudieran

combinarse mediante la fórmula siguiente: donde: Z = valor estandarizado; y j = valor observado para cada híbrido j; y = promedio de todos los híbridos; s = desviación estándar del grupo de híbridos.

El valor estandarizado de cada una de las variables fue, entre más cerca se encontró a la meta deseada, más pequeño fue el valor del índice de selección y más cerca se encontraron los híbridos de los criterios deseados; sin embargo, entre más grande sea el valor del índice, más alejado se encontró el híbrido con los criterios establecidos. Los híbridos que obtuvieron el valor del índice de selección más pequeño fueron considerados como superiores, ya que reunieron la mayoría de los caracteres requeridos en la selección. Para la construcción de los índices se requirió en mantener la media poblacional en rendimiento de grano, peso de mil granos, peso hectolítrico, índice de flotación, grasa, cenizas, fibra, proteína, carbohidratos y antocianinas.

Para la construcción de los índices se consideró buen potencial de rendimiento, mayor peso de mil granos y peso hectolítrico, índice de flotación superior, mayor porcentaje de grasas y cenizas, mayores proporciones de fibra, proteína, carbohidratos y antocianinas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza de los caracteres agronómicos

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; la significancia encontrada entre híbridos fue debido a la expresión genética de cada uno de ellos (Broa et al., 2019), por otra parte,

los coeficientes de variación fluctuaron 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.

Análisis de varianza de los caracteres químicos

En las variables químicas analizadas hubo diferencias estadísticas significativas entre los híbridos evaluados (Tabla 3). La media de los valores del 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 provienen de distintos orígenes.

Comportamiento de los caracteres agronómicos

Los híbridos que destacaron con mejores

promedios en RG, PMG y PH (Tabla 4) fueron: 7, 14 y 19, esto debido a que fueron los más tardíos, presentaron mejores rendimientos, mayores pesos de mil granos y peso hectolitrico; cabe señalar que peso de mil granos y el peso hectolitrico son variables indicadoras del potencial de rendimiento de grano que posee un grupo de híbridos (Broa et al., 2019), a la vez Martínez-Martínez et al. (2019) mencionaron que el rendimiento del grano PH y PMG pueden ser afectados por siembras tempranas o tardías, el uso eficiente de agua, por temperaturas altas o bajas; 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 (CONAGUA, 2021).

Los resultados indican que los híbridos 7, 14 y 19 en PMG son considerados como grandes por sus valores mayores a 300 g, en PH

Tabla 2. Análisis de varianza (cuadrados medios) en 20 híbridos de color morado evaluadas en 2020, de las variables agronómicas en el sur de Sonora, México.

FV	GL	DFE (días)	RG (t ha ⁻¹)	PMG (g)	PH (Kg hL ⁻¹)	IF (%)	LM (cm)	GH (número)	HM (número)
Repetición	2	78.21	0.69	198.86	0.46	91.01	0.31	1.26	61.40
Híbrido	19	213.36**	6.66**	8172.87**	17.12**	2637.0**	10.2**	70.5**	60.94**
Error	38	0.84	0.06	1.44	0.03	0.42	0.01	0.17	0.68
Total	59	71.98	2.21	2639.61	5.55	852.58	3.31	22.89	22.14
Media		77.51	6.84	317.67	79.02	59.43	14.39	33.21	12.36
CV (%)		11.89	13.78	12.84	12.35	10.92	9.14	12.85	13.76

FV= fuentes de variación, DFE= días floración femenina, RG=rendimiento de grano, PMG= peso mil granos, PH= peso hectolitrico, IF=índice de flotación, LM=longitud de mazorca, GH= granos por hilera y HM= hileras por mazorca.

Tabla 3. Análisis de varianza (cuadrados medios) en 20 híbridos de color morado evaluadas en 2020, de las variables químicas en el sur de Sonora, México.

FV	GL	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (g)	Proteína (g)	Carbohidratos (g)	Antocianinas (g)
Repetición	2	0.81	0.011	3.14	0.07	57.94	3.79
Híbrido	19	17.14**	0.18**	0.41**	1.94**	298.32**	149.45**
Error	95	0.044	0.002	0.08	0.004	0.34	0.06
Total	119	5.57	0.06	0.26	0.63	98.25	48.29
Media		12.37	1.40	2.07	8.01	59.45	57.60
CV (%)		17.11	12.04	14.48	18.23	16.98	14.32

Tabla 4. Comparación de medias (DMS) de 20 híbridos de color morado evaluadas en 2020, de las variables agronómicas en el sur de Sonora, México.

Hibrido	DDF (días)	RG (t ha ⁻¹)	PMG (g)	PH (kg hL ⁻¹)	IF (%)	LM (cm)	GH (No.)	HM (No.)
1	64.25 op	2.79 p	220.62 s	74.82 q	97.66 ab	11.43 o	23.67 m	10.65 j
2	82.67 f	7.25 efg	328.66 i	78.65 i	59.36 ghi	14.36 h	35.21 e	15.68 ef
3	73.12 l	5.74 lm	285.67 n	77.37 l	85.67 de	12.66 l	31.66 gh	7.66 l
4	73.68 kl	6.52 ij	309.14 l	80.64 f	40.66 klmn	14.94 f	29.36 j	8.33 l
5	66.65 o	4.47 o	232.33 r	75.88 p	95.36 bc	12.53 l	34.25 f	7.34 l
6	76.32 ij	6.72 hi	322.68 j	79.89 g	52.33 hijk	14.15 h	36.45 d	12.66 hi
7	91.34 b	8.50 bc	406.69 a	81.95 bc	25.33 qrst	18.12 a	30.78 i	19.69 ab
8	65.33 op	4.93 n	242.82 q	76.34 o	99.67 a	11.73 n	34.46 f	8.36 l
9	78.68 h	7.54 def	351.61 e	81.68 cd	32.15 opq	13.63 i	34.25 f	16.67 de
10	80.69 g	7.38 def	349.26 f	79.39 h	75.67 ef	15.41 e	30.52 i	13.35 gh
11	72.71 lm	5.96 kl	316.14 k	76.56 no	81.26 e	13.45 k	31.72 h	8.25 l
12	77.14 i	6.95 gh	345.34 g	78.23 j	64.67 fgh	14.12 h	26.67 k	10.36 jk
13	71.33 m	5.49 m	276.36 o	76.98 m	91.45 cd	12.35 m	40.45 b	8.21 l
14	93.45 a	8.81 b	369.69 c	82.53 a	18.45 rs	15.53 e	37.16 c	20.71 a
15	78.66 h	7.62 de	264.33 p	80.11 g	46.68 ijkl	15.33 e	41.54 a	8.67 kl
16	84.33 e	8.24 c	349.34 f	81.48 de	14.33 rst	17.17 b	32.16 g	18.66 bc
17	75.15 jk	7.15 fg	335.68 h	77.71 k	71.43 efg	14.62 g	39.66 b	11.33 ij
18	86.66 d	7.74 d	357.67 d	81.25 e	38.33 lmno	16.34 d	37.68 c	14.68 fg
19	88.66 c	10.72 a	398.68 b	82.18 b	12.45 rstu	16.73 c	31.43 h	17.65 cd
20	69.45 n	6.25 jk	293.15 m	76.76 mn	88.69 e	13.27 j	25.14 l	8.36 l
DMS (0.01)	1.52	0.42	1.98	0.3	1.07	0.21	0.69	1.36

obtuvieron pesos entre 80 y 83 kg hL⁻¹ que el resto de los híbridos así que, de acuerdo con la clasificación por CIMMYT (2018), por sus valores tienden a tener buena calidad, estos resultados lo confirman Alegría-Marroquín et al. (2020), mencionaron que genotipos de maíz que obtengan pesos hectolitricos y peso de mil granos, son apropiados para tener buena calidad física y por consiguiente harina para elaborar productos como tortillas; estos híbridos tienen un RG, PMG y PH superiores, los cuales se encuentran dentro de los valores establecido por la norma NMX-034-2002 de 300 g y 80 kg hL⁻¹; sin embargo el testigo nativo o criollo tuvo bajo rendimiento (2.79 t ha⁻¹), fue más precoz a los 64 días, obtuvo los promedios más inferiores y fue de una textura muy suave. Estos resultados concuerdan con lo reportado por García-Campos et al. (2020),

quienes encontraron que a mayor PMG y PH tiende a obtener mayor rendimiento de grano. Por otra parte, LM y HM fueron las variables que también contribuyeron en el rendimiento dado que tuvieron promedios superiores en los mismos híbridos (7, 14 y 19), estos valores de LM y HM tienen implicancias importantes desde el punto de vista de producción, ya que teóricamente es que entre mayor longitud, granos e hileras por mazorcas tienden a tener correlaciones positivas con rendimiento de grano, los mejores híbridos identificados en este estudio para estas variables pueden ser aprovechados más adecuadamente en la adopción por los agricultores del sur de Sonora.

Índice de flotación (IF), los híbridos 8, 5, 1 y 13 presentaron granos muy suaves, porque tuvieron valores superiores a 90, de

acuerdo con la clasificación de CIMMYT, 2018, menciona que los granos flotantes entre 88 y 100 se consideran muy suaves, aquellos granos entre 63 a 87 de los cuales se agruparon los híbridos (12, 17, 10, 11 y 3) son de una textura suave, ambas agrupaciones (50% de los híbridos) son especiales para la elaboración de tortillas; los rangos entre 38 a 62 donde se agruparon los híbridos 2, 17, 10, 11 y 3 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 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 puede ser distintas opciones para su uso, ya sea para tortillas, cereales, totopos, dado que estos materiales por sus pigmentos que contienen son favorables, también se pueden consumir fresco como elote o cualquier otro producto generado por sus contenidos de antocianinas.

Comportamiento de los caracteres químicos

En cuanto a cenizas (Tabla 5), presentaron diferencias en los promedios entre los híbridos y el testigo, destacando los porcentajes superiores de cenizas en los híbridos 8, 13, 5 y 18% cuyos porcentajes fueron entre 1.70 a 1.81%, mientras que el testigo tuvo el último lugar con 1.03%, seguido de los híbridos 15, 9, 14, y 19 obtuvieron porcentajes inferiores entre 1.08 a 1.18%. 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 de porcentajes superiores en cenizas son

permisibles de elaborar harinas de maíz para elaborar diferentes productos como tortillas, totopos, tlacoyos, 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). El maíz de alta 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).

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%. García-Campos et al. (2020) mencionan 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.

Estos resultados mostraron que siete híbridos y el testigo obtuvieron porcentajes inferiores al 8%; proteína, muy por debajo de lo que menciona anteriormente, esto con lleva 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 Rocha et al. (2018) mencionaron que el contenido de proteínas está determinado también por

Tabla 5. Comparación de medias (DMS) de 20 híbridos de color morado evaluadas en 2020, de las variables químicas en el sur de Sonora, México.

Híbrido	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (g)	Proteína (g)	Carbohidratos (g)	Antocianinas (g)
1	10.25 l	1.03 p	1.44 h	6.48 o	41.26 p	42.41 lmn
2	12.03 h	1.35 i	2.21bcd	8.14 hi	62.01 h	56.16 efg
3	10.73 k	1.56 f	2.09 bcde	6.86 n	48.43 m	53.94 ghij
4	11.68 i	1.38 h	1.98 bcdefg	8.42 fg	60.82 i	57.86 ef
5	16.26 b	1.73 bc	1.59 fgh	7.11 m	51.83 l	52.26 ijk
6	11.49 ij	1.28 j	2.42 ab	8.21 h	64.02 g	55.54 ghij
7	17.46 a	1.22 kl	2.04 bcdef	8.66 d	68.73 d	68.67 a
8	8.97 n	1.86 a	1.73 defgh	6.96 n	45.59 n	51.08 ijk
9	13.93 e	1.16 o	1.65 efgh	8.49 ef	65.26 f	61.54 cd
10	12.68 g	1.42 h	1.91 cdefgh	8.34 g	63.39 g	59.38 def
11	11.23 j	1.65 d	1.54 gh	7.23 l	54.65 k	54.59 ghij
12	12.44 g	1.49 g	2.31 abc	8.14 i	57.13 j	60.32 cde
13	8.18 o	1.75 b	2.22 bc	7.29 l	43.32 o	44.32 klm
14	15.19 c	1.13 n	2.46 ab	9.06 b	73.01 b	64.76 bc
15	13.32 f	1.08 o	2.42 ab	8.61 d	67.35 e	63.74 bcd
16	13.73 e	1.19 lm	2.47 ab	9.47 a	75.17 a	66.97 ab
17	13.15 f	1.24 k	1.83 cdefgh	7.82 j	57.68 j	56.98 efg
18	14.46 d	1.73 c	2.72 a	8.55 de	66.17 f	62.68 cd
19	9.75 m	1.18 m	2.46 ab	8.79 c	71.26 c	65.72 bc
20	10.48 k	1.61 e	1.89 cdefgh	7.66 k	52.03 l	52.93 ijk
DMS (0.01)	0.34	0.02	0.49	0.11	0.97	0.41

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).

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, en la composición química de estas variables, 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 1.9 g.

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, los híbridos 19, 14 y 16 tuvieron 71.26, 73.01 y 75.08%, mientras

que el testigo obtuvo 41.26%. 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.

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. Lo anterior, se debe a que hubo menor variabilidad en el contenido de antocianinas que en características agronómicas del grano lo que puede ser atribuirle al número de genes presentes del genotipo; por otra parte, estos resultados tienen similitud con lo referido por Aguilar-Hernández et al. (2019); Maldonado-Astudillo et al. (2021), 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 viéndolo 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.

Índices de selección

Al aumentar el número de caracteres agronómicos y químicos entre los híbridos (Tabla 6), de acuerdo a las metas e intensidades que se postularon, en esta investigación, con la metodología de Barreto et al. (1991). Los valores en los índices de selección se encontraron seis híbridos más promisoros, los cuales fueron: 19, 14, 7, 16 y 18 por haber presentado valores más bajos en los índices, en el sur de Sonora es más viable establecer siembras con híbridos tardíos ya que son de mayor rendimiento, mejor PMG y PH como fue el 19 (9.72 t ha⁻¹); 7 (406 g) y 14 (82.51 kg hL⁻¹), estos valores de índices los hacen competitivos comparado con híbridos comerciales de empresas transnacionales, que sus rendimientos varían entre 10 y 12 t ha⁻¹, pero su mayor ventaja es por el valor nutritivo que pueda aportar en su consumo en diferentes subproductos por sus propiedades químicas; ya que los rangos que se obtuvieron en los índices de selección fueron superiores a los maíces nativos en todas las variables químicas.

En proteínas, el híbrido 14 obtuvo 9.06%, este valor fue superior en un 1.86%, a lo reportado por Broa et al, (2019); Urango (2018), para antocianinas 2.12 g, carbohidratos 3.08 g más que lo mencionado por Aguilar-Hernández et al. (2019), en grasa, cenizas y fibra obtuvieron contenidos superiores comparados con maíces criollos azules o morados a los referidos por Alegría-Marroquín et al. (2020) en un 2.44%, 0.35% y 1.11g, respectivamente; de acuerdo con los valores de los índices de selección de estos híbridos se pudo determinar cuáles son los más prospectos a utilizarse en el sur de Sonora por obtener buen potencial de rendimiento de grano, PMG, PH, IF y caracteres. Rodríguez et al. (2016); Tucuch et al. (2011) reportaron que al utilizar los índices de selección en genotipos de maíz con un gran número de variables agronómicas

Tabla 6. Híbridos de maíz de color morado por selección simultánea en base a los índices de selección en caracteres agronómicos y químicos evaluados en el sur de Sonora, México.

Híbrido	Índice	DFE	RG	PMG	PH	IF	LM	GH	HM	Grasa	Cenizas	Fibra	Proteína	CA	ANT
19	8.49	88.67	9.72	398.00	82.18	12.00	16.73	31.00	17.67	16.26	1.18	2.46	8.79	71.26	65.73
14	8.86	93.00	8.81	369.67	82.51	18.00	15.53	37.00	20.67	17.45	1.14	2.46	9.06	75.08	64.76
7	8.94	91.33	8.50	406.67	81.96	25.33	18.10	30.00	19.67	15.20	1.22	2.04	8.66	68.74	68.68
16	9.62	84.33	8.24	349.33	81.48	14.33	17.17	32.00	18.67	13.70	1.19	2.48	9.45	73.01	66.98
18	11.66	86.67	7.74	357.67	81.20	38.33	16.33	37.67	14.67	14.44	1.03	2.72	8.56	66.18	62.68
15	13.37	78.67	7.63	264.33	80.11	46.67	15.33	41.00	8.67	13.32	1.08	2.42	8.61	67.36	63.75
9	13.37	78.67	7.55	351.67	81.68	32.00	13.63	34.00	16.67	13.91	1.11	1.60	8.50	65.26	61.54
10	13.98	80.67	7.38	349.00	79.39	75.67	15.40	30.00	13.33	12.69	1.40	1.91	8.34	63.40	59.38
2	14.68	82.67	7.26	328.67	78.66	59.00	14.30	35.00	15.67	12.04	1.35	2.22	8.15	62.01	56.17
17	15.24	75.00	7.15	335.67	77.71	71.00	14.60	39.67	11.33	13.15	1.24	1.84	7.82	57.68	56.99
12	15.41	77.00	6.95	345.33	78.23	64.67	14.10	26.67	10.00	12.44	1.49	2.31	8.10	57.13	60.33
6	15.65	76.00	6.71	322.67	79.89	52.33	14.13	36.00	12.67	11.49	1.29	2.42	8.21	64.02	55.54
4	16.76	73.67	6.52	309.00	80.63	40.67	14.93	23.67	10.67	11.68	1.39	1.98	8.42	60.82	57.87
20	20.13	69.00	6.25	293.00	76.76	88.67	13.27	25.00	8.33	10.48	1.62	1.89	7.66	52.03	52.93
11	20.64	72.67	5.96	316.00	76.56	81.00	13.00	31.00	8.00	11.23	1.65	1.54	7.23	54.66	54.60
3	21.55	73.00	5.75	285.67	77.37	85.67	12.67	31.67	7.67	10.74	1.56	2.09	6.86	48.43	53.93
13	24.39	71.33	5.49	276.00	76.98	91.00	11.43	40.00	8.00	8.18	1.75	2.23	7.29	43.33	44.33
8	24.75	64.00	4.93	220.67	74.82	99.67	11.73	34.00	8.00	8.97	1.81	1.73	6.48	41.26	42.41
5	26.35	66.67	4.47	232.33	75.89	97.67	12.53	34.00	7.33	10.20	1.73	1.59	7.12	51.83	52.26
1	28.89	65.33	3.79	242.00	76.35	95.00	12.30	29.00	8.33	9.75	1.70	1.44	6.96	45.59	51.08
Máxima	93.51	9.72	406.67	82.51	99.67	18.21	41.12	20.67	17.45	1.81	2.72	9.45	75.08	68.68	
Media	77.42	6.84	317.67	79.02	59.43	14.36	32.92	12.30	12.37	1.40	2.07	8.01	59.45	57.60	
Mínima	64.45	3.79	220.67	74.82	12.45	11.43	23.67	7.33	8.18	1.03	1.44	6.48	41.26	42.41	
desv st.	8.43	1.49	52.19	2.39	29.65	1.85	4.85	4.51	2.39	0.25	0.37	0.80	9.97	7.06	

permiten identificar los sobresalientes de acuerdo a lo que el mejorador crea que sea de mayor utilidad para mejorar y seleccionar ciertos caracteres de manera simultánea.

Correlación entre caracteres agronómicos y químicos

Considerando que el rendimiento de grano es la variable de mayor importancia dentro de una investigación, en la Tabla 7 se muestra correlación significativa con todas las variables agronómicas y químicas, excepto

en fibra, PMG se asoció más con PH, IF, DFE, HM grasa, fibra, proteínas, carbohidratos y antocianinas, PH no presentó correlación con fibra; sin embargo tuvo mayor asociación con IF, cenizas, proteínas y carbohidratos; por otra parte, entre los caracteres químicos hubo mayor correlación entre proteínas con carbohidratos y antocianinas, de acuerdo a las correlaciones encontradas pudo ser que a medida que se obtenga mayor rendimiento se incrementen mayor las proporciones entre los caracteres químicos en especial con cenizas,

proteínas, carbohidratos y antocianinas, por ende, al consumir maíces pigmentados con contenidos altos en proteínas, carbohidratos y antocianinas tendrán efectos benéficos y antioxidantes que pueden beneficiar a la salud humana en diferentes productos elaborados como tortillas, tlacoyos, totopos e inclusive en cereales por sus propiedades antioxidantes, al consumir estos híbridos pueden convertirse como una opción con excelente valor calórico y con posibilidades de ser utilizado en la elaboración de fórmulas alimenticias; por otra parte PMG, PH e IF indican la densidad y/o el grado de llenado que tuvo el grano durante el desarrollo del cultivo. Normalmente, cuando el grano no está completamente lleno, los valores del peso hectolítrico, PMG e IF son bajos. Cabe señalar que las condiciones climáticas favorecieron el llenado de grano, contribuyendo a mayores promedios en las propiedades químicas (Aguilar-Hernández et al., 2019).

Componentes principales

De la variabilidad total observada en los 20 genotipos de maíz morado, con base en las siete variables agronómicas y seis químicas registradas (Figura 1), los dos

factores explicaron el 100% de la variación, el primer factor las variables DFF y LM, carbohidratos y proteína presentaron asociación positivamente con los híbridos H-2, H-5, H-6, H-1, H13 y H-10, estos híbridos se caracterizaron por ser de un ciclo intermedio, rendimientos inferiores, menores PH, IF fueron de textura intermedia, pueden utilizarse para elaboración de tortillas o totopos y tuvieron los valores más bajos en los caracteres químicos. Mientras que el 55% de los genotipos (H-8, H-17, H-11, H-3, H-9, H-12, H-20 y H-4) se asociaron con cenizas negativamente; presentaron valores por debajo de la media general en los caracteres agronómicos y químicos; por otra parte, los híbridos H-19, H-15, H-7, H-16, H-14 y H-18 mostraron asociación con GH, RG, IF, PH, grasa, fibra, proteína y antocianinas, tuvieron rendimientos por arriba de la media general, fueron de ciclo más tardío, presentaron mayor PMG, fueron de una textura suave, especiales para la elaboración de tortillas, también obtuvieron los promedios superiores en grasa, fibra, proteínas y antocianinas, los cuales son favorables para la salud al consumir algunos de estos con mejores propiedades nutrimentales.

Tabla 7. Correlación entre caracteres agronómicos y químicos en híbridos de maíz morado evaluados en el sur de Sonora, México.

	PMG	PH	IF	Grasa	Cenizas	Fibra	Proteína	CA	ANT	DFF	LM	GH	HM
RG	0.88*	0.91*	0.86*	0.89*	0.85*	0.66	0.88*	0.90*	0.85*	0.92*	0.86*	0.79*	0.83*
PMG		0.81*	0.79*	0.87*	0.62	0.78*	0.77*	0.79*	0.80*	0.88*	0.80*	0.66	0.84*
PH			0.96*	0.86*	0.91*	0.61	0.93*	0.92*	0.88*	0.89*	0.84*	0.66*	0.86*
IF				0.87*	0.82*	0.61	0.92*	0.93*	0.84*	0.87*	0.85*	0.78*	0.87*
Grasa					0.85*	0.75*	0.81*	0.87*	0.93*	0.90*	0.91*	0.04	0.84*
Cenizas						0.62	0.87*	0.91*	0.84*	0.82*	0.81*	0.73*	0.75*
Fibra							0.64	0.71*	0.72*	0.67	0.57	0.51	0.47
Proteína								0.96*	0.89*	0.85*	0.87*	0.54	0.82*
CA									0.93*	0.88*	0.90*	0.09	0.84*
ANT										0.86*	0.92*	0.45	0.77*
DFF											0.87*	0.96*	0.90*
LM												0.75*	0.79*
GH													0.79*

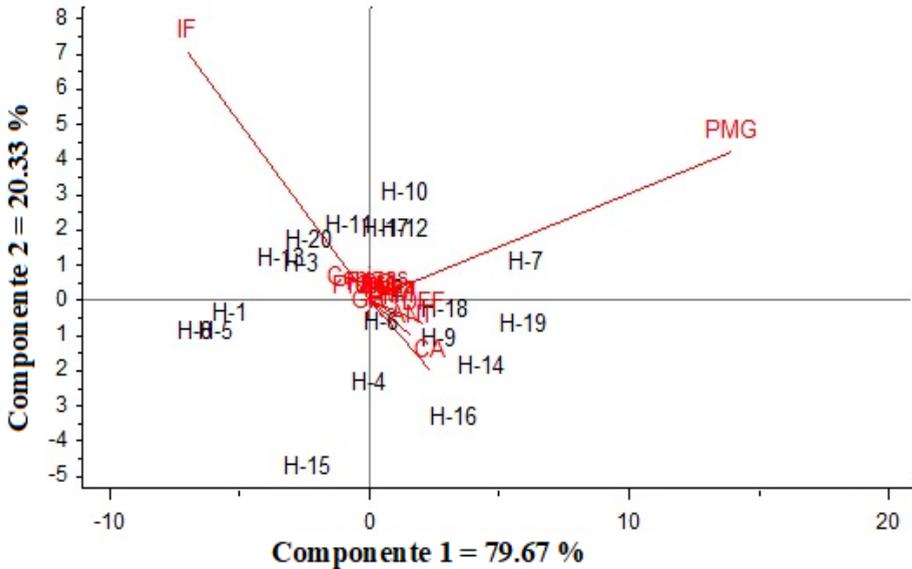


Figura 1. Dispersión de 20 genotipos de maíz morado en asociación con sus caracteres agronómicos y químicos evaluados en el sur de Sonora, México

4. CONCLUSIONES

Los híbridos 19, 15, 7, 16, 14 y 18 rindieron mejor, obtuvieron mayor PMG, PH fueron de textura más suave, presentaron mayor número de hileras y granos por mazorca, obtuvieron los rangos superiores en todos los caracteres químicos que el testigo, superaron significativamente al testigo; los índices de selección permitieron identificar a los híbridos 19, 14, 7, 16, 18, 15, 9 y 10 por presentar valores mínimos en todas las variables simultáneas estudiadas para su aprovechamiento en el sur de Sonora, el rendimiento de grano tuvo asociación con todas las propiedades agronómicas y químicas las cuales tendrán efectos benéficos y antioxidantes que pueden beneficiar a la salud humana en diferentes productos derivados de maíces pigmentados. Los híbridos 15, 17, 13, 14 y 18 mostraron asociación con GH, RG, IF, PH, grasa, fibra, proteína y antocianinas, tuvieron

rendimientos por arriba de la media general, fueron de ciclo más tardío, presentaron mayor PMG, fueron de una textura suave, especiales para la elaboración de tortillas, también obtuvieron los promedios superiores en grasa, fibra, proteínas y antocianinas, los cuales son favorables para la salud al consumir algunos de estos con mejores propiedades nutrimentales.

Agradecimientos

Los autores de esta investigación agradecen al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo por haber proporcionado el material genético para su evaluación.

Conflicto de interés

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés personal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

Contribución de autores

Gilberto Rodríguez Pérez. Concepción y diseño de investigación

Gilberto Rodríguez Pérez, Alejandro García Ramírez, Felipe de Jesús Reynaga Franco. Adquisición de datos, análisis e interpretación de datos.

Gilberto Rodríguez Pérez. Adquisición de material experimental y administración de proyecto.

Gilberto Rodríguez Pérez, Jaime Edzael Mendívil Mendoza, Alba Rocío Ochoa Meza. Redacción y revisión del artículo.

Gilberto Rodríguez-Pérez, Alejandro García-Ramírez. Aprobación definitiva de la versión a presentar.

5. REFERENCIAS

- Aguilar-Hernández, A.D., Salinas-Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J.L., Alemán-De la Torre, I., Bau-tista-Ramírez, E y Flores-López, H.E. (2019). Antocianinas y color en grano y olote de maíz morado peruano cultivado en Jalisco, México. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas*, 10 (5). <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1828>
- Alegría-Marroquín, J., Castillo-Ruíz, O., y Saldaña-Trinidad, S. (2020). Caracterización fisicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) pigmentado para potenciar su consumo. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5: 272-276. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/4/54.pdf>
- 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). <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1604>
- Barreto, H.J., Bolaños, J.A. y Córdoba, H.S. (1991). Programa Índices de Selección. Guía para la operación del Software. CIMMYT. México, D.F. 27 p.
- 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000801041&lng=es&tlng=es.
- 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). <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.481>
- CIMMYT. (2018). Efecto de diferentes tecnologías de almacenamiento sobre algunos parámetros de calidad del grano de maíz. *La Revista de la Agricultura de Conservación*. 9 (41):4-18. https://repository.cimmyt.org/bitstream/le/10883/18146/56637_2017_IX%2841%29.?sequence=129&isAllowed=y
- 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., Eyherávide, G. (2019). Mejoramiento genético del perfil de ácidos grasos del aceite de maíz. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45(2): 1-23. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142019000200159&lng=es&tlng=es.
- 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 físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agroproductividad*, 13(7): 95-100 pp. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1728>.
 - 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). <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1851>
 - López-Torres, B. J., Rendón-Medel, R. y Camacho-Villa, T. C. (2016). La comercialización de los maíces de especialidad en México: condiciones actuales y perspectivas. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas*, 15:3075-3088. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016001103075&lng=es&tlng=es.
 - Maldonado-Astudillo, Y., Ana Alicia Gutiérrez-González, A.L., Flores-Rogel, Y.L., Arámbula-Villa, G., Flores-Casa mayor, V., Jiménez-Hernández, J.,
 - Ramírez, M., Álvarez-Fitz, P., y Salazar, R. (2021). Propiedades morfométricas, fisicoquímicas y actividad antiproliferativa de maíces pigmentados de Guerrero. *Revista Nova Scientia*, 13 (3): 1-20 pp. <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2825>
 - 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. *Interiencia*, 44 (9): 549-556. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33961096008>
 - 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. en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61054247011>
 - 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. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlnr/article/view/254>
 - Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/I-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. <https://doi.org/10.4236/fns.2017.89062>
 - Rocha-Villarreal, V., Hoffmann, J. F., Levien Vanier, N., Serna-Saldívar, S. O. and García-Lara, S. (2018). Hydrothermal treatment of maize: Changes in physical, chemical, and functional properties. *Food Chemistry*, 263: 225-231. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.003>.
 - Rodríguez, P.G., Zavala, G.F., Gutiérrez, D.A., Treviño, R.J.E., Ojeda, Z.M.C., Mendoza, E.M. (2016). Estrategias de selección en familias de hermanos completos en dos poblaciones de maíces criollos. *Rev. P YTON*. 85: 194-202. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572016000200004&lng=es&tlng=es.
 - Roque-Maciel, L., Arámbula-Villa, G., López-Espíndola, M., Ortiz-Laurel, H., Carballo-Carballo, A., and Herrera-Corredor, J.A. (2016). Nixtamalización de cinco variedades de maíz con diferente dureza de grano: impacto en consumo de combustible y cambios fisicoquímicos. *Agrociencia*, 50(6), 727-745. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000600727&lng=es&tlng=es.
 - 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. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1166995>
 - 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 fitotecnia mexicana*, 36 (Supl. 3-a): 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. 2021. Estadística Básica Agrícola, Anuario 2021. www.siap.gob.mx. Fecha=14/09/2021.
 - Smith, H.F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Ann Eugen*, 7: 240-250.
 - Tucuch-Cauich, C.A., Rodríguez-Herrera, S.A., Reyes-Valdés, M.H., Pat-Fernández, J.M., Fulgencio Martín Tucuch-Cauich, F.M., Córdova-Orellana H.S. (2011). Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1):123-132. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000100015&lng=en&tlng=es.
 - Urías-Lugo, D.A., Heredia, J.B., Muy-Rangel, M.D., Valdez-Torres, J.B., Serna-Saldívar, S.O., and Gutiérrez-Urbe, J.A. (2015). Anthocyanins and phenolic acids of hybrid and nativeblue maize (*Zea mays* L.) extracts and their antiproliferative activity in mammary (MCF7), liver (HepG2), colon (Caco2and HT29) and prostate (PC3) Cancer Cells. *Plant Foods Hum. Nutr.* 70:193-199. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0479-4>

- 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). Propiedades nutracéuticas, fisicoquímicas y sensoriales de los polvorones de maíz azul, un dulce tradicional a base de harina. *Alimentos vegetales Hum Nutr*, 73: 321–327 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0692-z>
- Wang, T. and White, P. J. (2019). Lipids of the Kernel. In *Corn* (Third Edition). Editor(s): Sergio O. Serna-Saldivar. ISBN 9780128119716. AACC International Press. Pp. 337-368. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00013-9>.