

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Propiedades Nutricionales y Nutracéuticas De Genotipos De Maíz (*Zea mays*) Con
Diferentes Pigmentaciones Cultivados En El Sureste De Coahuila

Por:

MARÍA ALEJANDRA VALENCIA SANDOVAL

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Enero, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Propiedades Nutricionales y Nutracéuticas De Genotipos De Maíz (*Zea mays*) Con Diferentes Pigmentaciones Cultivados En El Sureste De Coahuila

Por:

MARÍA ALEJANDRA VALENCIA SANDOVAL

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Josué Israel García López
Asesor Principal

M.C. Eduardo Hernández Alonso
Coasesor

Dra. Norma Angélica Ruiz Torres
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Enero, 2022

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



María Alejandra Valencia Sandoval

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme y cuidarme en cada paso que doy, por ser la luz que ilumina mi camino y darme las fuerzas necesarias para levantarme cada vez que caigo, por estar conmigo en los momentos más difíciles y por nunca dejarme sola.

A mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por ser mi segundo hogar, por acogerme y darme la calidez que necesite, por hacerme sentir en casa y sobre todo hacerme sentir feliz, le agradezco a ella por formarme como una profesionalista con valores y una persona con amor a lo que hace, gracias por darme las herramientas necesarias para afrontar los retos que en un futuro llegaran, con orgullo pondré tu nombre en alto a donde valla.

A mis padres Alejandra Sandoval y José Valencia por todo su esfuerzo y apoyo incondicional, por siempre creer en mí y alentarme a ser una mejor persona, sin ustedes este sueño nunca había podido ser posible, los amo.

A mi novio Alfonso González, tu compañía hizo más llevadera esta etapa, gracias por tu paciencia, amor y comprensión, por motivarme a ser la mejor y por celebrar cada logro conmigo, te amo.

A mis maestros, por compartirme sus conocimientos, por enseñarme cada lección con tanta dedicación, por su paciencia y manera de motivarme, gracias por todo su esfuerzo.

A mi asesor y profesor el Dr. Josué, quien deposito su confianza en mí para desarrollar el presente tema de tesis, gracias por todo el apoyo y conocimientos brindados.

A mis amigos, por hacer esta etapa más sencilla, por cada risa y por cada momento inolvidable a su lado, siempre los llevaré en mi corazón.

Al departamento de Fitomejoramiento, por ser un gran departamento, por su apoyo, dedicación y amor a su trabajo, a cada uno de sus profesores por compartir de sus conocimientos, me llevo grandes momentos y aprendizajes adquiridos, es un orgullo pertenecer a este departamento.

DEDICATORIA

A mi papá José Valencia, por su amor, confianza, esfuerzos y sacrificios, sin ti no sería la persona en la que me he compartido, gracias por cada enseñanza, por cada regaño, por confiar y por siempre demostrarme lo orgulloso que te sientes de mí, hoy te puedo decir que todo tu esfuerzo ha dado frutos.

A mi mamá Alejandra Sandoval, por ser la mejor mamá del mundo, por darme tanto amor y cariño, por tus consejos, sacrificios y esfuerzos incontables, gracias por siempre estar cuando más lo necesite, por creer en mí, por alentarme a ser una mejor persona y por motivarme a lograr todo lo que me propusiera, con orgullo hoy te digo lo logramos.

A mis hermanos Valeria y Eduardo, por cada momento feliz a su lado, por su confianza y apoyo en cada etapa, los amo.

A mis abuelitos, Canuto Sandoval y Eustasia Contreras, son mi motor para seguir adelante, siempre me han dado su apoyo y amor incondicional, han creído en mí, y nunca dejan de recordarme lo orgullosos que se sienten.

A mi tía Silvia y a mi primo Alan, gracias por todo su apoyo y confianza.

A mi novio Alfonso González, siempre me motivas a ser una mejor persona, has estado en los mejores y en los peores momentos. Esta etapa no fue fácil, pero estuviste tu ahí para motivarme y ayudarme a alcanzar mis metas. Te amo.

¡Con amor y cariño Alejandra Valencia!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| DEDICATORIA | v |
| ÍNDICE DE CUADROS | viii |
| RESUMEN | x |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivo | 2 |
| 1.2. Hipótesis | 2 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Importancia del contenido nutricional y nutraceutico en granos de maíz | 3 |
| 2.2. ¿Qué son los compuestos polifenólicos? | 3 |
| 2.3. Ruta del ácido Shikimico | 5 |
| 2.4. Ácidos fenólicos | 5 |
| 2.4.2. Ruta de ácidos fenólicos | 6 |
| 2.5. Descripción de los métodos antioxidantes | 7 |
| 2.5.2. DPPH | 7 |
| 2.5.3. ABTS | 8 |
| 2.5.4. FRAP | 8 |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS | 10 |
| 3.1. Material genético | 10 |
| 3.2. Preparación de la muestra | 10 |
| 3.3. Color del grano | 11 |
| 3.4. Color de harina | 12 |
| 3.5. Determinación de minerales mediante espectrometría de emisión atómica por inducción de plasma acoplado (ICP-AES) | 12 |
| 3.7. Extracción de compuestos fenólicos libres y ligados | 12 |
| 3.8. Fenoles totales (solubles + ligados) | 13 |
| 3.9. Flavonoides totales (solubles + ligados) | 13 |
| 3.10. Taninos condensados | 13 |
| 3.11. Antocianinas totales | 14 |
| 3.12. Capacidad antioxidante | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 3.13. Análisis estadístico | 15 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 16 |
| 4.1. Color del grano | 16 |
| 4.2. Color de la harina..... | 18 |
| 4.3. Análisis de minerales..... | 20 |
| 4.3.2. Macroelementos | 20 |
| 4.4. Concentración de fenoles totales y flavonoides totales | 25 |
| 4.5. Taninos condensados y antocianinas totales..... | 28 |
| 4.6. Capacidad Antioxidante | 29 |
| 4.6.3. ABTS | 31 |
| 4.6.4. FRAP | 31 |
| 5. CONCLUSIONES | 34 |
| 6. REFERENCIAS..... | 35 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|--|------|
| Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de los parámetros cromáticos de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 16 |
| Cuadro 2. Parámetros cromáticos de los granos provenientes de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 17 |
| Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de los parámetros cromáticos de las harinas provenientes de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 18 |
| Cuadro 4. Propiedades cromáticas de las harinas provenientes de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 19 |
| Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de macroelementos de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 20 |
| Cuadro 6. Concentración de macroelementos de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 22 |
| Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza de los microelementos en genotipos de maíz pigmentado cultivados en el Sureste de Coahuila. | 23 |
| Cuadro 8. Concentración de macroelementos de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 25 |
| Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de fenoles totales y flavonoides totales de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 26 |
| Cuadro 10. Concentración de fenoles y flavonoides totales de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 27 |
| Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de taninos condensados y antocianinas totales de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 28 |
| Cuadro 12. Concentración de taninos condensados y antocianinas totales de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 29 |
| Cuadro 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para la capacidad antioxidante por DPPH, ABTS y FRAP de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 30 |
| *, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; DPPHS= Solubles; DPPHL= Ligados; ABTSs= Soluble; ABTSL= Ligado; FRAPS= Soluble; FRAPL= Ligado. | 30 |
| Cuadro 14. Capacidad antioxidante por DPPH, ABTS y FRAP de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio. | 32 |
| Cuadro 15. Coeficientes de correlación de Pearson entre el contenido de compuestos fenólicos, parámetros de color (L^* , C^* , h) y actividad antioxidante. | 33 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Clasificación general de los compuestos polifenólicos..... | 4 |
| Figura 2. Biosíntesis de ácido shikimico a partir de fosfoenolpirúvico y eritrosa-4-fosfato. | 5 |
| Figura 3. Ruta general de los fenilpropanoides | 6 |
| Figura 4. Reacción química entre el radical DPPH y la especie antioxidante (La Rosa, 2011). | 7 |
| Figura 5. Estructura del ABTS+ antes y después de la reacción con el antioxidante..... | 8 |
| Figura 6. Mecanismo de reacción en el método de FRAP (Benzie <i>et al.</i> , 1996)..... | 9 |
| Figura 7. Genotipos de maíz (<i>Zea mays</i>) seleccionados para el estudio. | 11 |

RESUMEN

El maíz es el cereal de los pueblos y culturas del continente americano, es el cultivo con más importancia en varios sectores de la economía a escala mundial. En México existen numerosas variedades de maíces (*Zea mays* L.) nativos, que difieren tanto en su apariencia como en su contenido nutricional. En virtud de lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar los parámetros cromáticos, contenido nutraceutico y capacidad antioxidante de diferentes genotipos de maíz pigmentados, cultivados en el sureste de Coahuila.

Los granos de los nueve genotipos de maíz con diferentes pigmentaciones provienen de accesiones del Programa de Mejoramiento del Instituto Mexicano del Maíz y del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Los genotipos fueron nombrados según su variedad y color, la descripción de cada material se presenta en el apartado de materiales y métodos.

Las evaluaciones realizadas en los genotipos de maíz fueron, parámetros cromáticos (L^* , C^* y h) del grano y harina, análisis de minerales por espectrometría de emisión atómica por inducción de plasma acoplado (ICP-AES) (macronutrientes y micronutrientes), contenido de compuestos polifenólicos (fenoles totales y flavonoides totales, taninos condensados y antocianinas) y capacidad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) en extractos libres y ligados.

En todos los parámetros evaluados, se mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los análisis de varianza para los nueve genotipos de maíz evaluados. Los resultados para luminosidad, cromaticidad y ángulo de tono (L^* , C^* y h) de los granos, tuvieron variaciones entre genotipos, para L y h se obtuvieron los valores más altos en los maíces blancos y los más bajos en los maíces rojo y morados, mientras que para C , los valores más elevados se presentaron en los maíces de grano amarillo y los más bajos en los morados, lo mismo en el caso de la harina.

Los resultados de los análisis realizados mostraron que el mayor contenido de nitrógeno (N) y fosforo (P), se presentó en los maíces de color morado y en un maíz blanco, mientras que para potasio (K), el mayor contenido se presentó en los maíces amarillos, en un maíz blanco y en un rojo, en calcio (Ca) el mayor contenido se encontró en un maíz morado y en un blanco, y en magnesio (Mg) la mayor presencia se encontró en los maíces blancos y morados.

La mayor acumulación de microelementos en el caso del hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), se presentó en los maíces morados, mientras que el boro (B) y cobre (Cu) en maíz rojo.

La concentración de fenoles totales fue más alta en el maíz de grano morado, lo mismo para flavonoides totales, antocianinas totales y taninos condensados. La mayor concentración de compuestos fenólicos en los granos morados resultó con una correlación positiva para las capacidades antioxidantes por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP.

Los resultados obtenidos permiten comprobar que los genotipos de maíz evaluados tienen diferentes características, tanto nutricionales como antioxidantes, lo que indica una importante variabilidad genética.

1. INTRODUCCIÓN

En México, el maíz no solo se trata de un alimento básico, sino de un componente fundamental del patrimonio gastronómico, cultural y de la identidad de los mexicanos. El maíz tiene tres principales aplicaciones, como alimento, como forraje y como materia prima para la industria (Govaerts *et al.*, 2019).

En México, el maíz es uno de los cultivos de mayor versatilidad como materia prima para la formulación de alimentos, su consumo alcanza hasta 200 kg por persona al año (Peña *et al.*, 2013), el cual convierte al maíz en un grano básico para la alimentación, cubriendo el 46% de las necesidades calóricas, aportando nutrientes a la dieta diaria como carbohidratos (principalmente almidón), fibra cruda, lípidos, proteínas (aminoácidos), vitaminas, macro y micro minerales (Cázares-Sánchez *et al.*, 2015).

El maíz es el cultivo más importante para la economía mexicana, ocupando mayor superficie productiva que cualquier otro cultivo en México. Debido a la diversidad de razas de maíz cultivadas en el país, y por su importancia cultural, México es considerado cuna y salvaguarda de la biodiversidad del maíz. De las 220 razas de maíz de América Latina, en México se han identificado 64, equivalente a un 29%, de las cuales 59 pueden considerarse nativas (Govaerts *et al.*, 2019).

En la actualidad se cultivan maíces de diferentes formas y tonalidades de grano; los azules, negros, púrpura y rojos se conocen como maíces pigmentados, y son de suma importancia ya que aportan compuestos nutraceuticos (Paulsmeyer *et al.*, 2017).

A diferencia de los granos blancos, los pigmentados poseen compuestos químicos llamados antocianinas, que les dan colores vistosos. Algunos maíces tienen antocianinas en el pericarpio y en la aleurona, otros sólo en alguna de estas estructuras, e incluso se han identificado pigmentos en su endospermo. Las antocianinas son muy importantes porque tienen propiedades nutraceuticas y antioxidantes que contrarresta los radicales libres responsables de causar la oxidación de membranas y daño al ADN (Serna Saldívar *et al.*, 2013).

En los maíces no solo las antocianinas del grano tienen función antioxidante, hay un grupo más amplio de sustancias que están presentes en los maíces pigmentados y que son benéficas para los seres humanos. Entre estos compuestos fitoquímicos se encuentran diferentes compuestos polifenólicos, como son: ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y taninos condensados con alto poder antioxidante (Serna Saldívar *et al*; 2013; Urias-Lugo *et al.*, 2015).

Es por esto que es de relevancia, generar información y documentar la composición química de los diversos genotipos de maíz que se cultivan en sureste de Coahuila, y de esta manera aprovechar sus aportaciones nutricionales y nutraceuticas en la dieta humana. Por lo anterior, se realizó esta investigación con el propósito de evaluar las características físicas y químicas de nueve genotipos de maíz con diferentes pigmentaciones que provienen de accesiones del Programa de Mejoramiento del Instituto Mexicano del Maíz y del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

1.1. Objetivo

Determinar las propiedades cromáticas, nutricionales y nutraceuticas de nueve genotipos de maíz (*Zea mays*) cultivados en el sureste de Coahuila.

1.2. Hipótesis

Hi: Por la diversidad genética del maíz, existen diferencias entre genotipos en cuanto al color del grano, concentración nutricional y nutraceutica, y en la capacidad antioxidante.

Ho: No existen diferencias entre los genotipos de maíz en cuanto al color del grano, concentración nutricional y nutraceutica, y en la capacidad antioxidante.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del contenido nutricional y nutraceutico en granos de maíz

El maíz se ha considerado como un alimento funcional por su amplia diversidad genética. A través de generaciones los maíces han conservado importantes compuestos nutraceuticos, que proporcionan efectos positivos en nutrición y salud, ya que en el grano se encuentran compuesto como fibra dietética como los arabinosilanos y los polisacáridos no amiláceos, compuestos fenólicos, carotenoides, xantofilas, triglicéridos ricos en ácidos grasos, omega 6, fitoesteroles, policosanoles y micronutrientes como tocoferoles y tocotrienoles, fosfolípidos que proveen colina e inositol, y vitaminas con propiedades nutraceuticas como el ácido fólico, tiamina y niacina (Serna Saldivar *et al.*, 2013).

La importancia de grano del maíz en la producción de alimentos con características funcionales y nutraceuticas, radica en su alto contenido de compuestos antioxidantes que contrarrestan los radicales libres responsables de causar la oxidación de membranas y daño al ADN, lo que permite contrarrestar enfermedades como cáncer, fibrosis, problemas cardiovasculares y envejecimiento (Belobrajdic y Bird, 2013; Quirós Saucedo *et al.*, 2014).

2.2. ¿Qué son los compuestos polifenólicos?

Los compuestos polifenólicos son el grupo más extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetal (Quiñones *et al.*, 2012). Estos son metabolitos secundarios de las plantas, en las cuales desarrollan funciones de protección al ataque de patógenos o herbívoros, y son pigmentos que atraen a los polinizadores. Poseen en su estructura al menos un anillo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo, a partir de los cuales ejercen su acción antioxidante (Arranz Martínez, 2010; Mercado-Mercado *et al.*, 2013).

Los compuestos polifenólicos se clasifican como ácidos fenólicos, flavonoides y taninos, actualmente se identifica la existencia de alrededor de 8000 compuestos y la mayoría de estos poseen una estructura de 3 anillos, dos aromáticos (anillos A y B) y uno heterociclo oxigenado (anillo C), los compuestos más sencillos poseen solo un anillo aromático y

conforme aumenta el número de sustituyentes, se va incrementando la complejidad de la estructura. Previendo la gran diversidad de estructuras derivadas, a los compuestos polifenólicos se les ha agrupado en 12 familias (Mercado-Mercado *et al.*, 2013). En la Figura 1, se presenta la clasificación general de polifenoles.

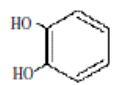
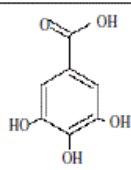
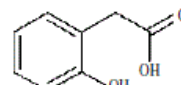
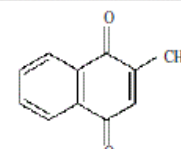
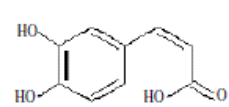
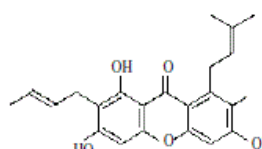
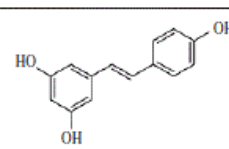
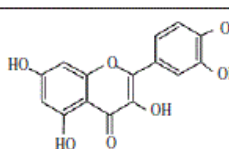
| Clase | Estructura | Ejemplo | Clase | Estructura | Ejemplo |
|-------------------------|---------------|---|-------------------------|-----------------|---|
| Fenoles simples | C_6 |  Catecol | Ácidos hidroxibenzoicos | C_6-C_1 |  Ácido gálico |
| Ácidos fenilacéticos | C_6-C_2 |  Ácido 2-hidroxi-fenilacético | Naftoquinonas | C_6-C_4 |  Menadiona |
| Ácidos hidroxicinámicos | C_6-C_3 |  Ácido caféico | Xantomas | $C_6-C_7-C_8$ |  Mangostina |
| Estibenos | $C_6-C_2-C_6$ |  Resveratrol | Flavonoides | $(C_6-C_7-C_8)$ |  Quercetina |

Figura 1. Clasificación general de los compuestos polifenólicos.

La biosíntesis de los compuestos polifenólicos como producto del metabolismo secundario de las plantas, tiene lugar a través de dos importantes rutas primarias: la ruta del ácido shikimico y la ruta de los poliacetatos (Quiñones *et al.*, 2012).

2.3. Ruta del ácido Shikimico

La ruta del ácido shikimico (Figura 2) es responsable de la biosíntesis de la mayoría de los compuestos fenólicos de plantas, comienza con los aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina y triptófano, derivados del corismato, producto final de la ruta metabólica del shikimato, los cuales se sintetizan a partir de 3 y 4 átomos de carbono como son el ácido fosfoenolpiruvato (PEP) que proviene de la glucólisis y eritrosa-4-fosfato (E4P), proveniente de la ruta de la pentosa fosfato, y están condensadas a 3-desoxi-D- arabino-heptulose-7-fosfato por la enzima DAHP sintasa. Lo siguiente es la formación de 3-dehidroquinato por la enzima 3-DHQ sintasa, la 3-deshidroshikimato por la enzima DHQ deshidratasa, y finalmente en el ácido shikímico por la enzima shikimato deshidrogenasa, molécula de donde la ruta metabólica deriva su nombre (Figura 2) (Maeda y Dudareva, 2012).

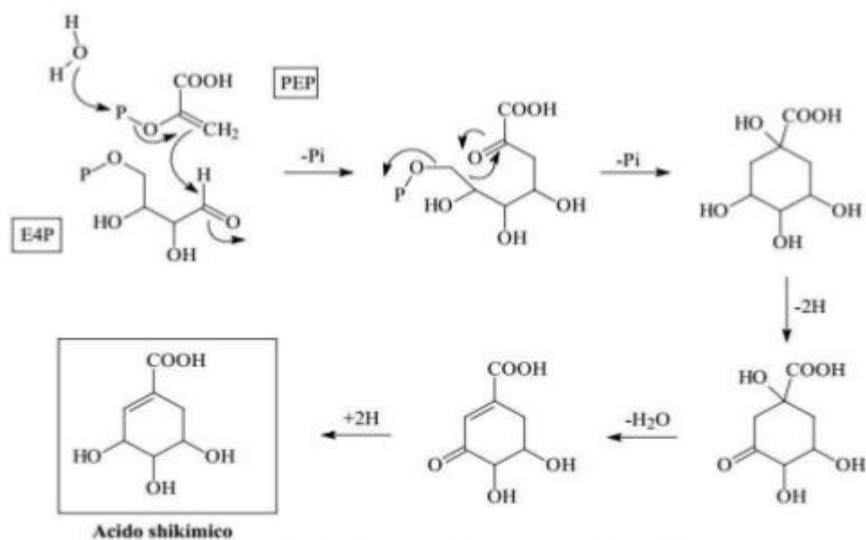


Figura 2. Biosíntesis de ácido shikimico a partir de fosfoenolpirúvico y eritrosa-4-fosfato.

2.4. Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos, son un grupo de compuestos caracterizados por poseer en su estructura química el anillo aromático y el grupo hidroxilo comunes a los compuestos fenólicos y un grupo carboxílico (Vermerris y Nicholson, 2007). Se originan de un anillo de benceno generados por la fenilalanina, a la cual se le sumó un grupo carboxilo para formar un ácido

fenilcarboxílico o fenólico, y dependiendo de su lugar en el anillo aromático, se dividen en C6-C1 ácidos hidroxibenzoicos, C6-C2 fenonas (compuestos muy raros en la naturaleza) y C6-C3 ácidos hidroxicinámicos (Goleniowski *et al.*, 2013). Los primeros (hidroxibenzoicos) son muy abundantes en la naturaleza tanto libres, como en forma de ácidos o aldehídos (vainillal, anisaldehído) o combinados en formas heterocíclicas. Los ácidos hidroxicinámicos, también son abundantes en la naturaleza y cualquier planta contiene al menos tres de los seis que existen (cinámico, p-cumárico, cafeico, ferúlico, 5-hidroxiferulico y sinápico) (Vermerris y Nicholson, 2007).

Los ácidos fenólicos son de interés desde un punto de vista tecnológico y nutricional por sus propiedades antioxidantes, que supone una reducción en la utilización de aditivos antioxidantes, a la vez que se obtienen alimentos más saludables, que incluso pueden llegar a englobarse dentro de los alimentos funcionales (Tsimidou, 1998).

2.4.2. Ruta de ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos se sintetizan por la ruta de los fenilpropanoides (Figura 3), la cual comienza utilizando fenilalanina generada por la ruta del ácido shikimico, se producen cuando se elimina el grupo amino, donde la fenilalanina es desaminada por la fenilalanina amoni-aliasa, que forma el esqueleto del fenilpropanoide, para producir el ácido cinámico (Crozier *et al.*, 2006).

Las reacciones siguientes en esta ruta catalizan la adición de más grupos hidroxilo y metilo para la producción de los ácidos hidroxicinámicos (p-cumárico, cafeico, ferúlico, 5-hidroxiferúlico y sinápico) (Figura 5), los cuales son precursores de compuestos más complejos como cumarinas, lignina, taninos, flavonoides e isoflavonoides (Humphreys y Chapple, 2002).

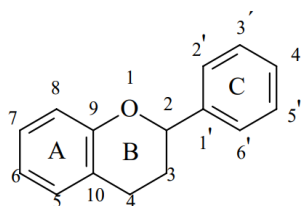


Figura 3. Ruta general de los fenilpropanoides

2.5. Descripción de los métodos antioxidantes

Los mecanismos de oxidación son complejos, por lo cual no existe un único método que permita evaluar las propiedades antioxidantes de los compuestos fenólicos de origen vegetal. Lo ideal, es la utilización de varios métodos e interpretar los resultados para conocer el perfil antioxidante del alimento (Díez, 2018). Los métodos espectrofotométricos más utilizados para evaluar la capacidad antioxidante son los métodos 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), Ácido 2-2'-azinobis (3-etilbenzotiazolín)-6-sulfónico (ABTS), poder de reducción del ion férrico (FRAP, por sus siglas en inglés), y 29 capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC, por sus siglas en inglés) (González-Muñoz *et al.*, 2013; Chaiittianan *et al.*, 2016). A continuación, se presenta el fundamento de cada método que es comúnmente utilizado para determinar las propiedades antioxidantes de alimentos de origen vegetal.

2.5.2. DPPH

El DPPH es un radical orgánico nitrogenado y estable de color violeta (medido a 515nm), que se pierde progresivamente en contacto con sustancias antioxidantes que pueden donar un átomo de hidrógeno (H) u otro radical (R) (Figura 4). El antioxidante dona hidrógeno u otra especie radicalaria a DPPH• y se reduce a DPPH-H o DPPH-R, con la correspondiente pérdida del color y por tanto pérdida de la absorbancia (Díez, 2018). Para medir la concentración se usa una curva de calibración con Trolox en concentraciones de 0 a 500 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (Chaiittianan *et al.*, 2016).

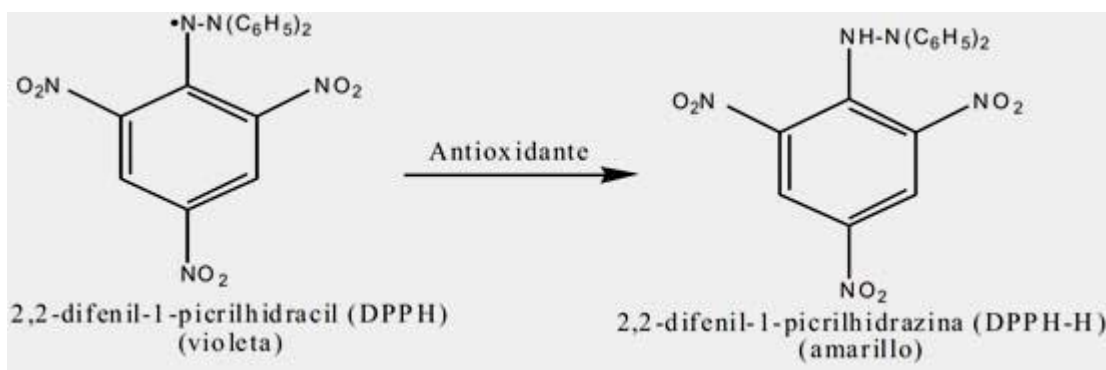


Figura 4. Reacción química entre el radical DPPH y la especie antioxidante (La Rosa, 2011).

2.5.3. ABTS

Entre los métodos utilizados para determinar la capacidad de un antioxidante para captar radicales libres, el radical $ABTS^{\bullet+}$ es uno de los más aplicados, ya que es un método de elevada sensibilidad, práctico, rápido y muy estable (Arnao, 2000). Este método es similar al de DPPH, la reacción consiste en la transferencia de átomos de hidrógeno o compuestos liposolubles al reactivo para estabilizarlo, de esta manera reducir el $ABTS^{\bullet+}$ a $ABTS$ (Figura 5) (Alam *et al.*, 2013). El grado de decoloración del radical $ABTS$ se determina en función de la concentración y el tiempo, y se compara con la reactividad de Trolox, el radical $ABTS^{\bullet+}$ se obtiene tras la reacción de $ABTS$ (7 mM) con persulfato potásico ($K_2S_2O_8$) (Re *et al.*, 1999).

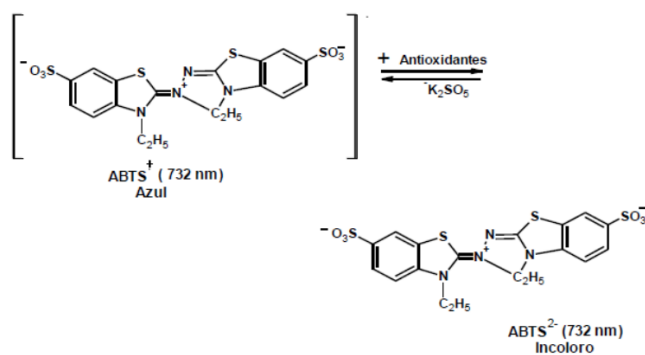


Figura 5. Estructura del $ABTS^{\bullet+}$ antes y después de la reacción con el antioxidante.

2.5.4. FRAP

El ensayo FRAP (poder férrico reductor), es un método indirecto de transferencia de electrones basado en el poder de los antioxidantes para reducir el ion hierro (Fe^{3+}) presente en un complejo con la TPTZ hasta la forma ferrosa (Fe^{2+}), simulando la capacidad de reducción del plasma, pero se lleva a cabo en condiciones ácidas (pH 3.6). Cuando un complejo férrico-tripiridiltriazina (Fe^{3+} -TPTZ), pasa a su forma reducida (Fe^{2+}) y forma un complejo de color azul que se mide a una longitud de onda de 593 nm (Figura 6). El ensayo de FRAP es un método de transferencia de electrones, en los que la capacidad de reducción del propóleo es una medida directa de su capacidad antioxidante mediante una reacción

colorimétrica redox. La curva de calibración puede realizarse por Vitamina C, TROLOX, FeSO₄ (Díez, 2018; Rodríguez Salinas *et al.*, 2020).

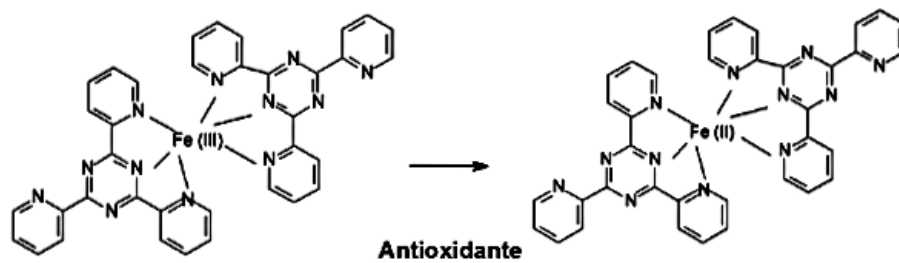


Figura 6. Mecanismo de reacción en el método de FRAP (Benzie *et al.*, 1996).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material genético

Los granos de los nueve genotipos de maíz con diferentes pigmentaciones provienen de accesiones del Programa de Mejoramiento del Instituto Mexicano del Maíz y del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Todos los genotipos fueron cultivados durante el ciclo agrícola primavera-verano 2020, en el Campo Experimental Bajío UAAAN en Saltillo, Coahuila localizado a 25° 21' 29" Latitud N, 101° 02' 21" Longitud O, a una altitud de 1742 m s.n.m., con una precipitación media anual de 350-400 mm y una temperatura media anual de 19.8 °C.

3.2. Preparación de la muestra

El grano de cada genotipo fue separado de la mazorca de forma manual, con una humedad del 12 % al 13 %, y posteriormente se almacenaron a 4 °C hasta el momento de llevar a cabo los análisis. En la Figura 7, se presenta la caracterización y descripción (mazorca, grano y harina) de los genotipos de maíz seleccionados para este estudio.

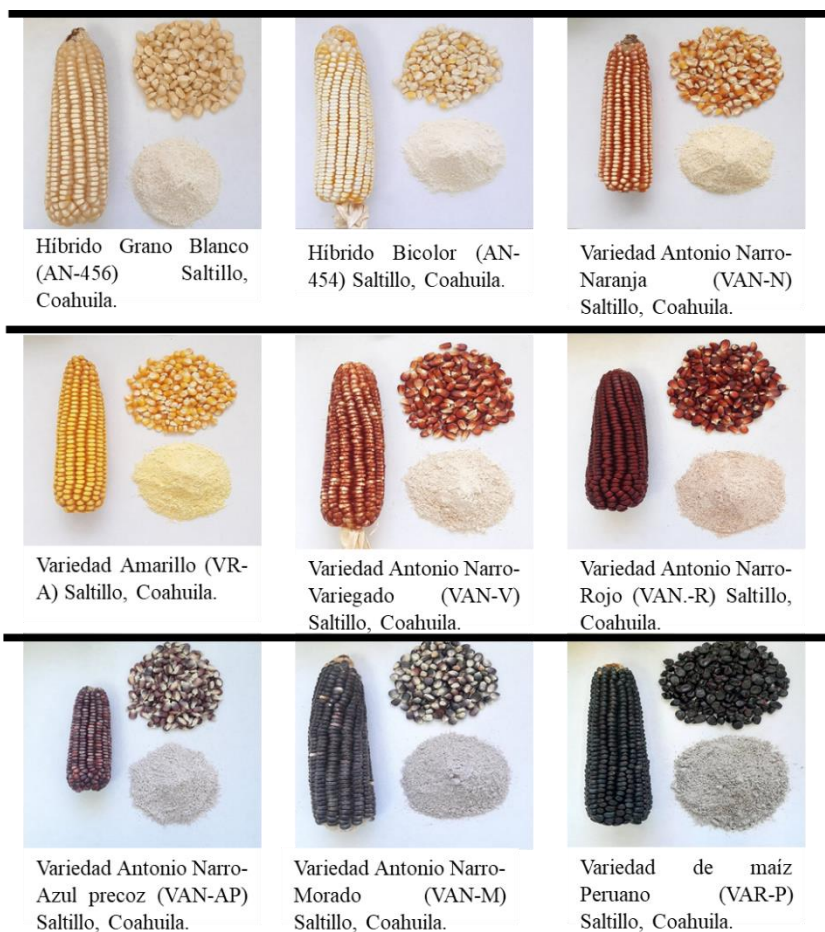


Figura 7. Genotipos de maíz (*Zea mays*) seleccionados para el estudio.

3.3. Color del grano

En una caja Petri (4,73 cm × 1,5 cm) se colocaron 50 g de grano de cada genotipo y se determinó el color con un lector Konica Minolta (CR-10 Tokio, Japón). Los parámetros cromáticos se obtuvieron utilizando los sistemas de color CIELAB (L^* , a^* , b^*) y CIELCH (L^* , C^* , h^*) de acuerdo con la Comisión Internacional de Iluminación de Alimentos (CIE, 2004). L^* define la luminosidad (0 negro, 100 blanco), a^* indica rojo positivo (positivo a^*) o valor verde (negativo a^*) y b^* indica amarillo (positivo b^*) o valor azul (negativo b^*), C^* (cromo; nivel de saturación de h) y h (ángulo de tono: 0° = rojo, 90° = amarillo, 180° = verde, 270° = azul). La visualización del color se obtuvo mediante el software en línea ColorHexa, convertidor de color utilizando los valores L^* , C^* y h^* (ColorHexa, 2017).

3.4. Color de harina

Cincuenta gramos de grano (endospermo y salvado) de cada genotipo fueron molidos en un molino eléctrico KRUPS GX4100 (Medford, MA, USA), después se tamizaron para obtener partículas con tamaño <0.5 mm (malla estándar 35). Posteriormente, la harina fue colocada en una caja Petri (4,73 cm × 1,5 cm), y el color se determinó como se describió anteriormente.

3.5. Determinación de minerales mediante espectrometría de emisión atómica por inducción de plasma acoplado (ICP-AES)

La harina de cada genotipo se secó en un horno Yamato DX 602C (Yamato Scientific Co, Japón) a 60 C durante 72 h. El material resultante fue sometido a digestión ácida en una mezcla de ácido perclórico y ácido nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). El nitrógeno (N) se cuantificó mediante el método micro Kjendahl de acuerdo con la metodología Bremner (1965). Las concentraciones en ppm de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) se realizaron utilizando el extracto de digestión ácida mediante un espectrómetro de emisión atómica de inducción de plasma acoplado (ICP-AES Agilent 725-ES, Agilent Technologies, Estados Unidos) (Garza-Alonso *et al.*, 2020).

3.7. Extracción de compuestos fenólicos libres y ligados

La extracción de compuestos fenólicos libres y ligados se realizaron de acuerdo con Rodríguez-Salinas *et al.* (2020). Para la extracción, se pesaron 200 mg de harina de maíz, los cuales fueron suspendidos con 4 mL de metanol al 80%, se purgaron durante 30 s con argón y se agitaron durante 2 h a 200 rpm, en oscuridad. Después, las muestras se centrifugaron a 5000 rpm durante 5 min y el sobrenadante fue recuperado y almacenado a -20 °C hasta su análisis. Los compuestos fenólicos ligados se obtuvieron de los residuos sólidos de los fenoles libres, añadiendo 5 mL de NaOH 2 M y se purgaron con argón durante 30 s. Después, la mezcla se agitó durante 2 h. Posteriormente, se ajustó el pH a 2.5 con HCl concentrado y los fenólicos se extrajeron con 5 mL de acetato de etilo en dos ocasiones. Los extractos de acetato de etilo se combinaron y se colocaron en un rotavapor (Yamato RE201, Yamato,

Japón) para evaporar el acetato de etilo durante 30 min. Una vez evaporado, la muestra se resuspendió con 4 mL de metanol al 80%.

3.8. Fenoles totales (solubles + ligados)

Los ensayos de fenólicos totales, flavonoides totales, taninos condensados y de capacidad antioxidante se realizaron en un espectrofotómetro Thermo Spectronic BioMate3 (Rochester, NY, USA), de acuerdo con lo establecido por López-Contreras *et al.* 2015. Para la determinación del contenido de fenoles totales, se tomaron 0.2 mL de cada extracto y se agregaron 2.6 mL de agua destilada y 0.2 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu. Después de 5 min, se agregaron 2 mL de Na₂CO₃ al 7% y la solución se agitó durante 30 s, para luego llevar la reacción en oscuridad por 90 min, posteriormente se midió la absorbancia de las muestras a 750 nm. La concentración de fenoles se reportó en miligramos equivalente de ácido gálico por cien gramos de muestra (mg GAE/100 g), calculado a partir de la curva de calibración de ácido gálico de 0 a 200 mg L⁻¹.

3.9. Flavonoides totales (solubles + ligados)

La determinación del contenido de flavonoides totales se basó en la reacción del complejo AlCl₃-NaNO₂-NaOH, para esto se tomaron 0.2 mL del extracto y se agregaron 3.5 mL de agua destilada. Posteriormente, se agregaron 0.15 mL de NaNO₂ al 5%, 0.15 mL de AlCl₃ al 10% y 1 mL de NaOH 1 M, a intervalos de 5 min cada uno. La reacción se dejó durante 15 min y después se midió la absorbancia a 510 nm. El contenido total de flavonoides se informó en miligramos de equivalentes de (+)-catequina por cien gramos de muestra (mg CE/100 g), calculado a partir de la curva de calibración de (+)-catequina de 0 a 200 mg L⁻¹.

3.10. Taninos condensados

El contenido de taninos condensados se determinó mediante la reacción del complejo vainillina-H₂SO₄. Del extracto fenólico, se mezclaron 0.25 mL con 0.65 mL de solución de vainillina al 1% y 0.65 mL de H₂SO₄ al 25% (vainillina y H₂SO₄ disueltos en metanol). La reacción se llevó a cabo durante 15 min, y finalmente, la absorbancia de las muestras se midió

a 500 nm. El contenido de taninos condensados se reportó en miligramos equivalente de (+)-catequina por cien gramos de muestra (mg CE/100 g), calculados a partir de la curva de calibración para (+)-catequina de 0 a 200 mg L⁻¹ (Rodríguez-Salinas *et al.* 2020).

3.11. Antocianinas totales

El contenido total de antocianinas se determinó con base en lo establecido por Abdel-Aal y Hucl (1999). Para ello, 200 mg de harina de maíz se homogenizaron con 10 mL de etanol-HCl 1M (85:15 v/v, pH 1, 4 °C), se purgó por 30 s con nitrógeno y se agitaron a 200 rpm durante 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 5000 rpm (4 °C, 15 min) y finalmente, se midieron 3 mL de sobrenadante a 535 nm. El contenido de antocianinas se informó como miligramos de equivalentes de cianidina-3-glucósido (C3G) por cien gramos de muestra (mg C3G/100 g) como sigue: $C = (A/\epsilon) * (V/1000) * MW * (1/\text{peso de muestra}) * 10^6$, donde: C = concentración en mgC3G/L, A = absorbancia de muestra, ϵ = absorción molar (mgC3G = 26,695 l/cm 1/mol), V = volumen de muestra, MW = peso molecular de C3G (449.2 g/mol).

3.12. Capacidad antioxidante

Los ensayos de capacidad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) se realizaron de acuerdo con Rodríguez-Salinas *et al.* 2020. La capacidad antioxidante de DPPH (2,2-difenil-1-picrylhydrazyl) se evaluó utilizando una solución de trabajo 60 μ M en metanol al 80%, con una absorbancia ajustada a 0.7 a 517 nm. El ensayo se llevó a cabo mezclando 50 μ L del extracto fenólico con 1.5 mL de la solución de trabajo DPPH, la reacción se dejó durante 30 min en la oscuridad y se determinó la absorbancia.

La capacidad antioxidante de ABTS (2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) se llevó a cabo utilizando una solución de trabajo obtenida mezclando 1 mL de ABTS al 7.4 mM y 1 mL de K₂S₂O₈ al 2.6 mM, permitiéndoles reaccionar durante 12 h en oscuridad. Después, la absorbancia de la solución de trabajo se ajustó a 0.7 a 734 nm diluyendo con metanol. El ensayo ABTS se realizó mezclando 50 μ L del extracto fenólico con 1.5 mL de

solución de trabajo ABTS. La reacción se dejó durante 30 min en la oscuridad y se midió la absorbancia.

La capacidad antioxidante de FRAP (poder antioxidante reductor férrico) se realizó de acuerdo con López-Contreras *et al.*, 2015. FRAP se determinó utilizando una solución de trabajo obtenida mezclando 300 mM de $C_2H_3NaO_2 \cdot 3H_2O$ (pH 3.6), 10 mM TPTZ (2,4,6-tripiridyl-s-triazine, en HCl 40 mM) y 20 mM $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ en proporción 10: 1: 1. El ensayo de FRAP se realizó mezclando 50 μ L de extracto fenólico con 1.5 mL de solución de trabajo FRAP, se dejó la reacción durante 30 min en la oscuridad a 37 °C, y la absorbancia se midió a 593 nm.

La capacidad antioxidante para DPPH, ABTS y FRAP se reportaron en micromoles de Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico ácido) equivalente por cien gramos de muestra (μ mol TE/100 g), con base a la curva de calibración con Trolox en concentraciones de 0 a 500 μ mol/L. La IC₅₀ de DPPH y ABTS se calculó para la cantidad de antioxidante requerido para inhibir el 50% de la oxidación del radical, la absorbancia ajustada a 0.7 en las soluciones de trabajo se consideró como 100% de oxidación, y se usó metanol como control. Los resultados se expresaron como miligramos de harina de maíz por mililitro (mg/mL).

3.13. Análisis estadístico

La diferencia estadística entre muestras se analizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico SPSS versión 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Los resultados se informaron como valores medios de tres muestras \pm desviación estándar.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Color del grano

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre genotipos (Cuadro 1) en las variables de color (L^* , C^* y h), esto quiere decir que los genotipos presentaron diferentes características cromáticas.

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza de los parámetros cromáticos de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.










| FV | GL | L^* | C^* | h |
|--------------|----|-----------|----------|-----------|
| Tratamientos | 8 | 1347.86** | 487.56** | 2905.41** |
| Error | 36 | 5.97 | 11.94 | 160.78 |
| CV | | 5.33 | 22.77 | 20.36 |

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; L^* = luminosidad; C^* = saturación del color; h = ángulo de tono.

A continuación, se presentan los resultados de la comparación de medias para los parámetros de color. Los valores para L^* variaron de 25.33 a 69.15, en C^* de 1.51 a 32.22 y en h de 32.38 al 92.07 (Cuadro 2). En los genotipos de grano rojo el valor L^* fue de 31.01 y 36.04, que corresponden a VAN-R y VAN-V, respectivamente, mientras que los valores en maíz amarillo variaron de 53.96 a 54.80, estos valores corresponden para VAR-A y VAN-N, respectivamente. Los valores del maíz morado fueron de 25.33 para VAR-P, 35.14 en VAN-M y 37.27 en VAN-AP. La luminosidad más alta se observó en los maíces de grano blanco con valores de 69.14 a 69.15 para AN-456 y AN-454, respectivamente (Cuadro 2). Los resultados de este estudio concuerdan con los informados por Rodríguez Salinas *et al.* (2020), quienes informaron valores de L^* en un rango de 25.13 a 63.64 en genotipos nativos de maíz del noreste de México. Los maíces de grano pigmentado (grano morado y rojo) presentan valores bajos de L^* debido al contenido de antocianinas en el pericarpio del grano (Cuadro 2), mientras que en maíces de color claro (grano amarillo o blanco), se presentan valores

elevados de L^* por su alto contenido de carotenoides (Khamphasan *et al.*, 2018). En el Cuadro 15, se observa un coeficiente de correlación negativo (-0,59) entre el valor de L^* y el contenido de antocianinas, lo que indica que los granos más oscuros presentan los niveles más altos de antocianinas.

Cuadro 2. Parámetros cromáticos de los granos provenientes de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| Tratamientos Grano | Parámetros de color | | | Vista en color |
|-----------------------|---------------------|----------------|-----------------|---|
| | L^* | C^* | h | |
| AN-456 | 69.14 ± 3.90a | 18.17 ± 1.89bc | 92.07 ± 0.82a |  |
| AN-454 | 69.15 ± 3.80a | 17.12 ± 1.18bc | 90.84 ± 1.72ab |  |
| VAN-N | 54.80 ± 1.76b | 23.02 ± 4.05b | 77.65 ± 4.86abc |  |
| VAR-A | 53.96 ± 1.22b | 32.22 ± 8.04a | 78.90 ± 1.68ab |  |
| VAN-V | 36.04 ± 1.50cd | 19.24 ± 2.77bc | 38.35 ± 3.00d |  |
| VAN-R | 31.01 ± 1.29d | 15.35 ± 2.84c | 33.17 ± 3.65d |  |
| VAN-AP | 37.27 ± 2.07c | 6.30 ± 1.52d | 32.38 ± 14.80d |  |
| VAN-M | 35.14 ± 2.82cd | 3.63 ± 0.94d | 65.16 ± 23.46bc |  |
| VAR-P | 25.33 ± 1.76e | 1.51 ± 1.56d | 51.74 ± 24.99cd |  |

L^* : luminosidad; C^* : saturación del color; h : ángulo de tono.

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

En el índice de saturación del color C^* , los genotipos de maíz rojo mostraron valores de 15.35 a 19.24, para VAN-R y VAN-V, respectivamente, mientras que en el maíz amarillo los valores variaron de 23.02 a 32.22, que corresponden a VAN-N y VAR-A. En el maíz morado, los valores oscilaron entre 1.51, 3.63 y 6.30 para los genotipos VAR-P, VAN-M y VAN-AP, respectivamente (Cuadro 2). Los valores para maíz blanco variaron de 17.12 a 18.17, y corresponden a los genotipos AN-456 y AN-454, respectivamente. Estos resultados están de acuerdo con lo reportado por Harakotr *et al.* (2014), quienes informaron valores de 2.9 a 29.4 en 49 genotipos de maíz con diferentes niveles de colores desde el blanco al negro violáceo,

con alta variabilidad de compuestos polifenólicos, antocianinas y capacidad antioxidante. Los parámetros de color están relacionados con los compuestos antioxidantes y su actividad, por lo tanto, los valores de C^* y h pueden utilizarse como selección indirecta del contenido de antocianinas monoméricas, contenido fenólico total y actividad antioxidante en granos de maíz (Khamphan *et al.*, 2018).

En el ángulo h , los valores en el maíz rojo oscilaron de 33.17 a 38.35, estos valores ocurrieron para VAN-R y VAN-V, mientras que los valores de h en maíz amarillo oscilaron entre 77.65 a 78.90 para VAN-N y VAR-A, respectivamente. Los valores del maíz morado variaron entre 32.38 a 65.16, y corresponden a VAN-AP y VAN-M. Para el maíz blanco, los valores de h alcanzaron un valor de 90.84 a 92.07, que corresponde a los genotipos AN-454 y AN-456. Los valores de h definen la percepción visual del color; por ejemplo, los valores de VAR-A (78.90) y AN-456 (92.07), corresponden a una percepción visual de color naranja, mientras que los valores de VAN-AP (32.38) y VAR-P (51.74) corresponden a tonos rojos (Salinas-Moreno *et al.*, 2012; Rodríguez-Salinas *et al.*, 2020).

4.2. Color de la harina

En los resultados que muestra el análisis de varianza (Cuadro 3), se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre genotipos en las características de color de las harinas. La harina de maíz es un alimento fundamental consumido diariamente a nivel mundial, cada tipo de harina varía en color, sabor y hasta en su utilización final, lo cual está determinado por el genotipo.










Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de los parámetros cromáticos de las harinas provenientes de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| FV | GL | L^* | C^* | h |
|--------------|----|----------|----------|-----------|
| Tratamientos | 8 | 278.33** | 413.49** | 4156.36** |
| Error | 36 | 0.18 | 0.33 | 3.80 |
| CV | | 0.53 | 4.15 | 2.83 |

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; L^* = luminosidad; C^* = saturación del color; h = ángulo de tono.

Los resultados de la comparación de medias indican que los valores para L^* oscilaron entre 69.38 a 88.66, mientras que en C^* de 4.59 a 34.19, y en h de 25.23 a 94.91 (Cuadro 4). Las lecturas de L^* para el maíz rojo fueron 77.62 (VAN-R) y 79.45 (VAN-V), mientras que en el maíz amarillo estos valores van de 86.31 (VAN-A) a 86.73 (VAN-N). Los valores de maíz morado variaron de 69.38 (VAR-P) a 75.99 (VAN-AP), mientras que en el maíz blanco estos valores oscilaron entre 88.14 (AN-456) hasta 88.66 (AN-454). Las harinas presentaron un color más claro que el grano y, en consecuencia, una mayor luminosidad. Los incrementos de la luminosidad en las harinas pueden relacionarse con la presencia de una mayor proporción de endospermo durante el proceso de molienda (Flores-Naveda *et al.*, 2021). Estos resultados concuerdan con los informados por Rodríguez-Salinas *et al.* (2020), quienes obtuvieron valores de 72.85 a 88.78 en harinas provenientes de maíces pigmentados.

Cuadro 4. Propiedades cromáticas de las harinas provenientes de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| Tratamiento Harina | Parámetros de color | | | Vista en color |
|-----------------------|---------------------|---------------|---------------|---|
| | L^* | C^* | h | |
| AN-456 | 88.14 ± 0.40a | 13.23 ± 0.10d | 93.14 ± 0.40a |  |
| AN-454 | 88.66 ± 0.15a | 15.73 ± 0.25c | 94.91 ± 0.29a |  |
| VAN-N | 86.73 ± 0.32b | 19.26 ± 0.71b | 90.87 ± 1.14a |  |
| VAR-A | 86.31 ± 0.16b | 34.19 ± 1.21a | 92.55 ± 0.20a |  |
| VAN-V | 79.45 ± 0.34c | 15.00 ± 0.67c | 78.83 ± 0.95b |  |
| VAN-R | 77.62 ± 0.50d | 12.57 ± 0.63d | 72.53 ± 1.05c |  |
| VAN-AP | 75.99 ± 0.33e | 6.14 ± 0.24e | 41.34 ± 3.60d |  |
| VAN-M | 70.83 ± 0.55f | 5.68 ± 0.14ef | 29.33 ± 2.45e |  |
| VAR-P | 69.38 ± 0.72g | 4.59 ± 0.21f | 25.23 ± 3.40f |  |

L^* : luminosidad; C^* : saturación del color; h : ángulo de tono.

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los valores de C^* en el maíz rojo variaron de 12.57 (VAN-R) a 15.00 (VAR-V), para maíz amarillo los valores se encuentran entre 19.26 (VAN-N) y 34.19 (VAR-A). Los valores de C^* para maíz morado fueron de 4.59 (VAR-P) a 6.14 (VAN-AP), mientras que en el maíz blanco se presentaron valores de 13.23 (AN-456) a 15.73 (AN-454). Con respecto al ángulo hue (h), los valores de las muestras de maíces rojos (VAN-R y VAN-V), amarillos (VAR-A y VAN-N), blancos (AN-454 y AN-456) y morados (VAR-P, VAN-M y VAN-AP) se encuentran en el cuadrante rojo-amarillo, con valores de 25.23 a 94.91, lo que indica que el amarillo es la característica cromática más importante de las harinas de maíz en estudio.

4.3. Análisis de minerales

4.3.2. Macroelementos

Los cuadrados medios del análisis de varianza para en el contenido de macroelementos N, P, K, Ca y Mg, mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), entre los nueve genotipos de maíz analizados (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuadros medios del análisis de varianza para la concentración de macroelementos de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| FV | GL | N% | P mg/100 g | K mg/100 g | Ca mg/100 g | Mg mg/100 g |
|--------------|----|--------|------------|------------|-------------|-------------|
| Tratamientos | 8 | 0.33** | 40651.99** | 897180.53* | 8868.43** | 9768.77* |
| Error | 18 | 0.00 | 3293.95 | 167123.22 | 561.40 | 2360.88 |
| CV | | 2.91 | 2.35 | 14.73 | 3.02 | 4.85 |

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; FV= Fuentes de variación;

GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación.

Los resultados indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el contenido de N, P, K, Ca y Mg, entre los nueve genotipos de maíz analizados (Cuadro 6). La concentración de N mostró valores que variaron de 1.33 a 2.27%. En los genotipos de maíz rojo el valor más bajo fue en

VAN-V (1.52%) y el más alto en VAN-R (2.01%), mientras que en los genotipos de maíz amarillo el contenido más bajo se presentó en VAR-A (1.43%) y el más alto en VAN-N (1.94%). Para maíz morado, en el genotipo VAN-M (1.89%) se observó el contenido de N más bajo, mientras que en VAR-P (2.27%) se presentó el más alto. Para el maíz blanco, el contenido más bajo se registró en AN-456 (1.33%), siendo el más alto en AN-454 (2.15%). Los valores obtenidos en este estudio son similares a las concentraciones de N que van 0.76 a 2.77% en genotipos de maíz (Zhang *et al.*, 2014; Tenorio *et al.*, 2019).

El contenido de P en los genotipos de maíz evaluados oscilo de 229.88 a 259.22 mg/100 g. Para los maíces de coloración rojo el contenido más bajo se presentó en VAN-R (234.69 mg/100 g), y el más alto en VAN-V (235.65 mg/100 g). En el maíz amarillo, el valor más bajo se obtuvo en VAN-N (229.88 mg/100 g) y el más alto en VAR-A (254.34 mg/100 g). El contenido de P más bajo para maíz morado se registró en AN-M (237.87 mg/100 g), siendo el más alto para VAN-AP (258.09 mg/100 g). Para el maíz blanco, el valor más bajo fue en AN-456 (234.20 mg/100 g) y el más alto en AN-454 (259.22 mg/100 g). Estos resultados están de acuerdo con lo reportado por Martínez Cruz *et al.* (2017), quienes informaron valores de 205.64 a 375.72 mg/100 g en accesiones de maíz.

El contenido de K vario de 140.23 a 320.91 mg/100 g. En el maíz rojo el valor más bajo se presentó en VAN-R (255.38 mg/100 g), y el más alto en VAN-V (308.15 mg/100 g), mientras que en los maíces amarillos, el valor más bajo se obtuvo en VAR-A (290.28 mg/100 g) y el más alto en VAN-N (305.76 mg/100 g). Los genotipos de maíz morado presentaron la concentración más baja en VAR-P (140.23 mg/100 g) y la más alta en VAN-AP (299.57 mg/100 g), mientras que el valor más alto se observó para el maíz blanco AN-454 (320.91 mg/100 g) pero disminuyo en AN-456 (281.27 mg/100 g). Los resultados son similares a los informados por Vasconcelos *et al.* (2017) y Rodríguez-Salinas *et al.* (2020), quienes reportaron valores de 314.20 a 396 mg/100 g en genotipos de maíz.

Para el contenido de Ca, los valores obtenidos fueron de 70.79 a 88.70 mg/100 g. En el maíz rojo el valor más bajo se presentó en VAN-V (76.64 mg/100 g) y el más alto en VAN-R (79.60 mg/100 g), mientras que en los genotipos de maíz amarillo, el valor más bajo se obtuvo

en VAR-A (71.81 mg/100 g) y el más alto en VAN-N (79.32 mg/100 g). El contenido de Ca más bajo para los maíces morados fue en VAN-M (70.79 mg/100 g) y el más alto en VAR-P (88.70 mg/100 g). Los valores para maíz blanco variaron de 75.80 a 82.49 mg/100 g en AN-454 y AN-456, respectivamente. Estos hallazgos difieren de los resultados informados por Obinna-Echem *et al.* (2015) y Rodríguez-Salinas *et al.* (2020), quienes informaron valores de 7.00 a 32.63 mg/100 en genotipos de maíz. Los genotipos de maíz contienen perfiles químicos significativamente diferentes, por lo tanto, el alto contenido de Ca registrado en esta investigación podría estar determinado por la influencia de la constitución genética del genotipo, así como por el ambiente y la interacción entre ambos (Ferreira *et al.*, 2012; Siyuan *et al.*, 2018).

Cuadro 6. Concentración de macroelementos de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| Tratamientos | Macroelementos (mg/100 g) | | | | |
|--------------|---------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | N % | P | K | Ca | Mg |
| AN-456 | 1.33±0.00e | 234.20±3.21c | 281.27±1.59a | 82.49±0.77ab | 100.49±3.10ab |
| AN-454 | 2.15±0.02ab | 259.22±0.57a | 320.91±1.271a | 75.80±1.20bc | 106.44±0.82ab |
| VAN-N | 1.94±0.06c | 229.88±0.49c | 305.76±1.82a | 79.32±0.98b | 93.75±0.85b |
| VAR-A | 1.43±0.00de | 254.34±2.91a | 290.28±1.85a | 71.81±2.36c | 98.73±0.75ab |
| VAN-V | 1.52±0.02d | 235.65±1.79bc | 308.15±2.63a | 76.64±1.63bc | 100.29±3.41ab |
| VAN-R | 2.01±0.10bc | 234.69±1.65c | 255.38±1.22ab | 79.60±3.381b | 93.65±4.05b |
| VAN-AP | 2.03±0.10bc | 258.09±0.41a | 299.57±1.29a | 79.14±5.80b | 109.93±4.86a |
| VAN-M | 1.89±0.00c | 237.87±0.67bc | 295.03±4.91a | 70.79±0.62c | 94.31±3.44b |
| VAR-P | 2.27±0.06a | 251.58±5.30ab | 140.23±2.68b | 88.70±0.78a | 102.62±3.68ab |

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n = 3) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

El contenido de Mg entre los genotipos varió de 93.65 a 109.93 mg/100 g. Para los genotipos de maíz rojo la concentración más baja se presentó en VAN-R (93.65 mg/100 g), y el más alto en VAN-V (100.29 mg/100g), mientras que para el maíz amarillo, el valor más bajo se obtuvo en VAN-N (93.75 mg/100g) y el más alto en VAR-A (98.73 mg/100 g). Para maíz

morado el valor más bajo se observó en VAN-M (94.31 mg/100 g) y el más alto en VAN-AP (109.93 mg/100 g). Para el maíz blanco, la concentración más baja de Mg se obtuvo en AN-456 (100.49 mg/100 g) y la más alta en AN-454 (106.44 mg/100 g). Los valores de Mg fueron superiores a los informados por Garcilazo Rahme *et al.* (2020), quienes reportan una concentración de 80 mg/100 g en genotipos de maíz. Sin embargo, los resultados de esta investigación son cercanos a los valores promedios (113.32 a 133.83 mg/100 g) que se han informado en diferentes genotipos de maíz (Shah *et al.*, 2010; Rodríguez-Salinas *et al.*, 2020).

4.3.3. Microelementos

En los resultados que muestra el análisis de varianza (ANOVA $p \leq 0.05$), representado en el Cuadro 7, se detectó significancias estadísticas en el contenido de Fe, Mn, Zn y Cu, entre los nueve genotipos de maíz evaluados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza de los microelementos en genotipos de maíz pigmentado cultivados en el Sureste de Coahuila.

| FV | GL | Fe mg/100 g | B mg/100 g | Mn mg/100 g | Zn mg/100 g | Cu mg/100 g |
|-------------|----|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 8 | 17.28** | 1.21* | 2.69** | 21.54** | 3.00** |
| Error | 18 | 0.65 | 0.27 | 0.06 | 0.19 | 0.27 |
| CV | | 3.34 | 4.66 | 4.43 | 2.25 | 17.47 |

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; GL=Grados de libertad; C.V.= Coeficiente de variación.

Los resultados indicaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de Fe, Mn, Zn y Cu, entre los nueve genotipos de maíz evaluados (Cuadro 8). El contenido de Fe mostro valores que variaron de 2.18 a 3.01 mg/100 g. Para los genotipos de maíz rojo el valor más bajo se presentó en VAN-R (2.18 mg/100 g), y el más alto en VAN-V (2.38 mg/100 g). En el maíz amarillo, el valor más bajo se obtuvo en VAR-A (2.36 mg/100 g) y el más alto en VAN-N (2.41 mg/100 g). Para los maíces de pigmentación morada el valor más bajo se presentó en VAN-M (2.23 mg/100 g) y el más alto en VAR-P (3.01 mg/100 g). El contenido

de Fe más bajo para maíz blanco fue en AN-456 (2.33 mg/100 g), mientras que AN-454 (2.45 mg/100 g) fue el valor más alto. Los resultados fueron similares a la concentración promedio (1.65 a 2.53 mg/100 g) reportada en genotipos de maíz grano blanco, amarillo y rojo (Suri y Tanumihardjo, 2016; Prasanthi *et al.*, 2017).

Para el contenido de Mn los valores obtenidos fueron de 0.43 a 0.79 mg/100 g. En el maíz rojo el valor más bajo se presentó en VAN-R (0.56 mg/100 g) y el más alto en VAN-V (0.58 mg/100 g), mientras que en los genotipos de maíz amarillo, el valor más bajo se obtuvo en VAR-A (0.53 mg/100 g) y el más alto en VAN-N (0.61 mg/100 g). El contenido de Mn más bajo para los maíces morados fue en VAN-M (0.43 mg/100 g) y el más alto en VAR-P (0.79 mg/100 g), mientras que el valor más bajo que se registró para maíz blanco fue en AN-456 (0.55 mg/100 g) y el más alto en AN-454. (0.58 mg/100 g). Los valores obtenidos para Mn están de acuerdo con los resultados reportados por Aref (2010) y Chí-Sánchez *et al.* (2021), quienes evaluaron genotipos de maíces pigmentados, e informaron un promedio de 0.48 mg/100 g.

El contenido de Zn vario de 1.61 hasta 2.43 mg/100 g. En el maíz rojo el valor más bajo se presentó en VAN-V (1.71 mg/100 g) y el más alto en VAN-R (1.98 mg/100 g), mientras que en los maíces amarillos, el valor más bajo se obtuvo en VAN-N (1.96 mg/100 g) y el más alto en VAR-A (2.01 mg/100 g). Los genotipos de maíz morado presentaron la concentración más baja en VAN-M (2.02 mg/100 g) y la más alta en VAR-P (2.43 mg/100 g), mientras que el valor más bajo se observó para el maíz blanco en AN-456 (1.61 mg/100 g) pero aumento para AN-454 (1.74 mg/100 g). Nuestros valores fueron mayores que los reportados por Suri y Tanumihardjo, 2016, con un contenido de zinc de un poco más de 2 mg/100 g en maíz seco amarillo y blanco. Las concentraciones de Zn se encuentran dentro del valor promedio informado por Siyuan *et al.* (2018) y Chí-Sánchez *et al.* (2021), con 2.21 mg/100 g. Sin embargo, estos valores fueron menores que los reportados por Mohammed y Ahmad (2014), con un promedio de 0.36 mg/100 g en diferentes genotipos de maíz.

El contenido de Cu en los genotipos de maíz evaluados oscilo de 0.18 a 0.42 mg/100 g. Para los maíces de coloración rojo el contenido más bajo se presentó en VAN-R (0.26 mg/100 g)

y el más alto en VAN-V (0.39 mg/100 g). En el maíz amarillo, el valor más bajo se obtuvo en VAN-N (0.25 mg/100 g) y el más alto en VAR-A (0.30 mg/100 g), mientras que el contenido de Cu para maíz morado en VAR-P (0.18 mg/100 g) fue el más bajo, siendo el más alto para VAN-M (0.42 mg/100 g). Para el maíz blanco, el valor más bajo fue en AN-456 (0.31 mg/100 g) y el más alto en AN-454 (0.35 mg/100 g). La concentración de Cu concuerda con los valores reportados por Gu *et al.* (2015) y Prasanthi *et al.* (2017), quienes informaron valores de 0.23 y 0.42 mg/100 g en diferentes genotipos de maíz.

Cuadro 8. Concentración de macroelementos de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| Tratamientos | Microelementos (mg/100 g) | | | |
|--------------|------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Fe | Mn | Zn | Cu |
| AN-456 | 2.33 ± 0.04bc | 0.55 ± 0.05bc | 1.61±0.02e | 0.31 ± 0.07ab |
| AN-454 | 2.45 ± 0.06b | 0.58 ± 0.02bc | 1.74 ± 0.03d | 0.35 ± 0.02ab |
| VAN-N | 2.41 ± 0.04b | 0.61 ± 0.01b | 1.96 ± 0.06c | 0.25 ± 0.01b |
| VAR-A | 2.36 ± 0.08bc | 0.53 ± 0.06c | 2.01 ± 0.09c | 0.30 ± 0.01ab |
| VAN-V | 2.38 ± 0.09bc | 0.58 ± 0.08bc | 1.71 ± 0.06de | 0.39 ± 0.02ab |
| VAN-R | 2.18 ± 0.15c | 0.56 ± 0.06bc | 1.98 ± 0.05c | 0.26 ± 0.05b |
| VAN-AP | 2.42 ± 0.05b | 0.63 ± 0.04b | 2.29 ± 0.03b | 0.30 ± 0.08ab |
| VAN-M | 2.23 ± 0.21bc | 0.43 ± 0.02d | 2.02 ± 0.04c | 0.42 ± 0.02a |
| VAR-P | 3.01 ± 0.04-a | 0.79 ± 0.04a | 2.43 ± 0.05a | 0.18±0.02c |

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n = 3) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

4.4. Concentración de fenoles totales y flavonoides totales

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en fenoles totales (solubles + ligados) y flavonoides totales (solubles + ligados) entre los nueve genotipos de maíz evaluados (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de fenoles totales y flavonoides totales de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| FV | GL | Fenoles solubles mg GAE/100 g | Fenoles ligados mg GAE/100 g | Flavonoides solubles mg CE/100 g | Flavonoides ligados mg CE/100 g |
|--------------|----|-------------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Tratamientos | 8 | 177003.59** | 31136.44** | 2086.08** | 5209.88** |
| Error | 39 | 1305.03 | 292.35 | 36.39 | 70.71 |
| CV | | 18.10 | 7.29 | 16.97 | 15.12 |

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; GL=Grados de libertad; C.V.= Coeficiente de variación.

Los resultados indicaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en fenoles totales y flavonoides totales entre los nueve genotipos de maíz evaluados (Cuadro 10). La concentración de fenoles vario de 99.02 a 846.47 en solubles, de 126.10 a 449.69 en ligados y de 236.11 hasta 1296.16 mg GAE/100 g en totales. En los genotipos de grano rojo los valores de los fenoles variaron de 130.32 a 130.68 en solubles, 162.70 a 268.78 en ligados y de 293.39 a 399.11 mg GAE/100 g en totales, mientras que en el maíz amarillo variaron para fenoles solubles de 111.89 a 135.42, en ligados de 151.40 a 267.35 y en totales de 263.29 a 402.77 mg GAE/100 g. Los valores de los fenoles solubles del maíz morado fueron de 115.26 a 846.47, de 253.39 a 449.69 en ligados y de 369.59 a 1296.16 en totales.

En los maíces de grano blanco el contenido de fenoles solubles vario de 99.02 a 110.00, de 126.10 a 146.24 en ligados y en los fenoles totales de 236.11 a 245.27 mg GAE/100. Los resultados de fenoles solubles presentados en este estudio fueron superiores a los reportados por Zhang *et al.* (2017), quienes informaron valores entre 30.35 a 47.76 mg GAE/100 g. Rodríguez Salinas *et al.* (2020), presento un contenido de fenoles solubles en un rango de 238.82 a 360.06 mg GAE/100 en genotipos nativos de maíz del noreste de México, estos resultados coinciden con los obtenidos en este estudio. El contenido de fenoles totales de los genotipos de maíz evaluados es similar a los valores reportados por Quispe Jacobo *et al.* (2011), quienes obtuvieron valores de 333.88 a 405.84 mg GAE/100 g en genotipos de maíz de grano morado.

La concentración de Flavonoides solubles oscilo de 10.93 a 97.01, de 15.59 a 124.20 en ligados, y de 29.20 hasta 221.22 mg CE/100 g para totales. En los genotipos de grano rojo los valores de los Flavonoides solubles variaron de 32.26 a 43.56, de 15.59 a 92.20 en ligados y de 47.85 a 135.77 mg CE/100 g en totales. Los resultados de flavonoides en los maíces amarillos fueron de 10.93 a 32.26 en solubles, 18.26 a 30.26 en ligados y 29.20 a 62.52 mg mg CE/100 g en totales, mientras que en los genotipos de maíz morado las concentraciones de flavonoides solubles variaron de 34.26 a 97.01, en ligados de 84.91 a 124.20 y en totales de 123.85 a 221.22 mg CE/100 g. En los maíces de grano blanco la concentración de flavonoides solubles vario de 11.60 a 14.27, en ligados de 19.60 a 25.60 y en totales de 33.87 a 37.20 mg CE/100 g. Los datos obtenidos en flavonoides totales fueron inferiores a los reportados por Rosales *et al.* (2017), quienes informaron que las concentraciones de flavonoides totales en genotipos de maíz pigmentado fluctuaban entre 570.9 a 741.8 mg CE/100 g.

Cuadro 10. Concentración de fenoles y flavonoides totales de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| Tratamientos | Fenoles Totales (mg GAE/100 g) | | Total | Flavonoides Totales (mg CE/100 g) | | Total |
|--------------|-----------------------------------|---------------|---------|--------------------------------------|---------------|--------|
| | Solubles | Ligados | | Solubles | Ligados | |
| AN-456 | 99.02±5.97b | 146.24±17.65c | 245.27 | 11.60±4.00c | 25.60±3.46c | 37.20 |
| AN-454 | 110.00±5.55b | 126.10±10.54c | 236.11 | 14.27±3.05c | 19.60±4.00c | 33.87 |
| VAN-N | 111.89±13.87b | 151.40±12.01c | 263.29 | 10.93±3.05c | 18.26±4.16c | 29.20 |
| VAR-A | 135.42±12.02b | 267.35±15.64b | 402.77 | 32.26±4.15b | 30.26±7.03c | 62.52 |
| VAN-V | 130.68±0.85b | 162.70±23.24c | 293.39 | 32.26±3.04b | 15.59±4.00c | 47.85 |
| VAN-R | 130.32±5.13b | 268.78±20.37b | 399.11 | 43.56±3.95b | 92.20±7.09b | 135.77 |
| VAN-AP | 115.26±10.65b | 284.63±5.48b | 399.90 | 43.58±8.00b | 84.91±10.12b | 128.49 |
| VAN-M | 116.19±14.86b | 253.39±11.48b | 369.59 | 34.26±6.08b | 89.59±9.08b | 123.85 |
| VAR-P | 846.47±104.78a | 449.69±26.48a | 1296.16 | 97.01±12.22a | 124.20±17.02a | 221.22 |

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n = 3) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

4.5. Taninos condensados y antocianinas totales

El análisis de varianza dio como resultado diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre el contenido de taninos condensados y antocianinas totales (Cuadro 11).

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de taninos condensados y antocianinas totales de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| FV | GL | Taninos condensados mg CE/100 g | Antocianinas mg C3G/100 g |
|--------------|----|------------------------------------|------------------------------|
| Tratamientos | 8 | 51561.08** | 0.02** |
| Error | 18 | 39.87 | 0.07 |
| CV | | 8.64 | 1.01 |

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación.

La comparación de medias (Cuadro 12), indica que el contenido de taninos condensados fluctuó de 46.58 a 411.87 mg CE/100 g. Los valores obtenidos para el maíz de grano rojo vario de 46.58 a 59.49 mg CE/100 g, en los de grano morado las concentraciones oscilaron entre 54.80, 84.62 y 411.87 mg CE/100 g para los genotipos VAR-AP, VAN-M y VAN-P, respectivamente. No se identificaron taninos condensados para los genotipos de grano blanco y amarillo. Los valores obtenidos son superiores a los resultados reportados por Ramos-Escudero *et al.* (2012), quienes evaluaron el genotipo INI-A601 originario de Perú, e informaron valores en un rango de 15 a 23 mg CE/100 g.

Los valores de las antocianinas totales en los genotipos de maíz evaluados oscilaron de 1.15 a 265.61 mg C3GE/100 g (Cuadro 12). En los genotipos de grano rojo los valores variaron de 1.73 (VAN-V) a 3.22 (VAN-R) mg C3GE/100 g, mientras que los valores en maíz amarillo se presentaron los valores más bajos que variaron de 1.15 (VAN-N) a 1.96 (VAN-A) mg C3GE/100 g. El contenido de antocianinas para los maíces de grano morado presentó los valores más elevados y fueron de 61.12 (VAN-AP), 137.24 (VAN-M) y 265.61 (VAR-P) mg C3GE/100 g, respectivamente. Los valores para los maíces grano blanco fue de 2.65 (AN-454) a 3.46 (AN-456) mg C3GE/100 g. El resultado del contenido de antocianinas presentó

correlaciones negativas significativas en los valores de L^* , y h en el grano y la harina, con coeficientes de correlación de -0.59 y -0.11 en grano, y en harina de -0.80 y -0.86, respectivamente (Cuadro 15), lo que indica que a medida que disminuyen los valores de L^* , y h , aumenta el contenido de antocianinas. Los resultados reportados por Huaman Alvino (2017), con valores de 1.9 a 71.7 mg C3GE/100 g en maíz nativo de la Región Arequipa, fueron inferiores que los obtenidos en este estudio, sin embargo, coinciden con Mendoza-Mendoza *et al.* (2017) que analizaron líneas de maíz morado y encontraron valores de 1.3 a 309 mg C3GE/100 g.

Cuadro 12. Concentración de taninos condensados y antocianinas totales de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| Tratamientos | Taninos condensados (mg CE/100 g) | | Total | Antocianinas (mg C3G/100 g) |
|--------------|--------------------------------------|----------------|--------|--------------------------------|
| | <i>Solubles</i> | <i>Ligados</i> | | |
| AN-456 | ND | ND | - | 3.46±0.69d |
| AN-454 | ND | ND | - | 2.65±0.72d |
| VAN-N | ND | ND | - | 1.15±0.52d |
| VAR-A | ND | ND | - | 1.96±0.87d |
| VAN-V | 46.58 ±1.17c | ND | 46.58 | 1.73±0.69d |
| VAN-R | 59.49 ±3.14c | ND | 59.49 | 3.22±1.05d |
| VAN-AP | 54.80 ±9.29c | ND | 54.80 | 61.12±5.28c |
| VAN-M | 84.62±11.76b | ND | 84.62 | 137.24±5.31b |
| VAR-P | 411.87±11.07a | ND | 411.87 | 265.61±3.25a |

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n = 3) ± desviación estándar. ND= No Detectado. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

4.6. Capacidad Antioxidante

En el Cuadro 13 se presentan los resultados del análisis de varianza para capacidad antioxidante, donde se detectaron significativas ($p \leq 0,05$) para las propiedades antioxidantes de los genotipos de maíz en estudio por los métodos DPPH, ABTS y FRAP.

Cuadro 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para la capacidad antioxidante por DPPH, ABTS y FRAP de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| FV | GL | DPPHS μmol TE/100 g | DPPHL μmol TE/100 g | ABTSs μmol TE/100 g | ABTSL μmol TE/100 g | FRAPS μmol TE/100 g | FRAPL μmol TE/100 g |
|--------------|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tratamientos | 8 | 4907915.26** | 10041622.14** | 3246163.79** | 11572121.18** | 68442.92** | 264730.90** |
| Error | 18 | 27195.95 | 20232.50 | 3378.55 | 4459.37 | 1383.11 | 1793.08 |
| CV | | 18.94 | 7.81 | 4.55 | 3.96 | 8.02 | 5.66 |

*,** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; DPPHS= Solubles; DPPHL= Ligados; ABTSs= Soluble; ABTSL= Ligado; FRAPS= Soluble; FRAPL= Ligado.

4.6.2. DPPH

Los resultados de capacidad antioxidante por DPPH en los genotipos de maíz variaron de 310.66 a 4267.83 en solubles, de 531.87 a 6495.51 en ligados y, de 870.37 hasta 10763.34 μmol TE/100 g en totales, mientras que los valores de IC50 fueron de 1 a 18 mg/mL (Cuadro 14). Los valores obtenidos para los genotipos de grano rojo variaron de 380.60 a 509.22 en solubles, 1103.80 a 1629.56 en ligados y de 1484.41 a 2138.78 μmol TE/100 g en totales, mientras que en el maíz amarillo variaron de 310.66 a 437.23 en solubles, 688.44 a 1564.83 en ligados, y de 999.11 a 2002.07 μmol TE/100 g en totales. Para el maíz morado, los valores de DPPH variaron de 601.57 a 4267.83 en solubles, 1821.18 a 6495.51 en ligados y de 2422.76 a 10763.34 μmol TE/100 g en totales. En los maíces de grano blanco, los resultados variaron de 338.50 a 360.79 en solubles, 531.87 a 654.22 en ligados y de 870.37 a 1015.02 en totales μmol TE/100 g. Los resultados obtenidos en este estudio para DPPH fueron superiores a los reportados por Gutierrez *et al.* (2009), quienes informaron valores de 17.06 y 68.80 % en maíces de diferentes pigmentaciones. Las correlaciones entre el contenido fenoles totales, flavonoides totales, taninos condensados y la capacidad antioxidante medida por DPPH, ABTS y FRAP (Tabla 15), sugieren que los valores de compuestos fenólicos están relacionados con una mayor capacidad antioxidante.

4.6.3. ABTS

Los resultados para ABTS oscilaron entre 645.04 hasta 4000.77 en solubles, de 751.06 a 6894.49 en ligados y, 1396.10 a 10895.26 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales, con valores de 1 a 7 mg/mL para el IC50 (Cuadro 14). En los maíces de grano rojo los valores fueron de 904.77 a 1099.54 en solubles, de 979.43 a 1128.16 en ligados y de 1884.21 a 2227.71 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales. Los resultados de ABTS en los genotipos de maíz amarillo variaron de 770.26 a 1014.10 en solubles, de 871.60 a 1069.42 en ligados y de 1545.71 a 1641.86 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales. Para el maíz morado, los valores de ABTS variaron de 1166.26 a 4000.77 en solubles, de 1308.50 a 6894.49 en ligados y de 2475.72 hasta 10895.26 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales, mientras que para los maíces de grano blanco los valores variaron de 645.04 a 713.17 en solubles, de 751.06 a 832.54 en ligados y de 1396.10 a 1545.71 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales. Los resultados obtenidos para ABTS fueron superiores a los reportados por Rosales *et al.* (2017), con 1497 a 1812 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en genotipos criollos pigmentados de maíz.

4.6.4. FRAP

Los valores obtenidos para FRAP variaron de 245.08 a 730.49 en solubles, de 389.87 a 1455.42 en ligados y de 634.95 a 2185.92 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales (Cuadro 14). En el maíz rojo, los valores variaron de 429.25 a 526.60 en solubles, 614.94 a 735.02 en ligados y 1044.20 a 1261.63 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales. El maíz amarillo obtuvo valores que oscilaron de 310.28 a 486.40 en solubles, 591.23 a 676.84 en ligados y 901.52 a 1163.24 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales. En los maíces de grano morado los valores de FRAP fueron de 568.66 a 730.49 en solubles, 820.96 a 1455.42 en ligados y 1367.24 a 2185.92 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales. El maíz blanco presentó valores que fueron de 245.08 a 331.82 en solubles, 389.87 a 612.86 en ligados y 634.95 a 944.69 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en totales. Los resultados de FRAP total fueron superiores a los valores obtenidos por Zhang *et al.* (2017), quienes reportaron valores de 260.2 a 446.7 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en ocho variedades representativas de maíz cultivadas en el sur de China.

Cuadro 14. Capacidad antioxidante por DPPH, ABTS y FRAP de los genotipos de maíz seleccionados para el estudio.

| Tratamientos | DPPH ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$) and IC50 (mg/mL) | | | | ABTS ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$) and IC50 (mg/mL) | | | | FRAP ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$) | | |
|--------------|---|-----------------------|----------|-------------|---|-----------------------|----------|-------------|--|-----------------------|---------|
| | <i>Solubles</i> | <i>Ligados</i> | Total | <i>IC50</i> | <i>Solubles</i> | <i>Ligados</i> | Total | <i>IC50</i> | <i>Solubles</i> | <i>Ligados</i> | Total |
| AN-456 | 338.50 \pm 10.68b | 531.87 \pm 54.16d | 870.37 | 18 | 645.04 \pm 104.70e | 751.06 \pm 103.91f | 1396.10 | 7 | 245.08 \pm 16.62e | 389.87 \pm 10.28e | 634.95 |
| AN-454 | 360.79 \pm 37.22b | 654.22 \pm 58.58d | 1015.02 | 16 | 713.17 \pm 24.60e | 832.54 \pm 23.70ef | 1545.71 | 6 | 331.82 \pm 11.28de | 612.86 \pm 11.46d | 944.69 |
| VAN-N | 310.66 \pm 51.74b | 688.44 \pm 57.95d | 999.11 | 18 | 770.26 \pm 42.72de | 871.60 \pm 24.57ef | 1641.86 | 6 | 310.28 \pm 10.00e | 591.23 \pm 15.80d | 901.52 |
| VAR-A | 437.23 \pm 43.36b | 1564.83 \pm 62.96b | 2002.07 | 11 | 1014.10 \pm 28.42bc | 1069.42 \pm 16.53d | 2083.53 | 4 | 486.40 \pm 20.10bc | 676.84 \pm 15.92cd | 1163.24 |
| VAN-V | 380.60 \pm 13.42b | 1103.80 \pm 59.85c | 1484.41 | 13 | 904.77 \pm 22.55dc | 979.43 \pm 40.26de | 1884.21 | 5 | 429.25 \pm 20.68cd | 614.94 \pm 19.43cd | 1044.20 |
| VAN-R | 509.22 \pm 13.99b | 1629.56 \pm 37.14b | 2138.78 | 9 | 1099.54 \pm 14.75b | 1128.16 \pm 21.72dc | 2227.71 | 4 | 526.60 \pm 11.54bc | 735.02 \pm 8.54bc | 1261.63 |
| VAN-AP | 601.57 \pm 17.14b | 1821.18 \pm 76.32b | 2422.76 | 8 | 1167.22 \pm 22.36b | 1308.50 \pm 13.14bc | 2475.72 | 4 | 568.66 \pm 28.63b | 820.96 \pm 17.27b | 1389.63 |
| VAN-M | 627.33 \pm 13.35b | 1885.13 \pm 71.05b | 2512.47 | 8 | 1166.26 \pm 39.05b | 1322.95 \pm 33.52b | 2489.22 | 4 | 540.76 \pm 8.26b | 826.48 \pm 8.47b | 1367.24 |
| VAR-P | 4267.83 \pm 487.70a | 6495.51 \pm 390.59a | 10763.34 | 1 | 4000.77 \pm 154.96a | 6894.49 \pm 183.32a | 10895.26 | 1 | 730.49 \pm 100.45a | 1455.42 \pm 120.73a | 2185.92 |

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) \pm desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 15. Coeficientes de correlación de Pearson entre el contenido de compuestos fenólicos, parámetros de color (L^* , C^* , h) y actividad antioxidante.

| | L^* grano | C^* grano | h grano | L^* harina | C^* harina | h harina | Fenoles libres | Fenoles ligados | Flavonoi des libres | Flavonoi des ligados | Taninos condensa dos | DPPH libres | DPPH ligados | ABTS libres | ABTS ligados | FRAP libres | FRAP ligados |
|----------------------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| <i>Anthocyanins</i> | -0.599* | 0.770* | -0.115 | -0.801** | -0.605* | -0.865* | 0.853* | 0.812** | 0.821** | 0.772** | 0.916** | 0.894** | 0.911** | 0.906** | 0.896** | 0.749** | 0.920** |
| L^* grano | | 0.570* | 0.723* | 0.909** | 0.470 | 0.781* | -0.479* | -0.730** | -0.767** | -0.768** | -0.748** | -0.509* | -0.644** | -0.594* | -0.530* | -0.855** | 0.711** |
| C^* grano | | | 0.316 | 0.802** | 0.906* | 0.871* | 0.499* | -0.532* | -0.579* | -0.743** | -0.719** | -0.564* | -0.598* | -0.580* | -0.565* | -0.592* | -0.649** |
| h grano | | | | 0.552* | 0.354 | 0.434* | -0.116 | -0.390 | -0.375 | -0.446* | -0.351 | -0.123 | -0.238 | -0.189 | -0.120 | -0.485 | -0.291 |
| L^* harina | | | | | 0.694* | 0.952* | -0.561* | -0.768** | -0.791** | -0.868** | -0.839** | -0.613** | -0.728** | -0.679** | -0.629** | -0.862** | -0.786** |
| C^* harina | | | | | | 0.745* | -0.364 | -0.339 | -0.433* | - | -0.599** | -0.424* | -0.423* | -0.423* | -0.418* | -0.390* | -0.463* |
| h harina | | | | | | | -0.566* | -0.759** | -0.735** | -0.859** | -0.805** | -0.630** | -0.725** | -0.679** | -0.637** | -0.810** | -0.794** |
| Fenoles libres | | | | | | | | 0.798** | 0.850** | 0.596** | 0.910** | 0.994** | 0.961** | 0.981** | 0.986** | 0.642** | 0.892** |
| Fenoles ligados | | | | | | | | | 0.920** | 0.860** | 0.862** | 0.824** | 0.915** | 0.873** | 0.831** | 0.899** | 0.902** |
| Flavonoi des libres | | | | | | | | | | 0.825** | 0.937** | 0.869** | 0.942** | 0.918** | 0.894** | 0.914** | 0.918** |
| Flavonoi des ligados | | | | | | | | | | | 0.797** | 0.652** | 0.761** | 0.714** | 0.670** | 0.863** | 0.794** |
| Taninos condensa dos | | | | | | | | | | | | 0.932** | 0.960** | 0.955** | 0.939** | 0.823** | 0.945** |
| DPPH libres | | | | | | | | | | | | | 0.973** | 0.990** | 0.993** | 0.679** | 0.919** |
| DPPH ligados | | | | | | | | | | | | | | 0.991** | 0.977** | 0.819** | 0.958** |
| ABTS libres | | | | | | | | | | | | | | | 0.994** | 0.763** | 0.951** |
| ABTS ligados | | | | | | | | | | | | | | | | 0.716** | 0.927** |
| FRAP libres | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.866** |

* Significativo ($p < 0,05$); ** significativo ($p < 0,01$)

5. CONCLUSIONES

Los resultados de color L^* , C^* y h obtuvieron valores más bajos en los maíces con color de grano más oscuro, además, se encontró una correlación negativa entre los parámetros cromáticos (L^* , C^* y h), la concentración de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Los análisis de minerales, confirman que existe una amplia variabilidad entre los genotipos de maíz evaluados, lo que exhibe la diversidad genética de los materiales evaluados en relación con el contenido de N, P, Mg, Ca, Mn, Fe y Zn.

La actividad antioxidante se detectó en extractos libres y ligados, sin embargo, la mayor actividad se presentó en extractos ligados en los ensayos de ABTS, DPPH y FRAP, y se correlacionó positivamente con el contenido de compuestos fenólicos.

6. REFERENCIAS

- Abdel-Aal, ES, Hucl, P, 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry* 76: 350-354. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.3.350>.
- Alam, M. N., Bristi, N. J., and Rafiquzzaman, M. 2013. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2), 143-152.
- Aref, F. 2010. Zinc and boron fertilization on concentration and uptake of iron and manganese in the corn grain. *Journal of American Science*, 6(8), 236-242.
- Arnao, M. B. 2000. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. *Trends in Food Science & Technology*, 11(11), 419-421.
- Arranz Martínez, S. 2010. Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: metodología para su determinación e identificación. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.
- Association of Oficial Analytical Chemist (AOAC): Oficial Methods of Analysis of AOAC International, 16th edn. AOAC, Maryland (1998).
- Belobrajdic, D. P., and Bird, A. R. 2013. The potential role of phytochemicals in wholegrain cereals for the prevention of type-2 diabetes. *Nutrition Journal*, 12(1), 1-12.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Cázares-Sánchez, E., Chávez-Servia, J. L., Salinas-Moreno, Y., Castillo-González, F., y Ramírez-Vallejo, P. 2015. Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1), 15-30.
- Chaiittianan, R., Chayopas, P., Rattanathongkom, A., Tippayawat, P., and Sutthanut, K. 2016. Anti-obesity potential of corn silks: Relationships of phytochemicals and antioxidation, anti-pre-adipocyte proliferation, anti-adipogenesis, and lipolysis induction. *Journal of Functional Foods*, 23, 497-510.
- Chí-Sánchez, F. A., Alvarado-López, C. J., Cristóbal-Alejo, J., González-Moreno, A., and Reyes-Ramírez, A. 2021. Contenido mineral de maíces criollos de Yucatán: análisis mediante μ -Fluorescencia de Rayos X. *Terra Latinoamericana*, 39.
- ColorHexa, 2017. Color encyclopedia: Information and conversion. Computer software. Retrieved March 2017, from <http://www.colorhexa.com/> [Google Scholar].
- Crozier, A., Jaganath, I. B., and Clifford, M. N. 2006. Phenols, polyphenols and tannins: an overview. *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet*, 1, 1-25.

- De la Iglesia, L. 2018. Trabajo fin de grado métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en olivas (Doctoral dissertation, Doctoral dissertation, Universidad complutense).
- Ferreira, C. F., Motta, A. C. V., Prior, S. A., Reissman, C. B., Santos, N. Z. D., and Gabardo, J. 2012. Influence of corn (*Zea mays* L.) cultivar development on grain nutrient concentration. *International Journal of Agronomy*, 2012.
- Flores-Naveda, A, Díaz-Vázquez, F, Ruiz-Torres, NA, Vázquez-Badillo, ME, Niño-Medina, G, Camposeco-Montejo, N, Rodríguez-Salinas, PA, García-López JI, 2020. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en líneas experimentales de sorgo pigmentado cultivado en Coahuila México. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*. Vol. xx: 1-16.
- Garcilazo Rahme, O., Tello Salgado, I., Mata, G., Parraguirre Lezama, C., Valencia de Ita, M. D. L. A., and Romero Arenas, O. 2020. Evaluation of eight genotypes of corn for the commercial cultivation of Huitlacoche in Nopalucan, Puebla, Mexico. *Agriculture*, 10(11), 535.
- Garza-Alonso, C. A., Guillermo, N. M., Gutierrez-Diez, A., García-López, J. I., Vázquez-Alvarado, R. E., Lopez-Jimenez, A., and Olivares-Sáenz, E. 2020. Physicochemical characteristics, minerals, phenolic compounds, and antioxidant capacity in fig tree fruits with macronutrient deficiencies. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(3), 1585-1599.
- Goleniowski, M., M. Bonfill, R. Cusido, and J. Palazón. 2013. Phenolic acids. In *Natural Products*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 1951-1973.
- González-Muñoz, A., Quesille-Villalobos, A. M., Fuentealba, C., Shetty, K., and Gálvez Ranilla, L. 2013. Potential of Chilean native corn (*Zea mays* L.) accessions as natural sources of phenolic antioxidants and in vitro bioactivity for hyperglycemia and hypertension management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10995-11007.
- González-Muñoz, A., Quesille-Villalobos, A. M., Fuentealba, C., Shetty, K., and Gálvez Ranilla, L. 2013. Potential of Chilean native corn (*Zea mays* L.) accessions as natural sources of phenolic antioxidants and in vitro bioactivity for hyperglycemia and hypertension management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10995-11007.
- Govaerts, B., Chávez, X., Fernández, A., Vega, D., Vázquez, O., Pérez, M., y Rosado, L. G. 2019. Maíz para México-Plan Estratégico 2030.
- Gu, R., Chen, F., Liu, B., Wang, X., Liu, J., Li, P., and Yuan, L. 2015. Comprehensive phenotypic analysis and quantitative trait locus identification for grain mineral concentration, content, and yield in maize (*Zea mays* L.). *Theoretical and applied genetics*, 128(9), 1777-1789.
- Gutierrez, A.A., Acevedo, J.A., Ballarte, LN., Teixeira, B.J., Llajaruna, H.P., Aquisé, I.S., and Jacobo, F. Q. 2009. Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6), 509-518.

- Harakotr, B., Suriharn, B., Tangwongchai, R., Scott, M. P., and Lertrat, K. 2014. Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking. *Food Chemistry*, 164, 510-517.
- Huaman Alvino, C. K. 2017. Caracterización de los compuestos fenólicos del germoplasma de maíz (*Zea mays* L.) nativo de la Región Arequipa, Perú.
- Humphreys, J.M., and C. Chapple. 2002. Rewriting the lignin roadmap. *Current Opinion in Plant Biology*. 5(3):224-229.
- Khamphan, P., Lomthaisong, K., Harakotr, B., Ketthaisong, D., Scott, M. P., Lertrat, K., and Suriharn, B. 2018. Genotypic variation in anthocyanins, phenolic compounds, and antioxidant activity in cob and husk of purple field corn. *Agronomy*, 8(11), 271.
- López-Contreras JJ, Zavala-García F, Urias-Orona V, Martínez-Avila GCG, Rojas R, Niño-Medina G 2015. Chromatic, phenolic and antioxidant properties of *Sorghum bicolor* genotypes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 43: 366-370.
- Maeda, H., and Dudareva, N. 2012. The shikimate pathway and aromatic amino acid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 73-105.
- Martínez Cruz, M., Ortiz Pérez, R., & Raigón, M. D. 2017. Contenido de fósforo, potasio, zinc, hierro, sodio, calcio y magnesio, análisis de su variabilidad en accesiones cubanas de maíz. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 92-101.
- Mendoza-Mendoza, C.G., del Carmen Mendoza-Castillo, M., Delgado-Alvarado, A., Castillo-González, F., Kato-Yamakake, T.Á., and Cruz-Izquierdo, S. 2017. Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(4), 471-479.
- Mercado-Mercado, G., Rosa Carrillo, L. D. L., Wall-Medrano, A., López Díaz, J. A., y Álvarez-Parrilla, E. 2013. Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 36-46.
- Mohammed, M. I., and Ahmad, U. M. 2014. Mineral elements content of some coarse grains used as staple food in Kano metropolis, Nigeria. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 85-89.
- Paulsmeyer, M., Chatham, L., Becker, T., West, M., West, L., and Juvik, J. 2017. Survey of anthocyanin composition and concentration in diverse maize germplasms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(21), 4341-4350.
- Peña Betancourt, S. D., Carmona Medero, M. Á., y Valladares Carmona, B. 2013. Comparación de calidad física, contenido de fenoles y aflatoxinas en maíces híbridos y nativos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 779-788.
- Prasanthi, P. S., Naveena, N., Rao, M. V., and Bhaskarachary, K. 2017. Compositional variability of nutrients and phytochemicals in corn after processing. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1080-1090.

- Quiñones, M., Miguel, M., y Aleixandre, A. 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76-89.
- Quirós-Sauceda, A. E., Palafox-Carlos, H., Sáyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Bello-Perez, L. A., Alvarez-Parrilla, E., and González-Aguilar, G. A. 2014. Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. *Food & Function*, 5(6), 1063-1072.
- Quispe Jacobo, F., Arroyo Condorena, K., and Gorriti Gutiérrez, A. 2011. Características morfológicas y químicas de 3 cultivares de maíz morado (*Zea mays* L.) en Arequipa-Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 205-217.
- Ramos-Escudero F, Muñoz AM, Alvarado-Ortíz C, Alvarado A, Yañez JA. 2012. Purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds profile and its assessment as an agent against oxidative stress in isolated mouse organs. *Journal of Medicinal Food* 15: 206-215.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rodríguez-Salinas, P. A., Zavala-García, F., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, D., Heredia, J. B., and Niño-Medina, G. 2020. Chromatic, Nutritional and Nutraceutical Properties of Pigmented Native Maize (*Zea mays* L.) Genotypes from the Northeast of Mexico. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(1), 95-112.
- Rosales, V. Q., Luna, K. G., García, F. Z., Flores, J. P., Heredia, J. B., Urías-Orona, V., y Medina, G. N. 2017. Fenólicos solubles de tipo flavonoide y capacidad antioxidante en genotipos criollos pigmentados de maíz (*Zea mays*). ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), 113(4), 325-334.
- Salinas-Moreno, Y., Pérez-Alonso, J. J., Vázquez-Carrillo, G., Aragón-Cuevas, F., and Velázquez-Cardelas, G. A. 2012. Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita. *Agrociencia*, 46(7), 693-706.
- Serna-Saldivar, S. O., Gutiérrez-Urbe, J. A., Mora-Rochin, S., and García-Lara, S. 2013. Nutraceutical potential of native maize and changes during traditional and extrusion processing. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 295-304.
- Shah, H. U., Simpson, T. J., Alam, S., Khattak, K. F., and Perveen, S. 2010. Mould incidence and mycotoxin contamination in maize kernels from Swat Valley, North West Frontier Province of Pakistan. *Food and Chemical Toxicology*, 48(4), 1111-1116.
- Siyuan, S., Tong, L., and Liu, R. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 7(3), 185-195.

- Suri, D. J., and Tanumihardjo, S.A. 2016. Effects of different processing methods on the micronutrient and phytochemical contents of maize: from A to Z. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 912-926.
- Tenorio, F. A., Eagle, A. J., McLellan, E. L., Cassman, K. G., Howard, R., Below, F. E., and Grassini, P. 2019. Assessing variation in maize grain nitrogen concentration and its implications for estimating nitrogen balance in the US North Central region. *Field Crops Research*, 240, 185-193.
- Tsimidou, M. 1998. Polyphenols and quality of virgin olive oil in retrospect (*Olea europaea* L.). *Italian Journal of Food Science (Italy)*.
- Urias-Lugo, D. A., Heredia, J. B., Valdez-Torres, J. B., Muy-Rangel, M. D., Serna-Saldivar, S. O., and García-Lara, S. 2015. Physical properties and chemical characterization of macro-and micro-nutriments of elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *Cereal Research Communications*, 43(2), 295-306.
- Vasconcelos, M. W., Gruissem, W., and Bhullar, N. K. 2017. Iron biofortification in the 21st century: setting realistic targets, overcoming obstacles, and new strategies for healthy nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 8-15.
- Vermerris, W., and Nicholson, R. 2007. *Phenolic compound biochemistry*. Springer Science & Business Media.
- Zhang, R., Huang, L., Deng, Y., Chi, J., Zhang, Y., Wei, Z., and Zhang, M. 2017. Phenolic content and antioxidant activity of eight representative sweet corn varieties grown in South China. *International Journal of Food Properties*, 20(12), 3043-3055.
- Zhang, X., Huang, G., and Zhao, Q. 2014. Differences in maize physiological characteristics, nitrogen accumulation, and yield under different cropping patterns and nitrogen levels. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(3), 326-332.