



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**CONTENIDO Y PERFIL DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS ÓRGANOS DE
LA PLANTA DE LOS MAÍCES COLORIDOS.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA

BERTHA ALICIA GONZALEZ CAMACHO

DIRECTOR DE TESIS

ARTURO NAVARRO OCAÑA



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: GÁLVEZ MARISCAL MARÍA AMANDA

VOCAL: Profesor: NAVARRO OCAÑA ARTURO

SECRETARIO: Profesor: MIRANDA MARTÍNEZ INÉS

1er. SUPLENTE: Profesor: HERNÁNDEZ GARCIADIEGO LUCÍA

2° SUPLENTE: Profesor: RENDÓN GÓMEZ OSCAR JESÚS

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: CONJUNTO E, EDIFICIO DE ALIMENTOS Y QUÍMICA AMBIENTAL, LABORATORIO 321, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA: NAVARRO OCAÑA ARTURO

SUSTENTANTE: GONZALEZ CAMACHO BERTHA ALICIA

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento de esta tesis al proyecto PAPIIT-UNAM-33-IT201321.

Contenido

II. INTRODUCCIÓN.....	12
III. RESUMEN.....	14
IV. MARCO TEÓRICO.....	16
III.A COLORANTES NATURALES EN ALIMENTOS	17
III.B MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DEL MAÍZ	19
III.C FASES DE DESARROLLO DE LA PLANTA DEL MAÍZ	22
III.D MAÍCES PIGMENTADOS.....	25
III.E CLASES DE COMPUESTOS BIOACTIVOS PRESENTES EN EL MAÍZ COLORIDO.....	26
III.F UBICACIÓN Y CONCENTRACION DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN EL MAÍZ COLORIDO	34
III.G REVISIONES Y ARTÍCULOS MAS REPRESENTATIVOS DEL TEMA	42
V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	45
VI. HIPÓTESIS	46
VII. OBJETIVOS.....	47
VIII. METODOLOGÍA	48
IX. RESULTADOS.....	51
CAPITULO 1. ANTOCIANINAS Y OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA DEL MAÍZ MORADO DURANTE SU DESARROLLO.	55
INTRODUCCIÓN.....	56
<u>A.</u> CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	58
A1. GRANOS	58

A2. OLOTE.....	63
A3. BRÁCTEAS	65
A4. ESTIGMAS	66
A5. INFLORESCENCIAS MASCULINAS.....	67
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	69

**B. CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES,
CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES** 77

B1. GRANOS	77
B2. OLOTE.....	81
B3. BRÁCTEAS	83
B4. ESTIGMAS	84
B5. INFLORESCENCIAS MASCULINAS.....	84
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO ÁCIDOS FENÓLICOS, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	85

**CAPITULO 2. ANTOCIANINAS Y OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN
LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA DEL MAÍZ NEGRO DURANTE SU
DESARROLLO** 91

INTRODUCCIÓN..... 92

A. CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS..... 93

A1. GRANOS	93
A2. OLOTE.....	95
A3. BRÁCTEAS	95
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	96

<u>B.</u> CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	98
B1. GRANOS	98
B2. OLOTE.....	99
B3. BRÁCTEAS	100
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDOS FENÓLICOS FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES...	101

CAPITULO 3. ANTOCIANINAS Y OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA DEL MAÍZ AZUL DURANTE SU DESARROLLO	104
---	------------

INTRODUCCIÓN.....	105
--------------------------	------------

<u>A.</u> CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	106
--	------------

A.1 GRANOS	106
------------------	-----

A2. ESTIGMAS	109
--------------------	-----

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	110
---	-----

<u>B.</u> CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	112
---	------------

B1. GRANOS	112
------------------	-----

B2. ESTIGMAS	114
--------------------	-----

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES.....	116
---	-----

CAPÍTULO 4. ANTOCIANINAS Y OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA DEL MAÍZ ROJO DURANTE SU DESARROLLO	120
---	------------

INTRODUCCIÓN.....	121
--------------------------	------------

<u>A.</u> CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	122
A.1 GRANOS	122
A2. OLOTE.....	124
A3. BRÁCTEAS	124
A4. ESTIGMAS	125
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	126

<u>B.</u> CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	128
B.1 GRANOS	128
B2. OLOTE.....	132
B3. BRÁCTEAS	132
B4. HOJAS.....	133
B5. ESTIGMAS	133
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	134

CAPÍTULO 5. ANTOCIANINAS Y OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA DEL MAÍZ ROSA DURANTE SU DESARROLLO	140
---	------------

INTRODUCCIÓN.....	141
--------------------------	------------

<u>A.</u> CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	142
A1. GRANOS	142
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	145

<u>B.</u> CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	146
B1. GRANOS	146
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	148
 CAPÍTULO 6. ANTOCIANINAS Y OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA DEL MAÍZ NARANJA DURANTE SU DESARROLLO	150
INTRODUCCIÓN.....	151
 <u>A.</u> CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	153
A1. OLOTE.....	153
A2. BRÁCTEAS	153
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	154
 <u>B.</u> CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	155
B1. GRANOS	155
B2. OLOTE.....	159
B3. BRÁCTEAS	159
B4. HOJAS.....	160
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	161

CAPÍTULO 7. ANTOCIANINAS Y OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA DEL MAÍZ AMARILLO DURANTE SU DESARROLLO	165
INTRODUCCIÓN.....	166
A. CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	167
A1. GRANOS	167
A2. OLOTE.....	168
A3. BRÁCTEAS	168
A4. ESTIGMAS	169
A5. INFLORESCENCIAS MASCULINAS.....	169
RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	170
<u>B.</u> CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	173
B1. GRANOS	173
B2. OLOTE.....	180
B3. BRÁCTEAS	182
B4. ESTIGMAS	183
B5. INFLORESCENCIAS MASCULINAS.....	186
RESUMEN DE RESULTADOS DE COMPUESTOS POLIFENÓLICOS, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	189
CAPÍTULO 8. ANTOCIANINAS Y OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA DEL MAÍZ BLANCO DURANTE SU DESARROLLO	198
INTRODUCCIÓN.....	199
<u>A.</u> CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	201
A1. GRANOS	201

A2. OLOTE.....	201
A3. BRÁCTEAS	202
A4. ESTIGMAS	202
RESUMEN DE RESULTADOS DEL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS.....	203
B. CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES	205
B1. GRANOS	205
B2. OLOTE.....	206
B3. BRÁCTEAS	207
B4. ESTIGMAS	207
B5. HOJAS.....	209
B6. TALLO	210
B7. SALVADO.....	211
RESUMEN DE CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES.....	212
X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	218
XI. CONCLUSIONES.....	233
XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	236
XIII. REFERENCIAS DE IMÁGENES.....	268
XIV. APÉNDICES.....	271
APÉNDICE 1	271
APÉNDICE 2.....	271
XV. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	274
XVI. GLOSARIO	276

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es el cereal y el quinto alimento más producido en el mundo (FAOSTAT, 2019). Los maíces amarillos y blancos se utilizan principalmente para la producción de bioetanol y alimento para animales, así como también se destinan para el consumo directo, la producción de jarabes de maíz, almidón y alimentos procesados (Serna-Saldívar *et al.*, 2019). No obstante, al ser un cereal rico en fitoquímicos con actividad biológica, el maíz tiene potencial como ingrediente nutracéutico para su aplicación en la industria farmacéutica y alimentaria. Los compuestos bioactivos que presenta el maíz son: fitoesteroles, xilanos, policosanoles, carotenoides, ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Cada vez es más frecuente el cultivo de maíces pigmentados nativos, en especial el morado, su comercialización a nivel mundial y el desarrollo de nuevas variedades coloridas con un alto contenido de nutracéuticos. Puesto que, el color de estos maíces está en función del tipo y concentración de antocianinas y carotenoides, compuestos ampliamente utilizados como colorantes naturales en alimentos.

Los maíces coloridos también llamados pigmentados, en especial aquellos con coloraciones intensas moradas, negras, azules y rojas, son buenas fuentes de antocianinas. Los maíces coloridos pueden presentar antocianinas no solo en los granos sino también en otras partes de la planta como: el raquis, las brácteas, las hojas y los estigmas (Li *et al.*, 2008; Simla *et al.*, 2016).

En cambio, los maíces naranjas, rojos y amarillos tienden a presentar relativamente altas concentraciones de carotenoides. No obstante, no se han estudiado tanto en otros órganos del maíz.

La concentración más alta de antocianinas se ha reportado en el maíz morado. Por ello, la publicación de investigaciones referentes a este maíz, su comercialización y por ende el precio, ha ido en aumento. Por esta razón, el aprovechamiento de

subproductos derivados del procesamiento del maíz para la extracción de estos fitoquímicos representa una alternativa viable.

Como consecuencia de la gran cantidad de información disponible referente al análisis de fitoquímicos en las diversas partes de la planta del maíz colorido, en estos últimos años se han publicado revisiones sobre este tema que abarcan estudios publicados a lo largo de 10 años. No obstante, las dos revisiones más recientes Acosta-Estrada *et al.*, 2019 y Colombo *et al.*, 2021 resumen los métodos de extracción, las propiedades biológicas y las aplicaciones descubiertas de los extractos de los granos y de los órganos de la planta, respectivamente. La revisión de Navarro *et al.*, 2018 resume la información generada sobre la actividad biológica y los métodos de extracción empleados, así como también, reporta el rango encontrado del contenido de las tres clases de compuestos polifenólicos: antocianinas, ácidos fenólicos y flavonoides, encontrada en el grano, el raquis, las brácteas, la seda y el polen. No obstante, en los dos últimos años se han emitido más estudios referentes al análisis de los compuestos bioactivos los maíces coloridos y sus partes, lo que hace necesaria una actualización de la información generada.

II. RESUMEN

Los granos de los maíces coloridos contienen los siguientes compuestos nutraceuticos: ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, carotenoides, fitoesteroles, policosanoles y arabinoxilanos (Acosta-Estrada *et al.*, 2019). El maíz morado es considerado como un superalimento y es comercializado a nivel mundial para la producción industrial de colorantes naturales (Lao *et al.*, 2017a).

Al mismo tiempo, en los últimos años se ha llevado a cabo el análisis cuantitativo y cualitativo no solo de los granos sino también de otros órganos de la planta del maíz. No obstante, estos resultados no han sido recopilados, comparados y analizados.

El objetivo del presente trabajo fue comparar la información disponible sobre el perfil y el contenido de compuestos bioactivos en los extractos de los órganos de la planta de los maíces coloridos para conocer las áreas de oportunidad en el campo de estudio del maíz colorido para investigaciones posteriores y aplicaciones nutraceuticas; y determinar si los órganos del maíz colorido: granos, olote, brácteas, estigmas e inflorescencia masculina; son una alternativa al grano morado para la extracción de fitoquímicos.

Las hipótesis de la investigación fueron las siguientes: 1) los granos coloridos y otros órganos de la planta contienen cantidades de compuestos bioactivos equiparables a las del grano maduro morado; 2) el raquis, las brácteas, las inflorescencias masculinas y los estigmas presentan los mismos compuestos bioactivos que el grano pero en diferente proporción; 3) los ácidos fenólicos son los compuestos predominantes en el perfil cromatográfico de los órganos: granos, olote, brácteas, estigmas e inflorescencias masculinas; de la planta del maíz y 4) los valores de concentración de compuestos bioactivos encontrados en el periodo (2017-2021) en los órganos están por arriba del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores debido al uso de tecnologías emergentes de extracción.

Para corroborar las hipótesis se realizó una revisión bibliográfica de artículos publicados en línea de 2017 a 2021 relacionados con la cuantificación y caracterización de uno o más de los siguientes compuestos: antocianinas, ácidos fenólicos, flavonoides, carotenoides, fitoesteroles, xilanos y policosanoles; que están contenidos en los órganos de la planta del maíz colorido: grano, olote, brácteas, estigmas e inflorescencia masculina o espiga. Así mismo, se realizó un Diseño experimental de un factor en el que la comparación de medias de tratamientos se realizó con el método de Dunnett.

La importancia de este trabajo radica en el gran impacto del conocimiento de las áreas de oportunidad en el campo de estudio del maíz colorido para investigaciones posteriores y aplicaciones nutraceuticas en la industria mexicana de alimentos. Del mismo modo, permitirá la promoción y aprovechamiento de los subproductos del procesamiento del maíz para la extracción de nutraceuticos y el desarrollo de productos funcionales.

III. MARCO TEÓRICO

El marco teórico consta de siete incisos A), B), C), D), E), F) y G). En el inciso A) se abordarán las propiedades de los colorantes naturales, ventajas y desventajas de su aplicación en alimentos y los extractos basados en antocianinas y carotenoides como colorantes en alimentos. En los incisos B) y C) se presentará la morfología de la planta del maíz y las fases de desarrollo de la misma, respectivamente. En el inciso D) se abordará la importancia de los maíces coloridos en la industria de alimentos y su producción en México. En el inciso E) se presentarán la estructura química, propiedades fisicoquímicas, fuentes naturales y métodos de extracción de las siete clases de compuestos bioactivos reportadas en los órganos de la planta del maíz. Y posteriormente en el inciso F) se presentará la ubicación de estos compuestos en la planta del maíz y las concentraciones que han sido cuantificadas. En el último inciso, el inciso G), se presentarán los puntos que han sido abordados por las revisiones y artículos más recientes referentes al tema de los maíces coloridos.

III.A COLORANTES NATURALES EN ALIMENTOS

Los colorantes alimentarios se pueden clasificar según su origen en colorantes naturales, colorantes sintéticos idénticos al natural, colorantes artificiales y lacas (Evangeline *et al.*, 2020, p.11).

Los colorantes naturales han sido empleados desde las civilizaciones antiguas. Se encuentran en la naturaleza, son sintetizados por los organismos ya que están involucrados en procesos esenciales para la vida como lo son: la fotosíntesis, protección, reproducción, entre otros (Delgado-Vargas *et al.*, 2003, p.1). Los más abundantes son los carotenoides y las clorofilas (Delgado-Vargas *et al.*, 2003, p.30).

Los compuestos clasificados como colorantes naturales son: clorofilas, flavonoides, antocianinas, carotenoides, betalaninas y quinonas (Delgado-Vargas *et al.*, 2003).

Los colorantes naturales se pueden dividir en tres grupos según su estructura; derivados del benzopiranos, tetrapirroles y tetraterpenos (Evangeline *et al.*, 2020, p.11). Dentro de los derivados del benzopirano están las antocianinas, flavonoles, flavonas y taninos; mientras que, dentro de los tetrapirroles están las clorofilas, hemoglobina y mioglobina; y dentro del grupo de los tetraterpenos están los carotenos, licopeno, luteína y zeaxantina (Delgado-Vargas *et al.*, 2003). La estructura de su cromóforo puede ser un sistema conjugado o una porfirina metal coordinada (Evangeline *et al.*, 2020, p.11). Las antocianinas, los carotenoides y las betalaínas contienen un sistema conjugado mientras que hemoglobina y clorofila poseen una porfirina metal coordinada (Evangeline *et al.*, 2020, p.11).

Al tener propiedades nutracéuticas, han captado el interés de la industria alimentaria y farmacéutica como alternativa a los colorantes artificiales, los cuales han mostrado efectos adversos a la salud. El costo de producción de los colorantes naturales es más alto y su estabilidad química y física es menor que el de los sintéticos.

La estabilidad de los colorantes naturales se ve afectada por factores extrínsecos como lo son la temperatura, la presión, el oxígeno, el pH y la luz; e intrínsecos, como

la actividad de agua y el contenido de ácido ascórbico de la matriz alimentaria. Por lo que operaciones unitarias aplicadas para el procesamiento de los alimentos como: el freído, horneado, ebullición, nixtamalización, pasteurización, esterilización, fermentación, entre otras; pueden promover la reducción del contenido inicial de estos compuestos. La causa de la inestabilidad de estos pigmentos se debe a que algunos de ellos contienen enlaces dobles en su estructura (Delgado-Vargas *et al.*, 2003).

En este trabajo los colorantes naturales de interés son los basados en las antocianinas y los carotenoides, ya que son los pigmentos presentes en el maíz. El uso de antocianinas como colorantes alimentarios es limitante ya que, son susceptibles al ataque microbiológico y se degradan a pH mayor a 4.0, a temperaturas altas y al entrar en contacto con oxígeno (Delgado-Vargas *et al.*, 2003).

Los colorantes naturales extracto de uva y extracto de cáscara de uva son los colorantes basados en antocianinas aprobados por la FDA para su uso en alimentos (*U.S. Food & Drug Administration [FDA]*, 2021). El extracto de antocianinas está aprobado por la Unión Europea y por la JECFA bajo el código E-163 e INS No. 163(vi), respectivamente (*European Commission Food Additives Database [EUFIC]*, 2021).

Los colorantes basados en antocianinas se comercializan en forma de polvo obtenido por secado por aspersion o en extracto acuoso.

Las antocianinas son ampliamente utilizadas como colorantes alimentarios en bebidas, postres, helados y productos lácteos (Luzardo-Ocampo *et al.*, 2021, p.3)

De igual manera, la aplicación de los carotenoides como colorantes alimentarios es desafiante ya que son compuestos insolubles en agua, con baja biodisponibilidad y susceptibles a la degradación e isomerización (Luzardo-Ocampo *et al.*, 2021, p.4).

Los colorantes naturales basados en carotenoides y aceptados por la FDA son el concentrado de jitomate (licopeno), beta-caroteno, paprika (capsantina), β -apo-8'-carotenal, aceite de zanahoria, astaxantina, cantaxantina y el aceite de endospermo de maíz (*U.S. Food & Drug Administration [FDA], 2021*).

Para su aplicación en alimentos se han desarrollado productos basados en carotenoides dispersables en agua, suspensiones coloidales, emulsiones y dispersiones coloidales (Luzardo-Ocampo *et al.*, 2021, p.4) para su uso en medio acuoso y oleoso. Los carotenoides se utilizan en la elaboración de mantequilla, bebidas, sopas enlatadas, aceites vegetales y productos cárnicos (Delgado *et al.*, 2003).

III.B MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DEL MAÍZ

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual. Su tallo es simple, erecto, de una longitud que va de uno a cinco metros, con pocos macollos o ramificaciones y presenta nudos y entrenudos y una médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral (Kato *et al.*, 2009, p.21).

La planta de maíz madura puede tener hasta aproximadamente 30 hojas, con una variación considerable en el número, tamaño y orientación de las hojas (Badu - Apraku *et al.*, 2017, p.34).

El maíz presenta estambres y pistilos en flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta (Badu - Apraku *et al.*, 2017; p.35). La *inflorescencia masculina*, también llamada panícula o espiga, es terminal y consta de un eje central y ramas laterales. Cada espiguilla está protegida por dos glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla hay tres estambres donde se desarrollan los granos de polen. La panícula puede ser verde, amarilla, rojiza o

morada, su color está en función de la tonalidad de las glumas y anteras (Kato *et al.*, 2009, p.21).

Las inflorescencias femeninas, es decir, las mazorcas, se localizan en las yemas axilares de las hojas, consisten de un raquis central, también llamado *olote*, donde se insertan las espiguillas por pares. Cada espiguilla tiene dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, distribuidas en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis y un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen. La inflorescencia femenina puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca. La mazorca, a su vez, está cubierta por *brácteas* o vainas de las hojas (totomoxtle) y tiene estilos o *estigmas* largos (pelos de elote) ubicados en la punta del raquis central (Kato *et al.*, 2009, p.21). En general, la *inflorescencia masculina* madura de uno a tres días antes y produce hasta 25 millones de polen (Badu - Apraku & Fakorede, 2017).

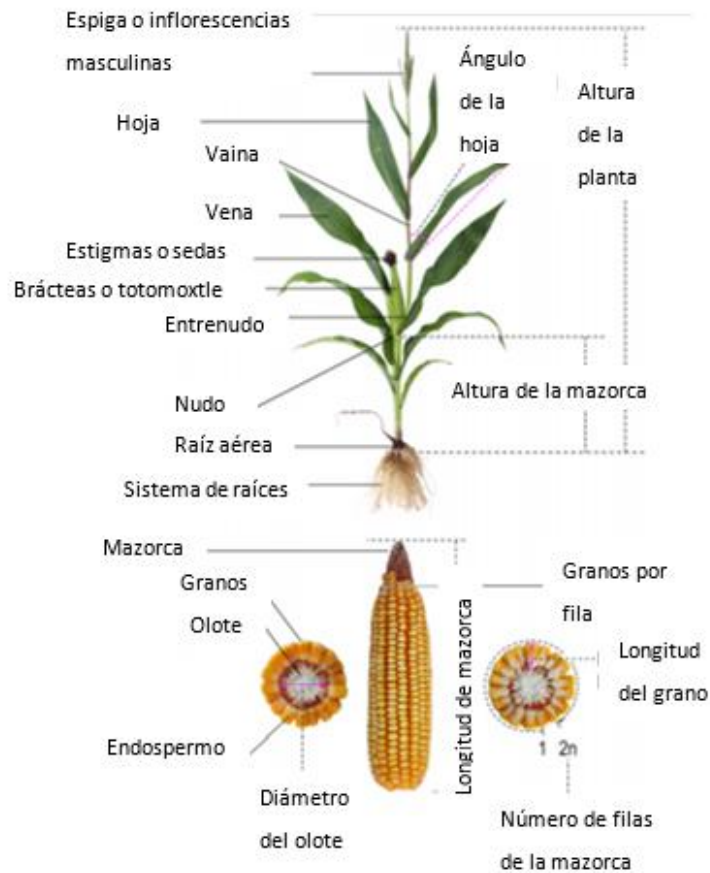


Figura 1. Clasificación novel y rasgos agronómicos del maíz. Rasgos agronómicos clave del maíz

Nota: Adaptado de Rasgos agronómicos clave del maíz [diagrama], por Li, Q., et al., 2021, Euphytica 217.

Los granos de maíz son cariósides, es decir, frutos secos e independientes de una sola semilla (Badu - Apraku & Fakorede, 2017). El grano está constituido por el pericarpio, endospermo, embrión, coleóptilo, coleorriza, radícula y plúmula. El pericarpio es la capa externa del grano que está adherido a la testa, es decir, cubierta de la semilla. El endospermo, la parte de almacenamiento de almidón del grano, constituye entre el 82% a 84% del peso del grano seco. Se divide en la capa de aleurona y el endospermo almidonado. El endospermo almidonado se subdivide en vítreo y harinoso (Serna-Saldívar, 2019, p.149).

El germen, constituye aproximadamente el 12% del peso del grano y contiene aproximadamente el 85% de la grasa total del grano y la mayoría de las albúminas y globulinas. El germen consta de dos partes principales: el embrión, también conocido como eje embrionario, y el escutelo (Serna-Saldívar, 2019, p.148), véase figura 2.

El escutelo o cotiledón es el primer tejido de reserva rico en proteínas, lípidos y micronutrientes que proporciona al embrión activo los nutrientes clave necesarios para la germinación (Serna-Saldívar, 2019, p.148).

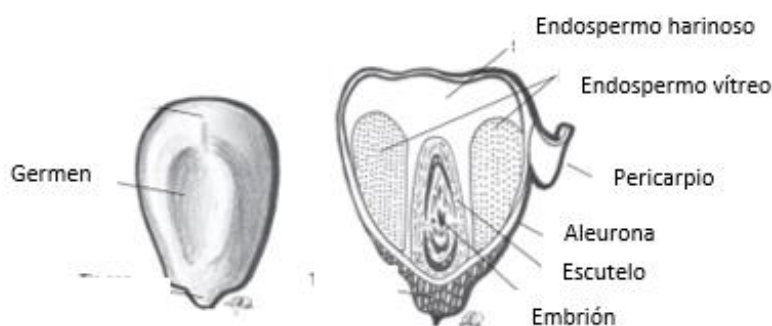


Figura 2. Estructura del grano de maíz

Nota: Adaptado de Estructura del grano de maíz [diagrama], adaptado por Francavilla & Joye 2020, Woodhead Publishing Limited.

III.C FASES DE DESARROLLO DE LA PLANTA DEL MAÍZ

El desarrollo de la planta del maíz se puede dividir en dos categorías: la etapa vegetativa y la etapa reproductiva (véase figura 3).

Etapas vegetativas		Etapas reproductivas	
VE	Emergencia	R1	Aparición de los estigmas
V1	Primera hoja	R2	Blíster
V2	Segunda hoja	R3	Grano lechoso
V3	Tercera hoja	R4	Grano pastoso
V(n)	Enésima hoja	R5	Grano dentado
VT	Aparición de las panojas	R6	Grano maduro

Figura 3. Etapas de desarrollo del maíz

Nota. Etapas vegetativas y reproductivas [imagen] por Endicott et al., 2015, DuPont Pioneer

La fase vegetativa (V) comienza con la etapa (VE), en la cual el coleóptilo emerge de la superficie del suelo, continúa con la etapa V1 con el surgimiento de la primera hoja y así sucesivamente hasta llegar a la etapa V(n) en la que surge la hoja (n). La etapa vegetativa finaliza con la etapa VT en la que la espiga surge (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados [CIBIOGEM], 2019).

La etapa reproductiva inicia con la etapa (R0) de antesis, es decir, la liberación del polen en la cual comienza el arrojamiento de polen. Sigue con el surgimiento de los estigmas a partir de la mazorca, es decir, la etapa (R1). El llenado de la mazorca con los granos de maíz toma alrededor de 8 semanas y ocurre en cuatro etapas, la etapa de ampolla (R2), etapa de leche (R3) y etapa de masa blanda (R4) y masa dura (R5).

La *etapa de ampolla* tiene lugar a los 2 a 18 días después de la polinización (Nielsen *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto *et al.*, 2018), se caracteriza por una rápida acumulación de carbohidratos en los granos. En esta etapa los granos tienen un líquido claro y embrión es visible (CIBIOGEM, 2019).

La *etapa de leche* sucede tres semanas después, a 19 a 24 días después de la polinización (Nielsen *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto *et al.*, 2018), durante esta etapa el líquido claro del grano se vuelve lechoso. Este momento es ideal para la cosecha de mazorcas de maíz para consumo fresco.

Finalmente, la *etapa de masa*, se llevan a cabo en dos fases: la etapa de masa blanda y la de masa dura, a 28–35 y 35–46 días después de la polinización, respectivamente (Nielsen, R *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto, L. *et al.*, 2018).

En la etapa de masa blanda, los granos se componen de pasta blanca y el embrión ocupa la mitad del ancho del grano. Una vez que comienza la etapa de masa dura la pasta blanca comienza a solidificarse y en consecuencia se hace una abolladura en la parte superior del grano (CIBIOGEM, 2019).

Al llegar a la *madurez fisiológica* (R6), a los 61 a 65 días posteriores a la polinización, se desarrolla la capa negra en la base del grano, la línea de leche desaparece y los granos han alcanzado el peso seco máximo y un contenido de humedad de aproximadamente el 35% (CIBIOGEM, 2019).

La *madurez de cosecha o avanzada* es aquella en donde la cosecha puede llevarse a cabo con el mínimo daño al grano, o al 22-25% de humedad cuando ya han pasado más de 75 días después de la polinización (Nielsen *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto, L. *et al.*, 2018).

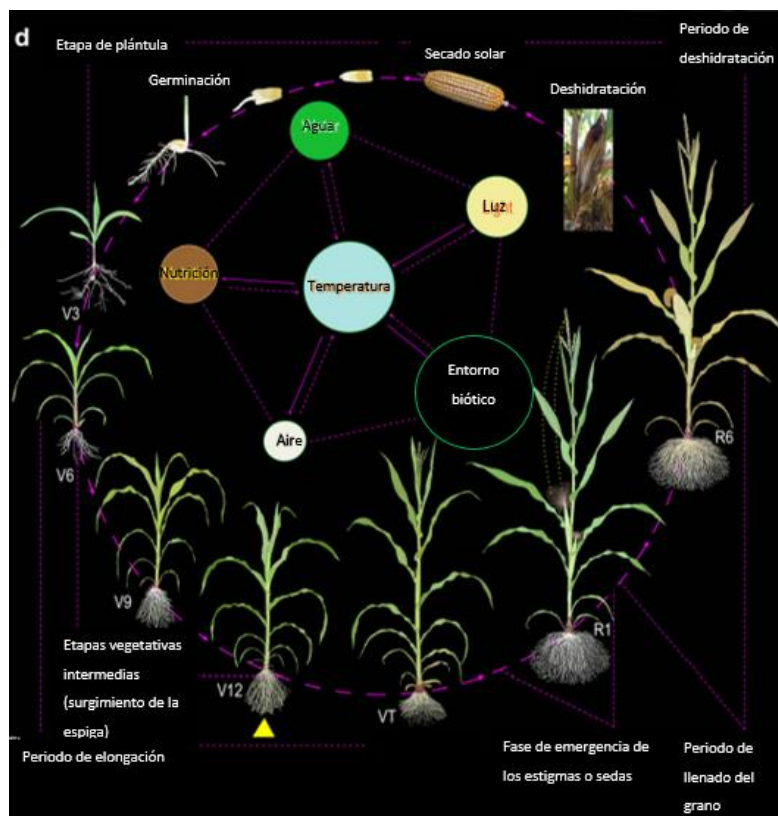


Figura 4. Factores ambientales durante la vida del maíz

Nota: Adaptado de Factores ambientales durante la vida del maíz [diagrama], por Li, Q., *et al.*, 2021, Euphytica 217.

III.D MAÍCES PIGMENTADOS

De acuerdo con datos obtenidos en FAOSTAT, 2019, el maíz es el cereal más producido en el mundo. En el continente americano existen 220 a 300 razas de maíz (Kato *et al.*, 2009) de estas México resguarda 64 razas, de las cuales 59 se consideran nativas; Perú 52 y Chile 23 razas (CONABIO, 2020; Fuentealba *et al.*, 2017; Gálvez *et al.*, 2019). Algunas de estas razas tienen variantes coloridas con granos negros, morados, azules, rojos, naranjas o rosas. Los maíces con tonalidades intensas, con altas cantidades de antocianinas, se cultivan principalmente en Perú y Bolivia (Colombo *et al.*, 2021).

El maíz colorido, en especial el morado, se ha estudiado ampliamente en las últimas décadas debido a que es una buena fuente de antioxidantes que han mostrado beneficios para la salud (Lao *et al.*, 2017a). Además, por su alto contenido en antocianinas, si se compara con una buena fuente de estos colorantes como lo es la mora azul, se considera una fuente atractiva para el desarrollo de productos funcionales (Lao *et al.*, 2017b).

Cada vez es más frecuente el cultivo de maíces pigmentados nativos y su comercialización a nivel mundial. Estos años ha habido un creciente interés por el desarrollo de nuevas variedades coloridas con un alto contenido de nutraceuticos.

En México, el octavo productor mundial de maíz (FAOSTAT, 2019), la superficie sembrada de maíz es de 8.1 millones de hectáreas. De esta superficie solo un 0.4% se destina a la siembra de maíces coloridos incluyendo el maíz azul (SIACON-SIAP, 2017) citado por (Ayala *et al.*, 2019). En México, los maíces pigmentados se cultivan principalmente en el Estado de México, Chiapas, Jalisco, Puebla, Guerrero y Michoacán, ordenados de manera decreciente según su área de siembra en hectáreas (SIACON- SIAP, 2017) citado por (Ayala *et al.*, 2019).

El maíz colorido es de interés comercial para la extracción de antocianinas ya que su costo de almacenamiento y procesamiento es menor al de las frutas y vegetales (Kurambhattia *et al.*, 2020).

III.E CLASES DE COMPUESTOS BIOACTIVOS PRESENTES EN EL MAÍZ COLORIDO

III.E.1 Compuestos polifenólicos

De acuerdo con su estructura, los compuestos fenólicos se pueden dividir en cinco categorías: ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, taninos y cumarinas (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Los compuestos fenólicos se pueden clasificar según la forma en la que se presenten en las plantas como: en su forma soluble como libres o esterificados y en su forma insoluble unidos covalentemente a residuos de azúcar o a componentes de la pared celular. Se ha demostrado que la biodisponibilidad de los ácidos fenólicos solubles es considerablemente mayor a la de los ácidos fenólicos insolubles (Zhao, Egashira, & Sanada, 2004 citado por Haraktor *et al.*, 2014).

Los cereales son ricos en compuestos fenólicos particularmente en su forma insoluble conjugada (Simic *et al.*, 2018).

Las características estructurales, ubicación y proporción en el grano de maíz, estabilidad y propiedades biológicas y aplicaciones tecnológicas de los compuestos polifenólicos del maíz colorido se han revisado en los trabajos de Sheng *et al.*, 2018, Navarro, *et al.* 2018, Acosta-Estrada *et al.* 2019 y Colombo *et al.*, 2021.

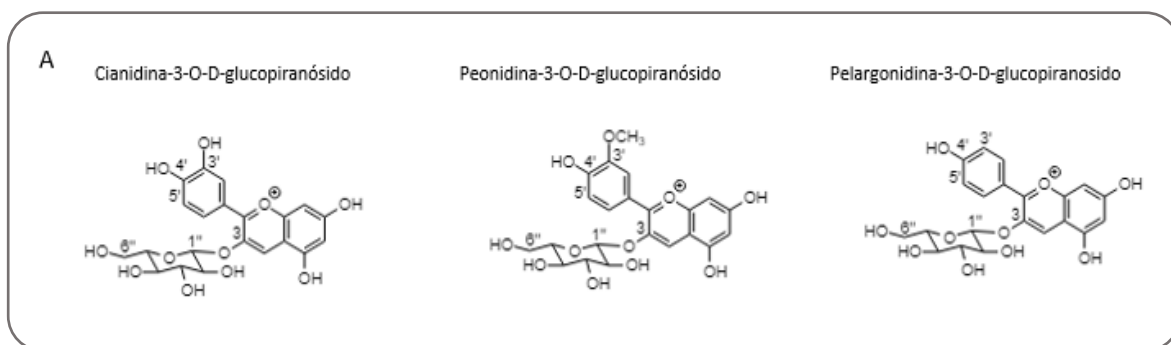
III.E.2 Antocianinas

Las antocianinas, glucósidos de antocianidinas, pertenecen a la familia de los flavonoides, un grupo de compuestos polifenólicos. Su estructura está basada en una molécula de antocianidina, cuya estructura básica consta de un benzopirilio (A) unido a un anillo fenólico (B), unida a un azúcar por medio de un enlace β -glucosídico (Badui, 2006). Dentro de los sacáridos glicosilantes se encuentran la

glucosa, galactosa, xilosa, ramnosa, arabinosa, rutinosa, soforosa, sambubiosa y gentobiosa. Estos azúcares a su vez pueden encontrarse acilados a ácidos orgánicos que pueden ser alifáticos u orgánicos (Garzón, 2008). Variaciones estructurales del grupo funcional unido al carbono 3' y 5' del anillo aromático (B) dan lugar a seis antocianidinas. La pelargonidina, cianidina y delfinidina poseen sustituyentes H y OH distribuidos de diferente manera en los carbonos 3' y 5'. Mientras que la peonidina, petunidina y malvidina presentan sustituyentes OCH₃ en la posición 3' y H, OH y OCH₃, respectivamente, en la posición 5. En la figura 5 se presentan las estructuras de las antocianinas glucosiladas y monoaciladas con ácido málico basadas en la cianidina, peonidina y pelargonidina.

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles que absorben luz visible a pH ácido (Bruce, 2008). Su color no sólo depende del número y orientación de los sustituyentes hidroxilo y metoxilo, también del tipo de sustitución glicosídica y de acilación de su estructura (Garzón, 2008). Incrementos en el grado de hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules, mientras que, incrementos en el grado de metoxilación producen coloraciones rojas (Aguilera *et al.*, 2011, citados por Guillén-Sánchez *et al.*, 2014).

Las antocianinas se encuentran en las vacuolas de las células en flores, cereales, frutas y vegetales (Wagner, 1982 citado por Garzón *et al.*, 2008). En la naturaleza se encuentran en su forma soluble ya sea como O-glicósidos o C-glicósidos (Acosta-Estrada *et al.*, 2014a).



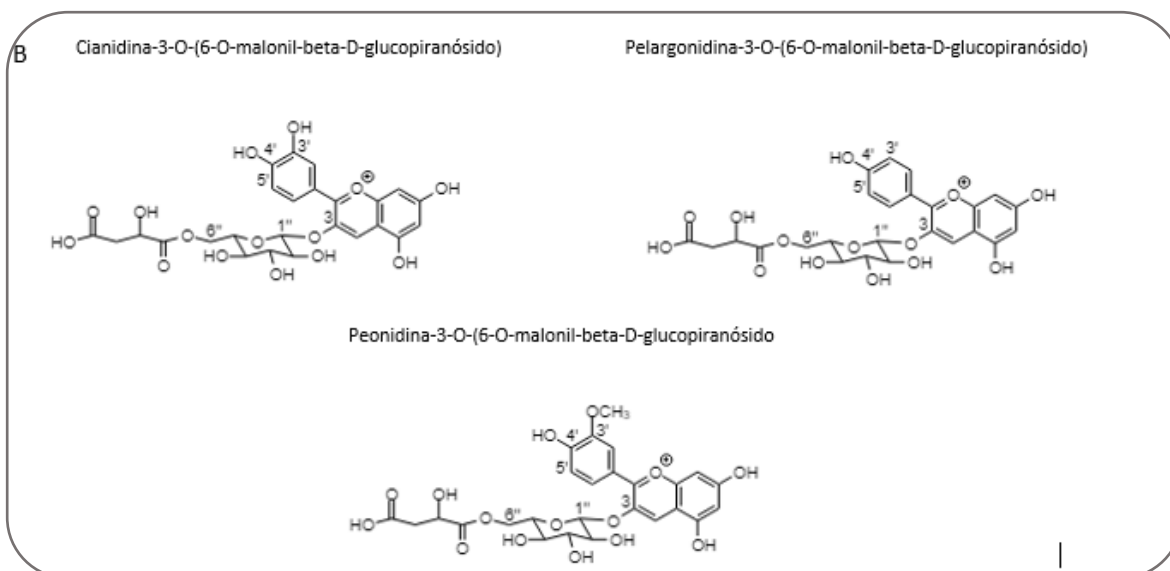


Figura 6. Estructura de las antocianinas principales en el maíz: A) glucósidos de cianidina, peonidina y pelargonidina B) antocianinas basadas en cianidina, pelargonidina y peonidina aciladas con ácido málico

III.E.3 Flavonoides

Los flavonoides constituyen otra clase de compuestos polifenólicos. La estructura básica de los flavonoides consta de dos anillos aromáticos (anillos A y B) unidos por un oxano (anillo C). Según el grupo funcional unido al anillo C, los flavonoides se pueden clasificar en flavonoles, flavonas, flavanoles, flavanonas, antocianinas e isoflavonoides (Abbas *et al.*, 2017). En la figura 6 se presentan las estructuras de los flavonoides que han sido caracterizados en el maíz.

La mayoría de los flavonoides son ácidos debido a que contienen grupos hidroxilo o carboxilo (Feng *et al.*, 2017).

Los flavonoles se presentan en las cebollas, el apio y el poro; las antocianinas en los frutos rojos, las bayas y la cáscara de las frutas; las flavonas y los flavanoles en la cáscara de las frutas; las isoflavonas en las leguminosas, mayormente en la soya; y las flavanonas en los cítricos (Abbas *et al.*, 2017).

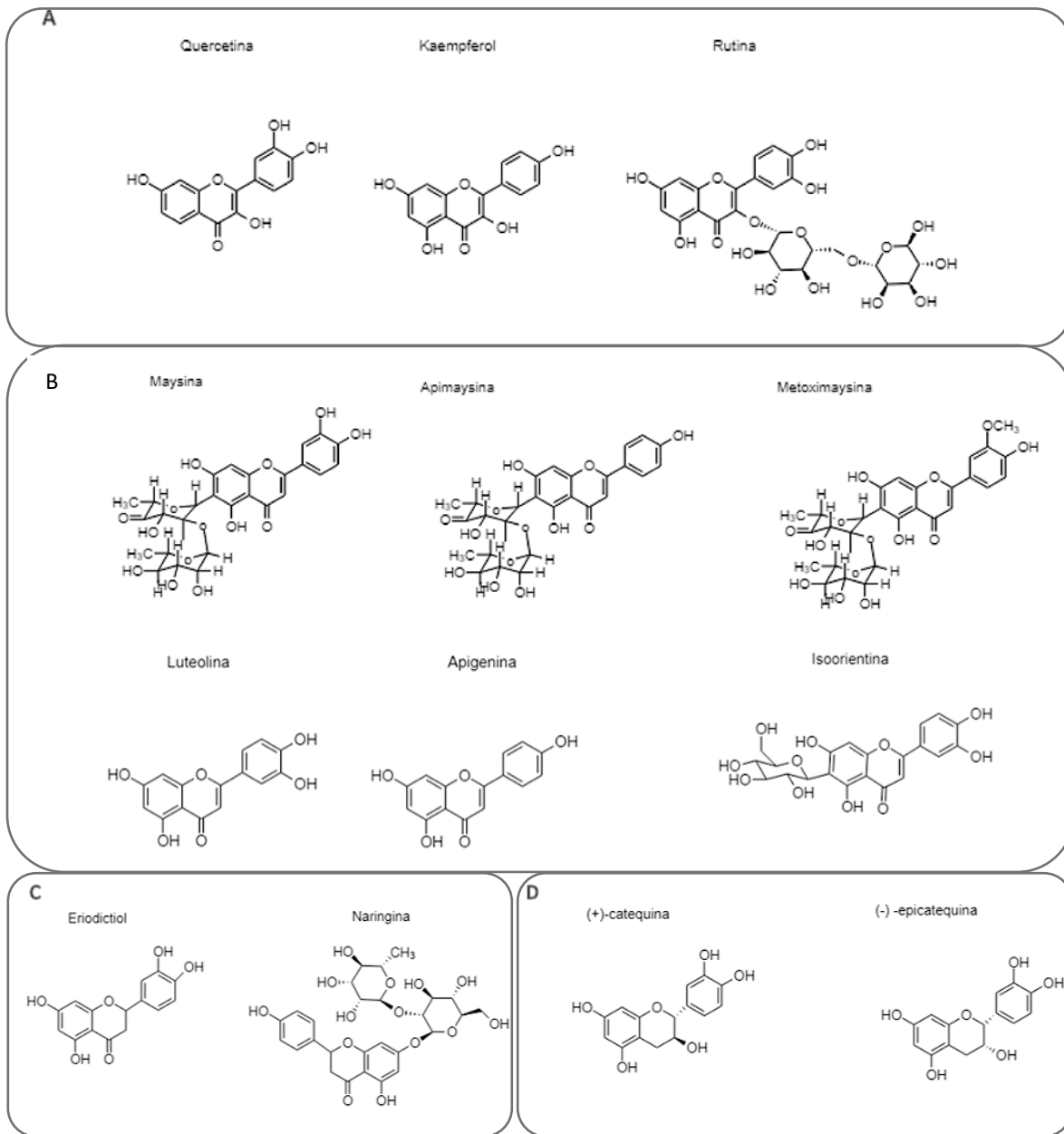


Figura 8. Estructuras de los flavonoides principales en el maíz: A) flavonoles, B) flavonas, C) flavanonas y D) flavanoles

III.E.4 Compuestos fenólicos simples o ácidos fenólicos

La estructura de los ácidos fenólicos deriva del ácido benzoico y del cinámico (Acosta-Estrada *et al.*, 2019) con sustituyentes de 1 a 6 carbonos y de 3 a 6 carbonos (C1 a C6 y C3 a C6), respectivamente (Abbas *et al.*, 2017). En la figura 7 se muestran los principales ácidos fenólicos en el grano de maíz.

Los ácidos fenólicos se encuentran en los cereales, principalmente en su forma insoluble o enlazada, y otros alimentos de origen vegetal (Acosta-Estrada *et al.*, 2019; Cuevas- Montilla *et al.*, 2011; Žilić *et al.*, 2012).

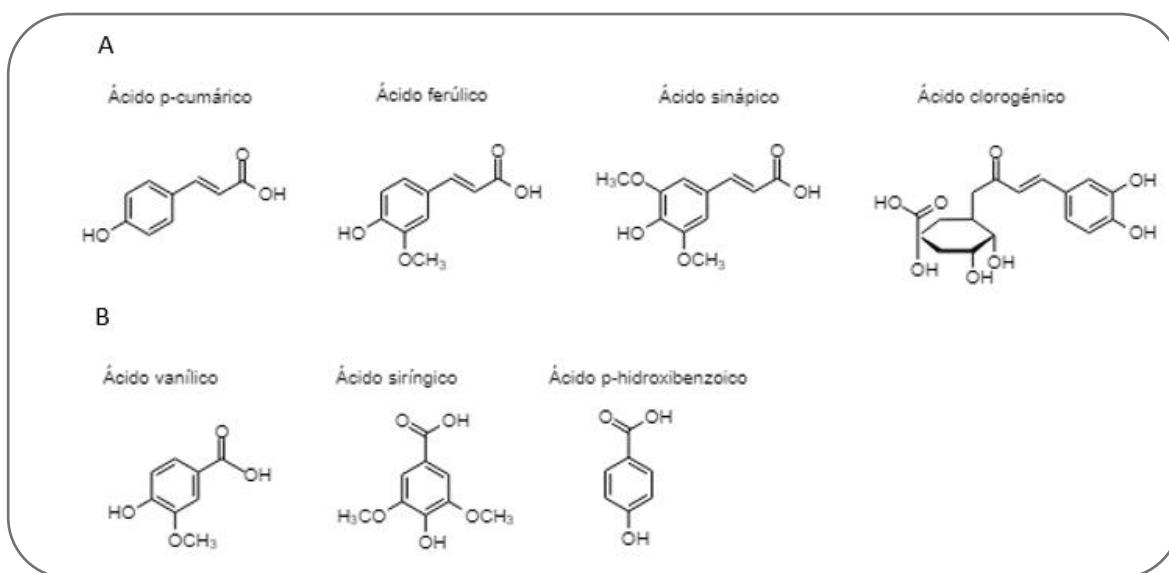


Figura 9. Estructura de los ácidos fenólicos principales en el maíz: A) derivados del ácido hidroxicinámico y B) derivados del ácido benzoico

III.E.5 Carotenoides

Los carotenoides son poliisoprenoides de 40 carbonos, véase figura 8. Existen dos clases de carotenoides, las xantofilas y los carotenos, la estructura base de estas dos es la misma, sin embargo, la de las xantofilas tiene oxígeno y la de los carotenos no (Díaz-Gómez *et al.*, 2017a, citado por Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Los carotenoides son compuestos liposolubles que se encuentran en los tubérculos, las frutas, las semillas y algunos productos de origen animal contienen grandes cantidades de carotenoides, en especial, xantofilas (Sheng *et al.*, 2018). Los vegetales de hojas verdes también presentan carotenoides, pero en menor proporción. La mayoría de los carotenoides están presentes en la naturaleza en su forma *trans* (Sheng *et al.*, 2018).

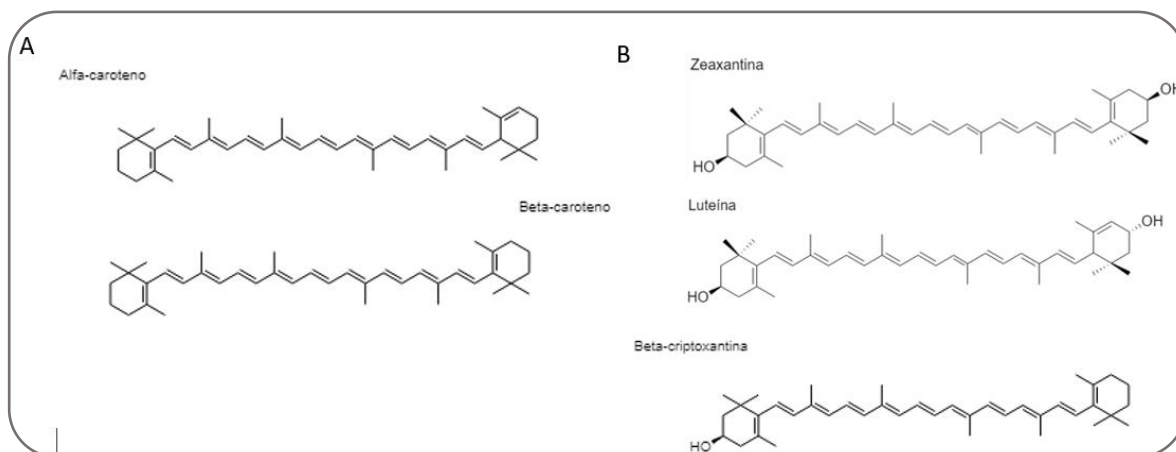


Figura 10. Estructura de los carotenoides principales en el maíz: A) carotenos y B) xantofilas

III.E.6 Fitoesteroles

Existen dos clases de fitoesteroles: los estanoles y los esteroides. La estructura de los fitoesteroles difiere de la del colesterol en que su estructura contiene un residuo adicional de metilo o etilo. Los estanoles poseen una estructura formada por tres ciclohexanos y un ciclopentano. En cambio, el segundo anillo de los esteroides tiene un doble enlace (Acosta-Estrada *et al.*, 2019). En la figura 9 se presentan los fitoesteroles que han sido encontrados en los órganos del maíz.

Los fitoesteroles son compuestos oleosolubles que se encuentran en la pared celular de las plantas. Se presentan en frutas, vegetales, nueces, semillas, cereales, aceites vegetales y árboles de coníferas (Yang *et al.*, 2019).

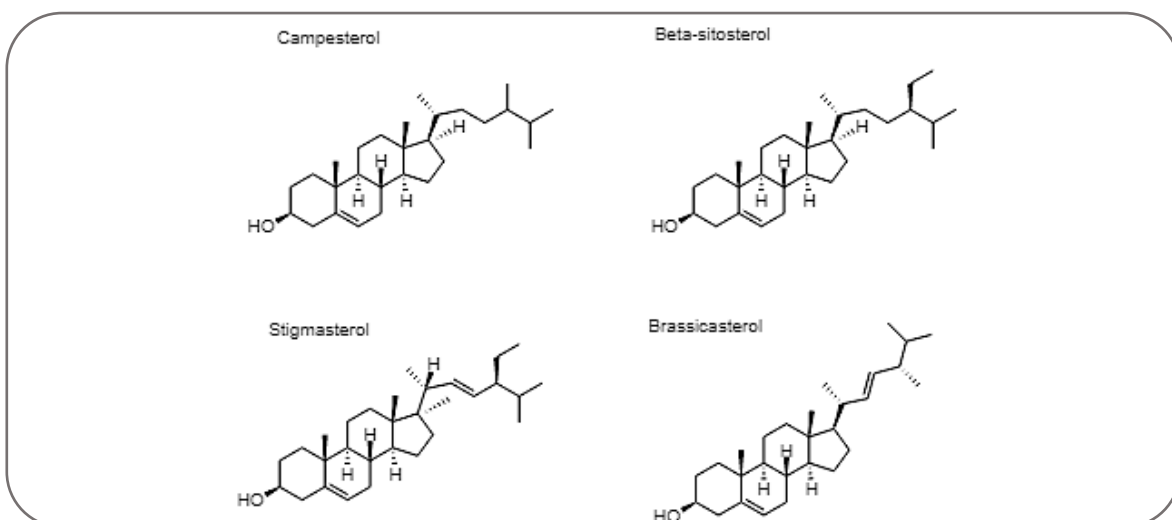


Figura 9. Estructuras de los fitoesteroles más comunes en el maíz

III.E.7 Policosanoles

El término policosanoles se refiere a la mezcla de alcoholes primarios alifáticos de cadena larga tales como docosanol, hexacosanol, octacosanol, triacontanol y dotriacontanol (Leguizamón *et al.*, 2009) citado por (Acosta-Estrada *et al.*, 2019), véase figura 10.

Los policosanoles son compuestos no saponificables que se encuentran en la cera de abeja, la caña de azúcar, las frutas, las hojas y los cereales (Hwang *et al.*, 2005; Irmak *et al.*, 2006) citado por Harrabi *et al.*, 2009. Estos compuestos se encuentran asociados a la cera epicuticular de la planta. En el maíz, se localizan principalmente en el pericarpio y en menor medida en el germen y el endospermo (Harrabi *et al.*, 2009).



Figura 10. Estructuras de los principales policosanoles encontrados en el maíz

III.K Xilanos

Los xilanos, un tipo de hemicelulosas, son polímeros de D-xilopiranosas unidas por enlaces β -1,4, (Ebringerová *and* Heinze, 2000, Heinze *et al.*, 2004, Mussatto *et al.*, 2008) citado por (Madeira *et al.*, 2017). Esta cadena puede tener residuos de ácido glucurónico o 4-O-metil-ácido glucurónico unido por un enlace α -1,2; D-arabinofuranosa unida por un enlace α -1,2 o bien α -1,3 ;y grupos O-acetil (Vries *et al.*, 2001) citado por (Madeira *et al.*, 2017). Las arabinofuranosas pueden estar asociadas mediante un enlace éster a compuestos fenólicos como el ácido ferúlico y el ácido cumárico, véase figura 11.

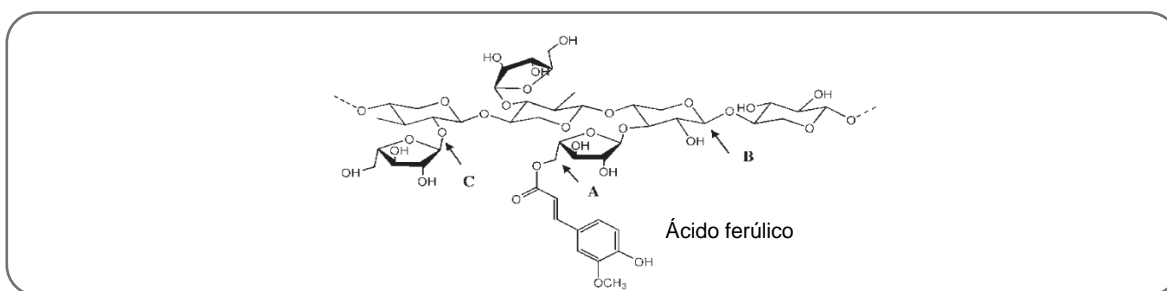


Figura 11. Estructura de un arabinoxilano esterificado con ácido ferúlico

Nota: Structure of Ferulic Acid Esterified to Arabinoxylan, the Main Component of Hemicellulose in Monocots, by Buanafina, M.M.,2009, Molecular Plant.

Los arabinoxilanos o *corn fiber gum* generalmente presentan una baja viscosidad y pueden ser solubles en agua o insolubles en agua. Dependiendo de la fuente de extracción presentan distintos pesos moleculares, relación arabinosa/xilosa, capacidad antioxidante y composición de monosacáridos (Wang *et al.*,2019). Estos compuestos se han aislado de cereales tales como el maíz, avena, cebada, sorgo, trigo y arroz (Fadel *et al.*, 2018).

III.F UBICACIÓN Y CONCENTRACION DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN EL MAÍZ COLORIDO

III.F.1 Antocianinas en el maíz colorido

Las antocianinas simples o aciladas se encuentran principalmente en la aleurona o en el pericarpio del grano de maíz, afectando el color del grano (Zilic *et al.*, 2012). No obstante, también se han encontrado en otros órganos de la planta como lo son las hojas, el raquis y las brácteas (Li *et al.*, 2008).

En la etapa de leche con aproximadamente 80% de humedad, porcentaje característico de esta etapa (Nielsen *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto *et al.*, 2018), las variedades de maíz morado ceroso presentaron 0.03 a 0.09 mg AT/g muestra b.s en los granos, 0.04 a 0.23 mg AT/ g muestra b.s en el olote, 0.16 a 0.82 mg AT/ g muestra b.s en los estigmas y 0.01 a 0.10 mg AT/g muestra b.s en las brácteas según cálculos realizados (apéndice I).

El maíz analizado en la etapa de masa, 36 días después de la polinización, por Simla *et al.*, 2016 presentó de 0.15 a 0.80 mg AT/ g muestra b.s en el grano, 1.07 a 2.30 mg AT/ g muestra b.s en el olote, 2.52 a 8.0 mg AT/ g muestra b.s en los estigmas y 0.02 a 2.97 mg AT/g muestra b.s en las brácteas, según cálculos realizados (apéndice I).

En cuanto a los granos analizados pasada la etapa de madurez fisiológica, en el maíz morado se ha reportado 0.26 a 16.00 mg AT/g muestra b.s, en el maíz rojo 0.008 a 0.334 mg AT/g muestra b.s, en el maíz azul de 0.073 a 1.052 mg AT/g muestra b.s y en el maíz rosa 0.0002 a 0.014 mg AT/g muestra b.s (Navarro *et al.*, 2018). Bello-Pérez *et al.*, 2016 informaron 0.101 a 3.045 mg AT/g muestra b.s en el maíz negro, 0.049 a 3.251 mg AT/g muestra b.s en el maíz morado, 0.197 a 0.995 mg AT/g muestra b.s en el maíz azul, 0.051 a 0.852 mg AT/g muestra b.s en el maíz

rojo, 0.127 a 0.164 mg AT/g muestra b.s en el maíz rosa, 0.306 mg AT/ g muestra b.s en el maíz naranja, 0.702 mg AT/ g muestra b.s en el maíz amarillo y 0.154 mg AT/ g muestra b.s en el maíz blanco.

Navarro *et al.*, 2018 reportaron un intervalo de 0.03 a 39.00 mg de antocianinas por cada gramo de olote de maíz morado, fisiológicamente maduro, en base seca.

En la revisión de Navarro *et al.*, 2018, se reporta un valor de 0.03 a 35.0 miligramos de AT por gramo de brácteas en b.s. El contenido más alto reportado hasta ahora ha sido el encontrado en las brácteas de un maíz morado variedad Tunicata o como se le dice en inglés *pod corn*, esto es 189 mg AT/g muestra b.s (Li *et al.*, 2008).

En la etapa de masa, Sarepoua *et al.*, 2013 informó un contenido promedio de 0.07 mg AT/ g muestra b.s. en los estigmas morados de los maíces morados PCW1 y 2. Estos autores también realizaron el análisis de estigmas dorados de variedades de maíz amarillo y encontraron un contenido promedio de 0.0007mg AT/ g muestra b.s en los estigmas de los maíces cerosos o *waxy corn*, 0.0006 mg AT/ g muestra b.s en los estigmas de los maíces dulces o *sweet corn*. Mientras que, en la etapa de leche los estigmas de los maíces *baby corn* exhibieron 0.002 mg AT/ g muestra b.s.

Las antocianinas identificadas y las cantidades encontradas en el grano morado en las investigaciones realizadas antes del 2017 se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Contenido de antocianinas reportado antes del 2017 en los órganos de la planta del maíz morado

Antocianinas	Órgano y variedad	Contenido (mg/ g muestra b. s)	Referencia
Cianidina-3-glucósido	Polvo de maíz morado adquirido de Empresa Peruana	0.54	Pascual-Teresa <i>et al.</i> , 2002 citado por Cristiani <i>et al.</i> , 2020
Cianidina-3-(6"-malonilglucósido)		0.12	
Peonidina-3-glucósido		0.15	
Peonidina-3-(6"-malonilglucósido)		0.06	
Pelargonidina-3-glucósido		0.06	
Pelargonidina-3-(6"malonilglucósido)		0.03	
Cianidina-3-glucósido	Olote morado	7.52	Kapcum <i>et al.</i> , 2016
Cianidina-3-(6"-malonilglucósido)		0.18	
Peonidina-3-glucósido		0.76	

III.F.2 Flavonoides en el maíz colorido

Los flavonoides se presentan en el pericarpio del grano, raquis, brácteas y en los estigmas del maíz (Dong *et al.*, 2014). La hirsutina, rutina, morina, kaempferol, quercetina, naringenina, hesperidina y sus derivados son los flavonoides más comúnmente presentes.

Ramos-Escudero *et al.*, 2012a; Kim *et al.*, 2013) citado por Lao *et al.*, 2017b. Ramos-Escudero *et al.*, 2012 extrajeron 0.23 a 0.15 mg de equivalentes de catequina por g de grano morado de maíz en base seca por medio de la extracción con varias disoluciones de agua y metanol en diferente proporción. La extracción con etanol al 80% v/v permitió extraer un contenido total de flavonoides de 846.8, 1166.8 y 956.8 mg de equivalentes de rutina por cada 100 gramos de brácteas en base seca, raquis y stigma maydis, respectivamente (Dong *et al.*,2014).

En la siguiente tabla, se informan el tipo y cantidad de flavonoides identificados en los granos morados, amarillos y los estigmas coloridos del maíz; que han sido reportados en artículos emitidos antes del 2017.

Tabla 2. Contenido y tipo de flavonoides identificados antes del 2017 en los órganos de la planta de los maíces coloridos

Flavonoide	Órgano y variedad	Contenido (mg/ g b. h)	Referencia	
Apigenina (APG)	Grano morado P1-rr	0.00011	Casas <i>et al.</i> , 2014	
	Grano amarillo P1-ww	0.00005		
Luteolina (LTL)	Grano morado P1-rr	0.00007		
	Grano amarillo P1-ww	0.00002		
Isoorientina (ISO)	Grano morado P1-rr	0.00240		
	Grano amarillo P1-ww	0.00007		
Orientina (OR)	Grano morado P1-rr	0.00013		
	Grano amarillo P1-ww	0.000009		
Maysina (MY)	Grano morado P1-rr	0.000005		Casas <i>et al.</i> , 2014
	Grano amarillo P1-ww	0.000007		
	Estigmas rosas ZP 341	0.171 b. s	Zilic <i>et al.</i> , 2016	
	Estigmas morados ZP Exp	0.126 b. s	citado por Navarro <i>et al.</i> , 2018	
	Estigmas verdes ZP555	0.047	Zilic <i>et al.</i> , 2016	
	Estigmas amarillos ZP366	0.145		
Rutina (RUT)	Grano morado INIA-601	0.027	Ramos-Escudero <i>et al.</i> , 2012 citado por Navarro <i>et al.</i> , 2018	
Morina (MOR)		2.02		
Quercetina (QR)		0.016		
Naringina (NRG)		0.148		
Kaempferol (KEM)		2.24		

III.F.3 Compuestos polifenólicos en el maíz colorido

Como se mencionó antes, los grupos de compuestos polifenólicos en el maíz más abundantes son las antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos. El contenido de polifenoles totales abarca los tres grupos.

El contenido de compuestos fenólicos ha sido cuantificado en diversas partes de la planta del maíz morado. En la etapa de leche, se encontraron 0.05 mg CPT/g grano en b.s, 0.06 mg CPT/g olote en b.s, 0.14 mg CPT/g estigmas en b.s y 0.02 mg CPT/g de brácteas en b.s. en los órganos del maíz KCU-WX111031 (Simla *et al.*, 2016) (apéndice I). Durante la etapa de masa, la variedad KCU-WX111031 exhibió 0.14 mg CPT/g en el grano, 0.40 mg CPT/g en el olote o raquis, 0.42 mg CPT/g en los estigmas y 0.07 mg CPT/g en las brácteas (Simla *et al.*, 2016) (apéndice I).

En el grano morado de la variedad cerosa “*Khao Niew Dum*” se encontró 6.9 mg de polifenoles totales por gramo de muestra en base seca (Harakotr *et al.*, 2014). Zilic *et al.*, 2012 cuantificó 5.23 mg AG/g muestra en b.s en el grano blanco, 5.78 a 5.39 mg AG/g muestra en b.s en los granos amarillos, 5.81 mg AG/g muestra en b.s en los granos naranjas, 6.01 mg de AG/ g muestra en b.s en los granos rojos, 10.53 mg AG/ g muestra en b.s en los granos azules de tonalidad claro y 7.35 mg AG/ g muestra en b.s en los granos de color azul oscuro.

En el extracto etanólico al 80% v/v de los estigmas se determinó un contenido de polifenoles totales de 3.994 mg CPT/g, mientras que en el extracto de olote se encontró 2.834 mg CPT/ g y en el extracto de las brácteas se observó un contenido de 2.988 mg CPT/g (Dong *et al.*, 2014).

Los resultados obtenidos por Sarepoua *et al.*, 2013, los estigmas de los maíces cerosos morados presentan 0.117 mg CPT/g muestra b.s, los estigmas del maíz blanco ceroso 0.107 mg CPT/g muestra b.s y los estigmas de los maíces amarillos dulces 0.084 mg CPT/ g muestra b.s.

III.F.4 Ácidos fenólicos en el maíz colorido

Los ácidos fenólicos se han encontrado en la aleurona, en el pericarpio del grano (Serna-Saldívar, 2010; citado por Acosta-Estrada *et al.*, 2019) y en el olote (Kapcum citado por Navarro *et al.*, 2018).

Ndolo y Beta *et al.*, 2014 reportan 2.55 mg ácidos fenólicos por cada gramo de maíz amarillo (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

En la tabla 3 se informan las cantidades de ácidos hidroxicinámicos cuantificadas antes del periodo de estudio en los órganos de distintas variedades de maíz.

Tabla 3. Contenido y tipo de ácidos hidroxicinámicos identificados antes del 2017 en los órganos de la planta de los maíces coloridos

Ácidos Fenólicos	Órgano	Libres (mg/g b.s)	Referencias
Ácido ferúlico	Grano morado “Khao Niew Dum”	0.023	Harakotr <i>et al.</i> , 2014*
	Grano morado Kulli	1.350	Cuevas-Montilla <i>et al.</i> , 2011
	Grano rojo Colorado	1.390	
	Grano morado INIA-601	0.055	Ramos-Escudero <i>et al.</i> , 2012
	Grano morado ZPP-1 selfed	0.002	Zilic <i>et al.</i> , 2012
	Grano azul oscuro ZPL-7	0.005	
	Grano rojo ZPL-6	0.003	
	Grano naranja ZPL-4	0.010	
	Grano amarillo ZPL-3	0.006	
	Grano blanco ZPL-1	0.001	
	Grano amarillo Dasca, P1395XR y P1508HR	1.788 a 18.400	Ndolo y Beta 2014 **
Olote de variedades coloridas	0.073 a 0.107	Kapcum <i>et al.</i> , 2016 *	
Ácido cumárico	Grano morado “Khao Niew Dum”	0.011	Harakotr <i>et al.</i> , 2014 *
	Grano morado Kulli	0.341	Cuevas-Montilla <i>et al.</i> , 2011
	Grano rojo Colorado	ND	
	Grano morado ZPP-1 selfed	0.002	Zilic <i>et al.</i> , 2012
	Grano azul oscuro ZPL-7	0.005	
	Grano rojo ZPL-6	0.003	
	Grano naranja ZPL-4	0.010	
	Grano amarillo ZPL-3	0.006	
	Grano blanco ZPL-1	0.001	
	Grano amarillo	0.242	Acosta-Estrada <i>et al.</i> , 2019
	Grano amarillo	1.329	Cuevas-Montilla <i>et al.</i> , 2011
Ácido cafeico	Grano morado “Khao Niew Dum”	0.003	Harakotr <i>et al.</i> , 2014 *
	Grano morado INIA-601	0.038	Ramos-escudero <i>et al.</i> , 2012 *
Ácido clorogénico	Grano morado INIA-601	0.011	*
Ácido sinápico	Grano amarillo Dasca y P1395XR	0.133	Ndolo y Beta (2014) **

III.F.5 Carotenoides en el maíz colorido

Los carotenoides se localizan principalmente en el endospermo córneo, seguido del endospermo harinoso, el germen y el pericarpio (Serna-Saldívar, 2010, citado por Acosta-Estrada *et al.*, 2019). Los carotenos y xantofilas confieren el color amarillo y el naranja al endospermo del maíz (Zilic *et al.*, 2012 y Acosta- Estrada *et al.*, 2019). El contenido promedio de xantofilas reportado en Sheng *et al.*, 2018 fue de 0.022 mg por g de grano de maíz. Mientras que, el contenido de carotenoides totales (CT), en este caso, la suma de las concentraciones de carotenoides, realizada con los

valores de cada carotenoide reportados por Sheng *et al.*, 2018 de publicaciones de 2005 a 2007, es de 0.008 mg CT/g en grano amarillo, 0.003 mg CT/g en el grano rojo y 0.0005 mg CT/g en maíz azul. Los valores reportados en las referencias revisadas por Acosta-Estrada *et al.*, 2019, son 0.003 mg CT por g de maíz blanco, 0.066 mg CT por g de maíz amarillo y 0.06 a 0.095 mg CT por g de maíz alto en carotenoides. Hu *et al.*, 2011 reportaron 0.009 mg CT/g b.s en el grano de un maíz negro y 0.001 a 0.023 mg CT/g b.s en el grano amarillo. En la tabla 4 se presentan la cantidad de los carotenoides detectados en los granos coloridos en investigaciones anteriores.

Tabla 4. Contenido y tipo de carotenoides identificados antes del 2017 en los órganos de la planta de los maíces coloridos

Carotenoides	Órgano y variedad	Contenido (mg / g muestra b.s)	Referencia
Luteína (LUT)	Grano morado ZPP-1 selfed	0.00001	Zilic et al., 2012
	Grano naranja ZPL-4	0.011	
	Grano azul ZPL-7	0.005	
	Grano rojo ZPL-5	0.014	
	Grano amarillo ZPL-3	0.066	
	Grano amarillo Xinnuo 301	0.01	
B-caroteno (BCAR)	Grano negro 'Jinxiannuo 8'	0.004	Hu et al., 2011
	Grano azul ZPL-7	0.002	Zilic et al., 2012
B-caroteno (BCAR)	Grano rojo ZPL-5	0.001	
	Grano naranja ZPL-4	0.002	
	Grano amarillo ZPL-3	0.001	
Zeaxantina (ZX)	Grano amarillo Xinnuo 301	0.004	Hu et al., 2011
	Grano negro 'Jinxiannuo 8'	0.001	
β-criptoxantina (BCRP)	Grano amarillo Xinnuo 301	0.0004	Hu et al., 2011
	Grano negro 'Jinxiannuo 8'	ND	

III.L.6 Fitoesteroles en el maíz colorido

Los fitoesteroles (FTS) se encuentran asociados al aceite del germen del grano de maíz (Acosta-Estrada *et al.*, 2019). Los esteroides más abundantes en este cereal son β—sitoesterol, campesterol y estigmasterol. Sin embargo, también se ha reportado la presencia de campestanol, v-7-campesterol, brassicasterol, sitostanol, Δ-7- y Δ-5-avenasterol; Δ-5,2,4 y Δ-5,2,3-stigmastadienol; y Δ-7-stigmastenol (Guneser *et al.*, 2017) citado por (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Los niveles de fitoesteroles libres detectados en los granos de 25 cultivares de maíz varió de 0.298 a 0.433 mg FTS/g de harina (Esche *et al.*, 2013). En el germen del maíz amarillo se encontró un total de 3.11 miligramos de fitoesteroles por gramo de muestra (Giordano *et al.*, 2016). Los fitoesteroles caracterizados en el grano amarillo se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Contenido y tipo de fitoesteroles identificados antes del 2017 en los órganos de la planta de los maíces coloridos

Fitoesteroles	Órgano	Contenido (mg fitoesteroles/ g muestra b.s)	Referencia
B-sitosterol (BSTS)	Grano amarillo Pioneer P1758	1.98	Giordano <i>et al.</i> , 2016 citado por Acosta-Estrada <i>et al.</i> , 2019
Campesterol (CAMPE)		0.65	
Stigmaesterol (STGMA)		0.17	

III.F.7 Policosanoles en el maíz colorido

El triacontanol, dotriacontanol y octacosanol son los alcoholes predominantes en el pericarpio del grano de maíz; el triacontanol y hexacosanol son los más abundantes en el endospermo y el germen contiene mayormente dotriacontanol (Harrabi *et al.*, 2009) citado por (Acosta Estrada *et al.*, 2019).

En Harrabi *et al.*, 2009 se determinó un contenido total de 0.015 a 0.0205 mg de policosanoles en cada g de grano de maíz amarillo.

Tabla 6. Contenido y tipo de policosanoles identificados antes del 2017 en los órganos de la planta de los maíces coloridos

Policosanoles	Órgano	Contenido (mg policosanoles/ g muestra b.s)	Referencias
Docosanol	Grano amarillo maíz dulce GH2547	0.001	Harrabi <i>et al.</i> , 2009
Tetracosanol		0.004	
Hexacosanol		0.002	
Octacosanol		0.001	
Triacontanol		0.005	
Dotriacontanol		0.007	

III.L.8 Xilanos en el maíz colorido

Los arabinoxilanos se localizan en el pericarpio del grano del maíz y en el endospermo harinoso.

En Fadel *et al.*, 2018 se reportó un porcentaje de arabinoxilanos de 26.0 a 29.86 % en el salvado del maíz.

En la tabla 7 se muestran las propiedades de los arabinoxilanos extraídos a partir de los órganos de la planta del maíz y los métodos de extracción aplicados.

Tabla 7. Rendimiento de extracción y características de xilanos identificados antes del 2017 en los órganos de la planta de los maíces coloridos

Fuente	Método de extracción	%Rendimiento	Ara/Xyl	Ácido ferúlico (mg/g)	Referencia
Salvado de maíz	Hidrólisis alcalina	20.80	0.82	NE	Zhang <i>et al.</i> , 2016 citado por Fadel <i>et al.</i> , 2018
	Enzimática	88.10	0.89	NE	
NE	Hidrólisis alcalina	13.90 a 19.43	NE	0.59-0.86	Ayala-Soto <i>et al.</i> 2016

III.G REVISIONES Y ARTÍCULOS MAS REPRESENTATIVOS DEL TEMA

Hasta ahora se han publicado cuatro revisiones sobre los compuestos bioactivos del grano de variedades coloridas de maíz.

El trabajo de revisión de Salinas-Moreno *et al.*, 2013 se centra en el contenido de antocianinas totales y las antocianinas identificadas en los granos con aleurona o pericarpio de tonalidad azul a morada en investigaciones previas.

Sheng *et al.*, 2018 abarca principalmente ensayos biológicos y trabajos de cuantificación y caracterización de antocianinas, ácidos fenólicos, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles en los granos de los maíces coloridos.

El capítulo titulado: “*Minor Constituents and Phytochemicals of the Kernel*”, escrito por Acosta-Estrada *et al.* (2019), trata de los compuestos bioactivos: ácidos fenólicos, antocianinas, flavonoides, carotenoides, policosanoles, xilanos, fosfolípidos y fitoesteroles, caracterizados en los granos coloridos del maíz encontrados en diversos artículos publicados en el período 2009-2017. Cada grupo de compuestos cuenta con información encontrada sobre sus características estructurales, ubicación y proporción en el grano de maíz, estabilidad y propiedades biológicas. Así mismo, se presentan las concentraciones de los fitoquímicos encontradas en diferentes granos coloridos.

Bello-Pérez *et al.*, 2016 revisó las propiedades físicas, la composición química y el contenido de antocianinas detectado en los granos morados, rojos, rosas, amarillos, naranjas, negros y azules artículos del 2000 al 2013.

Actualmente se cuenta con tres revisiones extensas sobre los órganos del maíz colorido. La primera es la realizada por Navarro, *et al.* (2018), la cual recopila publicaciones hechas a lo largo de diez años referentes al contenido de antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos encontrados en el grano, raquis u olote, estigma o seda, polen y brácteas o totomoxtle; de la planta del maíz morado, azul y rojo, principalmente. La información se clasifica por órgano y cada clasificación cuenta con información sobre los métodos de extracción empleados, la actividad biológica, las aplicaciones tecnológicas y concentración encontrada de cada clase de compuesto.

La segunda es la revisión de artículos publicados en la última década y llevada a cabo por Colombo *et al.* (2021), la cual abarca compuestos polifenólicos y carotenoides caracterizados en los órganos como el grano, raquis, estigmas y brácteas; en maíces coloridos. La información es organizada por compuesto caracterizado por HPLC en diferentes muestras. Los trabajos se clasifican por

temas: métodos de extracción, efectos a la salud, alimentos basados en maíz, aspectos tecnológicos y otros usos de los extractos de maíz.

El trabajo de revisión de Tian *et al.*, 2021 se enfoca en la información existente sobre los métodos de extracción empleados y las actividades biológicas exhibidas por los flavonoides del estigma del maíz.

Otro artículo publicado previamente referente al tema es el de los autores Hu *et al.*, 2011 quienes monitorearon las antocianinas, los compuestos fenólicos y los carotenoides en los granos de tres tipos de maíz ceroso: amarillo, blanco y negro durante su desarrollo hasta llegar a la madurez completa.

Se han publicado artículos sobre el análisis de estos compuestos fitoquímicos en las partes de la planta del maíz. En Li *et al.*, 2008 se determinaron los niveles de antocianinas en tres partes del maíz: el olote, las brácteas y las hojas. Dong *et al.*, 2014 determinaron el contenido de polifenoles totales, el contenido de flavonoides totales y la capacidad antioxidante de diferentes extractos de las brácteas, el olote y los estigmas, también llamadas sedas, de un maíz no colorado sembrado en la Provincia de Yunnan, China. Dos años después, Simla *et al.*, 2016 cuantificó el contenido de antocianinas y compuestos fenólicos totales en el grano, el olote, las brácteas, los estigmas y la espiga de cuatro variedades de maíz morado ceroso en dos estados de madurez, a 20 y a 35 días después de la polinización.

Se han publicado tres revisiones referentes a los xilanos del maíz. El trabajo de Cai *et al.*, 2021 y Acosta-Estrada *et al.*, 2019 presentan los rendimientos de extracción, composición y propiedades funcionales de los arabinoxilanos aislados a partir del maíz en los últimos años. En cambio, la revisión de Fadel *et al.*, 2018 abarca arabinoxilanos aislados a partir de maíz y otros cereales.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se han publicado una gran cantidad de artículos referentes al análisis de fitoquímicos en las diversas partes de la planta del maíz colorido a lo largo de su desarrollo. La información generada ha sido clasificada en cuanto a las aplicaciones, propiedades biológicas y métodos de extracción. Asimismo, la concentración de fitoquímicos aislada a partir de los órganos de la planta de los maíces coloridos más representativos ha sido recopilada. No obstante, en los últimos cinco años se han analizado estos fitoquímicos en los órganos de la planta de otros maíces coloridos y de los maíces amarillos y blancos.

El maíz morado ha sido de interés comercial para la extracción de compuestos bioactivos y para su aplicación como colorante en alimentos. El precio del maíz morado ha subido, por lo que los subproductos derivados del procesamiento del maíz amarillo y blanco u otros maíces coloridos podrían representar una alternativa al grano morado para la extracción de estos compuestos.

Por ende, se requiere la actualización, recopilación, clasificación y análisis de la información generada sobre la concentración de compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz no solo en la madurez sino también en otros estados de desarrollo para determinar si los órganos de la planta del maíz podrían ser una fuente de compuestos bioactivos equiparable al grano morado.

V. HIPÓTESIS

Las hipótesis de esta investigación fueron las siguientes: 1) *los órganos de la planta del maíz colorido, los granos inmaduros morados y otros granos coloridos tienen un contenido de compuestos bioactivos equiparable al de los granos maduros morados*; 2) el raquis, las brácteas, las inflorescencias masculinas y los estigmas contienen los mismos compuestos que el grano pero en diferente proporción; 3) los ácidos fenólicos son los compuestos predominantes en el perfil cromatográfico de los órganos: granos, olote, brácteas, estigmas e inflorescencias masculinas; de la planta del maíz y 4) los valores de concentración de compuestos bioactivos encontrados en los órganos en el periodo (2017-2021) están por arriba del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores debido al uso de tecnologías emergentes de extracción.

VI. OBJETIVOS

Objetivo general

Comparar la información disponible sobre el perfil y el contenido de compuestos bioactivos en los extractos de los órganos de la planta de los maíces coloridos mediante la búsqueda y clasificación de los artículos publicados en el periodo 2017 a inicios del 2021 para conocer las áreas de oportunidad en el campo de estudio del maíz colorido para investigaciones posteriores y aplicaciones nutraceuticas y determinar si los órganos del maíz colorido: granos, olote, brácteas, estigmas e inflorescencia masculina; son una alternativa al grano morado para la extracción de fitoquímicos.

Objetivos particulares

Determinar el rango de concentración aislado a partir de los órganos de la planta del maíz en el periodo de estudio y compararlo con el intervalo de concentración observado en las revisiones anteriores más representativas sobre el tema

Realizar un diseño de experimentos y una comparación de medias de Dunnett para determinar si existe diferencia significativa entre el contenido de compuestos bioactivos encontrado en los órganos del maíz y el encontrado en los granos morados maduros

Conocer los compuestos bioactivos presentes en los órganos del maíz colorido y compararlos con los fitoquímicos presentes en los granos

VII. METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en las bases de datos *Sci Finder*, *Scopus*, *Science Direct*, *Springer*, *Proquest*, *ACS*, *MDPI*, *Wiley online*, *SAGE Journals*, *RSC*, *Scielo* y *Redalyc*, que comprendió los años 2017 al 2021, sobre ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, carotenoides, policosanoles, xilanos y fitoesteroles, extraídos a partir de los órganos de la planta de maíz colorido: grano, olote(raquis), brácteas (totomoxtle), estigmas (pelo de elote o sedas) e inflorescencias masculinas (panícula o espiga).

Para la búsqueda de artículos sobre antocianinas se usaron las palabras clave: *anthocyanins in: purple, maize, aleurone, pericarp, tassel, bran, ear, corn, silk, glume, anther, inflorescence, husk, kernels, corn cob, stigma maydis, blue grained; phytochemicals corn, anthocyanin colored, pigmented kernels; bioactive compounds corn, maize; characterization corn, maize; bioactive molecules corn, maize, y antioxidant capacity maize, corn.*

Las palabras clave para la búsqueda de artículos sobre flavonoides fueron: *flavonoid corn/maize; HPLC corn, maysin maize, flavonone corn, quercetin husk, luteolin corn y flavonol maize.*

Las palabras clave para la búsqueda de artículos sobre ácidos fenólicos fueron: *phenolic profile maize e hidroxycinnamic acid maize.*

Las palabras clave para la búsqueda de artículos sobre carotenoides fueron: *carotenoid, provitamin A corn/maize.*

Las palabras clave para la búsqueda de artículos sobre policosanoles fueron: *wax like, aliphatic alcohol, policosanol, dotriacontanol, hexacosanol, high oil corn/maize.*

Las palabras clave para la búsqueda de artículos sobre xilanos fueron: *arabinoxylan*, *ferulated xylan*, *xylooligosaccharide*, *hemicellulose B maíze/corn*.

Finalmente, las palabras clave para la búsqueda de artículos sobre fitoesteroles fueron: *phytosterols*, *phytosteranols*, *campesterol corn/maize*.

La información obtenida se ordenó en capítulos de acuerdo con el color del grano de los maíces analizados en: morado, azul, rojo, rosa, negro, naranja, amarillo y blanco. Cada capítulo se subdivide por órgano y a su vez por estado de desarrollo en el que se encontraba la planta. Los órganos se pueden dividir en: grano, raquis u olote, brácteas o totomoxtle, estigmas o pelos del elote e inflorescencias masculinas o espiga. Mientras que las etapas de desarrollo se pueden clasificar en las fases tempranas del desarrollo como: la aparición de la panícula o espiga (VT), la antesis o liberación de polen (R0), que abarca desde el primer día de arrojamiento hasta el momento en que se ha arrojado el 75% del contenido inicial de polen; la etapa de aparición de los estigmas (R1); la inmadurez que consta de: la etapa de ampolla (10 a 15 DDP), la etapa de leche (20 a 26 DDP) y la etapa de masa (30 a 40 DDP) y las etapas tardías: madurez fisiológica (R6 o mayor) o de cosecha. Los granos analizados en estado fresco que fueron secados o que fueron analizados cuando tenían un porcentaje de humedad de aproximadamente el 10%, fueron almacenados y molidos directamente entraron en la sección de madurez. Las muestras denominadas “*stover*”, se colocaron en esta última clasificación, ya que son las brácteas y los tallos secados al sol después de la cosecha del maíz. Tomando en cuenta los datos menores a 100 mg/g muestra b.s, se identificó el valor máximo y el valor mínimo de los datos encontrados para cada clasificación.

Para cada tipo de maíz colorido, la información recabada (variedad analizada, órgano, lugar, contenido de compuesto bioactivo) se acomodó en una tabla de acuerdo con el compuesto bioactivo analizado: antocianinas, polifenoles, flavonoides, carotenoides, fitoesteroles, policosanoles y xilanos; en ese órgano. Las unidades utilizadas para la presentación del contenido de cada clase fueron mg de

compuesto bioactivo/ g de muestra en base seca. Los decimales se ajustaron a 3 cifras.

El perfil cromatográfico encontrado en los órganos se presentó en tablas. Los compuestos fueron marcados con un color determinado y ordenados de manera descendente según su concentración en la muestra. La concentración se ajustó a mg de compuesto bioactivo/ g de muestra en base seca.

Para comprobar la hipótesis 1 existe diferencia significativa entre el contenido de polifenólicos de los órganos y el contenido de polifenólicos en el grano morado se realizó un diseño de experimentos no balanceado de un factor. Los datos reportados para las brácteas, los raquis, los estigmas y las inflorescencias se agruparon de acuerdo al color de cada órgano sin importar el color del grano del maíz correspondiente. Los tratamientos, es decir, la concentración de compuesto bioactivo en (mg de CB/ g de muestra en base seca) encontrada en cada órgano, que tuvieron una a tres repeticiones no fueron contemplados en el análisis. Así mismo, los valores mayores o cercanos a 100 mg CB/ g muestra b.s, no se tomaron en cuenta, ya que, numéricamente estaban muy alejados del resto de los datos e iban a generar un error en la interpretación del diseño de experimentos. Además, no fueron obtenidos únicamente mediante la extracción por disolventes al igual que el resto de las concentraciones.

Mientras que, para determinar cuáles órganos difieren del grano morado en cuanto a su contenido polifenólico se llevó a cabo una comparación de medias por el método de Dunnett, siendo el grano morado maduro el control.

VIII. RESULTADOS

A continuación, se presentan 8 capítulos sobre la cantidad y tipo de compuestos bioactivos analizados en los órganos de la planta del maíz colorido de granos morados, negros, azules, rojos, rosas, naranjas, amarillos y blancos; en las publicaciones emitidas durante el periodo 2017 a inicios del 2021 en las bases de datos *Sci Finder*, *Scopus*, *Science Direct*, *Springer*, *Proquest*, *ACS*, *MDPI*, *Wiley online*, *SAGE Journals*, *RSC*, *Scielo* y *Redalyc*.

En el capítulo 1 se abordará la cantidad y tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz de grano morado.

En el capítulo 2 se presentará la cantidad y tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz de grano negro.

En el capítulo 3 se abordará la cantidad y tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz de grano azul.

En el capítulo 4 se presentará la cantidad y tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz de grano rojo.

El capítulo 5 tratara sobre la cantidad y tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz de grano rosa.

En el capítulo 6 se abordará la cantidad y tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz de grano naranja.

En el capítulo 7 se expondrá la cantidad y tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz de grano amarillo.

En el capítulo 8 se presentará la cantidad y tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz de grano blanco.

Cada capítulo consta de dos secciones: A y B. En la sección A se expone la cantidad y tipo de antocianinas determinado en los órganos de la planta del maíz. Asimismo, los resultados se presentan según el órgano analizado en cinco apartados: A1. Grano, A2. Olote, A3. Brácteas, A4. Estigmas y A5. Inflorescencias masculinas. Los cinco apartados a su vez se dividen de acuerdo con la etapa de desarrollo en etapa de ampolla, etapa de leche, etapa de masa y etapa de madurez fisiológica avanzada. Al final de esta sección se discuten los resultados obtenidos de la revisión 2017 a 2021.

Mientras que, en la sección B se presenta la cantidad y tipo de ácidos fenólicos, flavonoides, carotenoides, fitoesteroles, xilanos y policosanoles determinado en los órganos de la planta del maíz. En esta sección, los resultados se presentan según el órgano analizado en cinco apartados: B1. Grano, B2. Olote, B3. Brácteas, B4. Estigmas y B5. Inflorescencias masculinas. Los cinco apartados a su vez se dividen de acuerdo con la etapa de desarrollo en: etapa VT, etapa de antesis o liberación de polen (R0), que abarca desde el primer día de arrojamiento hasta el momento en que se ha arrojado el 75% del contenido inicial de polen; etapa de aparición de los estigmas(R1); etapa de ampolla (10-15 DDP), etapa de leche (20-24 DDP), etapa de masa (28-46 DDP), que involucra etapa de masa blanda y masa dura; y madurez fisiológica o avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años), que incluye la madurez fisiológica y de cosecha. Al final de esta sección se discuten los resultados obtenidos de la revisión 2017 a 2021.

Al final del capítulo se concluye de manera general con base en los resultados obtenidos.

La concentración total de antocianinas, polifenoles, flavonoides, carotenoides; reportadas en los artículos revisados, se expone en tablas. Las concentraciones

encontradas fueron ajustadas a mg de compuesto bioactivo/ g de muestra en base seca. De igual manera, las cifras fueron redondeadas.

Mientras que, la concentración de los compuestos bioactivos caracterizados por HPLC, se muestran en las tablas con un color determinado, en orden decreciente de abundancia según su concentración en el órgano. Los compuestos principales encontrados en el perfil cromatográfico se resaltan con colores como se indica en la figura 12.

Antocianinas	Ácidos fenólicos	Flavonoides	Fitoesteroles
CYA : cianidina	FER : ácido ferúlico	KAEM : kaempferol	B-STS : betasitosterol
PG : pelargonidina	SNP : ácido sinápico	RUT : rutina	STGMA : estigmastanol
PEO : peonidina	CUM : ácido cumárico	LTL : luteolina	CAMPE : campesterol
C3G : cianidina-3-glucósido	PROCAT : ácido protocatecuico	QR : quercetina	STGME : estigmaesterol
PG3G : pelargonidina-3-glucósido	SRGN : ácido siríngico	MY : maysina	CAMPA : campestanol
PN3G : peonidina-3-glucósido	CAF : ácido cafeico	NARG : naringina	Carotenoides
C3MG : cianidina-3-(6" malonilglucósido)	GAL : ácido gálico	CATQ : catequina	LUT : luteína
PG3MG : pelargonidina-3-(6" malonilglucósido)			ZX : zeaxantina
PN3MG : peonidina-3-(6" malonilglucósido)			BCAR : betacaroteno
			BCX : betacriptoxantina

Figura 12. Simbología de compuestos principales asignados por color

Como se dijo antes, la planta del maíz posee tanto inflorescencias femeninas como masculinas. La inflorescencia femenina es la mazorca, la cual está conformada por un raquis, también llamado *olote*, ubicado en centro; *estigmas* o sedas ubicados en la punta del olote y los *granos* o carióspsides que se distribuyen en hileras a lo largo del olote. La mazorca a su vez está cubierta por hojas, es decir, *brácteas* o totomoxtle. Mientras que, la *inflorescencia masculina* comúnmente llamada espiga o panícula, se ubica en la punta del tallo de la planta.

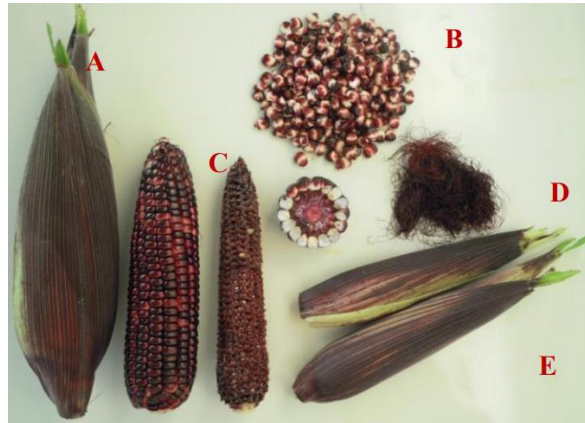


Figura 13. Morfología de la mazorca y sus partes. Mazorca (A), grano(B), raquis (C), estigmas (D) y brácteas(E)

Nota. Adaptado de Morfología de la mazorca y sus partes. Mazorca (A), grano(B), raquis (C), estigmas (D) y brácteas(E); de la variedad morada cerosa K KU-OP a los 20 días después de la polinización [diagrama], por Simla et al., 2016, *Australian Journal of Crop Science*, 2016.

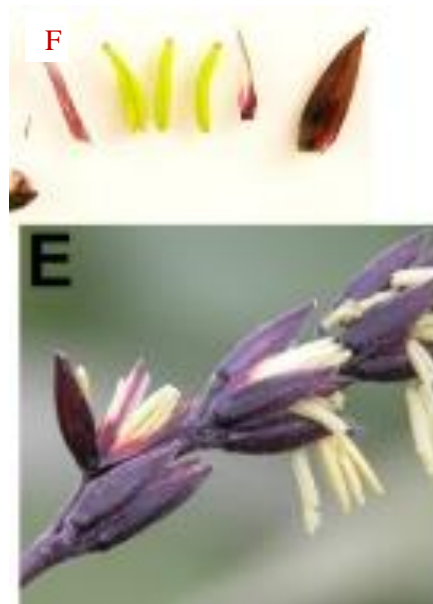


Figura 14. Inflorescencias masculinas del maíz o espiga E) y F)

Nota. Adaptado de Morphology of anthocyanin-accumulating cells in maize floral organs [fotografía], por Irani & Grotewold 2005, *BMC Plant Biology*.

CAPITULO 1

Antocianinas y otros compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz morado durante su desarrollo



Figura 15. Maíz morado

Nota. Maíz morado [fotografía], por Elena Sheppard, 2016, Indoor Gardening News (<https://blog.backtotheroots.com/2016/10/14/purple-corn-exists-really-good/>). Copyright

INTRODUCCIÓN

El maíz morado es nativo a la región de los Andes, este se consume principalmente en Perú, Ecuador, Bolivia, y Argentina (Lao *et al.*, 2017a). Se emplea para la elaboración de bebidas, como la chicha morada y masato; y postres. No obstante, existe un interés para su aplicación como colorante natural en alimentos a nivel mundial. La Unión Europea y Japón aprueban el uso del maíz morado como colorante alimentario (Lao *et al.*, 2017a).

De acuerdo con *United Nations BioTrade Facilitation Program*, 2011 (citado por Lao *et al.*, 2017a) en el periodo 1998 a 2002 el precio del maíz morado se elevó de \$0.75 a \$1.36/kg.

Actualmente existen diversas revisiones sobre los métodos de extracción y las propiedades benéficas para la salud únicamente de los compuestos fenólicos del maíz morado, tales como Lao *et al.*, 2017a, Cristiani *et al.*, 2020. Navarro *et al.*, 2018 y Colombo *et al.*, 2021 que exponen las concentraciones, compuestos bioactivos, propiedades biológicas y aplicaciones que han sido encontradas tras el estudio de los órganos de la planta de los maíces coloridos.

A continuación, se presenta la información encontrada tras la revisión de artículos emitidos en los años 2017 a 2021, sobre el contenido y el tipo de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz morado. La información encontrada se organizó en 2 apartados según el compuesto bioactivo analizado: en el apartado A. se presenta el contenido y tipo de antocianinas encontrado en los órganos de la planta y en el B. el contenido y tipo de polifenoles, flavonoides, carotenoides, fitoesteroles, policosanoles y xilanos encontrado en los órganos de la planta del maíz.

Cada apartado se divide en secciones de acuerdo con el órgano analizado; en este caso 1. Grano, 2. Olote, 3. Brácteas, 4. Estigmas y 5. Inflorescencia masculina; y se

subdivide según el estado de desarrollo en el que fue analizado en: etapa VT, etapa de antesis o liberación de polen (R0), que abarca desde el primer día de arrojamiento hasta el momento en que se ha arrojado el 75% del contenido inicial de polen; etapa de aparición de los estigmas(R1); etapa de ampolla (10-15 DDP), etapa de leche (20-24 DDP), etapa de masa (28-46 DDP) y madurez fisiológica o avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años).



CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE LECHE

En la tabla 1.1 se muestran los valores de antocianinas totales encontrados en el maíz durante las etapas tempranas del desarrollo. Siete variedades fueron analizadas durante la etapa de leche (20 a 24 DDP). Feng *et al.*, 2020 determinó el contenido de antocianinas en el jugo del maíz morado en miligramos por mililitro de extracto. El rango de antocianinas totales encontrado en el grano morado inmaduro fue de (0.30-2.91) mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/ g muestra b. s.

Tabla 1.1. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en los granos morados en la etapa de leche

Variedad	Lugar	DDP	AT (mg/g b.s)	Referencia
Ceroso FC111	Tailandia. K	22	0.30	Mohamed <i>et al.</i> , 2017
Ceroso KGW1	Tailandia	20	1.416	Saikaew <i>et al.</i> , 2018b
Ceroso KND	Tailandia	20	1.401	Saikaew <i>et al.</i> , 2018b
Ceroso KGW1	Tailandia	20	1.000	Saikaew <i>et al.</i> , 2018 ^a
Transgénico LX-28-1	NE	15 a 25	1.241 a 2.910	Liu <i>et al.</i> , 2018
Dulce fresco SICAU76	China	20	0.062 mg/ml	Feng <i>et al.</i> , 2020
Superdulce de pericarpio morado	Australia	20	1.040	Hong <i>et al.</i> 2020 ^a

El perfil de antocianinas analizado en el genotipo superdulce de pericarpio morado se muestra a continuación por orden decreciente de abundancia. Se detectaron nueve antocianinas, 3 basadas en cianidina, 3 basadas en pelargonidina y 3 basadas en peonidina.

Tabla 1.2. Perfil de antocianinas encontrado en el grano inmaduro morado mediante un análisis por HPLC

Grano morado 20 DDP	mg/ g b.h								
	C3MG	C3DMG	C3G	PN3DMG	PN3MG	PN3G	PG3MG	PG3DMG	PG3G
Hong et al., 2020a	0.071	0.056	0.021	0.019	0.018	0.007	0.005	0.001	0.0002

GRANOS EN LA ETAPA DE MASA

Del día 36 al 46 posterior a la polinización, se cuantificó un contenido de 0.024 a 1.792 mg AT /g de grano en base seca. Se analizaron tres maíces: el maíz ceroso FC111, el maíz superdulce de pericarpio morado y el maíz morado 963.

Tabla 1.3. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en los granos morados en la etapa de masa

Variedad	Lugar	DDP	AT (mg/g b.s)	Referencia
Ceroso FC111	Tailandia. K	36	0.17	Mohamed <i>et al.</i> , 2017
Morado 963	China	46	0.024 a 0.058	Ming <i>et al.</i> , 2020
Superdulce de pericarpio morado	Australia	36	1.792	Hong <i>et al</i> 2020 ^a

GRANOS EN LA MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Los genotipos analizados provinieron principalmente de América y Asia, no obstante, también de países europeos y Australia. La mayoría de las variedades presentó pigmentación en el pericarpio. En los trabajos revisados se encontró un contenido de 0.002 a 520.42 mg de antocianinas totales/ g de harina en base seca.

Tabla 1.4. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en los granos morados maduros

Variedad	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
B-30	México	0.134	Corona-Terán <i>et al.</i> , 2017
SML-22.	México	0.094	
SNM-34.	México	0.213	
SIM-18.	México	0.223	
D-29.	México	0.139	
LC-12.	México	0.217	
SJM-39.	México	0.250	
Tlaxcala C11-IXT	México	1.990	Hernández-Quintero <i>et al.</i> , 2017
Tlaxcala C08-IXT	México	1.953	
Tlaxcala C10-IXT	México	1.742	
Chalqueño	México	0.256	
Elotes cónicos	México	0.336	
Bolita	México	0.090 a 0.242	
Salvado de maíz		3.183	Chen <i>et al.</i> , 2017
Pericarpio morado	EE.UU	4.743	Li <i>et al.</i> , 2017
Pericarpio morado	EE.UU	4.2	Chen <i>et al.</i> , 2017
Ceroso Khao Niew Khao kam	Tailandia	0.002	Chalorchaoenyng <i>et al.</i> , 2017
Ceroso KKU-WXIII031		0.015	
Arequipa 084	Perú	3.100	Gálvez-Ranilla <i>et al.</i> , 2017
Morado	Singapur.	2.200	Bhaswant <i>et al.</i> , 2017
Ceroso Fancy Muang 111	Tailandia.	0.507	Muangrat <i>et al.</i> , 2017
PI Kculli	NE	0.165	Paulsmeyer <i>et al.</i> , 2017
PI Maíz morado	NE	0.381	
PI Kculli	NE	0.263	
PI Morado	NE	0.132	
Apache Red	EE.UU.	0.221	
Apache Red	EE.UU.	0.101	
Morado	China.	0.450	
Ceroso KGW1	Tailandia	1.151	Saikaew <i>et al.</i> , 2018b
Ceroso KND	Tailandia	0.955	Saikaew <i>et al.</i> , 2018b
Morado	NE	0.069	Liu <i>et al.</i> , 2018
Línea Purple B73	Italia.	3.687	Rocchetti <i>et al.</i> , 2018
Morado Peña Nevada	México.	0.421	Rodríguez-Salinas <i>et al.</i> , 2019
Morado María Berrones	México.	0.220	
Morado La Siberia	México.	0.218	
Morado La Sabanilla	México.	0.619	
Morado La Soledad	México.	0.745	
Morado La Ascensión	México.	0.333	
Morado Puerto Piñones	México.	0.615	
Morado Refugio	México.	0.435	
Kculli	Perú.	0.768 a 3.100	Gálvez <i>et al.</i> , 2019
Kculli	Perú.	5.105	
Kculli. Altecsa, S. A. De C. V.	México.	1.858 a 10.478	Aguilar-Hernández <i>et al.</i> , 2019
	México.	0.369 a 8.168	

(Continuación)Tabla 1.4. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en los granos morados maduros

Variedad	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Pericarpio morado	N. E.	4.710 p	Tayal <i>et al.</i> , 2020
Híbrido ceroso Heukjinjuchal	Corea del Sur.	1.028	Kim <i>et al.</i> , 2020
Híbrido ceroso Suwon90		0.338	
Híbrido ceroso Miheugchall		0.314	
Dulce de pericarpio morado	Australia	2.597	Hong <i>et al.</i> ,2020b
Dulce de pericarpio rojo morado (RPS)		2.003	
Pericarpio morado (PPM)		3.947	
Dulce de pericarpio morado/ aleurona azul (PPBAM)		2.199	
Líneas 114,116-118,120-124,147 y 161	México.	0.925 a 3.090	Mendoza-Mendoza <i>et al.</i> , 2017
Líneas 164 y 202		0.577 a 0.867	
Línea 174		0.324	
México (CIMMYT) x maíz de Perú y Bolivia	Argentina	1.720	Mansilla <i>et al.</i> , 2020
G57D	EE. UU.	7.500	Kurambhatti <i>et al.</i> , 2020
VA1245w x Morado Ostenga x Kully	Italia.	0.78	Suriano <i>et al.</i> , 2021
Dulce de pericarpio morado bt1	Australia	0.507	Hong <i>et al.</i> , 2021
Ceroso	Tailandia	25.156	Charmongkolpradit <i>et al.</i> , 2021
Mezcla de México (CIMMYT), Perú, Bolivia y Argentina	NE	1.663	Mansilla <i>et al.</i> , 2021
Apache Red	EE.UU.	1.598	Chatham <i>et al.</i> , 2021
Ceroso	Tailandia	23.29	Singto <i>et al.</i> , 2020
Apache Red	EE.UU.	163.60	Luna-Vital <i>et al.</i> , 2017 ^a
Pericarpio morado	EE.UU.	108.70	Luna-Vital <i>et al.</i> , 2017d
Pericarpio morado	EE.UU.	196.00	Mazewski <i>et al.</i> , 2017
Morado	China	266.73	Yang <i>et al.</i> , 2019
Apache	EE.UU.	12.80 a 93.50	Zhang <i>et al.</i> ,2019
Morado	China	128.80	Qin <i>et al.</i> , 2019
Pericarpio morado	EE.UU.	274.40	Luna-Vital <i>et al.</i> , 2020
Morado	Rumania	520.42	Ursu <i>et al.</i> , 2020
Heizhenzhu	China	266.73	Cui <i>et al.</i> , 2021

Los autores que se citan en la tabla 1.5. detectaron las antocianinas glucosiladas, monoaciladas y diaciladas, basadas en cianidina, pelargonidina y peonidina; en el grano morado. Las antocianidina peonidina y delfinidina no se detectaron (Liu *et al.*, 2018).

Tabla 1.5. Perfil de antocianinas encontrado en los granos morados por un análisis por HPLC

Grano morado	mg CBI/ g muestra b. s									
	C3G	PG3MG	C3MG	PN3G	PG3G	PG3DMG	PN3MG	C3DMG	PN3DMG	
Paulsmeyer et al., 2017	33.45	14.45	8.47	8.47	5.3	3.59	2.88	2.88	0.14	
Paulsmeyer et al., 2017	23.43	21.19	13.33	9.6	9.6	6.02	6.02	3.13	1.1	
Paulsmeyer et al., 2017	25.96	25.96	23.2	5.28	4.81	3.81	1.59	1.59	1.51	
Paulsmeyer et al., 2017	30.39	20.9	9.56	9.52	9.52	6.6	6.6	4.78	1.1	
Paulsmeyer et al., 2017	21.13	19.25	12.59	9.89	9.89	9.74	9.74	8.27	1.45	
Hong et al., 2020a	0.16	0.1203	0.0881	0.0283	0.0265	0.0227	0.0133	0.0107	0.0071	
Hong et al., 2020b	1.164	0.724	0.26	0.22	0.162	0.14	0.103	0.054	0.046	
Hong et al., 2020b	0.733	0.411	0.344	0.2178	0.216	0.135	0.073	0.052	0.045	
Hong et al., 2020b	2.121	1.275	0.496	0.238	0.158	0.098	0.057	0.048	0.031	
Hong et al., 2021	1.256	0.72	0.313	0.146	0.125	0.116	0.057	0.049	0.038	
Suriano et al., 2021	0.235	0.133	0.074	0.065	0.063	0.061	0.043	0.037	0.0004	
Mazewski et al., 2017	56.3	20.9	7.1	6.7	3.3	2.1				
Luna-Vital et al., 2018	38.7	14.6	7.9	5.2	2.1	1.8				
Li et al., 2018	1.1354	0.3982	0.2855	0.1451	0.0516	0.1158				
Luna-Vital et al., 2017	16	15.8	6.9	1.8						
Qin et al., 2019	24.7%	7.2%	5.1%	2.9%						
Liu et al., 2018	0.00315	0.00855	ND	ND						
Luna-Vital et al., 2017	16	15.8	6.9	1.8						
Luna-Vital et al., 2019	111.8	26.9	24.9							
Hernandez-Quintero	28.1%	7.1%	1%							
Kim et al., 2018	0.30	0.01								
Kim et al., 2018	0.33	0.07								
Kim et al., 2018	1	0.06								
Slavu et al., 2020	47%	18%								
Rochetti et al., 2018	CYA									
Libres	3.17									
Conjugados	0.52									

A2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE LECHE

El trabajo de Mohamed *et al.*, 2017 analizó el contenido de antocianinas en el olote morado del genotipo FC111 en la etapa de leche. En esta etapa, el olote morado presentó un contenido de 0.7 mg AT/ g de muestra en base seca.

OLOTE EN LA ETAPA DE MASA DURA

Khamphan *et al.*, 2020 analizó el olote y las brácteas de las variedades de grano morado KCU-PFC1 y 4. En el olote morado de estas variedades se encontró un contenido de 8.1 a 17.3 mg de antocianinas totales por gramo de muestra en base seca. Mientras que, en la muestra analizada por Mohamed *et al.*, 2017 proveniente del maíz FC111, exhibió 0.70 mg de antocianinas por gramo de muestra en b.s.

OLOTE EN LA MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Como se ve en la tabla 1.6, la mayoría de las variedades analizadas mostraron una coloración morada en el olote. De los dieciséis estudios encontrados, seis llevaron a cabo la caracterización de los fitoquímicos por cromatografía líquida de alta resolución. La concentración de antocianinas totales determinada en el raquis fue de 0.04 a 317.51 mg AT/g muestra b.s.

Tabla 1.6. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en el olote del maíz morado durante la madurez fisiológica o avanzada.

Variedad	Color del olote	Lugar	AT (mg /g b.s)	Referencia
Ceroso	NE	NE	0.240	Muangrat <i>et al.</i> ,2017
Ceroso Fancy Muang 111	NE	Tailandia	0.360	Muangrat <i>et al.</i> ,2018
Morado	NE	Tailandia	1.570	Itthisoponkul <i>et al.</i> , 2018
Ceroso	NE	Tailandia	1.191	Kapcum <i>et al.</i> , 2018
Ceroso Kulesh	NE	Tailandia	2.420	Rimdusit <i>et al.</i> , 2019
Morado	NE	Italia	40.000	Tomay <i>et al.</i> , 2019
Kculli	Morado	Perú	0.975 a 21.472	Aguilar-Hernández <i>et al.</i> , 2019
Kculli	Morado	Perú	0.219 a 21.874	
"Moradyn"	NE	Italia	0.280	Ferrón <i>et al.</i> , 2020
Sobrante de chicha morada peruana	Morado	N. E.	0.008 mg/ml	Gullón <i>et al.</i> , 2020
INIA 601	Morado	Perú	0.061	Medina-Hoyos <i>et al.</i> , 2020
UNC 47		Perú	0.570	
Morado mejorado			0.056	
INIA 615		Perú	0.054	
Canteño			0.047	
PMV 581		Perú	0.041	
Forrajero	Morado	Tailandia	1.394	Khonkhaeng & Cherdthong 2020
Morado	Morado	Perú	125.760	Napan <i>et al.</i> , 2018
Morado	Morado	China	317.510	Yang <i>et al.</i> ,2019
Ceroso	NE	Tailandia	113.550	Singto <i>et al.</i> , 2020
Heizhenzhu	Morado	China	317.510	Cui <i>et al.</i> , 2021

En la tabla 1.7, se muestran las antocianinas determinadas por Abbasi-Parizad *et al.*, 2021, Kapcum *et al.*, 2018, Ferrón *et al.*, 2020 y Gullón *et al.*, 2020 en el olote morado ordenadas de manera descendente según su abundancia. Se determinó el contenido de antocianinas monoaciladas con ácido málico y glucosiladas basadas en cianidina, peonidina y pelargonidina.

Tabla 1.7. Perfil de antocianinas encontrado en el olote morado mediante un análisis por HPLC

Raquis rojo	mg CB/ g muestra b.s							
Abbasi-Parizad <i>et al.</i> ,2021	C3MG	C3G	PN3G	PN3MG	PG3MG	PG3G	M3G	D3G
	1.727	1.528	0.492	0.4	0.34	0.262	ND	ND
Raquis morado	mg CB/g muestra b.s.							
	C3G	PN3G	PG3G					
Kapcum <i>et al.</i> ,2018	0.805	0.224	0.163					
Raquis morado	Compuestos identificados (no ordenados)							
Ferron <i>et al.</i> ,2020	C3G	PG3G	D-APIG	PN3G				
Raquis morado	Area							
	C3G	PN3G	PG3G	C3MG				
Gullon <i>et al.</i> ,2020	112659	84769	54841	23629				

A3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE LECHE

En Mohamed *et al.*, 2017 se obtuvo 0.19 mg de antocianinas por gramo de muestra en base seca a partir de las brácteas moradas del maíz tailandés FC111 cosechado en Khon Kaen.

BRÁCTEAS EN ETAPA DE MASA DURA

En el periodo 2017 a principios del 2020 se analizaron las brácteas coloridas de dos genotipos morados de origen tailandés. El contenido de antocianinas totales determinado en las brácteas o totomoxtle morado de los genotipos KKU-PFC1 y KKU-PFC4 durante la etapa de masa dura, fue de 7.4 a 18.7 mg AT/ g muestra b.s (Khamphan *et al.*, 2020). Mientras que, el contenido observado en las brácteas moradas del maíz FC111 en la misma etapa fue de 1.6 mg de AT/ g de muestra en base seca (Mohamed *et al.*, 2017).

BRÁCTEAS EN LA MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

La mayoría de las variedades estudiadas exhibió brácteas moradas, sin embargo, el genotipo Jingzi mostró brácteas rojas. Se estudiaron las brácteas frescas y secadas al sol, a estas últimas se les denominó rastrojo.

Los compuestos de las brácteas de maíz morado no fueron caracterizados por HPLC o alguna técnica similar. Khamphan *et al.*, 2020 y Medina-Hoyos *et al.*, 2020 cuantificaron el contenido de antocianinas tanto en las brácteas como en el oloje de la planta de maíz morado. El contenido de antocianinas determinado en las brácteas va desde 0.006 a 44.30 miligramos de ECG por cada gramo de muestra.

Tabla 1.8. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en las brácteas moradas durante la madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Color de las brácteas	Lugar	AT (mg /g b.s)	Referencia
Jingzi No. 1	Rojo	China	0.090 a 44.300	Gu <i>et al.</i> ,2018
Rastrojo		NE	0.875	Tian <i>et al.</i> ,2019
Rastrojo de híbrido ceroso Suranaree		Tailandia	744.000 mg/m ²	Tian <i>et al.</i> ,2018
INIA 601	Morado	Perú	0.032	Medina-Hoyos <i>et al.</i> , 2020
UNC 47		Perú	0.019	
Morado mejorado		Perú	0.018	
INIA 615		Perú	0.018	
Cañeteño		Perú	0.006	
PMV 581		Perú	0.008	
Silvestre	Morado	Tailandia	0.120	

El análisis cualitativo no fue llevado a cabo en las brácteas, pero si en el rastrojo, esto es, las brácteas y el tallo secos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1.9. Perfil de antocianinas encontrado en el rastrojo mediante un análisis por HPLC

Bráctea	mg CB/ g muestra b.s							
	ML	DEL	CYA	M3G	PG	PG3G	PEO	C3G
Tian <i>et al.</i> ,2018	1.82	0.515	0.179	0.113	0.111	0.0745	0.0453	0.0288
	CYA	PG	DEL	M3G	PEO	C3G	PG3G	ML
Tian <i>et al.</i> ,2019	0.129	0.104	0.096	0.047	0.047	0.038	0.025	0.022

A4. ESTIGMAS

ESTIGMAS EN LA ETAPA DE LECHE

En la etapa de leche, es decir, a 20 días después de la polinización, las sedas o estigmas de la variedad Khaoniaodum cerosa exhibieron 9.7 mg antocianinas totales por gramo (Chaiittianan *et al.*, 2017). En tanto que, la variedad cerosa FC111, sembrada en Khon Kaen, presentó 1.03 mg AT/ g muestra b.s en los estigmas (Mohamed *et al.*, 2017). Se encontró un trabajo en donde se analizaron los estigmas o la seda en una etapa temprana de desarrollo. Se identificó la presencia de cianidina-3-glucósido, pelargonidina-3-glucósido, y la peonidina-3-glucósido y otros compuestos polifenólicos.

Tabla 1.10. Perfil de antocianinas encontrado en los estigmas mediante un análisis por HPLC

Estigma	mg CB/ g muestra b.s						
	QR	PG3G	C3G	C3MG	PN3G	CLRG	NRG
Chaitaiinan et al.,2017	4.640	3.525	3.125	1.653	1.400	0.256	0.065

ESTIGMAS EN LA ETAPA DE MASA

En la etapa de masa se encontraron 0.57 miligramos de AT por gramo en los estigmas de la variedad *FC111* sembrada en Khon Kaen (Mohamed *et al.*, 2017).

ESTIGMAS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA A AVANZADA

En el periodo de estudio, fueron analizados los estigmas de dos variedades de maíz ceroso provenientes de Tailandia. Los estigmas de la variedad *Fancy Muang 111* presentaron 0.38 mg de AT/ g de muestra en base seca (Muangrat *et al.*, 2017), en tanto que, los estigmas morados de la variedad *Kulesh* presentaron una concentración de 1.95 mg de AT/ g de muestra en bs (Rimdusit *et al.*, 2019).

A5. INFLORESCENCIAS MASCULINAS

INFLORESCENCIAS MASCULINAS O ESPIGA EN LA ETAPA V0

Los datos recopilados referentes a este órgano se sitúan dentro del rango 0.092 a 2.511 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/ g de muestra b.s. Las antocianinas no se caracterizaron por algún método cromatográfico. Duangpapeng *et al.*, 2019 realizaron el análisis cuantitativo de antocianinas y fenólicos totales en la inflorescencia masculina de variedades de maíz ceroso. Mientras que, Duangpapeng *et al.*, 2018 cuantificaron el contenido de antocianinas y carotenoides en la inflorescencia de un maíz morado ceroso tailandés.

Tabla 1.11. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en la inflorescencia masculina del maíz morado en la etapa V0

Variedad morada	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
VT (1er día de arrojamiento de polen)			
Clúster	Tailandia, Laos,	0.092	Duangpapeng <i>et al.</i> ,2019
Clúster C	Myanmar, Vietnam	0.135	
Clúster D	Taiwan, Corea,	0.139	
Clúster E	Japón y China.	0.210	
Clúster F		2.511	
Ceroso KGW1	Tailandia	1.099	
50% de polen arrojado			
Ceroso KGW1	Tailandia	1.717	Duangpapeng <i>et al.</i> ,2018

INFLORESCENCIAS MASCULINAS O ESPIGA EN LA ETAPA DE LECHE

Veintidós días después de la polinización, la espiga, es decir, la inflorescencia masculina de la planta, de la variedad FC111 presentó 0.2 miligramos de AT por cada gramo de muestra (Mohamed *et al.*, 2017).

INFLORESCENCIAS MASCULINAS O ESPIGA EN LA ETAPA DE MASA

La espiga del maíz tailandés FC111 en la etapa de masa, mostró 0.02 mg de antocianinas totales/ g de muestra en base seca en la etapa de masa a 36 DDP (Mohamed *et al.*, 2017).

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. Granos morados

Los valores de concentración reportados en los granos en etapa de leche en las investigaciones realizadas de 2017 a 2021, están dentro del intervalo de 0.30-2.91 mg ECG/ g muestra b.s. El valor máximo de las concentraciones de antocianinas vistas en los granos morados en la etapa de leche, corresponde al determinado para la variedad transgénica morada LX-28-1 (Liu *et al.*, 2018) mientras que el mínimo se reportó en el maíz de pericarpio morado superdulce (Hong *et al.*, 2020). No obstante, los valores reportados en todas las muestras son cercanos entre sí, difieren en cuestión de microgramos.

Las concentraciones de antocianinas encontradas en esta revisión están por arriba de las concentraciones determinadas previamente por Simla *et al.*, 2016 en las variedades moradas cerosas a los 20 días posteriores a la polinización, que en base seca serían aproximadamente 0.03 a 0.09 mg de ECG/ g de muestra en b.s (apéndice I).

En los artículos revisados se cuantificó 0.024 a 1.792 miligramos de AT en los granos durante la etapa de masa. El grano del maíz superdulce de pericarpio morado destacó por su alto contenido de antocianinas. De los granos analizados, el genotipo morado 963 fue el maíz con el menor contenido de estos pigmentos en el grano.

El contenido de antocianinas reportado en las muestras, ya sea expresado en base húmeda o en base seca, estuvo dentro del intervalo de concentración reportado por Simla *et al.*, 2016 a lo largo de la etapa de masa en los granos de distintos genotipos cerosos.

Se identificaron nueve antocianinas en el grano inmaduro analizado por Hong *et al.*, 2020a. La antocianina mayoritaria, fue la cianidina-3-(6"-malonilglucósido). Las antocianinas basadas en cianidina fueron las predominantes, seguidas de las basadas en peonidina. Mientras que las basadas en pelargonidina fueron las menos abundantes. La pelargonidina-3-glucósido fue la antocianina de menor concentración.

El intervalo de valores encontrados en los granos maduros estudiados es de 0.002 a 520.42 mg de AT/ g muestra en base seca. Siendo la variedad *Khao Niew Khao kam* la de menor contenido de antocianinas, las líneas 164 y 202 de Tlaxcala las de contenido medio, y la variedad morada de Rumania la de mayor.

Los rendimientos altos de extracción obtenidos, que van de los 93.50 a los 520.42 miligramos por cada gramo de grano morado maduro, obtenidos por los autores Luna-Vital *et al.*, 2017a, Luna-Vital *et al.*, 2017d, Mazewski *et al.*, 2017, Yang *et al.*, 2019, Qin *et al.*, 2019, Zhang *et al.*, 2019, Luna-Vital *et al.*, 2020c y Cui *et al.*, 2021, pudieron deberse a la utilización de métodos de extracción emergentes o por la variedad en cuestión.

Así mismo, la cantidad de antocianinas aislada a partir del grano morado maduro, por los autores antes mencionados, supera al encontrado por Mazewski *et al.*, 2018 en el camote morado, esto es 119.9 mg AT/g muestra b.s.

Sin tomar en cuenta los valores cercanos al 100, los valores reportados en el grano maduro están entre los 0.002 a 25.15 mg AT/ g muestra b.s. Estos valores son parecidos a los informados en las referencias revisadas por Navarro *et al.*, 2018 que van de los 0.26 a los 16.00 miligramos de AT por gramo harina de grano morado.

De igual manera, el intervalo de concentración de antocianinas observado tras esta revisión es semejante al reportado en los granos con tonalidades moradas

analizados en las referencias citadas por Salinas-Moreno *et al.*, 2013, que es de 0.54 a 8.5 mg ECG /g.

Se caracterizaron las antocianidinas peonidina, cianidina, pelargonidina y sus glucósidos simples, monoacilados y diacilados. Las antocianinas mayoritarias en el grano maduro fueron cianidina-3-glucosido y cianidina-3-malonilglucosido. Mientras que, el contenido de glucósido de pelargonidina fue bajo.

Las antocianinas monoaciladas se encontraron en cantidades mayores que las diaciladas. No obstante, a diferencia de otros maíces coloridos analizados que mostraron cantidades despreciables de peonidina-3-dimalonilglucósido, el maíz morado contiene de 0.14 a 4.81 mg por cada gramo de muestra (Paulsmeyer *et al.*, 2017). Así mismo, de las muestras analizadas en Suriano *et al.*, 2021 los extractos de grano morado y de grano azul fueron los que presentaron petunidina-3- glucósido y petudina-3-6-malonilglucósido, no obstante, el mayor contenido de estas antocianinas se observó en el extracto de grano morado.

Las agliconas peonidina y petunidina poseen un grupo metoxilo (-OCH₃) en su estructura. Bajo las condiciones de pH y temperatura a las que se lleva a cabo la digestión, la presencia del grupo metoxilo en el anillo B incrementó la estabilidad de las antocianinas. En cambio, la presencia del grupo hidroxilo disminuyó su estabilidad (Yang *et al.*, 2018).

El perfil cromatográfico de los granos morados estuvo compuesto mayormente por antocianinas no aciladas, a diferencia del de los granos azules, rojos y rosas. Las antocianinas diaciladas son las antocianinas minoritarias, no obstante, se encuentran en cantidades de hasta 20 miligramos/ gramo de muestra base seca. La acilación ha demostrado un aumento en la estabilidad de los extractos (Zhao *et al.*, 2017 citado por Paulsmeyer *et al.*, 2017) por lo que este extracto podría ser menos estable que el de otros granos coloridos.

Por lo que, es deseable la presencia de las antocianinas mono y diaciladas basadas en peonidina y petunidina en los extractos de maíz para su aplicación en alimentos. La petunidina se ha reportado también en el olote del maíz morado *Fancy Muang 111* (Muangrat *et al.*, 2018 citado por Colombo *et al.*, 2021). La concentración de las antocianinas glucosiladas y monoaciladas detectada en las muestras supera a la determinada en el grano morado en Pascual-Teresa *et al.*, 2002.

A2. Olote

El olote o raquis del maíz KC111 en etapa de leche presentó una cantidad de antocianinas de 0.7 mg AT/ g b.s, ligeramente menor que 3 semanas después, en la etapa de masa (Mohamed *et al.*, 2017). La cantidad obtenida se encuentra dentro del intervalo detectado en el olote previamente analizado por Simla *et al.*, 2016, esto es de 0.17 a 1.16 mg AT/ g b.s.

La cantidad de antocianinas obtenida a partir de los olotes morados en etapa de masa va de 0.8 a 17.3 mg AT/ g b. s. La concentración más alta fue reportada en el olote morado de los maíces KCU-PFC1 y 4 y la menor en el olote de la variedad KC111 sembrada en Khon Kaen (Mohamed *et al.*, 2017). En el estudio previo realizado por Simla *et al.*, 2016, se obtuvo una concentración menor, de 1 a 2 miligramos por gramo de muestra en base seca (apéndice 1), a partir del olote de las variedades ceroso tailandesas KCU-.

El olote morado del maíz fisiológicamente maduro fue el órgano del cual se extrajo la mayor concentración de antocianinas (0.04 a 317.51 mg AT/g b. s), sin contar al grano morado. Las cantidades más bajas se reportaron en las variedades peruanas, en especial, PMV 581, mientras que la más alta se detectó en las variedades chinas.

Las cantidades más altas, esto es 113.550 a 317.510 mg ECG/ g muestra, de estos flavonoides fueron extraídas en las investigaciones de Napan *et al.*, 2018, Yang *et*

al., 2019, Singto *et al.*, 2020 y Cui *et al.*, 2021. Estos valores estuvieron por encima del valor reportado para el camote morado en Mazewski *et al.*, 2017.

El intervalo encontrado en la revisión de Navarro *et al.*, 2018, es decir, 0.03 a 39.00 mg de antocianinas por gramo, es semejante al encontrado en los artículos emitidos en el periodo de estudio en donde no se aplicó un método emergente para realizar la extracción.

En los trabajos de (Aguilar-Hernández *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2019; Singto *et al.*, 2020 y Cui *et al.*, 2021) se detectó una mayor concentración de antocianinas en el olote que en el grano. En contraste, en el trabajo realizado por Muangrat *et al.*, 2017, en el genotipo ceroso *Fancy Muang 111* el contenido más alto de estos flavonoides se concentró en el grano. De igual manera, los olotes de las variedades peruanas exhibieron el menor contenido de antocianinas, no obstante, en algunos genotipos el contenido alcanza los 21 miligramos de AT por cada gramo de muestra (Aguilar-Hernández *et al.*, 2019 y Medina-Hoyos *et al.*, 2020). Así mismo, si se comparan los extractos que fueron sometidos a ebullición y que fueron determinados en mg/ml, el contenido aislado a partir del grano inmaduro morado en Feng *et al.*, 2020 es mayor al aislado a partir del olote en Gullón *et al.*, 2020.

La cianidina-3-glucósido fue la antocianina predominante en la mayoría de las muestras de olote. También se detectaron las antocianinas glucosiladas y las monoaciladas basadas en peonidina y pelargonidina, pero en menores cantidades.

En cambio, la malvidina-3-glucósido y la delphinidina-3-glucósido no se detectaron en el olote rojo. En el grano morado se han detectado antocianinas basadas en estas agliconas, como lo son: malvidina-3-O-(6"-dimalonilglucósido), malvidina-3-O-(6"-malon-p-hidroxi-benzoilglucósido), delphinidina-3-O-(6"-malonilglucósido) y delphinidina-3-O-(6"-O-p-coumaroilglucósido) (Colombo *et al.*, 2021). No obstante, no se tiene reporte de estas antocianinas en el olote.

Se detectaron cantidades más altas de antocianinas glucosiladas y monoaciladas en los extractos analizados en el periodo de estudio comparado con las vistas previamente en Kapcum *et al.*, 2016.

A3. Brácteas

Las brácteas monitoreadas en la etapa de leche mostraron 0.19 mg de antocianinas por gramo, y un contenido más alto en la etapa posterior (Mohamed *et al.*, 2017).

En la etapa de masa, se encontró un contenido de antocianinas en las brácteas de maíces cerosos que va desde 1.6 a 18.7 mg por cada gramo de muestra en base seca. El mayor contenido fue encontrado en las brácteas de las variedades KKU-PFC1 y 4, entretanto, el menor en las brácteas de la variedad FC111 cultivada en Khon Kaen. En la investigación realizada previamente por Simla *et al.*, 2016 se encontró un contenido menor en las brácteas, de 0.02 a 3.0 mg antocianinas/g. La etapa de masa fue la etapa en la que se concentró un mayor contenido de antocianinas en las brácteas.

En las brácteas secas o cosechadas en un estado de madurez avanzado se encontró un contenido de 0.006 a 44.30 miligramos de C3GE por cada gramo de muestra. Las brácteas del maíz Jingzi No. 1 exhibieron el contenido más alto de antocianinas, en tanto que, las brácteas de la raza Canteño exhibieron el menor. El intervalo de antocianinas observado tras realizar la presente revisión es cercano al reportado en las referencias revisadas por Navarro *et al.*, 2018, es decir, 0.03 a 35.0 miligramos de AT/ gramo de brácteas en base seca. No obstante, el contenido más alto se ha reportado en las brácteas del maíz morado Tunicata o *pod corn*, con un valor de 189 mg AT/g de muestra en base seca (Li *et al.*, 2008).

Las variedades moradas analizadas por Medina-Hoyos *et al.*, 2020 mostraron un contenido de antocianinas totales significativamente menor en las brácteas que en el olote de las plantas del maíz rojo y morado, respectivamente. En Khamphan *et*

al. (2018 y 2020) algunas variedades presentaron una cantidad similar en las brácteas y en el olote.

Las antocianidinas: malvidina, delphinidina, cianidina y pelargonidina se detectaron en cantidades mayores que sus glucósidos (Tian *et al.*, 2018 y 2019). El totomoxtle exhibió un mayor contenido de cianidina y pelargonidina que el grano morado (Liu *et al.*, 2018). Como se ve en la tabla 1, la malvidina-3-glucósido también fue detectada en el grano morado maduro (Kim *et al.*, 2018 y Jiang *et al.*, 2018). La delphinidina fue detectada en las brácteas, pero no en otras partes de la planta, tales como el grano y el olote (Liu *et al.*, 2018 y Abbasi-Parizad *et al.*, 2021). Se tiene reporte sobre su presencia en su forma monoacilada en el grano morado, pero no en el olote (Colombo *et al.*, 2021).

A4. Estigmas

En la etapa de leche, es decir, a 20 días después de la polinización, las sedas o estigmas presentaron 1.03 a 9.7 mg de antocianinas totales por gramo. La variedad Khaoniaodum fue la variedad sobresaliente por su contenido de antocianinas en los estigmas, mientras que, la variedad FC111 cultivada en Khon Kaen fue la que presentó la menor concentración. En los artículos citados en la revisión de Navarro *et al.*, 2018, se obtuvieron cantidades semejantes, de 0.39 a 9.70 mg AT por gramo. Mientras que, en los estigmas analizados por Simla *et al.*, 2016 se cuantificaron 0.16 a 0.82 miligramos AT/ gramo de muestra en bs., según cálculos realizados (apéndice I).

Los derivados de quercetina, la pelargonidina-3-glucósido y la cianidina-3-glucósido fueron los compuestos mayoritarios encontrados en el estigma (Chaiittianan *et al.*, 2017). La peonidina-3-glucósido, el ácido clorogénico y la naringina se encontraron en menores cantidades. La naringina ha sido reportada también en el pericarpio del maíz morado (Colombo *et al.*, 2021).

Los estigmas de la variedad FC111 sembrada en Khon Kaen, presentó 0.57 mg AT/g b.s en el día número 36 posterior a la polinización (Mohamed *et al.*, 2017). Este contenido fue menor al cuantificado por Simla *et al.*, 2016 en los estigmas durante la misma etapa de desarrollo.

La concentración de antocianinas detectada en los estigmas maduros de los maíces *Fancy Muang 111* y *Kulesh* es de 0.38 y 1.95 mg de AT por gramo de muestra, respectivamente (Muangrat *et al.*, 2017 y Rimdusit *et al.*, 2019). Las referencias encontradas en la revisión de Navarro *et al.*, 2018, reportaron una concentración de 0.28 a 15.52 mg AT/g en los estigmas maduros, siendo el valor máximo el obtenido por extracción subcrítica con N₂ a partir de la variedad *Fancy Muang 111* (Muangrat *et al.*, 2017). Las antocianinas cianidina-3-glucósido, pelargonidina-3-glucósido y peonidina-3-glucósido fueron identificadas en el estigma maduro.

A5. Inflorescencias masculinas

Los datos recopilados sobre las cantidades de antocianinas aisladas en la etapa VT a partir de la inflorescencia masculina o espiga se sitúan dentro del rango 0.09 a 2.51 mg EG3G/ g muestra (Duangpapeng *et al.*, 2019). El perfil de antocianinas no se estudió en la espiga del maíz morado.

En la etapa de leche se determinó un contenido de antocianinas totales de 0.19 miligramos por cada gramo de espiga del maíz FC111 en base seca (Mohamed *et al.*, 2017). Este contenido supera al detectado en una fase más avanzada del desarrollo, la etapa de masa, de 0.02 mg de antocianinas totales / g muestra b.s (Mohamed *et al.*, 2017).

El contenido de antocianinas cuantificado en el grano y la espiga de la planta fue inferior al determinado en el olote, las brácteas y los estigmas (Mohamed *et al.*, 2017).

B

CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE LECHE

En los artículos publicados en el periodo 2017 a 2021, se cuantificaron de 0.35 a 5.11 mg de polifenoles totales/ g muestra en base seca. Las muestras analizadas corresponden a tres maíces cerosos y uno dulce. El genotipo de alto contenido de amilopectina KGW1, presentó 0.35 a 5.11 mg de polifenoles totales (Saikaew *et al.*, 2018a y b).

Tabla 1.12. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en el grano morado inmaduro.

Variedad	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
KGW1 (ceroso)	Tailandia.	5.110	Saikaew et al, 2018b
KND (ceroso)	Tailandia	3.195	Saikaew et al, 2018b
KGW1 (ceroso)	Tailandia	0.350	Saikaew et al 2018 ^a
SICAU76(dulce)fresco	China	0.341 mg/ml	Feng et al 2020

Se reportó un valor de 0.351 a 0.456 mg equivalentes de catequina por g de muestra en los granos inmaduros de la variedad cerosa KGW1 a los 20 días posteriores a la polinización (Saikaew *et al.*, 2018a y Saikaew *et al.*, 2018b). Mientras que, en la variedad morada forrajera KND se encontraron 0.513 mg equivalentes de catequina por gramo (Saikaew *et al.*, 2018b). En los granos inmaduros analizados durante el periodo de estudio se reportó un valor de 0.351 a 0.513 mg de equivalentes de catequina por cada gramo.

GRANOS EN LA MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

En la siguiente tabla 1.9 se observan las cantidades de polifenoles totales cuantificadas en los genotipos analizados en el periodo de estudio, los valores encontrados están entre los 0.00004 a 448.50 mg de equivalentes de ácido gálico por cada gramo de harina de maíz morado. Los genotipos fueron adquiridos de empresas estadounidenses, de Tailandia, Perú, México, Argentina, India, Italia y Australia.

Tabla 1.13. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en el grano durante la madurez fisiológica o avanzada.

Variedad	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia	
Pericarpio morado	EE. UU	6.500	Chen <i>et al.</i> , 2017	
Ceroso Khao Niew Khao kam	Tailandia	0.002	Chalorchaoenyng <i>et al.</i> , 2017	
Ceroso KKU-WXIII031		0.00004		
Arequipa 084	Perú	4.545	Gálvez-Ranilla <i>et al.</i> , 2017	
Ceroso KGW1	Tailandia	3.269	Saikaew <i>et al.</i> , 2018b	
Ceroso KND	Tailandia	2.756	Saikaew <i>et al.</i> , 2018b	
Línea Purple B73	Italia	3.620	Rocchetti <i>et al.</i> , 2018	
IC44764-3,4 y 7	India	1.223 a 1.843	Trehan <i>et al.</i> , 2018	
Morado Peña Nevada	México	3.537	Rodríguez-Salinas <i>et al.</i> , 2019	
Morado María Berrones	México	3.493		
Morado La Siberia	México	4.259		
Morado La Sabanilla	México	4.715		
Morado La Soledad	México	4.857		
Morado La Ascensión	México	3.963		
Morado Puerto Piñones	México	4.438		
Morado Refugio	México	4.681		
Kculli	Perú	0.953 a 2.597		Gálvez <i>et al.</i> , 2019
Kculli	Perú	3.785		
Pericarpio morado	N. E	0.187 p	Tayal <i>et al.</i> , 2020	
México (CIMMYT) x maíz de Perú y Bolivia	Argentina	10.230	Mansilla <i>et al.</i> , 2020	
Morado	India	1.467 a 1.226	Trehan <i>et al.</i> , 2020	
NSr (subpoblación de la variedad Spinoso Nero di Esine della Val Camonica)	Italia	1.700 FER	Landoni <i>et al.</i> , 2020	
VA1245w x Morado Ostenga x Kully	Italia	4.047	Suriano <i>et al.</i> , 2021	
Dulce de pericarpio morado mutación bt1	Australia	1.680	Hong <i>et al.</i> , 2021	
Mezcla (CIMMYT, Perú, Bolivia y Argentina)	NE	9.608	Mansilla <i>et al.</i> , 2021	
Apache Red	EE. UU	399.30	Luna-Vital <i>et al.</i> 2017 ^a	
Pericarpio morado	EE. UU	201.20	Luna-Vital <i>et al.</i> , 2017d	
Apache	EE. UU	69.10 a 229.0	Zhang <i>et al.</i> , 2019	
Pericarpio morado	EE. UU	448.50	Luna-Vital <i>et al.</i> , 2020c	
Ceroso	Tailandia	203.87	Singto <i>et al.</i> , 2020	

Se cuantificó el contenido del ácido ferúlico, cumárico, cafeico, gálico y protocatecuico o sus derivados en las muestras. Ranilla *et al.*, 2017 y Ranilla *et al.*, 2019 cuantificaron los compuestos fenólicos libres y conjugados y Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019 determinó la cantidad de ácidos fenólicos conjugados. Los demás artículos no lo especifican, no obstante, es probable que sean libres debido a que no se menciona un tratamiento de hidrólisis.

Tabla 1. 14.a. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en el grano morado mediante un análisis por HPLC

Grano morado	mg CB/ g muestra b.s					
Luna-Vital et al., 2020	FER	PROCAT	GAL	CAF	CLRG	VNL
	183.4	79.3	8.5	6.3	5.9	3.1
Luna-Vital et al., 2019	FER	PROCAT	GAL	CLRGN	CAF	VNL
	285.4	59.9	8.5	5.3	4.5	1
Trehan et al., 2020	PROCAT	SNP	CUM	FER	CLRG	
Conjugados	10.02	6.61	3.29	0.85	0.24	
Trehan et al., 2020	PROCAT	SNP	CUM	FER	CLRG	
Conjugados	19.14	8.61	3.28	3.15	0.14	
Rochetti et al., 2018	FER	TYR	RESV			
Libres	1.306	0.464	0.001			
	FER	TYR	RESV			
Conjugados	2.420	0.059	0.012			
NR	CUM	GAL	FER			
Libron et al., 2021	0.064	0.026	0.002			
Conjugados	FER	CUM				
Rodriguez-Salinas et al.,	1.033	0.067				
Conjugados	FER	CUM				
Rodriguez-Salinas et al.,	0.995	0.104				
Conjugados	FER	CUM				
Rodriguez-Salinas et al.,	1.187	0.056				
Conjugados	FER	CUM				
Rodriguez-Salinas et al.,	1.296	0.117				
Conjugados	FER	CUM				
Rodriguez-Salinas et al.,	1.243	0.095				
Conjugados	FER	CUM				
Rodriguez-Salinas et al.,	1.330	0.107				
Conjugados	FER	CUM				
Rodriguez-Salinas et al.,	1.449	0.108				
Conjugados	FER	CUM				
Rodriguez-Salinas et al.,	1.403	0.080				
NR	FER	PROCAT				
Trehan 2018	21.27	14.77				
NR	FER	PROCAT				
Trehan 2018	20.29	15.07				
Luna-Vital et al., 2017	CAF					
	6.5					

Tabla 1.14.b. Perfil de la fracción de ácidos fenólicos libres y la fracción de ácidos fenólicos conjugados en el grano morado mediante un análisis por HPLC

Grano morado	mg CB/ g muestra b.s				
Ranilla et al.,2017	CUM	FER	DCUM	DCAF	DFER
Libres	ND	ND	0.039	0.018	0.014
	DCUM	DCAF	FER	CUM	DFER
Conjugados	ND	ND	1.563	0.335	0.188
Ranilla et al.,2019	CUM	DCUM	FER	DFER	DCAF
Libres	ND	0.035	ND	ND	0.016
	CUM	DCUM	FER	DFER	
Conjugados	0.295	0.038	1.514	0.167	
Trehan et al., 2020	PROCAT	SNP	CUM	FER	CLRG
Conjugados	10.02	6.61	3.29	0.85	0.24
Trehan et al., 2020	PROCAT	SNP	CUM	FER	CLRG
Conjugados	19.14	8.61	3.28	3.15	0.14

La subclase de los flavonoides fue la menos estudiada en el grano morado de las clases que conforman el grupo de los polifenoles. Se estudiaron genotipos del continente americano, europeo y asiático.

Tabla 1.15. Contenido de flavonoides totales en (mg/g b.s) encontrado en los granos morados maduros

Variedad	Lugar	Flavonoides totales (mg EC/ g muestra b.s)	Referencia
Ceroso KGW1	Tailandia	0.319	Saikaew et al, 2018b
Ceroso KND	Tailandia	0.372	Saikaew et al, 2018b
Morado Peña Nevada	México	0.398	Rodríguez-Salinas et al., 2019
Morado María Berrones	México	0.398	
Morado La Siberia	México	0.563	
Morado La Sabanilla	México	0.698	
Morado La Soledad	México	0.728	
Morado La Ascensión	México	0.225	
Morado Puerto Piñones	México	0.690	
Morado Refugio	México	0.915	
VA1245wx Morado Ostenga x Kully	Italia	1.998	
Variedad	Lugar	(mg EQ/g muestra b.s)	Referencia
NSr (subpoblación de Spinoso Nero di Esine della Val Camonica)	Italia	1.520	Landoni et al.,2020
Ceroso	Tailandia	4.29	Singto et al.,2020

Se identificaron siete flavonoides: kaempferol, rutina, luteolina, quercetina, naringina, apigenina y catequina; en las muestras de grano morado.

Tabla 1.16. Perfil de flavonoides encontrado en el grano morado mediante un análisis por HPLC

Grano morado	mg CB/ g muestra b.s						
Luna-Vital et al., 2019	KAEM	RUT	LTL	QR	CATQ	NARG	APIG
	27	15.2	13.4	7.5	7.2	6.8	6.7
Trehan et al., 2020	LTL	QR					
Conjugados	15.38	1.06					
Trehan et al., 2020	LTL	QR					
Conjugados	12.4	1.05					
	KAEM	RUT	QR	LTL			
Luna-Vital et al., 2020	18.2	16.3	9.1	5.8			
	RUT						
Luna-Vital et al., 2017	2.8						
Rochetti et al., 2018	CATQ	LTL					
Libres	0.343	0.113					
	CATQ	LTL					
Conjugados	0.043	0.028					
Ranilla et al., 2019	DQR						
Libres	0.003						

En Chalorchaoenying *et al.*, 2017, se analizaron dos variedades de maíz ceroso. Para la variedad *Khao Niew Khao kam* se reportó un valor de 0.025 mg carotenoides totales por gramo de muestra en base seca, mientras que, para KKU-WXIII031 0.491 mg carotenoides totales por gramo de muestra. El contenido determinado en las muestras fue de 0.025 a 0.491 mg CT/ g muestra b.s.

B2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA A AVANZADA

Las muestras analizadas por Itthisoponkul *et al.*, 2018, Khamphan *et al.*, 2020 y Singto *et al.*, 2020 fueron adquiridas en Tailandia, mientras que, las muestras analizadas por Lao *et al.*, 2018 y Napan *et al.*, 2018 se consiguieron en Perú.

El contenido de polifenoles reportado está entre 9.29 a los 133.09 mg de polifenoles totales/ g de muestra b.s. Las investigaciones de Napan *et al.*, 2018 y Singto *et al.*,

2020 reportan cantidades que rondan los 130 mg de CPT por g de olote molido en base seca. En Gullón *et al.*, 2020 se caracterizaron los ácidos fenólicos.

Tabla 1.17. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en el olote durante la madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	CPT (mg /g b.s)	Referencia
Morado	Tailandia.	9.290	Itthisoponkul <i>et al.</i> , 2018
Morado	Perú.	43.600	Lao <i>et al.</i> , 2018
Sobrante de chicha morada peruana	N. E.	1.090 mg/ml	Gullón <i>et al.</i> , 2020
KKU-PFC1 y 4 (olote morado)	Tailandia	15.670 a 24.280	Khamphasan <i>et al.</i> , 2020
Nueva var. híbrido F1 con genes B y PI	Italia.	16.740	De Nisi <i>et al.</i> , 2021
Morado	Perú	127.47	Napan <i>et al.</i> , 2018
Ceroso	Tailandia.	133.090	Singto <i>et al.</i> , 2020

Los ácidos hidroxicinámicos y los ácidos hidroxibenzoicos fueron caracterizados en los olotes coloridos provenientes de variedades de maíz morado. En el olote rojo no fueron detectados el ácido sinápico y el resveratrol.

Tabla 1.18. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en el olote morado mediante un análisis por HPLC

Olote	mg CB/ g muestra b.s									
Abbasi-Parizad <i>et al.</i> , 2018	CLRGN	FER	GAL	SRNG	CINAMIC	CAF	VNL	CUM	MIRC	
	1.233	0.712	0.256	0.25	0.216	0.185	0.131	0.068	0.063	
Kapcum <i>et al.</i> , 2018	SRNG	PROCAT	SNP	HDRX	VNL	CUM	FER	CAF		
	0.061	0.044	0.030	0.023	0.018	0.015	0.013	0.008		
Gullon <i>et al.</i> , 2020	PROCAT	CUM	VNL	CAF	FER	4HDX	CLRG	SRNG		
	2435909	1423717	313487	288073	283109	239641	13853	10958		

La concentración reportada en el olote morado analizado por Singto *et al.*, 2020, es de 13.76 mg de equivalente de quercetina por g de muestra. En el extracto de raquis u olote hervido para la preparación de la chicha morada se determinó un contenido de 1.27 mg de equivalentes de rutina por ml de extracto (Gullón *et al.*, 2020).

El perfil de flavonoides del olote está constituido por flavonas, flavanoles, flavonoles y flavanonas.

Tabla 1.19. Perfil de flavonoides encontrado en el olote mediante un análisis por HPLC

Raquis rojo	mg CB/ g muestra b.s							
Abbasi-Parizad et al.,2021	CATQ	EPICATQ	RUT	KAEM	NARG-CH	APIG	QR	NARG
	2.887	1.739	0.732	0.696	0.643	0.558	0.192	ND
Raquis morado	Compuestos identificados (no ordenados)							
Ferron et al.,2020	D-APIG	D-MIRC	D-QR	D-LTL	D-KAEM	D-ISOH		
Raquis morado	Área							
	KAEM	RUT						
Gullon et al.,2020	4768957	7081						
Raquis morado	mg CB/ g muestra b.s							
	RUT	QR						
Kapcum et al.,2018	0.177	0.006						

B3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA A AVANZADA

El contenido total de polifenoles en las brácteas moradas se situó entre los 10.13 a los 27.90 miligramos de CPT por cada gramo de muestra en base seca (Khamphan et al., 2020). El perfil cromatográfico no fue estudiado.

Los ácidos fenólicos tanto libres como conjugados se cuantificaron en las brácteas frescas (Galeana-López et al., 2020).

Tabla 1.20. Perfil de flavonoides encontrado en las brácteas frescas mediante un análisis por HPLC

Bráctea fresca	mg CB/ g muestra b.s					
Libres	CLRG	p-CUM	SNP	CAF	FER	RUT
Galeana-Lopez et al., 2020	0.102	0.008	ND	ND	ND	ND
Conjugados	FER	p-CUM	CAF			
Galeana-Lopez et al., 2020	12.934	5.731	ND			

Se detectaron 0.886 mg de quercetina por gramo de muestra, en las brácteas del maíz morado diploide *Saratov* (Kanevskii et al., 2020).

B4. ESTIGMAS

ESTIGMAS EN LA ETAPA MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Los polifenoles fueron cuantificados en los estigmas de un maíz ceroso sometidos a dos tratamientos, secado en el horno de convección y liofilización. En la muestra sometida al primer tratamiento se detectó 54 mg CPT/g y en la sometida a liofilización 57 mg CPT/ g (Senphan *et al.*, 2019). Los compuestos fenólicos no fueron caracterizados en los estigmas.

B5. INFLORESCENCIAS MASCULINAS

INFLORESCENCIAS MASCULINAS O ESPIGA EN LA ETAPA VT

A continuación, se muestran los valores de polifenoles totales reportados en las inflorescencias masculinas. El contenido de polifenoles cuantificado en la espiga esta entre 12.2 a 37.4 mg por gramo de muestra.

Tabla 1.21. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en la inflorescencia masculina durante la etapa V0

Variedad morada	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
1er día de arrojamiento de polen			
Clúster	Tailandia, Laos, Myanmar,	29.800	Duangpapeng <i>et al.</i> ,2019
Clúster C	Vietnam	34.800	
Clúster D	Taiwán, Corea, Japón y	33.000	
Clúster E	China.	37.400	
Clúster F		34.200	
50% de polen arrojado			
Ceroso KGW1	Tailandia	12.200	Duangpapeng <i>et al.</i> ,2018

Durante la fase V0, se encontró 0.059 mg de carotenoides totales por g de muestra en base seca en las inflorescencias masculinas de la variedad KGW1. Mientras que, en el momento en el que un 50% de polen ha sido liberado, se encontró 0.088 mg de carotenoides totales por gramo de muestra en b.s (Duangpapeng *et al.*, 2018).

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO ÁCIDOS FENÓLICOS, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. Granos morados

El contenido de polifenoles totales se analizó en tres muestras de grano en la etapa de leche, el intervalo de concentración esta entre 0.35 y 5.11 mg CPT/ g muestra. La concentración de polifenoles totales encontrada previamente en Simla *et al.*, 2016 en un maíz en etapa de leche está por debajo de este intervalo.

En cuanto a los flavonoides, se reportó un valor de 0.351 a 0.513 mg equivalentes de catequina por g de muestra en los granos inmaduros a los 20 días posteriores a la polinización (Saikaew *et al.*, 2018a y Saikaew *et al.*, 2018b). De las dos variedades tailandesas, la variedad de maíz forrajero fue la de mayor contenido.

El intervalo de concentración de polifenoles totales reportada en los granos maduros de maíz morado es de 0.00004 a 450 mg de CPT/ g muestra b.s. Por medio de la extracción convencional con disolventes, se obtuvo 0.00004 a 9.608 mg de equivalentes de ácido gálico / g muestra b.s, mientras que, por medio de la extracción por métodos emergentes se obtuvo 200 a 450 mg de equivalentes de ácido gálico/ g muestra b.s. Siendo el maíz de pericarpio morado el de la concentración más alta de polifenoles totales, el maíz ceroso KKU-WXIII031 el de la concentración más baja y la raza Kculli el de la concentración situada en la mediana de los valores. Mientras que, en Simla *et al.*, 2016 y Harakotr *et al.*, 2014 se informó un contenido de 0.14 mg CPT/ g muestra b.s (apéndice I) y 6.9 mg CPT/g muestra b.s, respectivamente.

El ácido ferúlico fue el ácido fenólico mayoritario en el 76.5 % de las muestras. En cuanto a los ácidos hidroxibenzoicos, el ácido protocatecuico fue el más abundante. El ácido clorogénico fue el ácido fenólico menos abundante. No se detectó ácido

ferúlico ni ácido cumárico en su forma libre, pero si en su forma conjugada. Sin embargo, anteriormente se ha aislado 0.023 a 1.39 mg de ácido ferúlico por gramo de muestra (Harakotr *et al.*, 2014 citado por Navarro *et al.*, 2018; Cuevas-Montilla *et al.*, 2011).

Los valores de flavonoides totales reportados para el grano morado se encuentran entre 0.225 a 1.998 mg equivalentes de catequina por gramo de muestra en base seca. Siendo el maíz Morado La Ascensión el que destacó por tener la concentración más baja de flavonoides en el grano y el genotipo VA1245w x Morado por tener la concentración más alta. En cambio, en términos de equivalentes de quercetina se encontraron entre 1.52 a 4.29 mg por g de muestra en base seca.

El flavonoide principal en la mayoría de las muestras fue la luteolina, no obstante, en otras su concentración se vio superada por la del kaempferol y la rutina. Se vieron cantidades significativas de luteolina, rutina, kaempferol, quercetina y naringina en los extractos analizados. Más altas que las reportadas por Casas *et al.*, 2014 y Ramos-Escudero *et al.*, 2012 (véase tabla 2). Probablemente, la obtención de altas concentraciones de estos flavonoides se relaciona con el empleo de métodos de extracción más novedosos. La luteolina y la catequina estuvieron presentes en una mayor proporción en su forma libre comparado con su forma conjugada (Rochetti *et al.*, 2018).

El contenido de carotenoides determinado en los granos maduros fue de 0.025 a 0.491 mg de CT/ g muestra base seca. *Khao Niew Khao kam* fue la variedad de menor contenido y la variedad *KKU-WXIII031* la de mayor.

El contenido de carotenoides totales determinado en la variedad *KKU-WXIII031* fue casi 8 veces mayor al que se ha cuantificado en grano amarillo y grano de maíz de alto contenido en carotenoides reportado en Acosta-Estrada *et al.*, 2019. El contenido de carotenoides totales supera al de los compuestos polifenólicos.

B2. Oloste

El contenido de polifenoles en el raquis u oloste morado reportado en las referencias revisadas se sitúa entre 9.29 a los 133.09 mg de CPT/ g de muestra b.s. El valor mínimo corresponde a un maíz morado tailandés (Itthisoponkul *et al.*, 2018), mientras que el valor máximo corresponde a un maíz ceroso de Tailandia (Singto *et al.*, 2020).

El contenido total de flavonoides en el oloste fue de 13.76 mg de equivalentes de quercetina/ g de muestra y 1.27 mg de equivalentes de rutina/ ml de extracto (Singto *et al.*, 2020, Gullón *et al.*, 2020). La concentración informada en el oloste de un maíz de color convencional, es decir, 11.67 mg de equivalentes de rutina/g (Dong *et al.*, 2014) está por encima de la que presentó el oloste morado.

Los flavonoides principales en el oloste rojo fueron la catequina, la epicatequina y la rutina. En el oloste morado analizado por Kapcum *et al.*, 2018 el flavonoide rutina se encontró en una concentración 28 veces mayor a la de la quercetina.

Contrario al grano, en el oloste se detectó una mayor presencia de ácido hidroxibenzoicos que de hidroxicinámicos. Al igual que los olostes rojos y negros provenientes de maíces cerosos morados analizados por Kapcum *et al.*, 2016, en el genotipo ceroso Kapcum *et al.*, 2018 el ácido siríngico fue el ácido fenólico mayoritario, no obstante, en el oloste rojo del genotipo R5412, este ácido fenólico estuvo en el cuarto lugar.

B3. Brácteas

En las brácteas de K KU-PFC1 y 4 analizadas por Khamphan *et al.*, 2020 se determinó un contenido de polifenoles totales de 10.13 a 27.90 miligramos por cada gramo de muestra, significativamente mayor al determinado en las brácteas de la variedad K KU-WX111031, de 0.07 mg CPT/g muestra b.s (Simla *et al.*, 2016).

B4. Estigmas

Se detectaron 0.886 mg de quercetina por gramo de muestra, en las brácteas del maíz morado diploide *Saratov* (Kanevskii *et al.*, 2020). Dong *et al.*, 2014 extrajo 8.47 mg de equivalentes de rutina/ g muestra b.s. mediante la extracción con etanol al 80%, una cantidad 1 a 3 mg menor que la obtenida a partir de los estigmas y el olote.

Los polifenoles fueron cuantificados en los estigmas de un maíz ceroso sometidos a dos tratamientos, secado en el horno de convección y liofilización. En la muestra sometida al primer tratamiento se detectó 54 mg CPT/g y en la sometida a liofilización 57 mg CPT/ g (Senphan *et al.*, 2019). Estas cantidades están por encima a las vistas en Sarepoua *et al.*, 2013.

B5. Inflorescencias masculinas

El contenido de polifenoles cuantificado en la espiga en la etapa V0 está entre 12.2 a 37.4 mg por gramo de muestra. Tras el análisis del maíz FC111, Mohamed *et al.*, 2017 observaron una mayor concentración de polifenoles totales en la espiga y en los estigmas que en los granos, las brácteas y el olote.

En las inflorescencias masculinas se detectó una concentración de carotenoides 0.059 a 0.088 mg CT por gramo, cercana a la encontrada en los granos amarillos de maíz reportada en Acosta-Estrada *et al.*, 2019.

B6. De los resultados obtenidos tras la revisión se concluye que:

Las antocianinas fueron los compuestos más estudiados, cuantitativa y cualitativamente hablando, en los órganos del maíz de grano morado.

Una gran cantidad de trabajos llevó a cabo el estudio de los órganos de la planta del maíz morado en las etapas tempranas de su desarrollo.

La mayoría de los estudios se centraron en la cuantificación del contenido total de los compuestos, una proporción menor de autores también llevó a cabo un análisis por HPLC.

La concentración de antocianinas cuantificada en el grano del maíz morado en las investigaciones de Luna-Vital *et al.*, 2017a; Luna-Vital *et al.*, 2017d; Mazewski *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019; Qin *et al.*, 2019; Luna-Vital *et al.*, 2020; Singto *et al.*, 2020; Ursu *et al.*, 2020; Charmongkolpradit *et al.*, 2021 y Cui *et al.*, 2021; la concentración de antocianinas cuantificada en el grano del maíz morado en Luna-Vital *et al.*, 2017a; Luna-Vital *et al.*, 2017d; Zhang *et al.*, 2019; Luna-Vital *et al.*, 2020; Singto *et al.*, 2020; la concentración de antocianinas cuantificada en las brácteas y el olote morado a los 40 días posteriores a la polinización por Khamphan *et al.*, 2020; la concentración de antocianinas determinada en el olote morado en la madurez fisiológica por Tomay *et al.*, 2019, Singto *et al.*, 2020; Cui *et al.*, 2021, Yang *et al.*, 2019 y Napan *et al.*, 2018; y la concentración de compuestos polifenólicos determinada en el olote morado por Lao *et al.*, 2018, Napan *et al.*, 2018 y Singto *et al.*, 2020 es mayor a la concentración reportada en trabajos anteriores, véase en el capítulo III.F.

El resto de los valores de concentración de compuestos bioactivos expuestos en el presente capítulo están dentro del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

El uso de métodos emergentes de extracción pudo haber promovido la obtención de cantidades considerablemente altas equiparables a las que se ha reportado en otros alimentos ricos en antocianinas.

Las concentraciones más altas de antocianinas totales (AT) y compuestos fenólicos totales (CPT) fueron las observadas en el grano maduro y el olote, en estudios en los que la extracción se realizó por alguno de los métodos emergentes.

Los granos inmaduros, las brácteas, el olote, la inflorescencia masculina y el estigma son buenas fuentes de antocianinas.

Las antocianinas no aciladas predominaron en el perfil de los extractos del olote morado y el grano morado.

El olote, el estigma y las brácteas contienen los mismos ácidos fenólicos, antocianinas y flavonoides detectados en los granos, pero en diferente proporción.

El rastrojo y los estigmas contienen antocianinas y flavonoides, respectivamente, que no fueron detectados en el grano morado. No obstante, se requieren más estudios para comprobarlo ya que solo hay 1 o 2 existentes para cada órgano.

Los compuestos bioactivos identificados en los órganos ya se han identificado en trabajos anteriores.

CAPITULO 2

Antocianinas y otros compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz negro durante su desarrollo



Figura 16. Maíz negro Nero Spinoso

Nota. Phenotype of the “Nero Spinoso” maize cultivar. A Dark red/ black ear at maturity [fotografía], por Cassani *et al.*,2017, Springer.

INTRODUCCIÓN

Existen variedades de maíz negro como los son los maíces originarios de China del tipo ceroso, también llamado *waxy corn* en inglés, la raza italiana *Nero Spinoso* y variedades nativas de México.

A continuación, se presenta la información encontrada tras la revisión de artículos emitidos en los años 2017 a 2021, sobre el contenido y el perfil de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz negro. La información encontrada se organizó en 2 apartados según el compuesto bioactivo analizado: en el apartado A. se presenta el contenido y tipo de antocianinas encontrado en los órganos de la planta y en el B. el contenido y tipo de polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles encontrado en los órganos de la planta del maíz.

Cada apartado se divide en secciones de acuerdo con el órgano analizado; en este caso el 1. Grano, 2. Olote y 3. Brácteas; y se subdivide según el estado de desarrollo: etapa de ampolla (10-15 DDP), etapa de leche (20-24 DDP), etapa de masa (28-46 DDP) y madurez fisiológica a avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años).

En las tablas se exponen las concentraciones de antocianinas, polifenoles, flavonoides y carotenoides; reportadas en los artículos revisados. Las concentraciones encontradas fueron ajustadas a mg de compuesto bioactivo/ g muestra en base seca. De igual manera, las cifras fueron redondeadas.

Mientras que, la concentración de los compuestos bioactivos caracterizados por HPLC se muestra en orden decreciente y con un color determinado en las tablas. La caracterización se llevó a cabo en 2 artículos.



CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE LECHE

El contenido de antocianinas fue monitoreado en el grano de un maíz negro dulce a lo largo de su desarrollo, en dos temporadas: otoño y primavera (Hu *et al.*, 2020). El maíz que se cosechó en otoño, presentó 0.490 mg de AT/g muestra b.s. en el décimo día y 0.261 mg AT/ g muestra b.s en el vigésimo día después polinización (Hu *et al.*, 2020).

Las antocianidinas pelargonidina, cianidina y peonidina se detectaron en tres etapas del desarrollo del grano: etapa de ampolla, etapa de leche y etapa de masa blanda (Hu *et al.*, 2020).

Tabla 2.1. Perfil de antocianinas encontrado en el grano inmaduro negro mediante un análisis por HPLC

Grano inmaduro	mg AT/ g b.s.		
	PG	PEO	CYA
10 DDP	0.318	0.056	0.012
Hu <i>et al.</i> , 2020	PG	PEO	CYA
20 DDP	0.179	0.020	0.006

GRANOS EN LA ETAPA DE MASA

En la etapa de masa blanda, a los 30 DDP, el grano de un maíz dulce presentó 0.271 mg de AT/ g muestra b.s (Hu *et al.*, 2020). Cinco días después, en la etapa de masa dura, se determinó un contenido de 0.33 mg de antocianinas totales/g b.s (Hu *et al.*, 2020).

En la etapa de masa, el grano presentó las mismas antocianinas: cianidina, pelargonidina y peonidina; que en etapas previas.

Tabla 2.2. Perfil de antocianinas encontrado en el grano inmaduro negro mediante un análisis por HPLC

Grano inmaduro	mg de CB/ g b.s		
	PG	CYA	PEO
Hu et al., 2020	0.168	0.079	0.024

GRANOS EN LA MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

En los artículos encontrados se extrajeron 0.094 a 0.217 mg de antocianinas/ g en b.s. a partir del grano negro maduro de variedades de maíz mexicanas y una italiana, llamada *Nero Spinoso* con brácteas, raíces y olote coloridos.

Tabla 2.3. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en los granos negros durante la madurez fisiológica

Variedad	Órgano	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Nero Spinoza	Grano	Italia	0.166	Cassini <i>et al.</i> , 2017
Negro	Grano	NE	0.141	Liu <i>et al</i> 2018
SNM-26.	Grano	México	0.217	Corona-Terán <i>et al.</i> , 2017
CC-15.	Grano	México	0.094	
SNG-B.	Grano	México	0.164	
FN2-36.	Grano	México	0.204	
T-3.	Grano	México	0.134	

En el grano negro maduro se identificaron tres antocianidinas con cuatro estándares utilizados (Liu *et al.*, 2018).

Tabla 2.4. Perfil de antocianinas encontrado en el grano maduro negro mediante un análisis por HPLC

Grano negro	mg CB/ g muestra b.s			
	CYA	PG	DEL	PEO
Liu et al., 2018	0.082	0.006	0.002	ND

A2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MASA

Khamphanan *et al.*, 2018 estudiaron 53 líneas de maíz, de estas TB/KND/PF 1 a 17, y los maíces expuestos en la siguiente tabla son las líneas de maíz negro que presentaron un color morado en las brácteas y en el olole. El olole de las variedades tailandesas de maíz negro fue estudiado a 40 días desde que inicio la polinización. Los tipos de maíz analizados fueron los cerosos y forrajeros. El intervalo de antocianinas determinado en las muestras es de 1.227 a 20.221 mg AT/ g b.s.

Tabla 2.5. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en el olole del maíz negro durante la madurez fisiológica

Variedad	Color del olole	Lugar	AT (mg/g b.s.)	Referencia
TB/KND/PF 1-17	Morado	Tailandia.	11.765 a 20.221	Khamphanan <i>et al.</i> , 2018
Forrajero KND PHITSANULOK	Morado	Tailandia.	1.227	
Ceroso KND KCU	Morado	Tailandia.	5.301	
Ceroso Fancy 111	Morado	Tailandia.	1.584	

A3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MASA

En Khamphanan *et al.*, 2018 se determinó un contenido de 2.146 a 22.226 mg de antocianinas totales por cada gramo, en las brácteas moradas de cuatro maíces tailandeses de grano negro.

Tabla 2.6. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en las brácteas del maíz negro durante la etapa de masa

Variedad	Color de las brácteas	Lugar	AT (mg/g b.s.)	Referencia
TB/KND/PF 1-17	Morado	Tailandia.	13.845 a 22.226	Khamphanan <i>et al.</i> , 2018
KND PHITSANULOK	Morado	Tailandia.	2.744	
Ceroso KND KCU	Morado	Tailandia.	3.237	
Ceroso Fancy 111	Morado	Tailandia.	2.146	

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. Granos negros

La información encontrada sobre este maíz fue relativamente poca, si se compara con la encontrada sobre otros maíces.

El único genotipo estudiado en las etapas tempranas del desarrollo en el periodo 2017 a 2021 fue el maíz dulce recolectado en *Baiyun Agriculture Demonstration Base*, China (Hu *et al.*, 2020). La concentración de antocianinas fue monitoreada desde la etapa de ampolla a la etapa de masa, el intervalo de concentración determinado va desde 0.49 hasta los 0.33 mg AT/g b.s.

En las primeras etapas del llenado del grano, es decir, de la etapa de ampolla y la etapa de leche, la pelargonidina fue la antocianidina mayoritaria, mientras que, la cianidina fue la minoritaria. En cambio, en la etapa de masa la concentración de cianidina estuvo por encima de la concentración de peonidina (Hu *et al.*, 2020).

El intervalo de antocianinas encontrado en los granos maduros fue de 0.094 a 0.217 mg de AT por g de muestra en base seca. Las variedades mexicanas CC-15 y SNM-26 presentaron la cantidad más baja y la más alta, respectivamente. El maíz SNG-B tuvo un valor que se sitúa en la mediana. El intervalo de concentración de antocianinas de las publicaciones revisadas estuvo por debajo de aquel observado en la revisión de Bello-Pérez *et al.*, 2016, esto es, 0.101 a 3.045 mg AT/g muestra b.s en maíces negros de México.

En la investigación de Liu *et al.*, 2018, se determinó una mayor concentración de antocianinas en el maíz negro a comparación con el maíz rojo y el morado. La concentración vista en el grano ya maduro fue menor que la determinada en etapas previas del llenado del grano.

La cianidina fue la antocianidina más abundante en el extracto de grano negro maduro analizado en la publicación de Liu *et al.*, 2018. Además, en esta publicación se analizó también un maíz rojo y otro morado. De los maíces, el maíz negro fue el único que presentó la delphinidina y exhibió la cantidad más alta de cianidina, 25 veces mayor a la encontrada en maíz morado (Liu *et al.*, 2018). Así mismo, la peonidina no se detectó en ninguna de las muestras. Comparado con el contenido de pelargonidina reportado en (Hu *et al.*, 2017) a lo largo de las etapas tempranas del desarrollo de la mazorca, el contenido detectado en el extracto del grano negro maduro fue significativamente menor.

A2. Olote

Los datos recopilados sobre contenido de antocianinas total cuantificado en el olote morado de variedades de grano negro en la etapa de masa, rondan los 1.58 a 20.22 miligramos por cada gramo de muestra. Los valores más altos fueron observados en el olote de las líneas de elite TB/KND/PF1 a 17 desarrolladas por Khon Kaen, mientras que, el más bajo corresponde al observado en el maíz forrajero *KND PHITSANULOK*. El maíz *KND KNU* presentó un contenido medio de 5.3 mg AT/g muestra b.s. En esta etapa, las variedades de maíz ceroso antes analizadas por Simla *et al.*, 2016, presentaron valores cercanos a los encontrados en los maíces cerosos, de 1.07 a 2.30 mg AT/ g muestra b.s en el olote.

A3. Brácteas

En el trabajo de Khamphan *et al.*, 2018 se llevó a cabo el análisis de antocianinas de las brácteas moradas de distintas variedades de grano negro en la etapa de masa. Los resultados obtenidos rondan los 2.146 a 22.226 miligramos de antocianinas totales por cada gramo de muestra en base seca. Las líneas TB/KND/PF1 a 17 también presentaron el contenido más alto de antocianinas en las brácteas. Las brácteas con un menor contenido fueron las pertenecientes al maíz ceroso Fancy 111 y las de contenido medio fueron las brácteas de *KND KNU*.

Las brácteas superaron al olote por su contenido de antocianinas, no obstante, los valores son cercanos. Las brácteas con el contenido más alto reportado hasta ahora han sido las del maíz morado *pod corn*, esto es, 189 mg AT/g muestra b.s (Li *et al.*, 2008). En el trabajo mencionado las brácteas presentaron una cantidad de antocianinas totales (AT) incluso mayor que el de las hojas y el olote.

B

CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE AMPOLLA-LECHE

En la etapa de ampolla, para el día 10 posterior a la polinización, se determinó 0.012 mg carotenoides totales/ g muestra b.s, en el grano de un maíz negro dulce. Mientras que a los 20 DDP, en la etapa de leche, el grano contó con 0.064 mg carotenoides totales/g muestra b.s.

A continuación, se muestra el perfil de carotenoides caracterizado por Hu *et al.*, 2020 en el grano negro dulce en las primeras etapas del desarrollo del grano.

Tabla 2.7. Perfil de carotenoides encontrado en el grano negro en la etapa de ampolla y en la etapa de leche mediante un análisis por HPLC

Grano negro	<i>mg CB/ g b.s</i>									
10 DDP	ZX	LUT	BCAR	DCAR	LCP	YCAR	ECAR	ACX	ACAR	BCX
Hu et al., 2020	0.006	0.004	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20 DDP	ZX	LUT	ACX	ECAR	ACAR	DCAR	BCAR	YCAR	LCP	BCX
Hu et al., 2020	0.03	0.02	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0005	ND

GRANOS EN LA ETAPA DE MASA

En la etapa de masa blanda, en el trigésimo día después de la polinización, el grano de un maíz dulce contó con 0.110 mg carotenoides totales/ g muestra b.s (Hu *et al.*, 2020).

Hu *et al.*, 2020 determinaron el perfil y contenido de carotenoides en el grano negro por medio de una cromatografía líquida de alta resolución o *HPLC* por sus siglas en inglés.

Tabla 2.8. Perfil de carotenoides encontrado en el grano negro en la etapa de masa mediante un análisis por HPLC

Grano negro	mg CB/ g b.s									
30 DDP	ZX	LUT	ECAR	ACRX	ACAR	BCAR	BCRX	DCAR	LCP	YCAR
Hu <i>et al.</i> , 2020	0.07	0.02	0.01	0.006	0.002	0.002	0.001	0.0005	0.0004	0.0004

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Tras el análisis de polifenoles totales en el grano de la mazorca *Nero Spinoso*, proveniente de Italia, los autores Cassani *et al.*, 2017 encontraron 1.082 mg de AT/ g muestra b.s.

Los autores Cassaní *et al.*, 2017 encontraron 1.621 mg de equivalentes de quercetin-3-glucósido/g de grano en base seca correspondiente a la variedad italiana *Nero Spinoso*.

B2. OLOTE

OLOTE EN ETAPA DE MASA

Los autores Khamphan *et al.*, 2018 realizaron el análisis de los compuestos fenólicos totales en el olote morado de variedades negras provenientes de

Tailandia. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del intervalo de 2.09 a 26.64 miligramos de polifenoles totales por gramo de muestra en base seca.

Tabla 2.9. Contenido total de compuestos polifenólicos en (mg/g b.s) encontrado en el olote del maíz negro durante la etapa de masa

Variedad	Color del olote	Lugar	CPT (mg/g b.s.)	Perfil	Referencia
TB/KND/PF 1-17	Morado	Tailandia.	19.552 a 26.637	NE	Khamphanan <i>et al.</i> , 2018
Forrajero KND PHITSANULOK	Morado	Tailandia.	2.741	NE	
Ceroso KND KCU	Morado	Tailandia.	8.495	NE	
Ceroso Fancy 111	Morado	Tailandia.	2.090	NE	

B3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN ETAPA DE MASA

La concentración de polifenoles totales cuantificado en las brácteas moradas de las variedades tailandesas fue de 3.496 a 28.044 mg CPT/ g muestra b.s.

Tabla 2.10. Contenido total de compuestos polifenólicos en (mg/g b.s) encontrado en las brácteas del maíz negro durante la etapa de masa

Variedad	Órgano	Lugar	CPT (mg/g b.s.)	Referencia
TB/KND/PF 1-17	Bráctea morada	Tailandia	21.325 a 28.044	Khamphanan <i>et al.</i> , 2018
Forrajero KND PHITSANULOK	Bráctea morada	Tailandia	4.617	
Ceroso KND KCU	Bráctea morada	Tailandia	5.348	
Ceroso Fancy 111	Bráctea morada	Tailandia	3.496	

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDOS FENÓLICOS FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. Granos negros

En la etapa de ampolla, para el día 10 posterior a la polinización, se determinó 0.012 mg carotenoides totales/ g b.s, en el grano de un maíz negro dulce. Mientras que a los 20 DDP, en la etapa de leche, el grano contó con 0.064 mg carotenoides totales/g muestra b.s.

El contenido de carotenoides aumentó casi 10 veces, de 0.012 a 0.11 mg CT/ g de muestra en base seca, a lo largo del desarrollo de la mazorca, desde la etapa de ampolla hasta la etapa de masa.

En lo que respecta al perfil de estos isoprenoides, la zeaxantina, luteína y betacaroteno fueron los primeros carotenoides en ser sintetizados. El carotenoide más abundante en los granos inmaduros fue la zeaxantina y el menos abundante el betacaroteno. En cuestión de diez días se identificó la presencia de siete carotenoides más.

El contenido total de carotenoides reportado para una variedad dulce negra fue de 0.11 mg CT/ g de grano en base seca, en la etapa de masa. Si se compara con los datos de concentración reportados en Hu *et al.*, 2011, Sheng *et al.*, 2018 y Acosta-Estrada *et al.*, 2019 para el maíz amarillo, el contenido de carotenoides detectado en el grano negro es superior.

Se identificaron cinco formas del caroteno y tres xantofilas. El δ -caroteno y la zeaxantina fueron el caroteno y la xantofila más abundante en este grano. En contraste con otros granos coloridos, la xantofila α -criptoxantina se encontró en una concentración mayor a la de la β -criptoxantina. El contenido de zeaxantina

determinado en esta variedad fue mayor a la que presentaron los maíces *Xinnuo 301* y *Jinxiannuo 8'*, amarillo y negro, respectivamente (Hu *et al.*, 2011).

En el grano de la mazorca, es decir, el maíz en un estado de madurez avanzada, se encontró un contenido de 1.082 mg equivalentes de ácido ferúlico/ g muestra b.s en el maíz *Nero Spinoso*, proveniente de Italia (Cassani *et al.*, 2017).

Cassani *et al.*, 2017 también llevaron a cabo la determinación de flavonoides en grano de la variedad italiana *Nero Spinoso*, encontrando así 1.621 mg de equivalentes de quercetina-3-glucósido /g de muestra en b.s.

B2. Olote

El olote morado en la etapa de masa, presentó una concentración de 2.090 a 26.637 mg de polifenoles totales por gramo (Khamphan *et al.*, 2018). El valor máximo corresponde a las variedades TB/KND/PF 1-17, entretanto, la variedad *Fancy 111* el valor mínimo y el valor medio se observó en KND KNU. Mientras que, durante la etapa de masa la variedad KNU-WX111031 exhibió 0.40 mg CPT/g muestra b.s en el olote o raquis (Simla *et al.*, 2016) (apéndice I).

B3. Brácteas

A los 40 días posteriores a la polinización, el contenido de polifenoles totales determinado en las brácteas moradas de las variedades tailandesas fue de 3.496 a 28.044 mg CPT/ g muestra b.s (Khamphan *et al.*, 2018). Además de presentar el contenido más alto de antocianinas, los genotipos TB/KND/PF 1-17 también presentaron el contenido más alto de polifenoles totales. Así mismo, el maíz *Fancy 11* tuvo el contenido más bajo. El maíz ceroso presentó la menor cantidad en las brácteas.

De los resultados obtenidos tras la revisión se concluye que:

La mayor parte de los artículos encontrados sobre el estudio del maíz negro, cuantificó las antocianinas. El estudio de los órganos de la planta del maíz negro se llevó a cabo en las etapas tempranas de su desarrollo y en la madurez fisiológica.

Los estudios se centraron en la cuantificación del contenido total de los compuestos, sólo en tres se llevó a cabo un análisis por HPLC.

Los valores de concentración de compuestos bioactivos expuestos en el presente capítulo están dentro del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

Las concentraciones más altas de antocianinas totales (AT) y compuestos fenólicos totales (CPT) fueron las observadas en el olote morado y las brácteas moradas del maíz negro analizados por Khamphan *et al.*, 2018.

Los compuestos bioactivos identificados en los órganos ya se han identificado en trabajos anteriores.

El perfil de carotenoides y de antocianinas cambió a lo largo del llenado de la mazorca.

Los granos negros contienen cantidades considerables de carotenoides y antocianinas en las etapas tempranas del desarrollo.

Los granos negros, fisiológicamente maduros, contienen una concentración más alta de carotenoides que algunas variedades de maíz amarillo.

CAPITULO 3

Antocianinas y otros compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz azul durante su desarrollo



Figura 17. Maíces azules

Nota. Maíz azul [fotografía], Montagner, L., 2020, Inforural (<https://www.inforural.com.mx/estudian-propiedades-curativas-del-maiz-azul/>)

INTRODUCCIÓN

Existen diversas razas de maíz azul nativas de México, el sureste y suroeste de Estados Unidos de América. Se destina a la elaboración de platillos típicos mexicanos.

Según datos de (SIACON-SIAP, 2017 citado por Ayala *et al.*, 2019), en México solo el 0.1% del total de superficie sembrada con maíz se destina a la siembra de maíz azul.

A continuación, se presenta la información encontrada tras la revisión de artículos emitidos en los años 2017 a 2021, sobre el contenido y el perfil de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz azul. La información encontrada se organizó en 2 apartados según el compuesto bioactivo analizado: en el apartado A. se presenta el contenido y tipo de antocianinas encontrado en los órganos de la planta y en el B. el contenido y tipo de polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles encontrado en los órganos de la planta del maíz.

Cada apartado se divide en secciones de acuerdo con el órgano analizado; en este caso 1. Grano y 2. Estigmas; y se subdivide según el estado de desarrollo, en este caso, madurez fisiológica o avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años), que incluye la madurez fisiológica y de cosecha.

En las tablas se exponen las concentraciones de antocianinas, polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles; reportadas en los artículos revisados. Las concentraciones encontradas fueron ajustadas a mg de compuesto bioactivo/ g de muestra en base seca. De igual manera, las cifras fueron redondeadas.

Mientras que, la concentración de los compuestos bioactivos caracterizados por HPLC se muestra en orden decreciente y con un color determinado en las tablas.



CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A.1 GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Las antocianinas fueron cuantificadas en todas las investigaciones sobre maíz azul, mientras que, los compuestos fenólicos y los flavonoides se cuantificaron sólo en algunas. Los análisis fueron llevados a cabo en muestras de madurez avanzada y fisiológica. Gran parte de los maíces estudiados posee una aleurona azul. Los resultados encontrados se sitúan entre los 0.011 a 6.260 miligramos de antocianinas por gramo en base seca.

Tabla 3.1. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en el grano azul durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Navajo Blue	EE. UU	0.851	Nankar et al 2017
Santa Clara		0.900	
Los Lunas High		0.954	
Yoeme Blue		0.938	
Ohio Blue		0.902	
Hopi Blue		0.925	
Taos Blue		0.836	
Mixteco		México	
Jerry Peterson Blue Organic	EE. UU	0.391	Li <i>et al.</i> , 2017
Variedad INIFAP	México	0.020	Camelo-Méndez <i>et al.</i> , 2017
Azul	Turquía	0.915	Multu <i>et al.</i> , 2017
Cónico	México	0.643	Salinas-Moreno <i>et al.</i> , 2017
Estado de México	CIMMYT	0.034 a 0.057	Paulsmeyer <i>et al.</i> , 2017
Puebla		0.040	
Tlaxcala		0.014 a 0.062	
Hidalgo		0.037	Paulsmeyer <i>et al.</i> , 2017
Chihuahua		0.027	
PI Aguascalientes	EE. UU	0.039	Paulsmeyer <i>et al.</i> , 2017
PI Guanajuato		0.036	
PI Michoacán		0.025	
PI Chihuahua		0.024	

(Continuación)Tabla 3.1. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en el grano azul durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Black Aztec	EE. UU	0.015	Paulsmeyer <i>et al.</i> , 2017
Smoke Signals	EE. UU	0.029	
Blue Jade	EE. UU	0.014	
Painted Mountain	EE. UU	0.012	
Hopi Blue Star	EE. UU	0.033	Paulsmeyer <i>et al.</i> , 2017
Jerry Peterson Blue Dent	EE. UU	0.013	
Corn Fiesta Hybrid	EE. UU	0.011	
Híbrido Índigo Blue	EE. UU	0.740	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^a
Chalqueño	México	0.840	Vásquez-Carrillo <i>et al.</i> , 2018
Palomero	Serbia	0.824	Simic <i>et al.</i> , 2018
Azul	México	0.227 a 0.375	Martínez-Martínez <i>et al.</i> ,2019
Azul	México	0.299	
Azul	México	0.258	
Azul	México	0.173 a 0.285	Chavarín-Martínez <i>et al.</i> ,2019
PepitillaElotesOccidentales14	México	0.400	Broa Rojas <i>et al.</i> ,2019
Elotes Occidentales #6	México	0.600	
No identificada#24	México	0.200	
Pepitilla #20	México	0.646	
Pepitilla x Ancho #26	México	0.312	
Huimilpan, San Juan del Rio y El Márquez	México	0.342 a 0.102	Loarca-Piña <i>et al.</i> , 2019
Azul	México	0.759	Amador-Rodríguez <i>et al.</i> , 2019
Híbrido E3E4	México	6.260	Magaña-Cerino <i>et al.</i> ,2020
Aleurona azul (BAM)	Australia	0.367	Hong <i>et al.</i> , 2020b
Azul	México	0.582	Damián-Medina <i>et al.</i> , 2020
VA522wxAzul Rossa Piave x Mex 7.2	Italia	0.216	Suriano <i>et al.</i> , 2021
Híbrido Índigo Blue	EE. UU	0.740	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^a
Híbrido Índigo Blue	EE. UU	0.722	Giordano <i>et al.</i> ,2018b
BP75	INIFAP, México	116.54	Camelo-Méndez <i>et al.</i> , 2017b

Dentro de las antocianinas identificadas en el grano azul maduro fisiológicamente se encuentran antocianinas glucosiladas, monoaciladas y diaciladas basadas en cianidina, peonidina y pelargonidina.

Tabla 3.2. Perfil de antocianinas encontrado en el grano maduro azul mediante un análisis por HPLC

Grano azul	mg CBI/ g muestra b.s								
	C3DMG	C3MG	C3G	Pg3DMG	Pg3G	Pg3MG	Pn3G	Pn3MG	Pn3DMG
Hong et al., 2020b	0.168	0.165	0.042	0.012	0.011	0.011	0	0	0
Paulsmeyer et al., 2017	28.84	21.81	12.4	12.4	7.41	5.06	3.95	0.61	0
Paulsmeyer et al., 2017	28.42	17.27	17.27	14.49	12.23	7.32	3.67	3.48	0
Paulsmeyer et al., 2017	37.88	18.44	13.49	13.49	11.12	5.99	4.82	3.67	0
Paulsmeyer et al., 2017	34.58	20.28	13.57	13.57	6.05	5.73	4.11	0.56	0
Paulsmeyer et al., 2017	31.13	15.21	15.21	13.3	12.63	4.18	3.86	3.76	0
Paulsmeyer et al., 2017	30.43	23.43	23.43	16.92	11.48	8.88	2.42	1.47	0.58
Paulsmeyer et al., 2017	29.73	18.8	18.8	18.58	11.27	8.55	4.23	3.87	0
Paulsmeyer et al., 2017	29.07	22.33	13.53	13.53	13.27	8.1	6.42	1.33	0
Paulsmeyer et al., 2017	33.92	19.79	12.26	11.3	11.3	4.69	3.98	1.01	0
Paulsmeyer et al., 2017	39.18	24.35	12.07	12.07	7.88	7.68	2.24	2.01	0
Paulsmeyer et al., 2017	35.33	19.18	19.18	13.82	12.81	8.28	3.89	1.72	0
Paulsmeyer et al., 2017	33.13	13.57	12.98	10.63	10.63	4.86	4.16	1.01	0
Paulsmeyer et al., 2017	33.47	18.66	18.66	14.46	13.63	8.76	5.03	3.45	0
Paulsmeyer et al., 2017	33.92	15.06	12.19	12.19	10.48	5.77	4.83	1.39	0
Paulsmeyer et al., 2017	36.37	25.34	9.37	9.35	9.35	6.29	2.6	1.51	0
Paulsmeyer et al., 2017	33.08	17.8	13.43	11.16	11.16	7.33	5.23	0.89	0
Paulsmeyer et al., 2017	34.12	21.77	9.72	7.32	7.32	7.1	4.56	0	0
Paulsmeyer et al., 2017	30.45	26.83	17.96	17.96	6.19	5.36	2.72	2.01	0.53
Paulsmeyer et al., 2017	27.51	23.06	14.4	14.4	10.15	9.18	8.04	3.65	0.51
Paulsmeyer et al., 2017	41.57	19.06	13.83	13.83	11.77	7.36	4.62	1.4	0.4
Paulsmeyer et al., 2017	38.82	17.44	15.85	15.85	10.28	3.86	3.46	1.01	0
Paulsmeyer et al., 2017	32.63	21.05	21.05	13.27	13.09	4.95	2.82	2.64	0.03
Paulsmeyer et al., 2017	45.12	19.45	13.99	13.99	8.68	3.11	2.95	1.95	0
Li et al., 2019	0.040	0.017	0.007	0.007	#####	#####			
Magaña-Cerino et al., 2020	98.54	60.27	48.87	35.55	31.42	11.5	7.22	0.62	0.24
∞ Nankar et al., 2017	61.8	61.8	8.1						
∞ Nankar et al., 2017	76.1	76.1	6.2						
∞ Nankar et al., 2017	83.7	83.7	5.2						
∞ Nankar et al., 2017	65	65	11.9						
∞ Nankar et al., 2017	68.1	68.1	9.5						
∞ Nankar et al., 2017	72	72	8.5						
∞ Nankar et al., 2017	65	65	2.5						
Suriano et al., 2021	0.06	0.04	0.02	0.01	0.009	0.007	0.004	0.004	
Simic et al., 2018	0.14	0.02							

A2. ESTIGMAS

ESTIGMAS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Los autores Alvarado-Díaz *et al.*, 2019 y Mendoza-López *et al.*, 2017 encontraron 0.135 mg AT/ g muestra b.s y 0.032 mg AT/ g muestra b.s., respectivamente, tras el análisis de los estigmas cafés de la raza Cónico de México.

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. Granos azules

El contenido de antocianinas reportado en el grano azul es de 0.01 a 6.26 mg de antocianinas totales/ g de muestra b.s. *Corn Fiesta Hybrid* mostró el contenido más bajo, el híbrido E3E4 presentó el contenido más alto y el maíz Pepitilla x Ancho #26 el contenido medio. Solo un valor superó al intervalo encontrado por Navarro *et al.*, 2018 y Bello-Pérez *et al.*, 2016 de 0.073 a 1.052 mg AT/g muestra b.s y 0.197 a 0.995 mg AT/g muestra b.s, respectivamente, en los granos de maíces azules.

La mayoría de los maíces azules estudiados presentaban el color en la aleurona, generalmente constituido por una capa (Paulsmeyer *et al.*, 2017) a diferencia del pericarpio, por lo que presentaron un menor contenido de antocianinas que el maíz de pericarpio morado. Sin embargo, hay variedades cuya aleurona consta de hasta seis capas (Paulsmeyer *et al.*, 2017).

Las antocianinas mayoritarias fueron la cianidina-3-malonilglucósido y la cianidina-3-glucósido. Lo anterior concuerda con lo observado en el trabajo de Peniche-Pavía *et al.*, 2020, en donde se menciona que las antocianinas basadas en cianidina tienden a abundar en granos de tonalidades moradas a azules. La forma diacilada estuvo en tercer lugar y la pelargonidina monoacilada en el cuarto. La peonidin-3-glucósido fue la antocianina glucosilada menos abundante, mientras que la antocianina diacilada peonidina-3-dimalonilglucósido, se encontró en último lugar en cantidades despreciables o no fue detectada. Las antocianinas basadas en peonidina y petunidina son más estables que las basadas en antocianinas con sustituyentes hidroxilo.

El maíz azul presentó una cantidad menor de petunidin-3- glucósido y su derivado acilado que el maíz morado por lo que los extractos del maíz azul no son tan estables como los del maíz morado.

A2. Estigmas

Los estigmas cafés de la raza Cónico presentaron 0.032 a 0.135 miligramos de AT por gramo, un contenido mayor al que Sarepoua *et al.*, 2013 reportaron para los estigmas de un maíz amarillo y blanco en la etapa de masa.

El hecho de que la concentración de bioactivos fuera mayor en el estigma café de un maíz azul que en el estigma verde de un maíz amarillo, puede indicar que el contenido de polifenólicos en este órgano está influenciado por el contenido de los mismos en el grano.

B

CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ AVANZADA

Las variedades estudiadas en las 15 investigaciones citadas son principalmente variedades mexicanas y estadounidenses. También se investigó una variedad de Italia, Turquía y de Serbia. El contenido de polifenoles totales es de 0.921 a 165 mg CPT/ g muestra b.s en los granos azules muestreados.

Tabla 3.3. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en el grano azul durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	CPT(mg/g b.s)	Referencia
Mixteco	México.	2.873	Herrera-Sotero <i>et al.</i> , 2017 ^a
BP75	INIFAP, México	201.41	Camelo-Méndez <i>et al.</i> , 2018
Azul	Turquía	1.348	Multu <i>et al.</i> , 2017
Híbrido Índigo Blue	EE. UU	4.105	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^a
Palomero	Serbia	2.564	Simic <i>et al.</i> , 2018
AZ02 a AZ28	México	1.168 a 1.374	Martínez -Martínez <i>et al.</i> , 2019
Azul	México	1.870	Chavarin-Martinez, 2019
Huimilpan, San Juan del Rio y El Márquez	México	0.694 a 1.304	Loarca-Piña <i>et al.</i> , 2019
Azul	México	1.600	Amador-Rodríguez <i>et al.</i> , 2019
Híbrido E3E4	México	23.700	Magaña-Cerino <i>et al.</i> , 2020
Azul	México	1.100	Damián-Medina <i>et al.</i> 2020
VA522wxAzul Rossa Piavex Mex 7.2	Italia	2.416	Suriano <i>et al.</i> , 2021
Híbrido Índigo Blue	EE. UU	4.166	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^a
Híbrido Índigo Blue		1.881	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^b
CHIH 365, 367 y 503	México	0.921 a 1.395	Smorowska <i>et al.</i> , 2021

El perfil del grano azul estuvo constituido por ácidos fenólicos derivados del ácido hidroxicinámico y del ácido hidroxibenzoico.

Tabla 3.4. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en el grano azul maduro mediante un análisis por HPLC

Grano azul	mg CB/ g muestra b.s					
Mendez-Lagunas et al., 2020	CUM	CLRG	VNL	SRG	CAF	
Libres	0.289	0.124	0.082	0.032	0.027	
	CUM	FER	SNP			
Giordano et al., 2018b	0.117	1.733	0.032			
Conjugados	FER	CUM	SNP			
Giordano et al., 2018a	1.764	0.110	0.031			
	FER	CUM				
Simic et al., 2018	4.096	0.333				
	CAF	FER	GAL	CLRG	PROCAT	SNP
Smorowska et al., 2021	0.305	0.185	0.154	0.096	0.009	0.005
	CAF	FER	CLRG	GAL	SNP	PROCAT
Smorowska et al., 2021	0.545	0.247	0.165	0.109	0.008	0.001
	CAF	GAL	FER	CLRG	PROCAT	SNP
Smorowska et al., 2021	0.324	0.164	0.105	0.087	0.010	0.004

El contenido de flavonoides totales fue cuantificado en cinco trabajos en términos de equivalentes de quercetina. El contenido de flavonoides encontrado en los granos azules fue de 0.282 a 1.739 mg de equivalentes de quercetina/ g muestra en base seca y de 0.055 a 0.344 mg de equivalentes de catequina/ g muestra en base seca.

Tabla 3.5. Contenido de flavonoides totales en (mg/g b. s) encontrado en el grano azul durante la etapa de madurez avanzada

Variedad	Lugar	FT (mg de EC/g b.s)	Referencia
Palomero	Serbia	0.344	Simic <i>et al.</i> , 2018
Huimilpan, San Juan del Río y El Márquez	México	0.055 a 0.122	Loarca-Piña <i>et al.</i> , 2019
AZ02 a 28	México	0.10 a 0.18	Martínez-Martínez <i>et al.</i> , 2019
Variedad	Lugar	FT (mg de EQ/g b.s)	Referencia
Azul	México	0.282	Damián-Medina <i>et al.</i> , 2020
VA522wxAzul Rossa Piave x Mex 7.2	Italia	1.739	Suriano <i>et al.</i> , 2021

En el maíz híbrido *Índigo Blue* adquirido en Clarkson Grain, se cuantificó una concentración de 0.002 mg de carotenoides totales por cada gramo de muestra en base seca (Giordano *et al.*, 2018a y Giordano *et al.*, 2018b).

El tipo y cantidad de los carotenoides encontrados en el grano del híbrido Índigo Blue (Giordano *et al.*, 2018a y Giordano *et al.*, 2018b) se muestra a continuación en mg/ g muestra en base seca.

Tabla 3.6. Perfil de carotenoides encontrado en el grano azul maduro mediante un análisis por HPLC

Grano azul	mg CB/ g b.s			
	LUT	ZEA	BCRX	BCAR
Giordano et al., 2018b	0.00073	0.00081	0.0002	0.0002
	ZEA	LUT	BCRX	BCAR
Giordano et al., 2018a	0.00099	0.00089	0.0002	0.0002
	LUT	ZEA	BCAR	BCRX
Suriano et al., 2021	0.0011	ND	ND	ND

Smorowska *et al.*, 2021 reportó un contenido de fitoesteroles de 0.695 miligramos por gramo de harina del maíz azul adquirido en CIMMYT.

Los estanoles y esteroles fueron los dos tipos de fitoesteroles encontrados en el grano azul estudiado por el equipo de Smorowska *et al.*, 2021.

Tabla 3.7. Perfil de fitoesteroles encontrado en el grano azul maduro mediante un análisis por HPLC

Grano azul	mg CB/ g b.s						
	B-STG	STGMA	CAMPE	STIGME	CAMPA	STIGMAD	
Smorowska et al., 2021	0.354	0.144	0.117	0.050	0.027	0.017	
	B-STG	STGMA	CAMPE	AVN	STIGME	CAMPA	STIGMAD
Smorowska et al., 2021	0.331	0.136	0.096	0.040	0.038	0.028	0.017
	B-STG	CAMPE	STGMA	STIGME	CAMPA		
Smorowska et al., 2021	0.366	0.125	0.120	0.051	0.030		

B2. ESTIGMAS

ESTIGMAS EN LA MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

El contenido total de compuestos polifenólicos en los estigmas café de la raza Cónico fue estudiado en Mendoza-López *et al.*, 2017 y Alvarado-Díaz *et al.*, 2019, el contenido determinado fue de 17.95 a 73.70 mg de CPT/ g b.s, respectivamente.

Los ácidos fenólicos presentes en los estigmas del maíz Cónico fueron el ácido clorogénico, el ácido cumárico y el ácido ferúlico, es decir, ácidos hidroxicinámicos (Alvarado-Díaz *et al.*, 2019).

La raza Cónico de grano azul, presentó un contenido de 8.10 a 33.20 mg de equivalentes de quercetina/ g en los estigmas cafés maduros (Mendoza-López *et al.*, 2017 y Alvarado-Díaz *et al.* 2019).

El análisis por HPLC de los estigmas maduros reveló la presencia de las flavonas metoximaysina, apimaysina y luteolina.

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. Granos azules

El intervalo de polifenoles totales determinado en el grano azul de mazorca fue de 0.921 a 165 mg CPT/ g muestra b.s. La variedad de INIFAP y la variedad E3E4 destacaron por su alto contenido de polifenoles totales. Las accesiones AZ02 a 28 exhibieron un contenido cuyo valor se sitúa en la mediana y los genotipos mexicanos presentaron el contenido más bajo.

El ácido ferúlico fue el ácido fenólico mayoritario en las muestras estudiadas en los trabajos de Giordano *et al.*, 2018 a, Giordano *et al.*, 2018b y Simic *et al.*, 2018. La cantidad encontrada en los extractos es de 1 a 4 mg/g de muestra. El ácido cumárico se encontró en segundo lugar, mientras que, el ácido clorogénico, vanílico, siríngico y cafeico se encontraron en una menor proporción en su forma libre. Los ácidos fenólicos protocatecuico y sinápico fueron los componentes minoritarios del maíz azul, aún en menores cantidades que las antocianinas y los fitoesteroles (Smorowska *et al.*, 2021).

El contenido de flavonoides reportado para los granos azules fue de 0.282 a 1.739 mg de equivalentes de quercetina/ g muestra en base seca y de 0.055 a 0.344 mg de equivalentes de catequina (EC)/ g extracto seco. El valor más alto corresponde al cuantificado en la variedad italiana, VA522w x Azul Rossa Piave x Mex 7.2, y el más bajo al detectado en los genotipos sembrados en Querétaro, México.

La concentración de carotenoides determinada en el grano azul maduro fue de 0.002 mg de carotenoides totales por cada gramo (Giordano *et al.*, 2018a y Giordano *et al.*, 2018b). Anteriormente, Sheng *et al.*, 2018 informó un valor de 0.0005 mg CT/g en maíz azul. La concentración de carotenoides detectada en grano

azul fue la más baja entre los maíces (Giordano *et al.*, 2018a y b), incluso menor que la encontrada en los elotillos morados muestreados en Chalorchaoenyng *et al.*, 2017.

La zeaxantina fue la xantofila predominante en el híbrido *Índigo Blue*, no obstante, en la variedad analizada por Suriano *et al.*, 2021 no se encontró.

Los fitoesteroles se encontraron en concentraciones de alrededor de 0.7 mg/g de harina (Smorowska *et al.*, 2021).

El análisis por cromatografía líquida de alta resolución reveló que los compuestos mayoritarios en el grano azul fueron el betasitosterol. Se estima que este esteroide estuvo presente en una concentración 3 veces mayor a la del campesterol y estigmastanol.

A2. Estigmas

El contenido total de compuestos polifenólicos en los estigmas cafés de la raza Cónico fue de 17.95 a 73.70 mg de CPT/ g muestra b.s. Mientras que en el extracto etanólico de los estigmas se encontró un contenido de polifenoles totales de 3.99 mg CPT/g muestra en base seca (Dong *et al.*, 2014).

Se evidenció la presencia de los ácidos hidroxicinámicos: ácido ferúlico, cumárico y clorogénico en los estigmas maduros.

Los estigmas correspondientes a la raza Cónico, exhibieron un contenido de 8.10 a 33.20 mg de equivalentes de quercetina/ g de muestra en b.s. El contenido de flavonoides totales reportado en los estigmas fue superior que el grano azul.

Los flavonoides presentes en los estigmas fueron metoximaysina, apimaysina, luteolina y cianidina-3-glucósido. Los flavonoides encontrados en este órgano

difieren de los encontrados en el grano. En Casas *et al.*, 2014 se reportó una cantidad despreciable de maysina en los granos morado y amarillos.

De los resultados obtenidos tras la revisión se concluye que:

Las antocianinas fueron los compuestos más estudiados en las investigaciones, cuantitativa y cualitativamente hablando, en los órganos del maíz de grano azul.

Los trabajos encontrados llevaron a cabo el estudio de los órganos de la planta del maíz azul en las etapas posteriores a la madurez fisiológica.

La mayoría de los estudios se centraron en la cuantificación del contenido total de los compuestos, una proporción menor de autores también llevó a cabo un análisis por HPLC. Los valores de concentración de antocianinas y compuestos polifenólicos encontrados por Mendoza-López *et al.*, 2017 y Alvarado-Díaz *et al.*, 2019 y por Magaña-Cerino *et al.*, 2020 y Camelo-Méndez *et al.*, 2017b, en los estigmas y los granos azules, respectivamente, están por encima del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores. El resto de valores de concentración de compuestos bioactivos expuestos en el presente capítulo están dentro del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

De acuerdo con lo observado en Simic *et al.*, 2018, Loarca-Piña *et al.*, 2019 y Martínez-Martínez *et al.*, 2019, el grano azul tiene un contenido total de flavonoides, en equivalentes de catequina, más alto que el observado en los granos rojos.

El contenido de antocianinas y carotenoides observado en los granos azules fue menor al observado en otros maíces coloridos (Giordano *et al.*, 2018a y b).

El contenido de fitoesteroles observado por Smorowska *et al.*, 2021 en los granos azules es cercano al observado en los granos amarillos analizados por Smorowska *et al.*, 2021 y Hossain *et al.*, 2020.

Los maíces mexicanos fueron las muestras que presentaron el contenido más bajo de antocianinas.

El grano azul tiene las mismas antocianinas que el grano morado, pero en diferente proporción. Las antocianinas peonidina y petunidina, se encontraron en una menor concentración en el extracto de grano de maíz azul, mientras que, las antocianinas monoaciladas en una mayor proporción.

Los estigmas cafés maduros son buenas fuentes de flavonoides.

Se identificaron los mismos compuestos en el estigma y en el grano, a excepción de las flavonas, que solo se encontraron en el estigma.

Los compuestos bioactivos identificados en los órganos ya se han identificado en trabajos anteriores.

CAPÍTULO 4

Antocianinas y otros compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz rojo durante su desarrollo



Figura 18. Maíces rojos

Nota. Bloody Butcher Corn [fotografía]. 2022, Glen Seeds (<https://www.glenseeds.co.za/products/bloody-butcher>)

INTRODUCCIÓN

Las razas mexicanas Mixteco, Elotes occidentales, y Cónico, la raza estadounidense Flor del Rio y los genotipos italianos *Rostrato vinato*, *Rostrato rosso*, *Ottofile rosso* y *Pignoletto rosso* presentan un color rojizo en los granos.

En México, solo un 0.3% de la superficie sembrada con maíz se destina al cultivo de maíces de color (SIACON-SIAP, 2017 citado por Ayala *et al.*, 2019).

A continuación, se presenta la información encontrada tras la revisión de artículos emitidos en los años 2017 a 2021, sobre el contenido y el perfil de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz rojo.

La información encontrada se organizó en 2 apartados según el compuesto bioactivo analizado: en el apartado A se presenta el contenido y tipo de antocianinas encontrado en los órganos de la planta y en el B. el contenido y tipo de polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles encontrados en los órganos de la planta del maíz.

Cada apartado se divide en secciones de acuerdo con el órgano analizado; en este caso, 1. Grano, 2. Olote, 3. Brácteas, 4. Hojas y 5. Estigmas. Cada sección se subdivide según el estado de desarrollo en el que se analizó el maíz, que fue la etapa de leche (20-24 DDP) y madurez fisiológica o avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años), la cual incluye la madurez fisiológica y de cosecha.

En las tablas se exponen las concentraciones de antocianinas, polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles; reportadas en los artículos revisados. Las concentraciones encontradas fueron ajustadas a mg de compuesto bioactivo/ g de muestra en base seca. De igual manera, las cifras fueron redondeadas.

Mientras que, la concentración de los compuestos bioactivos caracterizados por HPLC se muestra en orden decreciente y con un color determinado en las tablas.

A

CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A.1 GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE LECHE

El grano de pericarpio rojizo-morado del maíz superdulce australiano presentó 0.102 miligramos de antocianinas totales por gramo, en el día 26 DDP (Hong *et al.*, 2020a)

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Los granos analizados corresponden a genotipos en su mayoría italianos, estadounidenses, mexicanos, no obstante, también se analizaron maíces provenientes de, Serbia, India y Perú. El intervalo encontrado en los granos del maíz rojo es de 0.007 a 56.2 mg de antocianinas totales/g de muestra en base seca, véase la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en el grano rojo durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad o raza	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Flor del Rio	EE. UU	0.354	Nankar <i>et al.</i> , 2017
Líneas 205 y 222	México	0.191 a 0.135	Mendoza <i>et al.</i> , 2017
Mazorca RP-1	México	0.045	
Mixteco	México	0.501 a 0.674	Herrera-Sotero <i>et al.</i> , 2017b
Rojo	EE. UU	56.200	Mazewski <i>et al.</i> , 2017
Rostrato vinato, Ottofile rosso y Pignoletto rosso	Italia	<0.015	Giordano et al 2018 ^a
16 Red	NE	0.039	Liu, <i>et al.</i> , 2018
Rostrato rosso	Italia	5.061	Rochetti <i>et al.</i> , 2018
Palomero rojo oscuro	Serbia	0.574	Simic <i>et al.</i> , 2018
Pepitillo x elotes occidentales #19,17 y 2	México	0.100	Broa Rojas <i>et al.</i> , 2019
Elotes occidentales x Pepitilla #13	México	0.623	
Elotero de Sinaloa x Tabloncillo #1	México	0.250	
Elotes Occidentales #12	México	0.050	
Elotes cónicos x Elotero de Sinaloa #11	México	0.050	
Huimilpan, San Juan del Rio y El Márquez	México.	0.039 a 0.121	Loarca-Piña <i>et al.</i> , 2019
Rojo RJ	México	0.007 a 0.361	Martínez-Martínez <i>et al.</i> , 2019
Rojo RJ	México	0.207	
Rojo	México	0.179	
Granada	Perú.	0.127 a 0.033	Gálvez <i>et al.</i> , 2019
Aleurona cereza (CAM)	Australia	0.094	Hong et al 2020b
Rojo Refugio de Cedillo.	México	0.247	Rodríguez-Salinas <i>et al.</i> , 2020
Rostrato rosso	Italia	0.039	Suriano <i>et al.</i> , 2021
Formentone ottofile rosso	Italia	0.007	Capocchi <i>et al.</i> , 2017
Rostrato vinato	Italia.	<0.015	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^a
Ottofile rosso	Italia.	<0.015	
Rostrato vinato	Italia.	<0.015	Giordano <i>et al.</i> , 2018b
Ottofile rosso	Italia.	<0.015	
Rojo	India.	NE	Hossain <i>et al.</i> , 2018
Progenie S1	NE	0.370	Stevanovic <i>et al.</i> , 2020
Rojo	India.	NE	Hossain <i>et al.</i> , 2020

Las antocianinas glucosiladas fueron estudiadas en todas las muestras, mientras que, las antocianinas mono y diaciladas fueron estudiadas en una menor proporción.

Tabla 4.2. Perfil de antocianinas encontrado en el grano rojo maduro mediante un análisis por HPLC

Grano rojo	mg CB/g b.s								
	PG3MG	C3MG	PG3DMG	PG3G	C3DMG	C3G	PN3MG	PN3DMG	PN3G
Hong et al., 2020b	0.108	0.062	0.057	0.040	0.037	0.035	0.014	0.011	0.006
	PG3MG	PG3DMG	PG3G	C3MG	C3DMG	C3G			
Hong et al., 2020a	0.035	0.032	0.012	0.011	0.010	0.006			
	C3MG	PN3MG	C3G	PN3G	PG3MG				
Mazewski et al., 2017	14.5	8.9	7.0	2.7	0.9				
	PG	CYA	DL	PEO					
Liu et al., 2018	0.015	0.003	ND	ND					
	C3G	PG3G	PN3G						
Nankar et al., 2017	15.9	15.9	11.3						
	C3G	PN3G	C3DMG						
Stevanovic et	0.08263	0.03679	0.03268						
NR	C3G	PG3G							
Simic et al., 2018	0.0958	0.0144							

A2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MASA

A 40 días ocurrida la polinización, la cantidad de antocianinas en los maíces TL/PF/KND10-11 de Tailandia fue de 18.42 mg de antocianinas totales por gramo de muestra b.s, en el olole de coloración morada (Khamphan *et al.*, 2018).

A3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MASA

Las brácteas moradas de las líneas TL/PF/KND10-11 de granos rojos, presentaron 13.62 miligramos de antocianinas/g b.s (Khamphan *et al.*, 2018).

A4. ESTIGMAS

ESTIGMAS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

El contenido de antocianinas totales fue estudiado en los estigmas rojizos correspondientes al maíz de raza Cónico de grano rojo en dos artículos. El intervalo encontrado en las muestras varió de 0.04 a 0.29 mg AT/g muestra b.s.

Tabla 4.3. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en los estigmas rojizos durante la etapa de madurez avanzada

Raza	Color de estigma	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Cónico	Rosa-rojo	México	0.16	Mendoza-López <i>et al.</i> , 2017
Cónico	Rojo oscuro	México	0.04	
Cónico	Rojo oscuro	NR	0.17	Alvarado-Díaz <i>et al.</i> , 2019
Cónico	Rosa-rojo	NR	0.29	

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. Granos rojos

Una concentración de 0.1024 mg de AT/ g de muestra b.s fue extraída partiendo de los granos inmaduros, es decir, en la etapa de leche, de una accesión de maíz dulce de pericarpio rojizo-morado (Hong *et al.*, 2020a).

En los granos en la madurez fisiológica se detectaron 0.007 a 56.2 mg de antocianinas por gramo de muestra en base seca. El valor máximo se obtuvo a través de la extracción emergente realizada por Mazewski *et al.*, 2017 a partir de los granos molidos de un maíz adquirido en Siskiyou Seeds, EE.UU. No obstante, mediante el método convencional, se extrajeron 0.007 a 5.06 mg de equivalentes de cianidin-3-glucósido/ g de harina de maíz rojo. Formentone ottofile rosso presentó la cantidad más baja de antocianinas y el maíz Granada peruano el contenido medio. Previamente, en Navarro *et al.*, 2018 y Bello-Pérez *et al.*, 2016 se reportó un intervalo de concentración cercano de 0.008 a 0.334 mg AT/g muestra b.s y 0.051 a 0.852 mg AT/g muestra b.s.

Mientras que la cianidin-3-glucósido y la pelargonidin-3-O-(6"-malonil-glucósido) fueron las antocianinas principales. No se detectaron las agliconas delphinidina y peonidina (Liu *et al.*, 2018) ni la antocianina petunidina-3-glucósido (Suriano *et al.*, 2021). No obstante, las antocianinas basadas en peonidina, las cuales aportan estabilidad al extracto, se presentaron en cantidades de al menos 6 µgramos. Así mismo, la petunidina-3-O-(6-malonilglucósido) cuya estructura también posee un grupo metoxilo, se presentó en una cantidad de 0.001 miligramos o 1 µgramo (Suriano *et al.*, 2021).

A2. Olote

En la etapa de masa, se cuantificó un contenido de 18.42 mg de AT/ g muestra b.s en el olote morado del maíz TL/PF/KND10-11(Khamphan *et al.*, 2018).

A3. Brácteas

Los autores antes mencionados también determinaron un contenido de 13.62 miligramos de antocianinas/ g muestra b.s en las brácteas moradas de la planta del maíz tailandés TL/PF/KND10-11. En el olote de estas variedades tailandesas de grano rojo, se concentró una cantidad mayor de antocianinas que la vista en las brácteas.

A4. Estigmas

El intervalo encontrado en los estigmas rojizos maduros de la raza Cónico estuvo entre 0.04 a 0.29 mg de antocianinas totales/g de muestra en b.s. Debido a su tonalidad rojiza, de los estigmas analizados por Alvarado-Díaz *et al.*, 2019, en los estigmas del maíz Cónico rojo tuvieron la concentración más elevada de antocianinas. En contraste, los estigmas morados estudiados durante la etapa de masa, han presentado una cantidad de 0.07 a 8.0 mg AT/ g muestra b.s (Sarepoua *et al.*, 2013; Simla *et al.*, 2016).

B

CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B.1 GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Los maíces muestreados proceden de Italia, México, Perú, India y Serbia. El intervalo de polifenoles totales encontrado en los granos rojos tuvo un valor de 0.33 a 7.59 miligramos por cada gramo de muestra.

Tabla 4.3. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en el grano rojo durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad o raza	Lugar	CPT(mg/g b.s)	Referencia
Mixteco	México	3.270 a 3.730	Herrera-Sotero <i>et al.</i> , 2017b
Rostrato vinato, Ottofile rosso y Pignoletto rosso	Italia	4.675 a 5.946	Giordano <i>et al.</i> 2018a
Rostrato rosso	Italia	7.590	Rochetti <i>et al.</i> , 2018
Palomero rojo oscuro	Serbia	2.882	Simic <i>et al.</i> , 2018
Huimilpan, San Juan del Rio y El Márquez	México	0.816 a 2.128	Loarca-Piña <i>et al.</i> , 2019
Rojo RJ	México	0.932 a 1.660	Martínez-Martínez <i>et al.</i> , 2019
Granada	Perú	0.333 a 0.338	Gálvez <i>et al.</i> , 2019
Rojo Refugio de Cedillo.	México	4.274	Rodríguez-Salinas <i>et al.</i> , 2020
Syn1r (proveniente de PR33A46)	Italia	1.650 FER	Landoni <i>et al.</i> , 2020
Syn2r (proveniente de DK6530)	2015	1.580	
Subp. Spinoso Nero di Esine della Val Camonica		1.460	
Rostrato rosso	Italia	2.373	Suriano <i>et al.</i> , 2021
Rostrato vinato y Ottofile rosso	Italia	6.217 y 4.890	Giordano <i>et al.</i> , 2018a
Rostrato vinato y Ottofile rosso	Italia	2.017 y 1.731	Giordano <i>et al.</i> , 2018b
Progenie S1	NE	1.100	Stevanovic <i>et al.</i> , 2020

La técnica de HPLC permitió identificar los ácidos hidroxicinámicos que se muestran en la tabla 4.4. La forma conjugada de los ácidos fenólicos se estudió en casi todas las muestras.

Tabla 4.4. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en el grano rojo maduro mediante un análisis por HPLC

Grano rojo	<i>mg CB/g b.s</i>				
Ranilla et al.,2019	DCUM	DFER	DCAF	DQR	FER
Libres	0.056	0.015	0.013	ND	ND
	FER	DFER	CUM		
Conjugados	1.357	0.211	0.195		
NR	CUM	GAL	FER		
Libron et al.,2021	0.068	0.014	0.002		
NR	CUM	GAL	FER		
Libron et al.,2021	0.08	0.02	0.00		
NR	CUM	GAL	FER		
Libron et al.,2021	0.074	0.015	0.002		
NR	CUM	GAL	FER		
Libron et al.,2021	0.057	0.012	0.002		
NR	CUM	GAL	FER		
Libron et al.,2021	0.070	0.010	0.002		
Conjugados	FER	CUM	SNP		
Giordano et al.,2018a	1.905	0.329	0.026		
NR	FER	CUM			
Simic et al., 2018	3.417	0.389			
Conjugados	FER	CUM			
Rodriguez-Salinas,	1.448	0.123			
Rochetti et al.,2018	FER	TYR	RESV		
Libres	1.15	0.82	0.05		
	FER	TYR	RESV		
Conjugados	3.18	0.14	0.02		

El contenido de flavonoides fue determinado en términos de equivalentes catequina, quercetina y rutina. El contenido de flavonoides determinado en las investigaciones revisadas fue de 0.0007 a 1.057 mg de equivalentes de catequina y 0.86 a 1.66 mg de equivalentes de quercetina por cada gramo de grano de maíz rojo en base seca.

Tabla 4.5. Contenido de flavonoides totales en (mg/g b.s) encontrado en el grano rojo durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	FT (mg de EC/g b.s)	Referencia
Palomero rojo oscuro	Serbia	0.284	Simic <i>et al.</i> , 2018
Huimilpan, San Juan del Rio y El Márquez	México	0.0007 a 0.023	Loarca-Piña <i>et al.</i> , 2019
Rojo RJ	México	0.080 a 0.014	Martínez-Martínez <i>et al.</i> , 2019
Rojo Refugio de Cedillo.	México	1.057	Rodríguez-Salinas <i>et al.</i> , 2020
Variedad o raza	Lugar	FT (mg de EQ/g b.s)	Referencia
Syn1r (proveniente de PR33A46)	Italia	0.918	Landoni <i>et al.</i> ,2020
Syn2r (proveniente de DK6530)	2015	0.860	
Subpoblacion de Spinoso Nero di Esine della Val Camonica		1.010	
Rostrato rosso	Italia	1.664	Suriano <i>et al.</i> , 2021
Variedad o raza	Lugar	FT (mg de ER/g b.s)	Referencia
Progenie S1	NE	0.1	Stevanovic <i>et al.</i> , 2020

La apigenina, isorhamnetin, luteolina, catequina y cianidina fueron los flavonoides identificados en los granos, las cantidades encontradas se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Perfil de flavonoides encontrado en el grano rojo maduro mediante un análisis por HPLC

Grano rojo	<i>mg CB/ g muestra b.s</i>			
	APIG	ISOH	PHLR	LTL
Stefanovic <i>et al.</i> , 2020	0.066	0.030	0.024	0.008
Rochetti <i>et al.</i> ,2018	CYA	LTL	CATQ	
Libres	4.40	0.24	0.13	
	CYA	LTL	CATQ	
Conjugados	0.66	0.06	0.05	

Los maíces analizados en el periodo de estudio son, en su mayoría, de origen italiano. Los granos rojos maduros presentaron 0.009 a 10.3 mg de carotenoides totales/ g de muestra en base seca.

Tabla 4.7. Contenido de carotenoides totales en (mg/g b.s) encontrado en el grano rojo durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	CT (mg/g b.s)	Referencia
Formentone ottofile rosso	Italia	0.020	Capocchi <i>et al.</i> , 2017
Rostrato vinato	Italia.	0.016	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^a
Ottofile rosso	Italia.	0.028	
Rostrato vinato	Italia.	0.017	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^b
Ottofile rosso	Italia.	0.027	
Rojo	India.	0.009	Hossain <i>et al.</i> , 2018
Progenie S1	NE	10.300	Stevanovic <i>et al.</i> , 2020

La cantidad de los carotenoides zeaxantina, luteína, β -criptoxantina y β -caroteno fue cuantificado en Giordano *et al.*, 2018a y Giordano *et al.*, 2018b.

Tabla 4.8. Perfil de carotenoides encontrado en el grano rojo maduro mediante un análisis por HPLC

Grano rojo	mg CB/ g b.s			
	ZEA	LUT	BCRX	BCAR
Giordano <i>et al.</i> , 2018a	0.018	0.005	0.002	0.001
	ZEA	LUT	BCRX	BCAR
Giordano <i>et al.</i> , 2018a	0.008	0.006	0.002	0.001

Una cantidad de 0.957 mg de fitoesteroles por gramo de muestra en base seca, se aisló a partir de un genotipo rojo adquirido en la India (Hossain *et al.*, 2020).

La concentración de los esteroides fue cuantificada en los granos rojos de un maíz de la India.

Tabla 4.9. Perfil de fitoesteroides encontrado en el grano rojo maduro mediante un análisis por HPLC

Grano rojo	mg CB/ g muestra b.s		
	B STS	CAMPE	STGME
Hossain <i>et al.</i> , 2020	0.722	0.151	0.084

B2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MASA

En las muestras provenientes de un TL/PF/KND10-11 se determinó 20.66 mg de polifenoles totales/ g muestra b.s (Khamphan *et al.*, 2018).

OLOTE EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Hernández *et al.*, 2018 extrajo los compuestos fenólicos del olole rojo proveniente de un maíz mexicano por medio de diferentes condiciones de extracción asistida por ultrasonido, las extracciones con tiempos 60 min y a 120 min con una relación solido: líquido(p/v) de 10 permitieron aislar 388.0 y 215.170 mg CPT/g muestra en base seca, respectivamente.

Se detectaron el ácido cumárico y algunos derivados de ácido cafeico en el olole rojo (Hernández *et al.*, 2018). Mientras que, la luteolina y los derivados de la apigenina fueron los flavonoides detectados en el olole estudiado.

B3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MASA

Las brácteas de color morado de los maíces tailandeses TL/PF/KND10-11 mostraron 29.25 mg de polifenoles totales/ g de muestra en base seca.

B4. HOJAS

HOJAS EN LA ETAPA APARICIÓN DE LOS ESTIGMAS

El contenido de polifenoles totales determinado en las hojas frescas de los maíces rojos IL 14 y 15 fue de 0.110 mg CPT/ g muestra en base seca (Mesarcovic *et al.*, 2017).

Los ácidos fenólicos libres, tanto hidroxicinámicos: ácido ferúlico y cumárico; como hidroxibenzoicos: ácido cafeico, gálico y protocatecuico, fueron identificados en las hojas. En la tabla 4.5 se presentan las cantidades reportadas en el artículo.

Tabla 4.10. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en el grano rojo maduro mediante un análisis por HPLC

Hojas de maíz rojo	mg CB/ g muestra b.s				
Libres	CAF	CUM	FER	GAL	PROCAT
Mesarcovic et al., 2017	0.209	0.043	0.030	0.009	0.008
Libres	FER	CUM	PROCAT	GAL	CAF
Mesarcovic et al., 2017	0.044	0.038	0.013	0.009	0.006

B5. ESTIGMAS

ESTIGMAS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Los estigmas rojos del maíz Cónico presentaron un contenido de 17.77 a 72.60 miligramos de polifenoles totales/ gramo de muestra en base seca.

Tabla 4.11. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en los estigmas rojizos durante la etapa de madurez avanzada

Raza	Color de estigma	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
Cónico	Rosa-rojo	México	32.53	Mendoza-López <i>et al.</i> , 2017
Cónico	Rojo oscuro	México	17.77	
Cónico	Rojo oscuro	NR	72.60	Alvarado-Díaz <i>et al.</i> , 2019
Cónico	Rosa-rojo	NR	62.00	

Se corroboró la presencia de tres ácidos hidroxicinámicos: el ácido clorogénico, el cumárico y el ferúlico; en el extracto de estigma maduro analizado por Alvarado Díaz *et al.*, 2019.

La concentración de flavonoides encontrada en los estigmas de color rojo se encuentra dentro del intervalo de 7.97 a 49.6 mg de equivalentes de quercetina /g de muestra b.s.

Tabla 4.12. Contenido de flavonoides totales en (mg/g b.s) encontrado en los estigmas rojizos durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Raza	Color de estigma	Lugar	FLA (mg de EQ /g b.s)	Referencia
Cónico	Rosa-rojo	México	26.02	Mendoza-López <i>et al.</i> , 2017
Cónico	Rojo oscuro	México	7.97	
Cónico	Rojo oscuro	NR	32.50	Alvarado-Díaz <i>et al.</i> , 2019
Cónico	Rosa-rojo	NR	49.60	

Las flavonas encontradas en los estigmas rojizos de la raza Cónico fueron la luteolina, metoxymaysina y apimaysina (Alvarado Díaz *et al.*, 2019).

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. Granos rojos

El intervalo de polifenoles totales que presentaron los granos rojos en estado de madurez fisiológica, fue de 0.33 a 7.59 mg CPT/ g muestra b.s. El maíz italiano *Rostrato rosso* presentó el contenido más alto de estos compuestos, mientras que, el maíz Granada de Perú presentó el contenido más bajo. El contenido de polifenoles totales del maíz italiano *Rostrato vinato* se sitúa en la mediana de los valores.

El perfil del grano rojo estuvo constituido por los ácidos fenólicos: ácido ferúlico, ácido cumárico, ácido cafeico, ácido gálico y ácido sinápico; y otros compuestos polifenólicos como lo son: tirosol y resveratrol. El ácido ferúlico fue el compuesto mayoritario en los extractos de la fracción insoluble. La concentración de ácido ferúlico en su forma conjugada-insoluble fue mayor a la del mismo ácido en su forma libre.

El contenido de flavonoides determinado en los granos de color carmín, en la madurez, fue 0.0007 a 1.057 mg de equivalentes de catequina/g de muestra en b.s y 0.86 a 1.66 mg de equivalentes de quercetina/ g de muestra b.s. El maíz Progenie S1 exhibió 0.1 mg de rutina por gramo de muestra en base seca (Stevanovic *et al.*, 2020). La concentración expresada en equivalentes de catequina es menor a la reportada por Ramos-Escudero *et al.*, 2012 en los granos morados.

Los flavonoides caracterizados en las muestras fueron los derivados de la apigenina, isorhamnetin, luteolina, cianidina y catequina. Los últimos tres flavonoides mencionados se encuentran en una mayor proporción en su forma libre, por otra parte, en los extractos de los granos anaranjados también analizados por Rochetti *et al.*, 2018, estos flavonoides se encuentran en concentraciones parecidas en su forma libre con respecto a su forma conjugada.

Los granos rojos presentaron un intervalo de 0.009 a 0.028 mg de carotenoides totales/ g de muestra en base seca. No obstante, la progenie S1 destacó por contener la cantidad más elevada de carotenoides con un valor de 10.3 mg/g b.s. El maíz rojo de la India fue el de menor contenido y *Formentone ottofile rosso* el de contenido medio. El grano rojo contiene una concentración de carotenoides equiparable a la observada en los granos amarillos muestreados en Sheng *et al.*, 2018 y Hu *et al.*, 2011, y de la mitad de la presentada en los maíces fortificados con carotenoides, esto es, 0.06 a 0.095 mg CT/g muestra b.s (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

En los granos rojos se identificaron cuatro carotenoides, de ellos, la zeaxantina fue el principal y el betacaroteno el minoritario. La concentración de zeaxantina vista en los granos rojizos es mayor a la reportada anteriormente en los granos amarillos por Hu *et al.*, 2011.

El contenido de fitoesteroles detectado en los granos de color rojo es de 0.957 mg FTS/ g b.s (Hossain *et al.*, 2020).

El betasitoesterol está presente en una concentración cuatro veces mayor al campesterol y una concentración ocho veces mayor a la del estigmasterol (Hossain *et al.*, 2020).

B2. Olote

En el olote proveniente de un TL/PF/KND10-11, durante la etapa de masa, se determinó un contenido de polifenólicos de 20.66 mg de CPT/ g de muestra en b.s (Khamphan *et al.*, 2018).

Mientras que, en la madurez fisiológica, Hernández *et al.*, 2018 extrajo 388.0 y 215.170 mg CPT/g muestra b.s, a partir del olote rojo de un maíz mexicano por medio de dos diferentes condiciones de extracción asistida por ultrasonido.

Se detectaron el ácido cumárico y algunos derivados de ácido cafeico en el olote rojo (Hernández *et al.*, 2018).

B3. Brácteas

En la etapa de masa, las brácteas moradas de los maíces TL/PF/KND 10-11 mostraron 29.25 mg de polifenoles totales/ g de muestra en base seca. Este contenido fue mucho mayor al encontrado en las brácteas del maíz analizado en (Dong *et al.*, 2014) y al de las brácteas de la variedad morada KKU-WX111031, durante la misma etapa (Simla *et al.*, 2016) (apéndice I).

B4. Hojas

El contenido de polifenoles totales determinado en las hojas frescas de las líneas IL 14 y 15, en la etapa de floración o R1, fue de 0.11 mg CPT/ g muestra en base seca (Mesarcovic *et al.*, 2017).

En las hojas se observó una cantidad menor de compuestos fenólicos que en las brácteas, quizás porque las brácteas eran de color morado y las hojas posiblemente eran verdes.

El ácido cumárico y el ácido gálico fueron el segundo y cuarto componente en las hojas del maíz rojo, en orden descendente de abundancia. Mientras que el ácido ferúlico se encuentra en el primer y tercer lugar. La concentración del ácido cumárico y del ácido ferúlico son equiparables.

B5. Estigmas

En los estigmas rojos del maíz Cónico se reportó un contenido de 17.77 a 72.60 mg de polifenoles totales/ g muestra en base seca.

Se corroboró la presencia de tres ácidos hidroxicinámicos: el ácido clorogénico, el cumárico y el ferúlico; en el extracto de estigma maduro analizado por Alvarado Díaz *et al.*, 2019.

El intervalo de concentración de flavonoides cuantificado en los estigmas de color rojo es de 7.97 a 49.6 mg de equivalentes de quercetina /g de muestra b.s.

Las flavonas encontradas en los estigmas o pelo de elote de la raza Cónico fueron la luteolina, metoxymaysina y apimaysina (Alvarado Díaz *et al.*, 2019). De estos, la luteolina ha sido identificada en el grano morado y amarillo pero la metoximaysina y la apimaysina no se han reportado en otra parte del maíz además de los estigmas de acuerdo con Colombo *et al.*, 2021.

De los resultados obtenidos tras la revisión se concluye que:

Las antocianinas fueron los compuestos más estudiados, cuantitativa y cualitativamente hablando, en los órganos del maíz de grano rojo.

Los trabajos encontrados llevaron a cabo el estudio de los órganos de la planta del maíz rojo en distintas etapas del desarrollo.

La mayoría de los estudios se centraron en la cuantificación del contenido total de los compuestos, una proporción menor de autores también llevó a cabo un análisis por HPLC.

El dato de concentración de antocianinas obtenida a partir de los granos de un maíz rojo adquirido en Siskiyou Seeds (Mazewski *et al.*, 2017), el del contenido de carotenoides totales en los granos rojos provenientes de la progenie S1 (Stevanovic *et al.*, 2020) y el del contenido de compuestos polifenólicos en el olote rojizo de un maíz mexicano (Hernández *et al.*, 2018) son mayores a los reportado en trabajos anteriores.

El resto de valores de concentración de compuestos bioactivos expuestos en el presente capítulo están dentro del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

El contenido de compuestos fenólicos totales (CPT) fue más alto en las brácteas, los estigmas y el raquis que en los granos rojos.

Los olotes morados y las brácteas moradas estudiados por Khamphan *et al.*, 2018 fueron los órganos del maíz rojo con el contenido más alto de antocianinas.

El contenido de antocianinas observado en los estigmas es equiparable al contenido promedio observado en los granos rojos de maíz.

El contenido de carotenoides encontrado en los granos rojos es equiparable al encontrado en los granos amarillos.

Se identificaron los mismos compuestos en el grano rojo que en el grano morado con excepción de la antocianina petunidina-3- glucósido, la cual aporta estabilidad al extracto poseer un grupo metoxilo en su estructura.

Las antocianinas monoaciladas predominaron en el perfil de los extractos del grano rojo.

Los órganos de la planta contienen los mismos compuestos que el grano, pero en diferente proporción, a excepción de algunas flavonas, las cuales se presentaron en los estigmas, pero no en los demás órganos.

Los compuestos bioactivos identificados en los órganos ya se han identificado en trabajos anteriores.

CAPÍTULO 5

Antocianinas y otros compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz rosa durante su desarrollo



Figura 19. Maíz rosa

Nota. Adaptado de Maíz rosa [fotografía]. 2017. Gobierno de la Ciudad de México (<https://www.sepi.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/por-iniciar-cosecha-de-maiz-criollo-en-la-ciudad-de-mexico>).

INTRODUCCIÓN

El maíz rosa se cultiva en Nextipac, México y en Estados Unidos. En México se utiliza para hacer pozole, gorditas y atole (Ron Parra *et al.*, 2006 citado por Barrientos *et al.*, 2018).

A continuación, se presenta la información encontrada tras la revisión de artículos emitidos en los años 2017 a 2021, sobre el contenido y el perfil de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz rosa. La información encontrada se organizó en 2 apartados según el compuesto bioactivo analizado: en el apartado A. se presenta el contenido y tipo de antocianinas encontrado en los órganos de la planta y en el B. el contenido y tipo de polifenoles, flavonoides, carotenoides, fitoesteroles, policosanoles y xilanos encontrado en los órganos de la planta del maíz.

Cada apartado se divide en secciones de acuerdo con el órgano analizado; en este caso 1. Granos. A su vez, cada sección, se subdivide según el estado de desarrollo de la planta en: etapa de ampolla (10-15 DDP), y madurez fisiológica o avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años), que incluye la madurez fisiológica y de cosecha.

En las tablas se exponen las concentraciones de antocianinas, polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles; reportadas en los artículos revisados. Las concentraciones encontradas fueron ajustadas a mg de compuesto bioactivo/ g de muestra en base seca. De igual manera, las cifras fueron redondeadas.

Mientras que, la concentración de los compuestos bioactivos caracterizados por HPLC se muestra en orden decreciente y con un color determinado en las tablas.

El maíz rosa fue el menos estudiado en el periodo 2017 a 2021, Paulsmeyer *et al.*, 2017 fueron los que estudiaron las antocianinas por HPLC en distintos genotipos de aleurona rosa.

A

CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Paulsmeyer *et al.*, 2017 estudiaron las antocianinas por HPLC en 398 accesiones de maíz. En la tabla 5.1 se muestra el contenido de antocianinas encontrado en algunas de las accesiones de aleurona rosa analizadas en este trabajo. Las accesiones estudiadas fueron adquiridas en empresas estadounidenses y mexicanas. Las muestras presentaron 0.003 a 0.17 mg de antocianinas totales/g de muestra b.s.

Tabla 5.1. Contenido de antocianinas totales en (mg/g b.s) encontrado en los granos rosas durante la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Nayarit-191-B	México	0.045	Paulsmeyer <i>et al.</i> , 2017
CHIH		0.018	
PUEB252		0.029	
TLAX 252		0.031	
QUER 94		0.170 a 0.017	
JALI 633		0.017	
SNLP 75-B		0.016	
DURA 215-#		0.015	
PI 484768 y 490945 San Luis Potosí 86 y 22		EE. UU	
PI- (489081,485071,489115 y 490935)- Puebla-456, 403,498 y 219	0.005 a 0.035		
PI 483517 Guanajuato 31	0.019		
PI 273824 Tlaxcala	0.023		
PI 511613 Nicaragua 115	0.029		
MGCSC 707B	EE. UU	0.128	Paulsmeyer <i>et al.</i> , 2017
Ames 25207 Burford 2	EE. UU	0.027	
Ames 6084 Z14-008		0.027	
Ames 8427 Córdoba 349		0.010	
Smoke Signals	EE. UU	0.016	
Painted Mountain		0.009	
Rosa	México	NE	Barrientos <i>et al.</i> ,2018

En las muestras analizadas se identificaron tres tipos de antocianinas glucosiladas, tres tipos de antocianinas monoaciladas, tres tipos de antocianinas diaciladas y tres tipos de antocianidinas.

Tabla 5.2. Perfil de antocianinas encontrado en el grano rosa maduro mediante un análisis por HPLC

Grano rosa	mg CB/ g muestra b.s								
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	C3MG	PG3G	PN3MG	C3DMG	C3G	PN3G	PG3DMG	PN3DMG
	25.52	17.68	17.66	8.34	8.34	7.62	6.64	4.72	0.25
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3DMG	PG3G	C3MG	PN3MG	C3DMG	C3G	PN3G	PN3DMG
	24.15	18.85	14.23	10.9	7.03	7.03	4.16	3.98	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3G	PG3DMG	C3MG	C3G	PN3MG	C3DMG	PN3G	PN3DMG
	28.55	20.81	18.7	6.68	4.44	4.22	4.22	1.02	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3G	PG3MG	PG3DMG	C3G	C3MG	PN3G	PN3MG	C3DMG	PN3DMG
	26.08	25.54	13.5	6.3	6.26	4.22	4.06	4.06	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3DMG	PG3G	C3MG	PN3MG	C3DMG	C3G	PN3G	PN3DMG
	33.31	21.97	12.37	4.62	3.77	3.77	1.93	1.35	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3G	PG3DMG	C3MG	C3G	PN3MG	C3DMG	PN3G	PN3DMG
	33.3	25.29	15.37	5.84	2.69	1.06	1.06	0.3	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3G	PG3DMG	C3MG	C3G	PN3MG	C3DMG	PN3G	PN3DMG
	35.87	26.01	13.13	6.91	3.81	1.19	1.19	0.23	0.22
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3DMG	PG3G	C3G	C3MG	PN3MG	C3DMG	PN3G	PN3DMG
	29.25	24.34	16.96	3.82	3.81	1.79	1.79	0	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3G	PG3DMG	C3MG	PN3MG	C3DMG	PN3G	C3G	PN3DMG
	41.09	16.83	13.21	5.29	2.36	2.36	2.33	1.83	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3DMG	PG3G	C3MG	C3G	PN3MG	C3DMG	PN3G	PN3DMG
	34.78	20.55	12.64	3.33	1.76	0.73	0.73	0.61	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3DMG	PG3G	C3MG	C3G	PN3MG	C3DMG	PN3G	PN3DMG
	35.51	18.86	14.33	3.77	2.32	1.71	1.71	1.46	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3DMG	C3MG	PG3G	C3G	PN3MG	C3DMG	PN3G	PN3DMG
	33.2	20.34	9.21	8.78	6.13	5.97	5.97	0.99	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3MG	PG3DMG	PG3G	C3MG	C3G	PN3MG	C3DMG	PN3G	PN3DMG
	35.04	21.72	12.74	4.42	2.04	1.37	1.37	0.95	0
Paulsmeyer et al., 2017	PG3DMG	PG3MG	PG3G	C3MG	PN3MG	C3DMG	C3G	PN3G	PN3DMG
	29.65	28.47	7.43	6.99	3.75	3.75	2.54	0.81	0
	C3MG	PG3MG	C3G	PG3G	PN3G	PN3MG			
Suriano et al., 2021	0.06	0.04	0.01	0.009	0.004	0.004			
	C3G	PG3G							
Simic et al., 2018	0.14	0.02							

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. Granos rosas

El intervalo de concentración de antocianinas cuantificado en los granos del maíz rosa fue de 0.003 a 0.17 mg de AT/g muestra b.s. Este intervalo se determinó a partir de los datos obtenidos del trabajo de (Paulsmeyer *et al.*, 2017). Los valores de antocianinas encontrados en este trabajo son similares a los reportados para este maíz colorido en la revisión de Bello-Pérez *et al.*, 2016 y la revisión de Navarro *et al.*, 2018.

Las antocianinas basadas en pelargonidina fueron las que se encontraron en una mayor cantidad en las muestras. Esto concuerda con los resultados de Peniche-Pavía *et al.*, 2020 que concluye que las antocianinas basadas en pelargonidina predominan en las variedades de maíz rosa a rojo. La peonidina-3-glucósido fue la antocianina glucosilada menos abundante, mientras que, el peonidin-3-malonilglucósido no se detectó. Las antocianinas derivadas de la peonidina aportan estabilidad al extracto, por lo que, al tener un pequeño porcentaje de estas antocianinas, el extracto de maíz rosa podría no ser apto para su aplicación como colorante alimentario. No obstante, las antocianinas monoaciladas son las antocianinas principales en el perfil, a diferencia del grano morado, en el que las antocianinas no aciladas ocupan el primer puesto. Zhao *et al.*, 2017 citado por Paulsmeyer *et al.*, 2017, ha visto una relación directamente proporcional entre la proporción de acilación y la estabilidad de los extractos.

B

CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE PRE-AMPOLLA

El tipo de ácidos fenólicos en sus formas libre y conjugada, así como la cantidad, fue estudiado en los granos rosas en el quinto día posterior a la polinización (Giordano *et al.*, 2017).

Tabla 5.3. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en el grano rosa inmaduro mediante un análisis por HPLC

Grano rosa	mg CB/ g muestra b.s		
Giordano et al., 2017	CLRG	FER	VNL
Libres 5 DDP	0.499	0.169	0.064
Giordano et al., 2017	FER	CUM	CAF
Conjugados 5DDP	3.887	0.761	0.102

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Tras el estudio de la variedad italiana *Pignoletto rosso*, Giordano *et al.*, 2018 a y Giordano *et al.*, 2018b encontraron una concentración de 2.09 a 5.32 mg de polifenoles totales por gramo de granos en base seca.

El trabajo de los autores Giordano *et al.*, determinó el contenido de ácidos fenólicos en su forma libre y en su forma conjugada en los granos rosas de una variedad italiana en estado maduro.

Tabla 5.4. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en el grano rosa maduro mediante un análisis por HPLC

Grano rosa	mg CB/g muestra b.s		
Giordano et al., 2018 a	FER	CUM	SNP
Conjugados	2.015	0.026	0.021
Giordano et al., 2018b	FER	CUM	SNP
Conjugados	1.833	0.234	0.021
Giordano et al., 2017	FER	CLRG	VNL
Libres 73 DDP	0.002	0.012	ND
Giordano et al., 2017	FER	CUM	CAF
Conjugados 73 DDP	2.204	0.255	0.025

La cantidad de carotenoides cuantificada en los granos del maíz *Pignoletto rosso* fue de 0.028 a 0.029 mg de carotenoides totales/ g muestra en base seca (Giordano et al., 2018^a y Giordano et al., 2018b).

La caracterización por medio de una cromatografía líquida de alta resolución, HPLC por sus siglas en inglés, reveló la presencia de tres xantofilas y un caroteno en los granos de tonalidad rosa.

Tabla 5.5. Perfil de carotenoides encontrado en el grano rosa maduro mediante un análisis por HPLC

Grano rosa	mg CB/g muestra b.s			
Giordano et al., 2018 a	ZX	LUT	BCX	BCAR
	0.016	0.007	0.003	0.002
Giordano et al., 2018b	ZX	LUT	BCX	BCAR
	0.016	0.008	0.003	0.002

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. Granos rosas

Desde los 5 días pasada la polinización, el grano contó con cinco ácidos fenólicos: ácido clorogénico, ácido ferúlico y ácido vanílico en su forma libre; y ácido ferúlico, ácido cumárico y ácido cafeico en su forma conjugada. La concentración del ácido ferúlico en su forma conjugada supera a la del mismo compuesto en su forma libre.

En los granos rosas ya maduros se encontró una concentración de 2.09 a 5.32 mg de polifenoles totales/ g muestra en base seca (Giordano *et al.*, 2018a y Giordano *et al.*, 2018b)

En el grano llegado a la madurez de cosecha, el contenido de ácido ferúlico y cumárico en su forma conjugada fue menor al detectado en la etapa de pre-ampolla. En cuanto a la fracción libre, el ácido clorogénico siguió predominando sobre el ácido ferúlico en un estado de madurez más avanzado. El perfil de ácidos fenólicos cambió a lo largo del desarrollo de la mazorca (Giordano *et al.*, 2017).

Los granos del maíz *Pignoletto rosso*, exhibieron 0.028 a 0.029 mg de carotenoides totales/ g muestra en base seca (Giordano *et al.*, 2018^a y Giordano *et al.*, 2018b). El contenido de carotenoides determinado en los granos rosas fue próximo al que se determinó en los granos amarillos estudiados en Hu *et al.*, 2011.

La zeaxantina y la betacriptoxantina fueron la xantofila y el carotenoide provitamina A más abundantes los granos rosas de los genotipos italianos (Giordano *et al.*, 2018a y b).

De los resultados obtenidos tras la revisión de artículos publicados en el periodo 2017-2021 se concluye que:

A comparación con otros maíces coloridos, el maíz rosa fue el menos estudiado.

El grano fue el único órgano estudiado de la planta del maíz rosa.

Los trabajos encontrados llevaron a cabo el estudio de los órganos de la planta del maíz rosa en la madurez de cosecha.

Las antocianinas fueron los compuestos estudiados en un mayor número de muestras, cuantitativa y cualitativamente hablando.

Las antocianinas monoaciladas predominaron en el perfil de los extractos del grano rosa.

Los valores de concentración de antocianinas expuestos en el presente capítulo están dentro del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

Los granos rosas presentaron un contenido de carotenoides próximo que al que se ha reportado en los granos amarillos.

Los compuestos bioactivos identificados en los órganos ya se han identificado en trabajos anteriores.

Antocianinas y otros compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz naranja durante su desarrollo



Figura 20. Maíces naranjas

Nota. Maíces naranjas [fotografía]. McCutcheon,S., 2020, CIMMYT (<https://www.cimmyt.org/es/noticias/socios-en-la-nutricion/>)

INTRODUCCIÓN

El maíz naranja junto con el maíz blanco son los maíces más cultivados en el área de los Trópicos (Alamu *et al.*,2020).

En Nigeria y otros países africanos se consume se cosecha en estado inmaduro o fresco y se consume ya sea cocido o rostizado. La modificación genética y la biofortificación han sido las estrategias para desarrollar variedades de maíz de polinización abierta con altos niveles de carotenoides provitamina A (Alamu *et al.*, 2020).

A continuación, se presentan las concentraciones de compuestos bioactivos cuantificadas en diferentes partes de la planta del maíz de grano naranja: grano, olote, hojas y brácteas. Los compuestos fueron caracterizados en las etapas tempranas del desarrollo de la mazorca ya que así es como se consume comúnmente este maíz colorido.

Los compuestos fenólicos se estudiaron en los órganos de la planta, mientras que, los carotenoides solo fueron estudiados en los granos naranjas. Los policosanoles y xilanos no fueron estudiados en los órganos de la planta del maíz naranja.

A continuación, se presenta la información encontrada tras la revisión de artículos emitidos en los años 2017 a 2021, sobre el contenido y el perfil de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz naranja.

La información encontrada se organizó en 2 apartados según el compuesto bioactivo analizado. En el apartado A. se presenta el contenido y tipo de antocianinas encontrado en los órganos de la planta y en el B. el contenido y tipo de polifenoles, flavonoides, carotenoides, policosanoles, fitoesteroles y xilanos encontrado en los órganos de la planta del maíz.

Cada apartado se divide en secciones de acuerdo con el órgano analizado; en este caso, 1. Granos, 2. Olote, 3. Brácteas y 4. Hojas. A su vez, cada sección se subdivide según el estado de desarrollo de la planta en: etapa de aparición de los estigmas o floración (R1), etapa de leche (20-24 DDP), etapa de masa (28-46 DDP) y madurez fisiológica o avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años).

En las tablas se exponen las concentraciones de antocianinas, polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles; reportadas en los artículos revisados. Las concentraciones encontradas fueron ajustadas a mg de compuesto bioactivo/ g muestra en base seca. De igual manera, las cifras fueron redondeadas.

Mientras que, la concentración de los compuestos bioactivos caracterizados por HPLC se muestra en orden decreciente y con un color determinado en las tablas.

A

CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MASA

Como se ve en la siguiente tabla, el contenido de antocianinas totales cuantificado en el olote blanco de cuatro variedades de maíz naranja, en el día 40 después de la polinización, se encuentra dentro del intervalo 0.007 a 0.04 mg AT/ g muestra b.s.

Tabla 6.1. Contenido de antocianinas totales en (mg/g b.s) encontrado en el olote blanco durante la etapa de masa

Variedad	Color del olote	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Pioneer 4546	Blanco	Tailandia	0.009	Khamphan et al.,2018
Pacific 339	Blanco	Tailandia	0.007	
Takfa 1,2 y 3	Blanco	Tailandia	0.020 a 0.040	Khamphan et al.,2020
Nakhon Sawan 1 y 3	Blanco	Tailandia	0.20 0.030	

A2. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MASA

Khamphan et al., 2018 y 2020 analizaron las antocianinas en las brácteas verdes de cuatro genotipos de Tailandia. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de 0.011 a 0.040 mg de antocianinas/ g muestra en base seca.

Tabla 6.2. Contenido de antocianinas totales en (mg/g b.s) encontrado en las brácteas verdes durante la etapa de masa

Variedad	Color de las brácteas	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
Pioneer 4546	Verde	Tailandia	0.018	Khamphan <i>et al.</i> , 2018
Pacific 339	Verde	Tailandia	0.011	
Takfa 1,2 y 3	Verde	Tailandia	0.020	Khamphan <i>et al.</i> , 2020
Nakhon Sawan 1 y 3	Verde	Tailandia	0.020 a 0.040	

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. Orote

El contenido de antocianinas totales determinado en el orote blanco de cuatro variedades de granos naranjas, en el día 40 después de la polinización, se encuentra dentro del intervalo 0.007 a 0.04 mg de AT/ g b.s. El contenido más alto de antocianinas fue el determinado en el orote de las variedades Takfa y Nakhon Sawan, mientras que el más bajo fue que se detectó en los órganos de Pioneer 4546 y Pacific 339. Si bien el orote presentó antocianinas a pesar de presentar un color convencional, comparado con el orote morado de la planta del maíz morado, la cantidad que posee es despreciable o insignificante.

A2. Brácteas

La concentración de antocianinas detectada en las brácteas verdes se encuentra dentro del intervalo de 0.011 a 0.040 mg de AT/ g muestra en base seca. Los maíces *Takfa* y *Nakhon Sawan* exhibieron un contenido de antocianinas dos veces más alto en las brácteas que los maíces *Pacific 339* y *Pioneer 4546*. El raquis blanco y las brácteas verdes del maíz naranja exhibieron una cantidad promedio de antocianinas cercana a la del grano, de 20 µg por cada gramo.

B

CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE LECHE

En el periodo 2017 a inicios del 2021 se llevó a cabo el estudio de dos maíces fortificados con zeaxantina provenientes de Australia. La concentración de carotenoides determinado en los híbridos estudiados a 20 o 21 días después de la polinización, fue de 0.044 a 0.075 mg CT/g muestra b.s.

Tabla 6.3. Contenido de carotenoides totales en (mg/g b.s) en los granos naranjas inmaduros

Variedad	Lugar	CT (mg/g b.s)	Referencia
Híbrido dulce fortificado con zeaxantina "2-9x11-7"	Australia	0.075	Calvo-Brenes <i>et al.</i> ,2020
Híbrido dulce fortificado con zeaxantina "14-6x10-3"	Australia	0.044	Calvo-Brenes <i>et al.</i> ,2019

El perfil de carotenoides de los granos naranjas, estudiado a los 20 días después de la polinización, estuvo compuesto por dos carotenos y cinco xantofilas.

Tabla 6.4. Perfil de carotenoides encontrado en los granos naranjas mediante un análisis por HPLC

Grano naranja	mg CB/g muestra b.s						
21 DDP	ZX	LUT	BCAR	BCX	ANTX	ZNX	ACAR
Calvo-Brenes et al.,2020	0.042	0.009	0.007	0.006	0.004	0.004	0.002
20 DDP	ZX	LUT	BCX	BCAR	ACAR		
Alamu et al.,2018	0.011	0.006	0.003	0.002	0.0005		
20 DDP	ZX	LUT	BCX				
Alamu et al.,2019	0.009	0.007	0.002				
20 DDP	ZX	LUT					
Calvo-Brenes et al., 2019	0.031	0.002					

GRANOS EN LA ETAPA DE MASA

En el día 29 posterior al inicio de la polinización, los granos naranjas del híbrido dulce fortificado con zeaxantina "14-6 x 10-3" exhibió un contenido de 0.054 mg de carotenoides/ g muestra b. s (Calvo-Brenes *et al.*, 2019).

El contenido de carotenoides fue monitoreado en las muestras a lo largo de la etapa de masa. En la siguiente tabla se muestra la concentración de cada carotenoide encontrado.

Tabla 6.5. Perfil de carotenoides encontrado en los granos naranjas mediante un análisis por HPLC

Grano naranja	mg CB/ g muestra b.s				
34 DDP	ZX	LUT	BCX	BCAR	ACAR
Alamu et al.,2018	0.011	0.007	0.003	0.002	0.001
34 DDP	ZX	LUT	BCX		
Alamu et al.,2019	0.013	0.010	0.004		
29 DDP	ZX	LUT			
Calvo-Brenes et al., 2019	0.037	0.002			

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Hossain *et al.*, 2021 y Beta *et al.*, 2018 reportaron un contenido de 1.36 y 1.665 miligramos de polifenoles totales por gramo de muestra en el maíz con pericarpio naranja tipo *flint* y un maíz naranja africano, respectivamente.

La fracción fenólica tanto libre como conjugada fue estudiada en el trabajo de Rochetti *et al.*, 2018, mientras que la fracción libre se caracterizó en las investigaciones de Beta *et al.*, 2018 y probablemente en Libron *et al.*, 2021 por el método de extracción empleado.

Tabla 6.6. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en los granos naranjas mediante un análisis por HPLC

Grano naranja	mg CB/ g muestra b.s		
	CUM	GAL	FER
Libron et al., 2021	0.052	0.026	0.004
Libron et al., 2021	0.076	0.014	0.002
Libron et al., 2021	0.044	0.015	0.002
Libres	FER	TYR	RESV
Rochetti et al., 2018	0.589	0.353	0.012
Conjugados	FER	TYR	RESV
Rochetti et al., 2018	2.428	0.076	0.011
Libres	FER	CUM	
Beta et al., 2018	0.422	0.006	

Los autores Hossain *et al.*, 2021 encontraron un contenido de flavonoides de 0.108 miligramos de catequina por gramo de muestra del grano del maíz de pericarpio anaranjado *Flint*.

El estudio de los flavonoides cianidina, luteolina y catequina fue estudiado en su forma libre y en su forma conjugada por los autores Rochetti *et al.*, 2018.

Tabla 6.7. Perfil de flavonoides encontrado en los granos naranjas mediante un análisis por HPLC

Grano naranja	mg CB/ g muestra b.s		
	CYA	LTL	CATQ
Libres	CYA <td>LTL <td>CATQ</td> </td>	LTL <td>CATQ</td>	CATQ
Rochetti et al., 2018	0.753	0.041	0.034
Conjugados	CYA <td>LTL <td>CATQ</td> </td>	LTL <td>CATQ</td>	CATQ
Rochetti et al., 2018	0.781	0.045	0.043

En cinco trabajos se realizó el análisis de carotenoides en los granos de maíz maduros de pericarpio o endospermo naranja. La concentración de carotenoides vista en las muestras ronda los 0.003 a 0.061 mg de carotenoides/ g b.s.

Tabla 6.8. Contenido de carotenoides totales en (mg/g b.s) encontrado los granos naranjas durante la madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	CT (mg/g b.s)	Referencia
Maíz naranja	África.	0.053	Beta <i>et al.</i> ,2018
OPVI endospermo naranja	EE.UU.	0.054	Nkata <i>et al.</i> ,2019
2013 y 2015 Orange ISO	NE	0.047 a 0.061	Ortiz <i>et al.</i> ,2020
Línea GM Ph3		0.031	Moreno <i>et al.</i> ,2020
Línea GM BKT		0.014	
Pericarpio naranja flint type	India.	0.003	Hossain <i>et al.</i> ,2021

El tipo y cantidad de carotenoides presentes en los granos naranjas de distintas variedades de maíz se presenta en la tabla 6.9.

Tabla 6.9. Perfil de carotenoides encontrado en los granos naranjas mediante un análisis por HPLC

Grano naranja	mg CB/g muestra b.s				
	LUT	ZX	BCAR	BCX	
Elemosho <i>et al.</i> , 2020	0.006	0.005	0.003	0.001	
	ZX	BCAR	BCX	LUT	
Hossain <i>et al.</i> ,2021	0.007	0.006	0.005	0.003	
	LUT	ZX	BCAR	BCX	
Beta <i>et al.</i> , 2018	0.016	0.010	0.009	0.006	
	ZX	BCAR	LUT	BCX	ACAR
Menkir <i>et al.</i> , 2017	0.007	0.003	0.003	0.003	0.0002
	ZX	BCX	BCAR	LUT	
Taleon <i>et al.</i> , 2017	0.007	0.005	0.004	0.003	
	ZX	LUT	BCX	ACX	
Nkata <i>et al.</i> , 2019	0.037	0.007	0.003	0.001	
	LUT	BCAR	ZX	BCX	
Ortiz <i>et al.</i> , 2019	0.017	0.007	0.004	0.001	

Hossain *et al.*,2021 aisló 1.76 mg de fitoesteroles por gramo a partir de los granos de maíz tipo “*Flint*” de pericarpio naranja.

Tres esteroides fueron identificados en los granos naranjas mediante un análisis HPLC por los investigadores Hossain *et al.*, 2021, véase tabla 6.10.

Tabla 6.10. Perfil de fitoesteroles encontrado en los granos naranjas mediante un análisis por HPLC

Grano naranja	mg CB/ g muestra b.s		
	BSTS	CAMPE	STIGME
Hossain et al.,2021	1.379	0.246	0.143

B2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MASA

Como se ve en la siguiente tabla, el contenido total de compuestos fenólicos fue analizado en el olole blanco de la planta del maíz naranja. El contenido reportado en las muestras el día número 40 después de iniciada la polinización, fue de 0.54 a 0.936 miligramos de CPT/ g muestra en base seca.

Tabla 6.11. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en el olole blanco durante la etapa de masa

Variedad	Color del olole	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
Pioneer 4546	Blanco	Tailandia	0.786	Khamphan et al., 2018
Pacific 339	Blanco		0.936	
Takfa 1,2 y 3	Blanco	Tailandia	0.540 a 0.820	Khamphan et al., 2020
Nakhon Sawan 1 y 3	Blanco		0.580 a 0.680	

B3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MASA

En Khamphan et al., 2018 y 2020 se llevó a cabo el análisis de los compuestos fenólicos en las brácteas verdes de cuatro genotipos de Tailandia. El valor de polifenoles totales determinado en las muestras fue de 0.2 a 1.67 mg de CPT/ g en base seca.

Tabla 6.12. Contenido de polifenoles totales en (mg/g b.s) encontrado en las brácteas verdes durante la etapa de masa

Variedad	Color de las brácteas	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
Pioneer 4546	Verde	Tailandia	0.920	Khamphanan <i>et al.</i> , 2018
Pacific 339	Verde		1.675	
Takfa 1,2 y 3	Verde	Tailandia	0.200 a 0.250	Khamphanan <i>et al.</i> , 2020
Nakhon Sawan 1 y 3	Verde		0.410 a 0.490	

B4. HOJAS

HOJAS EN LA ETAPA DE APARICIÓN DE LOS ESTIGMAS

Los autores Mesarcovic *et al.*, 2017 encontraron un contenido de polifenoles totales de 0.097 mg por gramo de muestra en base seca, en las hojas de la planta del maíz naranja IL10-13 proveniente de Serbia.

Los ácidos fenólicos libres fueron cuantificados en las hojas frescas de los maíces IL10 y 13 de grano naranja.

Tabla 6.13. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en los granos naranjas mediante un análisis por HPLC

Hojas de maíz naranja	mg CB/ g muestra b.s				
Libres	PROCAT	CUM	GAL	FER	CAF
Mesarcovic et al., 2017	0.022	0.018	0.015	0.013	0.005
Libres	CUM	FER	PROCAT	CAF	GAL
Mesarcovic et al., 2017	0.035	0.029	0.020	0.019	0.014
Libres	FER	CUM	CAF	PROCAT	GAL
Mesarcovic et al., 2017	0.029	0.029	0.028	0.018	0.014
Libres	CAF	FER	CUM	PROCAT	GAL
Mesarcovic et al., 2017	0.018	0.017	0.016	0.015	0.013

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

A1. Granos naranjas

En la etapa de leche, la concentración de carotenoides determinado en los dos híbridos fortificados con zeaxantina estudiados, fue de 0.044 a 0.075 mg CT/g b.s. El híbrido "2-9x11-7" presentó un contenido de carotenoides casi dos veces mayor que el híbrido "14-6x10-3".

La zeaxantina fue el carotenoide principal en los granos inmaduros, mientras que, la luteína fue el secundario. Así mismo, para el día 20 después de la polinización, ya habían sido sintetizados siete carotenoides en el grano.

En la etapa de masa, los granos naranjas del híbrido dulce fortificado con zeaxantina "14-6x10-3" exhibió un contenido de 0.054 mg de carotenoides totales por g de muestra en base seca (Calvo-Brenes *et al.*, 2019).

Igual que en la etapa de leche, la zeaxantina fue el carotenoide predominante. La luteína estuvo en segundo lugar en términos de su concentración. Mientras que, los carotenos fueron los menos abundantes.

El contenido total de compuestos polifenólicos reportado en los granos de dos mazorcas tuvo un valor de 1.36 a 1.67 miligramos de CPT por gramo de muestra en base seca.

En cuanto al perfil, el ácido cumárico fue el ácido fenólico más abundante en los granos naranjas analizados por Libron *et al.*, 2021, mientras que, en los analizados por Beta *et al.*, 2018 el ácido ferúlico sobresalió. El ácido ferúlico en su forma insoluble-conjugada predominó sobre el ácido ferúlico en su forma libre. Otros compuestos fenólicos identificados fueron el resveratrol y el tirosol.

El contenido de flavonoides estimado por Hossain *et al.*, 2021 en los granos naranjas maduros fue de 0.108 miligramos de equivalentes de catequina/ gramo de muestra.

Los flavonoides cianidina, luteolina y catequina se encontraron en cantidades similares en su forma libre-soluble como en su forma insoluble (Rochetti *et al.*, 2018).

El contenido de carotenoides reportado en los granos fisiológicamente maduros, fue de 0.003 a 0.061 mg de carotenoides totales/ g muestra en base seca. El grano del maíz *orange ISO* presentó la cantidad más alta, mientras que el grano de pericarpio naranja del maíz *flint* la cantidad más baja. Los valores de carotenoides observados en la presente revisión concuerdan con los encontrados en el grano amarillo en Hu *et al.*, 2011, Acosta-Estrada *et al.*, 2019 y Sheng *et al.*, 2018. Harjes *et al.*, 2008 citado por Changan *et al.*, 2017 menciona que un endospermo naranja está positivamente correlacionado con el contenido total de carotenoides, pero una correlación débil con los carotenoides provitamina A.

En cuatro de las muestras el carotenoide mayoritario fue la zeaxantina, en las tres muestras restantes el resto fue la luteína. Contrario a lo observado en los granos inmaduros, el betacaroteno se encontró en el segundo y tercer lugar, en orden de abundancia, en los granos maduros.

Los granos naranjas de maíz tipo "*flint*" de pericarpio naranja mostraron un contenido de 1.76 mg de fitoesteroles/ g muestra b. s.

El betasitoesterol superó en 5 y 9 veces al campesterol y estigmasterol, respectivamente, en cuanto a concentración.

A2. Olote

La concentración de polifenoles totales medida en los olotes blancos durante la etapa de masa fue de 0.54 a 0.94 miligramos de CPT/ g muestra en base seca. El olote de Pacific 339 presentó el contenido de polifenoles totales más alto, mientras que, el presentado por el olote del maíz *Nakhon Sawan* fue el más bajo. Sin embargo, no hay diferencia significativa entre las muestras.

A3. Brácteas

En la etapa de masa, a 40 días de ocurrida la polinización, el contenido de polifenoles totales medido en las brácteas verdes fue de 0.2 a 1.67 mg de CPT/ g muestra en base seca. El contenido más elevado de polifenoles totales fue el presentado por las brácteas de *Pacific 339*, mientras que, el más bajo fue el de las brácteas de *Takfa 1,2 y 3*. Previamente, los autores Simla *et al.*, 2016 reportaron un contenido menor en cuestión de microgramos en las brácteas del maíz morado muestreadas en esta etapa.

A4. Hojas

El contenido de polifenoles totales mostrado por las hojas de la planta de un maíz naranja durante la etapa de floración, aproximadamente R1, es de 0.097 mg CPT/g muestra b.s. El valor de fenólicos totales encontrado en las brácteas estuvo por encima del aislado a partir de las hojas verdes (Mesarovic *et al.*, 2017). No obstante, la planta analizada se encontraba en una etapa más temprana.

El ácido gálico fue el ácido fenólico libre minoritario en las hojas. Mientras que, el ácido ferúlico y el ácido cumárico fueron los compuestos predominantes, sin embargo, las concentraciones son cercanas a las concentraciones de los demás ácidos fenólicos.

El valor de fenólicos totales encontrado en las brácteas estuvo por encima del aislado a partir de las hojas verdes (Mesarovic *et al.*, 2017). Los ácidos fenólicos identificados en esta parte de la planta fueron el ácido cumárico, el ácido protocatecuico, el ácido cafeico y ácido gálico. Los fenólicos más sobresalientes en las hojas verdes del maíz naranja fueron el ácido cumárico y el ferúlico, mientras que el ácido gálico fue el de menor concentración.

De los resultados obtenidos tras la revisión en el periodo 2017 a 2021 se concluye que:

Los carotenoides fueron los compuestos estudiados en más artículos, cuantitativa y cualitativamente hablando, en los órganos del maíz de grano naranja.

Los trabajos revisados llevaron a cabo el estudio de los órganos de la planta del maíz naranja en distintas etapas del desarrollo.

Los estudios se centraron principalmente en la cuantificación del contenido total de los compuestos, en algunos también se llevó a cabo un análisis por HPLC.

Los granos inmaduros de maíces fortificados presentaron una concentración de carotenoides equiparable a la de los granos maduros naranjas.

Los valores de concentración de carotenoides encontrados en los granos en la presente revisión están dentro del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

Las hojas contienen los mismos compuestos fenólicos que el grano, pero en diferente proporción.

CAPÍTULO 7

Antocianinas y otros compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz amarillo durante su desarrollo



Figura 21. Maíces amarillos

Nota. Sweet corn [fotografía], (s.f), Nebraska Corn Board (<https://nebraskacorn.gov/%20issues-initiatives/your-food/field-corn-vs-food-corn/>).

INTRODUCCIÓN

Existen variedades de maíz amarillos dulces, forrajeros, dentados, palomeros, cerosos e híbridos. En 2016, el 76% del maíz amarillo se destinó al consumo pecuario, 18% a la industria almidonera, 2% al autoconsumo, 2% al consumo humano y el otro 2% a mermas (SIAP, 2017 citado por SAGARPA, 2017).

A continuación, se presenta la información encontrada tras la revisión de artículos emitidos en los años 2017 a 2021, sobre el contenido y el perfil de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz amarillo.

La información encontrada se organizó en 2 apartados según el compuesto bioactivo analizado: en el apartado A. se presenta el contenido y tipo de antocianinas encontrado en los órganos de la planta y en el B. el contenido y tipo de polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles encontrado en los órganos de la planta del maíz.

Cada apartado se divide en secciones de acuerdo con el órgano analizado; en este caso, 1. Grano, 2. Olote, 3. Brácteas, 4. Estigmas y 5. Inflorescencias masculinas. Cada sección a su vez se subdivide según el estado de desarrollo de la planta: etapa VT, etapa de aparición de los estigmas o floración R1, etapa de leche (20-24 DDP), etapa de masa (28-46 DDP) y madurez fisiológica o avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años).

En las tablas se exponen las concentraciones de antocianinas, polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles reportadas en los artículos revisados. Las concentraciones encontradas fueron ajustadas a mg de compuesto bioactivo/ g de muestra en base seca. De igual manera, las cifras fueron redondeadas.

Mientras que, la concentración de los compuestos bioactivos caracterizados por HPLC se muestra en orden decreciente y con un color determinado en las tablas.

A

CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE LECHE

Chen *et al.*, 2021 informó un contenido de antocianinas de 0.002 y 0.012 mg AT/ g muestra en base seca. en los granos amarillos del maíz *Xiameinuo* y *Minuo 4*, respectivamente. Mientras que, Suriano *et al.*, 2021 no detectó antocianinas en el maíz amarillo *Nostrato dell' Isola*.

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA A AVANZADA

Las antocianinas fueron examinadas en los granos amarillos, llegados a la madurez fisiológica, provenientes de las variedades de países europeos, asiáticos y del continente americano. Los granos dorados contuvieron de 0.0005 a 0.834 miligramos de antocianinas totales/ gramo de muestra en base seca.

Tabla 7.1. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en los granos amarillos maduros

Variedad	Lugar	AT (mg/g b.s)	Referencia
RS-25. La Soledad	México	0.064	Corona-Terán <i>et al.</i> , 2017
FN3-37. Fresno nichí	México	0.036	
YM	Italia.	0.834	Rocchetti <i>et al.</i> , 2018
Coruca	Perú.	ND	Galvez <i>et al.</i> , 2019
Formentone giallo	Italia	0.001	Capocchi <i>et al.</i> ,2017
Maíz comercial	Italia	0.001	
Maíz dulce check 1		0.082	Chalorchaoenyng <i>et al.</i> , 2017
Maíz forrajero Suwan 1 y 2	Tailandia	0.0009 a 0.0011	
Maíz ceroso Tein Luang	Tailandia	0.0005	

El perfil de antocianinas en los granos amarillos se estudió por Kim *et al.*, 2018, Suriano *et al.*, 2021 y Smorowska *et al.*, 2021. Rochetti *et al.*, 2018 investigó la concentración de cianidina en su forma libre y conjugada.

Tabla 7.2. Perfil de antocianinas encontrado en los granos maduros mediante un análisis por HPLC

Grano amarillo	mg CB/g muestra b.s.								
	C3G	PT3G	PG3G	PN3G	C3MG	PT3MG	PG3MG	PN3MG	M3G
Suriano et al., 2021	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	C3G	PG3G	PN3G	C3MG	PG3MG	PN3MG			
Smorowska et al., 2021	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
	C3G	PG3G	M3G						
Kim et al., 2018	ND	ND	ND						
Rochetti et al., 2018	CYA								
Libres	0.629								
	CYA								
Conjugados	0.205								

A2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MASA

Las antocianinas fueron estudiadas en el olole morado del maíz amarillo KCU-PFC3, el contenido encontrado fue de 7.35 mg AT/ g b.s (Khamphan *et al.*, 2020).

A3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MASA

Las brácteas de tonalidad morada de la planta del maíz amarillo KCU-PFC3 mostraron una concentración de antocianinas de 10.36 mg/ g muestra en b.s (Khamphan *et al.*, 2020).

A4. ESTIGMAS

ESTIGMAS MADUROS

Los estigmas de la raza Cristalino contienen 0.0008 a 0.003 miligramos de antocianinas/ g b.s (Mendoza-López *et al.*, 2017 y Alvarado-Díaz *et al.*, 2019).

A5. INFLORESCENCIAS MASCULINAS

INFLORESCENCIAS MASCULINAS EN LA ETAPA VT A LA ETAPA DE APARICIÓN DE LOS ESTIGMAS

Las espigas de cinco maíces amarillos sembrados en Tailandia: dos maíces dulces y tres forrajeros, fueron estudiados desde la etapa VT al día en el que el 75% del polen fue arrojado por Duangpapeng *et al.*, 2018.

En la etapa VT, las inflorescencias masculinas verdes provenientes de variedades de grano amarillo presentaron un contenido 0.013 a 0.026 mg de antocianinas/ g b.s (Duangpapeng *et al.*, 2018). En cambio, las inflorescencias verdes con tonalidad rojiza mostraron un contenido de 0.060 a 0.094 mg de antocianinas/ g b.s (Duangpapeng *et al.*, 2018).

Tabla 7.3. Contenido de antocianinas en (mg/g b.s) encontrado en las inflorescencias masculinas o espiga del maíz amarillo en la etapa VT

Variedad	Color de las inflorescencias masculinas	Lugar	AT (mg/ g b.s)	Referencia
Hibrix3(maíz dulce)	Verde	Tailandia	0.026	Duangpapeng <i>et al.</i> ,2018
Sugar 75(maíz dulce)	Verde		0.013	
PAC339(maíz forrajero)	Verde rosa rojizo		0.076	
P4546 (maíz forrajero)	Verde-rosa		0.060	
S6248(maíz forrajero)	Verde rosa-rojizo		0.094	

RESUMEN DE RESULTADOS SOBRE EL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. Granos amarillos

Chen *et al.*, 2021 informó un contenido de antocianinas de 0.002 a 0.012 mg AT/ g b.s. en los granos amarillos de los maíces originarios de China. Sin embargo, otros autores como Suriano *et al.*, 2021 y Kim *et al.*, 2018 no detectaron antocianinas en el grano. En la revisión publicada en el 2016 por Bello-Pérez *et al.*, se reporta una concentración mayor, de 0.702 mg AT/ g en los granos del maíz amarillo.

Los granos dorados en etapa de madurez fisiológica o de cosecha contuvieron de 0.0005 a 0.834 miligramos de antocianinas totales/ gramo de muestra en base seca. No obstante, Gálvez *et al.*, 2019 y Smorowska *et al.*, 2021 no detectaron antocianinas en los maíces amarillos Coruca y OPOKA, respectivamente. La concentración más alta corresponde a la determinada en un maíz comercial italiano YW, en su revisión Bello-Pérez *et al.*, 2016 reportó una concentración de antocianinas cercana en los granos de maíz amarillo.

Algunas variedades analizadas amarillas presentaron valores menores de antocianinas que de carotenoides. Además, mostraron mayores cantidades de compuestos bioactivos que los maíces naranjas.

Las antocianinas glucosiladas y las monoaciladas de las agliconas cianidina, pelargonidina, peonidina, petunidina y malvidina no fueron detectadas en los granos amarillos maduros analizados por Suriano *et al.*, 2021 y Kim *et al.*, 2018. No obstante, la cianidina si fue identificada en el análisis realizado por Rochetti *et al.*, 2018, quienes encontraron una concentración mayor de cianidina en su forma libre que en su forma conjugada. Esto corresponde con los resultados de Chen *et al.*,

2021 quienes identificaron antocianinas en su forma libre pero no en su forma conjugada.

A2. Olote

A 40 días de la polinización, el olote morado del maíz amarillo KKU-PFC3 presentó 7.35 mg de antocianinas totales / g b.s (Khamphasan *et al.*,2020). El alto contenido de antocianinas ha de haber sido causa de la coloración morada del órgano y de la variedad estudiada. Según cálculos realizados (apéndice I), se estima que los olotes de los maíces morados cerosos analizados en esta misma etapa, por Simla *et al.*, 2016 presentaron una concentración menor de entre 1.07 a 2.30 mg AT/ g b.s.

A3. Brácteas

En la etapa de masa, las brácteas moradas de la línea de maíz amarillo KKU-PFC3 mostraron una concentración de antocianinas de 10.36 mg/ g muestra en b.s (Khamphasan *et al.*,2020). A pesar de poseer un color morado, las brácteas de los maíces morados cerosos, también llamados *waxy corn*, analizados por Simla *et al.*, 2016 presentaron un contenido inferior, de 0.02 a 2.97 mg AT/g b.s (apéndice I). El contenido de antocianinas determinado en las brácteas moradas fue ligeramente mayor al que se cuantificó en el olote de KKU-PFC3 (Khamphasan *et al.*,2020).

A4. Estigmas

Los estigmas de la raza Cristalino contienen 0.0008 a 0.003 miligramos de antocianinas/ g b.s (Mendoza-López *et al.*, 2017 y Alvarado-Díaz *et al.*, 2019). El contenido promedio de antocianinas observado por Sarepoua *et al.*, 2013 en los estigmas amarillos de los maíces *sweet corn* en la etapa de masa o fase R4, está dentro del intervalo de antocianinas encontrado en los estigmas a lo largo del periodo 2017 a 2021. No obstante, el contenido de antocianinas de los estigmas del maíz morado reportado en Sarepoua *et al.*, 2013 es 20 a 80 veces superior.

A5. Inflorescencias masculinas

Las inflorescencias masculinas verdes provenientes de variedades de maíz dulce de grano amarillo presentaron un contenido 0.013 a 0.026 mg de antocianinas/ g b.s en la etapa VT (Duangpapeng *et al.*, 2018). En cambio, los maíces forrajeros presentaron un contenido más alto de 0.060 a 0.094 mg de antocianinas/ g b.s en las inflorescencias, ya que su color era verde con rojo (Duangpapeng *et al.*, 2018), el cual es comparable al reportado por Acosta-Estrada *et al.*, 2019, para el maíz alto en carotenoides.

B

CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE AMPOLLA

A 10 días después de iniciada la polinización, los granos de los maíces H145-W y H95-WT presentaron un contenido de 0.003 y 0.012 miligramos de carotenoides/ g b. s, respectivamente, en el grano (TRAN *et al.*, 2017). Mientras que, los granos del híbrido amarillo provitamina A presentaron 0.001 mg/ g b. s (Cabrera-Soto *et al.*, 2018).

GRANOS EN LA ETAPA DE LECHE

El contenido de compuestos fenólicos en los granos amarillos de *Xiameinuo* y *Minuo 4* fue de 3.0 y 3.2 miligramos por gramo, respectivamente (Chen *et al.*, 2021), en tanto que, el observado en los granos amarillos inmaduros de *VA572 Nostrato dell' Isola* fue de 1.36 miligramos por gramo (Suriano *et al.*, 2021).

La cantidad de flavonoides aislada a partir de los granos del maíz italiano *Nostrato dell' Isola*, fue 1.16 miligramos de equivalentes de catequina por gramo de muestra en base seca (Suriano *et al.*, 2021). Mientras que, en el grano del maíz *Xiameinuo* se encontró 1.8 mg de equivalentes de catequina/ g b.s y en el grano del maíz *Minuo 4* un contenido de 1.3 mg de equivalentes de catequina/ g b.s (Chen *et al.*, 2021).

El contenido de carotenoides fue monitoreado a lo largo del desarrollo del grano. En la tabla 7.4 se exponen los valores monitoreados del día 20 al día 24 después de la polinización. Los valores varían desde 0.002 a 0.053 miligramos CT/ g b.s.

Tabla 7.4. Contenido de carotenoides en (mg/g b.s) encontrado en los granos amarillos en la etapa de leche

Variedad	Lugar	CT (mg/ g b.s)	Referencia
Híbridos Provitamina A	INIFAP	0.002	Cabrera-Soto <i>et al.</i> , 2018
Híbrido dulce "Hybrix 5"	Australia	0.018	Calvo-Brenes <i>et al.</i> ,2019
NILW64A	China	0.035	Wang <i>et al.</i> , 2020
NILA619	China	0.034	
Híbrido dulce "Hybrix 5"	Australia	0.053	Calvo-Brenes <i>et al.</i> ,2020
KKU-WX112087	Tailandia	0.018	Sukto <i>et al.</i> , 2020

GRANOS EN LA ETAPA DE MASA

En el periodo de estudio (2017-2021) cuatro estudios investigaron el contenido de carotenoides en los granos amarillos en la etapa de masa, de 29 a 34 días después de la polinización. Los genotipos analizados corresponden a maíces procedentes de Alemania, China, Australia y México. Para esta etapa, los granos amarillos ya contaban con al menos 0.009 mg de CT/ g b.s. llegando hasta los 0.05 mg de CT/ g b.s.

Tabla 7.5. Contenido de carotenoides en (mg/g b.s) encontrado en los granos amarillos en la etapa de masa

Variedad	Lugar	CT (mg / g b.s)	Referencia
Híbrido Fígaro	Alemania	0.050	Lux <i>et al.</i> ,2021
Híbrido ES Metronom	Alemania	0.041	
Híbrido Amaveritas	Alemania	0.031	
NILW64A	China	0.028	Wang <i>et al.</i> , 2020
NILA619	China	0.031	
Híbrido dulce "Hybrix 5"	Australia	0.017	Calvo-Brenes <i>et al.</i> ,2019
Híbridos Provitamina A	INIFAP	0.009 PA	Cabrera-Soto <i>et al.</i> , 2018

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA A AVANZADA

La concentración total de compuestos fenólicos fue medida en los artículos a continuación citados. El intervalo de concentración de estos compuestos antioxidantes se encuentra entre 0.00004 a 109.69 mg de CPT/g muestra b.s. El valor situado en la mediana de los valores fue vista en el maíz SNH4802.

Tabla 7.6. Contenido de compuestos fenólicos en (mg/g b.s) en los granos amarillos en la etapa de madurez fisiológica a avanzada

Variedad	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
Dulce	Tailandia	109.690	Bualang <i>et al.</i> ,2017
Cristalino Chileno	Chile	2.328	Fuente-Alba <i>et al.</i> ,2017
Híbrido	NE	7.491 a 18.473	Zavala-López <i>et al.</i> ,2017
YM	Italia		Rocchetti <i>et al.</i> , 2018
IC447648,IC447641 y IC361709	India	1.603 a 1.170	Trehan <i>et al.</i> ,2018
*Dulce YT28	China	4.414	Yang <i>et al.</i> ,2018
Amarillo	China	0.509	Gong <i>et al.</i> ,2018
Amagrano	Alemania	3.521	Lux <i>et al.</i> ,2020
Coruca	Perú	0.269	Gálvez <i>et al.</i> , 2019
Amarillo	México	0.682 a 0.866	Martínez-Martínez <i>et al.</i> , 2019
Tuxpeño		0.822	
Accesión de maíz amarillo	India	0.769 a 1.624	Trehan <i>et al.</i> , 2020
VA572 Nostrato dell' Isola	Italia	1.359	Suriano <i>et al.</i> , 2021
Híbrido	Italia	0.580	Bresciani <i>et al.</i> ,2021
Híbrido alto cont.de amilosa (50:50)	Italia	0.679	
Híbrido ceroso convencional(50:50)	Italia	0.775	
Híbrido alto en amilosa	Italia	0.573	
Híbrido ceroso	Italia	0.570	
Dulce check 1		0.00004	Chalorchaoenyng <i>et al.</i> , 2017
Forrajero Suwan 1 y 2	Tailandia	0.0011 a 0.0015	
Ceroso Tein Luang	Tailandia	0.001	
Pignoletto giallo	Italia	5.010	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^a
PI208	Italia	4.166	
SNH4802	Italia	4.306	
DKC6815	Italia	5.466	
Pignoletto giallo	Italia	2.300	Giordano <i>et al.</i> , 2018b
PI208	Italia	1.956	
SNH4802	Italia	1.898	
Híbridos de tipo dentado	Corea del Sur	0.90 a 1.08	Kim <i>et al.</i> ,2018
Híbridos de tipo semi Flint		0.780 a 0.900	
Híbridos Intermedios		0.900 a 1.000	
Amagrano	Alemania	3.521	Lux <i>et al.</i> ,2020
Pignoletto giallo	Italia	2.3	Moreno <i>et al.</i> , 2020
PI208	Italia	1.956	Suriano <i>et al</i> 2021
SNH4802	Italia	1.898	
Amarillo OPOKA	México	0.9207	Smorowska <i>et al.</i> ,2021
Amarillo	Italia	49.540	Burlini <i>et al.</i> ,2020

La concentración de los ácidos fenólicos derivados del ácido benzoico y del ácido hidroxicinámico fue estudiada en el grano maduro por los investigadores citados en la tabla 7.7.

Tabla 7.7. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en los granos maduros mediante un análisis por HPLC

Grano amarillo	<i>mg CB/g muestra b. s</i>							
Libres	SNP	CUM	CLRG	PROCAT	VNL	SRGN	CAF	FER
Gong et al., 2018	0.042	0.019	0.016	0.013	ND	ND	ND	ND
Conjugados	SNP	FER	PROCAT	CUM	CLRG			
Trehan et al., 2020	7.720	7.080	4.010	2.290	0.650			
Conjugados	PROCAT	SNP	CUM	FER	CLRG			
Trehan et al., 2020	9.210	7.820	3.130	2.350	0.660			
Conjugados	PROCAT	FER	SNP	CUM	CLRG			
Trehan et al., 2021	17.080	15.000	7.620	2.870	0.540			
Conjugados	FER	BNZ	CUM	SNP				
Gong et al., 2018	0.156	0.056	0.025	0.024				
Libres	GAL	CLRG	FER	CUM				
Hu et al., 2020	0.14	0.032	0.028	0.025				
Conjugados	FER	CUM	GAL	CLRG				
Hu et al., 2020	1.90	0.16	0.03	ND				
Conjugados	FER	CUM	SNP					
Giordano et al., 2018a	1.864	0.133	0.020					
Conjugados	FER	CUM	SNP					
Giordano et al., 2018a	1.809	0.193	0.024					
Conjugados	FER	CUM	SNP					
a	2.554	0.199	0.026					
Libres	GAL	FER	CUM					
Yang et al., 2019	0.0009	0.0003	0.0001					
Conjugados	FER	CUM	GAL					
Yang et al., 2019	0.013	0.001	0.0002					
Libres	FER	TYR	RESV					
Rochetti et al., 2018	0.980	0.365	0.006					
Conjugados	FER	TYR	RESV					
	3.346	0.199	0.016					
Solubles	CUM	FER						
Lux et al., 2020	0.024	0.013						
Conjugados	FER	CUM						
al., 2020	1.625	0.155						
NR	FER	SNP						
Trehan et al., 2018	62.750	15.320						
NR	FER	SNP						
Trehan et al., 2018	19.430	14.660						
NR	FER	SNP						
Trehan et al., 2018	20.130	15.060						
NR	CUM	FER						
Libron et al., 2021	0.096	0.005						

Las cinco investigaciones citadas en la tabla 7.8 determinaron el contenido de flavonoides totales con un estándar de catequina. Los valores informados en los artículos son de 0.02 a 43.68 mg de equivalentes de catequina por gramo de grano maduro amarillo.

Tabla 7.8. Contenido de flavonoides en (mg/g b.s) encontrado en los granos amarillos en la etapa de madurez fisiológica a avanzada

Variedad	Lugar	FT (mg de ECATQ/g b.s)	Referencia
Dulce	Tailandia	43.680	Bualang <i>et al.</i> ,2017
Dulce YT28	China	1.924	Yang <i>et al.</i> ,2018
Amarillo	China	0.155	Gong <i>et al.</i> ,2018
Amarillo	México	0.020 a 0.050	Martínez-Martínez <i>et al.</i> ,2019
Tuxpeño		0.030	
VA572 Nostrato dell' Isola	Italia	1.162	Suriano <i>et al.</i> , 2021

Gong *et al.*, 2018, Rochetti *et al.*, 2018 y Yang *et al.*,2019 llevaron a cabo la caracterización a los flavonoides presentes en los extractos de la fracción libre y conjugada.

Tabla 7.9. Perfil de flavonoides encontrado en los granos maduros mediante un análisis por HPLC

Grano amarillo	mg CB/g muestra b. s					
Yang et al.,2019	QRC	CM	KAEM	RUT	QR	4-HDXCM
Conjugados	0.0006	0.0002	0.00002	ND	ND	ND
Libres	CATQ	NARG	LTL	EPICATQ		
Gong et al., 2018	0.013	0.011	0.011	ND		
Conjugados	QR	QR-GAL				
Gong et al., 2018	0.011	0.105				
Conjugados	LTL	QR				
Trehan et al., 2020	10.260	1.360				
Conjugados	LTL	QR				
Trehan et al., 2020	10.780	1.100				
NR	QR					
Trehan et al.,2018	18.940					
	LTL	QR				
Trehan et al., 2021	10.470	0.780				
NR	QR					
Trehan et al., 2018	10.840					
Yang et al.,2019	KAEM	4-HDXCM	RUT			
Libres	0.0007	0.0001	0.00008			
Zhang et al., 2018	ERD	LTL	MY	ISR		
ng CB/g	0.296	0.296	ND	ND		
Rochetti et al.,2018	CATQ	LTL				
Libres	0.018	0.017				
	LTL	CATQ				
Conjugados	0.039	0.030				

Como se ve en la tabla 7.10, las muestras de grano corresponden en su mayoría a maíces amarillos provenientes de países europeos y asiáticos, no obstante, también los hay de Argentina y Nigeria. El contenido de carotenoides informado en los granos maduros examinados en los artículos emitidos en el 2017 al 2021, se encuentra dentro del rango 0.006 a 13.4 miligramos de carotenoides totales/ g b. s. El maíz SNH4802 presentó 0.022 mg de carotenoides/ g b.s.

Tabla 7.10. Contenido de carotenoides en (mg/g b.s) encontrado en los granos amarillos en la etapa de madurez fisiológica

Variedad	Lugar	CT (mg/ g b.s)	Referencia
Formentone giallo	Italia	0.019	Capocchi <i>et al.</i> ,2017
Maíz comercial	Italia	0.021	
Maíz dulce (Zea maysL.var.saccharata)	Tailandia	0.427	Bualang <i>et al.</i> ,2017
Maíz dulce check 1		0.341	Chalorchaoenyng <i>et al.</i> , 2017
Maíz forrajero Suwan 1 y 2	Tailandia	0.384 a 0.390	
Maíz ceroso Tein Luang	Tailandia	0.087	
Pignoletto giallo	Italia	0.032	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^a
PI208	Italia.	0.023	
SNH4802	Italia	0.019	
DKC6815	Italia.	0.015	
Pignoletto giallo	Italia	0.037	
PI208	Italia.	0.024	Giordano <i>et al.</i> , 2018 ^b
SNH4802	Italia	0.022	
Big Flint	India.	0.010	Hossain <i>et al.</i> ,2018
Palomero		0.006	
Híbridos de tipo dentado	Corea del Sur	0.012 a 0.017	Kim <i>et al.</i> ,2018
Híbridos de tipo semi Flint	Corea del sur	0.007 a 0.020	
Híbridos Intermedios	Corea del sur	0.016 a 0.017	
Híbrido con resistencia a Striga	Nigeria.	13.400	Elemosho <i>et al.</i> ,2020
Amagrano	Alemania	0.022	Lux <i>et al.</i> ,2020
ACA530	Argentina	0.039	Saenz <i>et al.</i> ,2020
AX7761VT3P		0.027	
Comercial SC	NE	0.009	
Pignoletto giallo	Italia	0.037	Moreno <i>et al.</i> , 2020
PI208	Italia	0.024	Suriano <i>et al.</i> , 2021
SNH4802	Italia	0.022	
Híbridos Provitamina A	INIFAP	0.011 PA	Cabrera-Soto <i>et al.</i> ,2018
Pop corn	India	0.020	Prasanthi <i>et al.</i> , 2017
Baby corn madurez fisiológica	India	0.004	
Sweet corn	India	0.010	
Dent corn	India	0.010	

Los trabajos expuestos en la tabla 7.11 analizaron el contenido de carotenoides en los granos maduros de varios maíces amarillos. Se identificaron seis carotenoides en las muestras.

Tabla 7.11. Perfil de carotenoides encontrado en los granos maduros mediante un análisis por HPLC

Grano amarillo	mg CB/ g muestra b.s.						
	LUT	ZX	BCAR	BCX	ANTX	ACX	ACAR
Wang et al., 2020	0.014	0.012	0.003	0.001	0.001	0.0002	0.0001
Wang et al., 2020	0.013	0.007	0.002	0.001	0.0007	0.0002	0.00006
Wang et al., 2020	0.011	0.007	0.006	0.0008	0.0008	0.0003	0.0002
Wang et al., 2020	0.010	0.005	0.004	0.001	0.0005	0.0003	0.0001
Wang et al., 2020	0.010	0.005	0.004	0.001	0.0005	0.0003	0.0001
Calvo-Brenes2020	0.042	0.009	0.007	0.006	0.004	0.002	
Lux et al., 2021	0.020	0.012	0.002	0.002	0.0007		
Lux et al., 2021	0.020	0.013	0.002	0.002	0.0007		
Elemosho et al., 2020	0.006	0.005	0.003	0.001	0.0003		
Lux et al., 2021	0.020	0.012	0.002	0.002	0.0008		
Solubles	LUT	ZX	BCAR	BCX	ACAR		
Lux et al., 2020	0.011	0.008	0.002	0.0009	0.0004		
Cabrera-Soto et al., 2018	0.009	0.009	0.008	0.005			
Suriano et al., 2021	0.041	0.012	0.011	0.004			
Giordano et al., 2018 a	0.014	0.008	0.002	0.001			
Giordano et al., 2018 a	0.007	0.007	0.001	0.0005			
Giordano et al., 2018 a	0.010	0.008	0.001	0.0004			
Sukto et al., 2020	0.0005	0.00006	0.00002				
Sukto et al., 2020	0.005	0.005	0.001				

La concentración de fitoesteroles encontrada en los granos de distintas variedades de maíz amarillo se muestra a continuación. Como se ve en la tabla 7.12 el contenido de fitoesteroles determinado en las muestras es de 0.084 a 0.699 miligramos de FTS por gramo de muestra en base seca.

Tabla 7.12. Contenido de fitoesteroles en (mg/g b.s) encontrado en los granos amarillos en la etapa de madurez fisiológica avanzada

Variedad	Lugar	FTS (mg /g b.s)	Referencia
Yogurt de maíz Flynn no suplementado con FTS	Francia	0.084	Descalzo <i>et al.</i> ,2018
Maíz <i>big 180 flint</i> amarillo	India	0.699	Hossain <i>et al.</i> , 2020
Palomero		0.563	
Amarillo OPOKA	México	0.688	Smorowska <i>et al.</i> ,2021
Amarillo KUSKUN		0.691	

Cuatro autores realizaron la caracterización de fitoesteroles en el grano amarillo maduro fisiológicamente. Los fitoesteroles identificados y la cantidad en la que se encontraron se muestran en la tabla 7.13.

Tabla 7.13. Perfil de fitoesteroles encontrado en los granos maduros mediante un análisis por HPLC

Grano amarillo	mg CB/g muestra b.s.						
	B-STG	CAMPE	STGMA	AVN	STIGME	CAMPA	STGMAD
Smorowska <i>et al.</i> , 2021	0.33	0.12	0.09	0.07	0.05	0.03	0.01
% Burlini <i>et al.</i> , 2020	60.72	20.98	6.21	2.04	1.19	1.08	
Smorowska <i>et al.</i> ,2021	0.44	0.12	0.04	0.02			
Hossain <i>et al.</i> , 2021	0.43	0.09	0.05				
Hossain <i>et al.</i> , 2021	0.53	0.12	0.05				

B2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE LECHE

El olate de color convencional del maíz YT29 exhibió 9.15 mg de polifenoles totales/g b.s en la etapa de leche (Yang *et al.*,2018).

Dos trabajos caracterizaron los ácidos fenólicos presentes en el olate, proveniente de una variedad de maíz amarillo, en su forma insoluble-conjugada y libre.

Tabla 7.14. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en el olote en etapa de leche mediante un análisis por HPLC

Olote	mg CB/ g muestra b.s		
Lau et al., 2019	CUM	FER	
Total	4.23	3.06	
	CUM	FER	
Conjugados	4.08	2.96	
	CUM	FER	
Libres	0.075	0.05	
Yang et al.,2019	GAL	FER	
Libres	0.0008	0.0004	
	FER	CUM	GAL
Conjugados	0.011	0.009	0.0003

El maíz dulce YT29 presentó 1.98 mg de flavonoides totales expresados en términos de catequina, por gramo de muestra en base seca (Yang *et al.*, 2018).

Los flavonoides encontrados en el olote tanto en su forma libre como insoluble fueron estudiados en la investigación realizada por Yang *et al.*, 2018.

Tabla 7.15. Perfil de flavonoides encontrado en el olote en etapa de leche mediante un análisis por HPLC

Olote	mg CB/ g muestra b.s					
Yang et al.,2019	KAEM	4-HDXCM	CM			
Libres	0.001	0.0003	0.0002			
	QRC	CM	KAEM	RUT	QR	4-HDXCM
Conjugados	0.0009	ND	ND	ND	ND	ND

Lau *et al.*, 2019 identificó tres carotenoides en el olote de un maíz amarillo. Las cantidades encontradas se exponen a continuación.

Tabla 7.16. Perfil de carotenoides encontrado en el olote mediante un análisis por HPLC

Raquis amarillo	mg CB/ g muestra b.s		
Raquis Lau 2019	BCAR	ZX	LUT
Total	0.049	0.004	0.002

OLOTE EN LA ETAPA DE MASA

El olate violáceo de la línea KKU-PFC3 mostró 15.31 miligramos de polifenoles totales por gramo de muestra en b.s (Khamphasan *et al.*,2020).

B3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE LECHE

El contenido de polifenoles totales reportado en las brácteas de color convencional del maíz YT28 fue 4.41 mg CPT/ g muestra b.s (Yang *et al.*, 2018).

Además de ácidos fenólicos, se identificaron otros compuestos pertenecientes al grupo de los polifenólicos como lo son los taninos y el resveratrol. En el periodo de estudio, dos trabajos realizaron el análisis por HPLC de los compuestos encontrados en las brácteas de la planta.

Tabla 7.17. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en las brácteas mediante un análisis por HPLC

Brácteas	mg CB/ g muestra b.s		
	Fenoles	Resv	Taninos
Duru et al., 2020	12.340	3.361	0.016
Yang et al.,2019	GAL	FER	
Libres	0.001	ND	
	FER	CUM	GAL
Conjugados	0.009	0.005	0.000198

Tras el estudio de las brácteas de un maíz dulce YT28 proveniente de China, Yang *et al.*, 2018 encontró 1.924 mg de equivalentes de catequina/ g b.s.

Cuatro subclases del grupo de los flavonoides fueron identificadas en las brácteas de los maíces de grano amarillo. Las concentraciones encontradas se muestran a continuación.

Tabla 7.18. Perfil de flavonoides encontrado en las brácteas mediante un análisis por HPLC

Brácteas	mg CB libres / g muestra b.s.							
	Flavan-3-ol	Flavanona	Proantocian	Antocianin	EPICATQ	NARG	Flavonas	KAEM
Duru et al., 2020	10.740	9.189	5.404	0.028	0.019	0.003	0.003	0.002
Yang et al., 2019	QRC	QR	KAEMP	RUT	CM			
Libres	ND	ND	ND	ND	ND			
	QRC	4-HDXCM	CM	KAEM	RUT	QR		
Conjugados	0.0003	0.0002	0.0002	ND	ND	ND		

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MASA

Mientras que, el contenido presentado por las brácteas de tonalidad morada del maíz K KU-PFC3 fue 17.1 mg de compuestos fenólicos/ g b.s (Khamphan *et al.*, 2020).

B4. ESTIGMAS

ESTIGMAS EN ESTADO FRESCO

Los polifenoles totales fueron analizados en los estigmas verdes en estado fresco de un maíz dulce YT30, los resultados se encuentran entre 1.623 a 3.543 mg de CPT/ g de muestra b.s (Yang *et al.*, 2018).

Los ácidos fenólicos encontrados en el estigma inmaduro por Yang *et al.*, 2019 se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7.19. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en los estigmas en estado fresco mediante un análisis por HPLC

Estigma inmaduro	mg CB/ g muestra b.s		
Yang et al., 2019	GAL		
Libres	0.0009		
	FER	GAL	CUM
Conjugados	0.004	0.0002	0.0001

Los flavonoides fueron analizados en los estigmas frescos de maíces provenientes de China y Francia en las investigaciones de Yang *et al.*, 2018, Zhang *et al.*, 2018 y Fougère *et al.*, 2020. Los estigmas estudiados poseen un color verde o verde tendiendo a rosa. La concentración encontrada en las muestras está dentro del intervalo 0.00003 a 2.642 mg de flavonoides/ g b.s. Fougère *et al.*, 2020 determinó la concentración en términos de miligramos por litro de extracto, encontrando de 15.32 a 134.6 mg/ L.

Tabla 7.20. Contenido de flavonoides en (mg/g b.s) encontrado en los estigmas verdes en estado fresco

Variedad	Color de los estigmas	Lugar	FT (mg/g b. s)	Referencia
Híbrido Jingke 968	Verde	China	0.00003	Zhang <i>et al.</i> , 2018
Híbrido Zhengdan 958	Verde		0.0002	
Híbrido Xianyu 335	Verde		0.0001	
Híbrido ceroso Jingkenuo2000	Verde		0.0001	
Híbrido dulce Jingketian 183	Verde		0.00003	
Variedad		Lugar	FT (mg EC/ g b.s)	Referencia
Maíz dulce YT30	Verde	China	0.915	Yang <i>et al.</i> ,2018
Maíz dulce YT30	Verde		2.642	
Variedad		Lugar	FT (mg/L)	Referencia
Maíz dulce Java	Verde	Francia	134.6	Fougère <i>et al.</i> , 2020
Maíz dulce Nova	Verde		21.74	
Maíz dulce Garrison	Verde		15.32	
Maíz dulce Golden Batam	Rojo	Francia	23.63	Fougère <i>et al.</i> , 2020
Maíz dulce Sugar Jean	Rojo		17.31	

El estigma maduro presentó los siguientes flavonoides en su forma libre y en su forma insoluble-conjugada.

Tabla 7.21. Perfil de flavonoides encontrado en los estigmas inmaduros mediante un análisis por HPLC

Estigma	mg CB/ g muestra b.s					
Yang <i>et al.</i> ,2019	4-HDXCM					
Libres	0.00007					
	CM	KAEM	RUT	QR	4-HDXCM	QRC
Conjugados	6.48E-05	ND	ND	ND	ND	ND

ESTIGMAS EN ESTADO MADURO

Como se observa en la siguiente tabla, el contenido de compuestos fenólicos en los estigmas maduros del maíz dulce y del maíz raza Cristalino está entre 1.27 a 38 miligramos CPT por gramo de muestra en base seca.

Tabla 7.22. Contenido de compuestos polifenólicos en (mg/g b.s) encontrado en los estigmas en estado maduro

Variedad	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
Maíz cristalino	México	1.27	Mendoza-López <i>et al</i> 2017
Maíz dulce secado por tray-dried	Tailandia	36	Senphan <i>et al.</i> , 2019
Maíz dulce secado por freeze-dried		38	
Cristalino	NE	5.5	Alvarado-Díaz <i>et al.</i> , 2019

La fracción fenólica libre y la fracción conjugada estuvieron constituidos por dos y tres ácidos fenólicos, respectivamente, en diferentes proporciones.

Tabla 7.23. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en los estigmas maduros mediante un análisis por HPLC

Estigma maduro	mg CB/ g muestra b.s		
Yang <i>et al.</i> , 2019	GAL	FER	
Libres	0.0007	0.0001	
	FER	GAL	CUM
Conjugados	0.006	0.0004	0.0004

El contenido de flavonoides, en términos de equivalentes de catequina, determinado en los estigmas del maíz Cristalino fue de 0.16 a 0.7 mg quercetina/ g b.s (Mendoza-López *et al.*, 2017; Alvarado-Díaz *et al.*, 2019)

La concentración de flavonoides fue expresada como mg/ g muestra b.s., ng / g muestra b.s y en mg/ g muestra b.s. La tabla 7.24 expone las concentraciones de cada flavonoide encontrado en los extractos de estigma estudiado en los artículos.

Tabla 7.24. Perfil de flavonoides encontrado en los estigmas maduros mediante un análisis por HPLC

Estigma maduro	<i>mg CB/ g muestra b. s</i>					
Yang et al.,2019	4-HDXCM	QRC	KAEM			
Libres	0.0008	0.0004	0.0001			
	QR	QRC	CM	4-HDXCM	KAEM	RUT
Conjugados	0.001	0.0008	0.0002	0.00007	ND	ND
	<i>ng CB/ g muestra b. s</i>					
	MY	ISR	LTL	ERD		
Zhang et al.,2018	22.2	7.04	5.65	3.83		
	MY	ISR	LTL	ERD		
Zhang et al.,2018	81.6	31.9	15.5	2.62		
	<i>mg CB/ ml solucion</i>					
	MY	MMY	AMY			
Fougere et	0.043	0.041	0.008			
	MMY	MY	AMY			
Fougere et	0.008	0.003	0.002			
	AMY	MMY	MY			
Fougere et	0.003	0.002	0.002			
Estigma rojo	MY	MMY	AMY			
Fougere et	0.004	0.004	0.004			
	MY	AMY	MMY			
Estigma rojo	0.003	0.002	0.002			

B5. INFLORESCENCIAS MASCULINAS

INFLORESCENCIAS MASCULINAS O ESPIGA EN LA ETAPA VT A LA APARICIÓN DE LOS ESTIGMAS

Las inflorescencias masculinas de los maíces dulces o *sweet corn* exhibieron 11.0 a 13.4 mg de compuestos polifenólicos por gramo. Mientras que las inflorescencias color verde-rojo 12.8 a 15.8 mg de compuestos polifenólicos /g b.s (Duangpapeng *et al.*,2018).

Tabla 7.25. Contenido de compuestos polifenólicos en (mg/g b.s) encontrado en las inflorescencias masculinas o espiga desde la etapa VT a V0

Variedad	Color	Lugar	CPT (mg / g b.s)	Referencia
Hibrix3(maíz dulce)	Verde	Tailandia	13.4	Duangpapeng <i>et al.</i> ,2018
Sugar75(maíz dulce)	Verde		11.0	
PAC339(maíz forrajero)	Verde rosa-rojo		12.8	
P4546 (maíz forrajero)	Verde-rosa		15.8	
S6248(maíz forrajero)	Verde rosa-rojo		12.9	

A los 5 días después de la floración o emergencia de los estigmas, los autores Zhang *et al.*, 2018 estudiaron los flavonoides en las inflorescencias masculinas verdes en cinco maíces híbridos amarillos. El intervalo de concentración encontrado fue de 0.0002 a 0.0008 mg de flavonoides totales/ g b.s.

Tabla 7.26. Contenido de flavonoides en (mg/g b.s) encontrado en las inflorescencias masculinas o espiga en la etapa VT a R1

Variedad	Color	Lugar	FT (mg/ g b.s)	Referencia
Híbrido Jingke 969	Verde	China	0.0003	Zhang <i>et al.</i> , 2018
Híbrido Zhengdan 959	Verde		0.0003	
Híbrido Xianyu 336	Verde		0.0002	
Híbrido ceroso Jingkenuo 2001	Verde		0.0004	
Hibrido dulce Jingketian 184	Verde		0.0008	

Zhang *et al.*, 2019 cuantificó la concentración de los flavonoides encontrados en las inflorescencias masculinas o espiga en ng/g muestra b.s.

Tabla 7.27. Perfil de flavonoides encontrado en las inflorescencias masculinas mediante un análisis por HPLC

Inflorescencias masculinas	ng CB/g muestra			
	ISR	MY	ERD	LTL
Zhang <i>et al.</i> ,2018	231	65.1	8.86	5
Zhang <i>et al.</i> ,2018	109	63.4	13.4	3.6
Zhang <i>et al.</i> ,2018	699	62.5	10.3	3.72
Zhang <i>et al.</i> ,2018	189	71.1	5.81	5.13

El contenido de carotenoides observado en la investigación de Duangpapeng *et al.*, 2018 fue de 0.027 a 0.048 mg de CT/g en las inflorescencias masculinas verdes y de 0.024 a 0.034 mg de CT/ g en las inflorescencias masculinas verdes rosáceos.

Tabla 7.28. Contenido de carotenoides en (mg/g b.s) encontrado en las inflorescencias masculinas o espiga en la etapa VT y en la etapa de aparición de los estigmas (R1)

Variedad	Órgano	Lugar	CT (mg/ g b.s)	Referencia
Hibrix3(maíz dulce)	Verde	Tailandia	0.027	Duangpapeng <i>et al.</i> ,2018
Sugar 75(maíz dulce)	Verde		0.048	
PAC339(maíz forrajero)	Verde rosa rojizo		0.032	
P4546 (maíz forrajero)	Verde-rosa		0.024	
S6248(maíz forrajero)	Verde rosa-rojizo		0.034	

RESUMEN DE RESULTADOS DE COMPUESTOS POLIFENÓLICOS, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. Granos amarillos

A 10 días después de iniciada la polinización, los granos de los maíces amarillos contaron con 0.001 a 0.012 miligramos de carotenoides/ g b. s. Siendo el maíz H95-WT el del contenido más alto de estos isoprenoides y el maíz híbrido provitamina A el de un contenido diez veces menor.

El contenido de compuestos fenólicos reportado por dos trabajos en los granos amarillos varió de 1.4 a 1.8 miligramos CPT por gramo. Previamente, Simla *et al.*, 2016 encontró un contenido menor en el grano morado en la etapa de leche, es decir, de 0.05 mg CPT/g (apéndice I).

La concentración de flavonoides medida en los granos amarillos del maíz fue de 1.2 a 1.8 mg de equivalentes de catequina/ g de muestra en base seca. En cambio, los granos morados analizados por Ramos-Escudero *et al.*, 2012 presentaron un contenido mucho menor, de 0.23 a 0.15 mg de equivalentes de catequina/g b.s.

Las concentraciones monitoreadas del día 20 al día 24 después de la polinización están dentro del intervalo 0.002-0.053 miligramos CT/g b. s. La concentración vista en el híbrido provitamina A se situó en el valor mínimo de los datos. Mientras que, la concentración que presentó el maíz “*Hybrix 5*” se situó en el valor máximo.

Los granos amarillos en la etapa de masa, es decir, de 29 a 34 días después de la polinización, presentaron 0.017 a 0.05 mg de CT/ g b.s. Los híbridos *Fígaro e Hybrix 5*” presentaron el mayor y el menor contenido de carotenoides, respectivamente.

El intervalo de concentración encontrado de compuestos polifenólicos fue de 0.00004 a 109.69 mg de CPT / g muestra b.s. El valor más alto fue el cuantificado

en un maíz dulce y el más bajo en el maíz dulce *check 1*. En tanto que, el valor situado en la mediana de los valores fue de 1.17 mg CPT/ g muestra b.s y fue vista en el maíz SNH4802.

En el grano amarillo maduro Gong *et al.*, 2018, Rochetti *et al.*, 2018, Yang *et al.*, 2019, Hu *et al.*, 2020, encontraron los ácidos ferúlico y cumárico libres en una concentración menor que en su forma conjugada. Mientras que, Yang *et al.*, 2019 y Hu *et al.*, 2020, encontraron el ácido gálico en su forma libre en mayor proporción que en su forma insoluble. Trehan *et al.*, 2018 llegó a encontrar un contenido de hasta 20 mg de ácido ferúlico y 15 mg de ácido sinápico por cada gramo de muestra.

Los granos amarillos maduros estudiados durante el 2017 al 2021 exhibieron 0.02 a 43.68 mg de equivalentes de catequina/ gramo. Los granos de la raza tuxpeño presentaron el menor contenido de flavonoides por gramo, mientras que, un maíz dulce tailandés presentó el mayor. El contenido medio fue de aproximadamente 2.0 mg/ g b.s fue encontrado en el maíz dulce YT28. Por el contrario, los granos morados de maíz analizados por Ramos-Escudero *et al.*, 2012 presentaron un contenido de flavonoides considerablemente menor, de 0.23 a 0.15 mg de equivalentes de catequina/g muestra en base seca.

La quercetina se identificó en su forma conjugada pero no en su forma libre. Mientras que, la luteolina, el kaempferol y la catequina se detectaron en la fracción libre y en la fracción conjugada. Se identificó naringina libre. La maysina e isoorientina no se identificaron en el extracto.

El contenido de carotenoides informado en los granos maduros examinados en los artículos revisados fue de 0.006 a 13.4 mg de carotenoides totales/ g de muestra b. s. El maíz palomero presentó la concentración más baja de estos compuestos y el maíz híbrido con resistencia a *Striga* la más alta. El maíz SNH4802 presentó un contenido medio, de 0.022 mg de carotenoides/ g b.s. Los valores reportados en las referencias revisadas son parecidos a los que han sido informados anteriormente

en Acosta-Estrada *et al.*,2019 y Hu *et al.*, 2011 para los granos amarillos, no obstante, el valor que se encontró en una de las variedades fue considerablemente más alto.

Los tres carotenoides principales fueron la luteína, zeaxantina, β -caroteno. En el 50% de las muestras la luteína fue el carotenoide mayoritario, mientras que, en el resto lo fue la zeaxantina. El β -caroteno fue el carotenoide terciario en la mayoría de las muestras y la β -criptoxantina fue el cuarto. El α -caroteno fue el compuesto minoritario.

La concentración de fitoesteroles determinada en los granos maduros de 0.56 a 0.70 miligramos de FTS por gramo de muestra en base seca. Sin embargo, el valor reportado en el aceite de maíz *Huajian* No.1 alto en aceites estuvo por encima de el intervalo de concentración, mientras que, el encontrado en el yogurt del maíz Flynn no suplementado con fitoesteroles. La concentración promedio de fitoesteroles se encuentra por encima de los valores determinados previamente en cultivares de maíz analizados por (Esche *et al.*, 2013).

El perfil de fitoesteroles de los granos amarillos estuvo constituido por nueve fitoesteroles. El β -sitosterol fue el compuesto mayoritario, mientras que, el campesterol y el estigmasterol fue el secundario y el terciario, respectivamente.

B2. Olote

El olote blanco presentó un contenido de compuestos polifenólicos de 9.14 mg de CPT/ g de muestra en base seca. En tanto que, un olote morado en la etapa de masa exhibió un contenido 6 miligramos más alto, es decir, 15.31 mg CPT/ g muestra b.s. Por el contrario, la variedad KKV-WX111031 exhibió 0.40 mg CPT/g muestra b.s en el olote o raquis en la misma etapa del desarrollo (Simla *et al.*, 2016) (apéndice I).

Los ácidos ferúlico y cumárico fueron más abundantes en su forma conjugada que en su forma libre. Por el contrario, el ácido gálico predominó en su forma libre.

El olote del maíz dulce YT29 presentó 1.98 mg de catequina/ g de muestra en base seca (Yang *et al.*, 2018). En cambio, Ramos-Escudero *et al.*, 2012 reportó una concentración de flavonoides inferior en el grano morado.

Los flavonoides encontrados en el olote tanto en su forma libre como insoluble fueron estudiados en la investigación realizada por Yang *et al.*, 2019. El kaempferol se encontró en su forma libre pero no en su forma conjugada. La quercetina, el kaempferol y la rutina no se identificaron en el extracto de ácidos fenólicos insolubles-conjugados.

A diferencia de los granos amarillos, en el olote el betacaroteno fue el carotenoide mayoritario y se presentó en una cantidad relativamente alta, incluso mayor a la de zeaxantina y luteína.

B3. Brácteas

El contenido de polifenoles totales reportado en las brácteas en la etapa de leche de color convencional del maíz YT28 fue 4.41 mg CPT/ g muestra b.s (Yang *et al.*, 2018). A pesar de provenir de un maíz amarillo, las brácteas contaron con una concentración considerablemente mayor de compuestos polifenólicos que las brácteas moradas del maíz del mismo color KCU-WX111031 (Simla *et al.*, 2016) (apéndice I).

Además de ácidos fenólicos, en el artículo de Duru *et al.*, 2020 se identificaron otros compuestos pertenecientes al grupo de los polifenólicos como lo son los taninos y el resveratrol. El análisis por HPLC reveló la predominancia de ácido gálico en su forma libre sobre su forma insoluble-conjugada. Por el contrario, se observó la predominancia de las formas conjugadas de los ácidos ferúlico y cumárico sobre las formas libres.

Tras el estudio de las brácteas de un maíz dulce YT28 proveniente de China, Yang *et al.*, 2018 encontró 1.9 mg de equivalentes de catequina/ g muestra b. s.

Cuatro subclases del grupo de los flavonoides fueron identificadas en las brácteas de los maíces de grano amarillo: flavan-3-oles, flavanonas, proantocianinas, antocianinas y flavonas. En las brácteas, no se detectaron los flavonoides kaempferol, rutina y quercetina en su forma conjugada o libre. Además de encontrarse en las brácteas del maíz amarillo, en el periodo 2017-2021 la naringina se reportó en los granos amarillos, en los granos morados y en los estigmas morados, pero no en el raquis rojo de un maíz morado.

En la etapa de masa, las brácteas moradas del maíz amarillo KCU-PFC3 contuvieron 17.1 mg CPT/ g muestra b.s (Khamphan *et al.*,2020). Mientras que, un contenido significativamente bajo ha sido reportado en las brácteas de la variedad morada KCU-WX111031(Simla *et al.*, 2016) (apéndice I).

B4. Estigmas

Los estigmas frescos de color verde contuvieron entre 1.62 a 3.54 miligramos de polifenoles totales/ g b.s (Yang *et al.*,2018).

Al igual que en otras partes del maíz dulce YT28, el ácido gálico se encontró principalmente en su forma libre. Así mismo, el ácido ferúlico y el cumárico solo se presentaron en su forma conjugada (Yang *et al.*,2018).

La concentración encontrada en los estigmas verdes inmaduros está dentro del intervalo 0.00003 a 2.642 mg de flavonoides/ g de muestra b.s. Los estigmas de los híbridos *Jungke 968* y *Jingketian 183* fueron los de menor contenido y los estigmas del maíz dulce YT30 los del mayor.

El extracto de estigma inmaduro presentó cumarina en su forma conjugada y 4-hidroxycumarina en su forma libre. No obstante, el kaempferol, rutina y quercetina no fueron identificados (Yang *et al.*,2018).

El contenido de compuestos fenólicos en los estigmas maduros cafés del maíz raza Cristalino está entre 1.27 a 5.5 mg CPT /g muestra b.s. En cambio, en los estigmas sometidos a procesamiento por liofilización o secado en túnel se cuantifico un contenido de 38 y 36 mg de CPT/g muestra b.s, respectivamente.

La fracción fenólica conjugada estuvo constituida por los ácidos fenólicos gálico, ferúlico y cumárico, en cambio, la fracción libre incluyó los ácidos ferúlico y gálico. El ácido gálico se detectó en una mayor medida en su forma libre y el ácido ferúlico en su forma conjugada.

El contenido de flavonoides encontrado en los estigmas del maíz Cristalino fue de 0.16 a 0.7 mg quercetina/ g muestra b.s (Mendoza-López *et al* 2017; Alvarado-Díaz *et al.*, 2019)

A un estado de madurez más avanzado, se identificaron más flavonoides en los estigmas tales como kaempferol libre, la quercetina conjugada y la quercitrina tanto libre como conjugada. Las flavonas fueron la clase principal de flavonoides en los estigmas maduros. La maysina, metoximaysina, apimaysina, luteolina e isoorientina pertenecen a este grupo.

B5. Inflorescencias masculinas

En la etapa VT, las inflorescencias masculinas verdes de los maíces dulces contuvieron 11.0 a 13.4 mg de compuestos polifenoles/ g de muestra b.s. De los maíces analizados, *Hibrix3* presentó el contenido más alto en la espiga y *Sugar75* el más bajo. Mientras que las inflorescencias color verde-rojo, provenientes de maíces forrajeros, presentaron 12.8 a 15.8 mg de polifenoles /g de muestra b.s

(Duangpapeng *et al.*,2018). Las inflorescencias del maíz P4546 presentaron el contenido más alto y las inflorescencias del maíz PAC339 el más bajo.

Las espigas destacaron por su alto contenido en compuestos polifenólicos superando a los estigmas y granos amarillos. El contenido de polifenoles encontrado en la espiga es equiparable al del olote y brácteas de la planta del maíz amarillo.

A los 5 días después de la floración R1 o emergencia de los estigmas, las inflorescencias masculinas verdes presentaron una concentración de 0.0002 a 0.0008 mg de flavonoides totales/ g de muestra en base seca (Zhang *et al.*, 2018). El híbrido Xianyu 336 presentó el contenido más bajo, mientras que, el híbrido dulce Jingketian 184 el más alto.

La isoorientina fue el flavonoide principal en las inflorescencias masculinas, mientras que la luteolina fue el minoritario (Zhang *et al.*, 2019). En contraste, la maysina fue el componente mayoritario de los estigmas (Zhang *et al.*, 2019).

El contenido de carotenoides informado en la investigación de Duangpapeng *et al.*, 2018 fue de 0.027 a 0.048 mg CT/g muestra b.s en las inflorescencias masculinas verdes de los maíces dulces y de 0.024 a 0.034 mg CT/ g muestra b.s en las inflorescencias masculinas verdes rosáceos de los maíces forrajeros. El contenido de carotenoides no vario significativamente de acuerdo con el color de la espiga. El contenido de carotenoides en la espiga fue aproximadamente de la mitad de la concentración reportada en los granos amarillos por Acosta-Estrada *et al.*,2019 y fue cercano al encontrado en los artículos revisados.

No obstante, la concentración de carotenoides encontrada en el camote y la zanahoria (Ishiguro *et al.*, 2019 y Jourdan *et al.*, 2015) es tres a nueve veces mayor que la concentración reportada en las inflorescencia masculina o espiga.

De los resultados obtenidos tras la revisión en el periodo 2017 a 2021 se concluye que:

Los carotenoides fueron los compuestos estudiados en más artículos, cuantitativa y cualitativamente hablando, en los órganos del maíz de grano amarillo.

Los trabajos revisados llevaron a cabo el estudio de los órganos de la planta del maíz amarillo en distintas etapas del desarrollo.

La mayoría de los estudios se centraron en la cuantificación del contenido total de los compuestos. Una gran parte de los autores también llevó a cabo un análisis por HPLC.

La concentración total de flavonoides y la concentración total de compuestos polifenólicos reportada en los granos amarillos maduros de un maíz dulce (Bualang *et al.*,2017), la concentración total de carotenoides reportada en los granos amarillos maduros de un híbrido con resistencia a Striga (Elemosho *et al.*,2020) y la concentración de antocianinas y compuestos polifenólicos determinada en el olote y las brácteas moradas de la línea KKU-PFC3 (Khamphan *et al.*,2020) es mayor a la concentración reportada en revisiones anteriores.

El resto de los valores de concentración de compuestos bioactivos expuestos en el presente capítulo están dentro del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

Los granos amarillos, estigmas e inflorescencias masculinas contienen una cantidad baja antocianinas comparado con otros órganos coloridos.

Las inflorescencias y el grano inmaduro amarillo poseen un contenido similar de carotenoides al del grano maduro amarillo.

Las brácteas, el olote y los granos poseen un contenido similar de flavonoides.

El olote morado y las brácteas moradas fueron los órganos de la planta del maíz amarillo con una mayor concentración de antocianinas y compuestos polifenólicos.

Las inflorescencias masculinas, las brácteas y el olote del maíz morado contaron con una cantidad relativamente alta de compuestos polifenólicos.

El contenido de carotenoides encontrado en las inflorescencias masculinas es similar al encontrado en los granos amarillos y a su vez menor al que presentan otras fuentes de carotenoides como la zanahoria.

El perfil polifenólico del olote es semejante al del grano, mientras que el de las inflorescencias y los estigmas es distinto.

El olote contiene los mismos carotenoides que el grano, pero en diferente proporción.

Algunos de los flavonoides detectados en los estigmas e inflorescencias masculinas no se han detectado en el grano.

Los compuestos bioactivos identificados en los órganos ya se han identificado en trabajos anteriores.

CAPÍTULO 8

Antocianinas y otros compuestos bioactivos en los órganos de la planta del maíz blanco durante su desarrollo



Figura 22. Maíces blancos

Nota. White and specialty corn [fotografía], Nebraska Corn Board (<https://nebraskacorn.gov/issues-initiatives/your-food/field-corn-vs-food-corn/>)

INTRODUCCIÓN

Algunos maíces nativos de México, maíces cerosos, *199 flint* e híbridos presentan granos de color blanco.

De acuerdo con SIAP,2017 citado por SAGARPA,2017, en el año 2016, el 52% del maíz blanco se destinó al consumo humano,19% al consumo pecuario,18% al autoconsumo, 6% a las exportaciones, 1% a semilla para siembra y el 4% restante a mermas.

A continuación, se presenta la información encontrada tras la revisión de artículos emitidos en los años 2017 a 2021, sobre el contenido y el perfil de compuestos bioactivos encontrados en los órganos de la planta del maíz blanco.

La información encontrada se organizó en 2 apartados según el compuesto bioactivo analizado: en el apartado A. se presenta el contenido y tipo de antocianinas encontrado en los órganos de la planta y en el B. el contenido y tipo de polifenoles, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles encontrado en los órganos de la planta del maíz.

Cada apartado a su vez se divide en secciones de acuerdo con el órgano analizado; en este caso, 1. Grano, 2. Olote, 3. Brácteas, 4. Estigmas, 5. Hojas y 6. Tallos. A su vez, cada sección se subdivide según el estado de desarrollo de la planta, en este caso, madurez fisiológica o avanzada (60-75 DDP, 10 %H o almacenado durante años).

En las tablas se exponen las concentraciones de antocianinas, polifenoles, flavonoides, carotenoides, fitoesteroles y xilanos; reportadas en los artículos revisados. Las concentraciones encontradas fueron ajustadas a mg de compuesto bioactivo/ g de muestra en base seca. De igual manera, las cifras fueron redondeadas.

La búsqueda de artículos sobre el maíz blanco no se llevó a cabo como en el caso de los demás maíces coloridos, sino que se tomó información de los artículos ya revisados. La recopilación de información sobre el maíz blanco se llevó a cabo con fines comparativos. Además, el estudio del grupo de los xilanos se llevó a cabo solamente en los órganos de la planta de este maíz.

Algunos de los artículos no presentaban una descripción del color o tipo del grano del maíz por lo que se asumió que se trataba de maíz blanco y se presentan en esta sección.

Mientras que, la concentración de los compuestos bioactivos caracterizados por HPLC se muestra en orden decreciente y con un color determinado en las tablas.



CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

López-Malvar *et al.*, 2017 determinaron un contenido de antocianinas totales de 0.01 mg/ g b.s en los granos de la línea EP39 y un contenido de 0.013 miligramos por gramo de muestra en b.s en los granos de la línea EP42.

A2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA A AVANZADA

En Fernández-Aulis *et al.*,2019 el contenido de antocianinas fue extraído mediante tres métodos emergentes. La extracción asistida por ultrasonido permitió cuantificar un contenido de 24.31 miligramos de AT/ gramo de muestra en base seca a partir del olole morado del maíz Cacahuazintle (Fernández-Aulis *et al.*, 2019).

Las antocianinas fueron caracterizadas por los investigadores Fernández-Aulis *et al.*, 2019 en el olole morado de un maíz mexicano.

Tabla 8.1. Perfil de antocianinas encontrado en el olole morado mediante un análisis por HPLC

Raquis morado	Área					
	C3MG	C3G	Pg3MG	Pn3MG	Pn3G	Pg3G
Fernandez-Aulis et al.,2019	35.04	19.17	9.23	5.61	4.63	4.23

A3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Un contenido de 25.8 mg de AT/ g muestra b.s se extrajo a partir de las brácteas moradas del maíz Cacahuazintle mediante una extracción asistida por ultrasonido (Fernández-Aulis *et al.*,2019).

Las antocianinas presentes en el extracto de bráctea morada fueron analizadas a través de HPLC-MS, véase los resultados de Fernández-Aulis *et al.*, 2019 en la tabla 8.2.

Tabla 8.2. Perfil de antocianinas encontrado en las brácteas moradas mediante un análisis por HPLC

Bráctea morada	Área					
	C3MG	Pg3MG	C3G	Pn3MG	Pg3G	Pn3G
Fernandez-Aulis et al.,2019	31.26	19.26	7.15	7.05	5	2.4

A4. ESTIGMAS

ESTIGMAS MADUROS

Los estigmas café maduros de la raza de maíz Gordo, de origen mexicano, presentaron 0.01 mg de antocianinas/g de muestra en base seca (Alvarado-Díaz *et al.*, 2019).

RESUMEN DE RESULTADOS DEL CONTENIDO Y TIPO DE ANTOCIANINAS

A1. Granos blancos

El contenido de antocianinas totales determinado en los granos blancos fue de 0.01 a 0.013 mg/ g muestra b.s (López-Malvar *et al.*, 2017). Mientras que, López-Martínez *et al.*, 2009 citado por Bello-Pérez *et al.*, 2016 informaron una concentración de 0.154 mg AT/ g en el grano de un maíz blanco veracruzano.

A2. Orote

Llegada la madurez, Fernández-Aulis *et al.*, 2019 determinaron un contenido de antocianinas de 24.31 miligramos de AT/ gramo en el orote morado (Fernández-Aulis *et al.*, 2019). La concentración observada en el orote del maíz Cacahuacintle estuvo dentro del intervalo concentración informado por Navarro *et al.*, 2018, es decir, 0.03 a 39.00 mg de antocianinas por gramo de orote morado, en base seca.

Las antocianinas encontradas se detectaron en concentraciones considerables que van de los 4 a 35 mg/ g muestra b.s. En el artículo se encontró una cantidad de alrededor 5 mg/ g muestra b.s de antocianinas de peonidina, esto le da estabilidad al extracto de orote.

A3. Brácteas

El contenido de antocianinas determinado en las brácteas moradas del maíz blanco fue de 25.8 mg de AT/ g muestra b.s (Fernández-Aulis *et al.*, 2019). Fernández-Aulis *et al.*, 2019 observaron un contenido de antocianinas similar en las brácteas moradas y en el orote morado de la planta. Así mismo, el valor reportado por Fernández-Aulis *et al.*, 2019 se encuentra dentro del intervalo de antocianinas reportado en la revisión de Navarro *et al.*, 2018, el cual va de 0.03 a 35.0 mg de AT/g de brácteas.

La cianidina-3-O-(6"- malonil-glucósido) fue la antocianina principal, mientras que la peonidina-3-glucósido fue la minoritaria. A pesar de esto se encontró en una concentración de 2.4 mg AT/ g muestra b.s. La presencia de las antocianinas basadas en peonidina confieren estabilidad al extracto.

A4. Estigmas

Los estigmas cafés maduros, presentaron 0.01 mg de antocianinas/g de muestra en base seca (Alvarado-Díaz *et al.*, 2019). En el trabajo de Alvarado-Díaz *et al.*, 2019 se informó un contenido inferior de antocianinas en los estigmas cafés que en los estigmas rojizos de un maíz Cónico. Mientras que, la concentración de antocianinas vista en los estigmas morados de los maíces PWC1 y 2 estudiados por Sarepoua *et al.*, 2013, es siete veces mayor.

B

CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

B1. GRANOS

GRANOS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

El contenido de polifenoles totales medido en los granos blancos maduros fue de 0.77 a 40.0 miligramos por gramo de muestra en base seca.

Tabla 8.3. Contenido de compuestos polifenólicos en (mg/g b.s) encontrado en los granos blancos en la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
Híbrido PR32B10	Italia.	2.509	Giordano <i>et al.</i> , 2018a
Híbrido PR32B11	Italia.	2.141	Giordano <i>et al.</i> ,2018b
Línea EP39(resistente a MCB)		38.00	López-Malvar <i>et al.</i> , 2017
Línea EP42(susceptible a MCB)		40.000	
IC 447 y IC550	India.	0.773 a 1.693	Trehan <i>et al.</i> ,2020

Se cuantificaron cuatro ácidos fenólicos en los extractos de los granos del maíz blanco. Las cantidades se muestran en la tabla 8.4.

Tabla 8.4. Perfil de ácidos fenólicos en los granos blancos mediante un análisis por HPLC

Grano blanco	mg CB/ g b. s		
	FER		
Trehan <i>et al.</i> ,2018	22.92		
	FER		
Trehan <i>et al.</i> ,2018	20.04		
	FER	SNP	PROCAT
Trehan <i>et al.</i> ,2018	20.41	14.79	14.71
	FER	CUM	
<i>al.</i> ,2020	1.3564	0.1232	

En los granos de maíz blanco de las líneas EP39 y EP42 se determinó un contenido de 9.4 y 20.1 miligramos de equivalentes de rutina por gramo, respectivamente (López-Malvar *et al.*, 2017). Trehan *et al.*, 2018 encontraron un contenido de 10.66 a 11.82 mg de quercetina por cada gramo de grano de maíz blanco.

El maíz híbrido PR32B10, de origen italiano, presentó un contenido de carotenoides totales de 0.0006 miligramos por cada gramo de muestra en base seca (Giordano *et al.*, 2018a).

B2. OLOTE

OLOTE EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

El contenido de polifenoles totales determinado en olote morado del maíz Cacahuazintle fue de 47.51 mg de CPT/g muestra b.s (Fernández-Aulis *et al.*, 2019). Las dos investigaciones citadas en la siguiente tabla, aislaron un arabinoxilano con un residuo de ácido ferúlico en su estructura a partir del olote del maíz. Se aplicaron dos métodos para la extracción de los arabinoxilanos. El rendimiento de extracción no se mencionó en los artículos.

Tabla 8.5. Propiedades de los arabinoxilanos extraíbles con agua a partir del olote en la madurez fisiológica a avanzada

Método de extracción	PM x10 ³	%								-R	Referencia
		PRO T	CHO	Xyl	Ara	Glc	Gal	Man	AGlc		
Xilanos extraíbles con agua											
Alcalina asistida con ultrasonido	131	0.3	95	48	16	21	10	2.5	2.5	FER	Melo-Silveira <i>et al.</i> , 2019
Reactor hidrotérmico de flujo continuo				71.1	3.0	16.0	2.4	2.5	4.2	FER y CUM	Arai <i>et al.</i> , 2019

B3. BRÁCTEAS

BRÁCTEAS EN LA ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA O AVANZADA

Las brácteas moradas de la raza Cacahuazintle exhibió un contenido total de compuestos polifenólicos de 44.03 miligramos por gramo (Fernández-Aulis *et al.*, 2019).

B4. ESTIGMAS

ESTIGMAS EN ESTADO FRESCO

En la siguiente tabla se expone el contenido de polifenoles totales encontrado en los estigmas coloridos de maíces que no se describieron como coloridos. Los maíces analizados provienen de países asiáticos como Tailandia e Indonesia. El intervalo de polifenoles totales encontrado en los estigmas coloridos fue de 7.44 a 49.95 miligramos por cada gramo de muestra en base seca.

Tabla 8.6. Contenido de compuestos polifenólicos en (mg/g b.s) encontrado en los estigmas en estado inmaduro o fresco

Variedad	Color de los estigmas	Lugar	CPT (mg/g b.s)	Referencia
Estigma	Amarillo	NE	7.439 a 25.072	Laeliocattleya <i>et al.</i> , 2019
Estigma	Amarillo	Indonesia	8.217	Haslina <i>et al.</i> , 2019
Híbrido Pacific 271	Amarillo	Tailandia	44.580	Limmatvapirat <i>et al</i> 2020
Híbrido Zeba SG17	Rojo	Tailandia	49.950	Limmatvapirat <i>et al</i> 2020

Se encontraron cuatro trabajos que llevaron a cabo el análisis de flavonoides en esta parte del maíz. La cuantificación de flavonoides se llevó a cabo con estándares de quercetina, ácido gálico y rutina. El valor de concentración de flavonoides informado en los estigmas amarillos fue de 0.024 a 22.46 miligramos de FT/g b.s.

Tabla 8.7. Contenido de flavonoides en (mg/g b.s) encontrado en los estigmas en estado inmaduro y fresco

Variedad	Color del estigma	Lugar	FT (mg de EQ/g b.s)	Referencia
Estigma	Amarillo	NE	0.024 a 0.176	Laeliocattleya <i>et al.</i> ,2019
Variedad	Color del estigma	Lugar	FT (mg de EAG/g b.s)	Referencia
Estigma	Amarillo	Indonesia	0.234	Haslina <i>et al.</i> , 2019
Variedad	Color del estigma	Lugar	FT (mg de ER/g b.s)	Referencia
Híbrido Pacific 271	Amarillo	Tailandia	22.460	Limmatvapirat <i>et al</i> 2020
Híbrido Zeba SG17	Rojo	Tailandia	21.070	Limmatvapirat <i>et al</i> 2020

Los autores Laeliocattleya *et al.*,2019 determinaron una concentración de β -caroteno de 0.008 a 0.035 miligramos por gramo de muestra en base seca, en los estigmas amarillos frescos del maíz. En tanto que, Haslina *et al.*, 2019 cuantificaron 0.215 miligramos de β -caroteno por cada gramo de muestra.

ESTIGMAS EN ESTADO MADURO

Durante el periodo 2017 a 2021 se estudiaron los estigmas maduros de tres genotipos: dos asiáticos y uno del continente americano. El contenido total determinado de compuestos fenólicos en las muestras fue de 0.3 a 74.5 miligramos por gramo.

Tabla 8.8. Contenido de compuestos polifenólicos en (mg/g b.s) encontrado en los estigmas maduros

Variedad	Lugar	CPT (mg/ g b.s)	Referencia
YeDan-13	China	38.200	Wang <i>et al.</i> , 2019
PI543	Pakistán	0.300 a 16.500	Nawaz <i>et al.</i> ,2019
Gordo RG-w	México	74.500	Alvarado-Díaz <i>et al.</i> , 2019

En los estudios publicados durante el 2017 al 2021 se identificaron el ácido clorogénico, ácido cumárico y el ácido ferúlico en Alvarado-Díaz *et al.*, 2019. Wang *et al.*, 2019 identificó también ácido vanílico, ácido cafeico y protocatecuico.

El estudio de los flavonoides se llevó a cabo en los trabajos citados en la tabla 8.9. El valor de flavonoides medido en las muestras va de 0.11 a 16.5 miligramos por gramo de muestra b.s.

Tabla 8.9. Contenido de flavonoides en (mg/g b.s) encontrado en los granos blancos en la etapa de madurez fisiológica o avanzada

Variedad	Lugar	FT (mg de ER/ g b.s)	Referencia
YeDan-13	China	16.500	Wang <i>et al.</i> , 2019
Variedad	Lugar	FT (mg de EC/g b.s)	Referencia
PI543	Pakistán.	0.110 a 23.400	Nawaz <i>et al.</i> ,2019
Variedad	Lugar	FT (mg de EQ/g b.s)	Referencia
Gordo RG-w	México	15.100	Alvarado-Díaz <i>et al.</i> , 2019

Wang *et al.*, 2019 identificaron luteolina y otras flavonas en los estigmas. Alvarado-Díaz *et al.*, 2019 encontró también a la metoximaysina y apimaysina en las muestras.

Zhang *et al.*, 2017 encontró un contenido de fitoesteroles de 10.59 miligramos por gramo de muestra b.s en los estigmas cafés de la variedad china Zhengdan 958. Mientras que, Park *et al.*, 2019 reportó un contenido de 5.46 mg de fitoesteroles/ g b.s en los estigmas maduros de un maíz coreano. En Zhang *et al.*, 2017 se encontró un porcentaje de 47.50 % β -sitoesterol y de 36.70% de stigoesterol en el estigma maduro.

B5. HOJAS

HOJAS EN LA ETAPA DE APARICIÓN DE LOS ESTIGMAS

Las hojas de la variedad originaria de Serbia presentaron 0.079 mg de polifenoles totales/ g de muestra b.s (Mesarovic *et al.*, 2017).

Los ácidos fenólicos identificados y las cantidades detectadas en las hojas frescas del maíz se muestran a continuación.

Tabla 8.10. Perfil de ácidos fenólicos encontrado en las hojas mediante un análisis por HPLC

Hojas	mg CB/ g b. s				
	CAF	CUM	FER	GAL	PROCAT
Mesarcovic et al.,2017	0.035	0.022	0.020	0.010	0.007
Mesarcovic et al.,2017	0.070	0.022	0.018	0.015	0.009
Mesarcovic et al.,2017	0.025	0.021	0.018	0.010	0.006
Mesarcovic et al.,2017	0.095	0.071	0.023	0.023	0.016
Mesarcovic et al.,2017	0.104	0.025	0.024	0.017	0.011
Mesarcovic et al.,2017	0.026	0.021	0.017	0.010	0.010
Mesarcovic et al.,2017	0.032	0.017	0.012	0.011	0.010
Mesarcovic et al.,2017	0.032	0.017	0.011	0.010	0.006
Mesarcovic et al.,2017	0.023	0.019	0.013	0.011	0.006
Mesarcovic et al.,2017	0.020	0.016	0.010	0.009	0.009

B6. TALLO

TALLO EN LA MADUREZ AVANZADA

Los porcentajes de carbohidratos y proteínas de los arabinosilanos provenientes del tallo de maíz no fue determinado, pero si el rendimiento de extracción y el peso molecular.

Tabla 8.13. Propiedades de los arabinosilanos extraíbles con agua a partir del tallo de maíz en la etapa de madurez avanzada

Método de extracción	%R	PM x10 ³	Referencia
Xilanos extraíbles con agua			
Enzimática	45.62	46.3	Melo-Silveira <i>et al.</i> ,2019
a. Filtrado desalinización con diálisis			
b. Sólido nanofiltración	37.88	81.8	
c. Filtrado nanofiltración	48.12	52.8	

B7. SALVADO

SALVADO EN LA MADUREZ AVANZADA

Las propiedades de los arabinosilanos extraíbles y no extraíbles con agua aislados a partir del salvado de maíz se muestran en la tabla 8.11. El arabinosilano estudiado por Herrera-Balandrano *et al.*, 2018 exhibió residuos de ácido ferúlico, di-ferúlico y triferúlico en su estructura. El arabinosilano caracterizado por Jiang *et al.*, 2019 presentó 2.5% ramnosa, 0.7 % de manosa, 1.5 % de ácido glucurónico y 1.4 % de ácido galacturónico. Los rendimientos de extracción obtenidos en las investigaciones citadas a continuación van de 4.9 a 88.1%.

Tabla 8.11. Propiedades de los arabinosilanos extraíbles y no extraíbles con agua a partir del salvado de maíz en la madurez avanzada

Método de extracción	%R	PM	%							Referencia
			PROT	CHOS	Xyl	Ara	Glc	Gal	Ara/xyl	
Xilanos extraíbles con agua										
Alcalina a 120°C	45.9		1.47	93.21	47.1	34.4		18.5		Kang <i>et al.</i> , 2019
Hidrolisis enzimática con endo-xilanasa	88.1	253								Kale <i>et al.</i> , 2018
	80.3	132								
	88.9	92.7								
	88.3	51.6								
4h	8.2		0.86		29.7	25.9	1.9	2.5	0.87	
6h	7.17		0.62		30.3	26.6	1.2	3.1	0.87	
Xilanos no extraíbles con agua										
Alcalina EAU-EAM	27.8		0.23	78.05	38.3	28.3	22.3	5.1	0.73	Jiang <i>et al.</i> , 2019
Alcalina 2h	4.9		1	69.97	33.43	27.73	4.51	2.52	0.82	Herrera-Balandrano <i>et al.</i> , 2018
4h	8.2		0.86		29.7	25.9	1.9	2.5	0.87	
6h	7.17		0.62		30.3	26.6	1.2	3.1	0.87	

RESUMEN DE CONTENIDO Y TIPO DE POLIFENOLES, FLAVONOIDES, CAROTENOIDES Y FITOESTEROLES

A1. Granos blancos

El contenido total de polifenoles cuantificado en los granos blancos, maduros fisiológicamente, fue de 0.77 a 40.0 miligramos CPT/gramo de muestra en base seca. Las líneas EP39 y EP42 destacaron por su alto contenido en polifenoles totales, mientras que la línea IC447 presentó el contenido más bajo. En Zilic *et al.*, 2012 se reporta un contenido de 5.2 mg CPT/ g muestra b.s en los granos blancos. Entre los granos coloridos analizados los granos blancos destacan por su bajo contenido de compuestos polifenólicos (Zilic *et al.*, 2012).

El ácido ferúlico fue el ácido fenólico más abundante en las cuatro muestras. En las accesiones analizadas en Trehan *et al.*, 2018, se detectaron cantidades altas de ácido ferúlico de 20 miligramos.

En las líneas de maíz blanco EP39 y EP42 se encontró un contenido de 9.4 a 20.1 mg de equivalentes de rutina/ g muestra b.s (López-Malvar *et al.*, 2017). El grano blanco mostró un contenido de flavonoides similar al encontrado en los extractos del olote, brácteas y estigmas estudiados por Dong *et al.*, 2014.

El híbrido blanco PR32B10 presentó un contenido de carotenoides totales de 0.0006 miligramos por gramo de grano (Giordano *et al.*, 2018a). Este contenido es cuarenta a cien veces menor al valor cuantificado en los granos amarillos informados por Hu *et al.*, 2011 y Acosta-Estrada *et al.*, 2019.

A2. Olote

El olote morado de la raza de maíz blanco Cacahuacintle mostró un contenido de polifenoles totales de 47.51 mg de CPT/g muestra b.s (Fernández-Aulis *et al.*, 2019).

El contenido determinado en el olote morado supera al que fue informado en el olote de un maíz de color convencional en Dong *et al.*, 2014.

El rendimiento de extracción no se mencionó en los artículos. Los arabinoxilanos estudiados presentaron ácido ferúlico y cumárico en su estructura lo que le aporta propiedades antioxidantes. Melo-Silveira *et al.*, 2019 obtuvieron un arabinoxilano de alto peso molecular con fragmentos de proteína.

A3. Brácteas

Las brácteas moradas de la raza Cacahuazintle analizadas por (Fernández-Aulis *et al.*, 2019) presentaron un contenido de polifenoles totales de 44.03 miligramos por gramo. Las brácteas del maíz Cacahuazintle exhibieron una concentración superior a la que presentaron las brácteas analizadas por Dong *et al.*, 2014, provenientes de un maíz convencional.

A4. Estigmas

El intervalo de polifenoles totales encontrado en los estigmas frescos amarillos fue de 7.44 a 44.58 miligramo por gramo de muestra en base seca. En cambio, los estigmas rojos en estado fresco presentaron un contenido ligeramente mayor de 49.95 mg CPT/ g muestra b.s, a pesar de que el color generalmente está ligado con la concentración de antocianinas. En el extracto etanólico al 80% v/v de los estigmas estudiado por Dong *et al.*, 2014 y en los estigmas de un maíz blanco ceroso analizados por Sarepoua *et al.*, 2013, se observó un contenido de polifenoles totales considerablemente menor.

El valor de flavonoides reportado en los estigmas amarillos por Laeliocattleya *et al.*, 2019 fue de 0.024 a 0.176 mg de quercetina/g muestra b.s. La concentración cuantificada, en términos de rutina, fue de 21.07 y 22.46 mg ERUT/g muestra b.s, en los estigmas rojos y amarillos, respectivamente (Limmatvapirat *et al.*, 2020). En

la investigación realizada por (Dong *et al.*,2014) se determinó un contenido dos veces menor, de 9.57 mg RUT/ g muestra b.s, en el extracto etanólico de los estigmas.

El contenido de β -caroteno reportado en los estigmas inmaduros ronda los 0.008 a 0.215 miligramos por cada gramo de muestra en base seca. Cuyo valor está por encima al reportado en los granos amarillos y naranjas estudiados por Zilic *et al.*, 2012.

El contenido de polifenoles totales determinado en los estigmas maduros en los estudios realizados, fue de 0.3 a 74.5 miligramos por gramo de muestra. En el extracto etanólico al 80% v/v de los estigmas se observó un contenido de polifenoles totales de 3.994 mg CPT/g muestra en base seca (Dong *et al.*, 2014).

Los ácidos fenólicos identificados en el pelo de elote o estigmas fueron el ácido clorogénico, ácido cumárico, ácido ferúlico, ácido vanílico, ácido cafeico y protocatecuico.

El contenido de flavonoides se cuantificó por medio de estándares analíticos diferentes, en algunas muestras se determinó un contenido de 16.5 mg de equivalentes de rutina, en otras de 10.1 a 23.4 mg de equivalentes de catequina y por último 15.1 mg de equivalentes de quercetina por gramo de muestra b.s.

El contenido de flavonoides reportado en los estigmas, expresado en términos de catequina, supero en cuarenta veces al contenido determinado en los granos morados estudiados por Ramos-Escudero *et al.*, 2012. Mientras que, los resultados expresados en términos de rutina se aproximan a los informados anteriormente por Dong *et al.*,2014 en los estigmas.

La luteolina, metoximaysina y apimaysina y otras flavonas fueron detectadas en las muestras.

El contenido de fitoesteroles encontrado en los estigmas cafés fue de 5.46 a 10.59 miligramos por gramo de muestra en base seca.

El perfil cromatográfico de los estigmas analizado por Zhang *et al.*, 2017 estuvo constituido en un 47.5% por betasitoesterol y en un 36.7% por stigoesterol.

A5. Hojas

Las hojas de la variedad originaria de Serbia presentaron 0.079 mg de polifenoles totales/ g de muestra en b.s en la etapa de floración o aparición de los estigmas (Mesarovic *et al.*, 2017).

El ácido cafeico y el ácido cumárico se encontraron en primer y segundo lugar, respectivamente, en orden descendente de abundancia en la mayoría de las hojas muestreadas. Mientras que, el ácido protocatecuico se encontró en el quinto y último lugar. Sin embargo, las concentraciones en las que se encontraron los cinco ácidos fenólicos fueron parecidas.

A6. Salvado

Los arabinoxilanos fueron extraídos de los tejidos lignocelulósicos de la planta como lo son el raquis, las hojas, las brácteas y el tallo. No obstante, también fueron aislados a partir de subproductos de la molienda del maíz como lo es el salvado de maíz. Los valores de rendimiento de extracción de los xilanos extraíbles con agua fue de 7.17 a 88.9 %, los cuales corresponden a los obtenidos por Kale *et al.*, 2018 mediante una hidrólisis enzimática. Mientras que, los xilanos y no extraíbles con agua se obtuvieron con un rendimiento de y 4.9 a 27.8%, valores obtenidos por Herrera-Balandrano *et al.*, 2018 y Jiang *et al.*, 2019 respectivamente.

Los arabinosilanos caracterizados por Jiang *et al.*, 2019 y Herrera-Balandrano *et al.*, 2018 exhibieron propiedades antioxidantes, mientras que, el xilano aislado por Kale *et al.*, 2018 mostró una capacidad emulsificante.

A7. Tallo

El rendimiento de extracción de xilanos extraíbles con agua fue de 37.9 a 48.1% (Melo-Silveira *et al.*, 2019). Mientras que, en su revisión, Cai *et al.*, 2021 reportaron un rango de rendimiento que va de 2.6 a 81% por medio de la hidrólisis alcalina.

De los resultados obtenidos tras la revisión en el periodo 2017 a 2021 se concluye que:

El contenido total de compuestos polifenólicos fue estudiado en la mayoría de las investigaciones, en los órganos del maíz de grano blanco.

Los trabajos encontrados llevaron a cabo el estudio de los órganos de la planta del maíz blanco principalmente en las etapas posteriores a la madurez fisiológica.

Los estudios se centraron en la cuantificación del contenido total de los compuestos, una proporción menor de autores también llevó a cabo un análisis por HPLC.

La concentración de compuestos polifenólicos determinada en los estigmas amarillos en estado fresco analizados por Haslina *et al.*, 2019, Laeliocattleya *et al.*, 2019 y Limmatvapirat *et al.*, 2020 y en los estigmas maduros por Wang *et al.*, 2019, Nawaz *et al.*, 2019 y Alvarado-Díaz *et al.*, 2019; y la concentración de flavonoides, en mg de equivalentes de rutina/ g muestra b.s, determinada en los estigmas frescos por Limmatvapirat *et al.*, 2020 es mayor a la cuantificada en revisiones anteriores.

El resto de los valores de concentración de compuestos bioactivos están por encima del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

Se aislaron cantidades considerables de fenólicos totales a partir de los órganos de la planta del maíz. Las antocianinas no se detectaron o bien se detectaron cantidades relativamente bajas en los granos blancos y los estigmas maduros. El grano blanco contiene una mayor concentración de quercetina y ácido ferúlico que otros granos coloridos.

Se observó una mayor concentración de betacaroteno en los estigmas del maíz blanco que en los granos naranjas, amarillos, rojos, azules y negros.

El olote y las brácteas violáceas del maíz blanco contienen una concentración de antocianinas y compuestos polifenólicos cercana a la que se encontró en los órganos violáceos del maíz morado.

Los extractos de olote y brácteas moradas contienen cantidades relativamente altas de antocianinas de peonidina.

El estigma contiene los mismos compuestos polifenólicos que el grano, solo que además contiene flavonas.

Los compuestos bioactivos identificados en los órganos ya se han identificado en trabajos anteriores a excepción del stigosterol.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

HIPÓTESIS 1. Los órganos (granos, olote, brácteas, estigmas y espiga/inflorescencia masculina) de la planta de los maíces coloridos (azul, negro, rojo, rosa, naranja, amarillo y blanco) y los órganos del maíz morado tienen un contenido de compuestos bioactivos comparable al de los granos maduros morados.

La hipótesis 1 no pudo ser corroborada para los policosanoles, los xilanos, los carotenoides y los fitoesteroles mediante el diseño de experimentos de un factor. Los datos de concentración de carotenoides y fitoesteroles no fueron suficientes para realizar un diseño de experimentos. Mientras que, los policosanoles y xilanos no se analizaron en los órganos de los maíces coloridos en el periodo que va de 2017 a inicios del 2021.

La amplia cantidad de información disponible sobre los compuestos polifenólicos en los órganos de la planta de los maíces coloridos hizo posible su comparación con el grano morado maduro en cuanto a su concentración de AT, CPT y FT por medio de un diseño de experimentos desbalanceado de un factor.

Los tratamientos, es decir, la concentración de compuesto bioactivo en (mg/ g muestra en base seca) encontrada en cada órgano, que tuvieron una a tres repeticiones no fueron contemplados en el análisis. Los valores de concentración por arriba de los 100 mg/ g muestra b.s. no se tomaron en cuenta en el análisis, ya que, numéricamente estaban muy alejados del resto de los datos e iban a generar un error en la interpretación del diseño de experimentos. Además, no fueron obtenidos únicamente mediante la extracción por disolventes al igual que el resto de las concentraciones.

Diseño de experimentos de un factor: contenido de antocianinas.

El análisis estadístico (tablas 9.1 y 9.2) demostró que el contenido de antocianinas aislado del raquis morado y las brácteas moradas es significativamente mayor al cuantificado en los granos del mismo color. De igual manera, los tamaños de muestras para el contenido de antocianinas en los raquis, las brácteas y los granos morados fueron los más representativos.

Si se comparan estos resultados con los hallazgos de investigaciones que analizaron el contenido de antocianinas en los órganos de una misma planta/variedad, se observa que concuerdan con lo encontrado por Aguilar-Hernández *et al.*,2019 y Cui *et al.*,2021, sin embargo, difieren de lo observado por Muangrat *et al.*,2017 en la planta del genotipo *Fancy Muang 111*, en donde las antocianinas se concentraron en una mayor proporción en el grano a comparación de las brácteas, el raquis y los estigmas.

Al igual que el raquis morado, el cual ya es comercializado en polvo, las brácteas podrían ser una buena alternativa para la extracción de colorantes naturales. En Li *et al.*,2008 se observó que el contenido de antocianinas detectado en las brácteas es aproximadamente 10 veces superior que el valor máximo encontrado en el grano morado.

Aunque no significativamente, el contenido de antocianinas encontrado en el estigma morado y en el raquis rojo fue superior al del grano morado. La cantidad detectada en el raquis superó al de los estigmas, lo mismo se observó en la variedad morada Kulesh (Rimduisit *et al.*, 2019).

La prueba de Dunnett, véase tabla 9.2, demostró que no hay diferencia significativa entre el contenido de antocianinas aislado a partir de los granos morados maduros y el aislado a partir de los granos morados inmaduros, granos azules, negros, rosas, rojos, naranjas y amarillos; los estigmas rojos y amarillos; el raquis blanco y las

brácteas verdes. Esto concuerda con la investigación realizada por Corona-Terán *et al.*, 2017, en la cual los granos negros y morados presentaron cantidades similares de antocianinas. En estudios en los que se analizó el contenido de antocianinas de distintos granos coloridos, se encontró un contenido mayor de antocianinas en el grano del maíz morado que en el grano del maíz azul y rojo, y a su vez un contenido mayor en el maíz azul que en el maíz rojo (Hong *et al.*, 2020b; Suriano *et al.*, 2021). Mientras que, la cantidad de estos pigmentos en los granos amarillos no fue detectada o fue inferior al encontrado los granos rojos y morados (Rodríguez-Salinas *et al.*, 2019 y Suriano *et al.*, 2021). El contenido de antocianinas encontrado en los granos negros fue de al menos 0.09 miligramos mientras que en rojos y azules fue de al menos 0.01 miligramos por gramo de muestra. En la mayoría de las muestras de estos colores el valor de las antocianinas no supera 1.0 miligramo. No obstante, el 40% de los valores de antocianinas encontrados en los granos de variedades moradas está por encima de 1.0 miligramo. El tamaño de muestra de los granos naranjas y blancos no es representativo.

Tabla 9.1. Diseño de un factor: contenido de antocianinas totales en función de los órganos coloridos de la planta del maíz

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>G. L</i>	<i>CM</i>	<i>F exp</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1490.2	19	78.4	3.44	0.000004	1.63
Dentro de los grupos	5956.5	261	22.8			
Total	7446.7	280				∴ Hay diferencia significativa

Tabla 9.2. Comparación de medias por el método de Dunnett para el factor: contenido de antocianinas y el control: grano morado

Factor: Antocianinas totales en (mg AT/g muestra en b. s)			
Control: Contenido de antocianinas en grano morado (mg AT/ gramo b.s)			
Órgano	μc-μ(órgano)	DMS	
Grano azul	1.50	2.33	
Grano rojo	1.82	5.92	
Grano rosa	1.86	3.47	
Grano negro	1.67	5.19	
Grano amarillo	1.78	4.93	
Grano blanco	1.88	9.97	
Grano naranja	1.11	9.97	
Raquis morado *	-4.80	3.16	Existe diferencia significativa
Bráctea morada**	-4.75	3.61	Existe diferencia significativa
Estigma morado	-2.12	8.20	
Estigma rojo	1.72	7.15	
Raquis rojo	-2.86	14.00	
Bráctea verde	1.88	7.15	
Raquis blanco	1.87	6.44	
Estigma amarillo °	1.86	5.92	
Grano inmaduro morado	0.74	5.52	
IM morado	1.05	5.52	
IM verde	1.88	8.20	
IM verde-rojo-rosa	1.82	7.15	

** (maíces amarillos y morados) * (maíces morados, negro, rojo y amarillo) ° (maíz azul y amarillo)

Diseño de experimentos de un factor: contenido total de compuestos polifenólicos.

De acuerdo con la tabla 9.4 sobre la comparación de medias del contenido de fenólicos totales de los órganos, el contenido de estos compuestos cuantificado en los órganos violáceos de la planta del maíz morado: brácteas, olote inflorescencias masculinas y estigmas; fue significativamente mayor al cuantificado en el grano morado. La concentración de compuestos polifenólicos reportada en los estigmas rojos y amarillos fue significativamente mayor a la que fue cuantificada en el grano morado maduro.

En cambio, no hubo diferencia significativa entre el control y los granos coloridos, el raquis blanco, las brácteas verdes y las inflorescencias amarillas.

Tabla 9.3. Diseño de un factor: contenido de compuestos fenólicos totales, en función de los órganos coloridos de la planta del maíz

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>G. L</i>	<i>CM</i>	<i>F exp</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	25955.2	16	1622.2	16.53	1.44x10 ⁻²⁷	1.70
Dentro de los grupos	17758.5	181	98.1			
Total	43713.7	197				∴ Hay diferencia significativa

Tabla 9.4. Comparación de medias por el método de Dunnett para el factor: contenido de polifenoles totales y el control: grano morado

Factor: Polifenoles totales (mg PT/g muestra en b. s)			
Control: Contenido de polifenoles totales en grano morado (mg PT/ gramo b.s)			
Órgano	μc-μ(órgano)	DMS	
Grano morado inmaduro	0.51	17.03	
Raguis morado	-11.34	9.18	Existe diferencia significativa
Bráctea morada	-12.96	10.74	Existe diferencia significativa
Estigma morado	-52.10	20.52	Existe diferencia significativa
IM	-26.83	12.61	Existe diferencia significativa
Grano rojo	0.54	8.09	
Estigma rojo	-43.57	13.61	Existe diferencia significativa
Grano azul	0.43	8.33	
Estigma café(azul)	-33.31	12.61	Existe diferencia significativa
Raguis blanco*	1.47	11.85	
Bráctea verde **	2.45	10.74	
Grano naranja	1.88	17.03	
Grano amarillo	-0.01	6.69	
Estigma amarillo	-16.05	11.24	Existe diferencia significativa
IM amarillo	-9.78	13.61	
Grano blanco	-10.79	12.61	

** (naranja + amarillo) * (naranja + rojo + amarillo)

Diseño de experimentos de un factor: contenido de flavonoides en equivalentes de catequina.

No fue posible realizar un Diseño de experimentos para el contenido de flavonoides en términos de equivalentes de rutina y quercetina, pero sí se contó con suficientes datos para llevar a cabo un análisis de varianza del contenido de flavonoides en términos de catequina. El análisis mostró que no hay diferencia significativa entre la concentración de flavonoides, expresada como mg de equivalentes de catequina/ g de muestra en base seca, entre los granos morados maduros y la de los granos morados inmaduros, granos azules maduros, granos rojos maduros, granos inmaduros amarillos y granos amarillos maduros. Por lo que no fue necesario realizar una comparación de medias por el método de Dunnett.

Tabla 9.5. Diseño de un factor: contenido de flavonoides (mg EC/ g muestra b.s), en función de los órganos coloridos de la planta del maíz

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F exp</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	217.4	5	43.48	0.79	0.57	2.55
Dentro de los grupos	1600.7	29	55.20			
Total	1818.1	34		∴No hay diferencia significativa		

Diseño de experimentos de un factor: contenido de carotenoides.

En lo que respecta al contenido de carotenoides, no fue posible realizar el diseño de experimentos ya que no se encontró suficiente información.

A pesar de que el contenido de estos isoprenoides es atribuido a los maíces de endospermo amarillo, Chalorchaoenyng *et al.*, 2017 reportó un contenido considerable de carotenoides en los granos morados analizados, igual al encontrado en el camote naranja (Ishiguro *et al.*, 2019) y mayor al encontrado en la zanahoria (Jourdan *et al.*, 2015). La concentración de carotenoides totales encontrada en el grano morado en Chalorchaoenyng *et al.*, 2017 fue dividida entre la concentración más alta de carotenoides encontrada en cada órgano, en la tabla 9.7 se encuentra el número de veces que la concentración de carotenoides encontrada en el grano morado supera a la reportada en los demás órganos.

Como se observa en la tabla 9.7, el contenido de carotenoides en los granos morados maduros llegó a ser de 4 a 16 veces mayor que el de las inflorescencias moradas, verdes y verdes rojizas; los granos negros, rojos, rosas, naranjas y amarillos. Sin embargo, solo se cuenta con el dato de concentración de carotenoides encontrado por Chalorchaoenyng *et al.*, 2017 en los granos morados.

Tabla 9.7. Número de veces en que el contenido de carotenoides en el grano morado maduro supera al de los órganos de la planta de maíz

Concentración más alta de carotenoides	CT grano morado (0.49 mg CT/g b.s) /CT órgano
Granos morados	Igual al camote naranja
Inflorescencias moradas	5
Grano negro (etapa de masa)	4
Granos azules	230
Granos rojos	16.4
Granos rosas	15.9
Granos naranjas (etapa de leche)	6.1
Granos naranjas	7.5
Granos amarillos (etapa de leche)	38.3
Granos amarillos (etapa de masa)	9.2
Granos amarillos	20.9
Inflorescencias masculinas amarillas	9.6
Inflorescencias verdes-rojas	13.5

Nota: Las muestras están en la etapa de madurez fisiológica a menos que se indique lo contrario.

La hipótesis 1 los órganos de la planta del maíz colorido y los granos inmaduros tienen un contenido de antocianinas, flavonoides, compuestos polifenólicos equiparable al de los granos maduros morados se cumple para todos los órganos a excepción de los órganos morados.

HIPÓTESIS 2. El olote, las brácteas, las inflorescencias masculinas y los estigmas contienen los mismos compuestos que el grano, pero en diferente proporción.

La cantidad de información encontrada sobre el perfil cromatográfico analizado por HPLC en los órganos de la planta del maíz es menor a la encontrada sobre el contenido total de fitoquímicos. Así mismo, esta hipótesis solo se pudo comprobar para las antocianinas, los ácidos fenólicos y los flavonoides, ya que son los compuestos que fueron analizados por la técnica de cromatografía líquida de alta resolución en la mayoría los órganos del maíz.

Las antocianinas glucosiladas y monoaciladas derivadas de la cianidina, peonidina y pelargonidina fueron identificadas en el olote. Antocianinas que se han identificado también en el grano, no obstante, la concentración promedio calculada a partir de los datos obtenidos reveló que en el olote se presentaron en mayores cantidades.

En lo referente al perfil de flavonoides, se encontraron los mismos flavon-3-oles: kaempferol, quercetina, isorhamnetin y rutina; en ambas partes del maíz, solo que en el raquis en una menor proporción. Según lo observado en la revisión de Colombó *et al.*, 2021, la miricetina ha sido detectada en el raquis, pero no se tiene reporte de su presencia en el grano morado.

Los ácidos fenólicos encontrados en el raquis: ácido ferúlico, ácido sinápico, ácido cumárico, ácido clorogénico, ácido siríngico, ácido protocatecuico, ácido gálico, ácido cafeico y ácido vanílico; se han reportado en el grano.

Las investigaciones que llevaron a cabo el estudio del perfil cromatográfico de las brácteas mediante un análisis por HPLC son Tian *et al.*, 2018, Fernández-Aulis *et al.*, 2019, Tian *et al.*, 2019, Yang *et al.*, 2019 y Duru *et al.*, 2020.

Fernández-Aulis *et al.*, 2019 encontró seis antocianinas: dos basadas en cianidina, dos basadas en pelargonidina y dos basadas peonidina; en las brácteas moradas del maíz blanco Cacahuacintle. Las brácteas moradas presentaron malvidina y delphinidina (Tian *et al.*, 2018 y Tian *et al.*, 2019), antocianidinas que no fueron detectadas en los granos coloridos, a excepción del grano del maíz negro analizado por Liu *et al.*, 2018 y el grano morado (Colombo *et al.*, 2021). Los niveles de cianidina y pelargonidina encontrados por los autores Tian *et al.*, 2018 y Tian *et al.*, 2019 en las brácteas, están por encima de los reportados por Liu *et al.*, 2018 para el grano rojo, morado y negro.

En Yang *et al.*, 2019 los flavonoides kaempferol y quercetina no se detectaron en las brácteas, pero sí en el grano. La rutina no fue detectada en ninguno de los dos

órganos de la planta del maíz amarillo (Yang *et al.*, 2019). Sin embargo, se ha encontrado en el grano de las variedades moradas estudiadas por Luna-Vital *et al.*, 2017, Luna-Vital *et al.*, 2019 y Luna-Vital *et al.*, 2020. Los autores Duru *et al.*, 2020 identificó a la naringina, kaempferol y epicatequina, flavonoides presentes en el grano.

La delphinidina fue detectada en las brácteas, pero no en otras partes de la planta, tales como el grano y el olote (Liu *et al.*, 2018 y Abbasi-Parizad *et al.*, 2021).

Se tiene reporte sobre su presencia en su forma monoacilada en el grano morado, pero no en el olote (Colombo *et al.*, 2021).

Los ácidos fenólicos identificados en el análisis de los granos, las brácteas, el olote y los estigmas realizado por Yang *et al.*, 2019 fueron el ácido gálico, en su forma libre y conjugada; el ácido ferúlico conjugado y el ácido cumárico conjugado.

Las hojas estudiadas por Mesarcovic *et al.*, 2017 presentaron los mismos ácidos fenólicos, en su forma libre, que el grano, no obstante, su concentración promedio es inferior a la observada en el grano.

En los estigmas se identificaron los compuestos fenólicos: ácido clorogénico, ácido cumárico, ácido ferúlico, ácido cafeico, ácido vanílico, ácido protocatecuico, cianidina-3-glucósido, luteolina, metoximaysina, maysina y apimaysina (Alvarado-Díaz *et al.*, 2019). Los estigmas contienen flavonas y flavanonas que no fueron detectadas en el grano tales como la maysina e isoorientina (Zhang *et al.*, 2019).

El perfil de ácidos fenólicos y de antocianinas no fue estudiado en la espiga o inflorescencias masculinas, pero el de flavonoides sí. La isoorientina fue el flavonoide mayoritario en las inflorescencias masculinas, mientras que, en el grano no fue detectada esta flavona (Zhang *et al.*, 2018). Además de este compuesto, esta parte del maíz presentó flavonas y flavanonas. Con respecto a la luteolina,

cantidades más altas de este flavonoide fueron aisladas a partir del grano en las investigaciones revisadas.

Por lo que, la hipótesis 2 se cumple para las antocianinas y los polifenoles de los órganos, pero se rechaza para los flavonoides identificados en los estigmas, brácteas y la inflorescencia masculina.

HIPÓTESIS 3: los ácidos fenólicos son los compuestos predominantes en el perfil cromatográfico de los órganos: granos, olote, brácteas, estigmas e inflorescencias masculinas de la planta del maíz

En el análisis no se consideró la forma, soluble o insoluble, en la que se presentaron los ácidos fenólicos, ya que esta información no fue proporcionada por todos los artículos.

El perfil cromatográfico de los ácidos fenólicos varió aun entre las variedades pertenecientes a un mismo maíz colorido. Así mismo, no todas las muestras pertenecientes a un mismo maíz colorido presentaron el mismo ácido fenólico mayoritario.

Los ácidos fenólicos se encontraron intercalados a lo largo del perfil cromatográfico a diferencia de los carotenoides que se encontraron agrupados en al final del perfil. Por esto, para corroborar esta hipótesis se determinó la relación entre los ácidos fenólicos y otros grupos de compuestos bioactivos como lo son: antocianinas, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles. Para esto, se identificaron pares de compuestos pertenecientes a dos grupos de compuestos bioactivos diferentes que se encontraran contiguos en el perfil cromatográfico, el procedimiento se ilustra en la figura 23. La concentración más alta se dividió entre la concentración más baja. Los ácidos fenólicos no fueron los compuestos mayoritarios en las muestras.

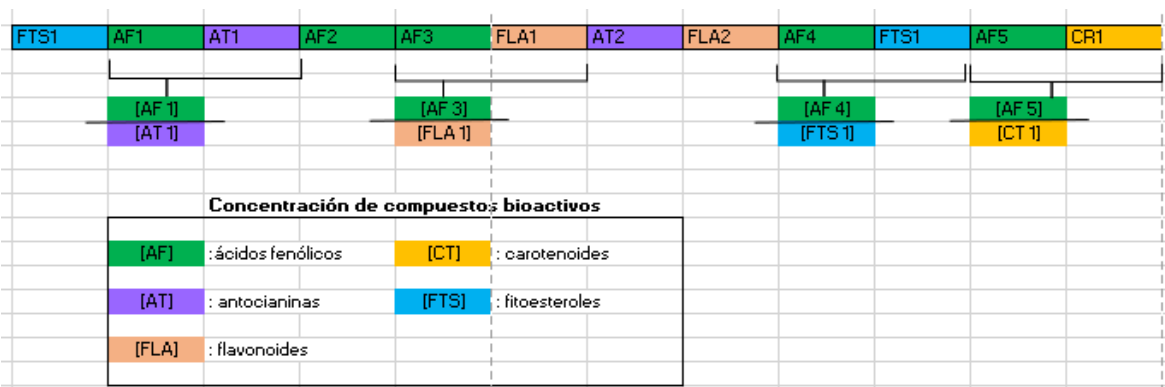


Figura 23. Procedimiento utilizado para calcular la relación entre la concentración de un ácido fenólico y la concentración de otro tipo de compuesto bioactivo

Las tablas del perfil completo compuesto por uno o más tipos de compuestos bioactivos empleados para realizar estos cálculos se presentan en el anexo II.

En Smorowska *et al.*, 2021 se estudió el perfil de antocianinas, fitoesteroles y ácidos fenólicos en granos amarillos y granos azules. El β -sitosterol fue el componente mayoritario en la mayoría de las muestras analizadas en esta investigación. No obstante, los ácidos fenólicos se encontraron en una concentración menor que la del β -sitosterol, pero mayor que la de otros fitoesteroles como el campesterol y el estigmasterol, véase tabla 9.7. El ácido fenólico que ocupa el cuarto lugar supera en 1.4 veces al fitoesterol situado en el quinto lugar. Según los cálculos realizados con estos datos, el contenido de β -sitosterol supera al de los ácidos fenólicos en promedio 1.3 veces, al de antocianinas en 3.9 veces y al de carotenoides 22 veces. La concentración de carotenoides es entre 1.7 y 31.5 menor que la de los ácidos fenólicos. Los carotenoides fueron el grupo menos abundante.

Tabla 9.7. Proporción del contenido de compuestos bioactivos en el perfil cromatográfico

Número de veces en que la concentración de:											
[AF]				[BSTS] (Smorowska et al., 2021)			[FLA]		[AT]		
supera a:				supera a:			supera a:		supera a:		
[CR]	[AT]	[FLA]	[FTS]*	[AT]	[AF]	[CR]	[AF]	[AT]	[FLA]	[AF]	[FTS]
2.0	2.55	1.3	1.6	4.4	1.2	22.0	2.1	1.1	1.6	1.9	1.6
1.7	2.42	1.3	1.0	3.4	1.1		1.1	1.1	2.3	1.1	1.2
3.7		1.7	1.1	4.0	1.6		2.3	1.3	3.9	2.7	1.0
62.4		1.1	1.6		1.3		2.3	1.0	1.2	2.7	1.3
1.1		1.3	1.2		1.3		1.9	1.6	1.3	5.5	1.8
3.1		1.0	1.3				1.3	1.8	1.1		1.2
31.5		1.5	1.7				1.2		1.3		
PROM	2.5	1.9	1.4	3.9	1.3	22.0	1.7	1.3	1.8	2.7	1.3

El β -sitoesterol fue el compuesto mayoritario en el perfil cromatográfico por lo que la hipótesis 3 se rechaza.

HIPÓTESIS 4. Los valores de concentración de compuestos bioactivos encontrados en los órganos en el periodo (2017-2021) están por arriba del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores debido al uso de tecnologías emergentes de extracción.

En general, los datos de concentración de compuestos bioactivos se encontraron dentro del intervalo reportado en revisiones o artículos anteriores. No obstante, se encontraron investigaciones en las que se extrajo una mayor concentración de compuestos bioactivos que el que se ha encontrado anteriormente en otros trabajos recopilados en revisiones referentes al tema.

Las concentraciones de antocianinas encontradas en los órganos violáceos: granos, olote, brácteas y estigmas; provenientes de variedades de grano morado, negro, rojo y amarillo en la etapa de masa; en las publicaciones de Khamphan *et al.*, 2018 y Khamphan *et al.*, 2020 están por arriba de las concentraciones determinadas previamente por Simla *et al.*, 2016 en las variedades moradas cerosas a los 40 días posteriores a la polinización, en la etapa de masa.

El contenido de polifenoles totales se analizó en tres muestras de grano en la etapa de leche, el intervalo de concentración esta entre 0.35 y 5.11 mg CPT/ g muestra en base seca. La concentración de polifenoles totales encontrada previamente en Simla *et al.*, 2016 en un maíz en etapa de leche está por debajo de este intervalo.

Los valores de concentración de antocianinas cuantificados en el grano maduro del maíz morado en once investigaciones (Luna-Vital *et al.*, 2017a; Luna-Vital *et al.*, 2017d; Mazewski *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019; Qin *et al.*, 2019; Luna-Vital *et al.*, 2020; Singto *et al.*, 2020; Ursu *et al.*, 2020; Charmongkolpradit *et al.*, 2021 y Cui *et al.*, 2021) son hasta cien veces mayor que los valores reportados en trabajos anteriores, citados en el capítulo III.F., siendo hasta 100 veces mayor.

Las investigaciones citadas llevaron a cabo la extracción de antocianinas por la extracción con disolventes acompañada con métodos emergentes como lo son la extracción acelerada, cromatografía de columna de resina macroporosa y extracción por ultrasonido.

No obstante, no se puede asegurar que la diferencia entre las concentraciones se debe solamente a las condiciones de extracción: relación L-S, disolvente, método de extracción, tiempo, número de extracciones, uso de ácidos orgánicos o HCl, etc; ya que, no se realizó un diseño de experimentos de interacciones para evaluar el efecto de estas variables sobre la concentración de compuestos bioactivos.

Existen otros factores, además de los relacionados a las condiciones de extracción, que influyen en el contenido final de compuestos bioactivos como lo son: el lugar de siembra (Martínez-Martínez *et al.*, 2019), el estado de madurez (Hu *et al.*, 2020), la temporada de siembra (Hu *et al.*, 2020), la variedad, la cantidad de fertilizante de nitrógeno utilizada (Giordano *et al.*, 2018), etc.

Luna-Vital *et al.*, 2017a; Luna-Vital *et al.*, 2017d; Zhang *et al.*, 2019; Luna-Vital *et al.*, 2020; Singto *et al.*, 2020 también obtuvieron altas concentraciones de compuestos

polifenólicos (69.10 a 448.50 mg CPT/ g muestra b.s) tras el análisis de los granos morados.

Tomay *et al.*, 2019, Singto *et al.*, 2020; Cui *et al.*, 2021, Yang *et al.*, 2019 y Napan *et al.*, 2018 aislaron una cantidad de antocianinas que va de 40 a 317.51 mg AT/ g muestra b.s a partir del olote morado, que es mayor a la observada en publicaciones pasadas, citadas en el capítulo III.F.

Lao *et al.*, 2018, Napan *et al.*, 2018 y Singto *et al.*, 2020 determinaron 43.60, 127.47 y 133.09 mg CPT/ g muestra b.s, concentraciones que superan los valores determinados anteriormente en el olote morado.

Otro dato que fue mayor al aislado en los estudios anteriores fue, 55.20 mg de antocianinas por g de muestra en base seca, es decir, el obtenido a partir de los granos molidos de un maíz rojo adquirido en Siskiyou Seeds, EE. UU (Mazewski *et al.*, 2017). Los granos rojos provenientes de la progenie S1 estudiados por Stevanovic *et al.*, 2020, presentaron un contenido de carotenoides totales mayor al reportado en trabajos anteriores.

Así mismo, a partir del análisis del olote rojo de un maíz mexicano, Hernández *et al.*, 2018 logró extraer 388.0 y 215.170 mg CPT/g muestra b.s por medio una extracción asistida por ultrasonido con relación solido: líquido(p/v) de 10 y una duración de 60 min y 120 min, respectivamente.

Magaña-Cerino *et al.*, 2020 y Camelo-Méndez *et al.*, 2018 encontraron una concentración alta de antocianinas en el grano azul, 6.26 y 116.54 mg de antocianinas totales por gramo de muestra en base seca. También reportaron una concentración alta de polifenoles de 23.70 y 201.41 mg de CPT por g de muestra en base seca (Magaña-Cerino *et al.*, 2020 y Camelo-Méndez *et al.*, 2018).

Mendoza-López *et al.*, 2017 y Alvarado-Díaz *et al.*, 2019, determinaron un contenido total de 17.95 a 73.70 mg de compuestos polifenólicos/ g de muestra b.s, respectivamente, en los estigmas cafés de la raza Cónico.

El valor más alto de flavonoides total y compuestos polifenólicos reportado en los granos maíz amarillo dulce de origen tailandés, 43.68 mg catequina/ g muestra b.s y 109.69 mg de CPT / g muestra b.s., respectivamente, fue el cuantificado en un maíz dulce por los autores Bualang *et al.*,2017.

Elemosho *et al.*,2020 encontraron 13.4 mg de carotenoides totales/ g muestra en b. s, la concentración de carotenoides más alta de carotenoides en un maíz híbrido con resistencia a Striga.

La hipótesis 4 se acepta, ya que, en los artículos expuestos en el texto se encontró una concentración que esta por arriba del intervalo reportado antes. No obstante, el resto de los datos, que en la mayoría de los casos se obtuvo por una extracción convencional, se encuentran dentro del intervalo de la literatura.

X. CONCLUSIONES

Los órganos de la planta del maíz colorido y los granos inmaduros tienen un contenido de antocianinas y compuestos polifenólicos equiparable al de los granos maduros morados.

El olote y las brácteas de tonalidad morada presentaron un contenido más alto de antocianinas y compuestos polifenólicos que los granos morados maduros.

Los granos morados inmaduros, los granos azules maduros, los granos rojos maduros, los granos inmaduros amarillos y los granos amarillos maduros presentan un contenido de flavonoides equiparable al de los granos maduros morados.

El olote contiene los mismos compuestos bioactivos que el grano, mientras que, las brácteas, la inflorescencia masculina y los estigmas no contienen los mismos flavonoides que los granos.

El contenido de carotenoides determinado en los granos morados supera en al menos 4 veces al determinado en las inflorescencias masculinas moradas, verde rojizas y amarillas; los granos negros, azules, rojos, rosas, amarillos y naranjas.

Los valores de concentración de compuestos bioactivos encontrados en los órganos en la presente revisión están dentro o por debajo del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

En el periodo 2017 a 2021 se obtuvieron cantidades de antocianinas y polifenoles a partir de los granos morados y el olote morado que está por encima del intervalo de concentración reportado en revisiones anteriores.

Los estudios publicados en el periodo 2017-2021 se centran mayormente en la cuantificación del contenido total de los compuestos y una porción menor también llevó a cabo un análisis por HPLC.

Las antocianinas fueron los compuestos más estudiados, cuantitativa y cualitativamente hablando, en los órganos de los maíces morados, rojos y azules.

Los carotenoides fueron los compuestos más estudiados, cuantitativa y cualitativamente hablando, en los granos de los maíces naranjas y amarillos.

No se encontraron artículos publicados en el periodo (2017-2021) sobre el análisis de xilanos y policosanoles en los órganos de la planta del maíz colorido.

Los trabajos encontrados llevaron a cabo el estudio de los órganos de la planta de los maíces morados, rojos, negros, naranjas y amarillos en etapas tempranas y tardías del desarrollo; y el estudio de los órganos de la planta de los maíces rosas, azules y blancos en la madurez de cosecha.

El maíz rosa fue el maíz menos estudiado en el periodo (2017-2021).

Los compuestos bioactivos identificados en los órganos ya se han identificado en trabajos anteriores a excepción del stigosterol.

El contenido más alto de antocianinas se extrajo a partir del grano morado y el raquis morado mediante métodos emergentes de extracción como lo son extracción acelerada, cromatografía de columna de resina macroporosa y extracción asistida por ultrasonido.

El perfil de fitoesteroles es consistente entre los granos de los maíces coloridos.

El perfil de carotenoides es consistente entre las variedades de un mismo maíz colorido.

El perfil de fenólicos y de flavonoides cambia entre las variedades de un mismo maíz colorido.

El perfil de antocianinas varía en función del color del grano.

PERSPECTIVAS O ALCANCES

Se requiere de la cuantificación por HPLC de antocianinas con sustituyentes metoxilo y antocianinas diaciladas en una mayor cantidad de muestras de granos coloridos y órganos del maíz para conocer cuál es una mejor alternativa para su aplicación como colorante en alimentos.

Se requiere de una investigación sobre las propiedades y estabilidad de los extractos de antocianinas de las brácteas como colorantes en alimentos.

Hace falta un mayor estudio de los carotenoides en los órganos de los maíces coloridos para corroborar que las inflorescencias y los granos morados inmaduros son fuentes potenciales de carotenoides.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F.M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M.S., Ishtiaq, A., Hussain, S., Suleria, H.A.R., 2017. Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1689-1699. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1220393>
2. Abbasi-Parizad, P., De Nisi, P., Scaglia, B., Scarafoni, A., Pilu, S., Adani, F. 2021. Recovery of phenolic compounds from agro-industrial by-products: Evaluating antiradical activities and immunomodulatory properties. *Food and Bioproducts Processing*, 127, 338–348. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.03.015>
3. Acosta-Estrada, B. A., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldívar, S., 2019. Capítulo 14. Minor Constituents and Phytochemicals of the Kernel. En S, Serna-Saldivar (Ed.). *Corn: Chemistry and Technology* (385- 393). Woodhead Publishing and AACC International Press 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00014-0>
4. Acosta-Estrada, B.A., Gutiérrez-Urbe, J.A., Serna-Saldívar, S.O. 2014. Bound phenolics in foods, a review. *Food Chemistry*, 152, 46–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093>
5. Aguilar-Hernández, Á. D., Salinas Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J. L., Alemán-de la Torre, I., Bautista-Ramírez, E., Flores-López, H. E., 2019. Antocianinas y color en grano y olote de maíz morado peruano cultivado en Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1071–1082. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/1828>
6. Alamu, E. O., Maziya-Dixon, B., Menkir, A., & Olaofe, O. 2018. Bioactive compounds of freshly harvested open pollinated varieties (OPV) of orange maize (zea mays): Varietal, maturity, and boiling methods effects., 4(1), 1507489. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23312009.2018.1507489>
7. 07489

8. Alamu, E. O., Maziya-Dixon, B., Menkir, A., Ogunlade, A. O., & Olaofe, O. 2020. Harvesting time and roasting effects on colour properties, xanthophylls, phytates, tannins and vitamin C contents of orange maize hybrid. *Scientific Reports* 2020, 10:1, 10(1), 1–7. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-78433-9>
9. Alvarado-Díaz, C. S., Gutiérrez-Méndez, N., Mendoza-López, M. L., Maylem Z. Rodríguez-Rodríguez, M. Z., Quintero-Ramos, A., 2019. Inhibitory effect of saccharides and phenolic compounds from maize silks on intestinal α -glucosidases. *Journal of Food Biochemistry*, 43 (7). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfbc.12896>
10. Amador-Rodríguez, K.Y., Martínez-Bustos, F. & Silos-Espino, H., 2019. Effect of High-Energy Milling on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity in Nixtamalized Creole Corn Flours. *Plant Foods Human Nutrition* ,74, 241–246. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00727-9>
11. Arai, T., Biely, P., Uhliaríková, I., Sato, N., Makishima, S., Mizuno, M., Nozaki, K., Kaneko, S., & Amano, Y., 2019. Structural characterization of hemicellulose released from corn cob in continuous flow type hydrothermal reactor. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 127(2), 222–230. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389172318302640>
12. Ayala. J.L., Quiros. E., Saravia. P.L., 2019. Los maíces nativos en México. Alternativas para la generación de valor y desarrollo de oportunidades en el sector agroalimentario. IICA. Ciudad de México.
13. Ayala-Soto, F.E., Campanella, O.H., Serna-Saldívar, S.O., Welti-Chanesa, J., 2016. Changes in the structure and gelling properties of maize fiber arabinoxylans after their pilot scale extraction and spray-drying. *Journal of Cereal Science*, 70, 275-281.
14. Badu-Apraku, B., Fakorede, M.A.B. 2017. Morphology and Physiology of Maize En: B. Badu-Apraku, M.A.B. Fakorede(Eds). *Advances in Genetic Enhancement of Early and Extra-Early Maize for Sub-Saharan Africa*. Suiza: Springer International Publishing AG, 33-53.

15. Badui, S. 2006. Química de los Alimentos. 4a Edición, Edo. de México: Pearson Educación.
16. Barrientos. L., Ramírez. H. E., Fernández. M.F., Ruiz. M. A., Navarro. A., Vargas, J., 2018. Anthocyanins from rose maize (*Zea mays* L.) grains. *Interciencia*,43(3),188-192.
17. Bello-Pérez, A., Camelo-Méndez, G.A., Agama-Acevedo, E., Rubí G. Utrilla-Coello, R.G. 2016. Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: Digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *AGROCIENCIA*,50(8), 1041-1063.
18. Beta, T., Hwanga, T., 2018. Influence of heat and moisture treatment on carotenoids, phenolic content, and antioxidant capacity of orange maize flour. *Food Chemistry*, 246, 58-64. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814617317983>
19. Bhaswant, M., Shafie, S. R., Mathai, M. L., Mouatt, P., & Brown, L., 2017. Anthocyanins in chokeberry and purple maize attenuate diet-induced metabolic syndrome in rats. *Nutrition*, 41, 24–31. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899900716302830>
20. Bresciani, A., Giordano, D., Vanara, F., Blandino, M., Marti, A., 2021. The effect of the amylose content and milling fractions on the physico-chemical features of co-extruded snacks from corn. *Food Chemistry*, 343,1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128503>
21. Broa-Rojas, E., Vázquez-Carrillo, M.G., Estrella-Chulím, N.G., Hernández-Salgado, J.H., Ramírez-Valverde, B., Bahena-Delgado, G., 2019. Características fisicoquímicas y calidad de la proteína de maíces nativos pigmentados de Morelos en dos años de cultivo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 683-697. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.481>
22. Bruice, P. Y. (2008). Espectrometría de masas, espectroscopia infrarroja y espectroscopia ultravioleta/visible En L.M. Cruz y C.C. Martínez. Química Orgánica. Pearson Educación de México, S.A. de C.V. 5a Edición, México: 12, 555-556.

23. Bualuang, O., Onwude, D. I., & Pracha, K., 2017. Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2999–3004. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.8140>
24. Burlini, I., Grandini, A., Tacchini, M., Maresca, I., Guerrini, A., Sacchetti, G., 2020. Different Strategies to Obtain Corn (*Zea mays* L.) Germ Extracts with Enhanced Antioxidant Properties. *Natural Product Communications*, 15(1): 1–9. DOI: 10.1177/1934578X20903562
25. Cabrera-Soto, L., Pixley, K. V., Rosales-Nolasco, A., Galicia-Flores, L.A., Palacios-Rojas, N., 2018. Carotenoid and Tocochromanol Profiles during Kernel Development Make Consumption of Biofortified “Fresh” Maize an Option to Improve Micronutrient Nutrition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66 (36), 9391-9398. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01886
26. Calvo-Brenes, P., & O’Hare, T., 2020. Effect of freezing and cool storage on carotenoid content and quality of zeaxanthin-biofortified and standard yellow sweet-corn (*Zea mays* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 86, 103353. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157519302674>
27. Calvo-Brenes, P., Fanning, K., O’Hare, T., 2019. Does kernel position on the cob affect zeaxanthin, lutein and total carotenoid contents or quality parameters, in zeaxanthin-biofortified sweet-corn? *Food Chemistry*, 277, 490–495. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30502175/>
28. Camelo-Méndez, G., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Bello-Pérez, L., 2017. Functional study of raw and cooked blue maize flour: starch digestibility, total phenolic content and antioxidant activity. *Journal of Cereal Science*, 76, 179–185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.009>
29. Camelo-Méndez, G.A., Flores-Silva, P.C., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Bello-Pérez, L.A. 2017b. Incorporation of whole blue maize flour increases antioxidant capacity and reduces in vitro starch digestibility of gluten-free pasta. *Starch/Stärke* 2018, 70, 1-8. DOI 10.1002/star.201700126
30. Capocchi, A., Bottega, S., Spanò, C., Fontanini, D., 2017. Phytochemicals and antioxidant capacity in four Italian traditional maize (*Zea mays* L.)

- varieties, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68:5, 515-524. <http://dx.doi.org/10.1080/09637486.2016.1261809>
31. Casas, M.I., Duarte, S., Doseff, A.I., Grotewold, E., 2014. Flavone-rich maize: an opportunity to improve the nutritional value of an important commodity crop. *Frontiers in Plant Science*, 5(440), 1-11. DOI:10.3389/fpls.2014.00440
32. Cassani, E., Puglisi, D., Cantaluppi, E. et al. Genetic studies regarding the control of seed pigmentation of an ancient European pointed maize (*Zea mays* L.) rich in phlobaphenes: the “Nero Spinoso” from the Camonica valley. *Genetic Resources Crop Evolution*, 64, 761–773 (2017). DOI: 10.1007/s10722-016-0399-7
33. Chaiittianan, R., Sutthanut, K., & Rattanathongkom, A., 2017. Purple corn silk: A potential anti-obesity agent with inhibition on adipogenesis and induction on lipolysis and apoptosis in adipocytes. *Journal of Ethnopharmacology*, 201, 9–16. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378874116306754>
34. Chalorcharoenying, W., Lomthaisong, K., Suriharn, B., Lertrat, K., 2017. Germination process increases phytochemicals in corn. *International Food Research Journal*, 24(2), 552–558.
35. Changan, S., Chaudhary, D.P., Kumar, S., Kumar, B., Kaul, J., S Guleria, S., Jat, S.L., Singode, A., Tufchi, M., Langyan, S., Yadav, O.P., 2017. Biochemical characterization of elite maize (*Zea mays*) germplasm for carotenoids composition. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87(1), 46-50. <http://epubs.icar.org.in/.../2086>
36. Charmongkolpradit, S., Somboon, T., Phatchana, R., Sang-aroon, W., Tanwanichkul, B., 2021. Influence of drying temperature on anthocyanin and moisture contents in purple waxy corn kernel using a tunnel dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100886>
37. Chatham, L. A., West, L., Berhow, M. A., Vermillion, K. E., & Juvik, J. A., 2018. Unique Flavanol-Anthocyanin Condensed Forms in Apache Red Purple Corn. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(41), 10844–10854. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.8b04723>

38. Chatham, L.A., Juvik, J.A., 2021. Linking anthocyanin diversity, hue, and genetics in purple corn. *G3 Genes|Genomes|Genetics*, 11(2). DOI: 10.1093/g3journal/jkaa062
39. Chavarín-Martínez, C. D., Gutiérrez-Dorado, R., Perales-Sánchez, J. X. K., Cuevas-Rodríguez, E. O., Milán-Carrillo, J., Reyes-Moreno, C., 2019. Germination in Optimal Conditions as Effective Strategy to Improve Nutritional and Nutraceutical Value of Underutilized Mexican Blue Maize Seeds. *Plant Foods Human Nutrition*, 74, 192–199. DOI: 10.1007/s11130-019-00717-x
40. Chen, L., Guo, Y., Li, X., Gong, K., Liu, K., 2021. Phenolics and related in vitro functional activities of different varieties of fresh waxy corn: a whole grain. *BMC Chemistry*, 15(14), 2-9. <https://doi.org/10.1186/s13065-021-00740-7>
41. Chen, L., Yang, M., Mou, H., & Kong, Q., 2018. Ultrasound-assisted extraction and characterization of anthocyanins from purple corn bran. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1). <http://doi.wiley.com/10.1111/jfpp.13377>
42. Chen, Y., Li, J., Fan, K., Du, Y., Ren, Z., Xu, J., Zheng, J., Liu, Y., Fu, J., Ren, D., Wang, G., 2017. Mutations in the maize zeta-carotene desaturase gene lead to viviparous kernel. *PLOS ONE*, 12(3): 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174270>
43. Colombo, R.; Ferron, L.; Papetti, A. Colored Corn: An Up-Date on Metabolites Extraction, Health Implication, and Potential Use. *Molecules* 2021, 26, 199. <https://doi.org/10.3390/molecules26010199>
44. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (2019). Maíz. CONACYT. GOBIERNO DE MÉXICO. Recuperado el 09 de octubre de 2021 <https://conacyt.mx/cibiogem/maiz>
45. Corona-Terán, J., López-Oro NA, C. A., Romero-Gómez, S. J., Martínez-Campos, A. R., 2017. Caracterización física, contenido de fenoles y capacidad antioxidante de maíces nativos (*Zea mays* L.) del Estado de México. *ITEA*, 113 (1), 5-19.

46. Cristianini, M., & Guillen Sánchez, J. S., 2020. Extraction of bioactive compounds from purple corn using emerging technologies: A review. *Journal of Food Science*, 85 (4), 862–869. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.15074>
47. Cuevas-Montilla, E., Hillebrand, S., Antezana, A., Winterhalter, P., 2011. Soluble and Bound Phenolic Compounds in Different Bolivian Purple Corn (*Zea mays* L.) Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), 7068–7074. DOI: 10.1021/jf201061x
48. Cui, H. X, Luo, Y., Mao, Y., Yuan, K., Jin, S., Zhu, X., Zhong, B., 2021. Purified anthocyanins from *Zea mays* L. cob ameliorates chronic liver injury in mice via modulating of oxidative stress and apoptosis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1-7. DOI 10.1002/jsfa.11112
49. Damián-Medina, K., Salinas-Moreno, Y., Milenkovic, D., Figueroa-Yáñez, L., Marino-Marmolejo, E., Higuera-Ciapara, I., Vallejo-Cardona, A., Lugo-Cervantes, E. 2020. In silico analysis of antidiabetic potential of phenolic compounds from blue corn (*Zea mays* L.) and black bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Heliyon*. 6(3): e03632. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03632
50. De Nisi, P., Borlini, G., Abbasi Parizad, P., Scarafoni, A., Sandroni, P., Cassani, E., Adani, F., Pilu, R., 2021. ACS, Sustainable Chemistry & Engineering, 9 (10), 3781-3791. <https://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c08717?ref=pdf>
51. Delgado-Vargas, F., Paredes-López, O. 2003. Anthocyanins and Betalanins. Carotenoids En F. Delgado-Vargas. (Ed.). Natural colorants for food and nutraceutical uses. Florida: CRC PRESS, 7 y 8.
52. Descalzo, A. M., Rizzo, S. A., Servent, A., Rossetti, L., Lebrun, M., Pérez, C. D., Boulanger, R., Mestres, C., Pallet, D., & Dhuique-Mayer, C. (2018). Oxidative status of a yogurt-like fermented maize product containing phytosterols. *Journal of Food Science and Technology*, 55(5), 1859. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5897308/>
53. Dong, J., Cai, L., Zhu, X., Huang, X., Yin, T., Fang, H., Ding, Z., 2014. Antioxidant Activities and Phenolic Compounds of Cornhusk, Corncob and

- Stigma Maydis. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 25(11), 1956-1964.
DOI:10.5935/0103-5053.20140177
54. Duangpapeng, P., Ketthaisong, D., Lomthaisong, K., Lertrat, K., Scott, M., & Suriharn, B., 2018. Corn Tassel: A New Source of Phytochemicals and Antioxidant Potential for Value-Added Product Development in the Agro-Industry. *Agronomy*, 8(11), 1-17. <http://www.mdpi.com/2073-4395/8/11/242>
55. Duangpapeng, P., Lertrat, K., Lomthaisong, K., Paul Scott, M., & Suriharn, B., 2019. Variability in Anthocyanins, Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity in the Tassels of Collected Waxy Corn Germplasm. *Agronomy*, 9(3), 1-12. <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/3/158>
56. Duru, C.E., 2020. Mineral and phytochemical evaluation of Zea mays husk. *Scientific African*, 7, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00224>
57. Elemosho, A. O., Ironi, E. A., Alamu, E. O., Ajani, E. O., Maziya-Dixon, B., & Menkir, A., 2020. Characterization of Striga-Resistant Yellow-Orange Maize Hybrids for Bioactive, Carbohydrate, and Pasting Properties. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 0, 255. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.585865/full>
58. Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., Farnham, D., DeBruin, J., Clausen, C., Strachan, S., Carter, P., 2015. *Maíz. Crecimiento y desarrollo*, DuPont Pioneer.
59. EUFIC (n.d.). Food Additives. November 17, 2021 from European Commission Food Additives Database https://webgate.ec.europa.eu/foods_system/main/?sector=FAD&auth=SANCAS [Base de datos].
60. Evangeline, I., Barithazar, N., Emmanuel, G. 2020. Biosynthesis of Anthocyanins and their Applications as Food Additives. *Journal of Academia and Industrial Research*, 9(1): 10-20.
61. Fadel, A., Mahmoud, A.M., Ashworthe, J.J., Lif, W., Nga, Y. L., Plunkett, A., 2018. Health-related effects and improving extractability of cereal arabinoxylans. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 819–831. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.055>

62. Feng, W., Hao, Z., & Li, M. 2017. Isolation and Structure Identification of Flavonoids. In (Ed.), *Flavonoids - From Biosynthesis to Human Health*. IntechOpen.
63. Feng, X., Pan, L., Wang, Q., Liao, Z., Wang, X., Zhang, X., Guo, W., Hu, E., Li, J., Xu, J., Wu, F., & Lu, Y., 2020. Nutritional and physicochemical characteristics of purple sweet corn juice before and after boiling. *PLOS ONE*, 15(5), 1-18. <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0233094>
64. Fernández-Aulis, F., Hernández-Vázquez, L., Aguilar-Osorio, G., Arrieta-Báez, D., & Navarro-Ocaña, A., 2019. Extraction and Identification of Anthocyanins in Corn Cob and Corn Husk from Cacahuacintle Maize. *Journal of Food Science*, 84(5), 954–962. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1750-3841.14589>
65. Ferron, L., Colombo, R., Mannucci, B., Papetti, A., 2020. A New Italian Purple Corn Variety (Moradyn) Byproduct Extract: Antiglycative and Hypoglycemic In Vitro Activities and Preliminary Bioaccessibility Studies. *Molecules*, 25(8), 1-21. <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/8/1958>
66. Fougère, L., Rhino, B., Elfakir, C., Destandau, E. 2020. Comparison of the Flavonoid Profiles of Corn Silks to Select Efficient Varieties as Trap Plants for *Helicoverpa zea*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68 (19), 5356-5364. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c01462
67. Fuentealba, C., Quesille-Villalobos, A. M., González-Muñoz, A., Torrico, J. S., Shetty, K., & Ranilla, L. G., 2017. Optimized methodology for the extraction of free and bound phenolic acids from Chilean Cristalino corn (*Zea mays* L.) accession. *Journal of Food*, 15(1), 91–98. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19476337.2016.1217048>
68. Galeana-López, J.A., Hernández, C., Leyva-López, N., Lizárraga-Velázquez, C.E., Sánchez-Gutiérrez, E.Y., Heredia, J. B., 2020. Corn husk extracts as an antioxidant additive in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings: Effect on growth performance, feed intake and toxicity. *Biotecnia*, 22 (2): 147-154.

69. Gálvez-Ranilla, L., Christopher, A., Sarkar, D., Shetty, K., Chirinos, R., & Campos, D., 2017. Phenolic Composition and Evaluation of the Antimicrobial Activity of Free and Bound Phenolic Fractions from a Peruvian Purple Corn (*Zea mays* L.) Accession. *Journal of Food Science*, 82(12), 2968–2976. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.13973>
70. Gálvez-Ranilla, L., Huamán-Alvino, C., Flores-Báez, O., Aquino-Méndez, E.M., Chirinos, R., Campos, D., Sevilla, R., Fuentealba, C., Pedreschi, R., Sarkar, D., Shetty, K., 2019. Evaluation of phenolic antioxidant-linked in vitro bioactivity of Peruvian corn (*Zea mays* L.) diversity targeting for potential management of hyperglycemia and obesity. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 2909-2924. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03748-z>
71. Garzón, G. A., 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36.
72. Giordano, D., Beta, B., Vanara, F., Blandino, M., 2018a. Influence of Agricultural Management on Phytochemicals of Colored Corn Genotypes (*Zea mays* L.). Part 1: Nitrogen Fertilization. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 66, 4300–4308. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.8b00326>
73. Giordano, D., Beta, T., Gagliardi, F., & Blandino, M., 2018b. Influence of Agricultural Management on Phytochemicals of Colored Corn Genotypes (*Zea mays* L.). Part 2: Sowing Time. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(17), 4309–4318. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00326>
74. Giordano, D., Beta, T., Reyneri, A., & Blandino, M., 2017. Changes in the phenolic acid content and antioxidant activity during kernel development of corn (*Zea mays* L.) and relationship with mycotoxin contamination. *Cereal Chemistry*, 94(2), 315–324. <http://doi.wiley.com/10.1094/CCHEM-05-16-0155-R>
75. Gong, K., Chen, L., Li, X., Sun, L., & Liu, K., 2018. Effects of germination combined with extrusion on the nutritional composition, functional properties and polyphenol profile and related in vitro hypoglycemic effect of whole grain corn. *Journal of Cereal Science*, 83, 1–8. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521017309657>

76. Gu, X., Cai, W., Fan, Y., Ma, Y., Zhao, X., Zhang, C., 2018. Estimating foliar anthocyanin content of purple corn via hyperspectral model. *Food Science and Nutrition*, 6, 572–578. DOI: 10.1002/fsn3.588
77. Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S., Paucar-Menacho, L. M., 2014. Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. Subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211-217. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>.
78. Gullón, P., Eibes, G., Lorenzo, J.M., Pérez-Rodríguez, N., Lú-Chau, T.A., Gullón, B., 2020. Green sustainable process to revalorize purple corn cobs within a biorefinery frame: Co-production of bioactive extracts. *Science of The Total Environment*, 709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136236>
79. Harakotr, B.; Suriharn, B.; Tangwongchai, R.; Scott, M.P.; Lertrat, K. Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking. *Food Chemistry*, 164, 510–517. DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.05.p7389
80. Harrabi, S., Boukhchina, S., Mayer, P.M., Kallel, H., 2009. Policosanol distribution and accumulation in developing corn kernels. *Food Chemistry*, 115, 918–923. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.12.098
81. Haslina, N., Wahjuningsih, S.B., Larasati, D., 2019. The Influence of Type of Solvent and Extraction Temperature of Corn Silk Extracts. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 9(3), 911-916. DOI:10.1088/1757-899X/633/1/012035
82. Hernández, M., Ventura, J., Castro, C., Bo one, V., Rojas, R., Ascacio-Valdés, J., Martínez-Ávila, G., 2018. UPLC-ESI-QTOF-MS2-Based Identification and Antioxidant Activity Assessment of Phenolic Compounds from Red Corn Cob (*Zea mays* L.). *Molecules*, 23, 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules23061425>
83. Hernández-Quintero, J.D., Rosales, A., Molina, A., Miranda, A., Wilcox, M., Hernández, J.M., Palacios, N., 2017. Cuantificación de antocianinas mediante espectroscopía de infrarrojo cercano y cromatografía líquida en maíces pigmentados. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40 (2): 219 - 225.

84. Herrera-Balandrano, D. D., Báez-González, J. G., Carvajal-Millán, E., Muy-Rangel, D., Urías-Orona, V., Martínez-López, A. L., Márquez-Escalante, J. A., Heredia, J. B., Beta, T., & Niño-Medina, G., 2018. Alkali-Extracted Feruloylated Arabinoxylans from Nixtamalized Maize Bran Byproduct: A Synonymous with Soluble Antioxidant Dietary Fiber. *Waste and Biomass Valorization* 2018, 11(2), 403–40. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-018-0462-z>
85. Herrera-Sotero, M., Cruz-Hernández, C.D., Trujillo-Carretero, C., Rodríguez-Dorantes, M., García-Galindo, H.S., Chávez-Servia, J.L., Oliart-Ros, R.M., Guzmán-Gerónimo, R.I., 2017a. Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chemistry Central Journal*, 11(110), 2-8. DOI 10.1186/s13065-017-0341-x
86. Herrera-Sotero, M., González-Cortés, García-Galindo, H., Juárez-Aguilar, E., Rodríguez Dorantes, M., Chávez-Servia, J., Oliart-Ros, R., Guzmán-Gerónimo, R., 2017b. Anthocyanin Profile of Red Maize Native from Mixteco Race and Their Antiproliferative Activity on Cell Line DU145. En Justino G.C (Ed.). *Flavonoids-From Biosynthesis to Human Health*. IntechOpen. DOI: 10.5772/67809
87. Hong, H. T., Netzel, M. E., & O'Hare, T. J., 2020a. Anthocyanin composition and changes during kernel development in purple-pericarp supersweet sweetcorn. *Food Chemistry*, 315, 1-8. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814620301321>
88. Hong, H. T., Netzel, M. E., O'Hare, T. J., 2020b. Optimisation of extraction procedure and development of LC–DAD–MS methodology for anthocyanin analysis in anthocyanin-pigmented corn kernels. *Food Chemistry*, 319. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814620303770>
89. Hong, H.T., Phan, A.D.T., O'Hare, T.J., 2021. Temperature and Maturity Stages Affect Anthocyanin Development and Phenolic and Sugar Content of Purple-Pericarp Supersweet Sweetcorn during Storage. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 69, 922–931. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c06153>

90. Hossain, A., Jayadeep, P.A. 2018. Analysis of bioaccessibility of campesterol, stigmasterol, and β -sitosterol in maize by in vitro digestion method. *Journal of Food BioChemistry*, 42(6). <https://doi.org/10.1111/jfbc.12653>
91. Hossain A, Jayadeep PA., 2020. Comparison of total carotenoids, lutein, zeaxanthin, and β -carotene content in maize employing solvent extraction and in vitro physiological methods. *Journal of Food Biochemistry*. 2018; 42. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12653>
92. Hossain, A., Jayadeep, A., 2021. Infrared heating induced improvement of certain phytochemicals, their bioaccessible contents and bioaccessibility in maize. *LWT* 142, 110912, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110912>
93. Hu, Q., Xu, J., 2011. Profiles of Carotenoids, Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Activity of Selected Color Waxy Corn Grains during Maturation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(5), 2026–2033. DOI: 10.1021/jf104149q
94. Hu, X., Liu, H., Yu, Y., Li, G., Qi, X., Li, Y., Li, T., Guo, X., Liu, R.H. 2020. Accumulation of phenolics, antioxidant and antiproliferative activity of sweet corn (*Zea mays* L.) during kernel maturation. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-9. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14879>
95. Hu, X., Liu, J., Li, W., Wen, T., Li, T., Guo, X., Liu, R.H. 2020. Biosynthesis and accumulation of multivitamins in black sweet corn (*Zea mays* L.) during kernel development. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100: 5230-5238. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103065>
96. Hu, X., Liu, J., Li, W., Wen, T., Li, T., Guo, X., Liu, R.H., 2020. Anthocyanin accumulation, biosynthesis and antioxidant capacity of black sweet corn (*Zea mays* L.) during kernel development over two growing seasons. *Journal of Cereal Science*, 95. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521020306044>
97. Hun Lee, T., Hau Lee, C., Wong, S., Ying Ong, P., Hamdan, N., Alia Azmi, N., 2021. UPLC - orbitrap - MS /MS based characterization of phytochemical compounds from Malaysia purple corn (*Zea mays*). *Biocatalysis and*

- Agricultural Biotechnology, 32, 2-8. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101922>
98. Identificación y cuantificación de sustancias por HPLC (13 de junio 2022). Universidad Veracruzana. <https://www.uv.mx/sara/equipamiento/hplc/>
99. Irakoze, E., Nduwayezu, B. and Gakuba, E. 2020. Biosynthesis of anthocyanins and their applications as food additives. *Journal of Academia and Industrial Research*, 9(1): 10-20.
100. Irani, N.G., Grotewold, E., 2005. Light-induced morphological alteration in anthocyanin-accumulating vacuoles of maize cells. *BMC Plant Biology* 5, 7. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-5-7>
101. Ishiguro, K., 2019. Chapter 8 - Sweet potato carotenoids. En Mu. (Ed.) *Sweet Potato. Chemistry, Processing and Nutrition* (223-241). Academic Press.
102. Itthisoponkul, T., Naknan, P., Prompun, S., Kasemwong, K., 2018. Evaluation of high-pressure treatment for improvement of physicochemical and functional qualities in purple corncobs. *International Food Research Journal*, 25(1), 246-253.
103. Jiang, T., Zhan, S., Li, S., Zhu, Z., He, J., Lorenzo, J.M., Barba, F.J., 2018. From 'green' technologies to 'red' antioxidant compounds extraction of purple corn: a combined ultrasound–ultrafiltration–purification approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(13): 4919-4927. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9024>
104. Jiang, Y., Bai, X., Lang, S., Zhao, Y., Liu, C., & Yu, L., 2019. Optimization of ultrasonic-microwave assisted alkali extraction of arabinoxylan from the corn bran using response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 452–458. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813018334627>
105. Jourdan, M., Gagné, S., Dubois-Laurent, C., Maghraoui, M., Huet, S., Suel, A., Hamama, L., Briard, M., Peltier, D., Geoffriau, E. 2015. Carotenoid Content and Root Color of Cultivated Carrot: A Candidate-Gene Association

- Study Using an Original Broad Unstructured Population. PLOS ONE, 10 (1), 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0116674>
106. Kale, M. S., Yadav, M. P., Chau, H. K., Hotchkiss, A. T. 2018. Molecular and functional properties of a xylanase hydrolysate of corn bran arabinoxylan. *Carbohydrate Polymers*, 181, 119-123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.008>
107. Kanevskii, M. V., Grinev, V. S., Polukonova, N. V., Navolokin, N. A., Belyachenko, Y. A., Bucharskaya, A. B., Durnova, N. A., Maslyakova, G. N., & Shirokov, A. A., 2020. Comparative Spectroscopic and HPLC Analyses of Phenolic Compounds in Extracts of Anthocyanin Maize Purple Saratov Variety Grown Under Various Wetting Conditions. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 54(3), 279–283. <https://link-springer-com.pbidi.unam.mx:2443/article/10.1007/s11094-020-02191-1>
108. Kang, J., Guo, Q., Shi, Y.C. 2019. NMR and methylation analysis of hemicellulose purified from corn bran. *Food Hydrocolloids* 94, 613-621. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.048>
109. Kapcum, C., Uriyapongson, J., 2018. Effects of storage conditions on phytochemical and stability of purple corn cob extract powder. *Food Science and Technology*, 38, 301–305. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.23217>
110. Kapcum, N., Uriyapongson, J., Alli, I., Phimphilai, S., 2016. Anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant activities in colored corn cob and colored rice bran. *International Food Research Journal*, 23(6), 2347-2356.
111. Kato. T.A., Mapes, C., Mera, L.M. Serratos, J.A. Bye. R.S. (2009) Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. 1a Edición, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología:17-18,33-40,43-66.
112. Khamphasan, P., Lomthaisong, K., Harakotr, B., Ketthaisong, D., Scott, M., Lertrat, K., & Suriharn, B., 2018. Genotypic Variation in Anthocyanins, Phenolic Compounds, and Antioxidant Activity in Cob and

- Husk of Purple Field Corn. *Agronomy*, 8(11), 271. <http://www.mdpi.com/2073-4395/8/11/271>
113. Khamphan, P., Lomthaisong, K., Harakotr, B., Scott, M. P., Lertrat, K., & Suriharn, B., 2020a. Combining ability and heterosis for agronomic traits, husk and cob pigment concentration of maize. *Agriculture* 2020, 10 (11), 1–19. <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/11/510>
114. Khamphan, P., Lomthaisong, K., Harakotr, B., Scott, M. P., Lertrat, K., & Suriharn, B., 2020b. Effects of mass selection on husk and cob color in five purple field corn populations segregating for purple husks. *Agriculture*, 10(8), 1–26. <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/8/311>
115. Khonkhaeng, B., Cherdthong, A., 2020. Improving Nutritive Value of Purple Field Corn Residue and Rice Straw by Culturing with White-Rot Fungi. *Journal Fungi (Bassel)*, 6(2), 69. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fjof6020069>
116. Kim, H.J., Kim, M.J., Sim, E.Y., Lee, C., K., Jeon, Y., Kim, S., Jung, G., Son, B., Woo, K., 2018. Changes in the Functional Components and Radical Scavenging Activity of Korean Maize Hybrids According to Different Cropping Seasons. *Journal of Crop Science Biotech*, 21 (1), 57-64. DOI: No. 10.1007/s12892-017-0117-0
117. Kim, J.T, Yi, G, Chung, I.M, Son, B.Y, Bae, H.H, Go, Y.S., Ha, J.Y., Baek, S., Kim, S., 2020. Timing and pattern of anthocyanin accumulation during grain filling in purple waxy corn (*Zea mays* L.) suggest optimal harvest dates. *American Chemical Society, Omega*, 5 (25): 15702–15708. DOI: 10.1021/acsomega.0c02099
118. Kurambhatti, C., Kumar, D., Rausch, K. D., Tumbleson, M. E., & Singh, V., 2020. Improving technical and economic feasibility of water-based anthocyanin recovery from purple corn using staged extraction approach. *Industrial Crops and Products*, 158, 112976. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669020308931>
119. Laeliocattleya, R. A., 2019. The potential of methanol and ethyl acetate extracts of corn silk (*Zea mays* L.) as sunscreen. *AIP Conference Proceedings* 2099, 1-8.

120. Landoni, M., Puglisi, D., Cassani, E., Borlini, G., Brunoldi, G., Comaschi, C., Pilu, R., 2020. Phlobaphenes modify pericarp thickness in maize and accumulation of the fumonisin mycotoxins. *Scientific Reports*, 10(1417), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58341-8>
121. Lao, F., & Giusti, M. M., 2017a. The effect of pigment matrix, temperature and amount of carrier on the yield and final color properties of spray dried purple corn (*Zea mays* L.) cob anthocyanin powders. *Food Chemistry*, 227, 376–382. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814617301024>
122. Lao, F., & Giusti, M. M., 2018. Extraction of purple corn (*Zea mays* L.) cob pigments and phenolic compounds using food-friendly solvents. *Journal of Cereal Science*, 80, 87–93. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521016302983>
123. Lao, F., Sigurdson, G. T., & Giusti, M. M., 2017b. Health Benefits of Purple Corn (*Zea mays* L.) Phenolic Compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 234–246. <http://doi.wiley.com/10.1111/1541-4337.12249>
124. Lau, T., Harbourne, N., Oruna-Concha, M.J., 2019. Valorisation of sweet corn (*Zea mays*) cob by extraction of valuable compounds. *International Journal of Food Science and Technology*, 54, 1240–1246. DOI: 10.1111/ijfs.14092
125. Li, C.Y., Kim, H.W., Won, S.R., Min, H.K., Park, K.J., Park, J.Y., Ahn, M.S., Rhee, H.I. 2008. Corn Husk as a Potential Source of Anthocyanins. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 56 (23), 11413–11416.
126. Li, Q., Somavat, P., Singh, V., Chatham, L., & Gonzalez de Mejía, E., 2017. A comparative study of anthocyanin distribution in purple and blue corn coproducts from three conventional fractionation processes. *Food Chemistry*, 231, 332–339. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814617305411>
127. Libron, J. A. M. A., Cadona, D.E.M., Mateo, J. M. C., Beltran, A.K.M., Tuano, A. P. P., Laude, T. P., 2021. Nutritional properties and phenolic acid

- profile of selected Philippine pigmented maize with high antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 101,1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103954>
128. Limmatvapirat, C., Nateesathittarn, C., Dechasathian, K., Moohummad, T., Chinajitphan, P., Limmatvapirat, S., 2020. Phytochemical analysis of baby corn silk extracts. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 11, 344-351. <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2019.10.005>
129. Liu, X., Li, S., Yang, W., Mu, B., Jiao, Y., Zhou, X., Zhang, C., Fan, Y., & Chen, R., 2018. Synthesis of Seed-Specific Bidirectional Promoters for Metabolic Engineering of Anthocyanin-Rich Maize. *Plant and Cell Physiology*, 59(10), 1942–1955. <https://academic.oup.com/pcp/article/59/10/1942/5038891>
130. Loarca-Piña, G., Neri, M., Figueroa, J.D., Castaño-Tostado, E., Ramos-Gómez, M. Reynoso, R., Mendoza, S., 2019. Chemical characterization, antioxidant and antimutagenic evaluations of pigmented corn. *Journal of Food Science Technology*, 56(7), 3177–3184. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03671-3>
131. López-Malvar, A., Ordás, B., Souto, C., Encina, A., Malvar, R. A., Santiago, R. 2017. Chemical Changes during Maize Tissue Aging and Its Relationship with Mediterranean Corn Borer Resistance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65 (42), 9180-9185. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02911>
132. Luna-Vital, D. A., Chatham, L., Juvik, J., Singh, V., Somavat, P., & De Mejia, E. G., 2019. Activating Effects of Phenolics from Apache Red Zea mays L. on Free Fatty Acid Receptor 1 and Glucokinase Evaluated with a Dual Culture System with Epithelial, Pancreatic, and Liver Cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(33), 9148-9159. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.8b06642>
133. Luna-Vital, D., González, E., 2020. Maize extract rich in ferulic acid and anthocyanins prevents high-fat-induced obesity in mice by modulating SIRT1, AMPK and IL-6 associated metabolic and inflammatory pathways. *The*

- Journal of nutritional biochemistry, 79,1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108343>
134. Luna-Vital, D., Li, Q., West, L., West, M., González de Mejia, E., 2017. Anthocyanin condensed forms do not affect color or chemical stability of purple corn pericarp extracts stored under different pH. *Food Chemistry*, 232, 639-647. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.169>
 135. Luna-Vital, D.A., González de Mejia, E., 2018. Anthocyanins from purple corn activate free fatty acid-receptor 1 and glucokinase enhancing in vitro insulin secretion and hepatic glucose uptake. *PLOS ONE*, 13(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200449>
 136. Lux, P.E., Freiling, M., Stuetz, W., von Tucher, S., Carle, R., Steingass, C.B., Frank, J. 2020. (Poly) phenols, Carotenoids, and Tocochromanols in Corn (*Zea mays* L.) Kernels as Affected by Phosphate Fertilization and Sowing Time. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 68, 612–62. <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
 137. Lux, P.E., Schneider, J., Müller, F., Wiedmaier-Czerny, N., Vetter, W., Weiß, T.M., Würschum, T., Frank, J., 2021. Location and Variety but Not Phosphate Starter Fertilization Influence the Profiles of Fatty Acids, Carotenoids, and Tocochromanols in Kernels of Modern Corn (*Zea mays* L.) Hybrids Cultivated in Germany. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2021, 69 (9), 2845-2854. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.0c07571>
 138. Luzardo-Ocampo, I., Ramírez-Jiménez, A.K., Yáñez, J., Mojica, L., Luna-Vital, D.A. 2021. Technological Applications of Natural Colorants in Food Systems: A Review. *Foods*, 10(3): 634.
 139. Madeira, J.V., Jares-Cortesini, F.J., Calzado, F., Ventura-Rubio, M., Zubieta, M.P., Branta-Lopes, D., Rodrigues de Melo, R., 2017. Chapter 18 - Agro-Industrial Residues and Microbial Enzymes: An Overview on the Eco-Friendly Bioconversion into High Value-Added Products. En Brahmachari (Ed.). *Biotechnology of Microbial Enzymes. Production,*

- Biocatalysis and Industrial Applications (475-511). Academic Press. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128037256000182>
140. Magaña-Cerino, J. M., Peniche-Pavía, H. A., Tiessen, A., & Gurrola-Díaz, C. M., 2020. Pigmented Maize (*Zea mays* L.) Contains Anthocyanins with Potential Therapeutic Action against Oxidative Stress – A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(2), 85–99. <http://www.journalssystem.com/pjfn/Pigmented-maize-Zea-mays-L-contains-anthocyanins-with-potential-therapeutic-action,113272,0,2.html>
141. Mansilla, P. S., Nazar, M. C., & Pérez, G. T., 2020. Flour functional properties of purple maize (*Zea mays* L.) from Argentina. Influence of environmental growing conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146, 311–319. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813019384442>
142. Mansilla, P.S., Bongianino, N.F., Nazar, M.C., Pérez, G.T., 2021. Agronomic and chemical description of open-pollinated varieties of opaque-2 and purple maize (*Zea mays* L.) adapted to semiarid region of Argentina. *Genetic Resource of Crop Evolution*,1-15. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01133-4>
143. Marqués, G., Rencoret, J., Gutiérrez, A., & del Río, J. C., 2020. Lipophilic compounds from maize fiber and rice husk residues – An abundant and inexpensive source of valuable phytochemicals. *Industrial Crops and Products*, 146, 112203. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669020301199>
144. Martínez-Martínez, R., Vera-Guzmán, A.M., Chávez-Servia, J.L., Aquino-Bolaños, E.N., Carrillo-Rodríguez, J.C., Pérez-Herrera, A., 2019. Bioactive Compounds and Antioxidant activities in pigmented maize landraces. *INTERCIENCIA*, 44(9),549-556
145. Maruf, W., Rosyidi, D., Radiati, L.E., Purwadi.,2018. Chemical and Physical Evaluation of Native Chicken Nuggets that using Several Types and the Proportion of Corn Flour. *International Journal of ChemTech Research*,

2455-9555, 11(09), 135-141. DOI=
<http://dx.doi.org/10.20902/IJCTR.2018.110917>

146. Mazewski, C., Liang, K., & Gonzalez de Mejía, E., 2017. Inhibitory potential of anthocyanin-rich purple and red corn extracts on human colorectal cancer cell proliferation in vitro. *Journal of Functional Foods*, 34, 254–265. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1756464617302281>
147. Medina-Hoyos, A., Narro-León, L.A., Alexander Chávez-Cabrera, A., 2020. Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona alto-andina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuria*, 11 (3): 291 – 299. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
148. Meléndez-Martínez, A. J., Mandić, A.I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G.I.A., Brnčić, M., Bysted, A., Cano, M.P., Dias, M.G., Elgersma, A., Fikselová, M., García-Alonso, J., Giuffrida, D., Gonçalves, V.S.S., Hornero-Méndez, D., Kljak, K., Lavelli, V., Manganaris, G.A., Mapelli-Brahm, P., Marounek, M., Olmedilla-Alonso, B., Periago-Castón, M.J., Pintea, A., Sheehan, J.J., Šaponjac, V.T., Valšíková-Frey, M., Meulebroek, L.V., O'Brien, N. 2021. A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-35. DOI: 10.1080/10408398.2020.1867959
149. Melo-Silveira, R.F., Silva, R.L., Sabrya, D.A., Silva, R. A., Machado, D., Nascimento, A.K.L., Scorteccia, K.C., Ferreira-Halder, C. V., Sassakic, G.L., Rocha, H.A.O.2019. Antiproliferative xylan from corn cobs induces apoptosis in tumor cells. *Carbohydrate Polymers*, 245-253. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.073>
150. Mendoza, G., Mendoza, M.C., Delgado, A., Castillo, F., Kato, T., Cruz, S., 2017. Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Revista Fitotecnia*, 40 (4): 471-479.
151. Mendoza-López, M.L., Alvarado-Díaz, C.S., Pérez-Vega, S.B., Leal-Ramos, M.Y., Gutiérrez-Méndez, N., 2017. Compositional and free radical scavenging properties of *Zea mays* female inflorescences (maize silks) from

- Mexican maize landraces. *Journal of Food*, 16 (1), 96-104. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19476337.2017.1343866>
152. Menkir, A., Maziya-Dixon, B., Mengesha, W., Rocheford, T., Oladeji Alamu, E., 2017. Accruing genetic gain in pro-vitamin A enrichment from harnessing diverse maize germplasm. *Euphytica*, 213(105),1-12. DOI: 10.1007/S10681-017-1890-8
153. Mesarović, J.Z., Dragičević, V.D., Mladenović Drinić, S.D., Ristić, D.S., Kravić, N.B., (2017). Determination of free phenolic acids from leaves within different colored maize. *Journal of Serbian Chemical Society*, 82 (1), 63–72. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521018309615>
154. Ming, H., Wang, Q., Wu, Y., Liu, H., Zheng, L., Zhang, G., 2021. Transcriptome analysis reveals the mechanism of anthocyanidins biosynthesis during grains development in purple corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Physiology*, 257,1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153328>
155. Mohamed, G., Lertrat, K., Suriharn, B., 2017. Phenolic compound, anthocyanin content, and antioxidant activity in some parts of purple waxy corn across maturity stages and locations. *International Food Research Journal*, 24(2): 490-497.
156. Monroy, Y. M., Rodríguez, R. A. F., Sartoratto, A., & Cabral, F. A., 2020. Purple corn (*Zea mays* L.) pericarp hydroalcoholic extracts obtained by conventional processes at atmospheric pressure and by processes at high pressure. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 37(1), 237–248. <http://link.springer.com/10.1007/s43153-020-00009-x>
157. Moreno, J.A., Díaz-Gómez, J., Fuentes-Font, L., Angulo, E., Gosálvez, L.F., Sandmann, G., Portero-Otinn, M., Capell, T., Zhu, C., Christou, P., Nogareda, C. Poultry diets containing (keto)carotenoid-enriched maize improve egg yolk color and maintain quality. *Animal Feed Science and Technology*, 260, 2-10. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840118313865>
158. Muangrat, R., Pongsirikul, I., & Blanco, P. H., 2018. Ultrasound assisted extraction of anthocyanins and total phenolic compounds from dried

- cob of purple waxy corn using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.13447>
159. Muangrat, R., Williams, P.T., Saengcharoenrat, P., 2017. Subcritical solvent extraction of total anthocyanins from dried purple waxy corn: Influence of process conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41 (6).
160. Mutlu, C., Arslan-Tontul, S., Candal, C., Kilic, O., & Erbas, M., 2018. Physicochemical, Thermal, and Sensory Properties of Blue Corn (*Zea Mays* L.). *Journal of Food Science*, 83(1), 53–59. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.14014>
161. Nankar, A., Holguin, F. O., Scott, M. P., Pratt, R.C., 2017. Grain and Nutritional Quality Traits of Southwestern U.S. Blue Maize Landraces. *Cereal Chemistry*, 1-6. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-04-17-0079-R>
162. Napan, L.E., Vietti-Guzmán, F.F., Álvarez-Yanamango, E., Huayta, F., 2018. Evaluation of some functional properties of purple corn (*Zea mays* L.) dye, during its processing at pilot scale. 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Innovation in Education and Inclusion”, Lima, Peru.
163. Navarro, A., Torres, A., Fernández-Aulis, F., Peña, C., 2018. Capítulo 5. Bioactive Compounds in Pigmented Maize. En Amanullah & Fahad (Eds.). *Corn - Production and Human Health in Changing Climate*, 69-91.
164. Ndolo, V. U., Beta, T., 2014. Comparative Studies on Composition and Distribution of Phenolic Acids in Cereal Grain Botanical Fractions. *Cereal Chemistry*, 91(5), 522–530. <http://dx.doi.org/10.1094/>
165. Nkhata, S.G., Ortiz, D., Baributsad, D., Hamakera, B., Rocheford, T., Ferruzzic, M.G., 2019. Assessment of oxygen sequestration on effectiveness of Purdue Improved Crop Storage (PICS) bags in reducing carotenoid degradation during post-harvest storage of two biofortified orange maize genotypes. *Journal of Cereal Science*, 87, 68-77. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521018307963>

166. Obeng-Bio, E., Badu-Apraku, B., Elorhor Ifie, B., Danquah, A., Blay, E.T., Dadzie, M.A., 2020. Phenotypic characterization and validation of provitamin A functional genes in early maturing provitamin A-quality protein maize (*Zea mays*) inbred lines. *Plant Breed*, 139, 575–588. DOI: 10.1111/pbr.12798
167. OKOKON, J. E., Ebinyo, N., Sunday, M., 2017. Antidepressant activity of ethanol extract of *Zea mays* husk. *Advanced Herbal Medicine*, 3 (4), 22-28
168. Oleszek, M., Kowalska, I., & Oleszek, W., 2019. Phytochemicals in bioenergy crops. *Phytochemistry Reviews*, 18(3), 893–927. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09639-7>
169. Ortiz, D., Nkhata, S.G., Rocheford, T., Ferruzzi, M.G., 2019. Steeping of Biofortified Orange Maize Genotypes for Ogi Production Modifies Pasting Properties and Carotenoid Stability. *Agronomy*, 9, 771: 1-17. <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/11/771>
170. Paucar-Menacho, L. M., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., Frias, J., & Peñas, E., 2017. Optimization of germination time and temperature to maximize the content of bioactive compounds and the antioxidant activity of purple corn (*Zea mays* L.) by response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 76, 236–244. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643816304753>
171. Paulsmeyer, M., Chatham, L., Becker, T., West, M., West, L., & Juvik, J., 2017. Survey of Anthocyanin Composition and Concentration in Diverse Maize Germplasm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(21), 4341–4350. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.7b00771>
172. Peniche-Pavia, H.A., Tiessen, A., 2020. Anthocyanin Profiling of Maize Grains Using DIESI-MSQD Reveals That Cyanidin-Based Derivatives Predominate in Purple Corn, whereas Pelargonidin-Based Molecules Occur in Red-Pink Varieties from Mexico. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68 (21): 5980-5994. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06336?ref=pdf>

173. Prasanthi, P.S., Naveena, N., Vishnuvardhana Rao, M., Bhaskarachary, K., 2017. Compositional variability of nutrients and phytochemicals in corn after processing. *Journal Food Science Technology*, Springer, 54(5): 1080–1090. DOI 10.1007/s13197-017-2547-2
174. Production of Maize: top 10 producers (2019). FAO.05/10/21. De FAOSTAT Base de datos.
175. Qin, Y., Liu, Y., Tuan, L., Yong, H., Liu, J., 2019. Preparation and characterization of antioxidant, antimicrobial and pH-sensitive films based on chitosan, silver nanoparticles and purple corn extract. *Food Hydrocolloids* 96, 102-111. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X19307350>
176. Ramos-Escudero, F., Muñoz, A.M., Alvarado-Ortiz, C., Alvarado, Á., Yáñez, J.A. 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(2): 206-15. DOI: 10.1089/jmf.2010.0342.
177. Ranilla, L. G., Huamán-Alvino, C., Flores-Báez, O., Aquino-Méndez, E. M., Chirinos, R., Campos, D., Sevilla, R., Fuentealba, C., Pedreschi, R., Sarkar, D., & Shetty, K., 2019. Evaluation of phenolic antioxidant-linked in vitro bioactivity of Peruvian corn (*Zea mays* L.) diversity targeting for potential management of hyperglycemia and obesity. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 2909–2924. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03748-z>
178. Razas de maíz de México (2020). Consultado el 27/02/ 2022 de CONABIO sitio web <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.
179. Rimdusit, T., Thapphasaraphong, S., Puthongking, P., & Priprem, A., 2019. Effects of Anthocyanins and Melatonin from Purple Waxy Corn By-Products on Collagen Production by Cultured Human Fibroblasts. *Natural Product Communications*, 14(7). <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1934578X19863510>
180. Rocchetti, G., Giuberti, G., Galloa, A., Bernardic, J., Maroccoc, A., Lucini, L., 2018. Effect of dietary polyphenols on the in vitro starch digestibility of pigmented maize varieties under cooking conditions. *Food Research*

- International, 108, 183-191. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996918302333>
181. Rodríguez-Salinas, P. A., Zavala-García, F., Urías-Orona, V., Mui-Rangel, D., Heredia, J. B., & 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. <http://link.springer.com/10.1007/s13369-019-04086-0>
182. Rojas-González, A. F. 2012. Capítulo 1. Principios básicos de ingeniería. En *Fundamentos de procesos químicos*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 24-25.
183. Sáenz, E., Abdala, L. J., Borrás, L., & Gerde, J. A., 2020. Maize kernel color depends on the interaction between hardness and carotenoid concentration. *Journal of Cereal Science*, 91, 102901. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S073352101930760X>
184. Saikaew, K., Lertrat, K., Meenune, M., & Tangwongchai, R., 2018a. Effect of high-pressure processing on colour, phytochemical contents and antioxidant activities of purple waxy corn (*Zea mays* L. var. *ceratina*) kernels. *Food Chemistry* 243, 328–337. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814617316126>
185. Saikaew, K., Lertrat, K., Meenune, M., & Tangwongchai, R., 2018b. Influence of variety and maturity on bioactive compounds and antioxidant activity of purple waxy corn (*Zea mays* L. var. *ceratina*). *International Food Research Journal*, 25(5), 1985-1995.
186. Salinas-Moreno, Y., García-Salinas, C., Coutiño-Estrada, B., Vidal Martínez, V.A., 2013. variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3-A), 285-294.
187. Salinas-Moreno, Y., Hernández-Martínez, V., Trejo-Téllez, L.I., Ramírez-Díaz, J.L., Iñiguez-Gómez, O., 2017. Composición nutricional y de

- compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7),1483-1496.
188. Sarepoua, E., Tangwongchai, R., Suriharn, B., Lertrat, K., 2013. Relationships between phytochemicals and antioxidant activity in corn silk. *International Food Research Journal*, 20(5): 2073-2079.
189. Senphan, T., Yakong, N., Aurtae, K., Songchanthuek, S., Choommongkol, V., Fuangpaiboon, N., Phing, P.L., Yarnpakdee, S., 2019. Comparative studies on chemical composition and antioxidant activity of corn silk from two varieties of sweet corn and purple waxy corn as influenced by drying methods. *Food and Applied Bioscience Journal*, 2019, 7(3), 64-80.
190. Serna-Saldívar, S.O. (2010). *Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes*, 1era edición, CRC Press.
191. Shen, J., Luo, F., Lin, Q., 2019. Policosanol: Extraction and biological functions. *Journal of Functional Foods*, 57,351-360.
192. Sheng, S., Li, T., Liu, R-H. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 7, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.09.003>
193. Simić, M., Ailić, S., Šimuruna, O., Filipčev, B., Škrobot, D., Vančetović, J., 2018. Effects of Anthocyanin-Rich Popping Maize Flour on the Phenolic Profile and the Antioxidant Capacity of Mix-Bread and Its Physical and Sensory Properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(4), 299–308. <http://journal.pan.olsztyn.pl/>
194. Simla, S., Boontang, S., Harakotr, B., 2016. Anthocyanin content, total phenolic content, and antiradical capacity in different ear components of purple waxy corn at two maturation stages. *Australian Journal of Crop Science*, 10: 675-682. DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.05.p7389
195. Singto, W., Tassaneeyakul, S. Porasuphatana., 2020. Protective Effects of Purple Waxy Corn on Aflatoxin B1-induced Oxidative Stress and Micronucleus in HepG2 Cells. *Division of Pharmacognosy and Toxicology*,

Faculty of Pharmaceutical Sciences, Indian Journal Pharmaceutical Sciences
2020; 82 (3), 506-513.

196. Smorowska, A.J., ZÓnierzcyk, A.K., Nawirska-Olszańska, A., Sowin´ski, J., Szumny, A.(2021). Nutritional Properties and In Vitro Antidiabetic Activities of Blue and Yellow Corn Extracts: A Comparative Study. Hindawi, Journal of Food Quality,1-9. <https://doi.org/10.1155/2021/8813613>
197. Stevanovic, M., Stevanovic, S., Mihailovic, M., Kiproviski, B., Bekavac, G., Mikulic-Petkovsek, M., Lovic, J.,2020. Antioxidant Capacity of Dark Red Corn – Biochemical Properties Coupled with Electrochemical Evaluation. *Revista de Chimie*, 71 (6), 31-41. <https://doi.org/10.37358/Rev>
198. Sukto, S., Lomthaisong, K., Sanitchon, J., Chankaew, S., Scott, M. P., Lübberstedt, T., Lertrat, K., & Suriharn, B., 2020. Variability in Prolificacy, Total Carotenoids, Lutein, and Zeaxanthin of Yellow Small-Ear Waxy Corn Germplasm. *International Journal of Agronomy*, 2020. <https://www.hindawi.com/journals/ija/2020/8818768/>
199. Summary of Color Additives for Use in the United States in Foods, Drugs, Cosmetics, and Medical Devices. Color Additives Approved for Use in Human Food. Part 73, Subpart A: Color additives exempt from batch certification. FDA. 05/10/21. De U.S. Food & Drug Administration [Base de datos].
200. Suriano, S., Balconi, C., Valoti, P., & Redaelli, R., 2021. Comparison of total polyphenols, profile anthocyanins, color analysis, carotenoids and tocots in pigmented maize. *LWT*, 144, 111257. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643821004102>
201. Taleon, V., Mugode, L., Cabrera-Soto, L., Palacios-Rojas, N. 2017. Carotenoid retention in biofortified maize using different post-harvest storage and packaging methods. *Food chemistry*, 232, 60-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.158>
202. Tayal, M., Somavat, P., Rodriguez, I., Thomas, T., Christoffersen, B., & Kariyat, R., 2020. Polyphenol-Rich Purple Corn Pericarp Extract Adversely

- Impacts Herbivore Growth and Development. *Insects*, 11(2), 98, 1-8.
<https://www.mdpi.com/2075-4450/11/2/98>
203. Tian, S., Sun, Y., Chen, Z., 2021. Extraction of Flavonoids from Corn Silk and Biological Activities In Vitro. *Journal of Food Quality*,1-9.
<https://doi.org/10.1155/2021/7390425>
204. Tian, X., Paengkoum, P., Paengkoum, S., Thongpea, S., Ban, C., 2018. Comparison of forage yield, silage fermentative quality, anthocyanin stability, antioxidant activity, and in vitro rumen fermentation of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover and sticky corn stover. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(9), 2082-2095. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095311918619707>
205. Tian, X., Xin, H., Paengkoum, P., Paengkoum, S., Ban, C., & Sorasak, T., 2019. Effects of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover silage on nutrient utilization, rumen fermentation, plasma antioxidant capacity, and mammary gland gene expression in dairy goats. *Journal of Animal Science*, 97(3), 1384–1397. <https://academic.oup.com/jas/article/97/3/1384/5254248>
206. Tomay, F., Marinelli, A., Leoni, V., Caccia, C., Matros, A., Mock, H.P., Tonelli, C., Petroni, K., 2019. Purple corn extract induces long-lasting reprogramming and M2 phenotypic switch of adipose tissue macrophages in obese mice. *Journal of Translational Medicine*, 17(237).
207. TRAN, T.L., Ho, T.H., Nguyen, D.T., 2017. Overexpression of the *lcbOr* gene from sweet potato (*Ipomea batatas* ‘Hoang Long’) in maize increases total carotenoid and β -carotene contents. *Turkish Journal of Biology*, 41, 1003-1010. DOI: 10.3906/biy-1708-87
208. Trehan, S., Singh, N., & Kaur, A., 2018. Characteristics of white, yellow, purple corn accessions: phenolic profile, textural, rheological properties and muffin making potential. *Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2334–2343. <http://link.springer.com/10.1007/s13197-018-3171-5>
209. Trehan, S., Singh, N., & Kaur, A., 2020. Diversity and relationship among grain, flour and starch characteristics of Indian Himalayan colored

- corn accessions. *Journal of Food and Science Technology*, 57(10), 3801–3813. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04412-7>
210. Ursu, M. S., Aprodu, I., Milea, Ștefania A., Enachi, E., Râpeanu, G., Bahrim, G. E., Stănciuc, N., 2020. Thermal Degradation Kinetics of Anthocyanins Extracted from Purple Maize Flour Extract and the Effect of Heating on Selected Biological Functionality. *Foods*, 9(11), 1-7. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9111593>
211. Wang, H., Huang, Y., Xiao, Q., Huang, X., Li, C., Gao, X., Wang, Q., Xiang, X., Zhu, Y., Wang, J., Wang, W., Larkins, B. A., & Wu, Y., 2020. Carotenoids modulate kernel texture in maize by influencing amyloplast envelope integrity. *Nature Communications* 2020 11:1, 11(1), 1–13. <https://www.nature.com/articles/s41467-020-19196-9>
212. Wang, J., Bai, J., Fan, M., Li, T., Li, Y., Qian, H., Wang, L., Zhang, H., Qi, X., Rao, Z. 2019. Cereal-derived arabinoxylans: Structural features and structure–activity correlations. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111960>
213. Wang, K.-J., Zhao, J.-L., 2019. Corn silk (*Zea mays* L.), a source of natural antioxidants with α -amylase, α -glucosidase, advanced glycation and diabetic nephropathy inhibitory activities. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 110: 510–517. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0753332218354404>
214. Wang, Y., Liu, Q., Fan, S., Yang, X., Ming, L., Wang, H., Liu, J., 2019. Rapid analysis and characterization of multiple constituents of corn silk aqueous extract using ultra-high-performance liquid chromatography combined with quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Separation Science*, 42: 3054–3066. DOI: 10.1002/jssc.201900407
215. Yang, L., Rong-Rong, C., Fang, Ji-Li, Ke, Y., 2019. Total anthocyanins and cyanidin-3-O-glucoside contents and antioxidant activities of purified extracts from eight different pigmented Plants. *Pharmacognosy Magazine*, 15 (60): 124-129.

216. Yang, P., Yuan, C., Wang, H., Han, F., Liu, Y., Wang, L., Liu, Y. 2018. Stability of Anthocyanins and Their Degradation Products from Cabernet Sauvignon Red Wine under Gastrointestinal pH and Temperature Conditions. *Molecules* 2018, 23, 354; 2-20.
217. Yang, T., Hu, J., Yu, Y., Li, G., Guo, X., Li, T., Liu, R.H., 2018. Comparison of phenolics, flavonoids, and cellular antioxidant activities in ear sections of sweet corn (*Zea mays* L. *saccharata* Sturt). *Journal of Food Processing and Preservation*, 43, 1-9. DOI: 10.1111/jfpp.13855
218. Yu, M., Yang, L., Xue, Q., Yin, P., Sun, L., Liu, Y., 2019. Comparison of Free, Esterified, and Insoluble-Bound Phenolics and Their Bioactivities in Three Organs of *Lonicera japonica* and *L. macranthoides*. *Molecules*, 24(5): 970.
219. Zavala-López, M., & García-Lara, S. (2017). An improved microscale method for extraction of phenolic acids from maize. *Plant Methods* 2017, 13(1), 1–11. <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-017-0235-x>
220. Zhang, H., Cao, X., Liu, Y., Shang, F., 2017. Rapid recovery of high content phytosterols from corn silk. *Chemistry Central Journal*, 11(108), 1-9. DOI 10.1186/s13065-017-0277-1
221. Zhang, Q., Gonzalez de Mejía, E., Luna-Vital, D., Tao, T., Chandrasekaran, S., Chatham, L., Juvik, J., Singh, V., & Kumar, D., 2019. Relationship of phenolic composition of selected purple maize (*Zea mays* L.) genotypes with their anti-inflammatory, anti-adipogenic and anti-diabetic potential. *Food Chemistry*, 289, 739–750. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814619305990>
222. Zhang, R., Huang, L., Deng, Y., Chi, J., Zhang, Y., Wei, Z., & 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. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2016.1270964>

223. Zhang, S., Ji, J., Zhang, S., Xiao, W., Guan, C., Wang, G., Wang, Y., 2020. Changes in the phenolic compound content and antioxidant activity in developmental maize kernels and expression profiles of phenolic biosynthesis-related genes. *Journal of Cereal Science*, 96. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521020306500>
224. Žilić, S., Serpen, A., Akıllıoğlu, G., Gökmen, V., Vančetović, J. 2012. Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 60(5):1224-31. <https://doi.org/10.1021/jf204367z>
225. Žilić, S., Janković, M., Basić, Z., Vančetović, J., Maksimović, V., 2016. Antioxidant activity, phenolic profile, chlorophyll and mineral matter content of corn silk (*Zea mays* L): Comparison with medicinal herbs. *Journal of Cereal Science*, 69, 363-370. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521016300650>

XII. REFERENCIAS DE IMÁGENES

Figura 1. 2021. Clasificación novel y rasgos agronómicos del maíz. (b)Rasgos agronómicos clave del maíz[diagrama]. En Li, Q., et al, Novel insights of maize structural feature in China (p.7), por *Euphytica* 217, 2021.

Figura 2. Arendt et al., 2013. Estructura del grano de maíz[diagrama]. En Francavilla & Joye, Maize (p.75), *Woodhead Publishing Limited*, 2020.

Figura 3. Endicott et al., 2015. Etapas vegetativas y reproductivas [tabla]. En Endicott, Maíz. Crecimiento y desarrollo (p.9), DuPont Pioneer, 2015.

Figura 4. Li, Q., et al., 2021. Factores ambientales durante la vida del maíz [diagrama]. En Li, Q., et al., Novel insights of maize structural feature in China (p.8), *Euphytica* 217, 2021.

Figura 5. Estructura de las antocianinas principales en el maíz: A) glucósidos de cianidina, pelargonidina y peonidina y B) antocianinas basadas en cianidina, pelargonidina y peonidina aciladas con ácido málico.

Figura 6. Estructuras de los flavonoides principales en el maíz: A) flavonoles, B) flavonas, C) flavanonas y D) flavanoles.

Figura 7. Estructura de los ácidos fenólicos principales en el maíz: A) derivados del ácido hidroxicinámico y B) derivados del ácido benzoico.

Figura 8. Estructura de los carotenoides principales en el maíz: A) carotenos y B) xantofilas.

Figura 9. Estructuras de los fitoesteroles más comunes en el maíz.

Figura 10. Estructuras de los principales policosanoles encontrados en el maíz.

Figura 11. Buanafina, M.M., 2009. Arabinosilano [imagen]. Feruloylation in Grasses: Current and Future Perspectives, *Molecular Plant*, 2009.

Figura 12. Simbología de compuestos principales asignados por color [esquema].

Figura 13. Simla et al., 2016. Morfología de la mazorca y sus partes. Mazorca (A), grano (B), raquis (C), estigmas (D), brácteas (E) y espiga (F); de la variedad morada cerosa KKU-OP a los 20 días después de la polinización [esquema]. En Simla et al., 2016, Anthocyanin content, total phenolic content, and antiradical capacity in different ear components of purple waxy corn at two maturation stages. *Australian Journal of Crop Science*, 2016.

Figura 14. Irani & Grotewold, 2005. Morphology of anthocyanin-accumulating cells in maize floral organs. The maize male inflorescence, the tassel, is a panicle made of numerous spikes, each formed by numerous, paired spikelets (B) Spikelet dissection: the two florets with an outer glume, an inner glume; each floret with a lemma, palea, highly reduced lodigule and three stamens (E). Digital macro images of open florets from a B-I PI plant [fotografía]. En Irani NG, Grotewold E., Light-induced morphological alteration in anthocyanin-accumulating vacuoles of maize cells. *BMC Plant Biology*. 2005.

Figura 15. Sheppard, E., 2016. Purple Corn [fotografía]. Indoor Gardening News. <https://blog.Backtotheroots.com/2016/10/14/purple-corn-exists-really-good/>

Figura 16. Cassani et al., 2017. Phenotype of the “Nero Spinoso” maize cultivar. A Dark red/black ear at maturity [fotografía]. En Cassani, E., Puglisi, D., Cantaluppi, E. et al., Genetic studies regarding the control of seed pigmentation of an ancient

European pointed maize (*Zea mays* L.) rich in phlobaphenes: the “Nero Spinoso” from the Camonica valley. *Genetic Resources Crop Evolution*, 2017.

Figura 17. Montagner, L. 2020. Maíz azul [fotografía]. Consultado el 15 de febrero de 2022 de Inforural. <https://www.inforural.com.mx/estudian-propiedades-curativas-del-maiz-azul/>

Figura 18. Glen Seeds. 2022. Bloody Butcher Corn [fotografía]. Consultado el 15 de febrero del 2022 de Glen Seeds. <https://www.glenseeds.co.za/products/bloody-butcher>.

Figura 19. Secretaría de pueblos originarios y comunidades indígenas residentes. Gobierno de la Ciudad de México. 2017. Maíz rosa [fotografía]. Consultado el 15 de febrero de 2022, de Gobierno de la Ciudad de México. <https://www.sepi.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/por-iniciar-cosecha-de-maiz-criollo-en-la-ciudad-de-mexico>

Figura 20. McCutcheon, S., 2020. Maíces naranjas [fotografía]. Consultado el 15 de febrero de 2022, en CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/socios-en-la-nutricion/>

Figura 21. (s.f). Sweet corn [fotografía]. Consultado el 15 de febrero de 2022, de Nebraska Corn Board. <https://nebraskacorn.gov/issues-initiatives/your-food/field-corn-vs-food-corn/>

Figura 22. (s.f). White and specialty corn [fotografía]. Consultado el 15 de febrero de 2022, de Nebraska Corn Board. <https://nebraskacorn.gov/issues-initiatives/your-food/field-corn-vs-food-corn/>

Figura 23. Procedimiento utilizado para calcular la relación entre la concentración de un ácido fenólico y la concentración de otro tipo de compuestos bioactivos [esquema].

XIII. APÉNDICES

APÉNDICE 1. CONVERSIÓN DE CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EXPRESADO EN BASE HÚMEDA A BASE SECA.

0.258 mg AT/ g muestra bs. 36 DDP 40%H (Simla et al.,2016)

100-40% H= 60% B.S

$$0.258 \frac{\text{mg AT}}{\text{g muestra b.s}} \text{ — } 100\% \text{ BH}$$

APÉNDICE 2. PERFIL CROMATOGRÁFICO COMPLETO

Grano amarillo	mg CB/ g b. s										
Libres	SNP	CUM	CLRGN	PROCAT	CATQ	NARG	LTL				
Gong et al., 2018	0.042	0.019	0.016	0.013	0.013	0.011	0.011				
	B-ST5	CAF	FER	GAL	CAMPE	CLRG	PROCAT	STGME	CAMPA	EPICATQ	
Smorowska et al.,2021	0.442	0.272	0.230	0.190	0.123	0.073	0.037	0.036	0.018	0.009	
Conjugados	FER	QR-GAL	BENZOICO	CUM	SNP	KAEM	QR				
Gong et al., 2018	0.156	0.105	0.056	0.025	0.024	0.015	0.011				
Conjugados	FER	CUM	SNP	LUT	ZX	BCX	BCAR				
Giordano et al., 2018a	1.864	0.133	0.020	0.010	0.008	0.001	0.0004				
Conjugados	LTL	SNP	FER	PROCAT	CUM	QR	CLRG				
Trehan et al., 2020	10.260	7.720	7.080	4.010	2.290	1.360	0.650				
Conjugados	LTL	PROCAT	SNP	CUM	FER	QR	CLRG				
Trehan et al., 2020	10.780	9.210	7.820	3.130	2.350	1.100	0.660				
	FER	CUM	SNP	ZX	LUT	BCX	BCAR				
Giordano et al., 2018a	1.809	0.193	0.024	0.014	0.008	0.002	0.001				
	FER	CUM	SNP	LUT	ZX	BCX	BCAR				
Giordano et al., 2018 a	2.554	0.199	0.026	0.007	0.007	0.001	0.0005				
	PROCAT	FER	LTL	SNP	CUM	QR	CLRG				
Trehan et al., 2021	17.080	15.000	10.470	7.620	2.870	0.780	0.540				
Solubles	CUM	FER	LUT	ZX	BCAR	BCX	ACAR				
Lux et al., 2020	0.024	0.013	0.011	0.008	0.002	0.0009	0.0004				
Yang et al.,2019	GAL	KAEMP	FER	4-HDXCM	CUM	RUT					
Libres	0.0009	0.0007	0.0003	0.0001	0.0001	0.00008					

	FER	CUM	QRC	CM	GAL	KAEM
Conjugados	0.013	0.001	0.0006	0.0002	0.0002	0.00002
Rochetti et al., 2018	FER	TYR	CYA	CATQ	LTL	
Libres	0.980	0.365	0.205	0.018	0.017	
Conjugados	3.346	0.629	0.199	0.039	0.030	
NR	FER	SNP	QR			
Trehan et al., 2018	20.130	15.060	10.840			
NR	FER	QR	SNP			
Trehan et al., 2018	62.750	18.940	15.320			

Brácteas amarillo											
mg CB libres / g muestra b.s.											
Duru et al., 2020	Fenoles	Flavan-3-ol	Flavanona	PROANT	Resv	ANTOCIANIN	EPI/CATQ	Taninos	NARG	Flavonas	KAEMP
	12.340	10.740	9.189	5.404	3.361	0.028	0.019	0.016	0.003	0.003	0.002

Yang et al., 2019	FER	CUM	QRC	4-HDXCM	GAL	CM
Conjugados	0.009	0.005	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002

Raquis amarillo					
mg CB/ g muestra b.s					

Lau et al., 2019	CUM	FER	BCAR	ZX	LUT
Total	4.230	3.060	0.049	0.004	0.002
Yang et al., 2019	KAEMP	GAL	FER	4-HDXCM	CUM
Libres	0.001	0.0008	0.0004	0.0003	0.0002
Yang et al., 2019	FER	CUM	QRC	GAL	
Conjugados	0.011	0.009	0.001	0.0003	

Estigma inmaduro				
mg CB/ g muestra b.s				

Yang et al., 2019	GAL	4-HDXCM		
Libres	0.0009	0.00007		
Yang et al., 2019	FER	GAL	CUM	CM
Conjugados	0.004	0.0002	0.0001	0.00006

Estigma maduro							
mg CB/ g b.s							

Yang et al., 2019	4-HDXCM	GAL	QRC	FER	KAEMP		
Libres	0.0008	0.0007	0.0004	0.0001	0.0001		
Yang et al., 2019	FER	QR	QRC	GAL	CUM	CM	4-HDXCM
Conjugados	0.006	0.001	0.0008	0.0004	0.0004	0.0002	0.00007

Grano rojo							
mg CB/g muestra b.s							

Giordano et al., 2018a	FER	CUM	SNP	ZEA	LUT	BCX	BCAR
Conjugados	1.905	0.329	0.026		0.005	0.002	0.0008
Stefanovic et al., 2020	C3G	APIG	PN3G	C3DMG	ISOH	PHLR	LTL
	0.083	0.066	0.037	0.033	0.030	0.024	0.008
Rochetti et al., 2018	CYA	FER	TYR	LTL	CATQ	RESV	
Libres	4.40	1.15	0.82	0.24	0.13	0.05	
Rochetti et al., 2018	FER	CYA	TYR	LTL	CATQ	RESV	
Conjugados	3.18	0.66	0.14	0.06	0.05	0.02	
Simic et al., 2018	FER	CUM	C3G	PG3G			
	3.417	0.389	0.096	0.014			

Grano naranja							
mg CB/ g muestra b.s							

Hossain et al., 2021	B-STs	CAMP	STGME	ZX	BCAR	BCX	LUT
	1.379	0.246	0.143	0.007	0.006	0.005	0.003
Beta et al., 2018	FER	LUT	ZX	BCAR	BCX	CUM	
Libres	0.422	0.016	0.010	0.009	0.006	0.006	
Rochetti et al., 2018	CYA	FER	TYR	LTL	CATQ	RESV	
Libres	0.753	0.589	0.353	0.041	0.034	0.012	
Rochetti et al., 2018	FER	CYA	TYR	LTL	CATQ	RESV	
Conjugados	2.428	0.781	0.076	0.045	0.043	0.011	

Grano azul												mg CB/ g muestra b.s									
Parte 1	BSTS	CAF	FER	GAL	STGMA	CAMPE	CLRG	C3MG	STGME	C3G	PN3MG										
Smorowska et al., 2021	0.354	0.305	0.185	0.154	0.144	0.117	0.096	0.081	0.050	0.036	0.032										
Parte 2	CAMPA	STGMAD	PN3G	PG3MG	PROCAT	SNP	PG3G														
Smorowska et al., 2021	0.027	0.017	0.013	0.013	0.009	0.005	0.0001														
Parte 1	CAF	BSTS	FER	CLRG	STGMA	GAL	C3MG	CAMPE	AVN	STGME	C3G										
Smorowska et al., 2021	0.545	0.331	0.247	0.165	0.136	0.109	0.097	0.096	0.040	0.038	0.037										
Parte 2	CAMPA	STGMAD	PN3MG	PN3G	PG3MG	SNP	PROCAT	PG3G													
Smorowska et al., 2021	0.028	0.017	0.017	0.010	0.009	0.008	0.001	0.0002													
Parte 1	BSTS	CAF	GAL	CAMPE	STGMA	FER	C3MG	CLRG	STGME	C3G	PN3MG										
Smorowska et al., 2021	0.366	0.324	0.164	0.125	0.120	0.105	0.092	0.087	0.051	0.038	0.034										
Parte 2	CAMPA	PG3MG	PN3G	PROCAT	SNP	PG3G															
Smorowska et al., 2021	0.030	0.015	0.014	0.010	0.004	0.0002															
	C3MG	PG3MG	C3G	PG3G	PN3G	PN3MG	LUT														
Suriano et al., 2021	0.063	0.043	0.015	0.009	0.004	0.004	0.001														
Conjugados	FER	CUM	SNP	ZEA	LUT	BCX	BCAR														
Giordano et al., 2018a	1.764	0.110	0.031	0.001	0.0009	0.0002	0.0002														
	CUM	FER	SNP	LUT	ZEA	BCX	BCAR														
Giordano et al., 2018b	0.117	1.733	0.032	0.001	0.001	0.0002	0.0002														
	FER	CUM	C3G	PG3G																	
Simic et al., 2018	4.096	0.333	0.138	0.021																	

Grano rosa								mg CB/ g muestra b.s													
Giordano et al., 2018 a	FER	CUM	SNP	ZX	LUT	BCX	BCAR														
Conjugados	2.015	0.026	0.021	0.016	0.007	0.003	0.002														
Giordano et al., 2018b	FER	CUM	SNP	ZX	LUT	BCX	BCAR														
Conjugados	1.833	0.234	0.021	0.016	0.008	0.003	0.002														

Grano blanco						mg CB/ g b. s															
Trehan et al., 2018	FER	QR																			
NR	22.92	11.82																			
Trehan et al., 2018	FER	QR																			
NR	20.04	10.66																			
Trehan et al., 2018	FER	SNP	PROCAT	QR																	
NR	20.41	14.79	14.71	11.42																	

Grano morado													mg CB/ g muestra b.s									
Luna-Vital et al., 2019	FER	PG3G	PROCAT	KAEMP	C3G	PN3G	RUT	LTL	GAL	QR	CATQ											
Parte 1	285.4	111.8	59.9	27	26.9	24.9	15.2	13.4	8.5	7.5	7.2											
Luna-Vital et al., 2019	NARG	APIG	CLRG	CAF	VNL																	
Parte 2	6.8	6.7	5.3	4.5	1																	
Luna-Vital et al., 2020	FER	PROCAT	KAEMP	RUT	QR	GAL	CAF	CLRG	LTL	VNL												
	183.4	79.3	18.2	16.3	9.1	8.5	6.3	5.9	5.8	3.1												
Suriano et al., 2021	C3MG	C3G	PN3MG	PG3MG	PN3G	PG3G	LUT															
	0.235	0.133	0.074	0.065	0.063	0.043	0.0004															
Trehan et al., 2020	LTL	PROCAT	SNP	CUM	QR	FER	CLRG															
Conjugados	15.38	10.02	6.61	3.29	1.06	0.85	0.24															
Trehan et al., 2020	PROCAT	LTL	SNP	CUM	FER	QR	CLRG															
Conjugados	19.14	12.4	8.61	3.28	3.15	1.05	0.14															
Luna-Vital et al., 2017	C3G	PN3MG	PN3G	CAF	RUT	PG3G																
	16	15.8	6.9	6.5	2.8	1.8																
Rochetti et al., 2018	LTL	CYA	CATQ	FER																		
Libres	0.113	3.168	0.343	1.306																		
Rochetti et al., 2018	LTL	CYA	CATQ	FER																		
Conjugados	0.028	0.519	0.043	2.420																		
Ranilla et al., 2019	DCUM	DCAF	DR																			
Libres	0.035	0.016	0.003																			

XIV. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

A continuación, se describe el significado de las siglas en el apartado del perfil de compuestos de cada tabla.

%R: porcentaje de rendimiento

(E/Z) Ph: fitoeno.

4HDXCM: 4-hidroxicumarina

Aglc: ácido glucónico

AMY: apimaysina

APG: apigenina

Ara: arabinosa

ASTX: astaxantina

AT: antocianinas

ATX: anteraxantina

AVN: avenasterol

C3DMG: cianidina-3-(6-dimalonilglucósido)

C3G: cianidina-3-glucosido

C3MG: cianidina-3-(6-malonilglucósido)

CAF: ácido cafeíco

CATQ: catequina

CHOS: carbohidratos

CLRG: ácido clorogénico.

CM: cumarina.

CMPA: campestanol

CMPE: campesterol

CPT: compuestos polifenólicos

CT: carotenoides totales

CUM: ácido cumárico

CYA: cianidina

D: derivados.

D3G: delfinidina-3-glucósido

DDP: días después de la polinización

DEL: delfinidina

EC: equivalentes de catequina

ECG: equivalentes de cianidina-3-glucósido

EAG: equivalentes de ácido gálico.

EPICATQ: epicatequina.

EQ: equivalentes de quercetina

ERD: Eriodictiol.

ER: equivalentes de rutina

FER: ácido ferúlico

FT: flavonoides

FTS; fitoesteroles.

GAL: ácido gálico

Gal: galactosa
Glc: glucosa.
HDRX: ácido hidroxibenzoico
ISOH: Isorhamnetina
ISR: isoorientina.
KAEM: kaempferol
LCP: licopeno
LTL: luteolina
LUT: luteína
M3G: malvidina-3-glucósido
Man: manosa
MIRC: miricetina.
ML: malvidina
MMY: metoximaysina
MY: maysina
NEOX: neoxantina
NRG: naringenina
PEO: peonidina
PG: pelargonidina
PG3G: pelargonidina-3-glucósido
PG3MG: pelargonidina-3-(6-malonil glucósido)
PN3G: peonidina-3-glucosido
PN3MG: peonidina-3-(6 malonilglucosido)

PROCAT: ácido protocatecuico
PROT: proteína.
PT3G: petunidina-3-glucósido
QR: quercetina
QRC: quercitrina
RSV: resveratrol
RUT: rutina
SNP: ácido sinápico
SRNG: ácido siríngico
STGMA: stigmaesterol
STGMAD; stigma-7,22-dienol
STGME: stigmasterol
STSA: sitostanol
TYR: tirosol.
VLAX: violaxantina
VNL: ácido vanílico
Xyl: xilosa
ZX: zeaxantina
ACAR: alfacaroteno
ACX: alfacriptoxantina
BCAR: betacaroteno
BCX: betacriptoxantina
BSTS: betasitosterol

XV. GLOSARIO

Ácidos fenólicos en su forma insoluble: ácidos fenólicos que se encuentran unidos covalentemente a residuos de azúcar o a componentes de la pared celular. Se extraen mediante una extracción alcalina con NaOH del residuo de la extracción de fenólicos libres y esterificados (Yu *et al.*, 2019).

Ácidos fenólicos en su forma soluble: ácidos fenólicos que se encuentran libres o esterificados. Son extraíbles con agua, metanol, etanol y acetona (Yu *et al.*, 2019).

Ácidos hidroxibenzoicos: ácidos fenólicos simples cuya estructura deriva del ácido benzoico con sustituyentes de 1 a 6 carbonos (Abbas *et al.*, 2017; Acosta-Estrada *et al.*, 2019)

Ácidos hidroxicinámicos: ácidos fenólicos cuya estructura deriva del ácido cinámico con sustituyentes de 3 a 6 carbonos (Abbas *et al.*, 2017; Acosta-Estrada *et al.*, 2019)

Antesis: etapa en la cual comienza el arrojamiento de polen (CIBIOGEM], 2019).

Antocianinas aciladas: antocianinas en la que el azúcar se encuentra acilado un ácido alifático u orgánico (Garzón, 2008).

Antocianinas: glucósidos de antocianidinas que pertenecen a la familia de los flavonoides, un grupo de compuestos polifenólicos. Su estructura está basada en una molécula de antocianidina, cuya estructura básica consta de un benzopirilio (A) unido a un anillo fenólico (B), unida a un azúcar (glucosa, galactosa, xilosa, ramnosa, arabinosa, rutinosa, soforosa, sambubiosa y gentobiosa) por medio de un enlace β -glucosídico. Además, pueden encontrarse aciladas con ácidos orgánicos (Badui, 2006).

Arabinosilanos: clase de hemicelulosas, es decir, polímeros de D-xilopiranosas unidas por enlaces β -1,4. Esta cadena puede tener residuos de ácido glucurónico o 4-O-metil -ácido glucurónico unido por un enlace α -1,2; D-arabinofuranosa unida por un enlace α -1,2 o bien α -1,3; y grupos O-acetil. Las arabinofuranosas pueden estar asociados mediante un enlace éster a compuestos fenólicos como el ácido ferúlico y el ácido cumárico (Madeira *et al.*, 2017).

base húmeda(bh.): se habla de composición en base húmeda cuando en la composición se toma en cuenta el agua. Expresa el contenido de agua como un porcentaje del sólido húmedo (relación entre la masa de agua y la masa de sólido húmedo) (Rojas-González, 2012).

base seca (bs.): se habla de composición en base seca cuando en la composición de la mezcla se excluye el agua sin importar que esté presente. Expresa el contenido de agua como un porcentaje del sólido seco (relación entre la masa de agua y la masa de sólido seco) (Rojas-González, 2012).

Brácteas: vainas de las hojas que cubren la mazorca (Kato *et al.*, 2009, p.21). Comúnmente se le llama totomoxtle.

Carotenoides: poliisoprenoides de 40 carbonos. Existen dos clases de carotenoides, las xantofilas y los carotenos (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Carotenos: carotenoides cuya estructura base carece de oxígeno (Díaz-Gómez *et al.*, 2017a, citado por Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Compuestos bioactivos: sustancia que presenta actividad biológica. También se les llama fitoquímicos o nutraceuticos.

Compuestos polifenólicos: de acuerdo con su estructura, los compuestos fenólicos se pueden dividir en cinco categorías: ácidos fenólicos, flavonoides,

estilbenos, taninos y cumarinas. También se pueden clasificar según la forma en la que se presenten en las plantas como: en su forma soluble y en su forma insoluble (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés): es una técnica analítica que permite separar mezclas complejas de sustancias de procedencia diversa, con el propósito de identificarlas, cuantificarlas y purificarlas. Esta técnica es considerada una de las técnicas de purificación más versátiles y confiables (Universidad Veracruzana, 2022).

Días después de la polinización: (DDP o DAP, por sus siglas en inglés), son los días que han transcurrido desde el inicio de la polinización

Estanoles: fitoesteroles que poseen una estructura formada por tres ciclohexanos y un ciclopentano (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Esteroles: fitoesteroles que poseen una estructura formada por tres ciclohexanos y un ciclopentano. El segundo anillo tiene un doble enlace (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Estigmas: comúnmente llamados pelos del elote o sedas, son estilos largos que emergen de la punta del raquis central u olote (Kato *et al.*, 2009, p.21).

Etapa de ampolla: etapa que tiene lugar de los 2 a 18 días después de la polinización, se caracteriza por una rápida acumulación de carbohidratos en los granos. En esta etapa los granos tienen un líquido claro y el embrión es visible ((Nielsen *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto *et al.*, 2018); CIBIOGEM, 2019).

Etapa de leche: etapa que tiene lugar a los 19 a 24 días después de la polinización, durante la cual el líquido claro del grano se vuelve lechoso y es ideal para la cosecha

de mazorcas de maíz para consumo fresco (Nielsen *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto *et al.*, 2018; CIBIOGEM, 2019).

Etapa de masa blanda: etapa que tiene lugar a los 28–35 días después de la polinización en la que los granos se componen de pasta blanca y el embrión ocupa la mitad del ancho del grano (Nielsen, R *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto, L. *et al.*, 2018; CIBIOGEM, 2019).

Etapa de masa dura: etapa que tiene lugar a los 35–46 días después de la polinización en la cual la pasta blanca comienza a solidificarse y en consecuencia se hace una abolladura en la parte superior del grano (Nielsen, R *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto, L. *et al.*, 2018; CIBIOGEM, 2019).

Etapa de masa: etapa que tiene inicio a los 28 días después de la polinización, se compone de la etapa de masa blanda y la etapa de masa.

Etapa R0: etapa de antesis o floración masculina. El polen se comienza a arrojar (CIBIOGEM, 2019).

Etapa R1: etapa en la que son visibles los estigmas (CIBIOGEM, 2019).

Etapa VT: etapa en la que es completamente visible la última rama de la panícula o inflorescencia masculina (CIBIOGEM, 2019).

Fitoesteroles: compuestos oleosolubles cuya estructura base es similar a la del colesterol a excepción de un residuo adicional de metilo o etilo (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Flavonoides: compuestos polifenólicos cuya estructura básica consta de dos anillos aromáticos (anillos A y B) unidos por un oxano (anillo C). Según el grupo funcional unido al anillo C, los flavonoides se pueden clasificar en flavonoles, flavonas, flavanoles, flavanonas, antocianinas e isoflavonoides (Abbas *et al.*, 2017).

Hojas: órgano que nace en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo del maíz; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral (Kato et al., 2009, p.21).

Inflorescencia masculina: también llamada espiga o panícula es una panoja laxa y apical, que consta de un eje central y ramas laterales. Lleva a cabo la producción de polen.

La etapa reproductiva (R): etapa en la que se lleva a cabo el llenado de la mazorca compuesta por: la etapa R0 o de antesis, la etapa (R1) o emergencia de los estigmas, la etapa de ampolla (R2), etapa de leche (R3) y etapa de masa blanda (R4) y masa dura (R5).

La fase vegetativa (V): comienza con la etapa (VE), en la cual el coleóptilo emerge de la superficie del suelo, continúa con la etapa V1 con el surgimiento de la primera hoja y así sucesivamente hasta llegar a la etapa V(n) en la que surge la hoja (n). La etapa vegetativa finaliza con la etapa VT en la que la espiga surge (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados [CIBIOGEM], 2019).

Madurez de cosecha o avanzada: etapa que tiene lugar a los 75 días después de la polinización en la que la cosecha puede llevarse a cabo con el mínimo daño al grano, o al 22-25% de humedad cuando ya han pasado más de 75 días después de la polinización (Nielsen *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto, L. *et al.*, 2018; CIBIOGEM, 2019).

Madurez fisiológica (R6): etapa que tiene lugar a los 61 a 65 días posteriores a la polinización, en la que se desarrolla la capa negra en la base del grano, la línea de leche desaparece y los granos han alcanzado el peso seco máximo y un contenido

de humedad de aproximadamente el 35% (Nielsen, R *et al.*, 2001 citado por Cabrera-Soto, L. *et al.*, 2018; CIBIOGEM, 2019).

Maíces coloridos: son razas o variedades de maíz que presentan una coloración negra, morada, roja, azul, naranja o rosa en el pericarpio o la aleurona. También se les llama maíces pigmentados.

Maíz: planta de porte robusto y de hábito anual. Su tallo es simple, erecto, de una longitud que va de uno a cinco metros, con pocos macollos o ramificaciones y presenta nudos, y entrenudos, una médula esponjosa y alrededor de 30 hojas. (Kato *et al.*, 2009, p.21). El maíz es monoico, es decir, presenta estambres y pistilos en flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta (Badu-Apraku *et al.*, 2017, p.35).

Mazorcas: inflorescencias femeninas de la planta localizadas en las yemas axilares de las hojas. Consisten de un raquis central, también llamado *olote*, donde se insertan las espiguillas por pares, cubierto por brácteas; de estigmas localizados en la punta del olote; y de 400 a 1000 granos arreglados en ocho a veinticuatro hileras por mazorca (Kato *et al.*, 2009, p.21).

Olote: es el raquis central o el corazón de la mazorca. También se le llama coronta.

Policosanoles: se refiere a la mezcla de alcoholes primarios alifáticos de cadena larga tales como docosanol, hexacosanol, octacosanol, triacontanol y dotriacontanol (Leguizamón *et al.*, 2009) citado por (Acosta-Estrada *et al.*, 2019).

Xantofilas: son carotenoides cuya estructura contiene oxígeno (Díaz-Gómez *et al.*, 2017a, citado por Acosta-Estrada *et al.*, 2019).