

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“METABOLITOS SECUNDARIOS, POTENCIAL
ANTIOXIDANTE E HIPOGLUCÉMICO *in vitro* DEL MAÍZ
(*Zea mays* L.) CABANITA PROCEDENTE DE CAYLLOMA,
AREQUIPA”**

Presentada por:

ANA GABRIELA AFARAY CARAZAS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Lima - Perú

2024

METABOLITOS SECUNDARIOS, POTENCIAL ANTIOXIDANTE E HIPOGLUCÉMICO in vitro DEL MAÍZ (Zea mays L.) CABANITA PROCEDENTE DE CAYLLOMA, AREQUIPA

INFORME DE ORIGINALIDAD

ASESORA

05/12/2023

13%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.uniatlantico.edu.co Fuente de Internet	<1%
7	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**“METABOLITOS SECUNDARIOS, POTENCIAL
ANTIOXIDANTE E HIPOGLUCÉMICO *in vitro* DEL MAÍZ
(*Zea mays* L.) CABANITA PROCEDENTE DE CAYLLOMA,
AREQUIPA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

ANA GABRIELA AFARAY CARAZAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M.Sc. Francisco Salas Valerio
PRESIDENTE

Dra. Rosana Chirinos Gallardo
ASESOR

Dra. Lena Gálvez Ranilla
CO-ASESOR

Ph.D. Marianela Inga Guevara
MIEMBRO

Dr. Eduardo Morales Soriano
MIEMBRO

DEDICATORIA

*A mi hijo Alejandro,
mi madre Sonia Carazas y a mi padre Joaquín Afaray.*

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expresar mi agradecimiento a mi co-asesora, la Dra. Lena Gálvez Ranilla por sus enseñanzas, disposición, comprensión y paciencia en todo el proceso de la investigación.

A mi asesora, la Dra. Rosana Chirinos, por su disposición y enseñanzas en todo el proceso de la investigación.



Esta tesis fue financiada por El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) a través del Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA)¹ dentro del proyecto de investigación titulado: **ANÁLISIS METABOLÓMICO Y TRANSCRIPTÓMICO PARA LA IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE GENES INVOLUCRADOS EN LA BIOSÍNTESIS DE CAROTENOIDES Y POLIFENOLES CON POTENCIALES PROPIEDADES ANTIOXIDANTES E HIPOGLUCÉMICAS *IN VITRO* EN LA RAZA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CABANITA DE LA REGIÓN AREQUIPA**, en el marco de la convocatoria Proyectos de Investigación Básica E041-2018-01, con Contrato N° **114-2018- FONDECYT**.

¹ Mediante Decreto Supremo N° 051-2021-PCM se creó el Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados - PROCIENCIA que se encuentra en funciones desde el 24 de junio y que se realiza sobre la base del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y de Innovación Tecnológica – FONDECYT, al cual absorbe por fusión.



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros



BICENTENARIO
PERÚ 2021

Las muestras de maíz Cabanita utilizadas en la presente tesis y cuya información se muestran en las Tablas 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16 (páginas 32, 49, 50, 57, 59, 66, 67, 74, 77, 81, 84 y 88, respectivamente) y Figuras (1, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25) (páginas 5, 46, 47, 52, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 71, 72, 73, 78, 79, 80 y 93) son de origen peruano y se han accedido dentro del marco del **“Contrato de acceso a recursos genéticos N° 002-2021-MIDAGRI-INIA/DGIA”**. Resolución Directoral N°0006-2021-INIA-DGIA.

Se adjunta como Anexo 1 el **“Certificado de Cumplimiento Reconocido Internacionalmente (CCRI) ABSCH-IRCC-PE-256874-1”** emitido por el Centro de intercambio de información sobre acceso y participación en los beneficios (ABSCH por sus siglas en inglés) del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), en el marco del Protocolo de Nagoya, con relación a la solicitud de acceso a recursos genéticos de la especie cultivada de Maíz “Cabanita” referente al Contrato de acceso a recursos genéticos N° 002-2021-MIDAGRI-INIA/DGIA; en el marco del proyecto: “Análisis metabolómico y transcriptómico para la identificación preliminar de genes involucrados en la biosíntesis de carotenoides y polifenoles con potenciales propiedades antioxidantes e hipoglucémicas *in vitro* en la raza de maíz Cabanita”, sin fines comerciales.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.)	4
2.1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y PARTES DE LA PLANTA DE MAÍZ.....	4
2.1.2. ORIGEN Y DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ.....	5
2.1.3. RAZA CABANITA.....	7
2.2. COMPUESTOS FENÓLICOS.....	8
2.2.1. CLASIFICACIÓN, ESTRUCTURAS QUÍMICAS.....	9
2.2.2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS ASOCIADAS A LA SALUD	11
2.3. COMPUESTOS CAROTENOIDES.....	19
2.3.1. CLASIFICACIÓN Y ESTRUCTURA QUÍMICA	21
2.3.2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS	21
2.4. COMPUESTOS FENÓLICOS EN MAÍZ	22
2.5. COMPUESTOS CAROTENOIDES EN MAÍZ	25
2.6. POTENCIAL ANTIOXIDANTE E HIPOGLUCÉMICO DEL MAÍZ	27
2.6.1. POTENCIAL ANTIOXIDANTE.....	27
2.6.2. POTENCIAL HIPOGLUCÉMICO	28
2.7. EFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ EN LA VARIACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDES EN EL MAÍZ.....	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	31
3.2. MATERIAL DE ESTUDIO.....	31

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	32
3.3.1. MATERIALES PARA ANÁLISIS	32
3.3.2. MATERIALES E INSUMOS PARA EL CULTIVO DEL MAÍZ	33
3.3.3. EQUIPOS	33
3.3.4. REACTIVOS.....	34
3.3.5. ESTÁNDARES	35
3.3.6. ENZIMAS	35
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS	36
3.4.1. ANÁLISIS DE HUMEDAD	36
3.4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MAZORCA Y GRANOS.....	36
3.4.3. EXTRACCIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL GRANO DE MAÍZ: COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDES.....	37
3.4.4. ANÁLISIS DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES	38
3.4.5. ANÁLISIS DEL PERFIL Y CONTENIDO DE POLIFENOLES POR UHPLC-DAD.....	39
3.4.6. ANÁLISIS DEL PERFIL Y CONTENIDO DE CAROTENOIDES POR UHPLC-DAD	40
3.4.7. EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	41
3.4.8. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA POR EL MÉTODO DE INHIBICIÓN DEL RADICAL 2,2-DIFENIL-2-PICRILHIDRAZILLO (DPPH').....	41
3.4.9. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA POR EL MÉTODO DE INHIBICIÓN DEL RADICAL 2,2'-S-AZINO-BIS (3-ETILBENZTIAZOLINA-6-SULFÓNICO) (ABTS ^{•+}).....	42
3.4.10. ACTIVIDAD DE INHIBICIÓN DE LA ENZIMA α -AMILASA EN LAS FRACCIONES HIDROFÍLICAS Y LIPOFÍLICAS (EFECTO HIPOGLUCEMIANTE <i>in vitro</i>)	42
3.4.11. ACTIVIDAD DE INHIBICIÓN DE LA ENZIMA α -GLUCOSIDASA EN LAS FRACCIONES HIDROFÍLICAS Y LIPOFÍLICAS.....	44
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	45
3.5.1. CULTIVO DE MAÍZ CABANITA	45

3.5.2.	MONITOREO DE LA PLANTA DURANTE EL DESARROLLO	48
3.5.3.	MUESTREO Y ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	50
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL	51
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	51
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1.	CAMBIOS FÍSICOS DEL MAÍZ CABANITA EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ	53
4.2.	CONTENIDOS Y PERFILES DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE TRES TIPOS DE MAÍZ CABANITA EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ.	58
4.3.	CONTENIDOS Y PERFILES DE CAROTENOIDES DE TIPOS DE MAÍZ CABANITA EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ	76
4.4.	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA <i>in vitro</i> EVALUADA POR LOS MÉTODOS DE INHIBICIÓN DE LOS RADICALES DPPH Y ABTS	84
4.5.	ACTIVIDAD DE INHIBICIÓN DE LAS ENZIMAS α-AMILASA Y α-GLUCOSIDASA	87
4.6.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).....	92
V.	CONCLUSIONES	94
VI.	RECOMENDACIONES	96
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
VIII.	ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Compuestos fenólicos reportados en granos de maíz.....	24
Tabla 2: Compuestos carotenoides reportados en granos de maíz.....	26
Tabla 3: Características de colecta de las semillas de 3 tipos de maíz Cabanita para su siembra	32
Tabla 4: Gradiente de solventes de la corrida cromatográfica para el análisis de compuestos fenólicos por UHPLC-DAD	39
Tabla 5: Gradiente de solventes para la corrida cromatográfica de usada en el análisis de carotenoides por UHPLC-DAD	40
Tabla 6: Datos climáticos mensuales durante el desarrollo del cultivo de maíz (desde el 2020 hasta 2021).....	49
Tabla 7: Humedad y días después de la polinización de granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez	50
Tabla 8: Características físicas de granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez.....	57
Tabla 9: Perfiles y contenidos fenólicos por UHPLC (mg/100 g bs) en granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez	59
Tabla 10: Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los compuestos detectados en las fracciones fenólicas libres identificados a 280 nm en tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) y en tres estados de madurez (leche, masa y fisiológica).....	66
Tabla 11: Tiempos de retención, compuestos identificados y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los compuestos detectados a 320 nm en las fracciones fenólicas libres en tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) y a tres estados de madurez (leche, masa y fisiológica).....	67

Tabla 12: Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los compuestos detectados en las fracciones fenólicas ligadas identificados a 320 nm en tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) y en tres estados de madurez (leche, masa y fisiológica).....	74
Tabla 13: Perfiles y contenidos de carotenoides ($\mu\text{g/g}$ bs) determinados por UHPLC en granos de maíz cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez.....	77
Tabla 14: Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los carotenoides identificados a 450 nm en tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) y en tres estados de madurez (leche, masa y fisiológica)..	81
Tabla 15: Capacidad antioxidante <i>in vitro</i> ($\mu\text{mol et}/100$ g bs) de granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez.	84
Tabla 16: Actividad de inhibición <i>in vitro</i> de la α -amilasa y la α -glucosidasa en granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes de la planta de maíz Cabanita en estado maduro	5
Figura 2: Ruta metabólica de los compuestos fenólicos en maíz.....	9
Figura 3: Estructuras químicas básicas de compuestos fenólicos	10
Figura 4: Mecanismos de inhibición de radicales libres	13
Figura 5: Principios para el ensayo de actividad y detección de inhibidores de alfa-glucosidasa.	18
Figura 6: Biosíntesis de compuestos carotenoides en maíz	20
Figura 7: A. Estructura básica de los carotenoides. b. Estructuras convencionales de carotenos y xantófilas	21
Figura 8: Diseño del cultivo de maíz Cabanita de tres pigmentaciones (blanco, rojo y anaranjado)	46
Figura 9: Diseño de la siembra del maíz Cabanita por maceta, la localización de los tubos de PVC para la fertilización y acondicionamiento de la maceta	47
Figura 10: Esquema experimental para el desarrollo de la investigación	52
Figura 11: Desarrollo del maíz Cabanita blanco a tres estados de madurez (S1, S2 y S3, de izquierda a derecha, respectivamente).....	54
Figura 12: Desarrollo del maíz Cabanita rojo a tres estados de madurez (S1, S2 y S3, de izquierda a derecha, respectivamente).....	55
Figura 13: Desarrollo del maíz Cabanita anaranjado a tres estados de madurez (S1, S2 y S3, de izquierda a derecha, respectivamente).	56
Figura 14: Perfil cromatográfico a 280 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita blanco, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 10).....	60

Figura 15: Perfil cromatográfico a 280 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita rojo, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 10).....	61
Figura 16: Perfil cromatográfico a 280 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita anaranjado, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 10).....	62
Figura 17: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita blanco, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 11).....	63
Figura 18: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita rojo, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 11).....	64
Figura 19: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita anaranjado, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 11).....	65
Figura 20: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos ligados en maíz Cabanita blanco, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 12).	71
Figura 21: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos ligados en maíz Cabanita rojo, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 12).	72
Figura 22: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos ligados en maíz Cabanita anaranjado, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 12).	73
Figura 23: Perfil cromatográfico a 450 nm de compuestos carotenoides en maíz Cabanita blanco, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 14).....	78

Figura 24: Perfil cromatográfico a 450 nm de compuestos carotenoides en maíz Cabanita rojo, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la tabla 14)..... **79**

Figura 25: Perfil cromatográfico a 450 nm de compuestos carotenoides en maíz Cabanita anaranjado, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (la identidad de cada pico se muestra en la Tabla 14)..... **80**

Figura 26: Gráficos de puntuación PC1 vs. PC2 (A) y gráficos de cargas de correlación (B) para los dos primeros factores considerando todos los datos del análisis de componentes principales..... **93**

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Certificado de Cumplimiento Reconocido Internacionalmente (CCRI) ABSCH-IRCC-PE-256874-1	126
Anexo 2: Características fisicoquímicas del suelo de cultivo del maíz Cabanita.....	131
Anexo 3: Desarrollo mensual del cultivo de maíz Cabanita de tres diferentes pigmentaciones (blanco, rojo y anaranjado).....	132
Anexo 4: Polinización manual del maíz Cabanita	133
Anexo 5: Análisis estadístico	134

RESUMEN

El maíz Cabanita es originario de la región Arequipa y constituye un importante recurso alimentario y económico para muchas comunidades andinas de la región. El presente estudio tuvo por objetivo evaluar tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) en relación a sus metabolitos secundarios (polifenoles libres y ligados, y carotenoides), la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica *in vitro* (métodos inhibición de ABTS y DPPH), y la actividad de inhibición de las enzimas α -glucosidasa y α -amilasa de relevancia para el control de la hiperglicemia a tres estados de madurez del grano (S1-leche, S2-masa, y S3-madurez fisiológica). La composición en metabolitos secundarios (polifenoles y carotenoides) fue variable según el tipo de maíz, y todas las muestras presentaron potencial antioxidante e hipoglucémico *in vitro*. El contenido de fenólicos totales (UHPLC) disminuyó con el estado de madurez (excepto las antocianinas que aumentaron de S1 hasta S3). El maíz anaranjado se destacó por presentar un mayor contenido de carotenoides totales del tipo xantófilas (luteína y zeaxantina) (3,19-5,87 $\mu\text{g/g}$ base seca), los cuales disminuyeron en el estado S3. La capacidad antioxidante y el potencial hipoglucémico *in vitro* fue mayor en la fracción hidrofílica y se correlacionaron significativamente con los compuestos fenólicos de la fracción libre (AHB). Estas propiedades disminuyeron a mayor estado de madurez del grano. El maíz blanco presentó una mayor inhibición de la α -glucosidasa y α -amilasa en S1 (40 por ciento a 10 mg y 55 por ciento a 125 mg de dosis de muestra, respectivamente). Estos resultados sugieren que el consumo de maíz Cabanita blanco y anaranjado sería más apropiado en los estados S1 y S2 por sus mayores contenidos de compuestos fenólicos, carotenoides y propiedades bioactivas *in vitro*. En el caso del maíz rojo, su consumo sería más adecuado en S3 por sus mayores contenidos de fenólicos totales y antocianinas.

Palabras clave: metabolitos secundarios, polifenoles, carotenoides, capacidad antioxidante, α -glucosidasa, α -amilasa, *Zea mays* L., Cabanita.

ABSTRACT

Cabanita maize is native from the region of Arequipa (Peru) and represents an important economical and food resource for Andean communities from this region. The objective of current research was to study the secondary metabolite profiles (free and bound phenolic compounds and carotenoids), the *in vitro* hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (ABTS and DPPH methods), and the inhibition of α -amylase and α -glucosidase enzymes relevant for hyperglycemia modulation from three types of Cabanita maize (white, red, and orange) at three maturity stages (S1-milk, S2-dough, S3-mature). A variable secondary metabolite composition was observed among all maize types, and all samples had *in vitro* antioxidant and anti-hyperglycemic properties. The total phenolic content (UHPLC) decreased with kernel development (with exception of anthocyanins which increased from S1 to S3). Orange maize was remarkable due to its highest total carotenoid contents of the xanthophyll type (lutein and zeaxanthin) (3.19-5.87 $\mu\text{g/g}$ dried weight, DW) which decreased at S3. The *in vitro* antioxidant and hypoglycemic potential were high in the hydrophilic fraction and was highly correlated with the free phenolic fraction (HBA). Both properties decreased with kernel maturity. The white maize showed the highest α -glucosidase and α -amylase inhibition at S1 (40 por ciento at 10 mg, and 55 por ciento at 125 mg of sample dose, respectively). These results suggest that the intake of white and orange maize would be more adequate at S1, and S2 due to their higher phenolic and carotenoid contents, and *in vitro* bioactivity. The consumption of red maize would be better at S3 for its higher total phenolic and anthocyanin contents.

Keywords: secondary metabolites, polyphenols, carotenoids, antioxidant capacity, α -glucosidase, α -amylase, *Zea mays* L., Cabanita.

I. INTRODUCCIÓN

El estrés oxidativo es un desequilibrio producido por el aumento de radicales libres en el organismo humano, y es considerado un importante factor causal de enfermedades crónicas (Srivastava y Kumar 2015; Tavares y Seca 2019; Qi y Dong 2021). El Perú presenta un incremento en la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), donde la diabetes mellitus es una enfermedad que genera impactos negativos en términos de morbilidad, mortalidad y discapacidad. En el año 2021 se reportó un aumento en su incidencia con un 4,9 por ciento de personas diagnosticadas de 15 años a más (INEI 2021), reportándose que el 96,7 por ciento de casos registrados corresponden a diabetes mellitus de tipo 2 (incapacidad del organismo para responder o utilizar de forma efectiva a la insulina) (MINSA 2021). Esta tendencia se relaciona principalmente con los cambios en los hábitos dietarios de la población que incluyen el aumento en el consumo de alimentos procesados y ultraprocesados (Matos *et al.* 2021; Almarshad *et al.* 2022; Sinha y Haque 2022).

El Perú posee una gran diversidad biológica de diferentes recursos alimentarios de origen vegetal los cuales podrían ser fuentes potenciales de nutrientes y compuestos bioactivos relevantes para la prevención de las ECNT a través de la dieta. El maíz (*Zea mays* L.) es un alimento que ha sido cultivado y consumido desde tiempos precolombinos en el Perú. El ministerio del ambiente ha realizado una segunda aproximación sobre su clasificación y ha catalogado 52 razas de maíz las cuales provienen mayoritariamente de la región de la sierra (International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT 1991; Ministerio del Ambiente, MINAM 2018; Salhuana M. 2004). El maíz Cabanita es un alimento importante en las poblaciones altoandinas de la región de Arequipa y ha sido incluido como raza en esta segunda clasificación del maíz, sin embargo, la información científica necesaria para su identificación y caracterización es muy limitada. La colección más grande de germoplasma del maíz peruano se localiza en el Programa de Investigación y Proyección Social en maíz (PIPS maíz) en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), pero no se tiene registro de las accesiones correspondientes al maíz Cabanita (conservación *ex situ*) ni se conoce la viabilidad de las muestras almacenadas y provenientes de la región Arequipa

(CIMMYT 1999; MINAM 2015; Sevilla y Chura 1999). Por otro lado, existe un peligro de erosión genética de este maíz por la introducción de otras variedades de alto rendimiento, comprometiendo la conservación *in situ* de este recurso.

Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que el consumo de granos integrales como el maíz se asocia con un menor riesgo de los componentes del síndrome metabólico y en consecuencia una menor prevalencia de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2 y sus complicaciones cardiovasculares asociadas a un cuadro de estrés oxidativo (Tsuda *et al.* 2003; Finkel *et al.* 2013; Lao *et al.* 2017; Zhang *et al.* 2019). Estas propiedades se han relacionado con la presencia de diversos compuestos bioactivos en los granos integrales además de la fibra dietética, como es el caso de los compuestos fenólicos, carotenoides, fitoesteroles, tocoferoles, entre otros (Zhang *et al.* 2019). Varios estudios realizados en germoplasma de maíz de otras procedencias han reportado la presencia en el grano de compuestos fenólicos, principalmente ácido ferúlico, ácido *p*-cumárico (Žilić *et al.* 2012), ácido cafeico (Das y Singh 2016), ácido sinápico, ácido protocatequico, ácido gálico, ácido vanílico, luteolina (Trehan *et al.* 2018, 2020), así como compuestos carotenoides, destacando el β -caroteno, luteína, β -criptoxantina, zeaxantina, entre otros (Hwang *et al.* 2016; Liu *et al.* 2018; Song *et al.* 2016; Xiang *et al.* 2020). Estos compuestos se han relacionado con efectos positivos sobre la salud que incluyen la actividad antioxidante relevante para el control del estrés oxidativo (Das y Singh 2016; Liu *et al.* 2018; Hu *et al.* 2020) y potencial hipoglucémico (González-Muñoz *et al.* 2013; Ranilla *et al.* 2019; Zhang *et al.* 2019a). Asimismo, diversos factores como la variedad, el estado de madurez, y factores agroclimáticos tendrían una influencia importante en las concentraciones y perfiles de los compuestos bioactivos del maíz (Feng *et al.* 2015; Song *et al.* 2016a, 2016b; Giordano *et al.* 2017; Saikaew *et al.* 2018; Sheng *et al.* 2019; Hong *et al.* 2020; Špoljarić *et al.* 2020; Hu *et al.* 2020). A pesar del potencial de este cereal, la diversidad del maíz peruano ha sido muy poco estudiada en este aspecto.

El objetivo general del presente trabajo de investigación fue el de evaluar la variación del perfil de metabolitos secundarios (polifenoles y carotenoides), durante el desarrollo del grano de maíz (*Zea mays* L.) Cabanita procedente de la provincia de Caylloma (región de Arequipa) y su posible relación con propiedades antioxidantes e hipoglucémicas *in vitro*. Los objetivos específicos fueron: (1) Evaluar la variabilidad de los compuestos fenólicos totales y perfil de fenólicos por Ultra Cromatografía Líquida de Alta Performance con

detector de diodos (UHPLC-DAD) en las fracciones fenólicas libres y ligadas durante tres estados de desarrollo del grano de tres tipos de maíz Cabanita seleccionados; (2) Evaluar la variabilidad del contenido y perfil de carotenoides por UHPLC-DAD durante tres estados de desarrollo del grano de tres tipos de maíz Cabanita seleccionados; (3) Determinar la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica por los métodos de inhibición de los radicales libres DPPH y ABTS de tres tipos de maíz Cabanita a tres estados de desarrollo del grano; (4) Evaluar el potencial hipoglucémico *in vitro* a través de la capacidad de inhibición de las enzimas digestivas α -amilasa y α -glucosidasa de las fracciones hidrofílicas y lipofílicas del grano de tres tipos de maíz Cabanita a tres estados de desarrollo del grano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MAÍZ (*Zea mays* L.)

El cultivo de maíz es importante en todo el mundo, recientemente se ha catalogado en el primer lugar entre todos los cultivos de cereales (Shafiq *et al.* 2019). La producción mundial de maíz para el año 2022-2023 se estima en 1 185,90 toneladas métricas, donde el Perú concentra una producción de 1 535 toneladas métricas (World Agricultural Production 2022), compuesta principalmente en maíz amarillo duro (52,32 por ciento), maíz choclo (26,37 por ciento), maíz amiláceo (19,93 por ciento), y maíz morado (1,38 por ciento) (MIDAGRI 2021). En el caso de la región Arequipa, la producción se distribuye en maíz chala (94,89 por ciento) y maíz choclo (3,87 por ciento), y en menor cantidad el maíz amiláceo (0,85 por ciento), maíz amarillo duro (0,21 por ciento) y maíz morado (0,18 por ciento) (Gerencia Regional de Agricultura 2021).

2.1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y PARTES DE LA PLANTA DE MAÍZ

La clasificación taxonómica se presenta a continuación:

Reino: Plantae

División: Angiospermae

Clase: Monocotyledoneae

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogoneae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* L.

Fuente: Global Biodiversity Information Facility (GBIF 2022)

La reproducción del maíz es normalmente monoica (es una forma de hermafroditismo funcional), presenta como flor unisexual, estaminada o masculina a la panoja, y la flor unisexual, pistilada o femenina estigma (Figura 1) (revisado por Charlesworth 2019). Se desarrolla a partir de una autopolinización, y la polinización cruzada, debido a la separación de las partes masculinas y femeninas. Se inicia posterior a la diferenciación y el desarrollo de las flores, donde el polen desprendido por las anteras masculinas cae sobre los estigmas, fusionándose con el ovulo en el saco embrionario, y posteriormente formando el embrión con una cariósida nueva que se desarrolla y madura para una nueva generación (García-Lara *et al.* 2019; García-Lara y Serna-Saldivar 2019; Nleya *et al.* 2019).



Figura 1: Partes de la planta de maíz Cabanita en estado maduro

2.1.2. ORIGEN Y DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ

El maíz fue domesticado a partir del teosintle (parientes silvestres del maíz del género y especie *Zea*), desde su ancestro *Zea mays parviglumis* y su posterior introgresión a *Zea mays mexicana* (Van Heerwaarden *et al.* 2011; Hufford *et al.* 2012), antes de su dispersión en la forma actual hace aproximadamente unos 8700 años en México (Matsuoka *et al.* 2002;

Piperno *et al.* 2009). El teosintle asocia a todas las especies y subespecies del género *Zea* (Torres *et al.* 2015). Doebley (2003), citado por Kato *et al.* (2009) diferenció mediante una serie de ordenamientos al teocintle en 2 secciones, sección *Zea* (incluyen *Zea mays* L. y subespecie mexicana) y sección Luxuriantes (*Zea diploperennis*, *Zea perennis*, *Zea luxurians* y *Zea nicaraguensis*). En posteriores estudios según evidencia arqueológica y métodos moleculares se definió al teosintle *Zea mays parviglumis* como el antepasado más directo del maíz (Bennetzen *et al.* 2001; Matsuoka *et al.* 2002; Piperno *et al.* 2009; Stitzer y Ross-Ibarra 2018).

Se considera que el maíz (*Zea mays* L.) se originó en América, en las tierras bajas de América del Sur, en México o en Guatemala, lo cual aún sigue en proceso de investigación (Wallace y Brown 1956; Corinto 2014; Wrigley y Nirmal 2017). Fue domesticado en dos áreas del continente americano: Mesoamérica (México y Guatemala) y los Andes (Perú y Bolivia) (Rimache 2012, citado por Salvador-Reyes y Clerici 2020), produciendo dos colecciones genéticas diferentes de maíz: genes mesoamericanos y andinos.

El cultivo de maíz en el Perú se presenta hace aproximadamente 7 000 años en el valle de Chicama (Grobman *et al.* 2012). Su diversidad genética se divide en razas, que se definen como un “grupo de individuos relacionados con suficientes características en común como para permitir su reconocimiento como grupo” (Anderson y Cluter 1942). No obstante, no presentan características suficientemente diferentes para ser clasificadas como una subespecie diferente (Sevilla 2006). Más adelante (Sevilla y Chura 1998) definen las razas como ecotipos en el sentido que difieren en su adaptación y se diferencian por sus caracteres morfológicos y fenológicos. Mientras que, en términos genéticos, se denomina raza a un grupo de individuos con un número significativamente grande de genes en común (Sevilla y Holle 2004). En el Perú, la colección y clasificación del maíz fue iniciada en 1952, la clasificación racial de las muestras colectadas fue evaluada en términos de características morfológicas, citológicas y fisiológicas. De esta manera, la primera evaluación de la diversidad genética del maíz se clasificó en 49 razas (Grobman *et al.* 1961); con la existencia de 3931 accesiones (CIMMYT 1999), preservadas *ex situ* por el Programa de Investigación y Proyección Social en Maíz (PIPS Maíz) situado en la UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú). Actualmente el MINAM (2018) mediante nuevas colectas locales en todo el país desde el 2013, ha analizado la diversidad genética en una segunda evaluación y clasificación, con la eliminación de razas e inclusión de nuevas, ampliando la

gran diversidad genética existente de accesiones peruanas en 52 razas. La diversidad genética del maíz peruano se ha generado a consecuencia de la mutación, hibridación, selección planificada y variedad de pisos ecológicos (Bonadía 2013), con el crecimiento de cultivos a altitudes variadas desde 10 m.s.n.m (maíz de la raza Chaparreño) hasta aproximadamente 4 000 m.s.n.m. (maíz de la raza Confite puneño) (Salhuana 2004). Kuleshov en 1929 citado por Salhuana (2004), luego del estudio de colección mundial del maíz, expuso que el grupo más subdividido y rico en rasgos morfológicos y fenotípicos era el amiláceo (endospermo blando o harinoso), siendo el Perú quien ostenta la mayor diversidad. Por estas razones, actualmente se considera al Perú como centro primario de domesticación del maíz, al igual que México (MINAM 2014).

2.1.3. RAZA CABANITA

El maíz de la raza Cabanita es un tipo de maíz amiláceo cuyo cultivo se realiza desde tiempos prehispánicos en la región sur del Perú, específicamente en el distrito de Cabanaconde perteneciente a la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, a una altura aproximada de 3296 m.s.n.m (Valderrama 2015 citado por Camino y Vasquez 2019). Su nombre deriva posiblemente de “Cabanaconde”, donde su cultivo es rotatorio aprovechando la variedad de condiciones ecológicas y clima, al estar ubicado entre las zonas alta, intermedia y baja de la provincia de Caylloma. Sin embargo, se ha reportado que el cultivo de esta raza también se extendería hasta las regiones de Moquegua y Tacna (MINAM 2018; Fuentes-Cardenas *et al.* 2022) representa un aporte a las tradiciones agrícolas y culturales, y contribuye a la alimentación de las comunidades indígenas. Su uso se destina a diversas preparaciones alimenticias desde sopas a harinas, y al ser el cultivo más importante de la zona ocupando la mayor extensión de espacios agrícolas, constituye la mayor fuente económica de ingresos de las poblaciones altoandinas de Arequipa. Sin embargo, no se cuenta con datos estadísticos específicos de la cantidad cultivada.

Según datos locales publicados por la Gerencia Regional de Agricultura (2021), la producción del maíz amiláceo (dentro del cual se clasificaría al maíz Cabanita) ha presentado una tendencia a disminuir en los últimos años (Fuentes-Cárdenas *et al.* 2022), lo que indicaría indirectamente que también el cultivo de este tipo de maíz estaría disminuyendo. Del mismo modo, la inserción de híbridos mejorados de preferencia comercial por el

agricultor local implicaría un peligro de erosión o pérdida de material que afectaría su heterogeneidad genética.

2.2. COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en las plantas. Actualmente se han reportado más de 10000 estructuras de compuestos fenólicos (Ofosu *et al.* 2020). Presentan funciones fisiológicas importantes en los vegetales, tales como la protección contra los rayos ultravioleta (UV), depredadores y patógenos (Alara *et al.* 2021; Balasundram *et al.* 2006; Shah *et al.* 2018). La estructura de los compuestos fenólicos comprende un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo ($-OH$), la mayoría se encuentra naturalmente conjugado con mono y polisacáridos u otras estructuras orgánicas, pueden unirse también a ésteres y ésteres metílicos (Del Rio *et al.* 2013; Vuolo *et al.* 2019).

Las vías biosintéticas de los polifenoles comprenden la vía metabólica del ácido shikímico y del fenilpropanoide, como se muestra en la Figura 2, obteniéndose una mayor cantidad de compuestos polifenoles derivados de la vía fenilpropanoide como los compuestos hidroxicinámicos. En esta vía, los precursores principales son la fenilalanina (sustrato principal) y la tirosina (su uso es reducido en algunas plantas) y los principales intermediarios formados son el ácido cinámico, el cinamoil-CoA y el p-cumaroil-CoA. Las enzimas clave involucradas en esta ruta biosintética son la fenilalanina amoniaco liasa, la ácido cinámico 4-hidroxilasa, 4-cumarato:coenzima A (CoA) ligasa, y la tirosina amoniaco liasa (KEGG 2022).

En el caso de los flavonoides, se derivan en la etapa final de la vía de los fenilpropanoides, siendo las enzimas involucradas en su biosíntesis la chalcona sintasa, la chalconaisomerasa, la flavona sintasa, el flavonoide 3'5'-hidroxilasa, la flavanona 3-hidroxilasa y la flavonol sintasa. Las antocianinas son sintetizadas por las enzimas dihidroflavonol 4-reductasa, la flavanona 4-reductasa y la antocianidina sintasa (KEGG 2022).

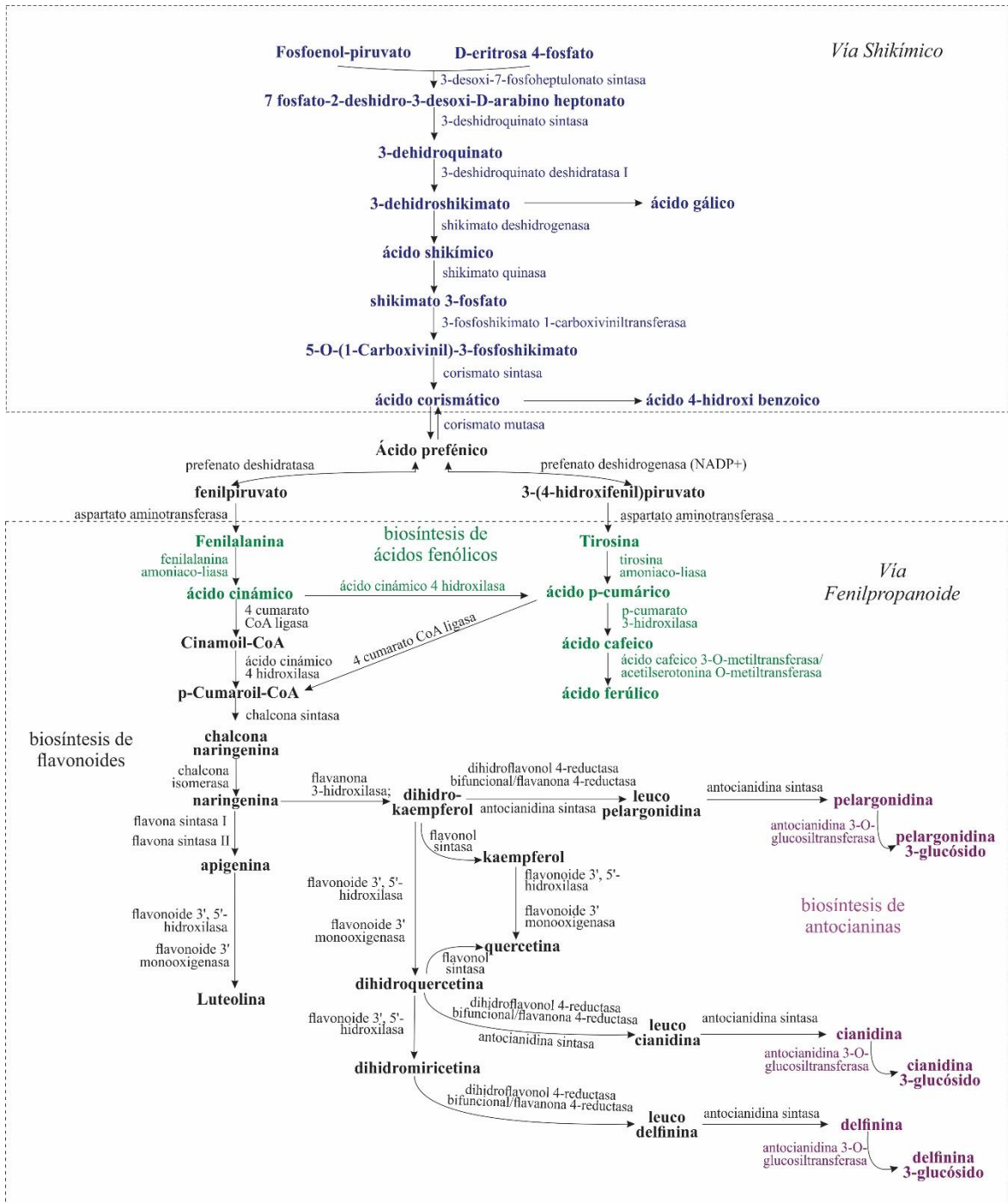


Figura 2: Ruta metabólica de los compuestos fenólicos en maíz

Fuente: KEGG (2022)

2.2.1. CLASIFICACIÓN, ESTRUCTURAS QUÍMICAS

Estructuralmente se clasifican en seis clases principales (Figura 3): ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos (Alara *et al.* 2021), cumarinas (Rosa *et al.* 2016; Anantharaju

et al. 2016) y lignanos (Aneklaphakij *et al.* 2021a), dentro de los cuales los más significativos en la dieta humana son los ácidos fenólicos, flavonoides y taninos (Heleno *et al.* 2015).

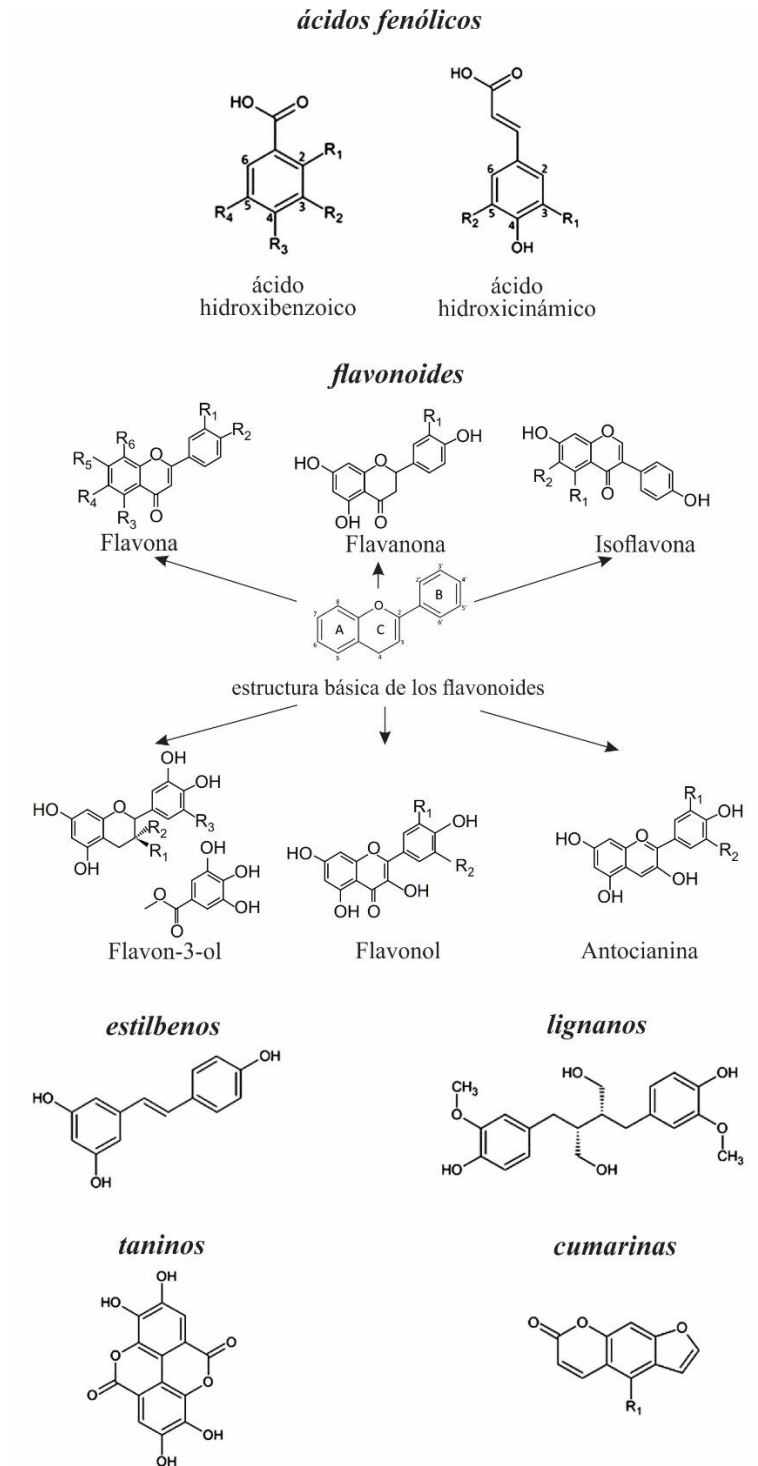


Figura 3: Estructuras químicas básicas de compuestos fenólicos

Fuente: Modificado de Aneklaphakij *et al.* (2021b)

Los ácidos fenólicos estructuralmente se clasifican en derivados del ácido benzoico y del ácido cinámico (Khoddami *et al.* 2013; Bento-Silva *et al.* 2019). Como se visualiza en la Figura 3, los ácidos fenólicos presentan en su estructura al menos un anillo aromático donde al menos un hidrógeno está sustituido por un grupo hidroxilo (Heleno *et al.* 2015; Vuolo *et al.* 2019). Los flavonoides presentan una estructura básica C6-C3-C6 (Figura 3), conformado con dos anillos aromáticos A y B (de naturaleza fenólica) enlazados a un anillo C (heterociclo oxigenado).

Los ácidos fenólicos se pueden dividir según la posición del enlace del anillo B al anillo C en flavonoides comunes, isoflavonoides y neoflavonoides (Pandey *et al.* 2016; Chouhan *et al.* 2017). Según las variaciones del anillo C, existen ocho subclases: flavanoles, flavonas, flavonoles, flavanonas, flavanonoles, isoflavonas, antocianinas y proantocianinas (Tohge *et al.* 2013; Saigo *et al.* 2020).

La diversidad de compuestos fenólicos está relacionada también a su asociación con la matriz alimentaria (Zhang *et al.* 2020). Según su estado de enlace, se pueden clasificar en compuestos fenólicos libres, los cuales se ubican en la vacuola de la célula vegetal y en su mayoría están conjugados covalentemente o esterificados a azúcares y otros compuestos de bajo peso molecular, confiriéndoles solubilidad en agua y solventes orgánicos, y los compuestos fenólicos ligados, unidos principalmente a la fibra dietética no digeribles y fermentables (proteínas estructurales, celulosa y pectina), mediante enlaces de hidrógeno, covalentes químicos e interacciones hidrofóbicas de la pared celular (Shahidi y Yeo 2016; Vuolo *et al.* 2019; Zhang *et al.* 2020).

2.2.2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS ASOCIADAS A LA SALUD

Los compuestos fenólicos son abundantes en alimentos vegetales, como en granos (Ramirez *et al.* 2018), frutas (Hu *et al.* 2022), legumbres (Alkaltham *et al.* 2022; Nicolás-García *et al.* 2022), y cereales (Tian *et al.* 2022). Varios estudios epidemiológicos han demostrado una relación inversa entre el consumo de alimentos ricos en compuestos fenólicos como los granos enteros y una menor incidencia de ECNT y sus complicaciones (Koch 2019; Lapuente *et al.* 2019; Noce *et al.* 2021).

Se ha reportado que los compuestos fenólicos presentan diversas propiedades biológicas a través de su ingesta en alimentos, como la capacidad de reparar tejidos hepáticos dañados (Xie *et al.* 2020), inhibición de la polarización y la inflamación de los macrófagos en el tejido adiposo, y la liberación de factores proinflamatorios en ratas (Forney *et al.* 2018). Del mismo modo, estudios realizados en humanos asocian la ingesta de alimentos ricos en compuestos fenólicos con el aumento de los niveles de bioactivos (flavonoides) en el plasma, mejora de la actividad antioxidante total sérica (efecto antirradical) (Alipour *et al.* 2016; Vitalini *et al.* 2020), disminución de la inducción de la apoptosis de los cardiomiocitos (enfermedad cardiovascular inducida por el estrés oxidativo), acción anticancerígena (Steven *et al.* 2019), y prevención del riesgo de diabetes tipo 2 (Giacco *et al.* 2020).

A continuación, se presentará en mayor detalle información sobre las propiedades funcionales de los compuestos fenólicos en relación con su capacidad antioxidante y potencial hipoglucémico.

A. Capacidad antioxidante de los polifenoles

Los humanos estamos constantemente sujetos a daños por reacciones que involucran al oxígeno (o derivados parcialmente reducidos) y la alta acumulación de radicales libres, que se almacenan en el cuerpo humano, siendo mayor su presencia a edades avanzadas, acelerando el envejecimiento, induciendo la formación de tumores, cáncer y otras enfermedades asociadas con el daño biológico (Qi-zhuang *et al.* 2021; Gebicki *et al.* 2021). El cuerpo presenta en su defensa mecanismos antioxidantes como enzimas especializadas (superóxido dismutasa, catalasa y otras peroxidases) y pequeñas moléculas (vitaminas A, C y E, tioles y quelantes de iones metálicos), que en condiciones normales (homeostasis) hacen frente a los desafíos oxidativos venideros. Sin embargo, la vida industrial moderna asociada a una mala alimentación, estilos de vida sedentarios, entre otros factores puede conducir a la acumulación excesiva de moléculas oxidantes o un cuadro de estrés oxidativo, el cual se ha asociado a la etiología de varias ECNT (Gebicki *et al.* 2021).

Diversos estudios han reportado la acción antioxidante de los compuestos fenólicos que explicarían su asociación con el retraso o disminución de los factores de riesgo de diversas

enfermedades crónicas cuando son consumidos regularmente a través de la dieta (Bernatoniene y Kopustinskiene 2018; Jian-hong y Dong 2021; Zhang *et al.* 2022).

a.1. Mecanismos de acción

Los compuestos fenólicos presentan principalmente dos tipos de mecanismos antioxidantes:

- Mecanismos directos: eliminación de radicales libres y especies reactivas de oxígeno (ROS), y quelantes de iones metálicos (Feng *et al.* 2014; Lin *et al.* 2014; Adeoye *et al.* 2018; Hosseinzadeh *et al.* 2019).
- Mecanismos indirectos: regulación de la actividad de las enzimas antioxidantes, como glutatión oxidasa, xantina oxidasa, catalasa y superóxido dismutasa, inhibidores y ralentizadores de enzimas pro-oxidantes, tales como la lipoxigenasa, oxidasa nicotinamida adenina dinucleótido fosfato oxidasa (NADPH-oxidasa) y el óxido nítrico sintasa inducible por INOS (COX-ciclooxigenasa), regulación de la vías de señalización relacionadas con el estrés oxidativo y regulación positiva de la expresión de genes antioxidantes (Kim *et al.* 2011; Fracassetti *et al.* 2013; Zhuang *et al.* 2015; Adeoye *et al.* 2018; Hosseinzadeh *et al.* 2019; He *et al.* 2021).

a.2. Mecanismo de inhibición de radicales libres

Los compuestos fenólicos son potentes antioxidantes, se les asocia con la capacidad de inactivación de especies radicales reactivas, evitando el daño oxidativo en biomoléculas (lípidos poliinsaturados, azúcares, proteínas y ácidos nucleicos) (Heleno *et al.* 2015; Olszowy 2019). El principio de la actividad antioxidante de los compuestos polifenólicos basado en la neutralización de los radicales libres ocurre bajo dos formas según se visualiza en la Figura 4 (Vuolo *et al.* 2019).

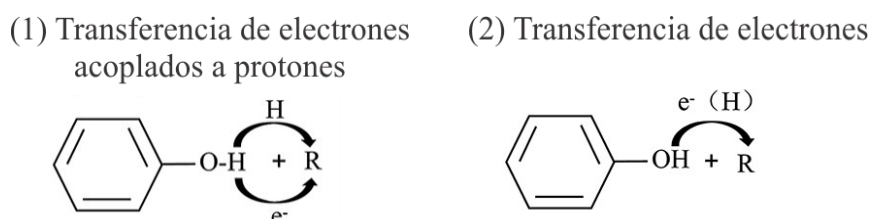
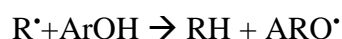


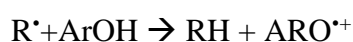
Figura 4: Mecanismos de inhibición de radicales libres

Fuente: Qi-Zuang *et al.* (2021)

El primer mecanismo se basa en una rápida donación de átomos de hidrógeno del compuesto antioxidante a la especie radical (R^{\bullet}), que se convierte en un catión radical. La magnitud mayor o menor de la acción antioxidante dependerá de la energía de disociación de los enlaces O-H, por lo tanto, la neutralización será más fácil a menor energía de disociación. La reacción del mecanismo es la siguiente (Olszowy 2019; Vuolo *et al.* 2019):



En el segundo mecanismo, el electrón se transfiere del antioxidante al radical eliminado, que se convierte en un catión radical (Olszowy 2019; Vuolo *et al.* 2019):



a.3. Métodos para evaluar la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos *in vitro*

Los métodos *in vitro* más representativos utilizados en la evaluación de la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos se desarrollan según los mecanismos mencionados (reacciones de transferencia de un electrón o transferencia de un átomo de hidrógeno). Se incluyen ensayos de reducción de cobre (CUPRAC) (Apak *et al.* 2009), el ensayo de capacidad antioxidante equivalente de Trolox (ABTS o TEAC) (Miller *et al.* 1993), el ensayo de capacidad de reducción férrica del plasma (FRAP) (Benzie y Strain 1999) y el ensayo de capacidad de captación de radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH $^{\bullet}$) (Gulcin 2020).

El ensayo de eliminación de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH $^{\bullet}$) es uno de los métodos más utilizados, se basa en la medición de la capacidad reductora de los antioxidantes frente al DPPH. La capacidad de reducción puede evaluarse mediante la disminución de su absorbancia. El DPPH es uno de los pocos radicales libres orgánico estable, presenta un color púrpura intenso, y muestra una absorbancia máxima a 517 nm. El ensayo de DPPH es simple y no requiere un tratamiento especial de la muestra, a diferencia del ensayo de ABTS, no tiene que prepararse antes del ensayo. Presenta como limitantes la interferencia de posibles compuestos (ejemplo antocianinas, compuestos carotenoides) que absorben en el mismo rango de longitud de onda (500-550 nm) (Gulcin 2020).

El ensayo por inhibición del catión radical 2-2's-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS^{•+}), consiste en la oxidación del radical ABTS. La determinación de la capacidad antioxidante se da al disminuir el color intenso reaccionando directamente con el catión del ABTS. Absorbe en un rango de longitud de onda que es máxima en medios acuosos a 414, 734 y 815 nm, y en medios etanólicos a 414, 730 y 873 nm. El radical ABTS^{•+} reacciona rápidamente con los antioxidantes, asimismo, es un método que permite evaluar en un amplio rango de pH. El ABTS es más flexible en su metodología, ya que es soluble en agua y disolventes orgánicos (Gulcin 2020).

B. Capacidad hipoglucemiante de los polifenoles

La hiperglucemia (aumento de glucosa en la sangre) es una condición de riesgo para el desarrollo de la diabetes tipo 2, y se produce por trastornos en la digestión, la presencia de la absorción alterada de carbohidratos, la gluconeogénesis mejorada, el agotamiento de las reservas de glucógeno, trastornos en la homeostasis de la glucosa en el hígado, la resistencia y deterioro de las vías de señalización de la insulina (Shahwan *et al.* 2022). Los compuestos polifenólicos dietéticos presentan propiedades importantes en la mitigación de la diabetes, debido a sus acciones hipoglucemiantes y patologías relacionadas, con efectos secundarios mínimos o nulos (Kim *et al.* 2016; Zhao *et al.* 2020; Shahwan *et al.* 2022).

b.1. Mecanismos de acción

Los compuestos polifenólicos ejercen su efecto hipoglucemiante a través de diferentes mecanismos:

- Modulación del metabolismo de carbohidratos y absorción de glucosa en el intestino: Existe evidencia que los polifenoles actúan en la inhibición de las enzimas α -amilasa y la α -glucosidasa salivales y pancreáticas, evitando el aumento del nivel de glucosa en sangre postprandial, al disminuir la velocidad de hidrólisis de los polisacáridos, evitando o disminuyendo la producción masiva de glucosa libre, y su posterior ingreso a la célula en los bordes en cepillo del intestino delgado a través del transportador de glucosa dependiente de sodio (SGLT1) (Zhao *et al.* 2020; Shahwan *et al.* 2022).

- Captación tisular de glucosa: Los compuestos fenólicos presentan función mediadora con el transportador de glucosa 4, mejorando la sensibilidad a la insulina mediante la activación de la proteína quinasa activada por el monofosfato de adenosina 5' (AMPK), permitiendo una regulación positiva del transportador de glucosa 4 GLUT4 en el músculo esquelético, y la regulación negativa de la gluconeogénesis en el hígado (Wang *et al.* 2018; Li *et al.* 2022)
- Efecto en la microbiota intestinal: Los metabolitos de los polifenoles derivados del metabolismo hepático interactúan con el tejido adiposo, el páncreas, el músculo y el hígado, y pueden ejercer efectos antidiabéticos. Presentan posibles efectos prebióticos cuando son consumidos en la dieta al aumentar la población de bifidobacterias a nivel del colon (Wang *et al.* 2021).
- Función de las células β pancreáticas: Compuestos fenólicos como la quercetina, apigenina inhibieron el daño de las células β pancreáticas a través de la supresión de la activación del factor nuclear kappaB en las células RINmF5, disminuyeron el estrés oxidativo con la preservación de la integridad de las células β pancreáticas en la diabetes inducida por estreptozotocina en ratas (Kim *et al.* 2016).
- Homeostasis de la glucosa en el hígado: Los compuestos fenólicos mejoran la capacidad de los músculos y los adipocitos para utilizar la glucosa evitando que el hígado secrete glucosa (Hanhineva *et al.* 2010; Shahwan *et al.* 2022).

b.2. Inhibición de las enzimas hidrolizantes de carbohidratos por los polifenoles

Las α -amilasas son enzimas hidrolíticas producidas por humanos, animales, plantas y bacterias. Su actividad está sujeta a la presencia de un cofactor metálico (calcio), son secretadas por las glándulas salivales de la boca y el páncreas que secreta la enzima en el intestino delgado (Kim *et al.* 2016). Su función es catalizar la hidrólisis de la macromolécula de almidón, hidrolizando los enlaces α -(1 \rightarrow 4)-glucosídicos en la molécula del almidón, generándose como molécula principal la maltodextrina y otras moléculas de menor peso molecular (maltosa, maltotriosa, maltotetraosa y glucosa) (Robyt 2005 citado por Rahimzadeh *et al.* 2014). Las α -glucosidasas son enzimas hidrolíticas de carbohidratos que se encuentran en tejidos humanos, plantas, microorganismos y animales (Kumar *et al.* 2011). Se ubica en la superficie luminal de los enterocitos y se secreta en el intestino delgado

(Wang *et al.* 2013). Tiene como función catalizar la escisión hidrolítica de disacáridos (maltosa y sacarosa) en monosacáridos (glucosa y fructosa).

Según lo mencionado, es posible controlar los niveles de glucosa postprandial en la sangre mediante la inhibición de la actividad de estas enzimas (Papoutsis *et al.* 2021). Por lo tanto, el consumo de compuestos que exhiben actividad inhibitoria de las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa constituyen una importante estrategia dietaria para la modulación de la hiperglucemia y con mínimos o nulos efectos colaterales respecto a los fármacos comúnmente utilizados (Papoutsis *et al.* 2021).

Los compuestos fenólicos han mostrado actividad inhibitoria de las enzimas digestivas intestinales principalmente a través de diversos estudios *in vitro*. El mecanismo de inhibición sobre la enzima α -amilasa, se basa en la unión reversible del polifenol con el asociado enzima-sustrato en los sitios no activos de la α -amilasa, formando un complejo terciario inhibidor-enzima-sustrato (Sun *et al.* 2020). Zeng *et al.* (2016) indican que la actividad inhibitoria de los ácidos fenólicos sobre la enzima α -glucosidasa se basa en su unión a los residuos de aminoácidos superficiales de la enzima, distorsionando su sitio activo, logrando atenuar su actividad enzimática. Los ácidos hidroxicinámicos presentarían mayor grado de inhibición en comparación con los ácidos hidroxibenzoicos, debido al número de grupos hidroxilo y metoxi presentes en el anillo aromático (Malunga *et al.* 2018). En el caso de los flavonoides, la presencia de mayores grupos hidroxilo en el esqueleto de la flavona estaría relacionada con un mayor poder inhibitorio sobre las enzimas digestivas (Di Stefano *et al.* 2018). Sin embargo, los mecanismos moleculares involucrados, y los factores asociados a esta actividad dependerán de la estructura y los perfiles de los compuestos fenólicos encontrados en los alimentos, y será necesario analizarlos caso a caso y ser validados *in vivo*.

Los polifenoles dietéticos presentes en cereales (maíz, arroz, cebada, mijo y quinua) se han asociado a la actividad de inhibición de las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa *in vitro* la cual ha mostrado una dosis dependencia (Rosén *et al.* 2011; Shukla y Srivastava 2011; Pradeep y Sreerama 2015). Se ha reportado que los principales ácidos fenólicos identificados en las fracciones solubles de los cereales son generalmente el ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido sinápico, y quercetina y en las fracciones ligadas, el ácido ferúlico y *p*-cumárico, los cuales podrían explicar esta propiedad. La actividad inhibitoria de las enzimas α -amilasa y la α -glucosidasa del mijo (IC₅₀: 18,97 a 57,26 μ g/ml, respectivamente) se relacionó con la

presencia de ácidos fenólicos, y flavonoides como naringenina, kaempferol, glucósido de luteolina, y la capacidad inhibitoria tuvo también una influencia significativa del genotipo (Pradeep y Sreerama 2018).

b.3. Métodos para evaluar la actividad hipoglucémica de los compuestos fenólicos *in vitro*

- Ensayo de inhibición de la enzima α -glucosidasa: Se basa en la hidrólisis enzimática del sustrato de origen sintético, *p*-nitrofenil- α -D-glucopiranosido (*p*-NFGP) que por acción de la α -glucosidasa (α -GLC), libera unidades de *p*-nitrofenolato y α -D-glucosa. El ion *p*-nitrofenolato presenta una coloración amarilla claro que evidencia que la reacción de hidrólisis enzimática se ha llevado a cabo (Figura 5). La disminución de la hidrólisis resulta en la pérdida de color del reactante, la cual ocurre de forma proporcional a la concentración de compuestos inhibidores como los compuestos fenólicos u otros presentes en los extractos de estudio (Worthington 2011).

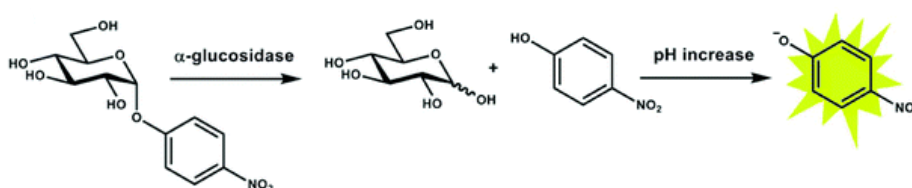


Figura 5: Principios para el ensayo de actividad y detección de inhibidores de alfa-glucosidasa. (a) Medición de la actividad de la enzima α -glucosidasa

Fuente: Zhang *et al.* (2020)

- Ensayo de inhibición de la enzima α -amilasa: El método consiste en la hidrólisis de un polisacárido como el almidón (sustrato) por acción de la α -amilasa y la medición de los productos resultantes (azúcares reductores), los cuales se producen en mayor o menor concentración según la presencia de inhibidores como los compuestos fenólicos. Se ha reportado el uso de diferentes sustratos además del almidón como la amilosa, amilopectina y otros maltooligosacáridos ligados a *p*-nitrofenilo (Fei *et al.* 2014; Miao *et al.* 2014; Visvanathan *et al.* 2016; PubChem 2020; Visvanathan *et al.* 2021). Estos sustratos dan lugar a los azúcares reductores originados por la actividad de la enzima α -amilasa que cataliza la hidrólisis de los enlaces glucosídicos α -1,4 internos en los

polisacáridos que contienen 3 o más enlaces D α -1,4 unidades de glucosa que dan como resultado una mezcla de maltosa y glucosa (Worthington 2011a).

Los azúcares reductores derivados de la reacción hidrolítica luego son medidos con el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico que es el más utilizado (Visvanathan *et al.* 2021; Fei *et al.* 2014). El método consiste en la reducción del ácido 3,5 dinitrosalicílico por los azúcares reductores, formando 3-amino-5-nitrosalicílico, con la presencia de cambio de una coloración amarilla clara a un anaranjado-rojizo el cual es medido a 540 nm (longitud de onda de máxima absorción del 3-amino-5-nitrosalicílico) (Visvanathan *et al.* 2021). Los ensayos de inhibición utilizan un control positivo en la reacción, utilizando mayormente a la acarbosa, que es un inhibidor efectivo de la α -amilasa, por la presencia de un anillo de pseudo azúcar y el enlace de nitrógeno glucosídico que reproduce el estado de transición para la escisión enzimática del enlace glucosídico, inhibiendo a la enzima (Rahimzadeh *et al.* 2014; Visvanathan *et al.* 2021).

2.3. COMPUESTOS CAROTENOIDES

Los carotenoides son una familia de pigmentos orgánicos y naturales de color amarillo, anaranjado, rojo (Stanley y Yuan 2019; Maoka 2020a). Son esenciales para la absorción de luz (absorción del exceso de energía de las clorofilas), estabilización del sistema fotosintético y fotoprotección (Maoka 2020a). Los carotenoides están presentes en órganos fotosintéticos y no fotosintéticos de las plantas, estos últimos incluyen a los frutos, pericarpios, semillas, raíces y flores, su formación se da a partir de reacciones metabólicas secundarias como la isomerización, oxidación y la escisión de las cadenas poliénicas (Quián-Ulloa y Stange 2021).

La ruta metabólica asociada a la biosíntesis de los carotenoides se inicia con la formación del fitoeno (Figura 6), tiene como principales precursores el acetil CoA ó el ácido pirúvico a través de la ruta del mevalonato o la ruta del no mevalonato, presenta como intermediarios directos al geranil pirofosfato y el geranil geranil pirofosfato (KEGG 2022a). El fitoeno (carotenoide incoloro) experimenta una serie de desaturaciones hasta formar licopeno (coloración roja) mediante la enzima fitoeno desaturasa. Del licopeno se producen carotenoides con grupos terminales cíclicos, hidroxilados o con introducción de diferentes

grupos oxigenados, como el γ -caroteno y δ -caroteno y produciéndose diversidad de xantofilas como β -cryptoxantina, zeaxantina (derivados del γ -caroteno), luteína (derivados del δ -caroteno) (KEGG 2022a). Las principales enzimas involucradas en su biosíntesis son la 15-cis-fitoeno sintasa, licopeno beta-ciclasa, beta caroteno hidroxilasa, beta-caroteno 3-hidroxilasa y el carotenoide épsilon hidrolasa (KEGG 2022a).

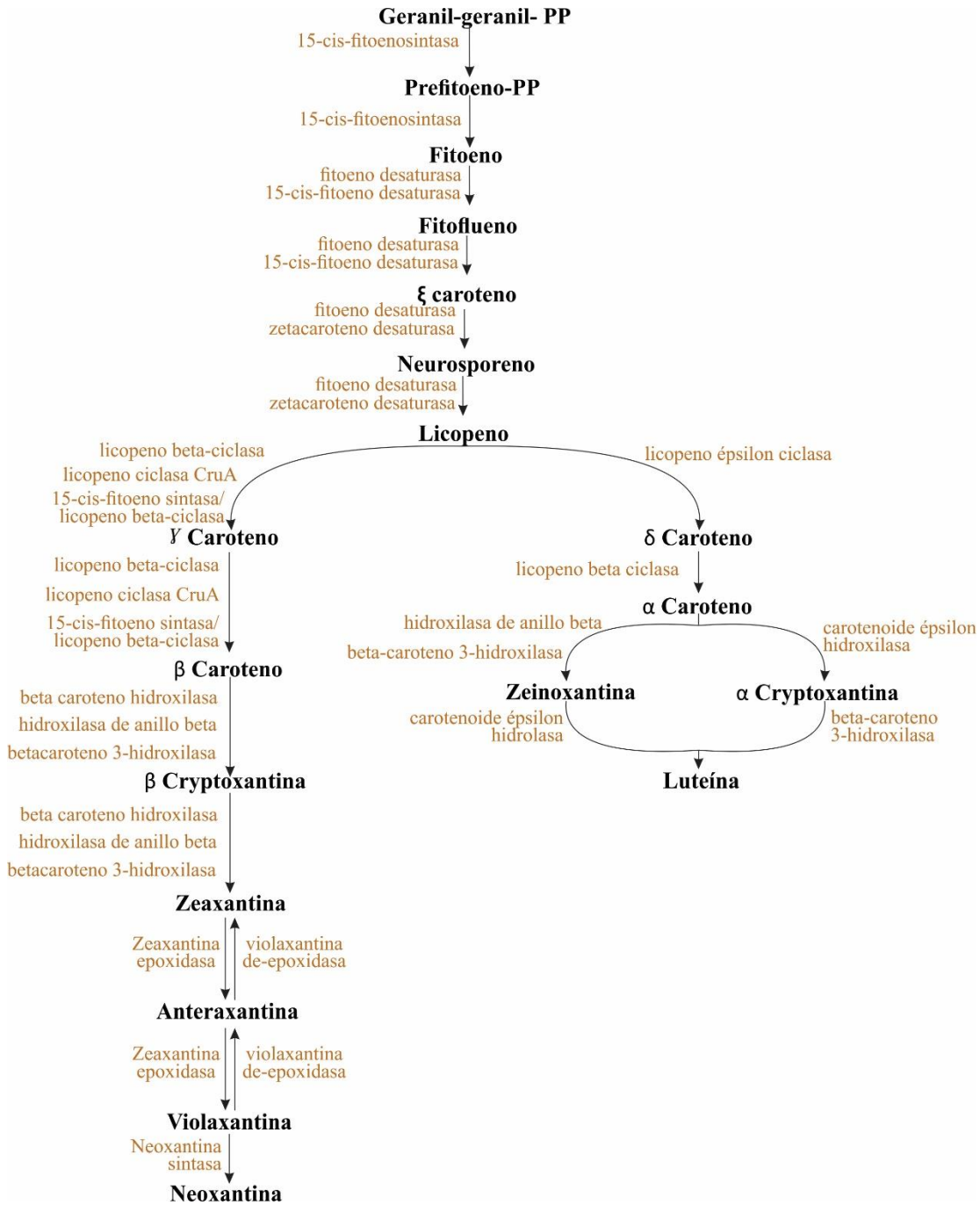


Figura 6: Biosíntesis de compuestos carotenoides en maíz

Fuente: (KEGG 2022a)

2.3.1. CLASIFICACIÓN Y ESTRUCTURA QUÍMICA

Los carotenoides se clasifican en carotenos y xantófilas, la estructura de la cadena poliénica y sus estructuras típicas se muestran en la Figura 7 a y b. Los carotenos son estrictamente hidrocarburos, e incluyen al licopeno, γ -caroteno, δ -caroteno, β -caroteno y α -caroteno. Las xantófilas contienen al menos un átomo de oxígeno en su molécula y los grupos sustitutos comunes incluyen grupos hidróxilo, metoxilo, carbonilo o epoxi (Lee y Schwartz 2006). Destacan la β -criptoxantina, luteína, zexantina y astaxantina (Maoka 2020a).

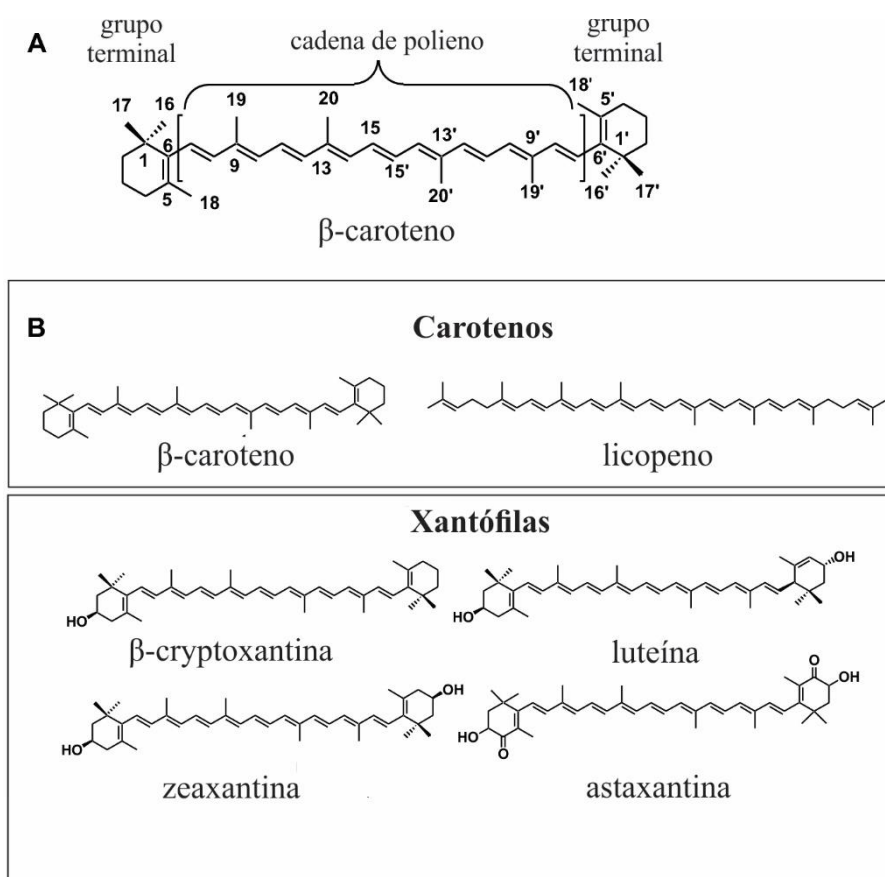


Figura 7: A. Estructura básica de los carotenoides. B. Estructuras convencionales de carotenos y xantófilas

Fuente: Maoka (2020)

2.3.2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Varios estudios epidemiológicos han reportado que la ingesta de verduras y frutos de color amarillo verdoso, que contienen diversos compuestos carotenoides, se asocia con múltiples efectos beneficiosos para la salud, demostrando propiedades antioxidantes lipídicas, con

propiedades de ruptura de la cadena de peroxidación a bajas concentraciones de oxígeno (Trono 2019; Britton 2020). Además, presentan actividad antiadiposidad, mediante la regulación de las vías metabólicas (secreción de adipocinas) y la producción de moléculas señalizadoras específicas originadas en los tejidos (Amengual *et al.* 2011; Takayanagi *et al.* 2011; Liu *et al.* 2017). En otros estudios se ha informado que ciertos carotenoides presentan propiedades anticancerígenas, mediante mecanismos como la reducción del crecimiento o inducción a la apoptosis de las células cancerosas (Rowles y Erdman 2020; Russo *et al.* 2021). Estarían también relacionados con la disminución de la incidencia de diabetes y trastornos neurológicos, activando la expresión del gen antioxidante por medio del actor transcripcional Nrf2 (factor nuclear eritroide 2 relacionado con el factor 2) que ayuda a disminuir los trastornos neurológicos y la diabetes (Yu *et al.* 2018; Merhan 2017 citado por Bhatt y Patel 2020; Aziz *et al.* 2020). Asimismo, el aumento en la dieta de alimentos ricos en carotenoides se relaciona con una menor incidencia de las enfermedades cardiovasculares, lo que se atribuye a su actividad de modulación oxidante de las reacciones endoteliales frente a los estímulos prooxidantes e inflamatorios (Di Pietro *et al.* 2016). Los compuestos carotenoides como las xantófilas, presentan propiedades antioxidantes mediante la neutralización de los radicales libres y aceptación de electrones de especies reactivas (Rutz *et al.* 2016; Nishino *et al.* 2017). Asimismo, han mostrado una capacidad de inhibición de enzimas como la α -glucosidasa, siendo los isómeros *cis* los que tendrían una mayor bioactividad (Qi y Kim 2018).

2.4. COMPUESTOS FENÓLICOS EN MAÍZ

El maíz es rico en vitaminas, fibra dietética, minerales (magnesio, potasio y fósforo), y presenta múltiples compuestos bioactivos como los carotenoides, ácidos fenólicos, flavonoides, ligninas entre otros, los cuales se han asociado con propiedades beneficiosas para la salud (Navarro *et al.* 2018; Siyuan *et al.* 2018).

El perfil y concentración de compuestos bioactivos varía según la variedad del maíz, además de diversos factores agroecológicos que también presentan una influencia importante (Siyuan *et al.* 2018; Singh *et al.* 2019). Existen varios estudios donde se ha investigado la diversidad de compuestos bioactivos como los compuestos polifenólicos en maíz de diferentes procedencias como Nigeria (Alamu *et al.* 2021), China (Song *et al.* 2018a; Hu *et*

al. 2020; Chen *et al.* 2021a), México (Loarca-Piña *et al.* 2019; Díaz-Montes *et al.* 2020), India (Trehan *et al.* 2020) y Croacia (Špoljarić *et al.* 2020; Ledenčan *et al.* 2022).

Sin embargo, los estudios de caracterización de la diversidad de razas de maíz peruano en relación a sus compuestos bioactivos y propiedades funcionales asociados a estos compuestos son muy escasos. En una primera iniciativa, Ranilla *et al.* (2019) evaluó veintidós muestras de maíz procedente de la región Arequipa encontrando un alto contenido fenólico total en las fracciones ligadas a la fibra dietética atribuidas a razas de maíz con pigmentación amarilla como la raza Arequipeño, Cabanita, y Coruca, tendencia que fue inversa en las muestras de la raza Kculli (color morado) que presentaron un contenido fenólico total mayor en la fracción fenólica libre, por otro lado expuso como principales ácidos fenólicos (fracciones libres y ligadas) al ácido ferúlico y *p*-cumárico y compuestos derivados. Fuentes-Cardenas *et al.* (2022) se focalizó en el estudio de diversas muestras de maíz de la raza Cabanita procedente de Arequipa, revelando niveles de fenólicos totales comparables con maíz de origen estadounidense, y superiores a variedades de maíz pigmentado de Chile. Por otro lado, los compuestos fenólicos identificados en la fracción libre fueron principalmente derivados del ácido *p*-cumárico y ferúlico solubles, y antocianinas en maíz con pigmentación roja, mientras que la fracción ligada estuvo compuesta por el ácido ferúlico y sus derivados junto con el ácido *p*-cumárico (Fuentes-Cardenas *et al.* 2022).

Los compuestos fenólicos reportados en diversas muestras de granos de maíz se presentan resumidamente en la Tabla 1. Se han identificado principalmente ácidos hidroxicinámicos, como el ácido ferúlico (Mesarović *et al.* 2019; Rodríguez-Salinas *et al.* 2020), ácido *p*-cumárico (Mesarović *et al.* 2019; Lux *et al.* 2020; Xiang *et al.* 2020); ácido sinápico (Ndolo y Beta, 2014; Giordano *et al.* 2018) y ácido cafeico (Giordano *et al.* 2017b; Prasanthi *et al.* 2017; Mesarović *et al.* 2019). Entre los ácidos hidroxibenzoicos (presentes en menor concentración) destacan el ácido siríngico (Das y Singh 2016; Prasanthi *et al.* 2017) y ácido gálico (Yang *et al.* 2018; Xiang *et al.* 2020). En referencia a su concentración en las diferentes matrices alimentarias, diversos estudios han informado la relación directa del contenido fenólico con la pigmentación del grano, siendo elevada a una mayor pigmentación del grano (Giordano *et al.* 2017b; Xiang *et al.* 2020).

Tabla 1: Compuestos fenólicos reportados en granos de maíz

Clase	Compuesto	Concentración (mg/100 g base seca, bs)	Muestra	Referencias
Ácidos hidroxibenzoicos	ácido siríngico	0,02-89,7	baby corn, maíz dulce, dentado	Das y Singh (2016); Prasanthi <i>et al.</i> (2017)
	ácido gálico	1,46-21,17	maíz dulce	Xiang <i>et al.</i> (2020); Yang <i>et al.</i> (2018)
	ácido protocatéquico	2,76-4,38	maíz dulce	Mesarović <i>et al.</i> (2019)
	ácido vanílico	0,1-1,1	maíz dentado amarillo	Prasanthi <i>et al.</i> (2017)
Ácidos hidroxicinámicos	ácido ferúlico	1,21-197,7	Maíz dulce, blanco y amarillo	Mesarović <i>et al.</i> (2019); Ranilla <i>et al.</i> 2019b; Lux <i>et al.</i> (2020); Rodríguez-Salinas <i>et al.</i> (2020); Xiang <i>et al.</i> (2020); Fuentes-Cardenas <i>et al.</i> (2022)
	ácido p-cumárico	0,006-28,63	Maíz blanco, dulce, amarillo, dentado y baby corn	Mesarović <i>et al.</i> (2019); Prasanthi <i>et al.</i> (2017); Ranilla <i>et al.</i> (2019); Rodríguez-Salinas <i>et al.</i> (2020); Lux <i>et al.</i> (2020); Xiang <i>et al.</i> (2020); Fuentes-Cardenas <i>et al.</i> (2022)
	ácido sinápico	1,99-15,1	Maíz amarillo, rojo, anaranjado, blanco	Ndolo y Beta (2014); Giordano <i>et al.</i> (2018);
Flavonoles	ácido cafeico	0,008-2,52	Baby corn, maíz dulce, y dentado	Giordano <i>et al.</i> (2017); Prasanthi <i>et al.</i> (2017); Mesarović <i>et al.</i> (2019)
	Quercetina	0,14-7,04	Maíz dulce, amarillo (germen)	Das y Singh (2016); Xiang <i>et al.</i> (2020)
Antocianinas	cianidina-3-glucosido	0,25-127,5	Maíz rosado (aleurona), y rojo.	Paulsmeyer <i>et al.</i> (2017); Hong <i>et al.</i> (2020); Lee <i>et al.</i> (2021); Suriano <i>et al.</i> (2021)
	Pelargonidin-3-glucosido	0,765-41,1	Maíz rosado (aleurona), y rojo.	Paulsmeyer <i>et al.</i> (2017); Hong <i>et al.</i> (2020);
	cianidin-3-(6'-malonilglucosido)	0,096-36,714	Maíz rosado (aleurona), y rojo.	Paulsmeyer <i>et al.</i> (2017); Suriano <i>et al.</i> (2021)
	cianidin-3-(malonilglucosido)	1,1-34,4	maíz rojo	Hong <i>et al.</i> (2020)
	pelargonidin-3-(6'-malonilglucosido)	0,28-11,596	Maíz rosado (aleurona), y rojo.	Paulsmeyer <i>et al.</i> (2017); Suriano <i>et al.</i> (2021)

Entre los principales flavonoides identificados en granos de maíz se ha reportado la presencia de antocianinas como la cianidina 3-glucósido, peonidina-3-glucósido y pelargonidina-3-glucósido, y sus derivados acilados con ácido malónico (Paulsmeyer *et al.* 2017; Zhang *et al.* 2019; Hong *et al.* 2020). El pericarpio contiene el nivel más alto de antocianinas (hasta un 50 por ciento), y la aleurona contiene sólo una pequeña porción (Luna-Vital *et al.* 2017). También se han identificado en granos de maíz flavonas como la luteolina y flavonoles en menores concentraciones (Paucar-Menacho *et al.* 2017; Xiang *et al.* 2020).

2.5. COMPUESTOS CAROTENOIDES EN MAÍZ

El grano integral de maíz presenta una diversidad de compuestos bioactivos, como los compuestos carotenoides. El maíz amarillo presenta en general una mayor concentración de carotenoides que el maíz blanco (Luo y Wang 2012; Sheng *et al.* 2019). Al igual que en el caso de los compuestos fenólicos, el tipo y perfil de carotenoides varía según la variedad, origen, además de otros factores como las condiciones agroclimáticas del cultivo del maíz, los cuales deben ser evaluados en cada caso (Sheng *et al.* 2019). Diversos estudios previos han demostrado que los granos de maíz son una fuente importante de compuestos carotenoides, así existen estudios realizados en maíz procedente de Malawi (Hwang *et al.* 2016), Brasil (Kuhnen *et al.* 2011; Uarrota *et al.* 2014), China (Liu *et al.* 2018b; Xiang *et al.* 2020), Estados Unidos (Baseggio *et al.* 2020), India (Prasanthi *et al.* 2017; Hossain y Jayadeep 2018) y Alemania (Lux *et al.* 2020).

En el caso de la diversidad del maíz peruano, sólo un estudio realizado por Fuentes-Cardenas *et al.* (2022) han reportado por primera vez a las xantófilas como la luteína (y sus isómeros) y la zeaxantina como los principales carotenoides en muestras de maíz Cabanita principalmente en granos de pigmentación anaranjada, blanco-amarillos, parcialmente pigmentados de rojo y granos blancos. Sin embargo, es necesaria una mayor investigación de la gran diversidad de razas peruanas.

En general, existe un mayor número de estudios sobre la caracterización de los compuestos fenólicos en maíces a nivel mundial que en el caso de los carotenoides. En la Tabla 2, se muestran los principales tipos de carotenoides encontrados en maíz. Las xantófilas son los compuestos carotenoides más abundantes, principalmente la luteína y zeaxantina, y en

Tabla 2: Compuestos carotenoides reportados en granos de maíz

Clase	Compuesto	Concentración (µg/g bs)	Muestra	Referencias
Xantófilas	Luteína	0,035-34,97	Maíz blanco, dulce, amarillo, anaranjado, y rojo.	Baseggio <i>et al.</i> (2020); Capocchi <i>et al.</i> (2017); Fuentes-Cardenas <i>et al.</i> (2022); Hossain y Jayadeep (2018); Hwang <i>et al.</i> (2016); Kuhn <i>et al.</i> (2011); Liu <i>et al.</i> (2018a); Uarrota <i>et al.</i> (2014); Xiang <i>et al.</i> (2020). Kuhn <i>et al.</i> (2011); Uarrota <i>et al.</i> (2014); Hwang <i>et al.</i> (2016); Capocchi <i>et al.</i> (2017); Liu <i>et al.</i> (2018a); Xiang <i>et al.</i> (2020); Baseggio <i>et al.</i> (2020);
	Zeaxantina	0,05-21,18	Maíz blanco, dulce, amarillo, anaranjado, rojo (extracto) y rojo.	
	β-criptoxantina	0,02-11,67	Maíz blanco, dulce, amarillo y rojo.	
	α-criptoxantina	0,29-1,17	Maíz dulce y amarillo.	
Carotenos	α-caroteno	0,05-24,89	Maíz dulce y amarillo.	Prasanthi <i>et al.</i> (2017); Liu <i>et al.</i> (2018a); Xiang <i>et al.</i> (2020) Uarrota <i>et al.</i> (2014); Liu <i>et al.</i> (2018a); Xiang <i>et al.</i> (2020).
	β-caroteno	0,04-1,8	Maíz dulce, amarillo y rojo.	Hwang <i>et al.</i> (2016); Capocchi <i>et al.</i> (2017); Liu <i>et al.</i> (2018a); Hossain y Jayadeep (2018); Baseggio <i>et al.</i> (2020); Lux <i>et al.</i> (2020); Xiang <i>et al.</i> (2020).

menor concentración los carotenos, como el α -caroteno y β -caroteno (Baseggio *et al.* 2020; Hossain y Jayadeep 2018; Xiang *et al.* 2020). Por otro lado, existe un mayor contenido de carotenoides en maíz tipo duro, como el dent, flint y pop a diferencia del tipo de maíz harinoso o amiláceo (Xiang *et al.* 2020).

2.6. POTENCIAL ANTIOXIDANTE E HIPOGLUCÉMICO DEL MAÍZ

2.6.1. POTENCIAL ANTIOXIDANTE

El estudio de la capacidad antioxidante del maíz se ha focalizado principalmente en las variedades de pigmentación morada y roja las cuales concentran mayores contenidos de antocianinas que presentan propiedades antioxidantes bien documentadas (Urias-Lugo *et al.* 2015; Gálvez *et al.* 2017).

En el caso del maíz peruano, existe una diversidad de razas con pigmentación variable que aún no han sido estudiados en relación a sus propiedades antioxidantes. Ranilla *et al.* (2019) encontró una correlación importante entre los compuestos fenólicos con la actividad antioxidante (evaluada por los métodos de inhibición del DPPH y ABTS) en muestras de maíz de razas procedentes de Arequipa, siendo los polifenoles de la fracción ligada los que presentaron un mayor aporte a la actividad antioxidante total en las razas Arequipeño, Cabanita y Coruca. En el caso de las muestras moradas (raza Kculli), la fracción libre (con altos contenidos de antocianinas) contribuyeron significativamente a la capacidad antioxidante total (Ranilla *et al.* 2019). En ese mismo estudio, el grupo de muestras de la raza Cabanita presentó el segundo valor ORAC más alto después de las muestras con grano morado. Recientemente, Fuentes-Cardenas *et al.* (2022), en un estudio realizado diversas muestras de maíz de la raza Cabanita, reportó una mayor capacidad antioxidante por los métodos del DPPH y ABTS en la fracción fenólica ligada de todas las muestras, la cual contribuyó en un 93 a 98 por ciento a la capacidad antioxidante total. La capacidad antioxidante hidrofílica fue significativamente más alta que la lipofílica indicando una mayor presencia de antioxidantes hidrofílicos como los polifenoles en general, en contraste con los compuestos lipofílicos como los carotenoides u otros como los tocoles y fitoesteroles, también reportados en maíz (Fuentes-Cárdenas *et al.* 2022).

Otros estudios *in vitro* en diferentes países corroboran la actividad antioxidante asociada al contenido polifenólico en maíz, como Rodríguez-Salinas *et al.* (2020) en México (2138,25-3345,75 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g bs}$, ensayo ABTS), y Harakotr *et al.* (2015) en Tailandia (1096 y 3791 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g bs}$, ensayo DPPH y ABTS), y esta propiedad es influenciada por factores genéticos, ambientales y los estados de madurez del maíz (Špoljarić *et al.* 2020).

2.6.2. POTENCIAL HIPOGLUCÉMICO

La mayoría de las investigaciones sobre el potencial hipoglucémico del maíz se ha realizado usando modelos *in vitro* en función al mecanismo de los fenólicos de inhibir las enzimas digestivas regulando de esta forma la hiperglucemia. Fabila-Garca *et al.* (2017) en un estudio realizado en maíz amarillo (México) determinó una alta actividad de inhibición de la enzima α -glucosidasa (69,8 por ciento) a diferencia de la α -amilasa. En otro estudio con razas de maíz peruano, se reportaron que las fracciones fenólicas libres presentaron una mayor actividad inhibitoria que las fracciones ligadas, y esta fue mayor sobre la α -glucosidasa (32,50 a 76,10 por ciento, a 25 mg) en comparación con la α -amilasa (13,67 a 29,07 por ciento, a 25 mg) (Ranilla *et al.* 2019). Resultados similares fueron obtenidos en muestras de origen chileno (González-Muñoz *et al.* 2013). Por otro lado, Chen *et al.* (2021) reportó una mayor capacidad de inhibición de la fracción fenólica libre del maíz ceroso fresco (China) sobre la enzima α -amilasa, siendo de 5 a 60 veces mayor que el mostrado por la fracción fenólica ligada.

Estudios *in vivo* a partir de extractos de antocianinas (pericarpio de maíz morado comercial, EEUU), mostraron actividad hipoglucémica de las antocianinas al estimular el aumento de la secreción de insulina, en modelos con roedores (Zhang *et al.* 2019b). En general, los efectos hipoglucémicos en el maíz estaría relacionada con el grado de intensidad de su pigmentación (Ferron *et al.* 2020), así como de factores genéticos (Zhang *et al.* 2019b).

2.7. EFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ EN LA VARIACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDES EN EL MAÍZ

Actualmente existe un conflicto entre maximizar la concentración de carotenoides y polifenoles, y mantener la calidad comestible del grano. Esto podría solucionarse evaluando

la variabilidad de los compuestos bioactivos durante la maduración del grano con el fin de seleccionar el tiempo de cosecha más adecuado para un determinado tipo de maíz (Ledenčan *et al.* 2022).

En relación a los compuestos fenólicos, se ha observado que el contenido fenólico total aumenta hasta los 20-25 y 32 días después de la polinización (Hu *et al.* 2021; Špoljarić *et al.* 2020, respectivamente). Hu *et al.* (2021) determinaron que los contenidos de polifenoles libres y ligados mostraron una tendencia creciente durante la maduración del grano (a partir del día 10 después de la polinización) y fue variable según el genotipo de maíz dulce evaluado. Zhang *et al.* (2020) reportó un aumento del contenido de compuestos fenólicos totales en el grano de maíz amarillo (China), cosechados en cinco etapas de madurez (15, 21, 26, 36 y 48 después de la polinización). Otros estudios han mencionado el aumento de la concentración de antocianinas monoméricas durante la maduración del maíz morado (Harakotr *et al.* 2014), alcanzando el máximo valor a partir del día 26 después de la polinización (Zhang *et al.* 2020).

Contrario a lo presentado previamente, otros autores han observado una disminución de los compuestos fenólicos con el tiempo de madurez. Ledenčan *et al.* (2022) reveló una reducción del 17,4 a 29,3 por ciento, en cinco híbridos comerciales de maíz (Croacia), cosechados en un rango de 17 a 25 días después de la polinización. De igual manera, Xu *et al.* (2010) reportó que el grano inmaduro del maíz amarillo presentó un mayor contenido de compuestos fenólicos que el grano maduro (116 días después de la siembra).

En el caso de los compuestos carotenoides, Špoljarić *et al.* (2020) evaluaron muestras de maíz dulce (Croacia) colectadas en un rango de 20 a 32 días después de la polinización observando un aumento estos compuestos con la maduración del grano. Igualmente Liu *et al.* (2018b) reportaron el aumento de los carotenoides totales en genotipos de maíz dulce (China) durante un periodo de 10 a 30 días después de la polinización. Al contrario, Xu *et al.* (2010) encontraron que los carotenoides totales de una variedad de maíz amarillo (China) primero disminuyeron, luego aumentaron, para disminuir nuevamente hacia los 116 días después de la siembra.

Según lo presentado anteriormente, existiría un efecto importante de los factores genéticos y del tiempo de cosecha en la variabilidad de los compuestos fenólicos y carotenoides durante la maduración del maíz, lo cual debe ser investigado en cada caso y dentro de un contexto geográfico y agroecológico determinado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación se realizó en el laboratorio de Investigación en Ciencia de Alimentos del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María (UCSM) localizado en el distrito de Yanahuara, provincia de Arequipa, región Arequipa. El cultivo del maíz se realizó en el Vivero Santa María perteneciente a la UCSM, ubicado en el distrito de Sachaca, provincia Arequipa, región Arequipa (S: 16° 41' 93,9"; W: 071° 56' 34,0"; altitud 2240 m.s.n.m.), entre las fechas 25 de noviembre del 2020 al 28 de junio del 2021.

3.2. MATERIAL DE ESTUDIO

Se seleccionó germoplasma (semillas) de tres tipos de maíz Cabanita con pigmentación del grano blanco, rojo y anaranjado en función a las observaciones realizadas por Fuentes-Cardenas *et al.* (2022) quienes evaluaron diferentes muestras de este maíz procedente de 2 provincias en la región Arequipa. Las semillas utilizadas en el presente trabajo de investigación se colectaron en el 28 de mayo del 2019 en el distrito de Cabanaconde, provincia de Caylloma, región de Arequipa, y las características de la zona de colecta se pueden observar en la Tabla 3.

Los granos de maíz seleccionados fueron sembrados en macetas en condiciones controladas y se realizó la colecta a tres estados de madurez del grano. El procedimiento del cultivo, monitoreo de las plantas de maíz, y muestreo de las mazorcas con grano a tres estados de madurez y por tipo de pigmentación se explicará en detalle en la parte de metodología experimental (acápite 4.5).

Tabla 3: Características de colecta de las semillas de 3 tipos de maíz Cabanita para su siembra

Nro.	Localidad	Localización geográfica	Altura (m.s.n.m.)	Pigmentación del grano de maíz
1	Cusqui	S: 15° 37' 30.9" W: 072° 00' 04.1"	2964	Rojo
2	Auqui	S: 15° 37' 05.6" W: 072° 00' 37.8"	3110	Blanco
3	Occollina	S: 15° 37' 41.6" W: 071° 58' 49.5"	3310	Anaranjado

Fuente: Fuentes-Cardenas *et al.* (2022)

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. MATERIALES PARA ANÁLISIS

- Columna analítica Kinetex C18 100 Å; 100 x 2,1 mm diámetro interno (d.i.), 1,7 µm; con precolumna Security Guard ULTRA C18, 5 x 2,1 mm d.i., 1,7 µm (PHENOMENEX, EEUU).
- Columna analítica YMC carotenoid C30, 150 x 4,6 mm d.i., 3 µm, con precolumna YMC C30; 10 x 4.0 mm d.i., 3 µm (YMC CO., LTD., Japón).
- Desecador de vidrio.
- Filtros Nylon 0,45 µm (PHENOMENEX, EEUU).
- Filtros Politetrafluoroetileno (PTFE) 0,45 µm (FLUOROPORE, Irlanda).
- Filtros Polivinildifluoruro (PVDF) 0,22 µm (MILLIPORE MILLEX-GV, Irlanda).
- Material de plástico: Microtubos de centrifuga de 1,5 y 2 ml, tubos de centrifuga de 15 y 50 ml, puntas para micropipeta y todo lo necesario para los diversos ensayos.
- Material de vidrio: Balón de 250 ml, fiolas de 5, 10, 100, 250, 500 y 1000 ml, frascos de 250, 500 y 1000 ml, pipetas graduadas de 1 y 5 ml, baguetas, placas petri, probetas de 10, 25, 50, 100 y 1000 ml, tubos de ensayo 5 y 15 ml, vasos de precipitados de 50, 100, 250, 500 ml, viales para UHPLC.
- Micropipeta multicanal de 20 – 200 µl (BRAND, Alemania).

- Micropipetas de 0.2-20 μ l, 20-200 μ l, 100-1000 μ l y 0.5-5 ml (BRAND, Alemania).
- Vernier.

3.3.2. MATERIALES E INSUMOS PARA EL CULTIVO DEL MAÍZ

- Cola entomológica (Temo-o-cid, KOLLANT, Italia).
- Fertilizante compuesto (YARAMILA COMPLEX, Perú).
- Fungicida (DK-KURT, China).
- Materiales de plástico: Baldes, tubos de PVC, pulverizador, bolsas plásticas.
- Nutriente foliar Bayfolan (BAYER, Alemania).
- Otros materiales: Rótulos, bolsas de papel kraft, tijera, engrapadora.
- Piedra volcánica.
- Plaguicida químico (CORAGEN, EEUU).
- Tierra preparada (VIVERO 4 ESTACIONES, Perú).
- Urea.

3.3.3. EQUIPOS

- Agitador orbital (Modelo MaxQ 2000, THERMO FISHER SCIENTIFIC, EEUU).
- Balanza de precisión (Modelo PX2202, OHAUS, EEUU).
- Balanza semi-micro analítica, (Modelo EX225D, OHAUS, EEUU).
- Bomba al vacío (Modelo 2534C-02, WELCH-ILMVAC, EEUU).
- Campana de extracción (BIOBASE, China).
- Centrífuga refrigerada 320 R (HETTICH ZENTRIFUGEN UNIVERSAL, Alemania).
- Cocina eléctrica Dinamic inox duo 8022 (MAGEFESA, Chile).
- Concentrador de muestras (Modelo FSC400D&FSC496D, TECHNE, Reino Unido).
- Enfriador de circulación (Modelo F250, JULABO, Alemania).
- Equipo de baño por ultrasonido (Modelo M2800-E, BRANSON ULTRASONICS, EEUU).
- Equipo rotavapor con bomba de vacío y baño maría, R-100, BUCHI, Suiza.
- Espectrofotómetro UV-Visible (Modelo Genesys 150, THERMO FISHER SCIENTIFIC, España).

- Estufa de aire forzado (Modelo UF55, MEMMERT, Alemania).
- Lector de microplacas UV-VIS (Modelo Synergy HTX, BIOTEK INSTRUMENTS INC., EEUU).
- Liofilizador (Modelo Benchtop Triad, LABCONCO, EEUU).
- Medidor de índice de radiación UV (Modelo UVD1000, SUNKNOWN, China).
- Molino analítico (Modelo A11 Basic, IKA, Alemania).
- Placa calefactora de agitación (Cimatec, THERMO FISHER SCIENTIFIC, España).
- Potenciómetro (Modelo HI 3220, HANNA Instruments, EEUU).
- Refrigerador y congelador a -20 °C (LG, Korea).
- Sistema de agua ultrapura (Modelo Simplicity UV, MILLIPORE, Alemania).
- Sistema generador e inyector de nitrógeno gaseoso (PRAXAIR, EEUU).
- Sistema UHPLC (Ultra High-Performance Liquid Chromatography) con detector de arreglo de diodos (DAD) Vanquish, autosampler, horno para columna, bomba cuaternaria, Ultimate 3000 RS UHPLC System (THERMO FISHER SCIENTIFIC, EEUU).
- Tanque criogénico de nitrógeno líquido (Modelo AI24-11M, WORTHINGTON INDUSTRIES, EEUU).
- Vortex (Modelo Wizard IR, VELP SCIENTIFICA, Italia).

3.3.4. REACTIVOS

- ABTS (ácido 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico), 98 por ciento, para Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (SIGMA ALDRICH, Alemania).
- Acarbosa, ≥ 95 por ciento (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Acetato de etilo, para análisis (MERCK, Alemania).
- Acetona, para análisis (MERCK, Alemania).
- Ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Ácido clorhídrico 37 por ciento, para análisis (MERCK, Alemania).
- Ácido gálico (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Almidón soluble, para análisis (MERCK, Alemania).
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3) (MERCK, Alemania).
- Cloruro de sodio, para análisis (MERCK, Alemania).
- Diclorometano, para análisis (MERCK, Alemania).

- Dihidrogenofosfato de sodio dihidrato, para análisis (MERCK, Alemania).
- Di-Sodio hidrogenofosfato anhidro, para análisis (MERCK, Alemania).
- DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), para análisis (SIGMA ALDRICH, Alemania).
- Etanol absoluto, para análisis (MERCK, Alemania).
- Folin-Ciocalteu 2 N (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Fosfato de dipotasio (K_2HPO_4), para análisis (MERCK, Alemania).
- Fosfato de monopotasio (KH_2PO_4), para análisis (MERCK, Alemania).
- Hidróxido de sodio pellets, para análisis (MERCK, Alemania).
- Metanol, para análisis (MERCK, Alemania).
- Peroxodisulfato de potasio, para análisis (MERCK, Alemania).
- *p*-nitrofenil- α -D-glucopiranososa (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Solventes grado HPLC para los análisis cromatográficos y reactivos y solventes grado analítico para las diferentes metodologías de análisis (SIGMA ALDRICH, Alemania).
- Tartrato tetrahidrato de potasio y sodio, para análisis (MERCK, Alemania).
- Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2- ácido carboxílico), 97 por ciento, para análisis (SIGMA ALDRICH, Alemania).

3.3.5. ESTÁNDARES

- Ácido cafeico, ≥ 99 por ciento, para HPLC (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Ácido *p*-cumárico, ≥ 96 por ciento, para HPLC (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Ácido trans-ferúlico, ≥ 99 por ciento, para HPLC (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Cloruro de cianidina, ≥ 95 por ciento, para HPLC (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Quercetina, ≥ 95 por ciento, para HPLC (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Zeaxantina ≥ 95 por ciento, para HPLC (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- β -Cryptoxantina, ≥ 97 por ciento, para HPLC (SIGMA-ALDRICH, Alemania).
- Luteína, ≥ 96 por ciento, para HPLC (SIGMA-ALDRICH, Alemania).

3.3.6. ENZIMAS

- Enzima α -amilasa (EC 3.2.1.1), de páncreas porcino (placenta porcina acetilglucosaminidasa, PPA, al 1,4 glucan-4-glucanohidrolasa), tipo VI-B, ≥ 10 unit/mg, (SIGMA-ALDRICH, Alemania).

- Enzima α -glucosidasa (EC 3.2.1.20), de *Saccharomyces cerevisiae*, tipo I, <10 unit/mg, (SIGMA-ALDRICH, Alemania).

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. ANÁLISIS DE HUMEDAD

Se determinó la humedad de 5 g de muestra con calentamiento en estufa a 105 °C hasta obtener un peso constante (AOAC 2016). Los resultados fueron expresados en porcentaje. La humedad de cada muestra fue utilizada para expresar los resultados de todos los parámetros químicos evaluados en base seca (bs).

3.4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MAZORCA Y GRANOS

Se realizó una caracterización física de las mazorcas y granos con base en los descriptores presentados por el Programa Cooperativo de Investigación en Maíz (PCIM) (1986), la Junta Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR) y el CIMMYT (1991). Los descriptores evaluados se detallan a continuación.

Mazorca: La medición de caracteres se realizó en cada réplica biológica. Se reportó el promedio general de las réplicas biológicas \pm desviación estándar por cada pigmentación de maíz (blanco, rojo y anaranjado). Se midió la longitud y el diámetro mayor de la mazorca mediante un vernier y se expresaron en centímetros (cm). Se determinó la masa con el uso de una balanza de precisión y los resultados fueron expresados en gramos (g).

Grano: La medición de caracteres se realizó en tres granos por mazorca, seleccionados de una hilera completa, extraídos del segmento central de la hilera, y con pigmentación uniforme característico del maíz evaluado. Los resultados se expresaron como promedio \pm desviación estándar de las mediciones en los tres granos por mazorca por réplica biológica, y a cada tipo de maíz (blanco, rojo y anaranjado). Se evaluó la longitud, ancho y grosor del grano de maíz utilizando un vernier, las mediciones se expresaron en milímetros (mm).

3.4.3. EXTRACCIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL GRANO DE MAÍZ: COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDES

a. Extracción de la fracción fenólica libre y ligada

La extracción de compuestos fenólicos de la fracción libre y ligada se realizó según el método de Ranilla *et al.* (2019b) y Ranilla *et al.* (2021) según se describe a continuación.

Fracción fenólica libre: 1 g de muestra en polvo (harina liofilizada) se mezcló con 4 ml de una mezcla de solventes metanol/acetona/agua (45:45:10, v/v/v) acidificada con ácido clorhídrico al 0,1 por ciento en un tubo de centrifuga protegido de la luz, la extracción se realizó bajo agitación a 200 rpm por 63 minutos (min) a temperatura ambiente. Luego la mezcla fue centrifugada a 6000 rpm durante 10 min a 15 °C, y el sobrenadante fue separado en un balón de destilación. El pellet residual fue sometido a una segunda extracción con 4 ml de solvente por 30 min a 200 rpm y a temperatura ambiente, la mezcla fue centrifugada durante 10 min a 6000 rpm y 15 °C, se separó el sobrenadante y se unió al anterior. El sobrenadante total recuperado se concentró al vacío a 45 °C hasta sequedad. El extracto seco posteriormente fue reconstituido en 2,5 ml de agua Milli-Q. Los extractos acuosos se conservaron a -20 °C hasta su análisis posterior.

Fracción fenólica ligada a la fibra dietética: Se mezcló 0,5 g de muestra en polvo (harina liofilizada) con 2 ml de una mezcla de solventes metanol/acetona/agua (45:45:10, v/v/v) acidificada con ácido clorhídrico al 0,1 por ciento, y sometido a agitación a 200 rpm por 63 min a temperatura ambiente. Luego la mezcla fue centrifugada a 6000 rpm durante 10 min a 15 °C, se descartó el sobrenadante y el pellet residual se conservó para una segunda extracción con 2 ml del solvente por 30 min a 200 rpm y a temperatura ambiente. El extracto obtenido se centrifugó a 6000 rpm por 10 min a 15 °C, y se retiró el sobrenadante. El residuo insoluble se sometió a una hidrólisis alcalina con 20 ml NaOH 3 N en un tubo de centrífuga cuyo espacio de cabeza fue saturado con nitrógeno gaseoso por unos 15 segundos (s). Se procedió a una agitación a 200 rpm por 88 min a temperatura ambiente, y se ajustó el pH de la mezcla a 3 con ácido clorhídrico concentrado. Los compuestos fenólicos liberados en la hidrólisis fueron extraídos con 10 ml acetato de etilo con agitación constante durante 1 min por 6 veces. Luego de cada extracción, la mezcla fue centrifugada y extraído el sobrenadante,

estas fracciones de acetato de etilo se juntaron y fueron rotaevaporadas hasta sequedad a 45 °C y el extracto seco fue posteriormente reconstituido en 5 ml de agua Milli-Q y almacenado a -20 °C hasta su análisis posterior.

b. Extracción de compuestos carotenoides

Los carotenoides fueron extraídos de acuerdo al método de Egesel *et al.* (2003) con algunas modificaciones (Rivera y Canela 2012). Se mezcló 2,5 g de muestra liofilizada de maíz con 6 ml de etanol que contenía butilhidroxitolueno (BHT) al 0,01 por ciento (p/v), y luego se colocó en un baño de agua a 85 °C por 5 min, en seguida se le añadió 120 µl de hidróxido de potasio (KOH) al 80 por ciento (p/v), se agitó con vortex durante 15 s, y se calentó en un baño de agua a 85 °C por 10 min con agitación de 10 s al minuto 5 en un vortex. La mezcla se enfrió en un baño de hielo y se agregó 6 ml de metanol:etilacetato (6:4; v/v), se agitó en un vortex por 20 s y se centrifugó a 9000 rpm por un tiempo de 10 min a 10 °C, se reservó el sobrenadante en refrigeración (5 °C) y se continuó con las extracciones hasta obtener un sobrenadante incoloro, los extractos almacenados se juntaron y evaporaron al vacío parcialmente a 40 °C (rotavapor), luego se terminaron de concentrar bajo atmósfera de nitrógeno hasta obtener un volumen conocido (3 ml), el extracto se centrifugó a 9000 rpm por un tiempo de 5 min a 10 °C. El sobrenadante se separó y los extractos de carotenoides fueron analizados inmediatamente después de su extracción por UHPLC en el mismo día. Todo el proceso fue realizado bajo protección de la luz y el oxígeno en lo posible.

3.4.4. ANÁLISIS DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

El contenido de compuestos fenólicos totales fue determinado en los extractos de la fracción fenólica libre y ligada de cada muestra de maíz, empleando el método espectrofotométrico propuesto por Singleton y Rossi (1965). Los compuestos fenólicos se determinaron por reacción colorimétrica de 500 µl de extracto (libre o ligada) con 250 µl del reactivo Folin-Ciocalteu 1 N y 1250 µl de solución de carbonato de sodio (Na₂CO₃) 1,2 N, durante 30 min en reposo a temperatura ambiente en oscuridad. La absorbancia fue medida a 755 nm con un blanco de agua Milli-Q. El contenido de compuestos fenólicos se expresó en miligramos de ácido gálico equivalente por 100 gramos de muestra en base seca (mg AGE/g bs), utilizando

una curva de calibración con estándar de ácido gálico a diferentes concentraciones (4,8 a 38,3 µg/ml).

3.4.5. ANÁLISIS DEL PERFIL Y CONTENIDO DE POLIFENOLES POR UHPLC-DAD

El análisis se realizó con un sistema UHPLC-DAD, usando una columna analítica Kinetex C18 protegida con una precolumna Security Guard ULTRA C18, controlado por el software Chromeleon v7.2 SR4 (Thermo Fisher Scientific). Los extractos de las fracciones fenólicas libre y ligada fueron filtrados (PVDF, 0,22 µm), se utilizó un volumen de inyección de 5 µl y una velocidad de flujo de 0,2 ml/min. La fase móvil se aplicó según lo informado por Vargas-Yana et al. (2020) y Ranilla et al. (2021), estuvo compuesta por agua: ácido fórmico al 0,1 por ciento (\approx pH 2,5) (A) y acetonitrilo al 100 por ciento (B). El gradiente binario de elución empleado se muestra en la Tabla 4. La temperatura de la columna se mantuvo en 30 °C y los viales con las muestras a 5 °C. El sistema de detección se realizó en el espectro UV-visible 200 a 700 nm, y la cuantificación se desarrolló a 280, 320, 360 y 525 nm para la identificación de los compuestos fenólicos hidroxibenzoicos, hidroxicinámicos, flavonoides (flavonas) y antocianinas, respectivamente. La identificación de los compuestos fenólicos se realizó en función a sus tiempos de retención y espectros de absorción en comparación con estándares de compuestos fenólicos y a la biblioteca interna disponible construida con estándares puros.

Tabla 4: Gradiente de solventes de la corrida cromatográfica para el análisis de compuestos fenólicos por UHPLC-DAD

Tiempo (min)	Agua: ácido fórmico 0,1 por ciento (% B)	Acetonitrilo (% A)
0	98	2
2	98	2
3	85	15
9	55	45
10	2	98
13	2	98
20	98	2

Para la cuantificación se construyeron curvas de calibración de estándares puros de ácido *p*-cumárico (0,0007 – 0,0404 mg/ml), ácido trans-ferúlico (0,0007 – 0,0400 mg/ml), cloruro de cianidina (0,0009 – 0,0578 mg/ml), ácido vanílico (0,0016 – 0,2842 mg/ml), ácido cafeico (0,0004-0,0212 mg/ml) y quercetina (0,0020 – 0,1297 mg/ml); y los resultados fueron expresados como mg del compuesto fenólico o derivado respectivo/100 g bs de maíz.

3.4.6. ANÁLISIS DEL PERFIL Y CONTENIDO DE CAROTENOIDES POR UHPLC-DAD

Los extractos de carotenoides fueron previamente filtrados (PVDF, 0,22 µm), inyectados en un volumen de 50 µl, y a una velocidad de flujo de 1,7 ml/min en el mismo sistema de UHPLC-DAD utilizado para el caso del análisis de los compuestos fenólicos. La fase móvil estuvo compuesta por acetonitrilo (A), diclorometano (B) y metanol (C), todas las fases móviles fueron grado HPLC y fueron filtradas a 0,45 µm (solventes hidrofílicos con filtros de nylon y los solventes hidrofóbicos con filtros PTFE 0,45 µm) y sonicadas por 5 minutos. La temperatura de la columna fue de 30 °C, la temperatura de los viales con las muestras a 10 °C, y el programa de elución en gradiente se fijó según las condiciones descritas por Fuentes-Cardenas *et al.* (2022) mencionadas en la Tabla 5.

Tabla 5: Gradiente de solventes para la corrida cromatográfica de usada en el análisis de carotenoides por UHPLC-DAD

Tiempo (min)	Acetonitrilo (%)	Diclorometano (%)	Metanol (%)
0	19,0	5	76,0
3,2	19,0	5	76,0
8,1	17,0	15	68,0
11,6	16,6	17	66,4
12,4	14,2	29	56,8
15,9	14,0	30	56,0
23,3	13,2	34	52,8
25,0	19,0	5	76,0
28,0	19,0	5	76,0

Los eluidos se monitorearon a 450 nm, y los carotenoides se identificaron y cuantificaron basados en la comparación de sus tiempos de retención y espectros de absorción con aquéllos de estándares puros, y según información procedente de publicaciones científicas donde se analizaron también carotenoides en maíz de otras procedencias como Gupta *et al.* (2015), Lux *et al.* (2020), Paznocht *et al.* (2021), Song *et al.* (2018), Song *et al.* (2016a y 2016b). La cuantificación se realizó utilizando una curva de calibración con luteína (0 – 0,00288 mg/ml), zeaxantina (0 – 0,0011 mg/ml) y β -criptoxantina (0 – 0,00384 mg/ml), las concentraciones fueron expresadas como μg del carotenoide respectivo/g en bs. La concentración total de carotenoides se calculó como la suma de la concentración de carotenoides individuales (luteína, zeaxantina y β -criptoxantina) y los carotenoides no identificados. Las concentraciones de carotenoides totales se informaron como $\mu\text{g/g}$ bs de maíz.

3.4.7. EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Se aplicó el procedimiento recomendado por Fuentealba *et al.* (2016) y Campos *et al.* (2020) con algunas modificaciones. Se mezcló 0,2 g de muestra con 5 ml de metanol al 80 por ciento y la extracción se realizó con agitación a 230 rpm por 30 min a temperatura ambiente y protegido de la luz. Luego la mezcla fue centrifugada a 5000 g durante 15 min a 4 °C, se separó el sobrenadante y se almacenó a -20 °C hasta su análisis, este extracto correspondió a la fracción hidrofílica. El pellet residual se mezcló con 2 ml de diclorometano protegido de la luz, con agitación a 230 rpm por 30 min a temperatura ambiente. Luego la mezcla fue centrifugada a 5000 g durante 15 min a 4 °C, se extrajo el sobrenadante y almacenó a -20 °C, este extracto correspondió a la fracción lipofílica.

3.4.8. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA POR EL MÉTODO DE INHIBICIÓN DEL RADICAL 2,2-DIFENIL-2-PICRILHIDRAZIL (DPPH')

La capacidad antioxidante se determinó en las fracciones hidrofílicas y lipofílicas según el procedimiento descrito por Duarte-Almeida *et al.* (2006) con ligeras modificaciones. Se

mezclaron 40 µl de la muestra con 250 µl de la solución de DPPH a 317 µM diluida en metanol, se incubó durante 25 min a 25 °C en oscuridad. Se corrió también una muestra control con metanol o diclorometano (para los extractos hidrofílicos o lipofílicos, respectivamente), y la disminución de la absorbancia se midió a 517 nm en un lector de microplacas. La capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica se expresó como µmoles de Trolox equivalentes por 100 g de maíz en base seca (µmol TE/100 g bs) utilizando curvas estándar de Trolox a diferentes concentraciones (20-160 µM Trolox en metanol y 10-120 µM Trolox en diclorometano, para los extractos hidrofílicos y lipofílicos, respectivamente).

3.4.9. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA POR EL MÉTODO DE INHIBICIÓN DEL RADICAL 2-2'S-AZINO-BIS (3-ETILBENZTIAZOLINA-6-SULFÓNICO) (ABTS ⁺)

Los extractos hidrofílicos y lipofílicos se analizaron según el método reportado por Fuentealba *et al.* (2016) con algunas modificaciones. Un volumen de 40 µl de extracto se mezcló con 250 µl de la una solución de ABTS (14,3 mM diluida en etanol al 96 por ciento), luego se incubó durante 25 min a 25 °C en oscuridad junto a una muestra control (40 µl de metanol con 250 µl de la solución de ABTS para las fracciones hidrofílicas, o 40 µl de diclorometano con 250 µl de la solución de ABTS para las fracciones lipofílicas), se controló la disminución de la absorbancia a 734 nm en un lector de microplacas. Ambos resultados fueron calculados por medio de curvas estándar de Trolox a concentraciones similares usadas en el ensayo DPPH. La capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica se expresaron como µmol de Trolox equivalente por 100 g de maíz en base seca (µmol Trolox equivalente/100 g bs).

3.4.10. ACTIVIDAD DE INHIBICIÓN DE LA ENZIMA α-AMILASA EN LAS FRACCIONES HIDROFÍLICAS Y LIPOFÍLICAS (EFECTO HIPOGLUCEMIANTE *in vitro*)

El método de extracción de las fracciones hidrofílicas y lipofílicas de las muestras de maíz (harina liofilizada) se realizó siguiendo el mismo procedimiento previamente expuesto con algunas modificaciones. Para la fracción hidrofílica se usó una cantidad de muestra de 0,5 g

y se extrajo con 12,5 ml de metanol al 80 por ciento, el extracto final fue evaporado al vacío (rotavapor) a 45 °C hasta sequedad y finalmente se resuspendió en buffer NaPO₄ 0,02 M (pH 6,9). La fracción lipofílica se obtuvo del pellet residual con 5 ml de diclorometano, el extracto final fue evaporado al vacío (rotavapor) a 45 °C hasta sequedad y fue resuspendido en 2 ml de buffer NaPO₄ 0,02 M (pH 6,9). Ambos extractos fueron almacenados a -20 °C hasta su análisis.

La actividad de inhibición de los extractos hidrofílicos y lipofílicos de las muestras de maíz sobre la enzima α -amilasa se realizó según el Manual de Enzimas Whorthington Worthington (2011), con modificaciones de González-Muñoz *et al.* (2013b) y Fuentealba *et al.* (2016). Un volumen de 500 μ l de cada extracto se mezcló con 500 μ l de enzima (0,5 mg/ml en buffer NaPO₄ 0,02 M, NaCl 0,006 M, pH 6,9) y se incubó la mezcla por 10 min a temperatura ambiente. Luego se añadió 500 μ l de una solución de almidón al 1 por ciento en buffer de NaPO₄ 0,02 M (pH 6,9 con NaCl 0,006 M) incubándose por un tiempo de 10 min a temperatura ambiente. La reacción enzimática se detuvo adicionando 1,0 ml de ácido dinitrosalicílico (20 mg/ml en agua destilada, w/v) y se llevó a un baño maría a 100 °C por 10 min. Se agregó 15 ml de agua destilada a cada tubo de reacción, se agitó con vortex y se midió la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro. Se corrió también un control de inhibición positivo (acarbossa a una concentración de 1000 ppm en agua destilada), un control de la reacción enzimática (corresponde a la mezcla de reacción sin la muestra de maíz o la acarbossa, reemplazados por 500 μ l de agua destilada y 500 μ l de enzima, representa el 100 por ciento de la actividad de la enzima), y un blanco de muestra (500 μ l de muestra y 500 μ l de buffer). Los resultados se expresaron por mg de muestra. El porcentaje de inhibición se calculó según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{A_{540}(c) - (A_{540}(em) - A_{540}(bm))}{A_{540}(c)} \times 100$$

A (540): Absorbancia medida a 540 nm.

c: Control de la reacción enzimática

bm: Blanco de muestra

em: Extracto de la muestra de maíz

3.4.11. ACTIVIDAD DE INHIBICIÓN DE LA ENZIMA α -GLUCOSIDASA EN LAS FRACCIONES HIDROFÍLICAS Y LIPOFÍLICAS

El ensayo se determinó en los extractos hidrofílicos y lipofílicos obtenidos según se presentó en el punto 3.4.7. Los extractos finales fueron evaporados al vacío (rotavapor) hasta sequedad y resuspendidos en 1 ml de solución buffer KPO_4 0,1 M (pH 6,9). Los extractos fueron almacenados a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ hasta su análisis.

La actividad de inhibición de los extractos hidrofílicos y lipofílicos de las muestras de maíz sobre la enzima α -glucosidasa se realizó según el Manual de Enzimas Whorthington (Worthington 2011b), modificado por González-Muñoz *et al.* (2013b). Se incubó en pocillos de una microplaca 50 μl del extracto de muestra con 50 μl de buffer y 100 μl de enzima α -glucosidasa (1 U/ml) a $25\text{ }^\circ\text{C}$ por un tiempo de 10 min, posteriormente se le añadió 50 μl de solución de p-nitro-fenil- α -D-glucopiranosido (15,06 mg/10 ml), y se incubó por 5 minutos a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Las lecturas de absorbancia a 405 nm se realizaron en el minuto 0 y minuto 5 de la incubación en un lector de microplacas. Asimismo, se corrió un control de la reacción enzimática (100 μl de buffer, 100 μl de enzima y 50 μl de sustrato), un control positivo de inhibición (con 50 μl de acarbosa, 50 μl de buffer, 100 μl de enzima y 50 μl de sustrato), y un blanco de muestra (con 50 μl del extracto de muestra, 150 μl de buffer y 50 μl de sustrato). La actividad inhibidora de la α -glucosidasa se expresó como porcentaje de inhibición y se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{\Delta A_{405}(c) - \Delta A_{405}(em)}{\Delta A_{405}(c)} \times 100$$

A (405): Absorbancia medida a 405 nm

Δ : Diferencia entre la absorbancia a 5 min y 0 min.

c: Control

em: Extracto de la muestra de maíz

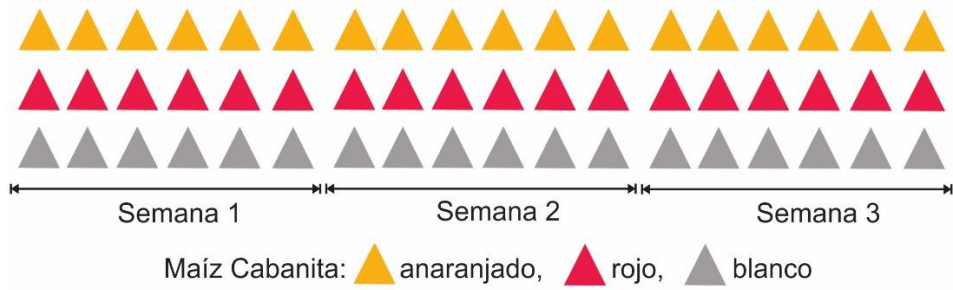
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. CULTIVO DE MAÍZ CABANITA

El cultivo de los tres tipos de maíz Cabanita utilizados en el presente estudio se realizó en macetas, la siembra se efectuó a tres tiempos diferentes (en 3 semanas seguidas) (s1, s2 y s3) y el crecimiento ocurrió en campo abierto con exposición al sol. En cada semana se prepararon 6 macetas por tipo de maíz, haciendo un total de 18 macetas por cada tipo y 54 macetas en total. Las macetas se distribuyeron en 3 hileras de 18 macetas cada una, de acuerdo al tipo de maíz y según el espacio disponible en el vivero donde se realizaron los experimentos. Se procedió de esa manera con el fin de asegurar el número de réplicas biológicas a ser muestreadas en tres estados de madurez (leche, masa y fisiológico) para cada tipo de maíz. El esquema de la distribución del cultivo experimental se presenta en la Figura 8.

Las macetas consistieron en envases plásticos de polipropileno perforados de 20 l de capacidad. Estas se prepararon disponiendo piedra volcánica en la base e incorporando luego tierra preparada dejando un espacio de cabeza de 7 cm. Cada maceta se localizó encima de una base permeable de tal forma de dar el espacio suficiente entre el suelo y la base de la maceta para un drenaje de agua adecuado. Adicionalmente, se insertaron dos tubos de PVC por maceta para la separación de un espacio determinado dentro de la tierra con el fin de incorporar fertilizantes (urea y NPK) en dos etapas y a una determinada profundidad durante el crecimiento de la planta. Las semillas fueron previamente desinfectadas por inmersión en una solución fungicida y se sembró hasta 5 semillas de maíz por maceta (Figura 9). La tierra preparada fue analizada en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Semillas, Estación Experimental Agraria Arequipa del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, Arequipa) (resumen de resultados en Anexo 2). El suelo de cultivo presentó contenidos altos en materia orgánica, fósforo, nitrógeno y potasio, con baja retención de humedad y buena capacidad de aireación.

(a)



(b)

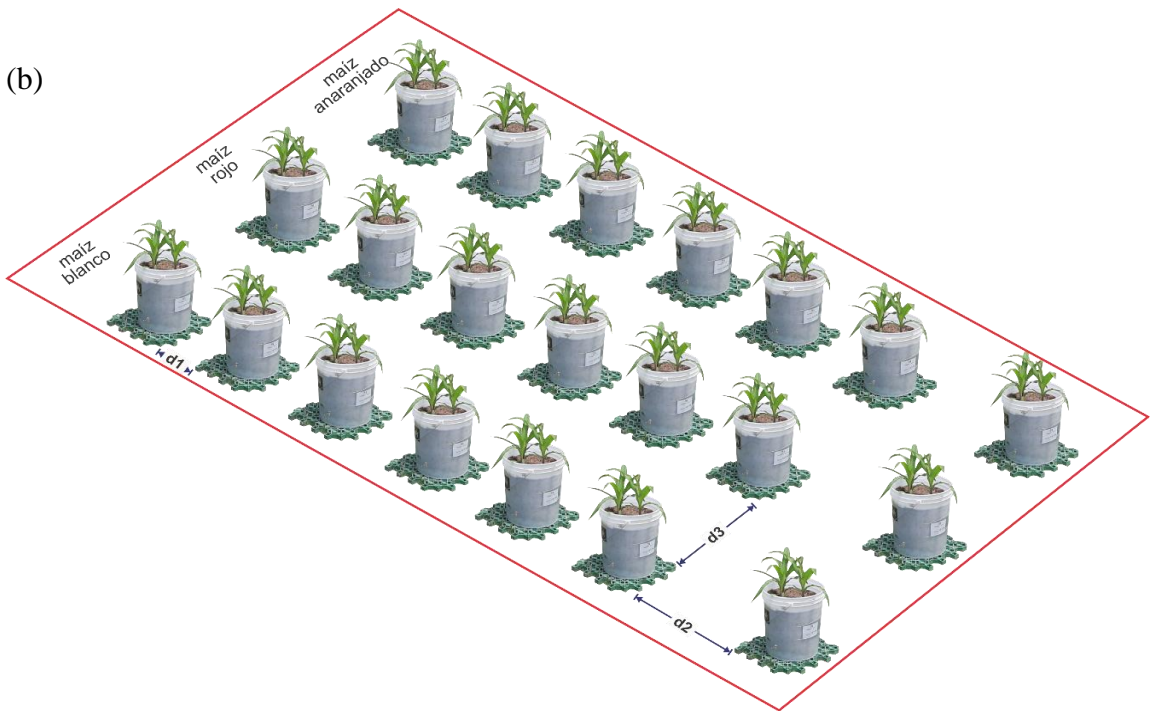


Figura 8: Diseño del cultivo de maíz Cabanita de tres pigmentaciones (blanco, rojo y anaranjado)

(a) Esquema de distribución global de la siembra de maíz Cabanita blanco, rojo y anaranjado.

(b) Magnitudes de la distribución entre macetas de maíz blanco, rojo y anaranjado.

d1: 50 cm de espacio entre macetas de una misma pigmentación de maíz y fecha de siembra.

d2: 100 cm de espacio entre macetas de una misma pigmentación de maíz en diferente fecha de siembra (diferencia de 1 semana)

d3: 100 cm de espacio entre macetas de diferente pigmentación.

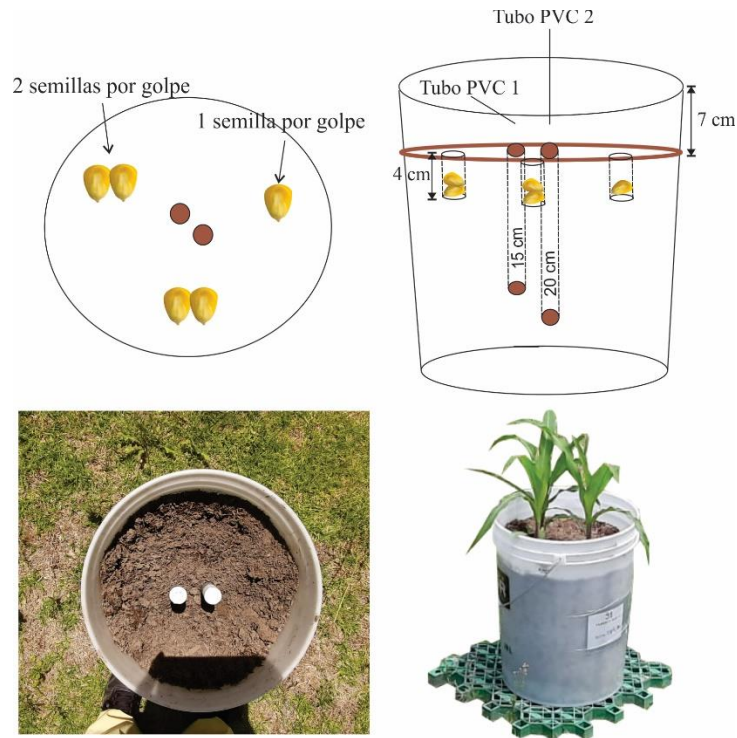


Figura 9: Diseño de la siembra del maíz Cabanita por maceta, la localización de los tubos de PVC para la fertilización y acondicionamiento de la maceta

Con base en los resultados del análisis de suelos, se determinó que era necesario agregar urea y NPK en una cantidad de 7,5 y 4,5 g, respectivamente en total a cada maceta durante el desarrollo de la planta. La 1ra fertilización se aplicó en una primera etapa a las 2 semanas luego de la siembra utilizando 1/3 de la cantidad total de fertilizantes (2,5 g para urea y 1,5 g NPK, respectivamente). La segunda fertilización (los 2/3 restantes de los fertilizantes, 5 g para urea y 3 g NPK, respectivamente) se realizó cuando se observó la presencia de 6 a 7 hojas por planta de maíz (aproximadamente a las 3 semanas). La adición de los fertilizantes en cada maceta se realizó a través de los 2 tubos de PVC, luego de cada aplicación se retiraron los tubos respectivos, y los espacios fueron cubiertos con tierra preparada.

Durante el crecimiento de la planta se continuó con la fertilización a través de la aplicación de nutriente foliar (Bayfolan, 10 ml/l) y urea (8-5,5 g/l) diluida en el agua de riego por maceta desde la semana once hasta la semana trece, aplicada por aspersión. Se aplicó riego según la capacidad de campo (inspección visual de la humedad de la tierra hasta 5 cm de profundidad) 2 veces por semana.

El control fitosanitario de plagas se realizó también en la semana once con el fin de prevenir la infestación de las plantas con insectos y contaminación con hongos aplicando procedimientos convencionales para el caso del maíz. Para el control de los insectos, se utilizó insecticida comercial (Coragen) en combinación con el uso de trampas ecológicas (de color amarillo con pegamento entomológico). Para el control de hongos se utilizó un fungicida comercial (DK Kurt). Ambos productos fueron aplicados junto con el fertilizante foliar, diluidos en agua en las concentraciones recomendadas por el proveedor y se aplicaron intercaladamente de manera semanal por aspersión directa a las plantas (1 semana con el fungicida y la otra con el insecticida). El deshierbe se efectuó de forma continua manualmente de manera uniforme durante todo el proceso de desarrollo de las plantas.

En el Anexo 3 se presentan fotos del desarrollo mensual de las plantas de maíz para el grupo completo y por tipo de maíz.

3.5.2. MONITOREO DE LA PLANTA DURANTE EL DESARROLLO

Durante el desarrollo del cultivo, se registró el número de plantas germinadas, su crecimiento, número de hojas, el tiempo de emergencia de la inflorescencia masculina (panoja) y femenina (estigmas), se controló la frecuencia de fertilización, las fechas de la polinización y el monitoreo de las condiciones meteorológicas.

Apenas se observó la aparición de la parte femenina de la planta, ésta se cubrió con una bolsa plástica transparente hasta la emergencia de los estigmas. La polinización se realizó manualmente a cada planta, con polen colectado de varias panojas maduras de plantas diferentes, pero del mismo tipo de maíz. Luego de la polinización, la inflorescencia fecundada se cubrió con una bolsa de papel para proteger el fruto durante todo su desarrollo. Este proceso permitió evitar la contaminación de los estigmas con polen de un tipo de maíz diferente. En el Anexo 4 se presentan fotos de algunos detalles de este proceso.

El tiempo de desarrollo de las plantas de maíz de diferente pigmentación fue variable, presentando un desarrollo más acelerado el maíz anaranjado, seguido del maíz blanco y luego el maíz rojo, con una duración de la etapa vegetativa (desde la emergencia de la plántula hasta la aparición de la panoja) de 9, 10 y 11 semanas después de su siembra,

respectivamente. La misma tendencia se presentó en la etapa reproductiva (en la aparición de los estigmas) fue más temprana en el maíz anaranjado, seguido del maíz blanco y rojo con 13, 15 y 16 semanas después de su siembra, respectivamente.

Los datos meteorológicos (precipitación, humedad relativa, temperaturas máximas y mínimas) se tomaron de los reportes emitidos por el SENAMHI, estación la Pampilla (estación más cercana al lugar de siembra) en el rango de fechas correspondientes desde la siembra hasta la cosecha de las muestras de maíz (Tabla 6). La radiación ultravioleta se midió manualmente con un medidor de índice de radiación UV. Durante la temporada de cultivo, se presentó un clima templado, humedad relativa promedio del 55 por ciento, con ausencia de precipitaciones y radiación ultravioleta de alta a muy alta según categoría reportada por la (Organización Mundial de la Salud (OMS) 2003).

Tabla 6: Datos climáticos mensuales durante el desarrollo del cultivo de maíz (desde el 2020 hasta 2021)

Condición	Tiempo (Mes)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Tmax (°C)	25,00	24,25	24,08	25,19	24,16	24,53	24,72	23,80
Tmin (°C)	8,97	10,96	11,93	11,64	11,40	9,93	8,64	7,17
PP (mm/mes)	0,00	-29,97	0,49	-40,28	-29,14	-73,99	-45,38	0,00
HR (%)	42,07	55,40	62,00	62,92	68,04	58,88	48,26	45,20
Radiación UV*	8,5	8,63	7,25	8,25	6,33	6,00	7,50	8,25

PP: Precipitación

HR: Humedad relativa

Tmáx: Temperatura máxima

Tmin: Temperatura mínima

(*) Radiación UV medida entre 11-12 am.

Fuente: SENAMHI (2021)

Los datos del monitoreo permitieron conocer el tiempo de desarrollo del maíz, determinar el momento adecuado de la polinización de las plantas, y el tiempo adecuado para la toma de muestras en diferentes estados de madurez como será descrito más adelante.

3.5.3. MUESTREO Y ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Los frutos del maíz (mazorcas) se cosecharon en 3 etapas diferentes de desarrollo del grano denominadas: leche, masa y fisiológica según los rangos de humedad alcanzados de acuerdo a lo reportado por Weber y Bleiholder (1990), Lancashire *et al.* (1991) y Nleya *et al.* (2019). El grano en la etapa “leche” se caracteriza por la presencia de un líquido blanco lechoso, y una humedad de alrededor del 80 por ciento en el grano, en la etapa “masa” cambia a una consistencia blanda y pegajosa, con una humedad de alrededor del 70 por ciento y fisiológica los granos son fisiológicamente maduros, se caracteriza por la presencia de una capa negra ubicada desde la punta de los granos hasta los granos basales, presenta una humedad de alrededor del 40 por ciento (Weber y Bleiholder 1990; Nleya *et al.* 2019). En el presente estudio, una réplica biológica correspondió a las mazorcas procedentes de plantas diferentes de una misma maceta (entre 1 a 4 mazorcas). Se tuvieron en total 4 réplicas por estado de madurez y por tipo de maíz. En la Tabla 7 se presentan los valores de humedad promedio considerados para los tres tipos de maíz Cabanita, junto con los tiempos correspondientes a los “días después de la polinización” (DDP) como es usualmente reportado para diferenciar los estados de madurez en los granos como el maíz

Tabla 7: Humedad y días después de la polinización de granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez

Tipo de maíz	Estado madurez	Humedad (%)	DDP
Blanco	S1	79,2 ± 1,2	28
	S2	68,1 ± 0,3	39
	S3	45,4 ± 3,1	75
Rojo	S1	74,1 ± 2,6	33
	S2	67,7 ± 2,4	36
	S3	44,9 ± 3,3	77
Anaranjado	S1	75,1 ± 3,4	32
	S2	64,2 ± 1,3	43
	S3	46,3 ± 2,8	76

DDP: días después de la polinización; S1: Estado leche; S2: Estado masa; S3: Estado fisiológico

Las muestras colectadas fueron almacenadas inmediatamente en refrigeración desde el campo y transportadas en esas condiciones al laboratorio para el análisis de sus características físicas (mazorca y grano) y acondicionamiento dentro de un rango no mayor de 24 h. Las mazorcas fueron descascaradas manualmente, los granos fueron separados del marlo y congelados (-20 °C). Los granos de maíz fueron posteriormente liofilizados durante 60 horas, - 40 °C, y presión de vacío de 0,008 mBar. Las muestras liofilizadas se molieron con un molino analítico en nitrógeno líquido, fueron almacenados en tubos de centrifuga protegidos de la luz a -20 ° C bajo oscuridad hasta su posterior análisis.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial por tipo de maíz con 4 réplicas biológicas (Figura 10). El tiempo de siembra en 3 semanas diferentes permitió obtener las réplicas biológicas necesarias para el estudio y no fue considerada como un bloque.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron expresados como promedio \pm desviación estándar. Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza (ANOVA) con arreglo factorial, seguida del test LSD para la comparación de los promedios, y se consideró si existe diferencia significativa entre las muestras a un $p < 0,05$. Se utilizó el software Infostat (Grupo Infostat, Cordova, Argentina) (<https://www.infostat.com.ar/>) Adicionalmente, se exploraron potenciales asociaciones entre las variables evaluadas a través de un análisis de componentes principales (PCA) utilizando el software Unscrambler X versión 10.5 (Aspen Technology, Inc., Bedford, MA, USA).

ETAPA OPERACIONAL	Materia Prima	Cultivo en macetas	Colecta	Desgranado	Liofilizado, molienda y almacenamiento
			Maíz blanco B	S1	BD1
	S2	BD2	B-S2		
	S3	BD3	B-S3		
Maíz rojo R	S1	RD1	R-S1		
	S2	RD2	R-S2		
	S3	RD3	R-S3		
Maíz anaranjado A	S1	AD1	A-S1		
	S2	AD2	A-S2		
	S3	AD3	A-S3		
ANÁLISIS			- Humedad (%) - Caracterización física	- Caracterización física	- Humedad (%). - Compuestos fenólicos totales. - Perfil y contenido de polifenoles por UHPLC-DAD. - Perfil y contenido de carotenoides por UHPLC-DAD. - Capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica, inhibición del DPPH. - Capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica, inhibición del ABTS. - Actividad de inhibición de la enzima α -amilasa en las fracciones hidrofílicas y lipofílicas <i>in vitro</i> . - Actividad de inhibición de la enzima α -glucosidasa en las fracciones hidrofílicas y lipofílicas <i>in vitro</i> .

S1: Estado de madurez "leche"; **S2:** Estado de madurez "masa"; **S3:** Estado de madurez "fisiológico".

BD1, BD2, BD3, RD1, RD2, RD3, AD1, AD2, AD3: Desgranado de maíz blanco, rojo y anaranjado, en estado S1, S2 y S3 respectivamente.

B-S1, B-S2 y B-S3: Grano de maíz blanco en estado S1, S2 y S3 respectivamente, deshidratado, molido y almacenado bajo congelación a -20°C.

R-S1, R-S2 y R-S3: Grano de maíz rojo en estado S1, S2 y S3 respectivamente, deshidratado, molido y almacenado bajo congelación a -20°C.

A-S1, A-S2 y A-S3: Grano de maíz anaranjado en estado S1, S2 y S3 respectivamente, deshidratado, molido y almacenado bajo congelación a -20°C.

Figura 10: Esquema experimental para el desarrollo de la investigación

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CAMBIOS FÍSICOS DEL MAÍZ CABANITA EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ

Los estados de madurez del maíz Cabanita (S1, S2 y S3) caracterizados por los DDP (días después de la polinización) y los niveles de humedad fueron similares entre los tres tipos de maíz evaluados (Tabla 7). Sin embargo, sus períodos vegetativos (desde la emergencia de la planta hasta el final del tiempo de formación de las panojas) fueron algo diferentes (Nleya *et al.* (2019). Este período ocurrió alrededor de las 9, 10 y 11 semanas después de la siembra en el caso de los tipos de maíz anaranjado, blanco y rojo, respectivamente. En consecuencia, el inicio del período reproductivo (emergencia de la inflorescencia femenina) fue más temprano en el maíz anaranjado (13 semanas después de la siembra), seguido del blanco (15 semanas después de la siembra) y el maíz rojo (16 semanas después de la siembra). Estas variaciones posiblemente estén relacionadas con diferencias a nivel genético. Se han identificado muchos genes de rasgos cuantitativos en el maíz que controlan diversas características morfológicas y metabólicas, por ejemplo, la altura de la planta (Weng *et al.* 2011; Yang *et al.* 2014; Wang *et al.* 2019), altura de la mazorca (Yang *et al.* 2014; Farfan *et al.* 2015), tiempo de floración (Hung *et al.* 2012; Yang *et al.* 2014; Li *et al.* 2016). En los experimentos de cultivo se aplicaron condiciones homogéneas de fertilización, riego, suelo (tierra preparada), y manejo fitosanitario, pero se utilizaron semillas procedentes de una colecta previa según fue descrito en la sección anterior. La calidad de la semilla juega un papel importante al ser la fuente de nutrientes en los primeros estadios del periodo vegetativo y podría también ejercer alguna influencia en las diferencias observadas (Lu *et al.* 2021).

Los cambios físicos de mazorcas y granos de los tres tipos de maíz Cabanita a lo largo de las etapas de madurez se muestran en las Figuras 11 a 13. El desarrollo de todos los tipos de maíz se caracterizó por cambios en el color del pericarpio. El maíz blanco varió de blanco claro a blanco-amarillo en S3, lo que puede estar relacionado con la acumulación de materia seca con la madurez (Figura 11) (Hu y Xu 2011). En el caso del maíz rojo, la pigmentación

apareció en la etapa S2 como una pequeña mancha en el extremo del estigma del grano (punta) que luego se extendió hacia casi la mitad del grano en S3 (Figura 12).

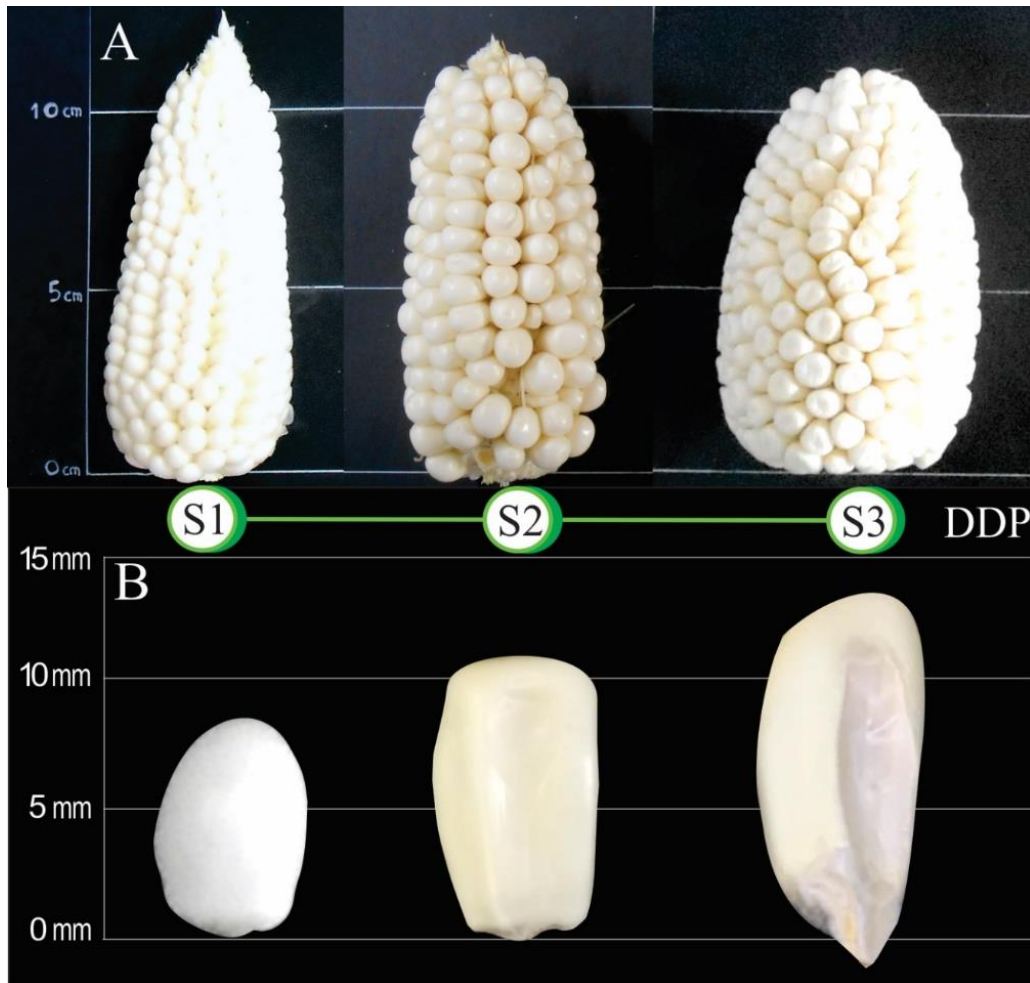


Figura 11: Desarrollo del maíz Cabanita blanco a tres estados de madurez (S1, S2 y S3, de izquierda a derecha, respectivamente)

DDP: días después de la polinización.

A: mazorcas de maíz

B: granos de maíz

Hong *et al.* (2020) observaron una tendencia similar en un maíz dulce de pericarpio morado; sin embargo, el pigmento morado se esparció por completo hasta la base del grano en la fase de mayor madurez (32 DDP). El maíz anaranjado varió de amarillo claro en S1 a anaranjado en S3 (Figura 13) y esta pigmentación solo alcanzó la mitad del grano de manera similar al caso del maíz rojo. Las variaciones en la pigmentación del maíz pueden deberse a diferencias

genéticas, que involucran a las estructuras del pericarpio, la aleurona, el germen y el endospermo (García-Lara *et al.* 2019).

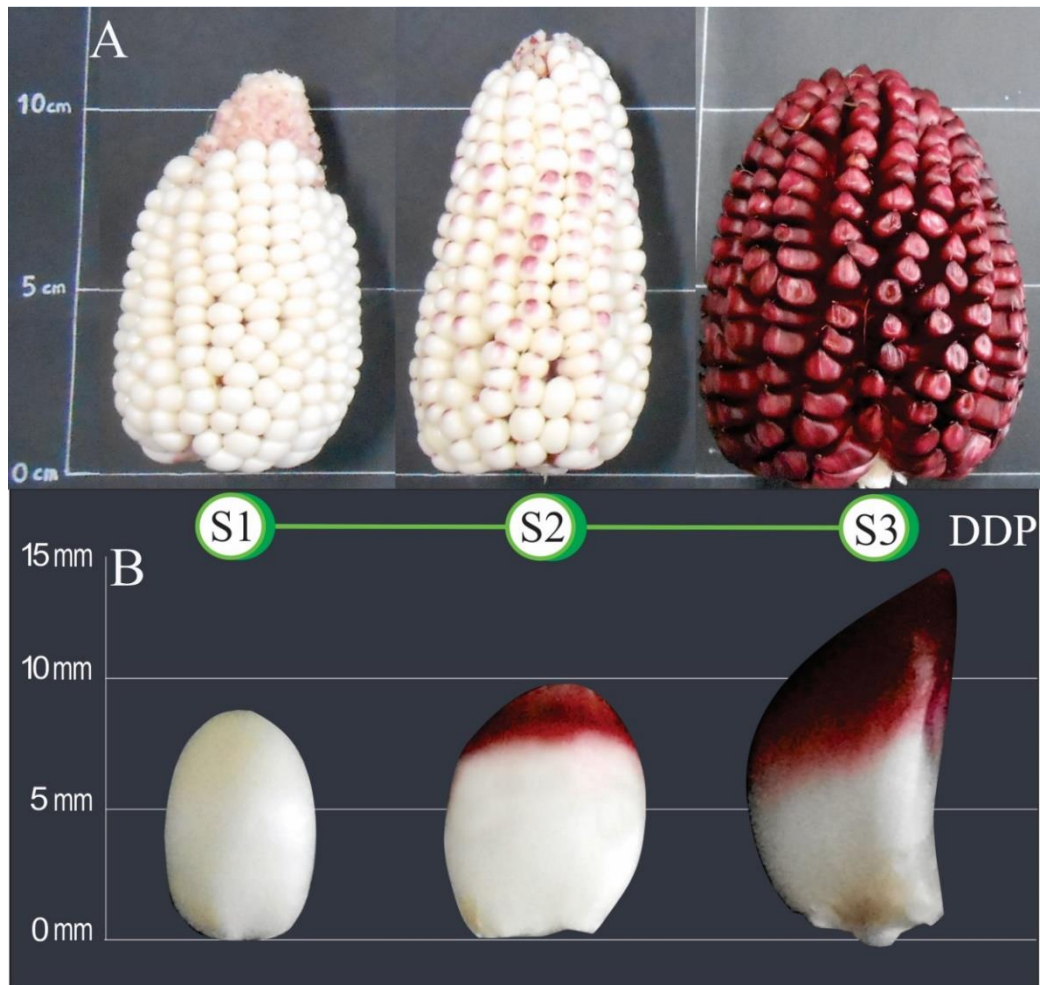


Figura 12: Desarrollo del maíz Cabanita rojo a tres estados de madurez (S1, S2 y S3, de izquierda a derecha, respectivamente)

DDP: días después de la polinización

A: mazorcas de maíz

B: granos de maíz

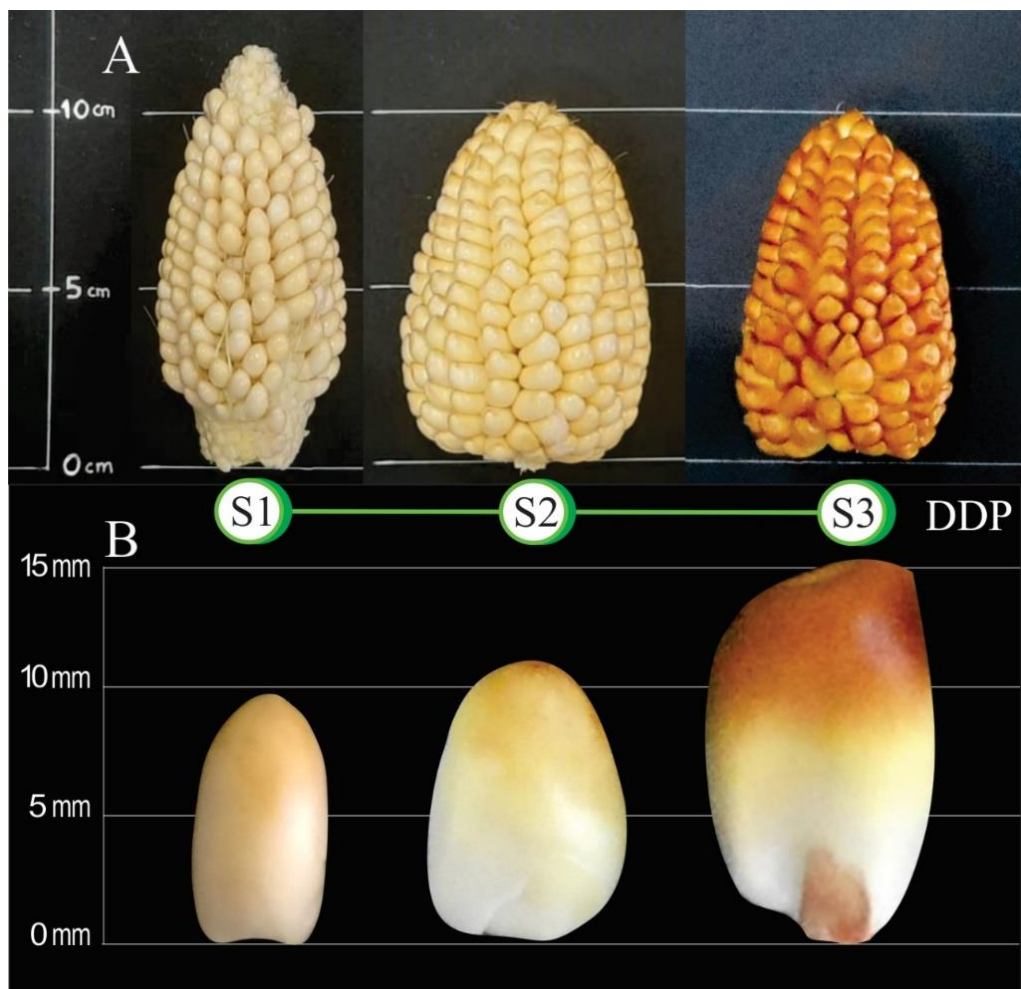


Figura 13: Desarrollo del maíz Cabanita anaranjado a tres estados de madurez (S1, S2 y S3, de izquierda a derecha, respectivamente)

DDP: días después de la polinización

A: mazorcas de maíz

B: granos de maíz

La Tabla 8 muestra las características físicas evaluadas en los granos de maíz a diferentes etapas de desarrollo. No se encontró una interacción significativa entre los factores del tipo de maíz (G) y el estado de madurez (S) en ninguno de los parámetros físicos medidos. Se presentó una mayor variabilidad de las características físicas según el estado de madurez que por el tipo de maíz. La variación del peso y diámetro de la mazorca y el ancho del grano a lo largo del período de maduración fue similar en todos los tipos de maíz. Sin embargo, la longitud de la mazorca, la longitud y el grosor del grano fueron influenciados por el tipo de maíz. La longitud de la mazorca fue mayor en el maíz blanco y rojo que en el anaranjado,

pero este último mostró rangos de longitud de grano mayores que los del maíz blanco y rojo durante su maduración. El factor del estado de madurez (S) fue significativo en todas las características físicas excepto en la longitud de la mazorca que permaneció casi constante durante la maduración, alcanzando todas las mazorcas similar longitud al llegar al estado de madurez fisiológico (9,13 cm en promedio). El peso y el diámetro de la mazorca junto con la longitud, el ancho y el grosor del grano aumentaron con la maduración.

Tabla 8: Características físicas de granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez

Color del grano	Estado	Mazorca			Grano		
		Peso	Longitud	Diámetro	Longitud	Ancho	Grosor
Blanco	S1	70,4 ± 19,8c	9,1 ± 0,7ab	4,2 ± 0,4f	0,8 ± 0,0e	0,8 ± 0,1d	0,6 ± 0,0e
	S2	150,0 ± 72,9a	9,9 ± 1,2a	5,3 ± 0,2abcd	1,1 ± 0,1cd	0,8 ± 0,1cd	0,6 ± 0,0de
	S3	138,4 ± 51,7ab	9,6 ± 0,7ab	5,6 ± 0,7abc	1,4 ± 0,1b	1,0 ± 0,1ab	0,7 ± 0,1abcd
Rojo	S1	88,8 ± 21,5bc	8,5 ± 0,9abc	4,6 ± 0,5def	1,0 ± 0,2de	0,8 ± 0,2bcd	0,6 ± 0,1cde
	S2	106,9 ± 36,6abc	9,9 ± 1,8a	5,0 ± 0,3cde	0,9 ± 0,1e	0,9 ± 0,1abcd	0,7 ± 0,1ab
	S3	144,1 ± 64,6ab	9,3 ± 0,4ab	5,8 ± 0,8a	1,4 ± 0,2b	1,0 ± 0,1abc	0,7 ± 0,1ab
Anaranjado	S1	77,0 ± 22,8c	8,1 ± 1,2bc	4,5 ± 0,6ef	1,2 ± 0,1c	0,8 ± 0,1bcd	0,7 ± 0,0bcde
	S2	76,0 ± 16,8c	7,4 ± 0,9c	5,1 ± 0,3bcde	1,2 ± 0,1c	0,8 ± 0,1cd	0,7 ± 0,0abc
	S3	121,1 ± 18,3abc	8,6 ± 0,7abc	5,8 ± 0,5ab	1,7 ± 0,2a	1,0 ± 0,1a	0,8 ± 0,1a
Valor de F	Grano (G)	1,5 ^{ns}	7,2 ^{**}	0,2 ^{ns}	17,3 ^{****}	0,5 ^{ns}	4,4 [*]
	Estado (S)	5,8 ^{**}	1,0 ^{ns}	19,7 ^{****}	66,2 ^{****}	9,3 ^{***}	7,8 ^{**}
	G x S	1,1 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,5 ^{ns}	2,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,7 ^{ns}

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (*p<0,05; ***p<0,001 y ****p<0,0001; ns: no significativo)

En general, el parámetro físico relevante en el rendimiento (peso de la mazorca) fue similar en todas las clases de maíz; sin embargo, se han observado algunas diferencias morfológicas entre los tipos de grano (Figuras 11-13). Fuentes-Cárdenas *et al.* (2022) no encontraron diferencias en las características físicas entre las muestras de maíz CAW, CCR y COM (que son los progenitores del maíz blanco, rojo y anaranjado evaluados en el estudio actual), sin embargo, en ese trabajo se analizaron mazorcas maduras y secas.

4.2. CONTENIDOS Y PERFILES DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE TRES TIPOS DE MAÍZ CABANITA EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ

Los perfiles y contenidos de compuestos fenólicos determinados en las fracciones fenólicas libres y ligadas de las muestras de maíz Cabanita se muestran en la Tabla 9. En las Figuras 14, 15 y 16 se muestran los cromatogramas de los AHB (a 280 nm), y en las Figuras 17, 18 y 19 los AHC (a 320 nm) detectados en la fracción fenólica libre de las muestras de maíz Cabanita.

Tabla 9: Perfiles y contenidos fenólicos por UHPLC (mg/100 g bs) en granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez

Fracción	Compuestos	Blanco			Rojo			Anaranjado			Valor F		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	Grano (G)	Estado (S)	G x S
Libre	AHB-1	30,6 ± 11,2a	16,6 ± 2,6c	2,8 ± 1,0d	23,2 ± 4,7abc	22,2 ± 1,6bc	2,5 ± 1,8d	27,6 ± 9,5ab	17,4 ± 1,3c	5,9 ± 1,8d	0,10 ^{ns}	58,83 ^{****}	1,78 ^{ns}
	AHB-2	0,06 ± 0,05a	ND ¹	ND	ND	ND	ND	0,11 ± 0,08a	ND	ND			
	Derivados del ácido vanílico ²	13,6 ± 1,4a	5,6 ± 1,2c	2,0 ± 1,1d	10,8 ± 3,5ab	9,6 ± 1,2b	2,5 ± 0,5cd	11,4 ± 4,8ab	5,2 ± 1,2c	2,5 ± 0,5cd	0,98 ^{ns}	58,05 ^{****}	2,88 [*]
	<i>Total AHB</i>	44,2 ± 11,6a	22,2 ± 3,1c	4,8 ± 2,0d	34,1 ± 7,8b	31,8 ± 1,9bc	5,1 ± 2,2d	39,2 ± 14,2ab	22,6 ± 2,1c	8,4 ± 1,8d	0,01 ^{ns}	69,29 ^{****}	2,47 [*]
	Derivados del ácido <i>p</i> -cumárico ³	0,8 ± 0,3cd	0,6 ± 0,2cd	2,2 ± 0,9a	0,4 ± 0,1cd	0,3 ± 0,1d	1,1 ± 0,4bc	0,6 ± 0,2cd	0,53 ± 0,04cd	1,6 ± 0,8ab	5,39 [*]	22,38 ^{****}	1,02 ^{ns}
	Derivados del ácido ferúlico ⁴	3,3 ± 0,5 ^a	1,4 ± 0,2c	1,7 ± 0,5c	2,5 ± 0,5b	2,8 ± 0,5ab	1,7 ± 0,8c	2,5 ± 0,5b	1,2 ± 0,3c	1,7 ± 0,4c	3,96 [*]	18,79 ^{****}	6,44 ^{***}
	Derivados del ácido cafeico ⁵	ND	0,2 ± 0,1bc	1,2 ± 0,6a	ND	ND	1,5 ± 0,6a	0,03 ± 0,00bc	0,02 ± 0,00c	0,6 ± 0,6b			
	<i>Total AHC</i>	4,1 ± 0,8abc	2,1 ± 0,2de	5,1 ± 1,3a	3,0 ± 0,6cde	3,1 ± 0,5bcd	4,3 ± 1,0ab	3,1 ± 0,6bcd	1,7 ± 0,3e	3,8 ± 1,7bc	3,07 ^{ns}	17,15 ^{****}	1,78 ^{ns}
	Derivados de luteolina ⁶	ND	ND	ND	ND	ND	ND	22,7 ± 12,5a	11,3 ± 4,9ab	5,1 ± 4,4b			
	Total Antocianinas ⁷	ND	ND	ND	0,6 ± 0,2a	1,4 ± 1,3a	14,5 ± 18,7a	ND	ND	ND			
	<i>Total Flavonoides</i>	ND	ND	ND	0,6 ± 0,2b	1,4 ± 1,3b	14,5 ± 18,7ab	22,7 ± 12,5a	11,3 ± 4,9ab	5,1 ± 4,4b			
	Total UHPLC libre	48,3 ± 11,6b	24,3 ± 3,2cde	10,0 ± 3,3f	37,6 ± 8,2bc	36,2 ± 3,5bcd	23,8 ± 17,7de	65,0 ± 14,1a	35,6 ± 4,8bcd	17,3 ± 3,9ef	4,80 [*]	38,22 ^{****}	4,11 [*]
	Libre – TPC⁸	57,9 ± 17,3ab	27,0 ± 3,2c	32,3 ± 3,3c	38,0 ± 6,5bc	44,6 ± 6,5abc	53,6 ± 26,1ab	53,0 ± 11,4ab	37,6 ± 6,2bc	58,7 ± 23,5a	1,72 ^{ns}	3,13 ^{ns}	2,93 [*]
	Ligada	Ácido <i>p</i> -cumárico	4,9 ± 1,2bc	5,2 ± 1,1bc	7,5 ± 1,9ab	6,4 ± 4,3abc	4,1 ± 1,1c	9,4 ± 2,6a	5,9 ± 0,5bc	7,8 ± 2,4ab	7,2 ± 2,2abc	0,77 ^{ns}	4,28 [*]
Ácido ferúlico		163,3 ± 7,4abc	150,1 ± 14,9bc	133,2 ± 21,2c	161,9 ± 42,8abc	142,5 ± 17,7c	177,2 ± 12,0ab	190,3 ± 11,8a	179,3 ± 23,5ab	177,5 ± 29,2ab	6,84 ^{**}	1,29 ^{ns}	1,64 ^{ns}
Derivados del ácido ferúlico ⁴		8,5 ± 0,7d	10,8 ± 0,5d	11,6 ± 6,0d	12,0 ± 3,0cd	10,6 ± 4,1d	19,4 ± 2,4ab	13,1 ± 1,2cd	16,7 ± 6,2bc	22,0 ± 1,9a	11,92 ^{***}	11,08 ^{***}	1,75 ^{ns}
Total UHPLC ligados		176,7 ± 7,9abc	166,1 ± 16,4bc	152,3 ± 28,4c	180,3 ± 49,8abc	157,1 ± 21,9c	206,0 ± 12,4a	209,4 ± 13,2a	203,8 ± 29,4ab	206,6 ± 29,7a	7,68 ^{**}	0,97 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Ligada – TPC⁸		155,8 ± 4,5bc	144,3 ± 10,1c	142,2 ± 38,0c	146,0 ± 23,4c	122,6 ± 35,1c	187,0 ± 7,0ab	181,3 ± 14,2ab	188,1 ± 29,9ab	197,1 ± 21,8a	11,23 ^{***}	3,12 ^{ns}	2,72 ^{ns}
Total (libre + ligada)	UHPLC TPC	225,0 ± 9,2bcd	190,4 ± 14,2de	162,2 ± 29,2e	217,9 ± 44,4bcd	193,4 ± 21,3cde	229,8 ± 22,4bc	274,4 ± 26,8a	239,4 ± 27,4ab	223,9 ± 26,8bcd	12,45 ^{***}	6,11 ^{**}	2,70 ^{ns}
	TPC⁸	213,7 ± 18,8bcd	171,4 ± 8,7e	174,5 ± 35,8de	184,0 ± 19,5cde	167,2 ± 37,6e	240,7 ± 29,1ab	234,3 ± 23,2ab	225,7 ± 32,1abc	255,8 ± 39,4a	10,90 ^{***}	4,67 [*]	3,14 [*]

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas (* $p < 0,05$; *** $p < 0,001$ y **** $p < 0,0001$); ns: no significativo. S1, S2, S3 indican etapas de madurez. ¹ No detectado. ² expresado como ácido vanílico. ³ expresado como ácido *p*-cumárico. ⁴ expresado como ácido ferúlico. ⁵ expresado como ácido cafeico. ⁶ expresado como quercetina. ⁷ expresado como cloruro de cianindina. ⁸ Fenólicos totales por Folin-Ciocalteu.

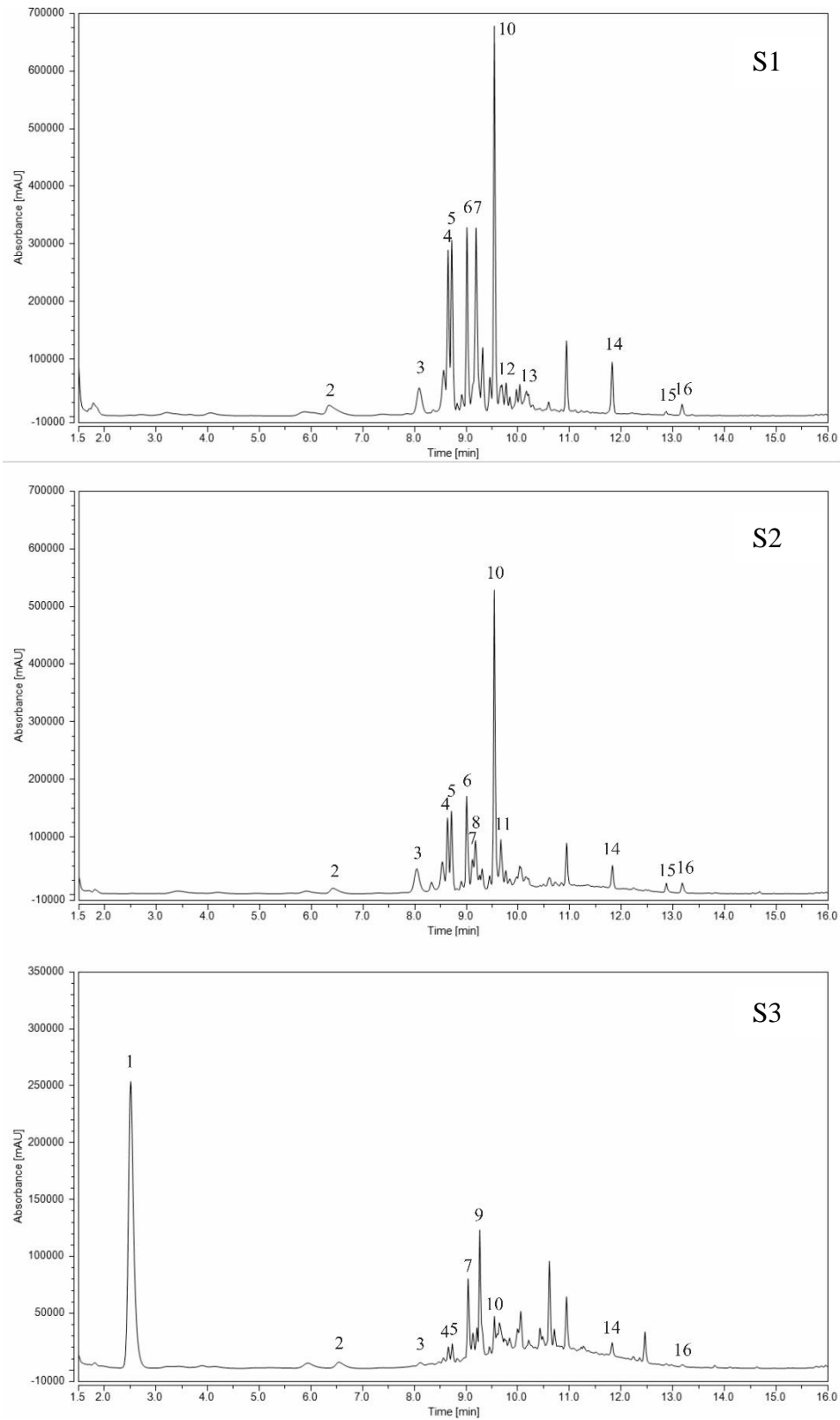


Figura 14: Perfil cromatográfico a 280 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita blanco, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 10)

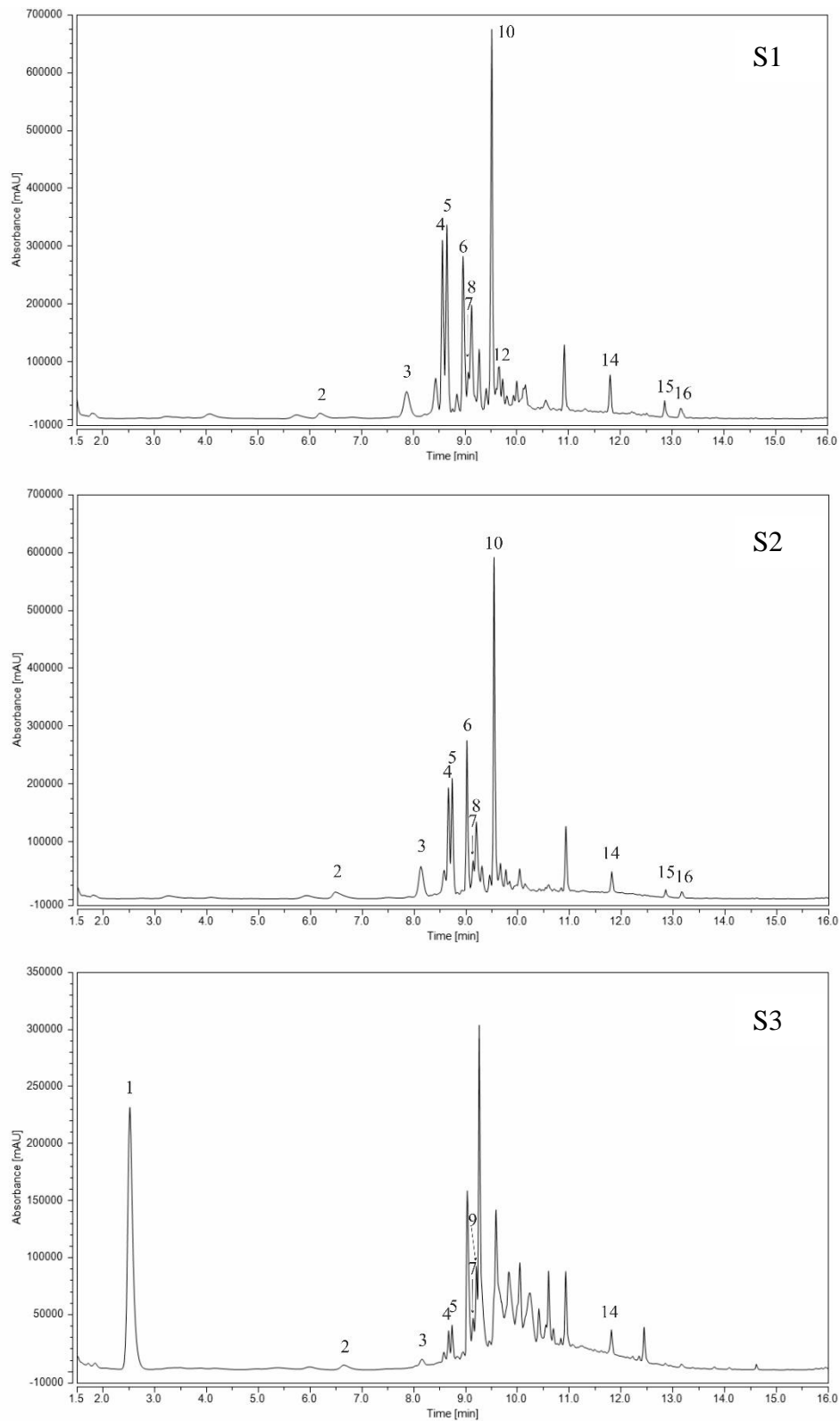


Figura 15: Perfil cromatográfico a 280 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita rojo, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 10)

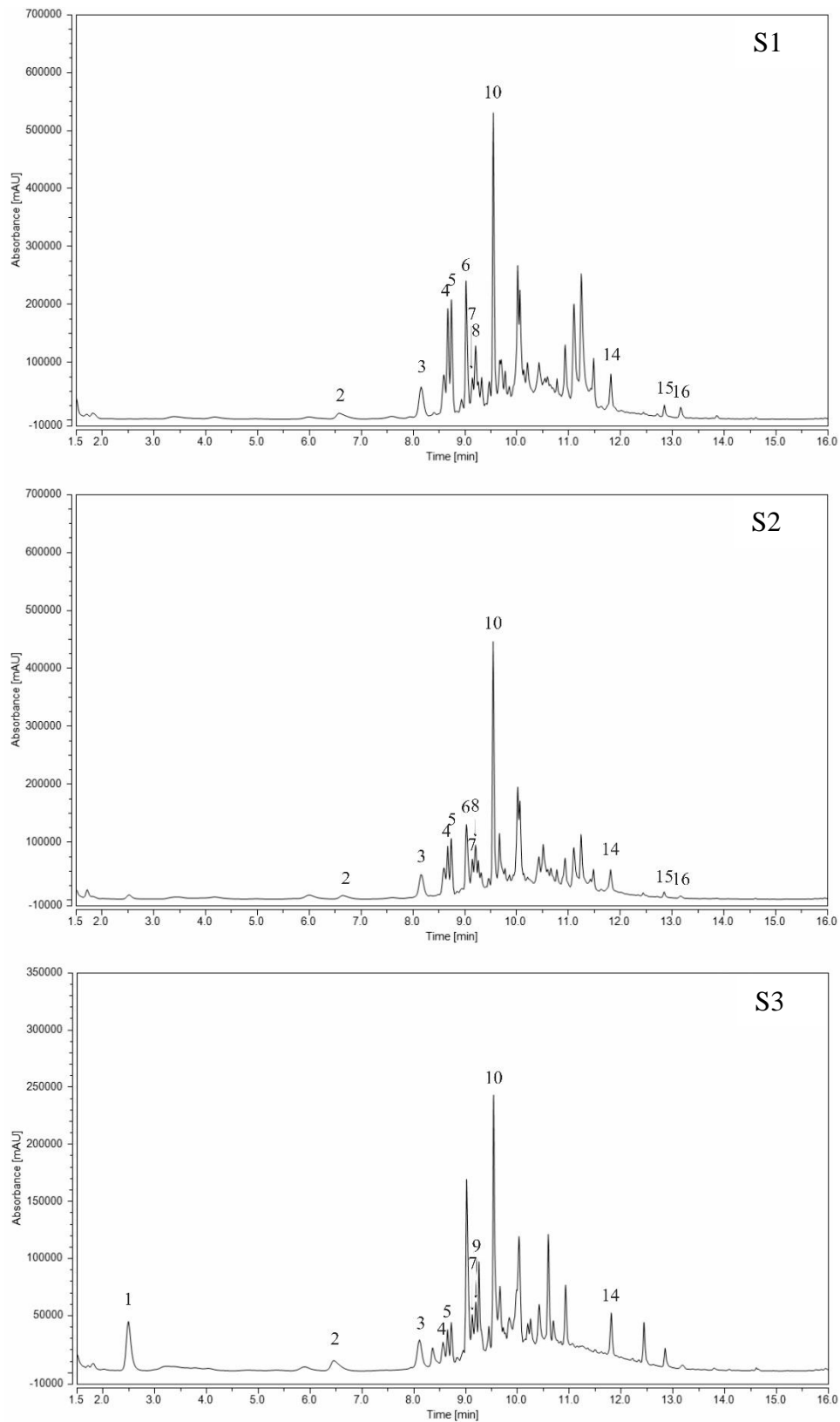


Figura 16: Perfil cromatográfico a 280 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita anaranjado, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 10)

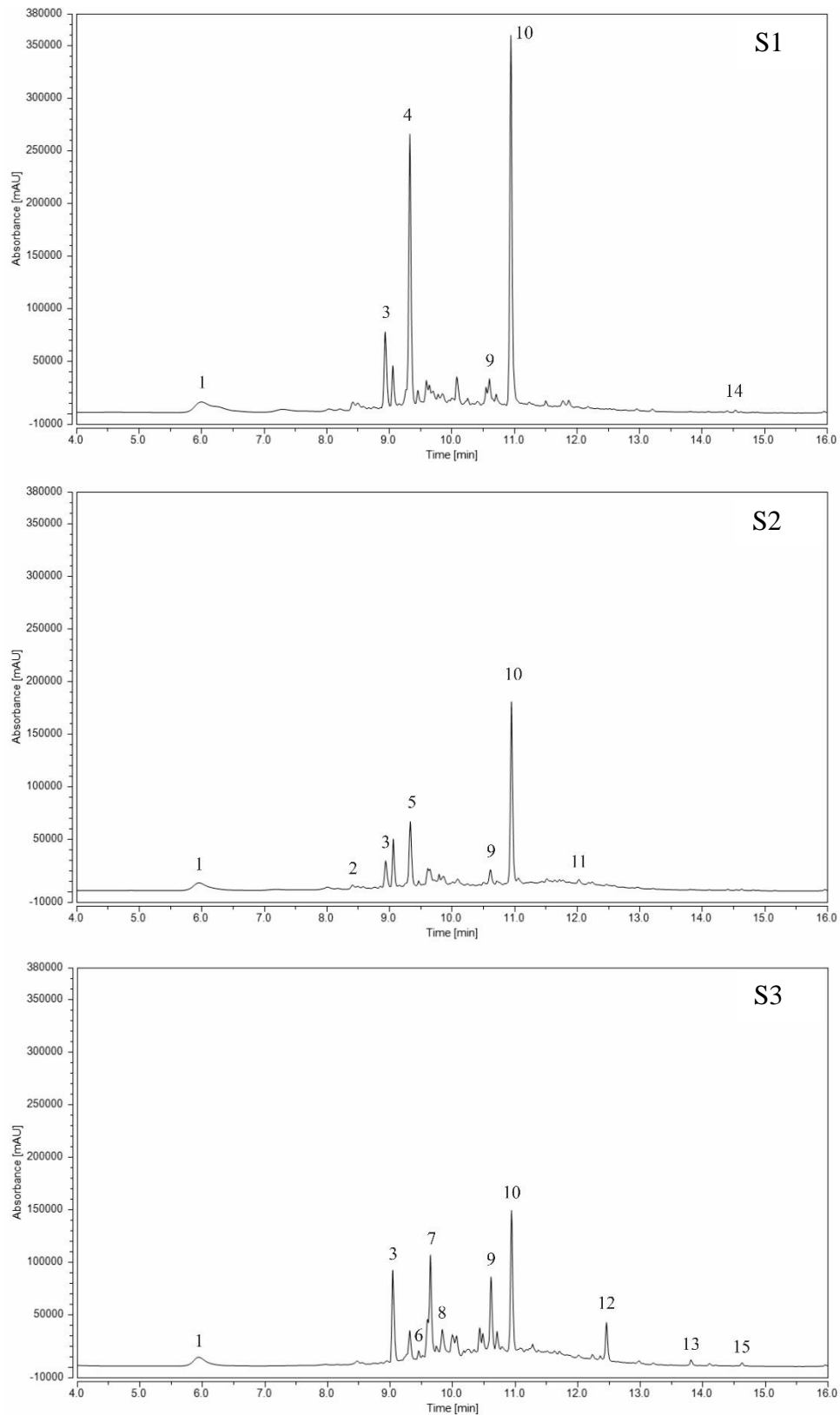


Figura 17: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita blanco, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 11)

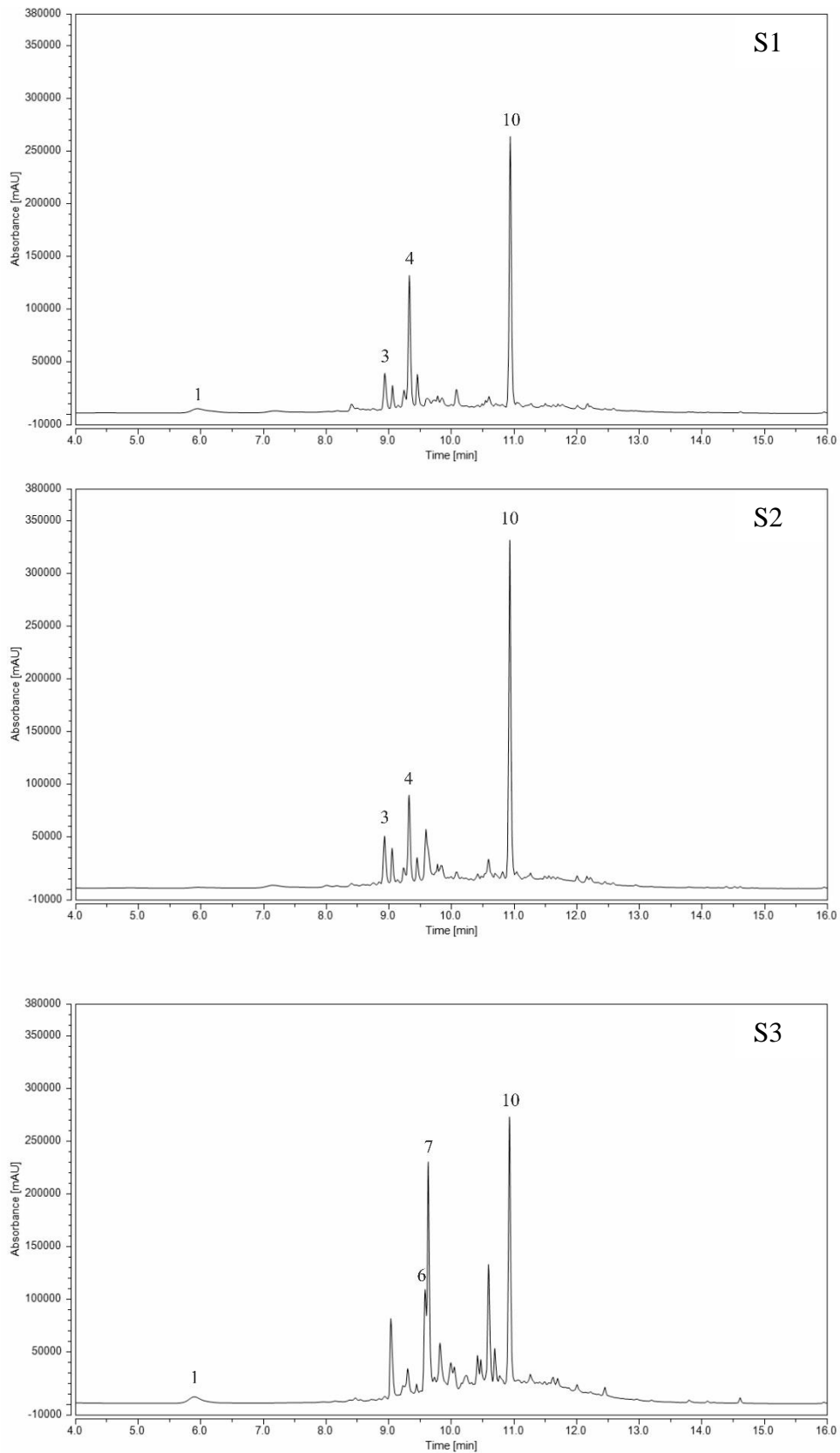


Figura 18: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita rojo, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 11)

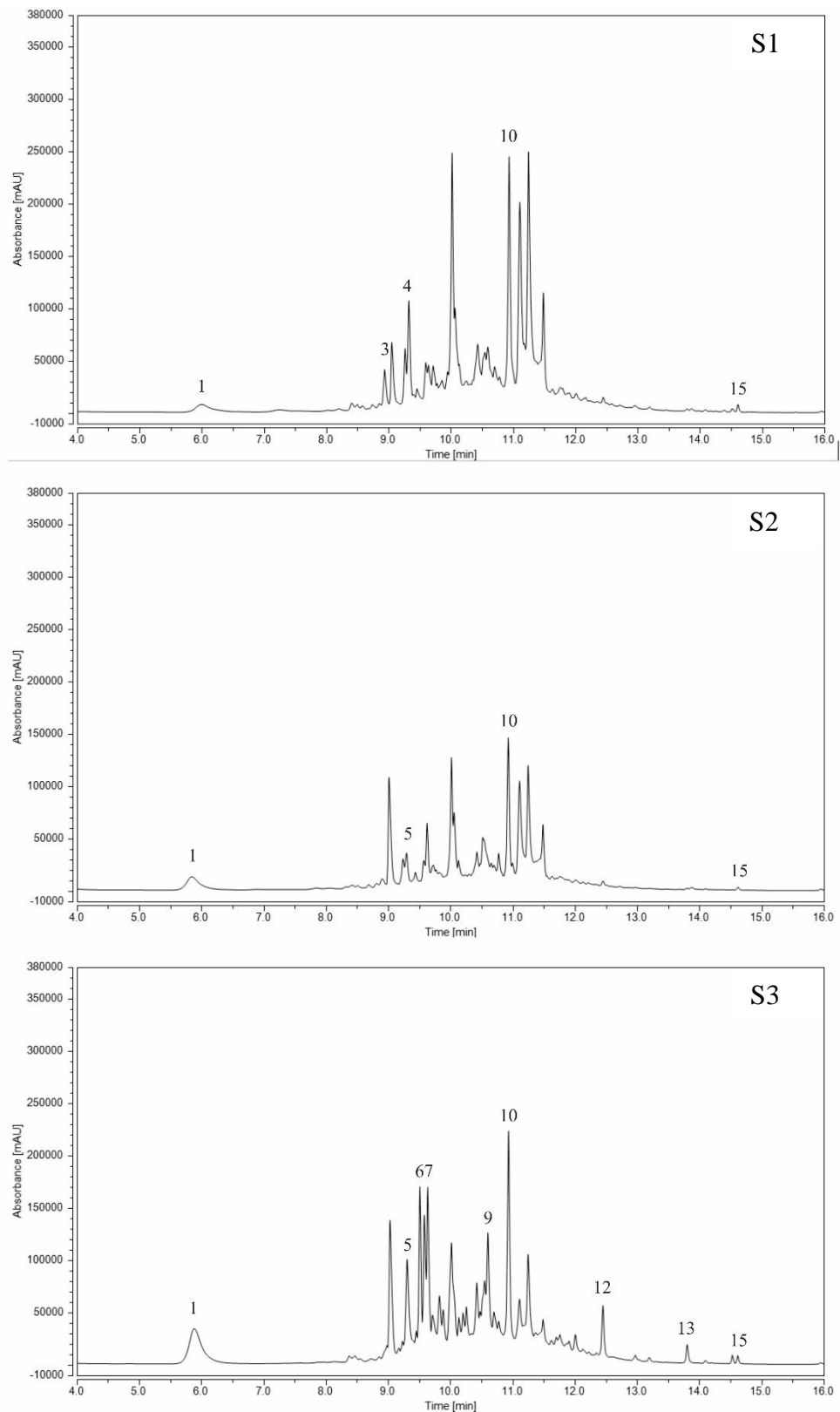


Figura 19: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos libres en maíz Cabanita anaranjado, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 11)

En el caso de la fracción fenólica libre, todas las muestras de maíz presentaron ácidos fenólicos como ácidos hidroxibenzoicos (AHB) y ácidos hidroxicinámicos (AHC). Sin embargo, algunos flavonoides específicos, como las antocianinas y derivados de luteolina, se detectaron solo en el maíz rojo y anaranjado, respectivamente. En las Tablas 10 y 11 se muestra la información sobre los tiempos de retención, los compuestos detectados y las longitudes de onda de máxima absorción de los espectros correspondientes a los picos detectados y mostrados en las Figuras 14 -19.

Tabla 10: Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los compuestos detectados en las fracciones fenólicas libres identificados a 280 nm en tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) y en tres estados de madurez (leche, masa y fisiológica)

Nº Pico	Tiempo de retención (min)	λ máx (nm)	Compuesto identificado
1	2,485-2,518	229,64; 284,41	Posible aminoácido no identificado
2	6,198-6,643	219,22; 278,78	Derivado del ácido hidroxibenzoico 1
3	7,85-8,172	218,21; 278,79	Derivado del ácido hidroxibenzoico 1
4	8,558-8,677	214,97; 249,34; 286,72	Derivado del ácido vanílico
5	8,647-8,747	249,32; 286,76	Derivado del ácido vanílico
6	8,962-9,032	219,11; 279,59; 315,76	Derivado del ácido hidroxibenzoico 1
7	9,058-9,153	248,32; 289,52	Derivado del ácido vanílico
8	9,123-9,213	219,09; 279,69	Derivado del ácido hidroxibenzoico 1
9	9,207-9,270	205,2; 265,94	Derivado del ácido hidroxibenzoico 2
10	9,51-9,558	219,54; 278,88	Derivado del ácido hidroxibenzoico 1
11	9,667-9,682	218,51; 278,85	Derivado del ácido hidroxibenzoico 1
12	9,66-9,702	209,92,46; 269,99	Derivado del ácido hidroxibenzoico 2
13	10,203-10,217	206,44; 265,09	Derivado del ácido hidroxibenzoico 2
14	11,79-11,837	219,12; 279,03	Derivado del ácido hidroxibenzoico 1
15	12,84-12,88	219,19; 279,19	Derivado del ácido hidroxibenzoico 1
16	13-13,192	218,2; 286,95	Derivado del ácido hidroxibenzoico 3

Tabla 11: Tiempos de retención, compuestos identificados y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los compuestos detectados a 320 nm en las fracciones fenólicas libres en tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) y a tres estados de madurez (leche, masa y fisiológica)

Nº Pico	Tiempo de retención (min)	λ máx (nm)	Compuesto identificado
1	5,73-6,00	205,01;312,72	Derivado del ácido p-cumárico
2	8,323-8,407	292;316,28	Derivado del ácido p-cumárico
3	8,84-8,938	205,56; 310,85	Derivado del ácido p-cumárico
4	9,272-9,328	203,37; 322,05	Derivado del ácido ferúlico
5	9,28-9,332	202,38; 312,85	Derivado del ácido p-cumárico
6	9,5-9,598	205,23; 313,13	Derivado del ácido p-cumárico
7	9,63-9,64	223,58; 329,71	Derivado del ácido cafeico
8	9,792-9,835	327,25	Derivado del ácido cafeico
9	10,59-10,708	293,01	Derivado del ácido p-cumárico
10	10,938-10,95	217,11; 323,83	Derivado del ácido ferúlico
11	12,022-12,032	328,64	Derivado del ácido cafeico
12	12,44-12,457	204,38; 293,7; 317,4	Derivado del ácido ferúlico
13	13,805-13,81	208,32; 328,33	Derivado del ácido cafeico
14	14,5-14,533	216,88; 323,57	Derivado del ácido ferúlico
15	14,6-14,62	204,45; 328,37	Derivado del ácido cafeico

Para el grupo de los AHB, sus contenidos estuvieron más influenciados por el estado de madurez (S) que por el tipo de maíz (G). La interacción de ambos factores (G x S) fue significativa sobre los derivados del ácido vanílico y los contenidos totales de AHB. Los contenidos totales más altos de AHB se observaron en la etapa S1, y el maíz blanco y anaranjado tuvieron niveles más altos que el maíz rojo (44,2, 39,2 y 34,1 mg/100 g bs, para el maíz blanco, anaranjado y rojo, respectivamente). Con la maduración del grano, las concentraciones totales de AHB disminuyeron alrededor de 80-90 por ciento en todos los casos (de S1 a S3). Se han detectado al menos 3 clases de AHB en todas las muestras de maíz Cabanita. Los principales AHB en S1 fueron AHB-1 ($\lambda_{max}=279$ nm), seguidos de derivados del ácido vanílico ($\lambda_{max}=249, 289$ nm). Los contenidos de ambos AHB

disminuyeron con la madurez para alcanzar concentraciones similares en S3. Un ácido hidroxibenzoico detectado en bajas concentraciones, no identificado y nombrado como AHB-2, solo se encontró en S1 en el maíz blanco y anaranjado. Giordano *et al.* (2017) reportaron que los niveles de ácido vanílico libre encontrados en maíz de polinización abierta de Italia con pigmentaciones variables del grano disminuyeron de 1,8-15 a 0-0,08 mg/100 g bs cuando las etapas de maduración variaron de 5 a 76 días después de la siembra (DDS), respectivamente. De igual forma, los contenidos de ácido vanílico y protocatéquico disminuyeron significativamente o desaparecieron con el desarrollo del grano del maíz ceroso desde los 86-109 hasta los 110-138 DDS (Hu y Xu 2011). Además del ácido vanílico, también se han encontrado ácidos siríngico y p-hidroxibenzoico en el maíz (Ndolo y Beta 2014; Das y Singh 2016). Los rangos de AHB libres totales del estudio actual (4,8-44,2 mg/100 g bs) fueron comparables a los niveles encontrados en los granos de maíz amarillo de la India y de los EE. UU. (~33,7 y 2,7-38 mg/100 g bs, respectivamente) (Ndolo y Beta 2014; Das y Singh 2016). Otros cereales como la cebada, el trigo y la avena han mostrado concentraciones más bajas de AHB libres (~15,5, 12,5 y 4,6 mg/100 g, respectivamente) (Ndolo & Beta, 2014).

Se observó una tendencia variable en el caso del grupo de AHC (Tabla 9) (Figuras 17, 18 y 19). Todos los tipos de maíz Cabanita presentaron derivados del ácido p-cumárico y ferúlico, mientras que se detectaron derivados del ácido cafeico en algunas etapas de madurez. Estos derivados de AHC pueden ser ácidos fenólicos conjugados solubles, como las amidas de ácidos hidroxicinámicos (AAHC), según se ha encontrado anteriormente en diferentes cereales, incluido el maíz (Collison *et al.* 2015; Yuan *et al.* 2022). Varios AAHC derivados principalmente de los ácidos p-cumárico, ferúlico y cafeico (diferuloil putrescina, N,N'-di-p-cumaroilespermina, N-p-coumaroil-N'-feruloilputrescina, cafeoilputrescina) se han reportado previamente en la fracción fenólica libre de maíz de diferentes orígenes (Bento-Silva *et al.* 2019; Burt *et al.* 2019; Lux *et al.* 2020). Por lo tanto, se necesitan más estudios para identificar adecuadamente los derivados de AHC encontrados en la investigación actual. La madurez (S) y el tipo de grano (G) mostraron un efecto importante sobre los derivados del ácido p-cumárico y ferúlico, pero la interacción de ambos factores fue significativa solo sobre los contenidos de los derivados del ácido ferúlico. Los compuestos derivados del ácido p-cumárico y del ácido cafeico aumentaron con el desarrollo del grano. El aumento de los niveles de derivados del ácido p-cumárico de S1 a S3 fue en promedio 2,6 veces, y los maíces blanco y anaranjado exhibieron rangos más altos que el rojo (0,8-2,2,

0,6-1,6 y 0,4-1,1 mg/100 g bs para maíz blanco, naranja y rojo, respectivamente). Por el contrario, los derivados del ácido ferúlico disminuyeron 32-48 por ciento de S1 a S3 en todos los tipos de maíz.

Diferentes estudios han mostrado tendencias variables de los AHC con la madurez del grano. Los contenidos de ácido ferúlico y clorogénico libre se redujeron con la maduración del grano en varias variedades de maíz italiano, y se observó la misma tendencia con el ácido ferúlico y *p*-cumárico determinados en maíz pigmentado ceroso chino (Hu y Xu 2011; Giordano *et al.* 2017). Recientemente, Hu *et al.* (2021) observaron un aumento general de los ácidos ferúlico y *p*-cumárico durante la maduración del grano de maíz dulce de China, mientras que el ácido clorogénico disminuyó (de 15 a 30 DDP) después de un aumento inicial (de 10 a 15 DDP). En la presente investigación, el contenido total de AHC disminuyó primero de S1 a S2 en el maíz blanco y naranja, y luego aumentó en S3 en todos los casos. El origen, el tipo de maíz (factores genéticos) y la época de cosecha pueden explicar las diferencias encontradas.

Las antocianinas solo se detectaron en el maíz rojo, mostrando un aumento de 0,6 mg/100 g bs en S1 a 14,5 mg/100 g bs al final de la madurez del grano. Otros flavonoides como los derivados de la luteolina fueron específicos para el maíz anaranjado, disminuyendo significativamente en un 80 por ciento de S1 a S3 (de 22,7 a 5,1 mg/100 g bs). No se detectaron flavonoides en el maíz Cabanita blanco. Hong *et al.* (2020) observaron una acumulación continua de antocianinas desde 105 mg/100 g bs a los 20 DDP hasta 179 mg/100 g bs a los 36 DDP en maíz dulce “superdulce” con pericarpio morado. El aumento del contenido total de antocianinas monoméricas con la maduración del grano también ha sido confirmado por diferentes estudios (Harakotr *et al.* 2014; Hu y Xu 2011; Mohamed *et al.* 2017). La flavona luteolina se ha encontrado en accesiones de maíz pigmentado procedentes de la región del Himalaya en la India y en algunos híbridos de maíz chino (Zhang *et al.* 2018; Trehan *et al.* 2020). Además, también se ha reportado la presencia de una C-glucosil-flavona conocida como maysina (un derivado de la luteolina) en semillas de maíz maduras (Zhang *et al.* 2018). Los derivados de luteolina encontrados en el estudio actual (λ_{max} =256, 270, 349 nm) podrían corresponder a la maysina o a compuestos similares que deberían confirmarse en estudios futuros. Sin embargo, las concentraciones de las flavonas determinadas en el presente estudio son significativamente más altas en el maíz Cabanita anaranjado en todas las etapas de madurez en comparación con los niveles

obtenidos por Zhang *et al.* (2018) (1,13 ng/g bs de maysina en semillas maduras). Las C-glucosil-flavonas han mostrado potencial neuroprotector relevante para la prevención de la enfermedad de Alzheimer (Choi *et al.* 2014; Liang *et al.* 2016).

La fracción fenólica libre total disminuyó de S1 a S3, y su composición fue variable según el estado del grano y el tipo de maíz. Los AHB fueron los compuestos más importantes en maíz blanco y rojo en S1 y S2. En el caso del grupo anaranjado, los derivados de AHB y luteolina contribuyeron en gran medida a la fracción fenólica libre total en S1 y S2. Este maíz mostró el mayor contenido de fenoles libres totales en S1 entre todas las muestras (65 mg/100 g bs). El maíz rojo fue rico en AHB en S1 y S2, mientras que las antocianinas fueron los principales contribuyentes a la fracción fenólica libre en S3.

Con relación a la fracción fenólica ligada, el compuesto principal detectado fue el ácido ferúlico, seguido de los derivados del ácido ferúlico y el ácido *p*-cumárico. En las Figuras 20, 21 y 22 se muestran los cromatogramas de la fracción fenólica ligada del maíz Cabanita blanco, rojo y anaranjado, respectivamente. En la Tabla 12 se muestra la información sobre los tiempos de retención, los compuestos detectados y las longitudes de onda de máxima absorción de los espectros correspondientes a los picos detectados y mostrados en las Figuras 20, 21 y 22.

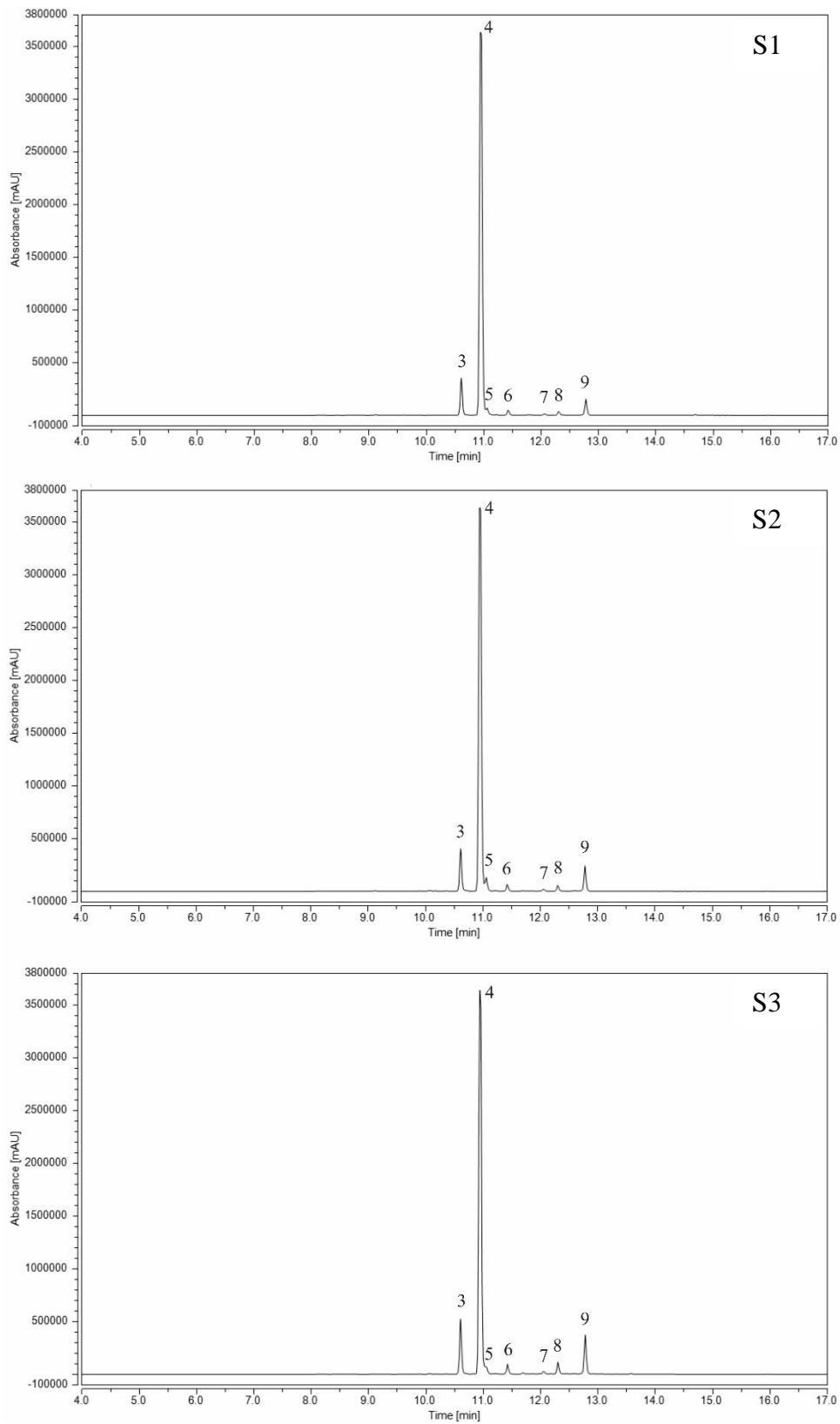


Figura 20: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos ligados en maíz Cabanita blanco, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 12)

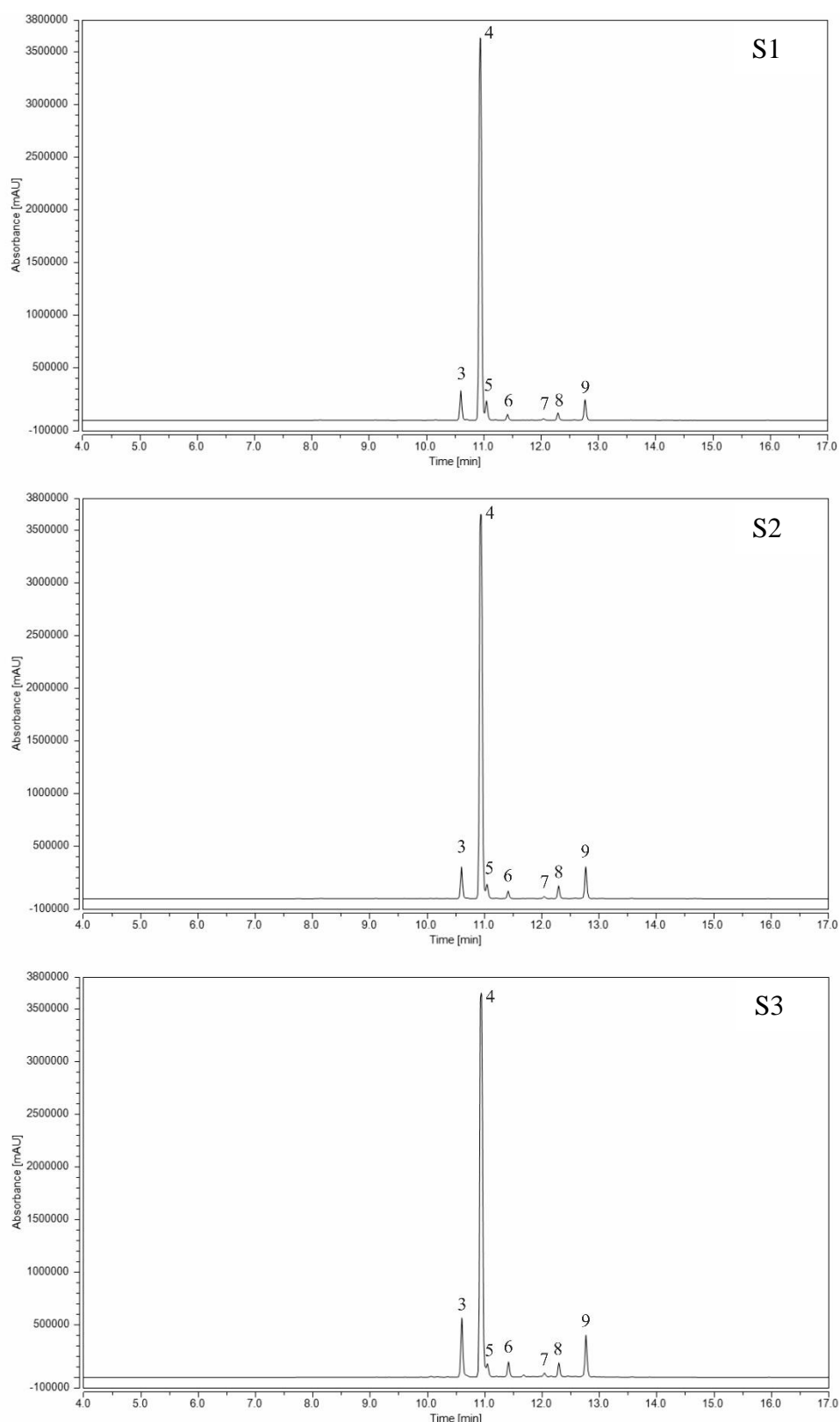


Figura 21: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos ligados en maíz Cabanita rojo, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 12)

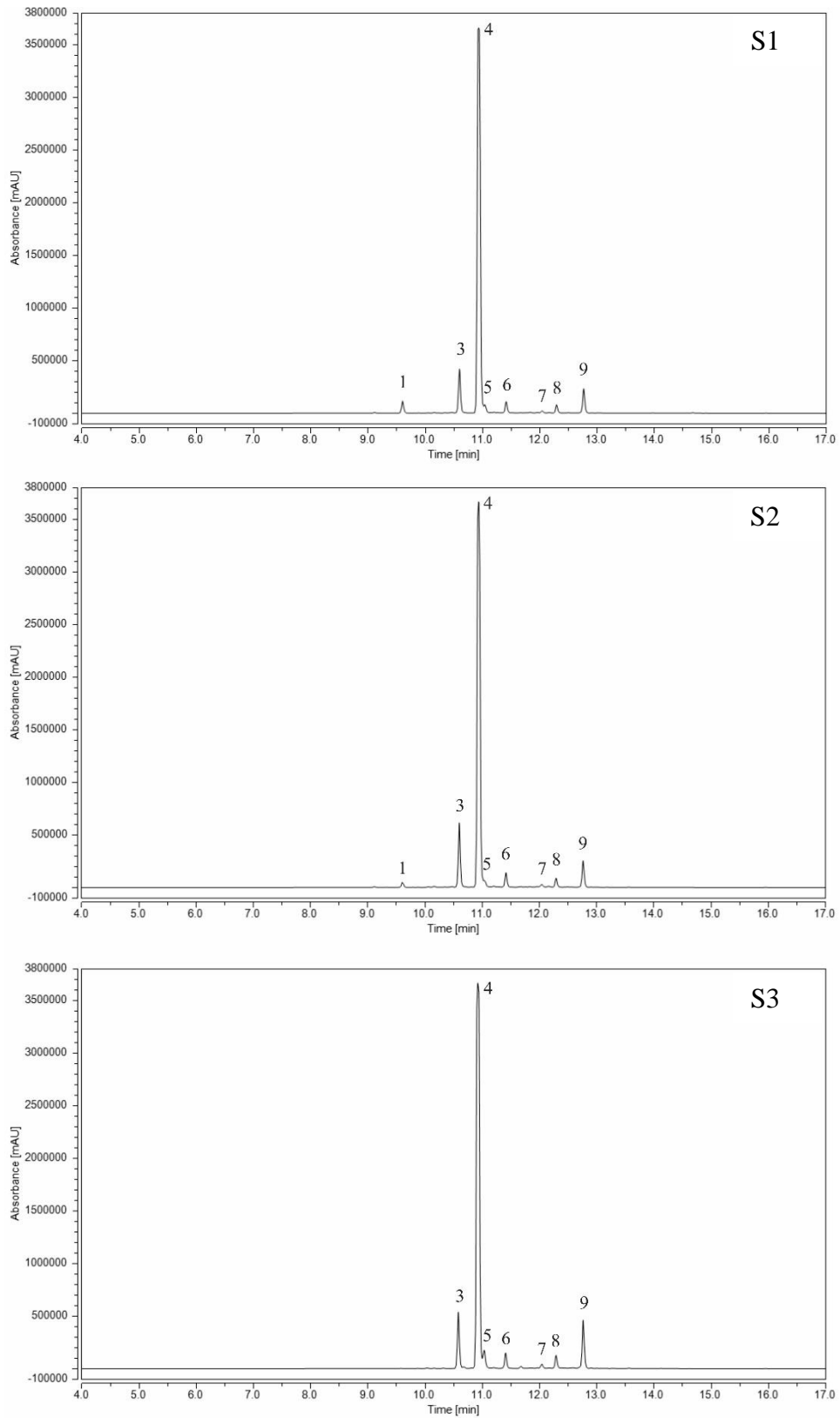


Figura 22: Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos ligados en maíz Cabanita anaranjado, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 12)

Tabla 12: Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los compuestos detectados en las fracciones fenólicas ligadas identificados a 320 nm en tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) y en tres estados de madurez (leche, masa y fisiológica)

Nº Pico	Tiempo de retención (min)	λ máx (nm)	Compuesto
1	9,56-9,608	218,35; 236,96; 323,98	Derivado de ácido ferúlico
2	10,038	209,95; 254,89; 326,09	Derivado de ácido ferúlico
3	10,575-10,625	225,89; 309,68	Acido p-cumárico
4	10,923-10,982	217,95; 236,45; 323,07	Ácido ferúlico
5	11,018-11,087	217,91; 319,35	Derivado de ácido ferúlico
6	11,402-11,49	219,24; 236,62; 323,34	Derivado de ácido ferúlico
7	12,033-12,295	236,52; 321,58	Derivado de ácido ferúlico
8	12,287-12,77	218,01; 245,3; 324,39	Derivado de ácido ferúlico
9	12,76-12,887	201,42; 324,86	Derivado de ácido ferúlico

La interacción G x S no fue significativa para ninguno de los compuestos fenólicos ligados; sin embargo, el tipo de maíz mostró un efecto importante sobre el ácido ferúlico, los derivados del ácido ferúlico y los contenidos fenólicos ligados totales determinados por UHPLC (Tabla 8). El maíz anaranjado y rojo presentaron rangos más altos de ácido ferúlico (177,5-190,3 mg/100 g bs; 142,5-177,0 mg/100 g bs y 133,2-163,3 mg/100 g bs, para el maíz anaranjado, rojo y blanco, respectivamente), y derivados del ácido ferúlico que el grupo de maíz blanco (13,1-22,0 mg/100 g bs; 10,6-19,4 mg/100 g bs y 8,5-11,6 mg/100 g bs, para el maíz anaranjado, rojo y blanco, respectivamente). Estos derivados del ácido ferúlico podrían ser ácidos fenólicos unidos a arabinosilanos, como se identificó anteriormente en maíz que incluyen a los ácidos dehidrodiferúlico, dehidrotriferúlico y dehidrotetraferúlico (Bento-Silva *et al.* 2018; Salinas-Moreno *et al.* 2017). Por lo tanto, se encontraron niveles más altos de fenoles ligados totales determinados por UHPLC en maíz anaranjado y rojo, especialmente en el estado de madurez S3 que en el maíz blanco.

El estado de madurez del grano influyó significativamente en los contenidos de ácido *p*-cumárico y derivados del ácido ferúlico. Ambos compuestos mostraron un aumento alrededor de 1,2-1,7 veces de S1 a S3. El ácido ferúlico se mantuvo casi estable de S1 a S3

en el maíz blanco y anaranjado, y se observó una tendencia similar en el respectivo contenido fenólico ligado total evaluado por UHPLC. En el caso del maíz rojo, el ácido ferúlico y los compuestos fenólicos ligados totales primero disminuyeron de S1 a S2, y su concentración aumentó aún más en S3. Resultados similares a los obtenidos para el maíz Cabanita blanco y anaranjado han sido reportados por (Zhang *et al.* 2020) en maíz amarillo. En este estudio, los contenidos de fenólicos totales se mantuvieron estables con la maduración del grano de 15 a 48 DDP (Zhang *et al.* 2020). No obstante, los niveles de ácido ferúlico y *p*-cumárico ligados se redujeron significativamente con el desarrollo del grano (de 5 a 76 DDS) en varias muestras de maíz italiano (Giordano *et al.* 2017). En otro estudio, los niveles de ácido ferúlico y *p*-cumárico ligados mostraron una tendencia variable según el genotipo de maíz (Hu *et al.* 2021).

En general, estos resultados sugieren diferencias en el metabolismo de los compuestos fenólicos durante el desarrollo del grano entre los tres tipos de maíz Cabanita. En el caso del maíz blanco y anaranjado, estaría ocurriendo un posible flujo metabólico de los precursores de los ácidos hidroxibenzoicos, como algunos intermediarios de las vías shikimato o de los fenilpropanoides hacia la biosíntesis de derivados de AHC (Marchiosi *et al.* 2020). Los AHC posiblemente estén siendo utilizados como precursores para la biosíntesis de antocianinas en el caso del maíz rojo. En el maíz anaranjado, es posible que la actividad de las enzimas involucradas en la biosíntesis de los compuestos fenólicos asociados a la estructura de la pared celular haya aumentado por sobre la actividad de las enzimas relacionadas a la biosíntesis de flavonas. Lo anterior explicaría que este tipo de maíz presente en general rangos más altos de compuestos fenólicos ligados a través del proceso de crecimiento del grano (Glagoleva *et al.* 2022; Mccallum y Walker 1991). Serían necesarios estudios a futuro a nivel transcriptómico para revelar los mecanismos moleculares involucrados en los cambios metabólicos de los compuestos fenólicos durante la maduración del maíz Cabanita.

El contenido fenólico total analizado por UHPLC (fenólicos libres+ligados) disminuyó con la madurez del grano en el maíz blanco y anaranjado, mientras que en el maíz rojo el contenido primero disminuyó de S1 a S2 y luego aumentó en S3. Las concentraciones en el estado de madurez fisiológico (S3) fueron superiores en el maíz anaranjado y rojo (223,9 y 229,8 mg/100 g bs, para el maíz anaranjado y rojo, respectivamente) que las obtenidas previamente por Fuentes-Cardenas *et al.* (2022) en los mismos tipos de maíz (134,3 y 190,9 mg/100 g bs, para el maíz anaranjado y rojo, respectivamente). Sin embargo, los autores

anteriores reportaron contenidos de compuestos fenólicos totales más altos en el maíz blanco (206 mg/100 g bs) que en la presente investigación (162,2 mg/100 g bs). Estas diferencias podrían deberse a variaciones en los tratamientos post-cosecha y diferencias en las condiciones agroecológicas para el cultivo del maíz Cabanita. En general, los contenidos fenólicos analizados con el método de Folin-Ciocalteu mostraron la misma tendencia que los analizados con el método por UHPLC. Sin embargo, se observaron diferencias en los resultados de la fracción fenólica libre, lo que puede deberse a la falta de especificidad del reactivo de Folin-Ciocalteu (Prior *et al.* 2005).

4.3. CONTENIDOS Y PERFILES DE CAROTENOIDES DE TIPOS DE MAÍZ CABANITA EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ

Los 3 tipos de maíz Cabanita en diferentes etapas de madurez también se evaluaron en relación a su composición de carotenoides (Tabla 13, Figuras 23, 24 y 25). Los contenidos de carotenoides estuvieron altamente influenciados por el tipo de maíz. Solo se encontraron xantófilas en todas las muestras de Cabanita, mientras que no se detectaron carotenos. Además, se observaron diferentes perfiles entre los grupos de Cabanita estudiados. El maíz blanco y el rojo tuvieron perfiles similares y los carotenoides principales fueron all-trans-neoxantina, un isómero de neoxantina (~13-cis-neoxantina), all-trans-zeaxantina y un isómero de luteína (~13-cis-luteína). All-trans-luteína y all-trans-zeaxantina fueron los principales compuestos en el maíz anaranjado, seguidos por 13-cis-luteína y compuestos de neoxantina. Los isómeros de β -criptoxantina junto con algunos carotenoides no identificados (2-3) solo se detectaron en este tipo de maíz. Las concentraciones de todos los carotenoides mencionados en el maíz anaranjado fueron más altas que los rangos encontrados en el maíz blanco y rojo. Se detectó un isómero de violaxantina (~9-cis-violaxantina) en maíz blanco y anaranjado en todas las etapas de madurez, y solo en S3 en el grano rojo. Esta diversidad de xantófilas se explica porque la β -criptoxantina es el precursor metabólico de la zeaxantina, que luego se metaboliza a violaxantina y posteriormente a neoxantina (KEGG 2022). Varios estudios han confirmado que los compuestos carotenoides predominantes en el maíz son generalmente luteína, zeaxantina, β -criptoxantina junto con otras xantófilas menores como zeinoxantina, anteraxantina, violaxantina, neoxantina y sus isómeros (Song *et al.* 2016; Hwang *et al.* 2016; Liu *et al.* 2018b; Baseggio *et al.* 2020).

Tabla 13: Perfiles y contenidos de carotenoides ($\mu\text{g/g}$ bs) determinados por UHPLC en granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez

Compuesto	Blanco			Rojo			Anaranjado			Grano (G)	Valor F Estado (S)	G x S
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3			
Isómero de neoxantina ² (~13-cis-neoxantina)	0,18 ± 0,02c	0,14 ± 0,04c	0,11 ± 0,02c	0,11 ± 0,04d	0,15 ± 0,05c	0,08 ± 0,01c	0,39 ± 0,07 ^a	0,29 ± 0,13b	0,31 ± 0,08ab	38,69 ^{****}	2,42 ^{ns}	1,24 ^{ns}
All-trans-neoxantina ²	0,19 ± 0,03b	0,15 ± 0,11b	0,22 ± 0,01b	0,16 ± 0,16b	0,17 ± 0,07b	0,18 ± 0,02b	0,17 ± 0,11b	0,22 ± 0,11b	0,37 ± 0,12a	2,79 ^{ns}	2,76 ^{ns}	1,21 ^{ns}
Carotenoide no identificado -1 ²	0,05 ± 0,02	ND ¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Isómero de violaxantina ² (~9-cis-violaxantina)	0,06 ± 0,02b	0,04 ± 0,02b	0,05 ± 0,01b	ND	ND	0,04 ± 0,02b	0,13 ± 0,04 ^a	0,14 ± 0,06a	0,13 ± 0,05ab			
Carotenoide no identificado -2 ²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,14 ± 0,05b	0,26 ± 0,04a	0,17 ± 0,06b			
Isómero de luteína ² (~13-cis-luteína)	0,10 ± 0,03c	0,14 ± 0,08c	0,14 ± 0,05c	0,12 ± 0,06c	0,18 ± 0,11c	0,14 ± 0,03c	0,64 ± 0,27 ^a	0,75 ± 0,24a	0,41 ± 0,04b	48,72 ^{****}	2,69 ^{ns}	2,40 ^{ns}
Carotenoide no identificado -3 ²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,12 ± 0,03 ^a	0,11 ± 0,03a	ND			
Isómero de zeaxantina ³ (~13-cis-zeaxantina)	ND	ND	ND	ND	0,03 ± 0,01c	ND	0,18 ± 0,05ab	0,21 ± 0,08a	0,12 ± 0,03b			
All-trans-luteína	0,14 ± 0,04c	0,07 ± 0,06c	ND	0,06 ± 0,03c	0,03 ± 0,02c	ND	1,48 ± 0,62b	2,00 ± 0,40a	1,02 ± 0,34b			
All-trans-zeaxantina	0,07 ± 0,04c	0,16 ± 0,04c	0,08 ± 0,03c	0,15 ± 0,07c	0,23 ± 0,06bc	0,09 ± 0,03c	1,44 ± 0,35 ^a	1,35 ± 0,20a	0,54 ± 0,22b	155,08 ^{****}	17,18 ^{****}	11,56 ^{****}
Isómero de luteína ² (~9 ó 9'-cis-luteína)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,07 ± 0,03			
Isómero de β -cryptoxantina ⁴ (~13 ó 13'-cis- β -cryptoxantina)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,17 ± 0,06a	0,20 ± 0,09a	0,06 ± 0,01b			
Isómero de β -cryptoxantina ⁴ (~9 ó 9'-cis- β -cryptoxantina)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,10 ± 0,04a	0,19 ± 0,12a	ND			
Carotenoides totales	0,77 ± 0,10d	0,69 ± 0,22d	0,62 ± 0,10d	0,66 ± 0,28d	0,84 ± 0,27d	0,56 ± 0,11d	4,7 ± 1,26b	5,87 ± 0,73a	3,19 ± 0,61c	209,22 ^{****}	10,53 ^{***}	7,21 ^{***}

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas (* $p < 0,05$; *** $p < 0,001$ y **** $p < 0,0001$); ns: no significativo. S1, S2, S3 indican etapas de madurez. ¹ No detectado. ² expresado como luteína. ³ expresado como zeaxantina. ⁴ expresado como β -criptoxantina.

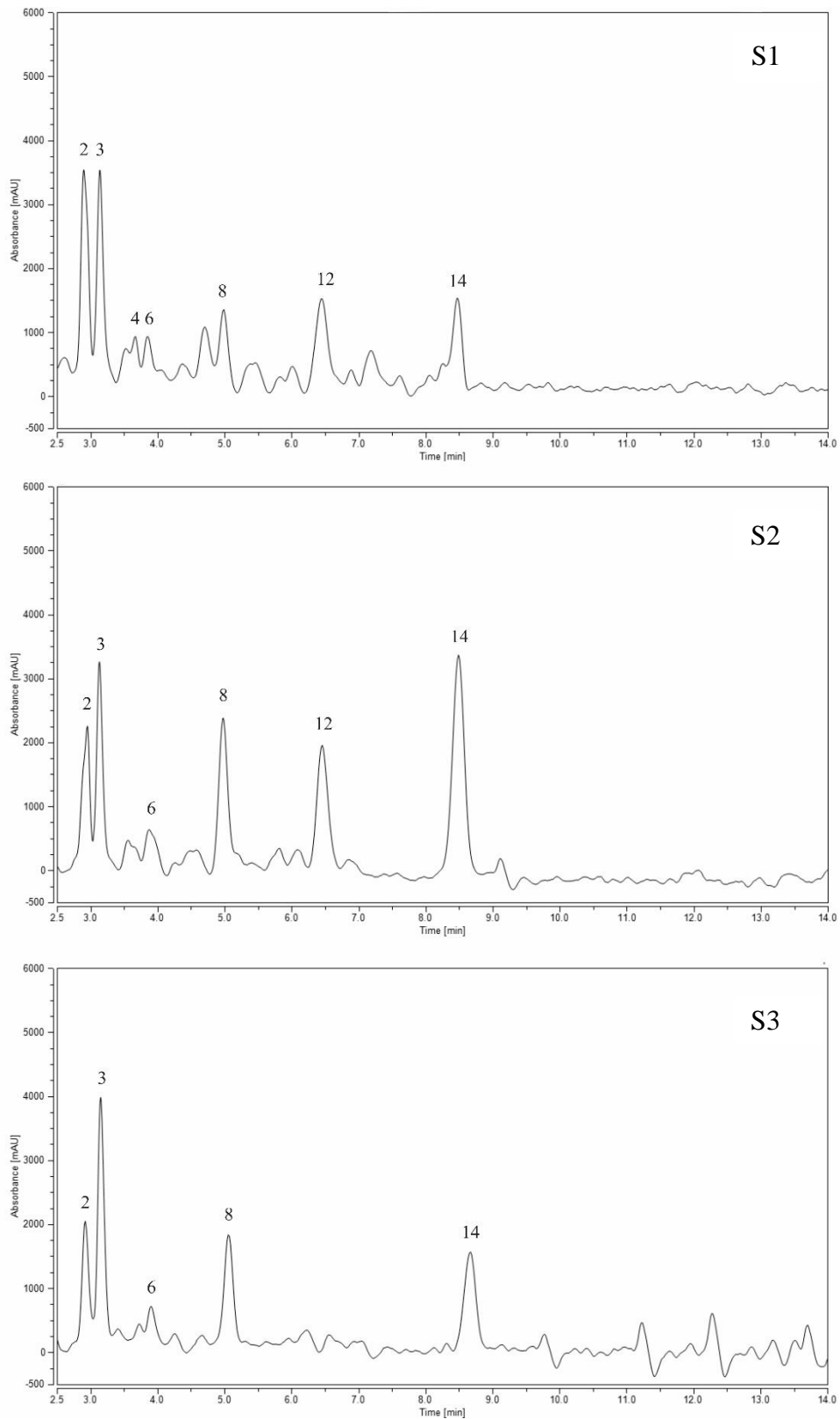


Figura 23: Perfil cromatográfico a 450 nm de compuestos carotenoides en maíz Cabanita blanco, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 14)

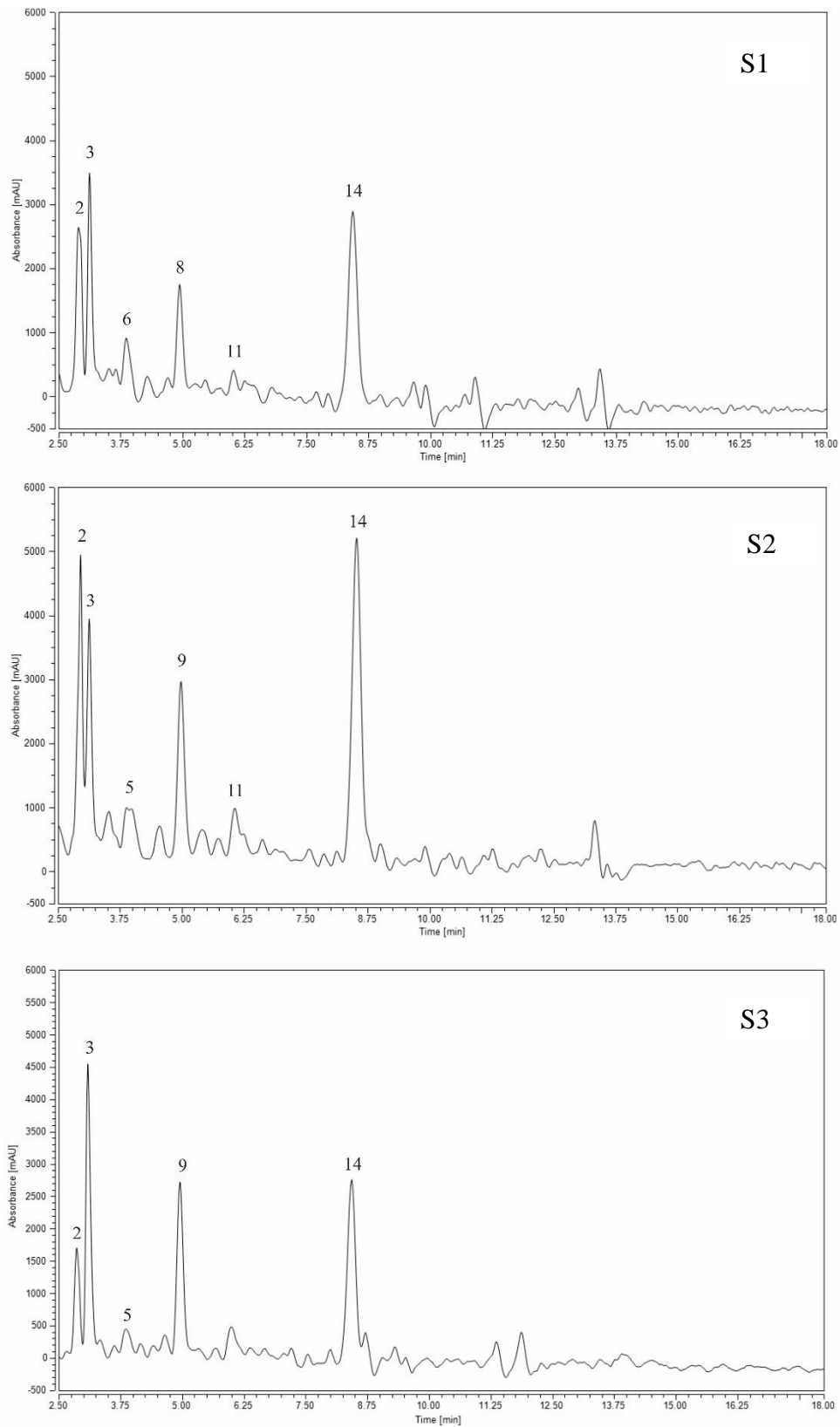


Figura 24: Perfil cromatográfico a 450 nm de compuestos carotenoides en maíz Cabanita rojo, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 14)

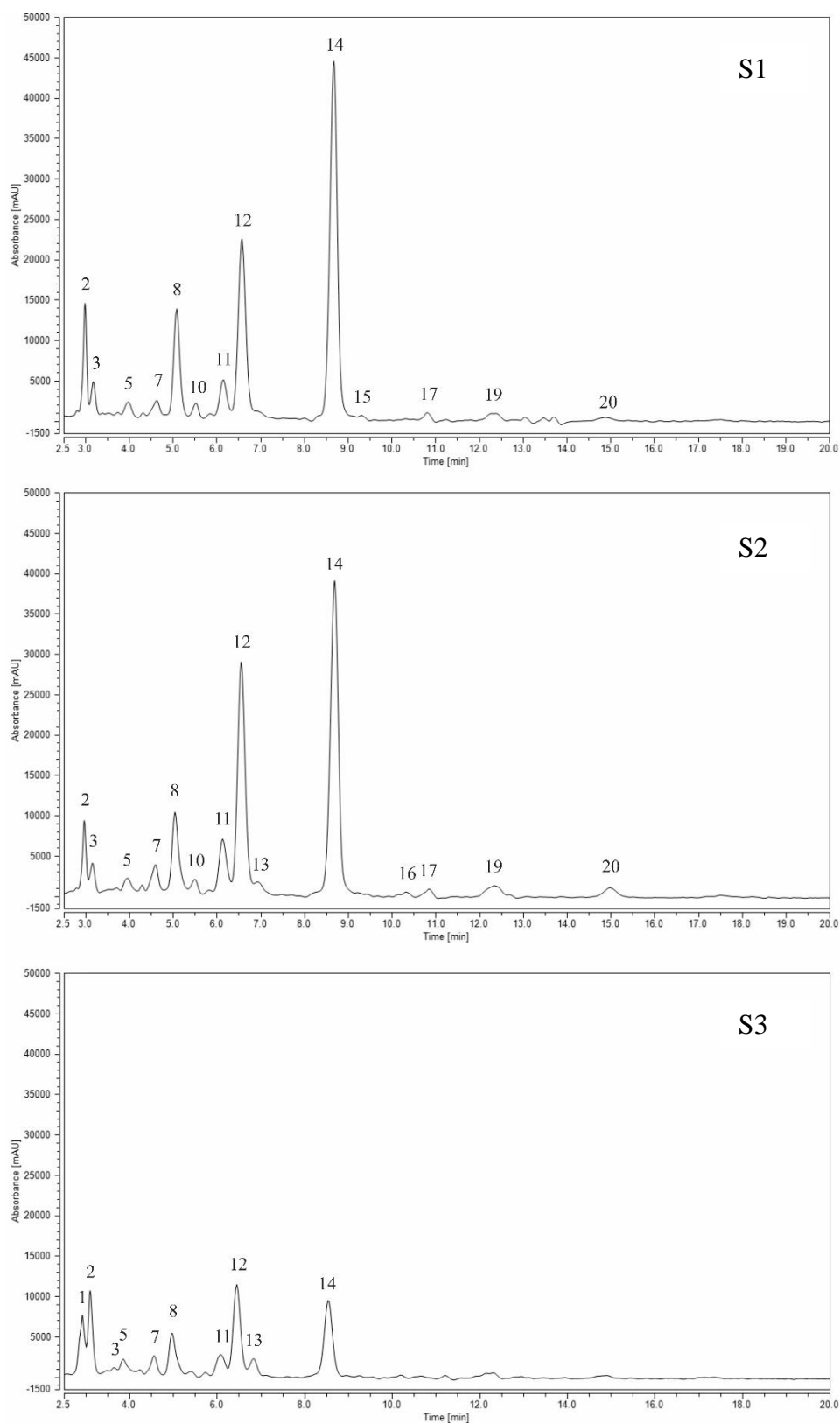


Figura 25: Perfil cromatográfico a 450 nm de compuestos carotenoides en maíz Cabanita anaranjado, en tres estados de madurez (S1, S2, S3) (La identidad de cada pico se muestra en la Tabla 14)

Tabla 14: Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los carotenoides identificados a 450 nm en tres tipos de maíz Cabanita (blanco, rojo y anaranjado) y en tres estados de madurez (leche, masa y fisiológica)

Nº Pico	Tiempo de retención (min)	λ máx (nm)	Compuesto identificado
1	2,853-2,99	468,95;440,43; 416,85	Isómero de neoxantina (~13-cis-neoxantina)
2	3,063-3,177	469,15; 440,62; 417,06	All-trans-neoxantina
3	3,623-3,7	468,6; 439,29	No identificado 1
4	3,837-3,977	464,3; 435,88 412,22	Isómero de violaxantina (~9-cis-violaxantina)
5	3,823-3,973	466,92;442,08	Isómero de violaxantina (~9-cis-violaxantina)
6	4,5-4,63	448,18; 421,71; 398,51	No identificado 2
7	4,917-5,083	465,56; 439,3	Isómero de luteína (~13 cis-luteína)
8	4,927-5,013	466,21; 440,56	Isómero de luteína (~13 cis-luteína)
9	5,36-5,523	471,04; 743,24	No identificado 3
10	5,98-6,147	474,75; 448,33	Isómero de zeaxantina (~13 cis-zeaxantina)
11	6,34-6,573	468,72; 443,73	All-trans-luteína
12	6,797-6,983	472,49; 444,55	No identificado 4
13	8,287-8,683	452,97; 427,81	All-trans-zeaxantina
14	9,12-9,303	477,02; 450,54	Isómero de luteína (~9 ó 9' cis luteína)
15	10,107-10,317	466,28; 441,53	Isómero de luteína (~9 ó 9' cis luteína)
16	10,597-10,84	467,8; 440,33; 415,57	Isómero de criptoxantina (~13 cis- β criptoxantina)
17	11,637-11,987	472,81; 442,44; 422,57	Isómero de criptoxantina (~13 cis- β criptoxantina)
18	12,133-12,34	469,91; 444,99	Isómero de criptoxantina (~13 cis- β criptoxantina)
19	14,303-14,46	471,04; 445,46	All-trans- β -criptoxantina
20	14,567-14,973	477,1; 450,73	Isómero de β -criptoxantina (~9 o 9'-cis- β -criptoxantina)

Sin embargo, también se han reportado carotenos como el α -caroteno y el β -caroteno en concentraciones comparables a las xantofilas en variedades de maíz amarillo y dulce (Uarrota *et al.* 2014; Feng *et al.* 2015; Lux *et al.* 2020). Liu *et al.* (2018) informaron que dos genotipos de maíz dulce chino mostraron perfiles y contenidos de carotenoides variables durante la maduración del grano de 10 a 30 DDP. Esto indica una influencia importante de los factores genéticos y la madurez del grano (Calvo-Brenes *et al.* 2019).

El estado de madurez y la interacción de ambos factores (G x S) influyeron significativamente en los contenidos de all-trans-zeaxantina y carotenoides totales. El isómero de neoxantina, all-trans-neoxantina, el isómero de violaxantina, y ~13-cis-luteína no mostraron cambios significativos con el desarrollo del grano en el maíz blanco y rojo, y no se detectó all-trans-luteína en S3. En general, ambos tipos de maíz mostraron concentraciones similares de carotenoides totales, que se mantuvieron ligeramente estables a lo largo del desarrollo del grano (rangos de 0,77-0,62 $\mu\text{g/g}$ bs y 0,66-0,56 $\mu\text{g/g}$ bs, para el maíz blanco y rojo, respectivamente). En el maíz Cabanita anaranjado, la luteína aumentó un ~35 por ciento de S1 a S2 (1,48 y 2,0 $\mu\text{g/g}$ bs en S1 y S2, respectivamente), pero luego disminuyó un 50 por ciento en S3 (1,02 $\mu\text{g/g}$ bs). All-trans-zeaxantina permaneció casi constante de S1 a S2 (1,44 y 1,35 $\mu\text{g/g}$ bs, respectivamente). Sin embargo, disminuyó un 60 por ciento en S3 (0,54 $\mu\text{g/g}$ bs). Se observaron reducciones similares de carotenoides en S3 en el caso de los isómeros 13-cis-luteína, 13-cis-zeaxantina, β -criptoxantina y otros compuestos no identificados. All-trans-neoxantina y sus isómeros mostraron un leve aumento en S3, lo que podría estar relacionado con una metabolización posterior de la β -criptoxantina y la zeaxantina (KEGG 2022).

Se ha publicado que los contenidos de luteína, zeaxantina, α -criptoxantina y β -criptoxantina aumentan constantemente con el desarrollo del grano de 10 a 30 DDP en maíz dulce (Liu *et al.* 2018). El aumento de zeaxantina y luteína con la maduración del grano de 16 a 24 DDP también se ha informado en otros híbridos de maíz dulce (O'Hare *et al.* 2015). Se observaron patrones variables de zeaxantina y luteína en algunos maíces dulces biofortificados con zeaxantina según el genotipo y la posición del grano en la mazorca (Calvo-Brenes *et al.* 2019). Sin embargo, en el mismo estudio se informó una acumulación global de luteína y zeaxantina (Calvo-Brenes *et al.* 2019). En la investigación actual, se evaluaron etapas de madurez más prolongadas (de 28-32 a 75-77 DDP), lo que probablemente explicaría los resultados contrastantes en comparación con estudios anteriores. Feng *et al.* (2015) han obtenido concentraciones variables de compuestos carotenoides durante el desarrollo del grano de maíz dulce (15 a 30 DDP), identificando el aumento inicial de luteína y zeaxantina, con una concentración máxima a los 21 DDP, para luego disminuir a los 30 DDP. De manera similar, Song *et al.* (2016), evaluaron los cambios de concentración de carotenoides en maíz súper dulce y de campo durante su maduración (desde la floración hasta los 32 días después de la floración), reportando el aumento inicial de luteína y zeaxantina hasta el estado de maduración leche (28 días después de la floración), para luego disminuir gradualmente. Xu

et al. (2010) evaluaron una variedad de maíz amarillo durante la maduración de 74-116 días después de la siembra (DDS), y encontraron que los contenidos de zeaxantina disminuyeron al final de la madurez del grano, mientras que los de luteína aumentaron de 74 a 98 DDS para finalmente disminuir a los 116 DDS. La reducción de las concentraciones de zeaxantina y luteína al aumentar la madurez del grano, se explicarían posiblemente debido a su conversión a otros metabolitos secundarios (Feng *et al.* 2015). Por ejemplo, la síntesis del ácido abscísico a partir de la epoxidación de la zeaxantina (precursor), se ve influenciada con el tiempo de madurez, presentando concentraciones máximas en la madurez e inicio de la latencia en la semilla, con la consecuente disminución de los niveles de zeaxantina. De manera similar, la luteína es un precursor de la formación de apocarotenoides y la síntesis de varios compuestos aromáticos durante la madurez (Deli *et al.* 2001).

El maíz anaranjado exhibió mayores contenidos de carotenoides totales (3,19-5,87 $\mu\text{g/g}$ bs) que el maíz blanco y rojo (0,77-0,62 $\mu\text{g/g}$ bs y 0,66-0,56 $\mu\text{g/g}$ bs, respectivamente). Sin embargo, los carotenoides disminuyeron significativamente en ~ 50 por ciento en S3 (de 5,87 a 3,19, en S2 y S3, respectivamente). Fuentes-Cardenas *et al.* (2022) encontraron valores de carotenoides totales más bajos en el tipo de maíz Cabanita anaranjado (1,5 $\mu\text{g/g}$ bs, código COM) que en el presente estudio. Además, no se detectaron carotenoides en los correspondientes códigos de maíz rojo y blanco (CCR, CAW) (Fuentes-Cardenas *et al.* 2022). Los carotenoides son muy sensibles a la luz, el calor y el oxígeno, por lo que las prácticas postcosecha tradicionales aplicadas por los agricultores andinos, como el secado al sol de las mazorcas de Cabanita, primero en la planta y luego en el campo durante varios días, pueden conducir a la degradación de los compuestos carotenoides.

Diversos estudios han reportado cantidades de carotenoides totales más altas que las de la presente investigación, principalmente en las variedades de maíz amarillo y dulce. Xu *et al.* (2010) encontraron concentraciones de 22,78-28,76 $\mu\text{g/g}$ bs en diferentes estados de madurez en maíz amarillo. En otro estudio, se han encontrado rangos de 0,55-43,23 $\mu\text{g/g}$ bs y 11,4-24,0 $\mu\text{g/g}$ bs en maíz dulce cosechado en etapas de madurez de 10 a 32 DDP, respectivamente (Liu *et al.* 2018; Špoljarić *et al.* 2020). Los tipos de maíz harinoso o amiláceo generalmente muestran un contenido de carotenoides más bajo que las clases de maíz duro como pop, dent o flint (Ryu *et al.* 2013). Por lo tanto, se espera encontrar menores niveles de carotenoides en el maíz Cabanita harinoso amiláceo (Fuentes-Cardenas *et al.* 2022).

4.4. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA *in vitro* EVALUADA POR LOS MÉTODOS DE INHIBICIÓN DE LOS RADICALES DPPH Y ABTS

La capacidad antioxidante se evaluó con dos métodos diferentes *in vitro* y solo en las fracciones solubles hidrofílicas y lipofílicas de las muestras de maíz Cabanita, las que serían de mayor relevancia en términos de biodisponibilidad (Tabla 15).

Tabla 15: Capacidad antioxidante *in vitro* ($\mu\text{mol ET}/100 \text{ g bs}$) de granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez

Color del grano	Estado	Inhibición de DPPH		Inhibición de ABTS	
		FH	FL	FH	FL
Blanco	S1	490,6 \pm 57,3bcd	ND	2065,2 \pm 98,7ab	36,4 \pm 5,0f
	S2	313,5 \pm 79,2cd	7,8 \pm 4,6cd	1959,7 \pm 278,1ab	45,1 \pm 7,0ef
	S3	310,7 \pm 20,7d	20,8 \pm 3,5ab	1009,0 \pm 86,0d	70,0 \pm 3,7bc
Rojo	S1	520,2 \pm 329,6bc	4,1 \pm 3,6d	2012,3 \pm 121,8ab	40,6 \pm 3,0ef
	S2	507,5 \pm 106,0bcd	14,3 \pm 7,7bc	1819,8 \pm 138,6b	48,4 \pm 12,9de
	S3	308,9 \pm 150,8d	19,9 \pm 12,5ab	1297,5 \pm 353,1c	81,0 \pm 15,0b
Anaranjado	S1	821,7 \pm 114,5a	8,0 \pm 3,4cd	2194,4 \pm 121,5a	58,9 \pm 5,5cd
	S2	582,2 \pm 135,8b	12,7 \pm 4,5bcd	1949,6 \pm 185,2ab	71,7 \pm 1,6b
	S3	422,3 \pm 53,1bcd	27,5 \pm 4,1a	1085,2 \pm 45,9cd	94,2 \pm 6,4a
Valor de F	Grano (G)	8,51**		0,38 ^{ns}	30,91****
	Estado (S)	10,05***		92,36****	68,17****
	G x S	1,24 ^{ns}		2,01 ^{ns}	0,50 ^{ns}

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (* $p < 0,05$; *** $p < 0,001$ y **** $p < 0,0001$); ns: no significativo. Dónde: FH: fracción hidrofílica, FL: fracción lipofílica

La interacción del tipo de maíz (G) y el estado de madurez (S) no fue significativa en todos los casos; sin embargo, todas las variables fueron influenciadas por el estado de madurez. La capacidad antioxidante de la fracción hidrofílica sobre el radical DPPH (DPPH-FH) disminuyó con el estado de madurez y presentó diferencias según el tipo de maíz (G significativa). El maíz Cabanita anaranjado mostró valores superiores (422,3-821,7 μmol

ET/100 g bs) que el maíz blanco y rojo (310,7-490,6 y 308,9-520,2 $\mu\text{mol ET/100 g bs}$, para el maíz blanco y rojo, respectivamente). La DPPH-FH disminuyó de S1 a S3 en 37, 41, y 49 por ciento en el maíz blanco, rojo y anaranjado, respectivamente. Sin embargo, se observó una tendencia opuesta en el caso de la capacidad antioxidante de la fracción lipofílica sobre el radical DPPH (DPPH-FL). Los valores aumentaron de S1 a S3 alrededor de 3,4 y 4,8 veces en el maíz anaranjado y rojo, respectivamente. No se detectó DPPH-FH en S1 en el tipo blanco, y se notó un aumento a 20,8 $\mu\text{mol ET/100 g bs}$ con el desarrollo del grano hasta S3.

La capacidad antioxidante de la fracción hidrofílica sobre el radical ABTS (ABTS-FH) también disminuyó con la madurez del grano en un rango de 36-51 por ciento, de manera similar al caso de la DPPH-FH. Sin embargo, el tipo de maíz no mostró un efecto importante. Los rangos fueron casi comparables entre todos los tipos de Cabanita en todas las etapas de madurez (1009,0-2065,2 $\mu\text{mol ET/100 g bs}$; 1297,5-2012,3 $\mu\text{mol ET/100 g bs}$ y 1085,2-2194,4 $\mu\text{mol ET/100 g bs}$, para las variedades blanca, roja, y maíz anaranjado, respectivamente). Sin embargo, la capacidad antioxidante lipofílica sobre el radical ABTS (ABTS-FL) aumentó 1,6-2,0 veces de S1 a S3 y el maíz anaranjado exhibió el valor más alto en S3 (94,2 $\mu\text{mol ET/100 g bs}$) entre todas las muestras (G significativo).

Los extractos hidrofílicos inhibieron fuertemente los radicales libres evaluados más que las fracciones lipofílicas, lo que indica un mayor contenido de antioxidantes hidrofílicos, como los polifenoles libres. De hecho, el contenido total de fenólicos libres por UHPLC se correlacionó significativamente con la capacidad antioxidante ($r = 0,7709$ y $r = 0,7863$, $p < 0,05$ para la DPPH-FH y ABTS-FH, respectivamente). Los ácidos hidroxibenzoicos (AHB) como los derivados del ácido vanílico mostraron una correlación positiva con esta propiedad ($r = 0,5740$ y $r = 0,7502$, $p < 0,05$ para DPPH-FH y ABTS-FH, respectivamente). Asimismo, el compuesto AHB-1 y los contenidos totales de AHB se correlacionaron con la capacidad antioxidante evaluada con ambos métodos ($r = 0,5790$ y $0,7962$, $p < 0,05$ para la DPPH-FH y ABTS-FH, respectivamente en el caso del AHB-1 y $r = 0,5900$ y $r = 0,7987$, $p < 0,05$ para la DPPH-FH y ABTS-FH, respectivamente en el caso de los AHB totales). Además, los derivados de luteolina libres también contribuyeron a la capacidad antioxidante en el grupo de maíz anaranjado ($r = 0,6246$, $p < 0,05$ para la DPPH-FH). Al igual que lo mostrado en la presente investigación, los compuestos fenólicos solubles se han correlacionado con una alta

capacidad antioxidante cuando fue determinada con los métodos de poder antioxidante reductor del hierro (FRAP) y de inhibición del DPPH en variedades locales de maíz italiano (Capocchi *et al.* 2017). Algunos flavonoides, incluidas las antocianinas, también contribuyen en gran medida a la capacidad antioxidante *in vitro* del maíz mexicano de color rojo y morado (Amador-Rodríguez *et al.* 2019; Rodríguez-Salinas *et al.* 2020). En el caso del maíz Cabanita rojo, no se encontró correlación entre los contenidos de antocianinas totales y su capacidad antioxidante, lo que puede deberse a los bajos contenidos de antocianinas encontrados en comparación con las mayores concentraciones de AHB, especialmente en las etapas S1 y S2.

En el caso de la capacidad antioxidante lipofílica, se encontró una correlación moderada entre esta funcionalidad y los contenidos de carotenoides totales ($r = 0.5354$, $p < 0.05$ con el método de inhibición del DPPH). Otros compuestos lipofílicos, como los tocoferoles y los tocotrienoles comunes en el germen de los granos de maíz, pero que no se analizaron en el estudio actual, también podrían contribuir con la actividad antioxidante de la fracción lipofílica del maíz (Siyuan *et al.* 2018). Algunos tocoferoles detectados en el grano de trigo espelta (*Triticum spelta*) han mostrado una correlación significativa con la capacidad antioxidante determinada con el método de inhibición del radical DPPH (Skrajda-Brdak *et al.* 2019).

Xu *et al.* (2010) observaron una disminución continua de la capacidad antioxidante con los métodos del DPPH y FRAP en las fracciones fenólicas libres de maíz amarillo en diferentes etapas de desarrollo (de 74 a 116 DDP). Hu y Xu (2011) y Giordano *et al.* (2017) reportaron que la capacidad antioxidante *in vitro* fue muy variable durante el desarrollo del grano de maíz según la variedad. Por otro lado, en otros estudios se ha mostrado que la capacidad antioxidante aumenta con la madurez del grano en maíz dulce y amarillo, pero en períodos de madurez más cortos (17-25 DDP y 15-48 DDP, respectivamente) que en la investigación actual (28-77 DDP) (Ledenčan *et al.* 2022; Zhang *et al.* 2020). Además, Liu *et al.* (2018) observaron que la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) de las fracciones lipofílicas de maíz dulce aumentó con la madurez del grano (10-30 DDP), mostrando una correlación con los carotenoides totales e individuales como la luteína y la zeaxantina. Las diferencias de los resultados actuales con los estudios anteriores indican una influencia importante de los factores genéticos, la etapa de madurez y el origen.

En un estudio previo con maíz peruano Cabanita blanco, rojo y anaranjado, Fuentes-Cardenas *et al.* (2022) señalaron que los compuestos hidrofílicos contribuyeron significativamente a la capacidad antioxidante *in vitro* (métodos DPPH y ABTS) que las fracciones lipofílicas, de manera similar a lo presentado en esta investigación. Sin embargo, los autores anteriores informaron una menor capacidad antioxidante ABTS-FH (566,3 - 685,4 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bs}$) en comparación a la presente investigación (1009,0-1297,5 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bs}$) en una etapa de madurez similar. Esto indica que el manejo postcosecha también juega un papel importante en la variabilidad observada de la composición bioactiva y la funcionalidad asociada.

4.5. ACTIVIDAD DE INHIBICIÓN DE LAS ENZIMAS α -AMILASA Y α -GLUCOSIDASA

La ingesta de inhibidores naturales de las enzimas que intervienen en la digestión de los carbohidratos a nivel intestinal como la α -amilasa y la α -glucosidasa, representa una estrategia dietética importante para el control de la hiperglucemia y en consecuencia para la prevención de la diabetes tipo 2 (Alam *et al.* 2019; Hossain *et al.* 2020; Kashtoh y Baek, 2022). La Tabla 16 muestra la actividad de inhibición *in vitro* de las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa de las fracciones hidrofílicas y lipofílicas de las muestras de maíz Cabanita. Todos los extractos hidrofílicos (FH) y lipofílicos (FL) del maíz inhibieron la enzima α -glucosidasa en forma dependiente de la dosis de la muestra (3-10 mg). Sin embargo, los extractos FH mostraron una mayor inhibición que las fracciones FL. El tipo de maíz (G) no tuvo una influencia significativa en la actividad inhibidora de la α -glucosidasa de las fracciones FH y FL en todas las dosis de muestra evaluadas lo que indica un potencial inhibitorio similar entre todos los tipos de maíz Cabanita. No se encontró ningún efecto de la interacción G x S en los resultados de las fracciones FH y FL, excepto a 10 mg (FH). En este caso, las fracciones FH de maíz blanco y anaranjado exhibieron una mayor inhibición que el maíz rojo en S1 (40,0, 41,0 y 32,3 por ciento, para el maíz blanco, anaranjado y rojo, respectivamente). No obstante, la actividad inhibitoria del maíz rojo fue mayor que la del maíz blanco y anaranjado en S2 (31,8, 20,2, 22,7 por ciento, para las muestras roja, blanca y anaranjado, respectivamente), mientras que los resultados de todas las fracciones FH de los tres tipos de maíz fueron casi similares en el estado de madurez S3.

Tabla 16: Actividad de inhibición *in vitro* de la α -amilasa y la α -glucosidasa en granos de maíz Cabanita de diferentes pigmentaciones y estados de madurez

Color del grano	Estado	Actividad inhibidora de la α -glucosidasa (%)						Actividad inhibidora de la α -amilasa (%)					
		3 mg ¹		6 mg		10 mg		25 mg		62 mg		125 mg	
		FH	FL	FH	FL	FH	FL	FH	FL	FH	FL	FH	FL
Blanco	S1	17,2 ± 3,5a	6,1 ± 4,3a	31,3 ± 4,0a	7,5 ± 2,6ab	40,0 ± 6,3a	8,9 ± 2,0b	7,0 ± 3,0a	ND	18,6 ± 8,3a	ND	55,0 ± 25,4a	4,3 ± 5,9
	S2	10,7 ± 4,2cd	4,7 ± 4,9a	16,6 ± 4,8de	7,1 ± 1,7ab	20,2 ± 4,9cd	11,9 ± 3,3ab	1,4 ± 1,6b	ND	4,1 ± 3,0c	ND	13,5 ± 4,4b	ND
	S3	6,5 ± 1,4d	5,6 ± 1,6a	10,9 ± 2,9e	7,3 ± 0,3ab	14,8 ± 2,8d	8,6 ± 0,7b	ND	ND	1,8 ± 2,7c	ND	8,1 ± 1,7b	ND
Rojo	S1	18,4 ± 3,3a	3,4 ± 2,7a	28,0 ± 5,4ab	8,1 ± 4,2ab	32,3 ± 6,9b	12,2 ± 4,0ab	2,4 ± 3,4b	ND	6,6 ± 5,9bc	ND	18,2 ± 8,9b	ND
	S2	16,1 ± 1,7ab	3,8 ± 2,9a	23,0 ± 4,3bc	8,7 ± 2,5ab	31,8 ± 2,8b	12,3 ± 2,8ab	2,0 ± 2,8b	ND	8,0 ± 3,0bc	ND	16,3 ± 3,2b	ND
	S3	7,5 ± 3,8cd	5,5 ± 4,6a	15,2 ± 6,8de	9,7 ± 3,0a	20,2 ± 7,6cd	12,2 ± 3,5ab	2,1 ± 2,6b	ND	4,2 ± 4,5c	ND	8,3 ± 2,9b	ND
Anaranjado	S1	20,5 ± 2,3a	4,9 ± 5,8a	30,0 ± 3,4a	5,7 ± 6,2ab	41,0 ± 2,1a	8,6 ± 5,8b	6,8 ± 1,8a	ND	12,8 ± 4,4ab	ND	19,0 ± 3,2b	ND
	S2	10,8 ± 3,0cd	1,9 ± 2,9a	17,4 ± 3,5cd	4,6 ± 3,2b	22,7 ± 4,1c	10,2 ± 2,2ab	ND	ND	3,9 ± 1,6c	ND	9,3 ± 4,3b	ND
	S3	12,1 ± 4,2bc	3,4 ± 2,8a	18,3 ± 1,9cd	8,7 ± 1,3ab	22,6 ± 4,1c	15,1 ± 5,3a	ND	ND	3,0 ± 2,0c	ND	7,9 ± 0,5b	ND
Valor de F	Grano (G)	3,02 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,86 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,39 ^{ns}			0,66 ^{ns}		7,11 ^{**}	
	Estado (S)	30,13 ^{****}	0,48 ^{ns}	38,26 ^{****}	1,08 ^{ns}	43,89 ^{****}	1,09 ^{ns}			15,76 ^{****}		19,26 ^{****}	
	G x S	2,60 ^{ns}	0,29 ^{ns}	2,48 ^{ns}	0,50 ^{ns}	5,12 ^{**}	1,71 ^{ns}			4,10 [*]		6,78 ^{***}	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (*p<0,05; ***p<0,001 y ****p<0,0001; ns: no significativo. FH: Fracción hidrofílica, FL: Fracción lipofílica.¹ Dosis de la muestra. ² No detectado

La etapa de madurez (S) tuvo una influencia significativa en la actividad de inhibición de las fracciones FH en todas las dosis de muestra. A 10 mg, esta propiedad disminuyó con el desarrollo del grano de 28-33 a 75-76 DDP en un 63, 37 y 45 por ciento en el grupo blanco, rojo y anaranjado, respectivamente. Esta reducción ocurrió en todas las dosis de la muestra, lo que indica que los inhibidores hidrofílicos pueden estar relacionados con la fracción fenólica soluble que también disminuyó con la madurez del grano, como se indicó anteriormente. Esta funcionalidad *in vitro* tuvo una alta correlación con los compuestos fenólicos libres totales determinados por UHPLC en todas las dosis de muestra ($r = 0,7386$; $r = 0,8064$ y $r = 0,8545$, $p < 0,05$ a dosis de muestra de 3, 6 y 10 mg, respectivamente). Compuestos fenólicos específicos como los derivados del ácido vanílico, AHB-1 y los AHB totales se correlacionaron positivamente con el potencial inhibidor de las muestras de maíz Cabanita ($r = 0,7962$; $r = 0,7728$ y $r = 0,7961$, $p < 0,05$, respectivamente, a la dosis de 10 mg de muestra). Entre los compuestos AHC libres, los derivados del ácido ferúlico también mostraron una correlación significativa ($r = 0,6597$; $p < 0,05$; a la dosis de muestra de 10 mg). En el caso de las fracciones FL, los resultados no fueron influenciados por el estado de madurez, esta propiedad fue similar durante el crecimiento del grano. Sin embargo, se observó cierto incremento (de 5,7 a 8,7 por ciento y de 8,6 a 15,1 por ciento a 6 y 10 mg de dosis muestra, respectivamente) durante la maduración del maíz anaranjado. No se encontraron correlaciones significativas entre la actividad de inhibición de la α -glucosidasa por las fracciones FL y algún metabolito detectado en el presente estudio.

La enzima α -amilasa, importante en la hidrólisis de polisacáridos α -1,4-glucano en maltosa y malto-oligosacáridos (Sun *et al.* 2019), fue inhibida solo por las fracciones de maíz FH y presentó una tendencia dependiente de la dosis (Tabla 16). Todos los valores disminuyeron con la madurez del grano (S significativa) de manera similar a lo observado en el caso de la actividad de inhibición de la α -glucosidasa. Cuando el estado de madurez cambió de S1 a S3, el maíz blanco (dosis de 125 mg) presentó la mayor pérdida del potencial inhibitorio (alrededor de 85 por ciento), seguido del maíz rojo y anaranjado (~54 y 58 por ciento en maíz rojo y anaranjado, respectivamente). La interacción G x S y el factor G influyeron significativamente en la inhibición de la α -amilasa. En general, el maíz blanco tuvo una mayor inhibición de la α -amilasa en S1 entre todas las muestras de maíz. Esta propiedad *in vitro* se correlacionó positivamente con el contenido fenólico total libre determinado por UHPLC ($r = 0,6358$ y $r = 0,6574$; $p < 0,05$; a 62 mg y 125 mg de dosis de muestra, respectivamente). Además, todos los AHB y los derivados de ácido ferúlico libre se

correlacionaron directamente con la actividad de inhibición de la α -amilasa ($r = 0,5278-0,6471$ en todas las dosis de muestra y $r = 0,5340-0,5599$ a 62-125 mg, respectivamente).

Diferentes estudios han destacado el papel de los compuestos fenólicos en la prevención de la hiperglucemia y las complicaciones oxidativas asociadas a través de varios mecanismos, incluida la modulación de las enzimas gástricas a nivel intestinal (Anhê *et al.* 2013; Sun y Miao 2019; Sarkar *et al.* 2022; Serina y Castilho 2022). Los ácidos fenólicos derivados de cereales, incluidos varios compuestos de AHB y AHC, han mostrado un potencial inhibidor de la α -glucosidasa intestinal, el cual parece depender del número de grupos hidroxilo y metoxilo en su estructura química (Malunga *et al.* 2018). Algunos derivados de AHB detectados en grano de arroz de origen tailandés como el metil vanilato (un derivado del ácido vanílico), el ácido siríngico y el ácido vanílico mostraron una mayor inhibición de la α -glucosidasa que de la α -amilasa, y presentaron un modo de inhibición de tipo mixto sobre la α -glucosidasa (Sansenya y Payaka 2022). En el mismo estudio, un análisis *in silico* reveló que la inhibición involucraba la interacción molecular entre los AHB y los sitios de unión de las enzimas digestivas a través de 3-4 enlaces de hidrógeno dependiendo del compuesto fenólico y la enzima (Sansenya y Payaka 2022). Las amidas de ácidos hidroxicinámicos conjugados identificadas en el maíz y en otros cereales de la familia *Poaceae*, como la N,N'-di-feruloilputrescina, la N-p-cumaroil-N'-feruloilputrescina, también se han considerado como inhibidores de la α -glucosidasa (Niwa *et al.* 2002; Wang *et al.* 2020). Recientemente, otro derivado del ácido ferúlico llamado 6'-O-feruloil-sacarosa aislado de salvado de arroz negro mostró una alta inhibición de la α -glucosidasa cuando se realizaron estudios *in vitro* e *in silico* (Bhuyan *et al.* 2022).

Con base en la información anterior, la fracción fenólica libre que incluye los AHB y algunos derivados de AHC que probablemente involucran derivados del ácido ferúlico detectados en la investigación actual, podrían estar relacionado con el potencial anti-hiperglucemiante *in vitro* de los extractos de FH de maíz Cabanita. Sin embargo, también pueden estar involucrados otros compuestos polares. Algunos estudios han señalado el papel de los alcohol azúcares (eritritol, xilitol, sorbitol) y los compuestos triterpenoides para la atenuación de la glucemia posprandial a través de la inhibición de la enzima α -glucosidasa (Di Stefano *et al.* 2018; Wen *et al.* 2018). El estigmasterol, entre otros fitoquímicos identificados en la seda del maíz, se ha indicado también como inhibidor potencial de las enzimas α -glucosidasa y α -amilasa (Chaudhary *et al.* 2022).

La actividad inhibidora de la FL sobre la α -glucosidasa se podría atribuir a compuestos lipofílicos que aumentan en el grano de maíz con el tiempo de madurez, especialmente en el caso del maíz anaranjado. Por ejemplo, los contenidos de α -tocoferol, β -tocotrienol, γ -tocotrienol y δ -tocotrienol han aumentado con la madurez en granos de *Amaranthus cruentus* (Manyelo *et al.* 2022). Los extractos lipofílicos de semillas de *Vicia faba L.* que contienen α -tocoferol y γ -tocoferol exhibieron una alta inhibición de la α -glucosidasa (Ferchichi *et al.* 2020). Es posible que la actividad inhibitoria de los extractos de maíz Cabanita sobre las enzimas digestivas se deba a una acción sinérgica de los compuestos contenidos en las FH y FL como también lo reportan Parizad *et al.* (2019) en varios cereales pigmentados. Son necesarios estudios a futuro para determinar la identidad exacta de los compuestos presentes en las fracciones FH y FL del maíz Cabanita involucrados en la inhibición de las enzimas relevantes para la modulación de la hiperglucemia, así como sus mecanismos de acción.

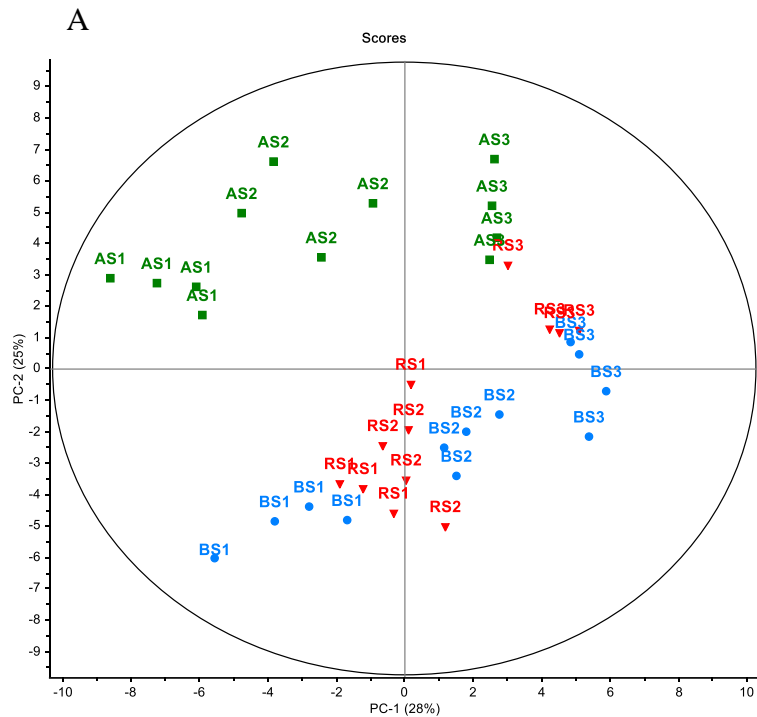
Los resultados de la actividad inhibidora de la α -amilasa de este estudio son comparables a los publicados por Ranilla *et al.* (2019) en granos maduros de maíz Cabanita de Perú (8,9-10,2 por ciento, a una dosis de muestra de 125 mg). Sin embargo, los autores anteriores obtuvieron actividades de inhibición de la α -glucosidasa más altas (34,9-40,8 por ciento, a 12,5 mg de dosis de muestra), lo que podría explicarse a las mayores dosis de muestra evaluadas en ese estudio. Por otro lado, se ha reportado un menor potencial de inhibición de la α -amilasa y la α -glucosidasa por la fracción fenólica libre de maíz ceroso fresco chino cosechado en el estado leche (~28-72 por ciento y ~32-48 por ciento para la actividad inhibidora de la α -amilasa y la α -glucosidasa, respectivamente, a una dosis de muestra de 1000 mg) que los resultados obtenidos en el presente estudio en una etapa de madurez similar (2,4-55,0 por ciento a una dosis de muestra de 25-125 mg, y 17,2-41,0 por ciento a una dosis de muestra de 3-10 mg para la actividad de inhibición de la α -amilasa y la α -glucosidasa, respectivamente) (Chen *et al.* 2021). Varios estudios han demostrado el potencial anti-hiperglucemiante del maíz de diferentes orígenes (Lee *et al.* 2010; González-Muñoz *et al.* 2013; Parizad *et al.* 2019). Sin embargo, en este estudio se muestra por primera vez el impacto del estado de madurez sobre esta propiedad funcional a nivel *in vitro* en muestras seleccionadas de la diversidad del maíz de raza Cabanita.

4.6. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

En la Figura 26 se muestra el análisis de componentes principales (ACP) obtenido en función a todas las variables evaluadas en los tres tipos de maíz Cabanita a diferentes estados de madurez con el objetivo de explorar potenciales asociaciones o formación de agrupamientos. El modelo retuvo 3 componentes principales (CP) que representaron en total el 64 por ciento de la variabilidad de los datos. De acuerdo con el gráfico del *score plot* (Figura 26 A), se observaron diferentes grupos en función al tipo de maíz y el estado de madurez, en especial en los maíces anaranjado y blanco. El CP 1 (28 por ciento de la variabilidad explicada) permitió discriminar las muestras de maíz en los estados de madurez más inmaduros (S1 y S2) (de izquierda a derecha), mientras que las muestras al estado de madurez S3 en los tres tipos de maíz formaron un grupo más alejado (situado en el lado derecho) y muy cercano entre sí.

Según el gráfico del *loading plot* (Figura 26 B), esta separación se explica debido a que las muestras más inmaduras (leche y masa) presentaron mayores contenidos de carotenoides y compuestos fenólicos, los que se correlacionaron con una mayor bioactividad *in vitro* como la actividad de inhibición de las enzimas α -glucosidasa y α -amilasa y la capacidad antioxidante. Las muestras en madurez fisiológica tuvieron en general menores concentraciones de esos compuestos, una menor bioactividad, aunque mayor peso y diámetro. El maíz blanco y rojo en estado S3 se relacionó con mayores contenidos de algunos fenólicos libres como derivados de ácido p-cumárico y cafeico.

El PC 2 (25 por ciento de la variabilidad explicada) (de arriba hacia abajo) separó principalmente las muestras de maíz anaranjado de los otros tipos, indicando un patrón diferente en este maíz. El mismo se caracterizó por mayores contenidos de carotenoides que el maíz rojo y blanco, mayores concentraciones de ácido ferúlico ligado (en S1 y S2) y mayor capacidad antioxidante de la fracción lipofílica (en S3) con ambos métodos evaluados (DPPH y ABTS). La fracción fenólica libre se correlacionó con una mayor inhibición de las 2 enzimas digestivas y estas propiedades fueron mayores en el grupo de muestras del maíz blanco en estado S1. En general, el ACP evidencia que los tres tipos de maíz tienen un comportamiento diferente según lo analizado previamente en las secciones anteriores, pero el maíz anaranjado presenta un patrón más diferente respecto al observado en el caso del maíz blanco y rojo.



PC1: 28%, PC2:25%, PC3: 11%: TOTAL: 64%

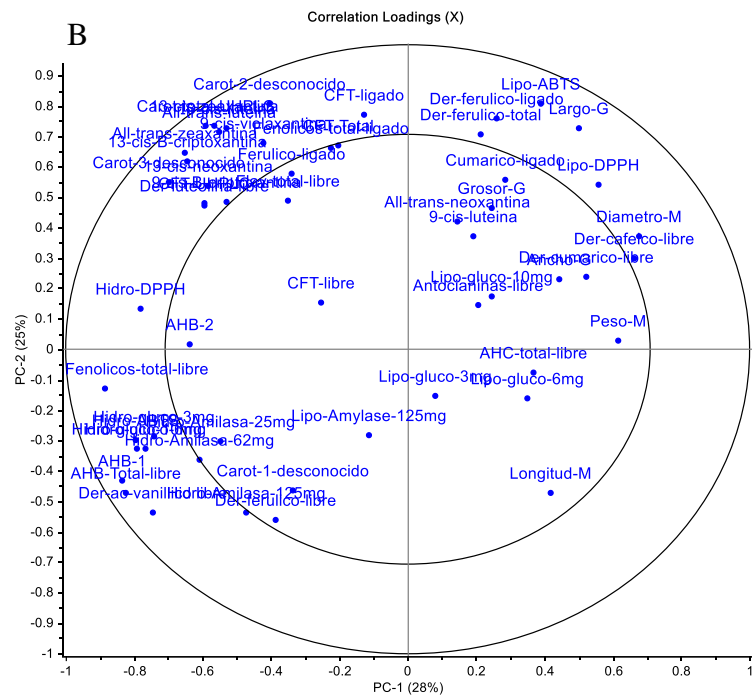


Figura 26: Gráficos de puntuación PC1 vs. PC2 (A) y gráficos de cargas de correlación (B) para los dos primeros factores considerando todos los datos del análisis de componentes principales

(A) círculo celeste (maíz Cabanita blanco, en diferentes estados de madurez, S1, S2, y S3), triángulo rojo (maíz Cabanita rojo, en diferentes estados de madurez, S1, S2, S3) y cuadrado verde (maíz Cabanita anaranjado, en diferentes estados de madurez, S1, S2, S3)

V. CONCLUSIONES

1. La diversidad del maíz Cabanita representada en tres clases de maíz con pigmentación diferente como el blanco, rojo y anaranjado tuvieron tendencias diferentes en su composición de metabolitos secundarios (polifenoles y carotenoides), y todas las muestras presentaron potencial antioxidante e hipoglucémico *in vitro* los cuales fueron más influenciados por el estado de madurez del grano.
2. Las fracciones fenólicas libres de los tres tipos de maíz Cabanita presentaron AHB y AHC, aunque flavonoides como derivados de luteolina y antocianinas fueron específicos para el maíz anaranjado y rojo, respectivamente. La concentración de antocianinas aumentó durante la maduración del maíz rojo, junto con algunos AHC en todos los maíces, pero a nivel global el contenido total de polifenoles libres disminuyó con la madurez del grano.
3. Los tres tipos de maíz presentaron perfiles similares de compuestos fenólicos ligados a la fibra dietética y fue la fracción fenólica mayoritaria en todas las muestras respecto al contenido total (libre+ligado). El ácido ferúlico fue el compuesto detectado a mayor concentración, seguido por sus derivados y el ácido *p*-cumárico. El maíz anaranjado y rojo presentaron mayores niveles de fenólicos ligados que el blanco, y en general sus concentraciones permanecieron estables por efecto del estado de madurez.
4. En todas las muestras de maíz se detectaron carotenoides del tipo xantófilas (principalmente luteína y zeaxantina) y sus isómeros, pero los perfiles y concentraciones variaron según el tipo de maíz. El maíz anaranjado tuvo el más alto contenido de carotenoides totales (3,19-5,87 $\mu\text{g/g}$ bs) en especial en los estados de madurez S1 y S2, para disminuir significativamente en el estado S3.
5. La capacidad antioxidante evaluada con los métodos de inhibición de los radicales DPPH y ABTS fue mayor en las fracciones hidrofílicas que en las lipofílicas de todas las muestras evaluadas, y se correlacionó significativamente con los compuestos fenólicos

de la fracción fenólica libre, principalmente con los AHB. Esta propiedad disminuyó en la fracción hidrofílica con el desarrollo del grano, pero aumentó en la fracción lipofílica.

6. El potencial hipoglucémico *in vitro* determinado a través de la capacidad de inhibición de la enzima α -glucosidasa fue mayor en las fracciones hidrofílicas de los tres tipos de maíz que en la lipofílica, mientras que sólo la fracción hidrofílica inhibió la enzima α -amilasa. Esta propiedad funcional se correlacionó significativamente con los compuestos fenólicos libres como los AHB y disminuyó con el estado de madurez del grano, siendo la fracción hidrofílica del maíz blanco la que presentó la mayor actividad de inhibición de la α -glucosidasa y la α -amilasa a un estado de madurez S1 o leche (40 por ciento a 10 mg y 55 por ciento a 125 mg, respectivamente).
7. Los mejores períodos de cosecha recomendados para el consumo de Cabanita anaranjado y blanco serían en las etapas de leche o masa (en S1 y S2, respectivamente) debido a su contenido más alto de polifenoles, flavonoides (derivados de la luteolina) y carotenoides (en el caso del tipo anaranjado), además de mejores propiedades antioxidantes e hipoglucémicas *in vitro*. El maíz rojo sería más valioso en el estado de madurez S3 debido a su mayor contenido de antocianinas y compuestos fenólicos totales.
8. El estudio actual presenta por primera vez la variabilidad de los compuestos bioactivos (polifenoles y carotenoides) y su potencial para la salud de tres tipos de maíz Cabanita de la región Arequipa a diferentes estados de madurez constituyendo información relevante para diversificar su consumo en otros estados de madurez diferentes al tradicional (maduro) y promover mejoras a futuro a nivel de postcosecha.

VI. RECOMENDACIONES

- Explorar posibles potencialidades de bioactividad de compuestos como tocoferoles, fitoesteroles, péptidos bioactivos en semillas de maíz Cabanita.
- Realizar estudios de biodisponibilidad que incluyan factores externos (ambientales), relacionados con el procesamiento, interacción con otros compuestos (polifenoles, proteínas, antinutrientes) y factores relacionados con el huésped.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeoye, AO; Ojowu, J; Daniel, OO; Olorunsogo, OO. 2018. Inhibition of liver mitochondrial membrane permeability transition pore opening by quercetin and vitamin E in streptozotocin-induced diabetic rats. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 504(2), 460–469 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.BBRC.2018.08.114>
- Alam, F; Shafique, Z; Amjad, ST; Bin Asad, MHH. 2019. Enzymes inhibitors from natural sources with antidiabetic activity: A review. *Phytotherapy Research*, 33(1), 41–54 p. Disponible en <https://doi.org/10.1002/PTR.6211>
- Alamu, EO; Maziya-Dixon, B; Menkir, A; Irondi, EA; Olaofe, O. 2021. Bioactive Composition and Free Radical Scavenging Activity of Fresh Orange Maize Hybrids: Impacts of Genotype, Maturity Stages, and Processing Methods. *Frontiers in Nutrition*, 8, 54. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FNUT.2021.640563/BIBTEX>
- Alara, OR; Abdurahman, NH; Ukaegbu, CI. 2021. Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200–214 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2021.03.011>
- Alipour, B; Rashidkhani, B; Edalati, S. 2016. Dietary flavonoid intake, total antioxidant capacity and lipid oxidative damage: A cross-sectional study of Iranian women. *Nutrition*, 32(5), 566–572 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.NUT.2015.11.011>
- Alkaltham, MS; Musa Özcan, M; Uslu, N; Salamatullah, AM; Hayat, K. 2022. Changes in antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acids, and mineral contents of raw, germinated, and boiled lentil seeds. *Journal of Food Science*, 87(4), 1639–1649 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16099>
- Almarshad, MI; Algonaiman, R; Alharbi, H.F; Almujaaydil, MS; Barakat, H. 2022. Relationship between Ultra-Processed Food Consumption and Risk of Diabetes Mellitus: A Mini-Review. *Nutrients* 2022, Vol. 14, 14(12), 2366 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/NU14122366>
- Amador-Rodríguez, KY; Silos-Espino, H; Valera-Montero, LL; Perales-Segovia, C; Flores-

- Benítez, S; Martínez-Bustos, F. 2019. Physico-chemical, thermal, and rheological properties of nixtamalized creole corn flours produced by high-energy milling. *Food Chemistry*, 283, 481–488 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.01.044>
- Amengual, J; Gouranton, E; van Helden, YGJ; Hessel, S; Ribot, J; Kramer, E. Kiec-Wilk, B; Razny, U; Lietz, G; Wyss, A; Dembinska-Kiec, A; Palou, A; Keijer, J; Landrier, J; Bonet, M; Von Lintig, J. 2011. Beta-Carotene Reduces Body Adiposity of Mice via BCMO1. *PLOS ONE*, 6(6), e20644 p. Disponible en <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0020644>
- Anantharaju, PG; Gowda, PC; Vimalambike, MG; Madhunapantula, SV. 2016. An overview on the role of dietary phenolics for the treatment of cancers. *Nutrition Journal* 2016 15:1, 15(1), 1–16 p. Disponible en <https://doi.org/10.1186/S12937-016-0217-2>
- Aneklaphakij, C; Saigo, T; Watanabe, M; Naake, T; Fernie, AR; Bunsupa, S; Tohge, T. (2021a). Diversity of Chemical Structures and Biosynthesis of Polyphenols in Nut-Bearing Species. *Frontiers in Plant Science*, 12, 440 p. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.642581/BIBTEX>
- Aneklaphakij, C; Saigo, T; Watanabe, M; Naake, T; Fernie, AR; Bunsupa, S; Tohge, T. 2021b. Diversity of Chemical Structures and Biosynthesis of Polyphenols in Nut-Bearing Species. *Frontiers in Plant Science*, 12 p. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.642581>
- Anhê, FF; Desjardins, Y; Pilon, G; Dudonné, S; Genovese, MI; Lajolo, FM; Marette, A. 2013. Polyphenols and type 2 diabetes: A prospective review. *PharmaNutrition*, 1(4), 105–114 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.PHANU.2013.07.004>
- AOAC (Official Methods of Analysis of AOAC International). 2016. 20th ed; Ed. Rockville OAC).
- Apak, R; Güçlü, K; Özyürek, M; Esin Karademir, S; Altun, M. 2009. Total antioxidant capacity assay of human serum using copper(II)-neocuproine as chromogenic oxidant: The CUPRAC method. Disponible en <https://doi.org/10.1080/10715760500210145>, 39(9), 949–961 p. <https://doi.org/10.1080/10715760500210145>
- Aziz, E; Batool, R; Akhtar, W; Rehman, S; Shahzad, T; Malik, A; Ahmed Arif, S. 2020. Xanthophyll: Health benefits and therapeutic insights. *Life Sciences*, 240, 117104 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.LFS.2019.117104>
- Balasundram, N; Sundram, K; Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agro-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food*

- Chemistry, 99(1), 191–203 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2005.07.042>
- Baseggio, M; Murray, M; Magallanes- Lundback, M; Kaczmar, N; Chamness, J; Buckler, ES; Gore, MA. 2020. Natural variation for carotenoids in fresh kernels is controlled by uncommon variants in sweet corn. *The Plant Genome*, 13(1). Disponible en <https://doi.org/10.1002/tpg2.20008>
- Bennetzen, J; Buckler, E; Chandler, V; Doebley, J; Dorweiler, J; Gaut, B; Wessler, S. 2001. Genetic Evidence and the Origin of Maize. *Latin American Antiquity*, 12(1), 84–86 p. Disponible en <https://doi.org/10.2307/971759>
- Bento-Silva, A; Koistinen, VM; Mena, P; Bronze, MR; Hanhineva, K; Sahlstrøm, S; Aura, AM. 2019. Factors affecting intake, metabolism and health benefits of phenolic acids: do we understand individual variability. *European Journal of Nutrition* 2019 59:4, 59(4), 1275–1293 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S00394-019-01987-6>
- Bento-Silva, A; Vaz Patto, MC; do Rosário Bronze, M. 2018. Relevance, structure and analysis of ferulic acid in maize cell walls. *Food Chemistry*, 246, 360–378 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.11.012>
- Benzie, IFF y Strain, JJ. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*, 299, 15–27 p. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99005-5](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99005-5)
- Bernatoniene, J y Kopustinskiene, DM. 2018. The Role of Catechins in Cellular Responses to Oxidative Stress. *Molecules* (Basel, Switzerland), 23(4). Disponible en <https://doi.org/10.3390/MOLECULES23040965>
- Bhatt, T y Patel, K. 2020. Carotenoids: Potent to Prevent Diseases Review. *Natural Products and Bioprospecting*, 10(3), 109–117 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S13659-020-00244-2/FIGURES/2>
- Bhuyan, P; Ganguly, M; Baruah, I; Borgohain, G; Hazarika, J; Sarma, S. 2022. Alpha glucosidase inhibitory properties of a few bioactive compounds isolated from black rice bran: combined *in vitro* and *in silico* evidence supporting the antidiabetic effect of black rice. *RSC Advances*, 12(35), 22650–22661 p. Disponible en <https://doi.org/10.1039/D2RA04228B>
- Britton, G. 2020. Carotenoid research: History and new perspectives for chemistry in biological systems. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell*

- Biology of Lipids, 1865(11), 158699. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.BBALIP.2020.158699>
- Burt, AJ; Arnason, JT; García-Lara, S. 2019. Natural variation of hydroxycinnamic acid amides in maize landraces. *Journal of Cereal Science*, 88, 145–149 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2019.06.002>
- 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.141>
- Camino Coaguila, YN; Vasquez Ancalla, JC. 2019. “El solay: prácticas rituales de los cabanas en la siembra del maíz”. distrito de cabanaconde, provincia de Caylloma, arequipa, 2018” (en línea). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Consultado 15 oct. 2022. Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10374#:~:text=En el caso específico de,en el Valle del Colca>.
- Campos, D; Teran-Hilares, F; Chirinos, R; Aguilar-Galvez, A; García-Ríos, D; Pacheco-Avalos, A; Pedreschi, R. 2020. Bioactive compounds and antioxidant activity from harvest to edible ripeness of avocado cv. Hass (*Persea americana*) throughout the harvest seasons. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(5), 2208–2218 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/IJFS.14474>
- 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1261809>
- Charlesworth, D. 2019. Young sex chromosomes in plants and animals. *The New Phytologist*, 224(3), 1095–1107 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/NPH.16002>
- Chaudhary, RK; Karoli, SS; Dwivedi, PSR; Bhandari, R. 2022. Anti-diabetic potential of Corn silk (*Stigma maydis*): An *in-silico* approach. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, 21(1), 445–454 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S40200-022-00992-7/TABLES/4>
- Chen, L; Guo, Y; Li, X; Gong, K; Liu, K. 2021a. Phenolics and related *in vitro* functional activities of different varieties of fresh waxy corn: a whole grain. *BMC Chemistry*, 15(1), 1–9 p. Disponible en <https://doi.org/10.1186/S13065-021-00740-7/FIGURES/4>
- Chen, L; Guo, Y; Li, X; Gong, K; Liu, K. 2021b. Phenolics and related *in vitro* functional activities of different varieties of fresh waxy corn: a whole grain. *BMC Chemistry* 2021

- 15:1, 15(1), 1–9 p. Disponible en <https://doi.org/10.1186/S13065-021-00740-7>
- Choi, DJ; Kim, SL; Choi, JW; Park, YII. 2014. Neuroprotective effects of corn silk maysin via inhibition of H₂O₂-induced apoptotic cell death in SK-N-MC cells. *Life Sciences*, 109(1), 57–64 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.LFS.2014.05.020>
- Chouhan, S; Sharma, K; Zha, J; Guleria, S; Koffas, MAG. 2017. Recent advances in the recombinant biosynthesis of polyphenols. *Frontiers in Microbiology*, 8 nov, 2259 p. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FMICB.2017.02259/BIBTEX>
- CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). 1991. International Board for Plant Genetic Resources. *Descriptores para Maíz*. México.
- CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). 1999. Latin American maize germplasm conservation: core subset development and regeneration. *Proceeding of a Workshop Held at CIMMYT, México*, 38–41 p.
- Collison, A; Yang, L; Dykes, L; Murray, S; Awika, JM. 2015. Influence of Genetic Background on Anthocyanin and Copigment Composition and Behavior during Thermoalkaline Processing of Maize. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(22), 5528–5538 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00798>
- Corinto, GL. 2014. Nikolai Vavilov's Centers of Origin of Cultivated Plants With a View to Conserving Agricultural Biodiversity. *Academia-Accelerating the World's Research*, 29(4), 1–18 p.
- Bonavia, D. 2013. *Maize: Origin, Domestication, and its Role in the Development of Culture*. Cambridge.
- Das, AK y Singh, V. 2016. Antioxidative free and bound phenolic constituents in botanical fractions of Indian specialty maize (*Zea mays L.*) genotypes. *Food Chemistry*, 201, 298–306 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.099>
- Del Rio, D; Rodriguez-Mateos, A; Spencer, JPE; Tognolini, M; Borges, G; Crozier, A. 2013. Dietary (poly)phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. *Antioxidants & Redox Signaling*, 18(14), 1818–1892 p. Disponible en <https://doi.org/10.1089/ARS.2012.4581>
- Deli, J; Molnár, P; Matus, Z; Tóth, G. 2001. Carotenoid composition in the fruits of red paprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiciforme rubrum*) during ripening; biosynthesis of carotenoids in red paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1517–1523 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/JF000958D>
- Di Pietro, N; Di Tomo, P; Pandolfi, A. 2016. Carotenoids in cardiovascular disease prevention (en línea). *JSM Atheroscler*. 1. 1002. Consultado 10 nov. 2022. Disponible

en https://www.researchgate.net/profile/Natalia-Pietro/publication/303880810_Carotenoids_in_Cardiovascular_Disease_Prevention/links/575a713008aec91374a5bb83/Carotenoids-in-Cardiovascular-Disease-Prevention.pdf

- Di Stefano, E; Oliviero, T; Udenigwe, CC. 2018. Functional significance and structure–activity relationship of food-derived α -glucosidase inhibitors. *Current Opinion in Food Science*, 20, 7–12 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2018.02.008>
- Díaz-Montes, E; Barragán-Huerta, BE; Yáñez-Fernández, J. 2020. Identification and Evaluation of Antioxidant Activity of Hydroxycinnamic Acids Extracted by Ultrafiltration from Three Varieties of Mexican Maize. *Waste and Biomass Valorization*, 11(5), 1799–1808 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0420-9>
- Didem, S y Suat, S. 2020. Flavonoids as alpha-glucosidase inhibitors: mechanistic approaches merged with enzyme kinetics and molecular modelling. *Phytochemistry Reviews*. 19(5).1081–1092 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09610-6>
- Duarte-Almeida, JM; Dos Santos, RJ; Genovese, MI; Lajolo, FM. 2006. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema beta-caroteno/ácido linoléico e método de sequestro de radicais DPPH•. *Food Science and Technology*, 26(2), 446–452 p. Disponible en <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200031>
- Anderson, E y Cluter, H. 1942. Races of *Zea Mays*: Their Recognition and Classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden.*, 29(2), 69–88 p.
- Egesel, CO; Wong, JC; Lambert, RJ; Rocheford, TR. 2003. Combining Ability of Maize Inbreds for Carotenoids and Tocopherols. *Crop Science*, 43(3), 818–823 p. Disponible en <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2003.8180>
- Embaby, HE.-S y Mokhtar, SM. 2019. Impact of adding goldenberry (*Physalis peruviana* L.) on some quality characteristics and bio-functional properties of pasteurized carrot (*Daucus carota* L.) nectar. *Journal of Food Science and Technology* 2019 56:2, 56(2), 966–975 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S13197-018-03563-Y>
- Fabila-Garca, P; Dublán-García, O; Gómez-Oliván, L; Baeza-Jimenez, R. 2017. *In vitro* antioxidant and bioactive properties of corn (*Zea mays* L.). (En línea). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición ALAN*, 67(4). Consultado 20 agosto 2022. Disponible en <https://www.alanrevista.org/ediciones/2017/4/art-7/>
- Farfan, IDB; De La Fuente, GN; Murray, SC; Isakeit, T; Huang, PC; Warburton, M; Kolomiets, M. 2015. Genome wide association study for drought, aflatoxin resistance,

- and important agronomic traits of maize hybrids in the sub-tropics. *PloS One*, 10(2). Disponible en <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0117737>
- Fei, Q; Gao, Y; Zhang, X; Sun, Y; Hu, B; Zhou, L; Zeng, X. 2014. Effects of Oolong tea polyphenols, EGCG, and EGCG3"Me on pancreatic α -amylase activity *in vitro*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(39), 9507–9514. https://doi.org/10.1021/JF5032907/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF-2014-032907_0008.GIF
- Feng, F; Wang, Q; Zhang, J; Yang, R; Li, X. 2015. Assessment of carotenoid and tocopherol level in sweet corn inbred lines during kernel development stages. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 75(2), 196–200 p. Disponible en <https://doi.org/10.5958/0975-6906.2015.00030.9>
- Feng, L-J; Yin, Y-L; Zhao, X-Q; Wang, C-J. 2014. Research progress on metabolism and health function of gallic acid in pomegranate. *J Fruit Sci.*, 31(4):710 p. Disponible en <https://doi.org/doi:10.13925/j.cnki.gsxb.20130520>
- Ferchichi, A; Harrabi, S Feki, M; Fellah, H. 2020. Bioactive lipids, antibacterial, hypoglycaemic, and antioxidant potentials of immature and mature *Vicia faba* L. seeds cultivated in tunisia. *Acta Alimentaria*, 49(3), 254–262p. Disponible en <https://doi.org/10.1556/066.2020.49.3.3>
- 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). Disponible en <https://doi.org/10.3390/molecules25081958>
- Finkel, ML; Sanchez, S; Mak, T; Granstein, J; Lefkowitz, A. 2013. Anthocyanin-Rich Purple Corn Extract and Its Effects on the Blood Pressure of Adults. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 18(4), 237–242 p. Disponible en <https://doi.org/10.1177/2156587213482942>
- Forney, LA; Lenard, NR; Stewart, LK; Henagan, TM. 2018. Dietary Quercetin Attenuates Adipose Tissue Expansion and Inflammation and Alters Adipocyte Morphology in a Tissue-Specific Manner. *International Journal of Molecular Sciences* 2018, Vol. 19, Page 895, 19(3), 895 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/IJMS19030895>
- Fracassetti, D; Costa, C; Moulay, L; Tomás-Barberán, FA. 2013. Ellagic acid derivatives, ellagitannins, proanthocyanidins and other phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of two powder products from camu-camu fruit (*Myrciaria dubia*). *Food Chemistry*, 139(1–4), 578–588 p. Disponible en

<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.01.121>

Fuentealba, C; Gálvez, L; Cobos, A; Olaeta, JA; Defilippi, BG; Chirinos, R; Pedreschi, R. 2016. Characterization of main primary and secondary metabolites and *in vitro* antioxidant and antihyperglycemic properties in the mesocarp of three biotypes of *Pouteria lucuma*. Food Chemistry, 190, 403–411 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.05.111>

Fuentes-Cardenas, IS; Cuba-Puma, R; Marcilla-Truyenque, S; Begazo-Gutiérrez, H; Zolla, G; Fuentealba, C; Ranilla, LG. 2022. Diversity of the Peruvian Andean maize (*Zea mays* L.) race Cabanita: Polyphenols, carotenoids, *in vitro* antioxidant capacity, and physical characteristics. Frontiers in Nutrition, 9, 2200. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FNUT.2022.983208/BIBTEX>

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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13973>

García-Lara, S; Chuck-Hernandez, C; Serna-Saldivar, SO. 2019. Development and Structure of the Corn Kernel. Corn: Chemistry and Technology, 3rd Edition, 147–163 p . Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00006-1>

García-Lara, S; Serna-Saldivar, SO. 2019. Corn History and Culture. Corn: Chemistry and Technology, 3rd Edition, 1–18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2> GBIF (The Global Biodiversity Information Facility). 2022. (En línea). Backbone Taxonomy *Zea mays* L. Consultado 11 agosto 2022. Disponible en <https://www.gbif.org/species/5290052>

Gebicki, JM; Nauser, T; Pizzimenti, S; Muzio, G; Barrera, G. 2021. Fast Antioxidant Reaction of Polyphenols and Their Metabolites. Antioxidants 2021, Vol. 10, Page 1297, 10(8), 1297 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/ANTIOX10081297>

Gerencia Regional de Agricultura. 2021. Campaña Agrícola 2021. (En línea). Campaña Agrícola 2021. Consultado 2 sept. 2022. Disponible en <https://www.agroarequipa.gob.pe/index.php/agricol/a?showall=&start=2>

Giacco, R; Costabile, G; Fatati, G; Frittitta, L; Maiorino, MI; Marelli, G; Vitale, M. 2020. Effects of polyphenols on cardio-metabolic risk factors and risk of type 2 diabetes. A joint position statement of the Diabetes and Nutrition Study Group of the Italian Society of Diabetology (SID), the Italian Association of Dietetics and Clinical Nutrition (ADI)

- and the Italian Association of Medical Diabetologists (AMD). Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 30(3), 355–367 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.NUMECD.2019.11.015>
- Giordano, D; Beta, T; Gagliardi, F; Blandino, M. 2018. 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00326>
- Giordano, D; Beta, T; Reyneri, A; Blandino, M. 2017a. Changes in the Phenolic Acid Content and Antioxidant Activity During Kernel Development of Corn (*Zea mays* L.) and Relationship with Mycotoxin Contamination. Cereal Chemistry Journal, 94(2), 315–324 p. Disponible en <https://doi.org/10.1094/CCHEM-05-16-0155-R>
- Glagoleva, AY; Vikhorev, AV; Shmakov, NA; Morozov, SV; Chernyak, EI; Vasiliev, GV; Shoeva, OY. 2022. Features of Activity of the Phenylpropanoid Biosynthesis Pathway in Melanin-Accumulating Barley Grains. Frontiers in Plant Science, 13, 2242 p. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.923717/BIBTEX>
- González-Muñoz, A; Quesille-Villalobos, AM; Fuentealba, C; Shetty, K; Gálvez Ranilla, L. (2013a). Potential of Chilean native corn (*Zea mays* L.) accessions as natural sources of phenolic antioxidants and *in vitro* bioactivity for hyperglycemia and hypertension management. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(46), 10995–11007 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/jf403237p>
- Grobman, A; Bonavia, D; Dillehay, T; Piperno, D; Iriarte, J; Holst, I. 2012. Preceramic maize from Paredones and Huaca Prieta, Peru. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America., 109(5), 1755–1759 p.
- Grobman A; Salhuana W; Sevilla, R. 1961. Races of maize in Peru. Their Origins, Evolution and Classification. In National Academy of Science - National Research Council. Washington, D.C.
- Gulcin, İ. 2020. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. Archives of Toxicology 2020 94:3, 94(3), 651–715 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S00204-020-02689-3>
- Gupta, P; Sreelakshmi, Y; Sharma, R. 2015. A rapid and sensitive method for determination of carotenoids in plant tissues by high performance liquid chromatography. Plant Methods, 11(1). <https://doi.org/10.1186/S13007-015-0051-0>
- Hanhineva, K; Törrönen, R; Bondia-Pons, I; Pekkinen, J; Kolehmainen, M; Mykkänen, H; Poutanen, K. 2010 . Impact of dietary polyphenols on carbohydrate metabolism.

- International Journal of Molecular Sciences, Vol. 11, pp. 1365–1402 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/ijms11041365>
- Harakotr, B; Suriharn, B; Scott, MP; Lertrat, K. 2015. Genotypic variability in anthocyanins, total phenolics, and antioxidant activity among diverse waxy corn germplasm. *Euphytica*, 203(2), 237–248 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1240-z>
- Harakotr, B; Suriharn, B; Tangwongchai, R; Scott, MP; Lertrat, K. 2014. Anthocyanins and antioxidant activity in coloured waxy corn at different maturation stages. *Journal of Functional Foods*, 9(1), 109–118 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.04.012>
- He, X; Guo, X; Ma, Z; Li, Y; Kang, J; Zhang, G; Kang, X. 2021. Grape seed proanthocyanidins protect PC12 cells from hydrogen peroxide-induced damage via the PI3K/AKT signaling pathway. *Neuroscience Letters*, 750. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.NEULET.2021.135793>
- Heleno, SA; Martins, A; Queiroz, MJRP; Ferreira, ICFR. 2015. Bioactivity of phenolic acids: metabolites versus parent compounds: a review. *Food Chemistry*, 173, 501–513 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.10.057>
- Hong, HT; Netzel, ME; O’Hare, TJ. 2020a. Anthocyanin composition and changes during kernel development in purple-pericarp supersweet sweetcorn. *Food Chemistry*, 315 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126284>
- Hong, HT; Netzel, ME; O’Hare, TJ. 2020b. Optimisation of extraction procedure and development of LC–DAD–MS methodology for anthocyanin analysis in anthocyanin-pigmented corn kernels. *Food Chemistry*, 319, 126515. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126515>
- Hossain, A; Jayadeep, PA. 2018. Comparison of total carotenoids, lutein, zeaxanthin, and β -carotene content in maize employing solvent extraction and *in vitro* physiological methods. *Journal of Food Biochemistry*, 42(6), e12653. Disponible en <https://doi.org/10.1111/jfbc.12653>
- Hossain, U; Das, AK; Ghosh, S; Sil, PC. 2020. An overview on the role of bioactive α -glucosidase inhibitors in ameliorating diabetic complications. *Food and Chemical Toxicology*, 145, 111738. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2020.111738>
- Hosseinzadeh, A; Houshmand, G; Goudarzi, M; Sezavar, SH; Mehrzadi, S; Mansouri, E; Kalantar, M. 2019. Ameliorative effect of gallic acid on sodium arsenite-induced spleno-, cardio- and hemato-toxicity in rats. *Life Sciences*, 217, 91–100 p. Disponible

en <https://doi.org/10.1016/J.LFS.2018.11.050>

- Hu, Q y 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/jf104149q>
- Hu, X; Liu, H; Yu, Y; Li, G; Qi, X; Li, Y; Liu, RH. 2020. Accumulation of phenolics, antioxidant and antiproliferative activity of sweet corn (*Zea mays* L.) during kernel maturation. *International Journal of Food Science & Technology*, ijfs.14879. Disponible en <https://doi.org/10.1111/ijfs.14879>
- Hufford, MB; Martínez-Meyer, E; Gaut, BS; Eguiarte, LE; Tenaillon, MI. 2012. Inferences from the Historical Distribution of Wild and Domesticated Maize Provide Ecological and Evolutionary Insight. *PLOS ONE*, 7(11), e47659. Disponible en <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0047659>
- Hung, HY; Shannon, LM; Tian, F; Bradbury, PJ; Chen, C; Flint-Garcia, SA; Holland, JB. 2012. ZmCCT and the genetic basis of day-length adaptation underlying the postdomestication spread of maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(28), E1913–E1921. Disponible en https://doi.org/10.1073/PNAS.1203189109/SUPPL_FILE/SAPP.PDF
- Hwang, T; Ndolo, V. U; Katundu, M; Nyirenda, B; Bezner-Kerr, R; Arntfield, S; Beta, T. 2016. Provitamin A potential of landrace orange maize variety (*Zea mays* L.) grown in different geographical locations of central Malawi. *Food Chemistry*, 196, 1315–1324 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.067>
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2021. Programa de Enfermedades No Transmisibles. (En línea). Perú: Enfermedades No Transmisibles y Transmisibles (12–42 p). Consultado en 2 agosto 2022. Disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1839/index.html
- CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). 1991. Descriptores para Maíz. International Board for Plant Genetic Resources.
- Jarżąb, A y Kukula-Koch, W. 2017. Recent Advances in Obesity: The Role of Turmeric Tuber and Its Metabolites in the Prophylaxis and Therapeutical Strategies. *Current Medicinal Chemistry*, 25(37), 4837–4853 p. Disponible en <https://doi.org/10.2174/0929867324666161118095443>
- Kashtoh, H y Baek, KH. 2022. Recent Updates on Phytoconstituent Alpha-Glucosidase Inhibitors: An Approach towards the Treatment of Type Two Diabetes. *Plants* 2022,

- Kato Yamakake, TA; Mapes Sánchez, C; Mera Ovando, LM; Serratos Hernández, JA; Bye Boettler, RA. 2009. Origen y diversificación del maíz, una revisión analítica. International Board for Plant Genetic Resources. (En línea) Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado 14 sept 2022. Disponible en <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/proyectoMaices/origenDiv>
- KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes). 2022a. RUTA KEGG: Biosíntesis de carotenoides . (En línea). Consultado 12 oct 2022. Disponible en: <https://www.genome.jp/pathway/map00906>
- KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes). 2022b. RUTA KEGG: Biosíntesis de fenilalanina, tirosina y triptófano - Vía de referencia. (En línea). Consultado 12 oct 2022. Disponible en: <https://www.genome.jp/pathway/map00400>
- Khoddami, A; Wilkes, MA; Roberts, TH. 2013. Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules* (Basel, Switzerland), 18(2), 2328–2375 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/MOLECULES18022328>
- Kim, H; Kim, JY; Song, HS; Park, KU; Mun, KC; Ha, E. 2011. Grape seed proanthocyanidin extract inhibits interleukin-17-induced interleukin-6 production via MAPK pathway in human pulmonary epithelial cells. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 383(6), 555–562 p. <https://doi.org/10.1007/S00210-011-0633-Y>
- Kim, YA; Keogh, JB; Clifton, PM. 2016. Polyphenols and Glycemic Control. *Nutrients*, 8(1). Disponible en <https://doi.org/10.3390/NU8010017>
- Koch, W. 2019. Dietary Polyphenols—Important Non-Nutrients in the Prevention of Chronic Noncommunicable Diseases. A Systematic Review. *Nutrients* 2019, 11(5), 1039 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/NU11051039>
- Kuhnen, S; Menel Lemos, PM; Campestrini, LH; Ogliari, JB; Dias, PF; Maraschin, M. 2011. Carotenoid and anthocyanin contents of grains of Brazilian maize landraces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(9), 1548–1553 p. Disponible en <https://doi.org/10.1002/jsfa.4346>
- Kumar, S; Narwal, S; Kumar, V; Prakash, O. 2011. α -glucosidase inhibitors from plants: A natural approach to treat diabetes. *Pharmacognosy Reviews*, 5(9), 19 p. Disponible en <https://doi.org/10.4103/0973-7847.79096>
- Lao, F; Sigurdson, GT; Giusti, MM. 2017. Health Benefits of Purple Corn (*Zea mays* L.) Phenolic Compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol.

- 16, 234–246 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12249>
- Lapiente, M; Estruch, R; Shahbaz, M; Casas, R. 2019. Relation of Fruits and Vegetables with Major Cardiometabolic Risk Factors, Markers of Oxidation, and Inflammation. *Nutrients* 2019, 11(10) , 2381 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/NU11102381>
- Ledenčan, T; Horvat, D; Marković, SŠ; Svečnjak, Z; Jambrović, A; Šimić, D. 2022. Effect of Harvest Date on Kernel Quality and Antioxidant Activity in su1 Sweet Corn Genotypes. *Agronomy* 2022, 12(5), 1224 p. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12051224>
- Lee, CH; Garcia, HS; Parkin, KL. 2010. Bioactivities of Kernel Extracts of 18 Strains of Maize (*Zea mays*). *Journal of Food Science*, 75(8), 667–672 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2010.01784.X>
- Lee, TH; Lee, CH; Wong, S; Ong, PY; Hamdan, N; Azmi, NA. 2021. UPLC-orbitrap-MS/MS based characterization of phytochemical compounds from Malaysia purple corn (*Zea mays*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 32 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2021.101922>
- Li, YX; Li, C; Bradbury, PJ; Liu, X; Lu, F; Romay, CM; Wang, T. 2016. Identification of genetic variants associated with maize flowering time using an extremely large multi-genetic background population. *The Plant Journal*, 86(5), 391–402 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/TPJ.13174>
- Li, Z; Tian, J; Cheng, Z; Teng, W; Zhang, W; Bao, Y; Li, B. 2022. Hypoglycemic bioactivity of anthocyanins: A review on proposed targets and potential signaling pathways. Disponible en <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2055526>
- Liang, Z; Zhang, B; Su, WW; Williams, PG y Li, QX. 2016. C-Glycosylflavones Alleviate Tau Phosphorylation and Amyloid Neurotoxicity through GSK3 β Inhibition. *ACS Chemical Neuroscience*, 7(7), 912–923 p. Disponible en https://doi.org/10.1021/ACSCHEMNEURO.6B00059/SUPPL_FILE/CN6B00059_SI_001.PDF
- Lin, Y; Liu, HL; Fang, J; Yu, CH; Xiong, YK; Yuan, K. 2014. Anti-fatigue and vasoprotective effects of quercetin-3-O-gentiobiose on oxidative stress and vascular endothelial dysfunction induced by endurance swimming in rats. *Food and Chemical Toxicology : An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 68, 290–296 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2014.03.026>
- Liu, H; Mao; Yan, S; Yu, Y; Xie, L; Hu, JG; Liu, RH. 2018a. Evaluation of carotenoid biosynthesis, accumulation and antioxidant activities in sweetcorn (*Zea mays* L.) during

- kernel development. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(2), 381–388 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/ijfs.13595>
- Liu, H; Mao, J; Yan, S; Yu, Y; Xie, L; Hu, JG; Liu, RH. 2018b. Evaluation of carotenoid biosynthesis, accumulation and antioxidant activities in sweetcorn (*Zea mays* L.) during kernel development. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(2), 381–388 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/IJFS.13595>
- Liu, M; Liu, H; Xie, J; Xu, Q; Pan, C; Wang, J; Liu, J. 2017. Anti-obesity effects of zeaxanthin on 3T3-L1 preadipocyte and high fat induced obese mice. *Food & Function*, 8(9), 3327–3338 p. Disponible en <https://doi.org/10.1039/C7FO00486A>
- Loarca-Piña, G; Neri, M; Figueroa, J. de 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 and Technology*, 56(7), 3177–3184 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03671-3>
- Lu, X; Wang, J; Wang, Y; Wen, W; Zhang, Y; Du, J; Guo, X. 2021. Genome-Wide Association Study of Maize Aboveground Dry Matter Accumulation at Seedling Stage. *Frontiers in Genetics*, 11, 1679 p. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FGENE.2020.571236/BIBTEX>
- Luna-Vital, D; Weiss, M; Gonzalez de Mejia, E. 2017. Anthocyanins from Purple Corn Ameliorated Tumor Necrosis Factor- α -Induced Inflammation and Insulin Resistance in 3T3-L1 Adipocytes via Activation of Insulin Signaling and Enhanced GLUT4 Translocation. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(12). Disponible en <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700362>
- Luo, Y; Wang, Q. 2012. Bioactive Compounds in Corn. In *Cereals and Pulses*. 85–103 p. Disponible en <https://doi.org/10.1002/9781118229415.ch7>
- Lux, PE; Freiling, M; Stuetz, W; Von Tucher, S; Carle, R; Steingass, CB; Frank, J. 2020. (Poly)phenols, Carotenoids, and Tocochromanols in Corn (*Zea mays* L.) Kernels As Affected by Phosphate Fertilization and Sowing Time. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(2), 612–622 p. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b07009>
- Lv, QZ; Long, JT; Gong, ZF; Nong, KY; Liang, XM; Qin, T; Yang, L. 2021. Current State of Knowledge on the Antioxidant Effects and Mechanisms of Action of Polyphenol. *Current State of Knowledge on the Antioxidant Effects and Mechanisms of. Natural Product Communications*, 16(7), 1–13 p. https://doi.org/10.1177/1934578X211027745/ASSET/IMAGES/10.1177_1934578X211027745-IMG2.PNG
- Malunga, LN; Joseph S; Ames, N. 2018. Cereal-derived phenolic acids and intestinal alpha

- glucosidase activity inhibition: Structural activity relationship. *Journal of Food Biochemistry*, 42(6), 2635 p. <https://doi.org/10.1111/JFBC.12635>
- Manyelo, TG; Sebola, NA; Hassan, ZM; Ng'ambi, JW; Weeks, WJ; Mabelebele, M. 2022. Chemical Composition and Metabolomic Analysis of *Amaranthus cruentus* Grains Harvested at Different Stages. *Molecules* 2022. 27(3). 623 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27030623>
- Maoka, T. 2020a. Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1), 1–16 p. <https://doi.org/10.1007/S11418-019-01364-X/FIGURES/15>
- Marchiosi, R; Dos Santos, WD; Constantin, RP; De Lima, RB; Soares, AR; Finger-Teixeira, A; Ferrarese-Filho, O. 2020. Biosynthesis and metabolic actions of simple phenolic acids in plants. *Phytochemistry Reviews*. 19(4), 865–906 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S11101-020-09689-2>
- Matos, RA; Adams, M; Sabaté, J. 2021. Review: The Consumption of Ultra-Processed Foods and Non-communicable Diseases in Latin America. *Frontiers in Nutrition*, 8, 110. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FNUT.2021.622714/BIBTEX>
- Matsuoka, Y; Vigouroux, Y; Goodman, MM; Buckler, E; Doebley, J. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(9), 6080–6084 p. Disponible en <https://doi.org/10.1073/PNAS.052125199>
- Mccallum, JA; Walker, JRL. 1991. Phenolic biosynthesis during grain development in wheat (*Triticum aestivum* L.) III. Changes in hydroxycinnamic acids during grain development. *Journal of Cereal Science*, 13(2), 161–172 p. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(09\)80033-7](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(09)80033-7)
- Mesarović, J; Srdić, J; Mladenović-Drinić, S; Dragičević, V; Simić, M; Brankov, M; Milojković-Opsenica, D. 2019. Evaluation of the nutritional profile of sweet maize after herbicide and foliar fertilizer application. *Journal of Cereal Science*, 87. 132–137 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2019.03.017>
- Miao, M; Jiang, H; Jiang, B; Li, Y; Cui, SW; Zhang, T. 2014. Structure elucidation of catechins for modulation of starch digestion. *LWT - Food Science and Technology*, 57(1). 188–193 p. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.01.005>
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y riego). 2021. El Agro en Cifras. (En línea). Ministerio de Desarrollo Agrario y riego. Consultado 8 julio 2022. Disponible en <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2826318-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-2021>

- Miller, NJ; Rice-Evans, C; Davies, MJ; Gopinathan, V; Milner, A. 1993. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical Science (London, England : 1979)*, 84(4), 407–412 p. Disponible en <https://doi.org/10.1042/CS0840407>
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2014. Colecta, elaboración de mapas de distribución y estudio socioeconómico de la diversidad genética del maíz. Retrieved from https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/ldb_maiz_diezregiones_14.pdf
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2015. Servicio de prospección, colección, elaboración de mapas de distribución y estudio socioeconómico de conocimientos tradicionales asociados al cultivo de las razas de maíz. (En línea). Consultado 18 may 2022. Disponible en https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/02/maiz_13regiones_2015.pdf
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2018. Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad. (En línea). Consultado 20 oct 2022. Disponible en <https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/Linea-de-base-maiz-LowRes.pdf>
- MINSA (Ministerio de Salud). 2021. Situación de la Diabetes según datos del Sistema de Vigilancia. Perú 2021. (En línea). Consultado 3 oct 2022. Disponible en <http://www.dge.gob.pe/portal/docs/tools/teleconferencia/2021/SE202021/03.pdf>
- Mohamed K y Suriharn, B. 2017. Phenolic compound, anthocyanin content, and antioxidant activity in some parts of purple waxy corn across maturity stages and locations. In *International Food Research Journal*. Vol. 24.
- Navarro, A; Torres, A; Fernández-Aulis, F; Peña, C. 2018. Bioactive compounds in pigmented maize. (En línea). *Corn - Production and human health in changing climate, InTech (Amanullah)*. Consultado en [10.5772/intechopen.78340](https://doi.org/10.5772/intechopen.78340)
- Ndolo, VU y Beta, T. 2014. Comparative Studies on Composition and Distribution of Phenolic Acids in Cereal Grain Botanical Fractions. *Cereal Chemistry Journal*, 91(5), 522–530 p. Disponible en <https://doi.org/10.1094/CCHEM-10-13-0225-R>
- Nicolás-García, M; Perucini-Avenidaño, M; Arrieta-Báez, D; de Jesús Perea-Flores, M; Jiménez-Martínez, C; Beatriz Gómez-Patiño, M; Dávila-Ortiz, G. 2022. Phenolic compounds profile by UPLC-ESI-MS in black beans and its distribution in the seed coat during storage. *Food Chemistry*, 395, 133638 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133638>

- Nishino, A; Yasui, H; Maoka, T. 2017. Reaction and Scavenging Mechanism of β -Carotene and Zeaxanthin with Reactive Oxygen Species. *Journal of Oleo Science*, 66(1), 16107 p. Disponible en <https://doi.org/10.5650/JOS.ESS16107>
- Niwa, T; Doi, U; Osawa, T. 2002. Inhibitory Activity of Corn-Derived Bisamide Compounds against α -Glucosidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(1), 90–94 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/JF020758X>
- Nleya, T; Chungu, C; Kleinjan, J. 2019. Chapter 5: Corn Growth and Development. (En línea). In *iGrow Corn: Best Management Practices* (pp. 5–8). Consultado 25 oct 2022. Disponible en <https://extension.sdstate.edu/sites/default/files/2019-09/S-0003-05-Corn.pdf>
- Noce, A; Romani, A; Bernini, R. 2021. Dietary Intake and Chronic Disease Prevention. *Nutrients* 2021, 13(4), 1358 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/NU13041358>
- O’Hare, TJ; Fanning, KJ; Martin, IF. 2015. Zeaxanthin biofortification of sweet-corn and factors affecting zeaxanthin accumulation and colour change. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 572, 184–187 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.ABB.2015.01.015>
- Oforu, FK; Daliri, EBM; Elahi, F; Chelliah, R; Lee, BH; Oh, DH. 2020. New Insights on the Use of Polyphenols as Natural Preservatives and Their Emerging Safety Concerns. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 223 p. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.525810/BIBTEX>
- Olszowy, M. 2019. What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 144, 135–143 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2019.09.039>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2003. Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Comisión Internacional de Protección Contra La Radiación No Ionizante. Índice UV Solar Mundial Guía Práctica.
- Pandey, RP; Parajuli, P; Koffas, MAG; Sohng, JK. 2016. Microbial production of natural and non-natural flavonoids: Pathway engineering, directed evolution and systems/synthetic biology. *Biotechnology Advances*, 34(5), 634–662 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2016.02.012>
- Papoutsis, K; Zhang, J; Bowyer, MC; Brunton, N; Gibney, ER; Lyng, J. 2021. Fruit, vegetables, and mushrooms for the preparation of extracts with α -amylase and α -glucosidase inhibition properties: A review. *Food Chemistry*, 338, 128119 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128119>

- Parizad, PA; Capraro, J; Scarafoni, A; Bonomi, F; Blandino, M; Marengo, M; Iametti, S. 2019. The Bio-Functional Properties of Pigmented Cereals may Involve Synergies among Different Bioactive Species. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(1), 128–134 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S11130-019-0715-4/FIGURES/3>
- Paucar-Menacho, LM; 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.064>
- Paulsmeyer, M; Chatham, L; Becker, T; West, M; West, L; Juvik, J. 2017. Survey of Anthocyanin Composition and Concentration in Diverse Maize Germplasms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(21), 4341–4350 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00771>
- Paznocht, L; Burešová, B; Kotíková, Z; Martinek, P. 2021. Carotenoid content of extruded and puffed products made of colored-grain wheats. *Food Chemistry*, 340, 127951. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127951>
- Piperno, DR; Ranere, AJ; Holst, I; Iriarte, J; Dickau, R. 2009. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(13), 5019–5024 p. Disponible en https://doi.org/10.1073/PNAS.0812525106/SUPPL_FILE/0812525106SI.PDF
- Pradeep, PM y Sreerama, YN. 2015. Impact of processing on the phenolic profiles of small millets: Evaluation of their antioxidant and enzyme inhibitory properties associated with hyperglycemia. *Food Chemistry*, 169, 455–463 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.08.010>
- Pradeep, PM y Sreerama, YN. 2018. Phenolic antioxidants of foxtail and little millet cultivars and their inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase activities. *Food Chemistry*, 247, 46–55 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.11.103>
- Prasanthi, PS; Naveena, N; Vishnuvardhana-Rao, M; Bhaskarachary, K. 2017. Compositional variability of nutrients and phytochemicals in corn after processing. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1080–1090 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2547-2>
- Prior, RL; Wu, X; Schaich, K. 2005. Standardized Methods for the Determination of

- Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/JF0502698>
- Production.com. 2022. World Corn Production 2022/2023. (En línea). World Corn Production 2022/2023. Consultado 12 abril 2022. Disponible en <http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/corn.aspx>
- PCIM (Programa Cooperativo de Investigación en Maíz). 1986. Catálogo del Germoplasma de Maíz del Perú. En Catálogo de Recursos Genéticos de Maíz de Sudamérica.
- Qi, J y Kim, SM. 2018. α -Glucosidase Inhibitory Activities of Lutein and Zeaxanthin Purified from Green Alga *Chlorella ellipsoidea*. *Journal of Ocean University of China* 2018 17:4, 17(4), 983–989 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S11802-018-3465-2>
- Qi, J y Dong, F. 2021. The relevant targets of anti-oxidative stress: a review. <https://doi.org/10.1080/1061186X.2020.1870987>, 29(7), 677–686 p. Disponible en <https://doi.org/10.1080/1061186X.2020.1870987>
- Quián-Ulloa y Stange, C. 2021. Carotenoid Biosynthesis and Plastid Development in Plants: The Role of Light. *International Journal of Molecular Sciences* 2021. 22(3), 1184 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/IJMS22031184>
- Rahimzadeh, M; Jahanshahi, S; Moein, S; Moein, MR. 2014. Evaluation of alpha- amylase inhibition by *Urtica dioica* and *Juglans regia* extracts. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 17(6), 465 p. Retrieved from [/pmc/articles/PMC4137939/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/264137939/)
- Ramirez, LB; Salcedo, HER; Aulis, MFF; Lopez, MAR; Ocana, AN; Radillo, J. 2018. Antocianinas del grano de rosa (*Zea mays* l.) granos. (En línea). consultado 15 oct 2022. Disponible en. https://www.researchgate.net/publication/326902833_Anthocyanins_from_rose_maize_Zea_mays_l_grains
- Ranilla, LG; Huamán-Alvino, C; Flores-Báez, O; Aquino-Méndez, EM; Chirinos, R; Campos, 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03748-z>
- Ranilla, LG; Rios-Gonzales, BA; Ramírez-Pinto, MF; Fuentealba, C; Pedreschi, R; Shetty, K. 2021. Primary and Phenolic Metabolites Analyses, *In Vitro* Health-Relevant Bioactivity and Physical Characteristics of Purple Corn (*Zea mays* L.) Grown at Two Andean Geographical Locations. *Metabolites* 2021, 11(11), 722 p. Disponible en

<https://doi.org/10.3390/METABO11110722>

- Rivera, S y Canela, R. 2012. Influence of Sample Processing on the Analysis of Carotenoids in Maize. *Molecules* 2012, 17(9), 11255–11268 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/MOLECULES170911255>
- Rodríguez-Salinas, PA; Zavala-García, F; Urías-Orona, V; Muy-Rangel, D; Heredia, JB; 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04086-0>
- Rosa, LS; Silva NJA; Soares NCP; Monteiro MC; Teodoro AJ. 2016. Anticancer Properties of Phenolic Acids in Colon Cancer A Review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 6.
- Rosén, LAH; Östman, EM; Björck, IME. 2011. Effects of cereal breakfasts on postprandial glucose, appetite regulation and voluntary energy intake at a subsequent standardized lunch; Focusing on rye products. *Nutrition Journal*, 10(1), 1–11 p. Disponible en <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-7/TABLES/4>
- Rowles, JL y Erdman, JW. 2020. Carotenoids and their role in cancer prevention. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1865(11), 158613. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.BBALIP.2020.158613>
- Russo, GL; Moccia, S; Russo, M; Spagnuolo, C. 2021. Redox regulation by carotenoids: Evidence and conflicts for their application in cancer. *Biochemical Pharmacology*, 194, 114838. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.BCP.2021.114838>
- Rutz, JK; Borges, CD; Zambiasi, RC; Da Rosa, CG; Da Silva, MM. 2016. Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food. *Food Chemistry*, 202, 324–333 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.01.140>
- Ryu, SH; Werth, L; Nelson, S; Scheerens, JC; Pratt, RC. 2013. Variation of Kernel Anthocyanin and Carotenoid Pigment Content in USA/Mexico Borderland Land Races of Maize. *Economic Botany* 2013 67:2, 67(2), 98–109 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S12231-013-9232-9>
- Saigo, T; Wang, T; Watanabe, M; Tohge, T. 2020. Diversity of anthocyanin and proanthocyanin biosynthesis in land plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 55, 93–99 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.PBI.2020.04.001>
- Saikaew, K; Lertrat, K; Ketthaisong, D; Meenune, M; Tangwongchai, R. 2018. Influence of

- variety and maturity on bioactive compounds and antioxidant activity of purple waxy corn (*Zea mays* L. var. ceratina). In International Food Research Journal (Vol. 25).
- Salhuana MW. 2004. Diversidad y descripción de las razas de maíz del Perú. U.S. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Retrieved from https://www.ars.usda.gov/ARSTUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Diversidad_y_razas_de_maiz_en_Peru.pdf
- Salinas-Moreno, Y; García-Salinas, C; Ramírez-Díaz, JL; Torre, IA. 2017. Phenolic Compounds in Maize Grains and Its Nixtamalized Products. Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications. Disponible en <https://doi.org/10.5772/66893>
- Salvador-Reyes, R y Clerici, MTPS. 2020. Peruvian Andean maize: General characteristics, nutritional properties, bioactive compounds, and culinary uses. Food Research International, 130, 108934. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2019.108934>
- Sansanya, S y Payaka, A. 2022. Inhibitory potential of phenolic compounds of Thai colored rice (*Oryza sativa* L.) against α -glucosidase and α -amylase through *in vitro* and *in silico* studies. Journal of the Science of Food and Agriculture, 102(14). Disponible en <https://doi.org/10.1002/JSFA.12039>
- Sarkar, D; Christopher, A; Shetty, K. 2022. Phenolic Bioactives From Plant-Based Foods for Glycemic Control. Frontiers in Endocrinology, 12, 1921. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FENDO.2021.727503/BIBTEX>
- Serina, JJC y Castilho, PCMF. (2022). Using polyphenols as a relevant therapy to diabetes and its complications, a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(30), 8355–8387 p. Disponible en <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1927977>
- Sevilla, R. 2006. Use of native and introduced maize diversity to improve cold tolerance in Andean Maize. In Enhancing the use of crop genetic diversity to manage abiotic stress in agricultural production systems. Proceeding of a Workshop, Budapest, 84–91 p.
- Sevilla, R y Chura, J. 1999. Proceedings of a workshop held at CIMMYT. Latin American Maize Germplasm Conservation: Core Subset Development and Regeneration.
- Sevilla, R y Holle, M. 2004. Recursos genéticos vegetales (Editorial). Lima, Perú.
- Shafiq, S; Akram, NA. y Ashraf, M. 2019. Assessment of physio-biochemical indicators for drought tolerance in different cultivars of maize (*Zea mays* L.). Pak. J. Bot, 51(4), 1241–1247 p. Disponible en [https://doi.org/10.30848/PJB2019-4\(21\)](https://doi.org/10.30848/PJB2019-4(21))
- Shah, SR; Ukaegbu, CI; Hamid, HA; Alara, OR. 2018. Evaluation of antioxidant and

- antibacterial activities of the stems of *Flammulina velutipes* and *Hypsizygus tessellatus* (white and brown var.) extracted with different solvents. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2018 12:3, 12(3), 1947–1961 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S11694-018-9810-8>
- Shahidi, F y Yeo, J. 2016. Insoluble-Bound Phenolics in Food. *Molecules*, 21(9), 1216 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
- Shahwan, M; Alhumaydhi, F; Ashraf, GM; Hasan, PMZ; Shamsi, A. 2022. Role of polyphenols in combating Type 2 Diabetes and insulin resistance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 206, 567–579 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.03.004>
- Sheng, S; Li, T; Liu, RH. 2019. Corn. In *Whole Grains and their Bioactives*. 113–134 p. Disponible en <https://doi.org/10.1002/9781119129486.ch5>
- Shukla, K y Srivastava, S. 2011. Evaluation of finger millet incorporated noodles for nutritive value and glycemic index. *Journal of Food Science and Technology* 2011 51:3, 51(3), 527–534 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S13197-011-0530-X>
- Singh, N; Singh, S; Shevkani, K. 2019. Maize: Composition, Bioactive Constituents, and Unleavened Bread. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*, 111–121. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00009-5>
- Singleton, V; Rossi, J. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture.*, 16(3), 144-158 p.
- Sinha, S; Haque, M. 2022. Obesity, Diabetes Mellitus, and Vascular Impediment as Consequences of Excess Processed Food Consumption. *Cureus*, 14(9). Disponible en <https://doi.org/10.7759/CUREUS.28762>
- Siyuan, S; Tong, L; Liu, RH. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 7(3), 185–195 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FSHW.2018.09.003>
- Skrajda-Brdak, M; Konopka, I; Tańska, M; Sulewska, H. 2019. Lipophilic fraction and its antioxidant capacity in sixteen spelt genotypes cultivated in Poland. *Journal of Cereal Science*, 89, 102809. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2019.102809>
- Song, J; Chen, J; Li, D; Xiao, Y; Liu, C. 2018a. Thermal Isomerization and Degradation Behaviours of Carotenoids in Simulated Sweet Corn Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 11(4), 836–844 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11947-018->

- Song, J; Chen, J; Li, D; Xiao, Y; Liu, C. 2018b. Thermal Isomerization and Degradation Behaviours of Carotenoids in Simulated Sweet Corn Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 11(4), 836–844p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S11947-018-2059-8/TABLES/4>
- Song, J; Li, D; He, M; Chen, J; Liu, C. 2016. Comparison of Carotenoid Composition in Immature and Mature Grains of Corn (*Zea Mays* L.) Varieties. *International Journal of Food Properties*, 19(2), 351–358 p. Disponible en <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1031245>
- Song, J; Li, D; Liu, N; Liu, C; He, M; Zhang, Y. 2016. Carotenoid Composition and Changes in Sweet and Field Corn (*Zea mays*) During Kernel Development. *Cereal Chemistry Journal*, 93(4), 409–413 p. Disponible en <https://doi.org/10.1094/CCHEM-11-15-0230-N>
- Špoljarić, S; Ledenčan, T; Viljevac, M; Galić, V; Jambrović, A; Zdunić, Z; Svečnjak, Z. 2020. Chemical components of kernel quality in sh2 sweet corn genotypes (*Zea mays* l. *saccharata* sturt.) as affected by harvest date. *Journal of Central European Agriculture*, 21(3), 577–588 p. Disponible en <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.3.2677>
- Srivastava, KK; Kumar, R. 2015. Stress, Oxidative Injury and Disease. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 3–10 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/S12291-014-0441-5>
- Stanley, L; Yuan, YW. 2019. Transcriptional Regulation of Carotenoid Biosynthesis in Plants: So Many Regulators, So Little Consensus. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1017. Disponible en <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.01017/BIBTEX>
- Steven, S; Frenis, K; Oelze, M; Kalinovic, S; Kuntic, M; Jimenez, MTB; Daiber, A. 2019. Vascular inflammation and oxidative stress: Major triggers for cardiovascular disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. Disponible en <https://doi.org/10.1155/2019/7092151>
- Stitzer, MC; Ross-Ibarra, J. 2018. Heerwaarden. *New Phytologist*, 220(2), 395–408 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/NPH.15350>
- Sun, L; Warren, FJ; Gidley, MJ. 2019. Natural products for glycaemic control: Polyphenols as inhibitors of alpha-amylase. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 262–273 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.07.009>
- Sun, L; Miao, M. 2019. Dietary polyphenols modulate starch digestion and glycaemic level:

- a review. Disponible en <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1544883>
- Sun, Lijun, Wang, Y. y Miao, M. 2020. Inhibition of α -amylase by polyphenolic compounds: Substrate digestion, binding interactions and nutritional intervention. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 190–207 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.08.003>
- Suriano, S; Balconi, C; Valoti, P; Redaelli, R. 2021. Comparison of total polyphenols, profile anthocyanins, color analysis, carotenoids and tocopherols in pigmented maize. *LWT*, 144, 111257. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111257>
- Takayanagi, K; Morimoto, SI; Shirakura, Y; Mukai, K; Sugiyama, T; Tokuji, Y; Ohnishi, M. 2011. Mechanism of Visceral Fat Reduction in Tsumura Suzuki Obese, Diabetes (TSOD) Mice Orally Administered β -Cryptoxanthin from Satsuma Mandarin Oranges (*Citrus unshiu Marc*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(23), 12342–12351. Disponible en <https://doi.org/10.1021/JF202821U>
- Tavares, WR; Seca, AML. 2019. Inula L. Secondary Metabolites against Oxidative Stress-Related Human Diseases. *Antioxidants*, 8(5). Disponible en <https://doi.org/10.3390/ANTIOX8050122>
- Tian, W; Zheng, Y; Wang, W; Wang, D; Tilley, M; Zhang, G; Li, Y. 2022. A comprehensive review of wheat phytochemicals: From farm to fork and beyond. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2274–2308 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12960>
- Tohge, T; Watanabe, M; Hoefgen, R; Fernie, AR. 2013. The evolution of phenylpropanoid metabolism in the green lineage. <https://doi.org/10.3109/10409238.2012.758083>, 48(2), 123–152 p. Disponible en <https://doi.org/10.3109/10409238.2012.758083>
- Torres Peña, G; De la Cruz Larios, L; Sánchez González, J; Ruiz Corral, JA; Castañeda Nava, JJ; Santacruz-Ruvalcaba, F; Miranda Medrano, R. 2015. Relaciones entre poblaciones de teocintle (*Zea spp.*) de México, Guatemala y Nicaragua. *Acta Botanica Mexicana*, (111), 17. <https://doi.org/10.21829/ABM111.2015.185>
- 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3171-5>
- 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 Science and Technology*. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04412-7>

- Trono, D. 2019. Carotenoids in Cereal Food Crops: Composition and Retention throughout Grain Storage and Food Processing. *Plants* 2019, Vol. 8, Page 551, 8(12), 551 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/PLANTS8120551>
- Tsuda, T; Horio, F; Uchida, K; Aoki, H; Osawa, T. 2003. Dietary Cyanidin 3-O- β -D-Glucoside-Rich Purple Corn Color Prevents Obesity and Ameliorates Hyperglycemia in Mice. *The Journal of Nutrition*, 133(7), 2125–2130 p. Disponible en <https://doi.org/10.1093/jn/133.7.2125>
- Uarrota, VG; Severino, RB; Malinowsky, C; de Oliveira, SK; Kuhnen, S; Yunes, RA; Maraschin, M. 2014. Biochemical Profile of Leaf, Silk and Grain Samples of Eight Maize Landraces (*Zea mays* L.) Cultivated in Two Low-Input Agricultural Systems. *Journal of Food Biochemistry*, 38(6), 551–562 p. Disponible en <https://doi.org/10.1111/jfbc.12087>
- Urias-Lugo, DA; Heredia, JB; Muy-Rangel, MD; Valdez-Torres, JB; Serna-Saldívar, SO; Gutiérrez-Uribe, JA. 2015. Anthocyanins and Phenolic Acids of Hybrid and Native Blue Maize (*Zea mays* L.) Extracts and Their Antiproliferative Activity in Mammary (MCF7), Liver (HepG2), Colon (Caco2 and HT29) and Prostate (PC3) Cancer Cells. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(2), 193–199 p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0479-4>
- Van Heerwaarden, J; Doebley, J; Briggs, WH; Glaubitz, JC; Goodman, MM; Gonzalez, J. DJS; Ross-Ibarra, J. 2011. Genetic signals of origin, spread, and introgression in a large sample of maize landraces. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(3), 1088–1092 p. Disponible en https://doi.org/10.1073/PNAS.1013011108/SUPPL_FILE/SD01.XLS
- Vargas-Yana, D; Aguilar-Morón, B; Pezo-Torres, N; Shetty, K y Ranilla, LG. 2020. Ancestral Peruvian ethnic fermented beverage “chicha” based on purple corn (*Zea mays* L.): Unraveling the health-relevant functional benefits. *Journal of Ethnic Foods*, 7(1), 1–12 p. Disponible en <https://doi.org/10.1186/S42779-020-00063-3/FIGURES/6>
- Visvanathan, R; Houghton, MJ; Williamson, G. 2021. Maltoheptaoside hydrolysis with chromatographic detection and starch hydrolysis with reducing sugar analysis: Comparison of assays allows assessment of the roles of direct α -amylase inhibition and starch complexation. *Food Chemistry*, 343, 128423. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128423>
- Visvanathan, R; Jayathilake, C; Liyanage, R. 2016. A simple microplate-based method for the determination of α -amylase activity using the glucose assay kit (GOD method).

- Food Chemistry, 211, 853–859 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.05.090>
- Vitalini, S; Sardella, A; Fracassetti, D; Secli, R; Tirelli, A; Lodi, G; Iriti, M. 2020. Polyphenol Bioavailability and Plasma Antiradical Capacity in Healthy Subjects after Acute Intake of Pigmented Rice: A Crossover Randomized Controlled Clinical Trial. Journal of Clinical Medicine, 9(10), 1–10 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/JCM9103209>
- Vuolo, MM; Lima, VS; Maróstica Junior, MR. 2019. Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications, 33–50 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>
- Wallace, HA; Brown, WL .1956. Corn and Its Early Fathers. Michigan State University Press, East Lansing, Mich., 33–37 p.
- Wang, C; Xie, Y; Wang, H; Bai, Y; Dai, C; Li, C; Zhou, G. 2018. The Influence of Natural Antioxidants on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Formation in Charcoal-Grilled Chicken Wings. Food Control. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.012>
- Wang, W; Snooks, HD; Sang, S. 2020. The Chemistry and Health Benefits of Dietary Phenolamides. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68(23), 6248–6267 p. Disponible en https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.0C02605/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF0C02605_0007.GIF
- Wang, X; Zhang, R; Song, W; Han, L; Liu, X; Sun, X; Zhao, J. 2019. Dynamic plant height QTL revealed in maize through remote sensing phenotyping using a high-throughput unmanned aerial vehicle (UAV). Scientific Reports 2019 9:1, 9(1), 1–10 p. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39448-z>
- Wang, Y; Alkhalidy, H; Liu, D. 2021. The Emerging Role of Polyphenols in the Management of Type 2 Diabetes. Molecules, 26(3). Disponible en <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26030703>
- Wang, Y; Xiang, L; Wang, C; Tang, C; He, X. 2013. Antidiabetic and antioxidant effects and phytochemicals of mulberry fruit (*Morus alba* L.) polyphenol enhanced extract. PloS One, 8(7). Disponible en <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0071144>
- Wen, H; Tang, B; Stewart, AJ; Tao, Y; Shao, Y; Cui, Y; Jiang, L. 2018. Erythritol Attenuates Postprandial Blood Glucose by Inhibiting α -Glucosidase. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66(6), 1401–1407 p. Disponible en

<https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.7B05033>

- Weng, J; Xie, C; Hao, Z; Wang, J; Liu, C; Li, M; Li, X. 2011. Genome-Wide Association Study Identifies Candidate Genes That Affect Plant Height in Chinese Elite Maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines. PLOS ONE, 6(12), e29229. Disponible en <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0029229>
- Worthington, K. 2011a. Ensayo de la alfa Amilasa. Bioquímica de Worthington. (En línea). Consultado 26 sept 2022. Disponible en <https://www.worthington-biochem.com/products/amylase-alpha/assay>
- Worthington, K. 2011b. Ensayo de la maltasa. Manual de enzimas de Worthington. (En línea). Consultado 27 sept 2022. Disponible en <https://www.worthington-biochem.com/products/maltase/manual>
- Wrigley, CW y Nirmal, RC. 2017. The Major Cereal Grains: Corn, Rice, and Wheat. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 1–37 p. Disponible en <https://doi.org/10.1002/0471238961.23080501.A01.PUB3>
- Xiang, N; Wen, T; Yu, B; Li, G; Li, C; Li, W; Guo, X. 2020. Dynamic effects of post-harvest preservation on phytochemical profiles and antioxidant activities in sweet corn kernels. International Journal of Food Science & Technology. Disponible en <https://doi.org/10.1111/ijfs.14575>
- Xie, F; Lei, Y; Han, X; Zhao, Y; Zhang, S. 2020. Antioxidant ability of polyphenols from black rice, buckwheat and oats: *In vitro* and *in vivo*. Czech Journal of Food Sciences, 38 (2020)(No. 4), 242–247 p. Disponible en <https://doi.org/10.17221/248/2018-CJFS>
- Xu, JG; Hu, QP; Wang, XD; Luo, JY; Liu, Y; Tian, CR. 2010. Changes in the main nutrients, phytochemicals, and antioxidant activity in yellow corn grain during maturation. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(9), 5751–5756 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/jf100364k>
- Yang, H; Dong, L; Wang, H; Liu, C; Liu, F; Xie, C; Xiao. 2018. A simple way to visualize detailed phylogenetic tree of huge genome-wide SNP data constructed by SNPhylo. Journal of Integrative Agriculture, 17(9), 1972–1978 p. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62023-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62023-4)
- Yang, N; Lu, Y; Yang, X; Huang, J; Zhou, Y; Ali, F y Yan, J. 2014. Genome Wide Association Studies Using a New Nonparametric Model Reveal the Genetic Architecture of 17 Agronomic Traits in an Enlarged Maize Association Panel. PLOS Genetics, 10(9), e1004573. Disponible en <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PGEN.1004573>

- Yu, M; Yan, W; Beight, C. 2018. Lutein and Zeaxanthin Isomers Protect against Light-Induced Retinopathy via Decreasing Oxidative and Endoplasmic Reticulum Stress in BALB/cJ Mice. *Nutrients* 2018, Vol. 10(7), 842 p. Disponible en <https://doi.org/10.3390/NU10070842>
- Yuan, Y; Xiang, J; Zheng, B; Sun, J; Luo, D; Li, P; Fan, J. 2022. Diversity of phenolics including hydroxycinnamic acid amide derivatives, phenolic acids contribute to antioxidant properties of proso millet. *LWT*, 154, 112611. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112611>
- Zeng, L; Zhang, G; Lin, S; Gong, D. 2016. Inhibitory Mechanism of Apigenin on α -Glucosidase and Synergy Analysis of Flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(37), 6939–6949 p. Disponible en https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.6B02314/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF-2016-023145_0008.GIF
- Zhang, B; Zhang, Y; Li, H; Deng, Z; Tsao, R. 2020. A review on insoluble-bound phenolics in plant-based food matrix and their contribution to human health with future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 347–362 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.09.029>
- Zhang, Q; Gonzalez de Mejia, E; Luna-Vital, D; Tao, T; Chandrasekaran, S; Chatham, L; Kumar, D. 2019a. 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.116>
- Zhang, Q; Gonzalez de Mejia, E; Luna-Vital, D; Tao, T; Chandrasekaran, S; Chatham, L; Kumar, D. 2019b. 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 p. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.116>
- 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, 103113. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2020.103113>
- Zhang, X; Li, G; Wu, D; Yu, Y; Hu, N; Wang, H; Wu, Y. 2020. Emerging strategies for the activity assay and inhibitor screening of alpha-glucosidase. *Food & Function*, 11(1), 66–82 p. Disponible en <https://doi.org/10.1039/C9FO01590F>

- Zhang, Y; Cai, P; Cheng, G; Zhang, Y. 2022. A Brief Review of Phenolic Compounds Identified from Plants: Their Extraction, Analysis, and Biological Activity: Disponible en <https://doi.org/10.1177/1934578X211069721>
- Zhang, Z; Liang, Z; Yin, L; Li, QX; Wu, Z. 2018. Distribution of Four Bioactive Flavonoids in Maize Tissues of Five Varieties and Correlation with Expression of the Biosynthetic Genes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(40), 10431–10437 p. Disponible en https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.8B03865/SUPPL_FILE/JF8B03865_SI_001.PDF
- Zhao, C; Wan, X; Zhou, S; Cao, H. 2020. Natural Polyphenols: A Potential Therapeutic Approach to Hypoglycemia. *EFood*, 1(2), 107–118 p. Disponible en <https://doi.org/10.2991/EFOOD.K.200302.001>
- 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 and Food Chemistry*, 60(5), 1224–1231 p. Disponible en <https://doi.org/10.1021/jf204367z>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Certificado de Cumplimiento Reconocido Internacionalmente (CCRI) ABSCH-IRCC-PE-256874-1



Access and Benefit-Sharing Clearing-House (ABSCH)

ABSCH-IRCC-PE-256874-1 Internationally recognized certificate of compliance constituted from information on the permit or its equivalent made available to the Access and Benefit-sharing Clearing-House

In accordance with Article 17, paragraph 2, of the Nagoya Protocol on Access and Benefit-sharing, a permit or its equivalent issued in accordance with Article 6, paragraph 3 (e) and made available to the Access and Benefit-sharing Clearing-House, shall constitute an internationally recognized certificate of compliance.

General Information

Issuing country

PERU

Verification link (view latest version)

<https://absch.cbd.int/database/ABSCH-IRCC-PE-256874>

ABS-CH Unique Identifier (UID)

ABSCH-IRCC-PE-256874-1

Issuing Authority

- [Competent National Authority](#): ABSCH-CNA-PE-203840-6

COMPETENT NATIONAL AUTHORITY

Instituto Nacional de Innovación Agraria

Av. La Molina, N° 1981, La Molina Lima
Peru
Phone: +1 511.240.2100
Email: jefatura@inia.gob.pe
Website: <http://www.inia.gob.pe>
? ABSCH-CNA-PE-203840-6

Details of the permit or its equivalent

Reference number of the permit or its equivalent

00030PER/INIA-2021

Additional national references or identifiers

Resolución Directoral N° 0006-2021-INIA-DGIA de fecha 23 de junio de 2021, publicada en El Peruano el 26 de junio de 2021, la cual autoriza la suscripción el Contrato de Acceso a Recursos Genéticos N° 002-2021-MIDAGRI-INIA/DGIA realizada el 23 de junio de 2021.

Date of issuance of the permit or its equivalent

27 Jun 2021

Date of expiry of the permit or its equivalent

27 Jun 2024

Prior Informed Consent (PIC) Information

Confirmation that prior informed consent (PIC) obtained or granted

YES

Provider The person or entity that holds the right to grant access to the genetic resources in accordance with domestic legislation.

- **Competent National Authority:** ABSCH-CNA-PE-203840-6

COMPETENT NATIONAL AUTHORITY

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Av. La Molina, N° 1981, La Molina Lima
Peru
Phone: +1 511.240.2100
Email: jefatura@inia.gob.pe
Website: <http://www.inia.gob.pe>
? ABSCH-CNA-PE-203840-6

Entity to whom PIC was granted

- **Organization:** Universidad Católica de Santa María

ORGANIZATION

Universidad Católica de Santa María
Academic or research institute
Urb. San José s/n Umacollo Arequipa
Peru
Phone: +51 54 382038
Email: ucsm@ucsm.edu.pe

Mutually Agreed Terms (MAT) Information

Confirmation that mutually agreed terms (MAT) have been established

YES

Additional information about the mutually agreed terms

Contrato de Acceso a Recursos Genéticos N° 002-2021-MIDAGRI-INIA/DGIA.

Subject-matter

Subject-matter or genetic resources covered:

El acceso cubre recursos genéticos y derivados contenidos en mazorcas de la raza "cabanita" de maíz (*Zea mays*), proveniente de la Región Arequipa, obtenidas en condiciones in situ en parcelas de agricultores que otorgaron su consentimiento fundamentado previo. La solicitud de acceso a los recursos genéticos fue aprobada mediante Resolución Directoral N° 0006-2021-INIA-DGIA de fecha 23 de junio de 2021.

Information on the utilization of the genetic resource(s)

Type of use allowed by the permit or its equivalent
Non-Commercial
Specific uses covered by the permit or its equivalent or use restrictions:
<p>La USUARIA tiene derecho a acceder a los recursos genéticos de maíz (<i>Zea mays</i>), para el cumplimiento de los objetivos del proyecto: "Análisis metabolómico y transcriptómico para la identificación preliminar de genes involucrados en la biosíntesis de carotenoides y polifenoles con potenciales propiedades antioxidantes e hipoglucémicas in vitro en la raza de maíz (<i>Zea mays</i> L.) Cabanita de la región Arequipa", sin fines comerciales, con el objetivo general de contribuir a la valorización de esta raza de maíz, particularmente, por los compuestos bioactivos relevantes para la salud que contiene.</p> <p>Cualquier modificación en la utilización de los recursos genéticos y sus derivados accedidos, que implique la variación de las actividades no comerciales a actividades comerciales, requiere el inicio de un nuevo procedimiento de acceso ante la AAE.</p> <p>La USUARIA no podrá reclamar derechos de propiedad sobre los recursos genéticos y sus derivados objeto del Contrato. Asimismo, el contrato no otorga, expresa o implícitamente, a la USUARIA derechos de propiedad intelectual.</p>
Conditions for third party transfer:
<p>La USUARIA no debe transferir los recursos genéticos y sus derivados objeto del contrato a terceros, sin la autorización de la AAE. (7.6)</p> <p>La USUARIA no debe trasladar las muestras del recurso genético y sus derivados objeto del contrato fuera del país, salvo para los servicios que se ejecutarán en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) y MACROGEN (Corea del Sur) para el análisis que se requiere en el marco del proyecto, debiendo gestionar los correspondientes permisos y controles de ley (Aduanas, SENASA, entre otros).</p> <p>En el caso excepcional que la USUARIA requiera la salida del material genético, deberá gestionar ante la AAE la autorización correspondiente.</p> <p>Asimismo, la USUARIA debe destruir los remanentes de los recursos genéticos y sus derivados accedidos, resultado de la ejecución y/o culminación del proyecto con la finalidad de evitar el uso indebido de tales recursos, bajo responsabilidad. Deberá acreditar la referida destrucción con un informe documentado que incluya la prueba fehaciente de tal hecho.</p>

Amendment History

Date	Action	Comment	Unique identifier
------	--------	---------	-------------------

**25 AUG 2021
17:23**

**CURRENT
VERSION**

Permit information published to the
ABS clearing-house and certificate
constituted.

ABSCH-IRCC-PE-256874-1

Further Information

Questions about the permit or its equivalent constituting an internationally recognized certificate of compliance should be addressed to the competent national authority issuing the permit or its equivalent. Additional information about the permit or its equivalent may be available in the Access and Benefit-Sharing Clearing House (<https://absch.cbd.int/>).

Questions about the Nagoya Protocol on Access and Benefit-sharing or the operation of the Access and Benefit-sharing Clearing-House may be directed to the Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity

413 rue Saint-Jacques, suite 800
Montreal, Québec, H2Y 1N9
Canada
Fax: +1 514 288-6588
Email:

Anexo 2: Características fisicoquímicas del suelo de cultivo del maíz Cabanita

Características	Cantidad
Arena (%)	55,1
Lim (%)	27,1
Arcilla (%)	17,8
Porosidad (%)	38,0
Agua (%)	7,9
Materia orgánica (%)	8,1
Nitrógeno total (%)	0,3
Fósforo (ppm)	165,9
Potasio (ppm)	3.099,8
CO ₃ Ca (%)	2,9
pH	8,0
Conductividad eléctrica (dS/m)	2,6

Fuente: Instituto Nacional de Innovación Agraria (2020)

Anexo 3: Desarrollo mensual del cultivo de maíz Cabanita de tres diferentes pigmentaciones (blanco, rojo y anaranjado)



A



B



C



D



E



F



G

A, B, C, D, E, F y G: Corresponde al mes 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 después de la siembra, respectivamente.

Anexo 4: Polinización manual del maíz Cabanita



Anexo 5: Análisis estadístico

- A. Análisis estadístico- ácidos hidroxibenzoicos tipo 1 (AHB-1) de tres tipos de maíz Cabanita en tres diferentes estados de madurez

HBA-1

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HBA-1	36	0.68	0.47	49.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2955.11	14	211.08	3.18	0.0083
Maize type	22.71	2	11.35	0.17	0.8439
Maturation stage	2742.35	4	685.59	10.33	0.0001
Maize type*Maturation stag..	206.82	8	25.85	0.39	0.9140
Error	1393.55	21	66.36		
Total	4348.67	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=19.90097
Error: 66.3596 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
White	S1	30.57	4	4.07 A
Orange	S1	27.60	4	4.07 A
Red	S5	24.30	1	8.15 A B
Red	S1	23.24	4	4.07 A B
Red	S4	21.15	1	8.15 A B
Red	S2	20.66	1	8.15 A B
Orange	S2	18.01	1	8.15 A B
Orange	S5	17.89	1	8.15 A B
White	S4	17.72	1	8.15 A B
White	S2	16.27	1	8.15 A B
Orange	S4	15.43	1	8.15 A B
White	S5	13.05	1	8.15 A B
Orange	S3	8.33	5	3.64 B
Red	S3	6.54	5	3.64 B
White	S3	6.11	5	3.64 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

- B. Análisis estadístico- Derivado del ácido vanílico (fracción libre) de tres tipos de maíz Cabanita en tres diferentes estados de madurez

Free-vanill-ac-der

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Free-vanill-ac-der	36	0.75	0.58	42.60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	557.22	14	39.80	4.44	0.0011
Maize type	30.56	2	15.28	1.70	0.2063
Maturation stage	490.51	4	122.63	13.67	<0.0001
Maize type*Maturation stag..	57.35	8	7.17	0.80	0.6100
Error	188.40	21	8.97		
Total	745.63	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=7.31740
Error: 8.9716 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
White	S1	13.56	4	1.50 A
Orange	S1	11.44	4	1.50 A B
Red	S1	10.81	4	1.50 A B C
Red	S2	10.72	1	3.00 A B C
Red	S5	9.39	1	3.00 A B C D
Red	S4	8.06	1	3.00 A B C D
White	S4	7.02	1	3.00 A B C D
White	S5	5.65	1	3.00 B C D
Orange	S5	5.57	1	3.00 B C D
Orange	S4	4.58	1	3.00 B C D
White	S2	4.10	1	3.00 C D
Red	S3	4.05	5	1.34 C D
Orange	S2	3.96	1	3.00 C D
Orange	S3	3.37	5	1.34 D
White	S3	2.75	5	1.34 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

C. Análisis estadístico- Total ácidos hidroxibenzoicos (fracción libre) de tres tipos de maíz Cabanita en tres diferentes estados de madurez

Free-total-HBA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Free-total-HBA	36	0.71	0.52	45.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5986.01	14	427.57	3.76	0.0032
Maize type	96.65	2	48.33	0.42	0.6593
Maturation stage	5529.63	4	1382.41	12.16	<0.0001
Maize type*Maturation stag..	455.59	8	56.95	0.50	0.8420
Error	2388.11	21	113.72		
Total	8374.11	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=26.05190

Error: 113.7194 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
White	S1	44.18	4	5.33 A
Orange	S1	39.15	4	5.33 A B
Red	S1	34.05	4	5.33 A B
Red	S5	33.70	1	10.66 A B C
Red	S2	31.38	1	10.66 A B C D
Red	S4	29.21	1	10.66 A B C D
White	S4	24.74	1	10.66 A B C D
Orange	S5	23.46	1	10.66 A B C D
Orange	S2	21.97	1	10.66 A B C D
White	S2	20.38	1	10.66 A B C D
Orange	S4	20.01	1	10.66 A B C D
White	S5	18.69	1	10.66 B C D
Orange	S3	11.70	5	4.77 C D
Red	S3	10.59	5	4.77 C D
White	S3	8.86	5	4.77 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

D. Análisis estadístico- Derivados del ácido p-cumárico (fracción libre) de tres tipos de maíz Cabanita en tres diferentes estados de madurez

Free-p-coum-der

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Free-p-coum-der	36	0.53	0.22	70.47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.60	14	0.69	1.72	0.1275
Maize type	0.77	2	0.38	0.96	0.3995
Maturation stage	6.66	4	1.67	4.17	0.0122
Maize type*Maturation stag..	0.70	8	0.09	0.22	0.9838
Error	8.38	21	0.40		
Total	17.98	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.54349

Error: 0.3992 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
White	S3	1.91	5	0.28 A
Orange	S3	1.35	5	0.28 A B
Red	S3	0.94	5	0.28 A B
White	S1	0.82	4	0.32 A B
White	S4	0.74	1	0.63 A B
White	S5	0.64	1	0.63 A B
Orange	S1	0.57	4	0.32 A B
Orange	S4	0.56	1	0.63 A B
Orange	S5	0.55	1	0.63 A B
Orange	S2	0.48	1	0.63 A B
Red	S1	0.43	4	0.32 B
Red	S4	0.31	1	0.63 B
White	S2	0.30	1	0.63 B
Red	S2	0.26	1	0.63 B
Red	S5	0.18	1	0.63 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

E. Análisis estadístico- Derivado del ácido ferúlico (fracción libre) de tres tipos de maíz Cabanita en tres diferentes estados de madurez

Free-ferul-der

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Free-ferul-der	36	0.71	0.52	26.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16.38	14	1.17	3.75	0.0032
Maize type	4.38	2	2.19	7.01	0.0046
Maturation stage	9.23	4	2.31	7.39	0.0007
Maize type*Maturation stag..	5.30	8	0.66	2.13	0.0795
Error	6.55	21	0.31		
Total	22.93	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.36452
 Error: 0.3120 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Red	S5	3.39	1	0.56 A
White	S1	3.29	4	0.28 A
Orange	S1	2.53	4	0.28 A B
Red	S1	2.53	4	0.28 A B
Red	S4	2.43	1	0.56 A B C
Red	S2	2.35	1	0.56 A B C
Red	S3	1.97	5	0.25 B C
White	S3	1.68	5	0.25 B C
Orange	S3	1.65	5	0.25 B C
White	S2	1.51	1	0.56 B C
White	S5	1.33	1	0.56 B C
Orange	S5	1.28	1	0.56 B C
White	S4	1.07	1	0.56 C
Orange	S2	0.99	1	0.56 C
Orange	S4	0.89	1	0.56 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

F. Análisis estadístico- Total ácidos hidroxicinámicos (fracción libre) de tres tipos de maíz Cabanita en tres diferentes estados de madurez

Free-total-HCA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Free-total-HCA	36	0.50	0.16	35.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28.83	14	2.06	1.47	0.2064
Maize type	3.25	2	1.63	1.16	0.3325
Maturation stage	19.65	4	4.91	3.51	0.0242
Maize type*Maturation stag..	4.38	8	0.55	0.39	0.9134
Error	29.41	21	1.40		
Total	58.24	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.89104
 Error: 1.4004 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
White	S3	4.58	5	0.53 A
Red	S3	4.11	5	0.53 A B
White	S1	4.11	4	0.59 A B
Red	S5	3.57	1	1.18 A B
Orange	S3	3.49	5	0.53 A B
Orange	S1	3.14	4	0.59 A B
Red	S1	2.96	4	0.59 A B
Red	S4	2.74	1	1.18 A B
Red	S2	2.62	1	1.18 A B
White	S5	2.12	1	1.18 A B
White	S2	2.06	1	1.18 A B
White	S4	1.97	1	1.18 A B
Orange	S5	1.85	1	1.18 B
Orange	S2	1.49	1	1.18 B
Orange	S4	1.47	1	1.18 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

G. Análisis estadístico- Total flavonoides (fracción libre) de tres tipos de maíz Cabanita en tres diferentes estados de madurez

Free-total-flav

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Free-total-flav	36	0.53	0.22	149.98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2015.65	14	143.98	1.69	0.1357
Maize type	566.87	2	283.44	3.32	0.0560
Maturation stage	83.76	4	20.94	0.25	0.9094
Maize type*Maturation stag..	907.87	8	113.48	1.33	0.2835
Error	1793.92	21	85.42		
Total	3809.58	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=22.57952

Error: 85.4250 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S1	22.70	4	4.62 A
Orange	S4	14.31	1	9.24 A B
Orange	S2	12.70	1	9.24 A B
Red	S3	11.75	5	4.13 A B
Orange	S3	6.84	5	4.13 A B
Orange	S5	4.07	1	9.24 A B
Red	S5	3.39	1	9.24 A B
Red	S2	0.72	1	9.24 B
Red	S4	0.61	1	9.24 B
Red	S1	0.56	4	4.62 B
White	S1	0.00	4	4.62 B
White	S4	0.00	1	9.24 B
White	S3	0.00	5	4.13 B
White	S2	0.00	1	9.24 B
White	S5	0.00	1	9.24 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

H. Análisis estadístico- Total compuestos fenólicos (fracción libre) de tres tipos de maíz Cabanita en tres diferentes estados de madurez

Free-total-phenolics

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Free-total-phenolics	36	0.73	0.55	36.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8236.25	14	588.30	4.06	0.0020
Maize type	493.26	2	246.63	1.70	0.2068
Maturation stage	5916.44	4	1479.11	10.20	0.0001
Maize type*Maturation stag..	1482.75	8	185.34	1.28	0.3066
Error	3045.71	21	145.03		
Total	11281.95	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=29.42094

Error: 145.0336 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S1	65.00	4	6.02 A
White	S1	48.29	4	6.02 A B
Red	S5	40.66	1	12.04 A B C
Red	S1	37.58	4	6.02 B C
Orange	S2	36.16	1	12.04 B C
Orange	S4	35.79	1	12.04 B C
Red	S2	34.72	1	12.04 B C
Red	S4	32.56	1	12.04 B C
Orange	S5	29.39	1	12.04 B C
White	S4	26.71	1	12.04 B C
Red	S3	26.45	5	5.39 B C
White	S2	22.44	1	12.04 B C
Orange	S3	22.04	5	5.39 B C
White	S5	20.81	1	12.04 B C
White	S3	13.43	5	5.39 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

I. Análisis estadístico- ácido ferúlico (fracción ligada) en tres tipos de maíz Cabanita, con tres diferentes estados de madurez

Bound-ferul-acid

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Bound-ferul-acid	36	0.53	0.22	14.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13432.03	14	959.43	1.71	0.1301
Maize type	4011.03	2	2005.51	3.57	0.0463
Maturation stage	1356.37	4	339.09	0.60	0.6645
Maize type*Maturation stag..	5145.86	8	643.23	1.14	0.3759
Error	11803.27	21	562.06		
Total	25235.30	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=57.91802

Error: 562.0604 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S2	198.06	1	23.71 A
Orange	S5	195.49	1	23.71 A
Orange	S1	190.33	4	11.85 A
Orange	S3	177.21	5	10.60 A B
White	S2	169.31	1	23.71 A B
Red	S3	168.86	5	10.60 A B
Red	S4	166.46	1	23.71 A B
White	S1	163.32	4	11.85 A B
Red	S1	161.88	4	11.85 A B
White	S5	151.68	1	23.71 A B
Orange	S4	147.21	1	23.71 A B
White	S4	145.89	1	23.71 A B
Red	S5	143.02	1	23.71 A B
White	S3	133.27	5	10.60 B
Red	S2	124.78	1	23.71 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

J. Análisis estadístico- derivado del ácido ferúlico (fracción ligada) en tres tipos de maíz Cabanita, con tres diferentes estados de madurez

Bound-ferul-acid-der

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Bound-ferul-acid-der	36	0.70	0.49	27.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	685.06	14	48.93	3.44	0.0053
Maize type	180.26	2	90.13	6.33	0.0070
Maturation stage	240.38	4	60.09	4.22	0.0116
Maize type*Maturation stag..	151.58	8	18.95	1.33	0.2821
Error	298.80	21	14.23		
Total	983.86	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=9.21514

Error: 14.2285 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S5	25.75	1	3.77 A
Orange	S3	20.23	5	1.69 A B
Red	S3	17.57	5	1.69 A B C
Orange	S2	15.24	1	3.77 A B C D
Red	S4	14.26	1	3.77 B C D
Orange	S1	13.12	4	1.89 B C D
Red	S5	12.87	1	3.77 B C D
Orange	S4	12.42	1	3.77 B C D
Red	S1	12.04	4	1.89 C D
White	S2	11.31	1	3.77 C D
White	S3	11.29	5	1.69 C D
White	S5	11.20	1	3.77 C D
White	S4	10.43	1	3.77 C D
White	S1	8.46	4	1.89 D
Red	S2	5.09	1	3.77 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

K. Análisis estadístico - Total compuestos fenólicos (fracción ligada) en tres tipos de maíz Cabanita, con tres diferentes estados de madurez

Bound-total-phenolics

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Bound-total-phenolics	36	0.54	0.23	15.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18905.11	14	1350.36	1.75	0.1190
Maize type	6462.99	2	3231.49	4.19	0.0293
Maturation stage	927.98	4	231.99	0.30	0.8739
Maize type*Maturation stag..	7446.13	8	930.77	1.21	0.3414
Error	16180.46	21	770.50		
Total	35085.57	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=67.81222

Error: 770.4979 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S5	232.23	1	27.76 A
Orange	S2	219.76	1	27.76 A
Orange	S1	209.39	4	13.88 A
Orange	S3	204.84	5	12.41 A
Red	S3	194.97	5	12.41 A B
White	S2	187.17	1	27.76 A B
Red	S4	184.93	1	27.76 A B
Red	S1	180.31	4	13.88 A B
White	S1	176.72	4	13.88 A B
White	S5	168.54	1	27.76 A B
Orange	S4	165.14	1	27.76 A B
White	S4	160.53	1	27.76 A B
Red	S5	160.29	1	27.76 A B
White	S3	151.45	5	12.41 B
Red	S2	132.36	1	27.76 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

L. Análisis estadístico - Total compuestos fenólicos por UHPLC (fracción ligada) en tres tipos de maíz Cabanita, con tres diferentes estados de madurez

UHPLC-total-PC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
UHPLC-total-PC	36	0.69	0.48	12.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	35814.91	14	2558.21	3.30	0.0067
Maize type	9635.64	2	4817.82	6.22	0.0076
Maturation stage	9035.56	4	2258.89	2.92	0.0459
Maize type*Maturation stag..	9479.07	8	1184.88	1.53	0.2064
Error	16267.47	21	774.64		
Total	52082.38	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=67.99431

Error: 774.6414 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S1	274.39	4	13.92 A
Orange	S5	261.62	1	27.83 A B
Orange	S2	255.92	1	27.83 A B
Orange	S3	226.88	5	12.45 A B C
White	S1	225.01	4	13.92 A B C
Red	S3	221.42	5	12.45 A B C
Red	S1	217.89	4	13.92 A B C
Red	S4	217.50	1	27.83 A B C D
White	S2	209.61	1	27.83 B C D
Red	S5	200.94	1	27.83 B C D
Orange	S4	200.94	1	27.83 B C D
White	S5	189.35	1	27.83 B C D
White	S4	187.24	1	27.83 B C D
Red	S2	167.09	1	27.83 C D
White	S3	164.88	5	12.45 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

M. Análisis estadístico - Total compuestos fenólicos analizados con el método de Folin-Ciocalteu (fracción libre) en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Free-TPC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Free-TPC	36	0.45	0.08	35.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		4377.12	14	312.65	1.23	0.3280
Maize type		424.59	2	212.29	0.83	0.4491
Maturation stage		1346.15	4	336.54	1.32	0.2955
Maize type*Maturation stag..		2339.06	8	292.38	1.15	0.3752
Error		5359.16	21	255.20		
Total		9736.27	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=39.02660

Error: 255.1979 gl: 21

Maize type Maturation stage Medias n E.E.

White	S1	57.89	4	7.99	A
Orange	S3	55.59	5	7.14	A
Red	S3	53.66	5	7.14	A
Orange	S1	52.97	4	7.99	A
Red	S4	44.14	1	15.97	A
Orange	S5	42.03	1	15.97	A
Red	S5	40.88	1	15.97	A
Red	S2	39.52	1	15.97	A
Red	S1	38.00	4	7.99	A
Orange	S4	34.90	1	15.97	A
White	S3	31.53	5	7.14	A
Orange	S2	30.26	1	15.97	A
White	S4	30.08	1	15.97	A
White	S5	26.89	1	15.97	A
White	S2	22.73	1	15.97	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

N. Análisis estadístico - Total compuestos fenólicos analizados con el método de Folin-Ciocalteu (fracción ligada) en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Bound-TPC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Bound-TPC	36	0.69	0.48	14.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		25338.33	14	1809.88	3.33	0.0064
Maize type		10754.64	2	5377.32	9.90	0.0009
Maturation stage		3052.08	4	763.02	1.40	0.2670
Maize type*Maturation stag..		9889.86	8	1236.23	2.27	0.0628
Error		11411.92	21	543.42		
Total		36750.25	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=56.94977

Error: 543.4248 gl: 21

Maize type Maturation stage Medias n E.E.

Orange	S5	221.06	1	23.31	A
Orange	S2	197.74	1	23.31	A B
Orange	S3	194.45	5	10.43	A B
Orange	S1	181.27	4	11.66	A B
Red	S3	174.92	5	10.43	A B
White	S1	155.78	4	11.66	B C
White	S2	152.15	1	23.31	B C
Red	S4	151.07	1	23.31	B C
White	S5	151.00	1	23.31	B C
Orange	S4	149.71	1	23.31	B C
Red	S1	146.00	4	11.66	B C
White	S4	144.06	1	23.31	B C
Red	S5	140.63	1	23.31	B C D
White	S3	139.74	5	10.43	C D
Red	S2	72.09	1	23.31	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

O. Análisis estadístico - Total compuestos fenólicos analizados con el método de Folin-Ciocalteu en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Total-TPC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Total-TPC	36	0.68	0.47	14.37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40161.18	14	2868.66	3.23	0.0076
Maize type	12444.99	2	6222.49	7.00	0.0047
Maturation stage	6823.03	4	1705.76	1.92	0.1445
Maize type*Maturation stag..	15203.04	8	1900.38	2.14	0.0778
Error	18656.12	21	888.39		
Total	58817.29	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=72.81540
Error: 888.3866 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S5	263.09	1	29.81 A
Orange	S3	250.03	5	13.33 A
Orange	S1	234.25	4	14.90 A B
Red	S3	228.59	5	13.33 A B
Orange	S2	228.01	1	29.81 A B C
White	S1	213.66	4	14.90 A B C
Red	S4	195.21	1	29.81 A B C D
Orange	S4	184.61	1	29.81 A B C D
Red	S1	184.00	4	14.90 A B C D
Red	S5	181.51	1	29.81 A B C D
White	S5	177.89	1	29.81 A B C D
White	S2	174.88	1	29.81 B C D
White	S4	174.14	1	29.81 B C D
White	S3	171.28	5	13.33 C D
Red	S2	111.62	1	29.81 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

P. Análisis estadístico – Todo-trans-neoxantina en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

All-trans-neoxanthin

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
All-trans-neoxanthin	36	0.44	0.06	50.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.17	14	0.01	1.17	0.3640
Maize type	0.02	2	0.01	0.89	0.4250
Maturation stage	0.04	4	0.01	0.90	0.4840
Maize type*Maturation stag..	0.08	8	0.01	0.99	0.4723
Error	0.22	21	0.01		
Total	0.40	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.25236
Error: 0.0107 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S3	0.33	5	0.05 A
Orange	S5	0.33	1	0.10 A B
White	S2	0.31	1	0.10 A B
Orange	S2	0.30	1	0.10 A B
Red	S5	0.26	1	0.10 A B
White	S1	0.19	4	0.05 A B
White	S3	0.18	5	0.05 A B
Red	S4	0.18	1	0.10 A B
Orange	S1	0.17	4	0.05 A B
Red	S3	0.17	5	0.05 A B
Red	S1	0.16	4	0.05 A B
White	S4	0.15	1	0.10 A B
Red	S2	0.14	1	0.10 A B
White	S5	0.10	1	0.10 A B
Orange	S4	0.09	1	0.10 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Q. Análisis estadístico – Todo-trans-luteína en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

All-trans-lutein

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
All-trans-lutein	36	0.86	0.77	70.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18.01	14	1.29	9.34	<0.0001
Maize type	12.97	2	6.49	47.10	<0.0001
Maturation stage	0.43	4	0.11	0.78	0.5510
Maize type*Maturation stag..	0.63	8	0.08	0.57	0.7926
Error	2.89	21	0.14		
Total	20.90	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.90668
Error: 0.1377 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S4	2.34	1	0.37 A
Orange	S5	1.74	1	0.37 A B
Orange	S2	1.58	1	0.37 A B
Orange	S1	1.48	4	0.19 B
Orange	S3	1.28	5	0.17 B
White	S4	0.14	1	0.37 C
White	S1	0.13	4	0.19 C
White	S2	0.05	1	0.37 C
Red	S1	0.05	4	0.19 C
Red	S5	0.02	1	0.37 C
Red	S2	0.02	1	0.37 C
White	S5	0.02	1	0.37 C
Red	S3	0.01	5	0.17 C
Red	S4	0.00	1	0.37 C
White	S3	0.00	5	0.17 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

R. Análisis estadístico – Todo-trans-luteína en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

All-trans-zeaxanthin

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
All-trans-zeaxanthin	36	0.88	0.80	53.85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.12	14	0.65	10.76	<0.0001
Maize type	5.45	2	2.73	45.05	<0.0001
Maturation stage	0.50	4	0.12	2.05	0.1234
Maize type*Maturation stag..	0.91	8	0.11	1.87	0.1189
Error	1.27	21	0.06		
Total	10.39	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.60103
Error: 0.0605 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S2	1.46	1	0.25 A
Orange	S1	1.44	4	0.12 A
Orange	S4	1.38	1	0.25 A
Orange	S5	1.06	1	0.25 A B
Orange	S3	0.73	5	0.11 B C
Red	S5	0.31	1	0.25 C D
Red	S4	0.20	1	0.25 C D
White	S5	0.18	1	0.25 C D
Red	S2	0.17	1	0.25 D
Red	S1	0.15	4	0.12 D
White	S4	0.14	1	0.25 D
Red	S3	0.12	5	0.11 D
White	S2	0.12	1	0.25 D
White	S3	0.11	5	0.11 D
White	S1	0.07	4	0.12 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

- S. Análisis estadístico – Total compuestos carotenoides totales analizados por UHPLC, en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

UHPLC-total-carot

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
UHPLC-total-carot	36	0.90	0.84	41.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	136.24	14	9.73	14.03	<0.0001
Maize type	94.77	2	47.38	68.34	<0.0001
Maturation stage	3.95	4	0.99	1.42	0.2610
Maize type*Maturation stag..	4.91	8	0.61	0.88	0.5456
Error	14.56	21	0.69		
Total	150.80	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.03422
Error: 0.6933 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S2	6.20	1	0.83 A
Orange	S4	6.10	1	0.83 A
Orange	S1	4.97	4	0.42 A B
Orange	S5	4.79	1	0.83 A B
Orange	S3	3.83	5	0.37 B
Red	S5	1.21	1	0.83 C
White	S2	0.95	1	0.83 C
Red	S4	0.86	1	0.83 C
White	S4	0.79	1	0.83 C
White	S1	0.77	4	0.42 C
Red	S1	0.66	4	0.42 C
White	S3	0.59	5	0.37 C
Red	S3	0.59	5	0.37 C
Red	S2	0.56	1	0.83 C
White	S5	0.52	1	0.83 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

- T. Análisis estadístico – Capacidad antioxidante hidrofílica *in vitro* evaluada por los métodos de inhibición del radical DPPH, en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Hydro-DPPH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hydro-DPPH	36	0.58	0.30	35.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	833254.85	14	59518.20	2.08	0.0629
Maize type	238712.76	2	119356.38	4.17	0.0299
Maturation stage	341750.41	4	85437.60	2.98	0.0426
Maize type*Maturation stag..	138146.53	8	17268.32	0.60	0.7650
Error	601394.06	21	28637.81		
Total	1434648.91	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=413.42064
Error: 28637.8125 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S1	821.65	4	84.61 A
Orange	S2	694.37	1	169.23 A B
Orange	S4	562.22	1	169.23 A B
Red	S5	529.96	1	169.23 A B
Red	S1	520.17	4	84.61 A B
White	S1	490.57	4	84.61 A B
Orange	S3	472.69	5	75.68 A B
Red	S2	458.32	1	169.23 A B
Orange	S5	398.11	1	169.23 B
Red	S4	397.60	1	169.23 B
Red	S3	375.93	5	75.68 B
White	S3	330.34	5	75.68 B
White	S5	325.23	1	169.23 B
White	S4	303.77	1	169.23 B
White	S2	216.07	1	169.23 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

U. Análisis estadístico – Capacidad antioxidante lipofílica *in vitro* evaluada por los métodos de inhibición del radical DPPH, en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Lipo-DPPH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lipo-DPPH	36	0.63	0.38	58.77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2066.65	14	147.62	2.54	0.0260
Maize type	111.75	2	55.87	0.96	0.3982
Maturation stage	1603.32	4	400.83	6.90	0.0010
Maize type*Maturation stag..	246.45	8	30.81	0.53	0.8203
Error	1219.25	21	58.06		
Total	3285.90	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=18.61481

Error: 58.0594 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Red	S5	25.51	1	7.62 A
Orange	S3	24.10	5	3.41 A
Red	S3	17.91	5	3.41 A
Orange	S5	17.47	1	7.62 A B
White	S3	17.26	5	3.41 A B
Orange	S4	15.28	1	7.62 A B
White	S2	14.22	1	7.62 A B
Red	S2	12.94	1	7.62 A B
Red	S4	8.66	1	7.62 A B
Orange	S1	8.00	4	3.81 A B
Orange	S2	7.53	1	7.62 A B
White	S5	6.94	1	7.62 A B
White	S4	6.86	1	7.62 A B
Red	S1	4.14	4	3.81 B
White	S1	1.60	4	3.81 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

V. Análisis estadístico – Capacidad antioxidante hidrofílica *in vitro* evaluada por los métodos de inhibición del radical ABTS, en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Hydro-ABTS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hydro-ABTS	36	0.70	0.50	19.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5240283.37	14	374305.95	3.54	0.0045
Maize type	38015.09	2	19007.55	0.18	0.8365
Maturation stage	4680619.53	4	1170154.88	11.08	0.0001
Maize type*Maturation stag..	534236.81	8	66779.60	0.63	0.7418
Error	2217395.22	21	105590.25		
Total	7457678.59	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=793.84212

Error: 105590.2484 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
White	S2	2280.26	1	324.95 A
Orange	S1	2194.43	4	162.47 A
White	S4	2100.12	1	324.95 A B
White	S1	2065.22	4	162.47 A B
Orange	S4	2051.12	1	324.95 A B
Red	S1	2012.33	4	162.47 A B
Red	S5	1941.89	1	324.95 A B C
Orange	S5	1809.88	1	324.95 A B C D
Orange	S2	1778.43	1	324.95 A B C D
Red	S4	1771.06	1	324.95 A B C D
White	S5	1687.83	1	324.95 A B C D
Red	S2	1645.87	1	324.95 A B C D
Red	S3	1422.04	5	145.32 B C D
Orange	S3	1299.92	5	145.32 C D
White	S3	1161.31	5	145.32 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

W. Análisis estadístico – Capacidad antioxidante lipofílica *in vitro* evaluada por los métodos de inhibición del radical ABTS, en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Lipo-ABTS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lipo-ABTS	36	0.87	0.78	15.50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12371.58	14	883.68	9.99	<0.0001
Maize type	3089.69	2	1544.85	17.46	<0.0001
Maturation stage	8137.13	4	2034.28	22.99	<0.0001
Maize type*Maturation stag..	362.01	8	45.25	0.51	0.8343
Error	1857.93	21	88.47		
Total	14229.51	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=22.97877

Error: 88.4727 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.	
Orange	S3	89.62	5	4.21	A
Red	S3	78.00	5	4.21	A B
Orange	S4	73.11	1	9.41	A B C
Orange	S5	72.77	1	9.41	A B C
Orange	S2	69.62	1	9.41	A B C
White	S3	66.60	5	4.21	B C
Orange	S1	58.85	4	4.70	C D
Red	S5	49.47	1	9.41	C D E
White	S5	49.04	1	9.41	C D E
Red	S4	40.74	1	9.41	D E
Red	S1	40.57	4	4.70	D E
White	S2	40.15	1	9.41	D E
White	S4	38.36	1	9.41	D E
Red	S2	37.18	1	9.41	D E
White	S1	36.36	4	4.70	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

X. Análisis estadístico - Actividad de inhibición de la enzima α -amilasa (fracción hidrofílica), en tres tipos de maíz Cabanita, con tres diferentes estados de madurez

Hydro-Amylase-125mg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hydro-Amylase-125mg	36	0.75	0.59	60.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7098.89	14	507.06	4.61	0.0009
Maize type	418.20	2	209.10	1.90	0.1741
Maturation stage	3430.18	4	857.54	7.80	0.0005
Maize type*Maturation stag..	2417.02	8	302.13	2.75	0.0302
Error	2308.88	21	109.95		
Total	9407.76	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=25.61610

Error: 109.9465 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.	
White	S1	54.99	4	5.24	A
White	S4	19.12	1	10.49	B
Red	S4	19.06	1	10.49	B
Orange	S1	18.97	4	5.24	B
Red	S5	18.65	1	10.49	B
Red	S1	18.19	4	5.24	B
White	S5	14.01	1	10.49	B
Orange	S4	12.67	1	10.49	B
Red	S2	12.15	1	10.49	B
Red	S3	9.74	5	4.69	B
Orange	S3	8.98	5	4.69	B
White	S3	8.95	5	4.69	B
White	S2	8.48	1	10.49	B
Orange	S5	6.66	1	10.49	B
Orange	S2	4.56	1	10.49	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Y. Análisis estadístico - Actividad de inhibición de la enzima α -amilasa (fracción lipofílica), en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Lipo-Amylase-125mg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lipo-Amylase-125mg	36	0.38	0.00	468.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	66.09	14	4.72	0.94	0.5386
Maize type	3.59	2	1.80	0.36	0.7041
Maturation stage	16.52	4	4.13	0.82	0.5266
Maize type*Maturation stag..	33.04	8	4.13	0.82	0.5936
Error	105.72	21	5.03		
Total	171.80	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.48131

Error: 5.0341 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
White	S1	4.31	4	1.12 A
Orange	S5	0.00	1	2.24 A
Red	S3	0.00	5	1.00 A
Orange	S2	0.00	1	2.24 A
Orange	S3	0.00	5	1.00 A
White	S3	0.00	5	1.00 A
Orange	S4	0.00	1	2.24 A
Red	S1	0.00	4	1.12 A
White	S5	0.00	1	2.24 A
White	S2	0.00	1	2.24 A
White	S4	0.00	1	2.24 A
Orange	S1	0.00	4	1.12 A
Red	S2	0.00	1	2.24 A
Red	S4	0.00	1	2.24 A
Red	S5	0.00	1	2.24 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Z. Análisis estadístico - Actividad de inhibición de la enzima α -glucosidasa (fracción hidrofílica), en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Hydro-gluc-10mg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hydro-gluc-10mg	36	0.77	0.61	22.69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2641.93	14	188.71	4.92	0.0006
Maize type	202.16	2	101.08	2.64	0.0952
Maturation stage	2027.74	4	506.93	13.22	<0.0001
Maize type*Maturation stag..	515.68	8	64.46	1.68	0.1619
Error	805.09	21	38.34		
Total	3447.02	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=15.12635

Error: 38.3375 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
Orange	S1	41.02	4	3.10 A
White	S1	39.93	4	3.10 A
Red	S5	34.61	1	6.19 A B
Red	S1	32.33	4	3.10 A B
Red	S2	30.02	1	6.19 A B C
Red	S4	28.90	1	6.19 A B C
Orange	S3	23.73	5	2.77 B C
Orange	S4	22.93	1	6.19 B C
Red	S3	22.89	5	2.77 B C
White	S5	21.04	1	6.19 B C
Orange	S5	20.54	1	6.19 B C
Orange	S2	19.02	1	6.19 B C
White	S4	18.97	1	6.19 B C
White	S3	17.10	5	2.77 C
White	S2	14.52	1	6.19 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

AA. Análisis estadístico - Actividad de inhibición de la enzima α -glucosidasa (fracción lipofílica), en tres tipos de maíz Cabanita, a tres diferentes estados de madurez

Lipo-gluco-10mg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lipo-gluco-10mg	36	0.35	0.00	35.68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	180.22	14	12.87	0.82	0.6413
Maize type	11.37	2	5.69	0.36	0.7000
Maturation stage	33.92	4	8.48	0.54	0.7073
Maize type*Maturation stag..	109.93	8	13.74	0.88	0.5512
Error	329.13	21	15.67		
Total	509.35	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=9.67162

Error: 15.6731 gl: 21

Maize type	Maturation stage	Medias	n	E.E.
White	S4	15.52	1	3.96 A
Red	S5	15.36	1	3.96 A
Red	S4	13.95	1	3.96 A
White	S2	13.79	1	3.96 A
Orange	S3	13.64	5	1.77 A
Orange	S2	13.12	1	3.96 A
Red	S1	12.17	4	1.98 A
Red	S3	11.79	5	1.77 A
Orange	S5	10.54	1	3.96 A
Red	S2	9.69	1	3.96 A
Orange	S4	9.31	1	3.96 A
White	S3	8.86	5	1.77 A
White	S1	8.85	4	1.98 A
Orange	S1	8.58	4	1.98 A
White	S5	8.33	1	3.96 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)