

**Universidad Católica de Santa María**

**Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y**

**Biotechnológicas**

**Escuela Profesional de Ingeniería Biotechnológica**



**VALORIZACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DEL MAÍZ CABANITA (*Zea mays*  
L.) DE LA REGIÓN AREQUIPA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE SU  
CONTENIDO Y PERFIL DE COMPUESTOS BIOACTIVOS (POLIFENOLES Y  
CAROTENOIDES) RELEVANTES A LA SALUD**

**Tesis presentada por la bachiller:**

Fuentes Cardenas, Iraida Sara

**Para optar el Título Profesional**

**de:**

Ingeniera Biotechnóloga

**Asesora:**

Dra. Gálvez Ranilla, Lena

Arequipa – Perú

2022

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA  
Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas  
y Biotecnológicas  
Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica

Expediente N° 20190000020632

N° Trámite en Fac. 433-2019  
Fecha Recep. Fac. 05-06-2019

FORMATO UNICO PARA TRAMITACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

DE: **FUENTES CARDENAS, Iraida Sara**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO BIOTECNOLOGO

"VALORIZACION DE LA BIODIVERSIDAD DEL MAIZ CABANITA (*Zea mays L.*) DE LA REGION AREQUIPA A TRAVES DEL ANALISIS DE SU CONTENIDO Y PERFIL DE COMPUESTOS BIOACTIVOS RELEVANTES A LA SALUD"

DICTAMINADORES: **Dr. Badhin Gómez Valdez** 2) **Mgter. Natalia López Álvarez**

**DICTAMEN DE PLAN:** Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas en atención a su designación, el Jurado Dictaminador del Plan de Tesis informa que, hechas las observaciones y subsanadas las correcciones, sugerimos que el título debe cambiar a: "VALORIZACION DE LA BIODIVERSIDAD DEL MAIZ CABANITA (*Zea mays L.*) DE LA REGION AREQUIPA A TRAVES DEL ANALISIS DE SU CONTENIDO Y PERFIL DE COMPUESTOS BIOACTIVOS (POLIFENOLOS Y CAROTENOIDES) RELEVANTES A LA SALUD", después de lo cual consideramos se encuentra APTO para continuar con el trámite de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad.

FIRMAS: FECHA 10-06-19

ASESOR: **Dra. Lena Gálvez Ranilla**

DICTAMEN ASESORÍA:

Aprobado después de corregir observaciones

FIRMA FECHA 19-11-21

DICTAMINADORES BORRADOR DE TESIS

- 1) Dr. Fredy Molina Rodríguez
- 2) Dr. Badhin Gómez Valdez
- 3) Mag. Natalia López Álvarez

DICTAMEN FINAL: Luego de la revision del borrador de tesis, después de haber realizado observaciones y estas subsanadas, doy mi aprobación al manuscrito del borrador de tesis.

FIRMA FECHA

JURADOS. PRESIDENTE  
VOCAL  
SECRETARIO

FECHA HORA LOCAL

FIRMA DEL DECANO FECHA

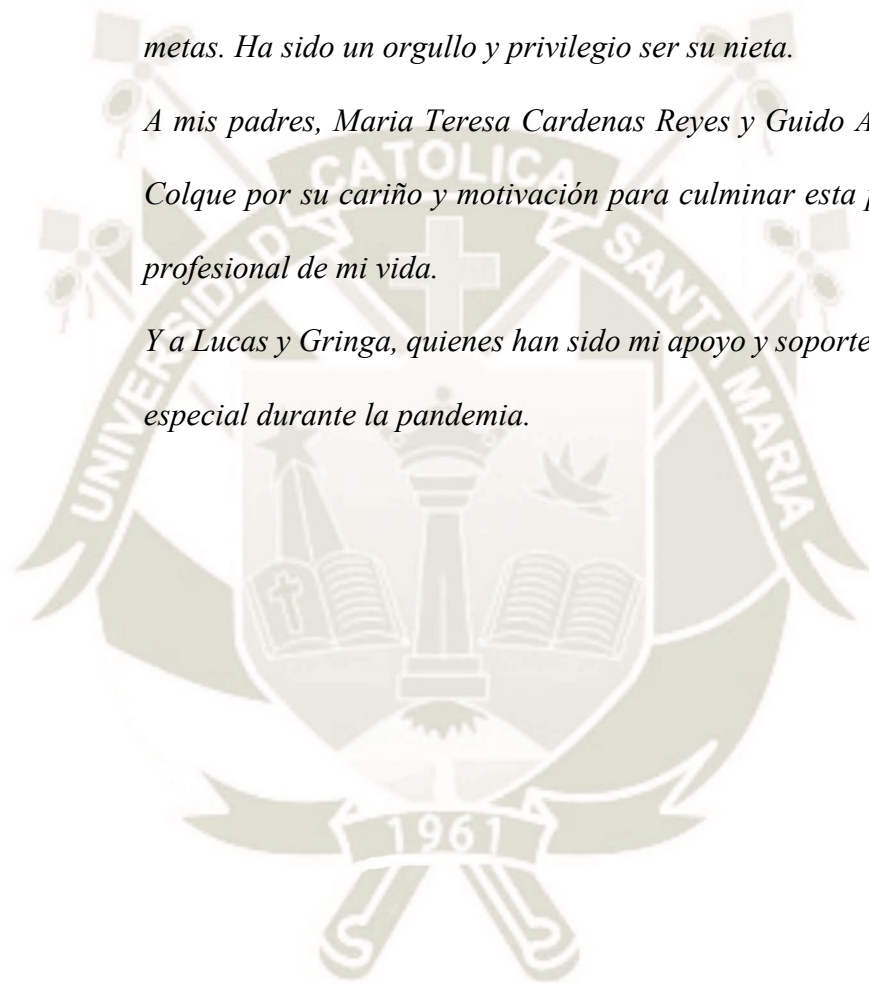
## DEDICATORIA

*A Dios por acompañarme siempre y brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencias y guiarme por el camino correcto.*

*A mis abuelos Baltasara Colque de Fuentes y Juan Francisco Fuentes Loaiza, a quienes les hubiese gustado verme profesional y cumpliendo metas. Ha sido un orgullo y privilegio ser su nieta.*

*A mis padres, Maria Teresa Cardenas Reyes y Guido Abdon Fuentes Colque por su cariño y motivación para culminar esta primera etapa profesional de mi vida.*

*Y a Lucas y Gringa, quienes han sido mi apoyo y soporte emocional en especial durante la pandemia.*



## AGRADECIMIENTOS

*A la doctora Lena Gálvez Ranilla, por haberme dado la oportunidad de formar parte de esta investigación y quien me ha guiado y motivado a lo largo de su realización.*



Esta tesis fue financiada por El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica a través del Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados<sup>1</sup> 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**, con Contrato N.º 114-2018- FONDECYT.

<sup>1</sup> 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.

Las muestras de maíz Cabanita utilizadas en la presente tesis y cuya información geográfica de colecta y fotos se muestran en las Tablas 2 y 3 (páginas 27 y 28 del presente documento) 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 directorial 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.

## RESUMEN

El maíz Cabanita es un cereal tradicional de Arequipa cultivado en las zonas altoandinas de la región, sin embargo existen muy pocos estudios sobre sus propiedades bioactivas y nutricionales. La presente investigación tuvo por objetivos coleccionar nuevo germoplasma de maíz Cabanita procedente de 5 localidades de dos provincias (Caylloma y Castilla) y caracterizar este material en función a sus características físicas (mazorca y grano) y compuestos bioactivos (polifenoles y carotenoides) relevantes para la salud. En relación con las características físicas, las mazorcas de Caylloma presentaron mayores dimensiones, y masa que las muestras de Castilla, indicando un mayor rendimiento agronómico. Se observó una mayor variabilidad en los caracteres cuantitativos (número de hileras, número de granos por hilera, masa en mazorcas) y cualitativos en especial de los granos (color, forma) de las muestras de la provincia de Castilla posiblemente debido a la introducción de semillas de otras razas. La fracción fenólica ligada representó el 78.10%-86.48% del contenido fenólico total (libre+ligada), y el maíz de la provincia de Castilla presentó las mayores concentraciones de compuestos fenólicos totales, destacando la muestra CPB (Castilla, granos blancos) ( $291.13 \pm 32.65$  mg equivalentes de ácido gálico/100 g base seca, bs). Los compuestos fenólicos mayoritarios detectados por Ultra Cromatografía Líquida de Alta Performance con detector de diodos (UHPLC-DAD) en la fracción fenólica libre fueron ácidos hidroxicinámicos como compuestos derivados del ácido p-cumárico, mientras que el ácido ferúlico fue el ácido fenólico principal en la fracción fenólica ligada. Se detectaron antocianinas sólo en las muestras de granos con pericarpio rojizo a púrpura ( $0.13 \pm 0.07$  a  $5.33 \pm 0.40$  mg/100 g bs). La muestra CAA (Castilla, granos amarillos) presentó los mayores valores de compuestos fenólicos totales por UHPLC ( $246.68 \pm 45.22$  mg/100 g bs). El análisis por UHPLC-DAD reveló la presencia de xantofilas (luteína, isómeros de luteína, zeaxantina, criptoxantina) en las muestras de maíz evaluados, siendo la muestra COM (Caylloma, grano amarillo anaranjado) la que exhibió la mayor concentración de carotenoides totales ( $1.95 \pm 0.70$  µg/g bs), seguida por la muestra CAA (Castilla) ( $0.85 \pm 0.51$  µg/g bs). El maíz Cabanita constituye una fuente natural de compuestos fenólicos y carotenoides, destacando la muestra CAA la cual podría ser utilizada en programas de mejoramiento genético en maíz. Los resultados del presente estudio constituyen la base química preliminar para una caracterización completa del maíz Cabanita a futuro integrando técnicas moleculares que permitan su mayor valorización y conservación.

**Palabras Claves:** *Zea mays* L., maíz, polifenoles, fracción fenólica libre, fracción fenólica ligada, carotenoides, UHPLC.

## ABSTRACT

The Cabanita maize is a traditional cereal grown in the Andean highlands from Arequipa; however, few studies are published about its bioactive and nutritional properties. The objectives of current research were to collect new Cabanita maize germplasm from two provinces in Arequipa (Caylloma and Castilla) and to characterize this new material according to its physical characteristics (cob and kernel), and health-relevant bioactive composition (polyphenols and carotenoids). In relation to the physical characteristics, Caylloma cobs showed greater dimensions and weight than the Castilla samples indicating better agronomical performance. A higher variability was found in the quantitative cob (number of rows, number of kernels per row, cob weight) and qualitative grain characteristics (color, shape) of Castilla samples, possibly due to the introduction of seeds from other corn races. The bound phenolic fraction represented the 78.10%-86.48% of the total phenolic content (free + bound), and maize from Castilla province showed the highest total phenolic contents (CPB sample, white kernels,  $291.13 \pm 32.65$  mg gallic acid equivalent/100 g dry weight, dw). Major phenolic compounds detected by Ultra High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detector (UHPLC-DAD) in the free phenolic fraction were hydroxycinnamic acids such as p-coumaric acid derivatives, whereas in the dietary fiber-linked phenolic fraction or bound fraction was the ferulic acid. Anthocyanins were detected only in kernels with reddish to purple pericarp ( $0.13 \pm 0.07$  to  $5.33 \pm 0.40$  mg/100 g dw). The CAA sample (Castilla, yellow kernels) exhibited the highest total phenolic concentrations by UHPLC ( $246.68 \pm 45.22$  mg/100 g dw). The UHPLC-DAD analysis revealed the presence of xanthophylls (lutein, lutein isomers, zeaxanthin, cryptoxanthin) in the evaluated maize samples, with the COM sample (Caylloma, yellow-orange kernels) exhibiting the highest total carotenoid concentrations ( $1.95 \pm 0.70$   $\mu\text{g/g}$  dw), followed by the CAA sample (Castilla,  $0.85 \pm 0.51$   $\mu\text{g/g}$  dw). The Cabanita maize is a natural source of phenolic compounds and carotenoids, and the CAA sample may be used in breeding maize programs. The results of the current research are the preliminary chemical base for the future comprehensive characterization of Cabanita maize integrating modern molecular techniques that finally may allow its valorization and conservation.

**Keywords:** *Zea mays* L., maize, polyphenols, free phenolic fraction, bound phenolic fraction, carotenoids, UHPLC



## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XVIII
HIPÓTESIS.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. EL MAÍZ ( <i>Zea mays</i> L.).....	1
1.1.2. Características de la planta de maíz.....	1
1.2. EL MAÍZ CABANITA.....	8
1.2.1. Caylloma.....	9
1.2.2. Castilla.....	10
1.2.3. Producción de maíz en las provincias de Caylloma y Castilla.....	11
1.3. BIODIVERSIDAD.....	11
1.3.1. Conservación <i>Ex Situ</i> .....	11
1.3.2. Conservación <i>In Situ</i> .....	12
1.3.3. Accesión.....	12
1.3.4. Raza.....	12
1.3.5. Biodiversidad del Maíz en Perú.....	12
1.4. COMPUESTOS FENÓLICOS.....	15
1.4.1. Compuestos Fenólicos en Maíz.....	17
1.5. CAROTENOIDES.....	19
1.5.1. Contenido de Carotenoides en Maíz.....	20

1.6. PROPIEDADES FUNCIONALES RELEVANTES A LA SALUD ASOCIADAS A LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDES EN EL MAÍZ.....	21
1.6.1. Compuestos fenólicos.....	21
1.6.2. Carotenoides .....	22
CAPITULO II.....	25
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
2.1. LUGAR DE INVESTIGACIÓN .....	25
2.2. MATERIAL DE ESTUDIO (germoplasma de maíz Cabanita) .....	25
2.3. REACTIVOS, MATERIALES Y EQUIPOS.....	29
2.3.1. REACTIVOS.....	29
2.3.2. Estándares .....	29
2.3.3. Materiales .....	29
2.3.4. Equipos e Instrumentación .....	30
2.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	31
2.4.1. Análisis de humedad.....	31
2.4.2. Caracterización físico-morfológica del germoplasma de maíz Cabanita Colectado .....	31
2.4.2.2. Grano .....	36
2.4.3. Análisis del contenido de compuestos fenólicos .....	40
2.4.3.1. Extracción de la fracción fenólica libre.....	40
2.4.3.2. Extracción de la fracción fenólica ligada a la fibra dietética.....	41
2.4.3.3. Análisis de compuestos fenólicos totales .....	41
2.4.3.4. Análisis del contenido y perfil de polifenoles por UHPLC-DAD..	42
2.4.4. Análisis del contenido de carotenoides .....	43
2.4.4.1. Extracción de carotenoides.....	43
2.4.4.2. Análisis del contenido y perfil de carotenoides por UHPLC-DAD	45
2.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	46
2.6. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	47
2.7. Análisis estadístico .....	48
CAPÍTULO III .....	49
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49

3.1. COLECTA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MORFOLÓGICA DEL GERMOPLASMA DE MAÍZ CABANITA COLECTADO .....	49
3.1.1. Características Físicas Cuantitativas .....	49
3.1.1.1. Mazorca .....	49
3.1.1.2. Grano .....	50
3.1.2. Características Morfológicas Cualitativas .....	54
3.1.2.1. Mazorca .....	54
3.1.2.2. Grano .....	56
3.2. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS .....	61
3.2.1. Contenido de compuestos fenólicos totales.....	61
3.2.2. Análisis del contenido y perfil de polifenoles por UHPLC-DAD.....	62
3.3. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE CAROTENOIDES.....	75
3.3.1. Extracción y análisis del contenido y perfil de carotenoides por UHPLC-DAD .....	75
CAPÍTULO IV .....	83
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES .....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	86
ANEXOS.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Partes de la planta de Maíz madura. (12) (9).....	2
<b>Figura 2.-</b> Inflorescencia masculina del Maíz. (9).....	3
<b>Figura 3.-</b> Partes de una mazorca madura. (13).....	4
<b>Figura 4.-</b> Descriptores de la mazorca. (14) .....	4
<b>Figura 5.-</b> Diámetros de las mazorcas. (14) (15).....	4
<b>Figura 6.-</b> Capas externas y estructuras internas del grano de maíz. (16) (17) .....	5
<b>Figura 7.-</b> Distribución del endospermo corneo y harinoso en diferentes tipos de maíz. A) Maíz dentado; B) Maíz cristalino; C) Maíz QPM; D) Maíz harinoso. (22).....	7
<b>Figura 8.-</b> Distribución de los tipos de endospermo en granos de maíz cristalino, harinoso y dentado. (20).....	8
<b>Figura 9.-</b> Ubicación geográfica de la provincia de Caylloma. (31) .....	9
<b>Figura 10.-</b> Ubicación geográfica de la provincia de Castilla. (41).....	11
<b>Figura 11.-</b> Algunos compuestos fenólicos identificados en maíz blanco y pigmentado. (64) .....	16
<b>Figura 12.-</b> Ácidos fenólicos más comunes en el grano de maíz. A) Derivados de ácido benzoico y B) Derivados de ácido cinámico. (64).....	16
<b>Figura 13.-</b> Estructura de los principales carotenoides. A) $\alpha$ -caroteno B) $\beta$ -caroteno C) Licopeno D) $\beta$ -criptoxantina E) Luteína F) Zeaxantina. (174) .....	20
<b>Figura 14.-</b> Ubicación geográfica de los puntos de colecta en la provincia de Caylloma. .....	25
<b>Figura 15.-</b> Ubicación geográfica de los puntos de colecta en la provincia de Castilla.26	
<b>Figura 16.-</b> Diámetro de la médula, diámetro del raquis y diámetro del olote.....	32
<b>Figura 17.-</b> Longitud de la mazorca, diámetro de la punta, diámetro del centro y diámetro de la base. ....	32
<b>Figura 18.-</b> Disposición de hileras de granos en la mazorca de maíz. (14).....	34
<b>Figura 19.-</b> Ancho, longitud y grosor del grano de maíz. (98).....	36
<b>Figura 20.-</b> Forma de la superficie del grano. (14).....	37
<b>Figura 21.-</b> Diagrama de flujo de la extracción de carotenos en maíz. ....	45
<b>Figura 22.-</b> Diagrama de flujo de procesamiento de la metodología experimental.....	47
<b>Figura 23.</b> Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos de 3 pigmentaciones de maíz Cabanita de la provincia de Caylloma: CCA-H (blancas), COM-B (amarillas- anaranjadas), CCR-F (rojas). ....	63

**Figura 24.** Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos de 3 tonalidades de maíz Cabanita de la provincia de Castilla: CAA-B (Cremas), CSR-E (Rojas), CPC-E (purpura)..... 64

**Figura 25.** Biosíntesis de fenoles mediada por estrés abiótico en plantas. (130)..... 73

**Figura 26.-** Perfil cromatográfico a 450 nm de carotenoides en maíz Cabanita de la provincia de Caylloma (COM-B) y Castilla (CAA-C)..... 76



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Clasificación taxonómica del maíz. (7).....	1
<b>Tabla 2.-</b> Información geográfica, códigos y réplicas biológicas de los puntos de colecta en la provincia de Caylloma. ....	27
<b>Tabla 3.-</b> Información geográfica, códigos y réplicas biológicas en los puntos de colecta en la provincia de Castilla. ....	28
<b>Tabla 4.-</b> Gradiente de solventes para corrida cromatográfica de compuestos fenólicos por UHPLC-DAD.....	42
<b>Tabla 5.-</b> Gradiente de solventes para corrida cromatográfica por UHPLC-DAD.....	46
<b>Tabla 6.-</b> Diseño experimental para la caracterización física, morfológica y de análisis químicos en muestras de maíz Cabanita.....	48
<b>Tabla 7.-</b> Resultados de las caracterizaciones físicas en granos y mazorcas de maíz Cabanita de las provincias de Caylloma y Castilla. ....	52
<b>Tabla 8.-</b> Caracterización morfológica de mazorcas de maíz Cabanita colectadas en la provincia de Caylloma.....	55
<b>Tabla 9.-</b> Caracterización morfológica de mazorcas de maíz Cabanita colectadas en la provincia de Castilla.....	56
<b>Tabla 10.-</b> Caracterización morfológica de granos de maíz Cabanita colectados en la provincia de Caylloma.....	58
<b>Tabla 11.-</b> Caracterización morfológica de granos de maíz Cabanita colectadas en la provincia de Castilla.....	59
<b>Tabla 12.-</b> Concentración (mg EAG/100 g bs) de los compuestos fenólicos en las fracciones fenólicas libre, ligada y total en muestras de maíz Cabanita* procedentes de las provincias de Caylloma y Castilla .....	62
<b>Tabla 13.-</b> Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los compuestos detectados en las fracciones libre y ligadas en las 3 muestras de maíz Cabanita de la provincia de Caylloma y Castilla presentadas en las Figuras 23 y 24.....	65
<b>Tabla 14.-</b> Contenido (mg/100 g bs) y perfil de compuestos fenólicos determinados por UHPLC-DAD*.....	66
<b>Tabla 15.-</b> Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los carotenoides identificados en 2 muestras de maíz	

Cabanita de la provincia de Caylloma (COM-B) y Castilla (CAA-C) presentadas en la  
Figura 26..... 76

**Tabla 16.-** Resultados del análisis del contenido\* ( $\mu\text{g/g}$  bs) y perfil de carotenoides por  
UHPLC-DAD. .... 78



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.-</b> Certificado de Cumplimiento Reconocido Internacionalmente (CCRI) ABSCH-IRCC-PE-256874-1 .....	102
<b>Anexo 2.</b> Razas de maíz en el Perú, distribución geográfica y altitud (primera aproximación).....	107
<b>Anexo 3.</b> Razas de maíz en el Perú y su distribución geográfica (segunda aproximación). (7) .....	109
<b>Anexo 4.</b> Estaciones metereológicas cercanas a los puntos de colección y las temperaturas mínimas y máximas registradas durante el periodo de crecimiento del maíz Cabanita analizado.....	110
<b>Anexo 5.</b> Condiciones geográficas, climáticas y manejo agronómico de maíz Cabanita cultivado en la provincia de Caylloma según información proporcionada por los agricultores. ....	111
<b>Anexo 6.</b> Desarrollo de la planta y manejo post cosecha aplicado durante el cultivo de maíz Cabanita en la provincia de Caylloma según información proporcionada por los agricultores .....	112
<b>Anexo 7.</b> Condiciones geográficas, climáticas y manejo agronómico de maíz Cabanita cultivado en la provincia de Castilla según información proporcionada por los agricultores. ....	113
<b>Anexo 8.</b> Desarrollo de la planta y manejo post cosecha aplicado por los agricultores para el cultivo de maíz Cabanita cultivado en la provincia de Castilla según información proporcionada por los agricultores. ....	114



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la conservación *in situ* del maíz Cabanita (cultivo en las zonas altoandinas de Arequipa) ha disminuido, por lo que existe un alto riesgo de perder este recurso genético nativo de la región. De acuerdo a datos del Ministerio de Agricultura de la región Arequipa se indica que entre el año 2015 y 2018 la producción de maíz amiláceo (entre los que se encontraría el maíz Cabanita) en la provincia de Caylloma disminuyó en un 5.6%, en Castilla en un 44.41%, y en la Región de Arequipa en un 1.3%. Esto significa que esta especie está dejando de ser cultivada posiblemente por la baja demanda del consumidor y la industria a raíz del desconocimiento de su potencial nutritivo y bioactivo (1).

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los granos más importantes que proporcionan alimentación a la población mundial. Es una fuente de macro y micronutrientes y además de diversos fitoquímicos como los compuestos polifenólicos, carotenoides, fitosteroles y tocoferoles los cuales varían según la variedad, condiciones de cultivo, clima y otros factores (2). Algunos estudios han reportado diversas propiedades funcionales relevantes a la salud en el maíz las cuales se han asociado a su composición en compuestos bioactivos como los fenólicos antioxidantes (3), por lo que el estudio de estas propiedades podría poner en valor las variedades de maíz nativo peruano, los cuales han sido poco investigados.

Por otro lado, los programas de mejoramiento de semillas favorecen generalmente un mayor rendimiento en el cultivo del maíz sin considerar otros caracteres importantes como su composición nutricional y bioactiva que podrían dar un mayor valor agregado a este cereal para diversas aplicaciones a nivel industrial (compuestos fenólicos, carotenoides, tocoferoles, lignanos, fitosteroles) (2).

La presente investigación tuvo por objetivo analizar los compuestos bioactivos como polifenoles y carotenoides en nuevo germoplasma de maíz Cabanita colectado de las provincias de Caylloma y Castilla. Los resultados de esta investigación, sumada con otros estudios a futuro de mejoramiento genético, optimización del manejo agronómico y de las condiciones postcosecha, contribuirá con la valorización de este cereal para beneficio de los productores y consumidores a largo plazo.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Valorizar la biodiversidad del maíz Cabanita (*Zea mays* L.) de la región Arequipa a través del análisis del contenido y perfil de compuestos bioactivos (polifenoles y carotenoides) relevantes a la salud.

### Objetivo Específico

1. Colectar nuevo germoplasma de maíz Cabanita de diferentes zonas altoandinas de las provincias de Caylloma y Castilla.
2. Determinar las características físicas de las mazorcas y grano de las muestras colectadas.
3. Analizar el perfil y contenido de compuestos fenólicos en las fracciones libres y ligadas a la fibra dietética de cada muestra colectada.
4. Analizar el perfil y contenido de carotenoides de cada muestra de maíz Cabanita colectada.

## HIPÓTESIS

El maíz tipo Cabanita de la región Arequipa presenta características físicas definidas y contiene compuestos bioactivos como polifenoles y carotenoides relevantes para la salud.



## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. EL MAÍZ (*Zea mays* L.)

El maíz es uno de los granos alimenticios más antiguos del mundo y forma parte de la dieta de más de 400 millones de personas a nivel mundial (4). El maíz posiblemente se originó en el suroeste de México hace aproximadamente 8700 años y en el Perú hace aproximadamente 7000 años por restos arqueológicos encontrados en el valle de Chicama (5). América posee el 90% de todas las razas de maíz del mundo y en la región Andina se encuentra el 45% de esas razas, siendo la zona con mayor diversidad de razas en el mundo (6). Esta gran diversidad racial no expresa una gran diversidad genética, ya que la variación morfológica en mazorca y grano del maíz andino se ha generado principalmente por selección humana (7).

##### 1.1.1. Clasificación Taxonómica

El maíz pertenece a la familia botánica Poaceae, tribu Maydeae y de clase Monocotyledoneae. Está clasificado dentro de una sola especie botánica, *Zea mays* L. El teosinte y *Tripsacum*, otras especies del género *Zea*, son una forma salvaje pariente del género *Zea mays* (8).

**Tabla 1.-** Clasificación taxonómica del maíz. (7)

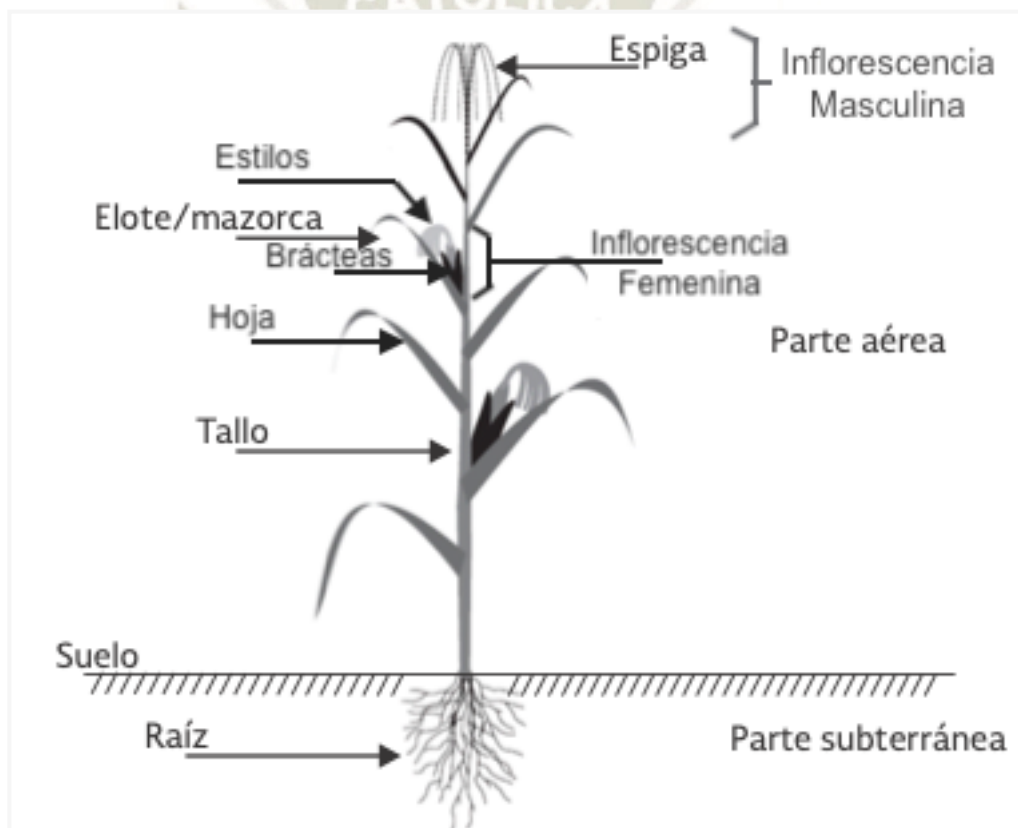
Reino	Plantae
División	Angiospermae
Subdivisión	Pterapsidae
Clase	Liliopsida
Subclase	Monocotiledóneas
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Maydeae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays</i> L.

##### 1.1.2. Características de la planta de maíz

El maíz es una planta anual alta con órganos de floración masculinos y femeninos separados pero en la misma planta. La flor masculina contiene estambre y la flor femenina pistilo (9). Las espigas se desarrollan en el eje de la hoja y

maduran hasta convertirse en inflorescencia femenina (mazorca). Dependiendo de la variedad, se puede desarrollar más de un vástago en una planta de maíz, pero generalmente solo 1-2 pueden convertirse en mazorcas. Las mazorcas están cubiertas por varias hojas (chala) y cada mazorca tiene un número de hileras de granos (10). Cada ovario contiene un óvulo que madurará en un núcleo. El meristemo apical del tallo del maíz se convierte en una borla que consiste en una espiga central y hasta 40 ramas laterales que llevan flores masculinas (11).

La planta de maíz está conformada por la sección subterránea (raíz) y aérea (tallo, hojas, inflorescencia femenina e inflorescencia masculina) como se muestra en la figura 1.



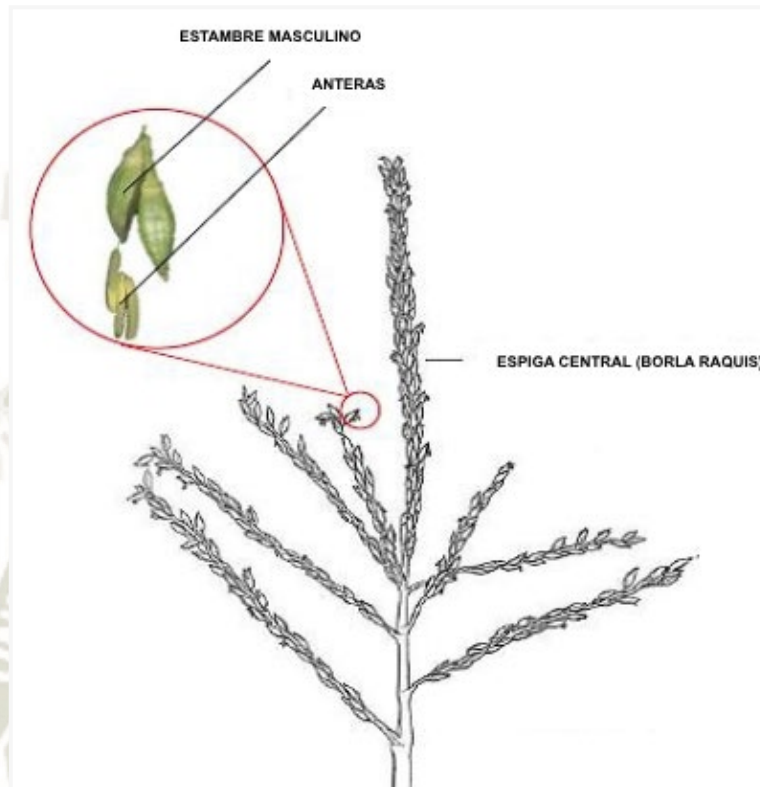
**Figura 1.-** Partes de la planta de Maíz madura. (12) (9)

A continuación, se describirán algunas partes de la planta de maíz como la inflorescencia masculina, la inflorescencia femenina que da origen a la mazorca y el grano del maíz.

- **Inflorescencia Masculina**

También llamada borla, panoja o espiga (12) la cual nace en la parte superior de la planta y es sostenida por un pedúnculo. Se desarrolla desde el meristemo apical del tallo (11) y normalmente está compuesto por una borla raquis y alrededor de 20-50 ramas

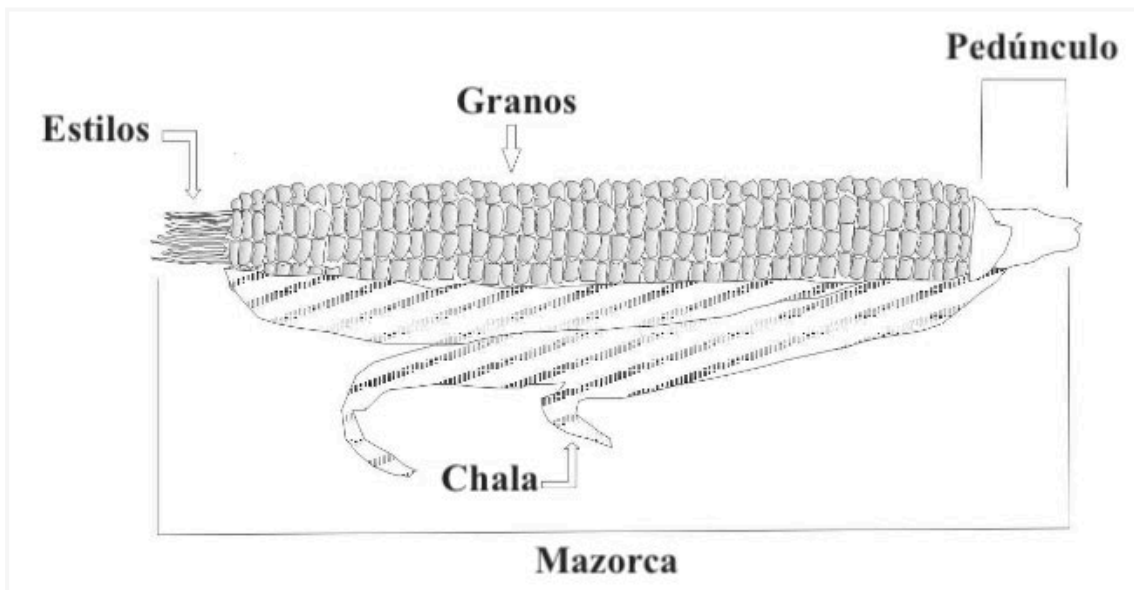
de borla. Cada rama lleva estambres masculinos que contienen 3 anteras que cuelgan de un filamento delgado como se muestra en la figura 2. Las anteras son los órganos masculinos responsables de la producción y dispersión de millones de unidades de polen en el aire (9).



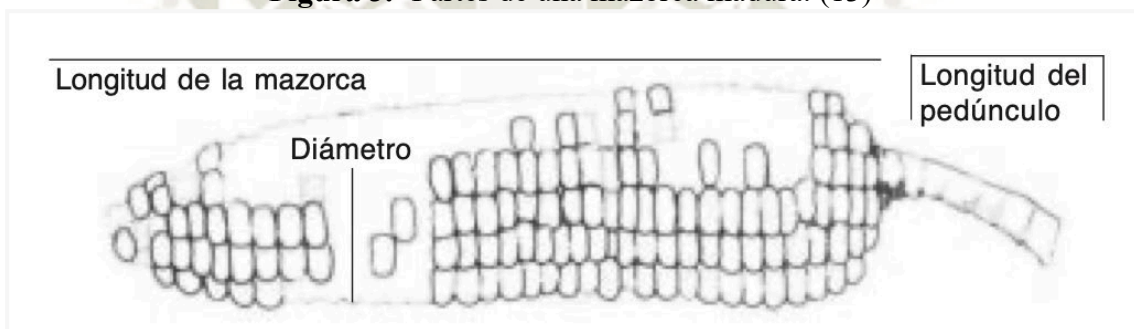
**Figura 2.-** Inflorescencia masculina del Maíz. (9)

- **Inflorescencia Femenina**

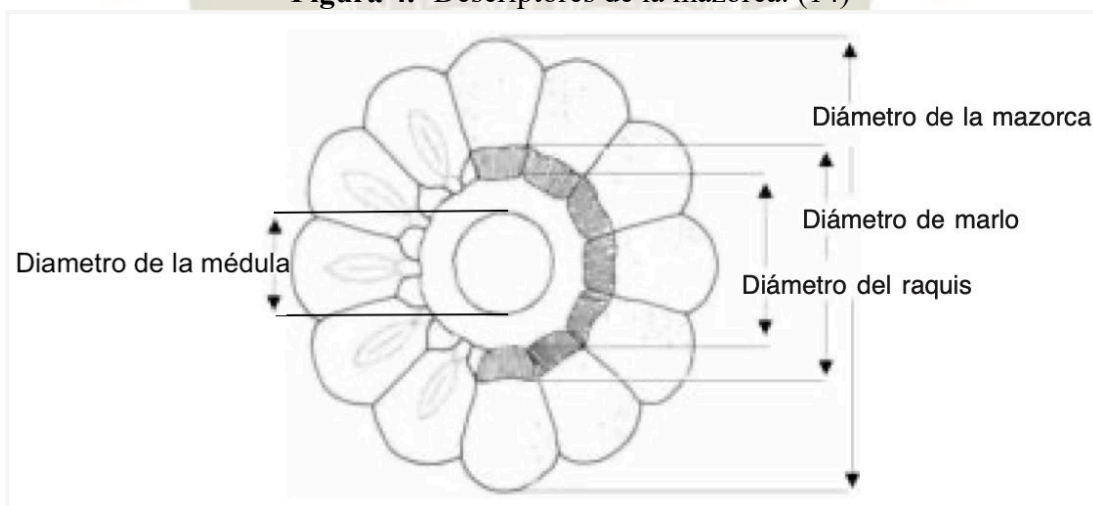
La parte reproductora femenina está conformada por un raquis también llamado tronco u olote el cual está cubierto por hileras de granos (parte comestible de la planta). Además, está cubierta por hojas modificadas o brácteas (12). Crece a partir de las espigas y se desarrollan desde la yema axilar hacia la mitad de la longitud del tallo (9). Puede que uno o dos ganglios debajo del brote principal puedan convertirse en mazorcas maduras (11). Inicialmente los estilos emergen desde la base de la mazorca y luego se dirigen hacia la punta. Los estilos pueden permanecer viables hasta por 10 a 14 días para permitir suficiente tiempo para la polinización. Estos se unen directamente con los ovarios que están dispuestos en hileras que se encuentran en la mazorca cubierta por las hojas. Cada ovario contiene un óvulo que madura en un núcleo, típicamente una mazorca contiene hasta 1000 óvulos, sin embargo el número de granos maduros por mazorca suele ser bajo por la falta de polinización (11). En la Figura 3 se presentan las partes de una mazorca madura y en las figuras 4 y 5 los descriptores para su caracterización.



**Figura 3.-** Partes de una mazorca madura. (13)



**Figura 4.-** Descriptores de la mazorca. (14)

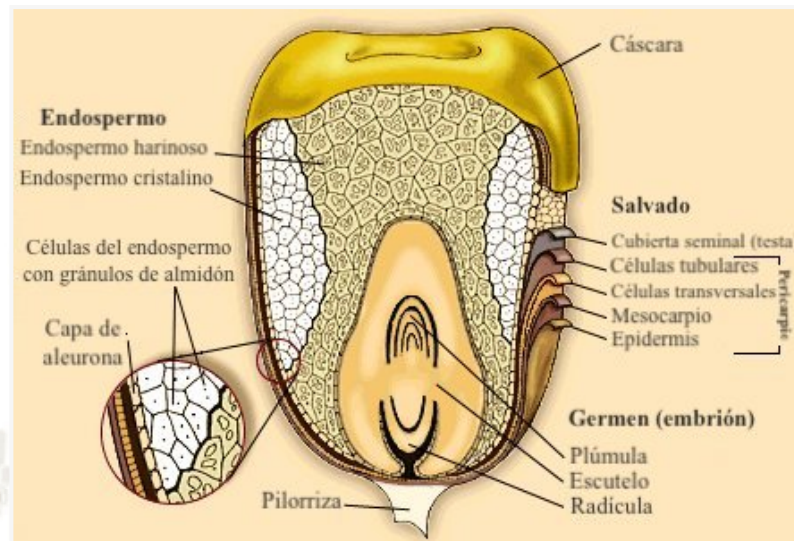


**Figura 5.-** Diámetros de las mazorcas. (14) (15)

- **Grano**

En la mazorca del maíz, los granos se encuentran insertados en el raquis u olote, cada grano es un fruto independiente y también es denominado cariósipide. La cantidad de granos producidos en una mazorca está determinada genéticamente por el número de

granos por hilera (12). Es producido después de transcurrir el periodo de fertilización, el grano es una combinación de fruto y semilla. Contiene tres compartimientos principales, el pericarpio, el endospermo y el embrión (figura 3) (9).



**Figura 6.-** Capas externas y estructuras internas del grano de maíz. (16) (17)

### **Pared del grano**

Es una estructura firmemente adherida al grano, está conformada por el pericarpio y la testa que proporcionan protección a la semilla. La testa o cubierta seminal es la capa externa de la semilla, que consiste en estructuras membranosas que se fusionan con la cáscara del grano para envolver el embrión y el endospermo. El revestimiento de semillas es responsable de la protección interna contra tensiones bióticas, lesiones mecánicas y desecación. También es importante para el intercambio de gases, la absorción de agua y el control de nutrientes para el embrión y el endospermo. El pericarpio es una cubierta protectora que se desarrolla de la pared del ovario (9).

### **Endospermo**

Es un componente grueso, puede componer el 80-85% del grano y contienen reservas de alimentos que las plantas utilizan antes de establecer sus propias estructuras fotosintéticas (18). Está compuesto principalmente por carbohidratos (almidón) y en menor cantidad proteínas (prolaminas) (19). El tamaño del endospermo varía entre las variedades del maíz según la cantidad de alimento de reserva que se haya transferido al endospermo durante las etapas del desarrollo (9). Los gránulos de almidón están incrustados en una matriz de proteínas (20). Está conformado por:

- Capa de aleurona

Se le considera la capa externa del endospermo y está compuesta por una capa única de células (19), sin embargo se sabe que existen algunos genotipos de maíz con



múltiples capas de aleurona (21). Esta capa cubre todo el endospermo almidonado y el germen donde es más delgada (22). El contenido de las células de aleurona es granular y contienen cuerpos proteicos que están organizados en un sistema de vacuolas y son diferentes a los del endospermo almidonado. Las células de aleurona también contienen cuerpos oleosos y son ricas en fósforo, potasio y magnesio (23).

- Endospermo córneo

Está constituido por proteínas en su mayoría y células de forma irregular, poliédricas o angulares llenas de pequeños gránulos de almidón compactos (19). Estas células también tienen una pared celular fibrosa delgada y de forma rectangular que recubre los gránulos de almidón, los cuerpos proteicos y la matriz proteica. Los gránulos de almidón compactos tienen hendiduras que parecen pequeñas cavidades de los cuerpos proteicos y la matriz proteica sostiene la estructura interna (24).

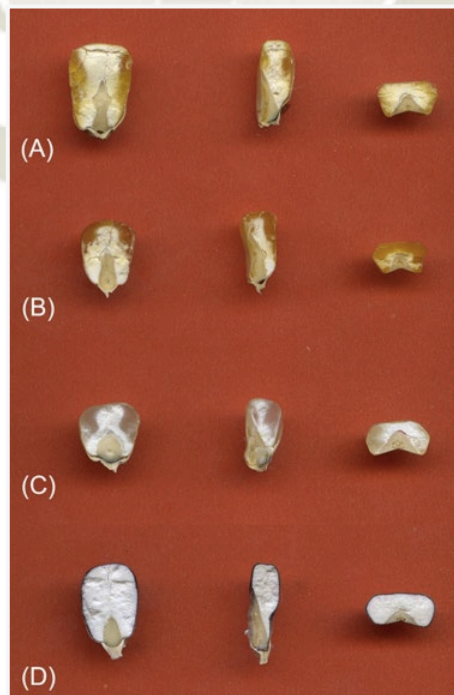
- Endospermo harinoso

Compuesto por gránulos de almidón más grandes al encontrado en otras células que componen el endospermo, pared celular y proteínas. Se encuentra en la parte central del grano (19).

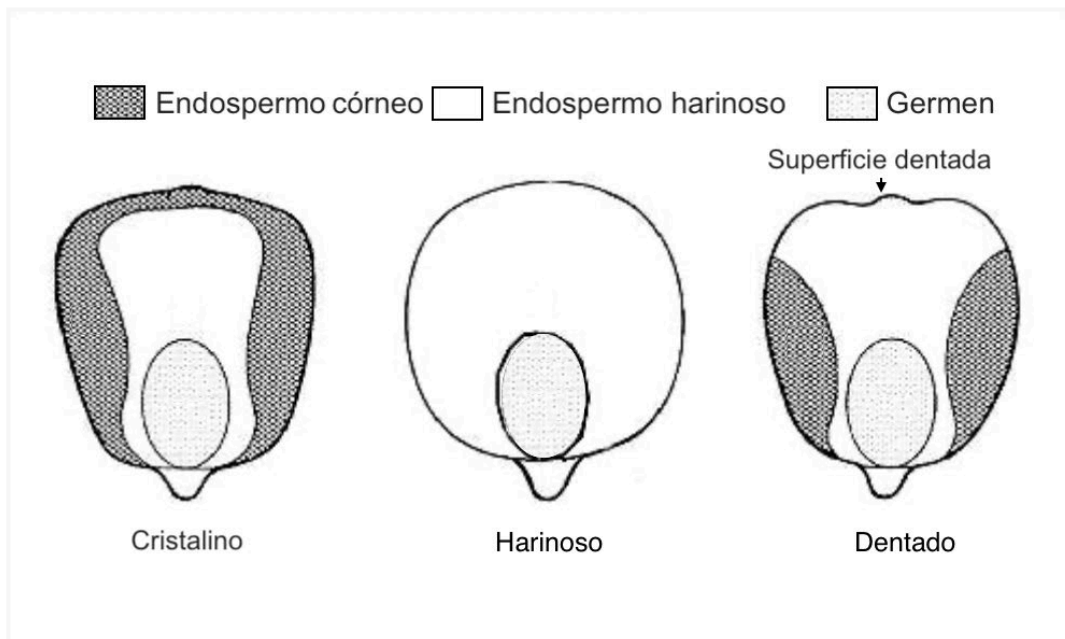
Existen muchos tipos de grano según la clasificación de su endospermo y otras características (20) (Figura 7 y 8).

1. Cristalino: En esta variedad, un alto porcentaje de endospermo córneo forma una capa alrededor de un pequeño centro de endospermo más blando y harinoso (20) (11).
2. Dentado: Los lados y la base del grano consisten en endospermo córneo, pero en el núcleo interno y la parte superior del grano es harinoso. Cuando el grano se seca, el endospermo harinoso se contrae, causando la abolladura característica en la parte superior que le da el nombre. Esta es la variedad más producida comercialmente a nivel mundial (20) (11).
3. Harinoso: En esta variedad, el endospermo es principalmente de tipo harinoso (11). Este tipo de grano se prefiere para moler y darle uso alimenticio. Brinda facilidad de procesamiento y alta recuperación de harina fina (20).
4. Reventador: Este tipo de grano es pequeño y esférico, con una alta proporción de endospermo duro, que es mucho más alta que en cualquier otro grano de maíz (11). Tiene humedad atrapada en el núcleo, y cuando es sometido a calor, el almidón harinoso se expande y explota a través de la cáscara dura, haciendo que reviente (20).

5. Dulce: El grano de maíz dulce en desarrollo tiene un mayor contenido de azúcar debido a una o más mutaciones recesivas que bloquean la conversión del azúcar en almidón (11). La mayoría de los genes que controlan la dulzura son recesivos, por lo que los campos de producción deben estar bien aislados de otros tipos de maíz (20). Las mazorcas se cosechan aproximadamente entre los 18 y 20 días después de la polinización, cuando la humedad del grano es aproximadamente del 70% (11).
6. Ceroso: El grano de maíz ceroso contiene casi en su totalidad amilopectina como almidón (22).
7. Opaco-2: También llamado QPM (*Quality Protein Maize*) (22), es un maíz mutante por la mutación del gen *opaque-2* que está asociado con el incremento del nivel de aminoácidos libres (FAA) en el endospermo maduro (25). Tiene un alto contenido de lisina y triptófano. Tiene un endospermo córneo intermedio por lo que principalmente es harinoso en la primera generación de maíz QPM. Este tipo de maíz mutante harinoso posee propiedades nutricionales únicas (22).
8. Tunicado: Es un mutante morfológico clásico del maíz en el que los granos maduros de la mazorca están cubiertos por glumas a diferencia de las variedades normales de maíz donde los granos están desnudos (26).



**Figura 7.-** Distribución del endospermo corneo y harinoso en diferentes tipos de maíz. A) Maíz dentado; B) Maíz cristalino; C) Maíz QPM; D) Maíz harinoso. (22)



**Figura 8.-** Distribución de los tipos de endospermo en granos de maíz cristalino, harinoso y dentado. (20)

### **Embrión**

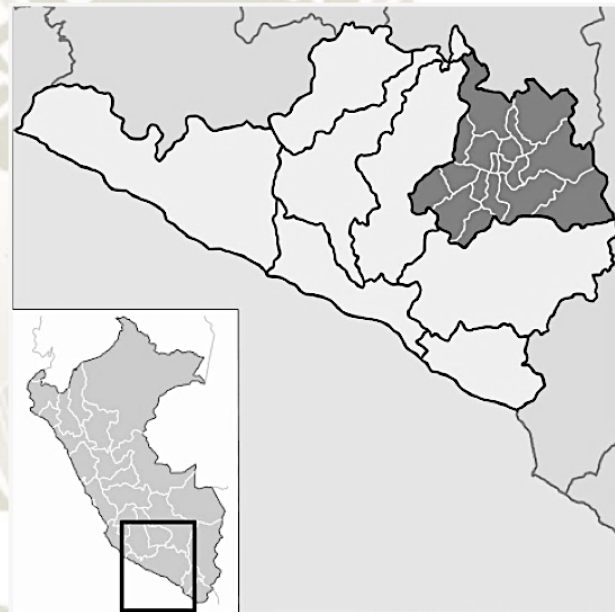
También llamado germen, constituye aproximadamente entre el 9-10% del volumen del grano. Consiste en un eje embrionario con un solo cotiledón situado en un surco en un extremo del endospermo. El embrión es vital para la germinación de semillas. El eje embrionario se compone de cuatro partes, la radícula, el hipocotilo, el epicotilo y la plúmula que es el ápice del brote (9).

## **1.2. EL MAÍZ CABANITA**

El maíz Cabanita es un cereal originario de la región Arequipa, presenta riesgo de conservación *ex situ* e *in situ* posiblemente por la falta de demanda y el escaso conocimiento científico de su composición bioactiva y potencial nutricional beneficioso para la salud. Es nativo de las zonas altoandinas de la región de Arequipa, localidad de Cabanaconde (provincia de Caylloma) y existe evidencia que también es cultivado en localidades de otras provincias aledañas como Castilla y departamentos como Moquegua y Tacna (7). Presentan una pigmentación en sus granos de color amarilla o pigmentación roja y morada, y crecen a más de 3000 m.s.n.m. Este maíz crece bajo condiciones de carácter extremo como radiación extremadamente alta (27), heladas y altitud (28). Este alimento es muy popular en la región de Arequipa por sus usos en la gastronomía, específicamente como maíz tostado; sin embargo, no existen muchos estudios sobre su composición nutricional y bioactiva, además que se carece de información para su manejo agronómico y de post cosecha estandarizado.

### 1.2.1. Caylloma

La provincia de Caylloma está situada en la Región Arequipa, es considerada una de las zonas más altas de país (4310 a 4700 m.s.n.m.) y se ubica en la cordillera de los Andes. El 67.25% de las tierras son consideradas de alto riesgo para la actividad agropecuaria por su ubicación y altura. Se encuentra ubicado en la zona agroecológica de puna seca y su clima es muy frío y seco, con temperaturas oscilando los 21 °C a -14 °C. Su fuente principal de agua la constituyen los deshielos y filtraciones de nevados que originan riachuelos y lagunas. La principal fuente de alimentación de la comunidad son la carne (alpaca, llama, cordero y animales menores), maíz, papa, cebada, trigo, chuño, etc. (29).



**Figura 9.-** Ubicación geográfica de la provincia de Caylloma. (30)

- **Cabanaconde**

El distrito de Cabanaconde se encuentra ubicado entre las zonas alta, intermedia y baja de la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. La comunidad se encuentra ubicada en el margen izquierdo del Río Colca, a una altura promedio de 3296 m.s.n.m (31). En esta zona se localiza “La Comisión de Usuarios Campiña”, que agrupa a la asociación de productores de maíz Cabanita de Cabanaconde en el área denominada como la Campiña; y cuya oficina está ubicada en el centro poblado de Cabanaconde. Esta asociación ocupa un área estrecha para el cultivo de maíz Cabanita utilizando un sistema de andenes. El cultivo de granos andinos en la zona es uno de los más destacados debido a la adaptación de este cultivo a los diferentes pisos ecológicos que existen en la zona. El riego en el valle

es por gravedad (inundación y sistema de surcos) con una frecuencia que varía entre los 30 y 40 días. Las semillas que utilizan los agricultores de la zona (papa, haba y maíz) son en su mayoría de producción local y el tiempo que transcurre entre un riego y otro (estrés hídrico) revela una de las causas de los bajos niveles de productividad (32).

Hasta el año 2017 “la Comisión de Usuarios Campiña” de Cabanaconde estaba conformada por un área total de 717.66 hectáreas y un área bajo riego de 578.08 hectáreas, del cual el 96.09% está destinada al cultivo de maíz con fecha de siembra entre agosto-octubre y cosecha entre mayo-Junio (33). Cuentan con un manantial como fuente de agua y 2 reservorios. Esta asociación de agricultores produce el mejor y la mayor cantidad de maíz Cabanita (34) con una siembra que llega a las 1200 hectáreas anuales hasta el año 2019 (35). El maíz Cabanita se cultiva entre 2800 a más de 3300 m.s.n.m. y sirve de consumo para los habitantes de Cabanaconde y también para abastecer el mercado regional (31).

### 1.2.2. Castilla

La provincia de Castilla se ubica también en la Región de Arequipa, limita por el este con la provincia de Caylloma. Los distritos de Andahua, Chachas, Ayo, entre otros se encuentran en el sector de “Castilla alta” ubicada entre los 3000 y 4000 m.s.n.m. y está constituida por llanuras, puna y cordilleras. Se pueden encontrar laderas de montaña, con un clima templado y posee relieves empinados y accidentados con quebradas de pendiente moderada y donde la tierra se utiliza de manera intensiva para la agricultura (36). Se ha reportado el posible cultivo de maíz Cabanita en Castilla, entre los 3218 y 3587 m.s.n.m. en los distritos de Chachas, Andahua y Machahuay (37) (38), a estas alturas se pueden encontrar dos tipos de clima (frío boreal y tundra seca). Sin embargo, la extensión del cultivo de maíz Cabanita en estas áreas geográficas tendrá que ser confirmado con estudios genéticos y fisiológicos a futuro. Los distritos de Chachas y Machaguay presentan clima boreal frío, con temperaturas entre 17 °C y 1 °C, el cual es apto para la actividad agrícola y ganadera. El distrito de Andahua presenta clima de tundra seca con temperaturas entre 10 °C y 12 °C (36).

El sector de Castilla alta produce el 58% de cultivos de maíz de la provincia de Castilla a pesar de que, desde el punto de vista agropecuario presenta condiciones

limitadas para el aprovechamiento agrícola por la topografía accidentada y temperaturas frías (39).



**Figura 10.-** Ubicación geográfica de la provincia de Castilla. (40)

### 1.2.3. Producción de maíz en las provincias de Caylloma y Castilla

La producción y siembra de maíz amiláceo, que incluye al maíz Cabanita, ha disminuido en los últimos años. En la provincia de Caylloma, luego de pasar por una disminución de área de siembra del 84% entre los años 2015 y 2017, actualmente se viene sembrando maíz amiláceo en 1112 hectáreas y hasta el año 2018 había una producción de 3496 toneladas. La provincia de Castilla, entre el año 2015 y 2018 ha disminuido su producción en un 44.51% y su área de siembra en 48.10%, lo que representa unas 265.98 toneladas de maíz amiláceo. Esta disminución se puede deber a la baja demanda del mercado local y la ausencia de información científica de las propiedades nutritivas y funcionales del maíz nativo de esta zona, lo cual pone en riesgo de conservación al maíz como el tipo Cabanita (1).

## 1.3. BIODIVERSIDAD

### 1.3.1. Conservación *Ex Situ*

Es la conservación de componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales (41). Estos pueden realizarse en centros de conservación *ex situ*, dentro de los cuales se tienen las colecciones científicas para bancos de germoplasma, banco de genes, herbarios y museos; y los centros de cultivo, propagación, crianza o reproducción como zocriaderos, piscigranjas, centros de

rescate, jardines botánicos, etc. (42). La conservación *ex situ* de semillas requiere de una buena instalación de almacenamiento de semillas, secado de semilla y empaquetado, y documentación. La regeneración de semillas es requerida cada 4-5 años a menos que las semillas estén conservadas en las condiciones recomendadas (43).

### 1.3.2. Conservación *In Situ*

Es la conservación de ecosistemas y hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y, en el caso de especies domesticadas o cultivadas, en el entorno donde hayan desarrollado sus propiedades específicas (41).

### 1.3.3. Accesoión

Cuando una muestra es colectada *in situ* se le llama colección y cuando esta es ingresada a un banco de germoplasma se le denomina accesoión, la cual corresponde a la unidad de conservación. Cada accesoión mantiene su individualidad durante el tiempo de almacenamiento y durante su regeneración, caracterización y evaluación (44).

### 1.3.4. Raza

Anderson y Cutler (45) apuntaron a una clasificación natural del maíz y propusieron un sistema de clasificación que pueda reflejar la historia y las relaciones entre los grupos constituyentes. Tomando en consideración la variación continua en muchos caracteres del maíz, definieron raza como “un grupo de individuos relacionados con suficientes características en común para permitir su reconocimiento como grupo”, esperando que una raza tuviera “un número significativo de genes en común (45). También enfatizaron en que el análisis de razas era principalmente de grupos y no de individuos separados (45). Una raza autóctona es una población de cultivos con origen histórico, identidad distinta y que carece de una mejora formal de cultivo; a menudo es genéticamente diverso, adaptado localmente y asociado con los sistemas agrícolas tradicionales (46).

### 1.3.5. Biodiversidad del Maíz en Perú

El Perú es el segundo país después de México con mayor número de accesiones registradas en bancos de germoplasma en el mundo (3921 accesiones) lo

que representa el 12% del total de número de accesiones a nivel mundial (47). Hasta el año 2005 solo se encontraban 3023 accesiones (48). La variedad de pisos ecológicos en el Perú ha determinado una alta diversidad genética de maíz la cual está representada por un total de 52 razas que corresponden al 15% de razas a nivel mundial, donde 20 razas crecen entre 0-1200 m.s.n.m. y otras 20 a más de 2600 m s. n. m. (49). De acuerdo a Bonavia (47), el Perú presenta la mayor diversidad de maíz amiláceo (endospermo blando), este grupo es el más subdividido y rico en caracteres biológicos y morfológicos. La variabilidad extrema es debida a las condiciones ecológicas de cultivo, mutación, hibridación y selección planificada (47).

Según el mapa de las razas de maíz del Perú (50), elaborado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) junto con la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) a partir de colectas realizadas entre los años 1952 y 1989 en las 24 regiones y 118 provincias, la región Arequipa produce 12 variedades de razas de maíz (50). Originariamente se recolectaron 244 accesiones de Arequipa y luego del año 1985 se habían perdido 23 accesiones y posteriormente 37, dejando un total de 184 accesiones viables conservadas en el único banco de germoplasma de maíz peruano del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM) localizado en la UNALM (Lima) (51). Según el catálogo de germoplasma del maíz peruano, se han registrado muy pocas accesiones de las zonas altas de la región Arequipa, en especial de las provincias de Caylloma y Castilla, zonas geográficas asociadas al cultivo de maíz Cabanita (52).

La conservación en cámara del banco de germoplasma no permite la conservación a más de 10 años, por lo que existen duplicados de las semillas en el *National Seed Storage Laboratory* de los Estados Unidos (1901 accesiones) y en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México (912 accesiones). Alrededor de 80% de las accesiones de maíz existentes en el banco de germoplasma peruano se encuentran en estos bancos, lo que garantiza la viabilidad del germoplasma peruano por los próximos 50 a 100 años (48).

El maíz peruano presenta una amplia variabilidad de color del pericarpio, aleurona y la coronta debido a la variación de las frecuencias de los genes del color. De manera que en las diversas razas de maíz peruano se pueden encontrar colores como marrón, rosado, salmón, anaranjado, amarillo, morado, etc. Por lo general, las



razas que crecen en altura presentan mayor variabilidad de color en la coronta, pericarpio, aleurona y endospermo (49).

La variabilidad de las características morfológicas de la planta, la panoja y la mazorca indica la existencia de un amplio espectro de razas en el Perú. Mucha de esta variabilidad puede interpretarse de reciente aparición, como resultado de la hibridación entre razas peruanas con exóticas, esto seguido de la selección y la incorporación de introducciones recientes hacen que el proceso continúe en una acumulación relativamente grande de microcentros dispersos por todo el país. De esta manera es que el Perú posee la más grande variabilidad fenotípica en toda América, y los andes centrales son considerados como el centro de evolución activa del maíz, tanto en el pasado como en el presente. La mayor parte de la variabilidad del maíz en el Perú está clasificada en razas (49).

De acuerdo al proceso evolutivo del maíz en Perú se pudo establecer cinco grupos de razas, las razas primitivas, razas derivadas de las primitivas, razas de reciente derivación, razas introducidas, razas incipientes y razas imperfectamente definidas (49). La clasificación racial del maíz en Perú se ha realizado en base a la información de los caracteres de la planta (días de floración, altura de la planta, altura de la mazorca), panoja (número de hojas, longitud), mazorca (longitud, diámetros de la mazorca, punta y base, numero de hileras), logrando diferenciar 52 razas y sus distribuciones geográficas (49) como se muestra en el Anexo 2 según la primera aproximación realizada por Grobman et al. (53) en función de diferentes colectas de muestras de semillas realizadas en 1952 y posteriormente ampliada por Vega (54).

Debido a que la clasificación de las razas de maíz en la primera aproximación creaba dudas sobre la presencia de las razas en los lugares colectados originalmente, el MINAM, logró hacer una segunda colecta de 384 muestras de semillas de agricultores de varias regiones del Perú entre los años 2013 y 2016 (7). Producto del análisis morfológico, geográfico, citológico, cultural y de agrupamientos de las muestras colectadas es que proponen eliminar la primera clasificación de razas y a través de una segunda aproximación introducir nuevas razas que probablemente no fueron consideradas en la primera aproximación (Blanco harinoso, blanco semidentado, Cabanita, Canchero Norteño, Confite, Granda Blanco, Lambayeque, Morocho Norteño, Tusilla y Umutu) y la eliminación de otras (Enano, Chimlos, Chunchu, Jora, Morado Canteño, Sarco, Perlilla, Ajaleado, Chancayano Amarillo,

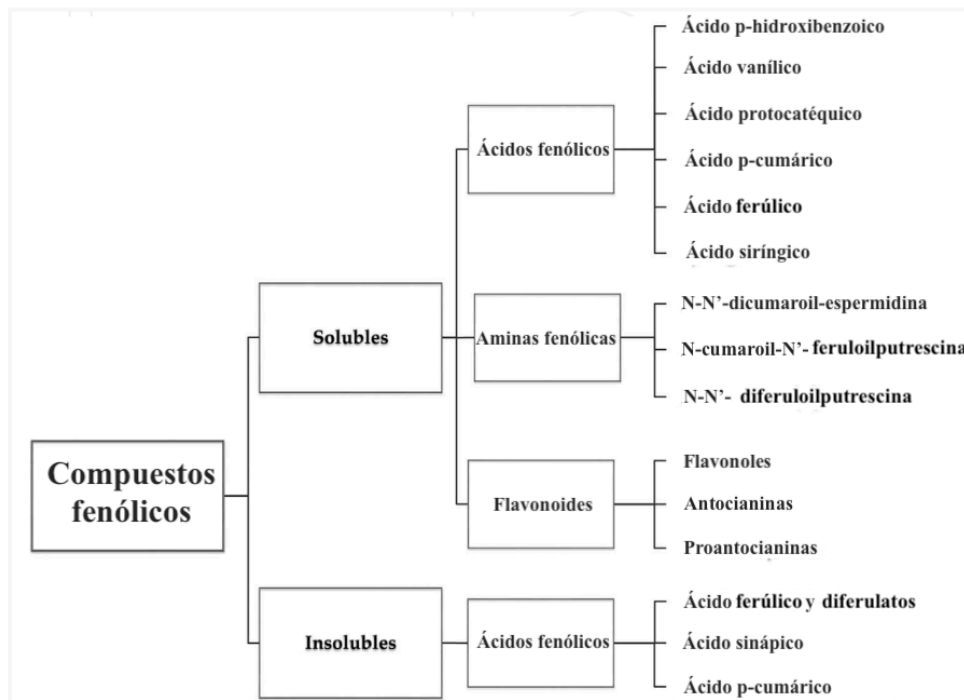
Blanco Ayabaca) (Anexo 3). Las razas que no aparezcan en la segunda aproximación no significan que se hayan perdido, son razas que mostraron una frecuencia muy baja (7).

#### 1.4.COMPUUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos se encuentran distribuidos en las plantas como productos de su metabolismo secundario. Pueden tener diferentes funciones importantes en la planta como ayudar a adaptarse a entornos bióticos y abióticos cambiantes y proporcionar color, sabor y se les ha asociado con propiedades benéficas para la salud (55). También pueden producirse en respuesta a factores ambientales como estrés, infecciones, lesiones, radiación ultravioleta, etc. (56).

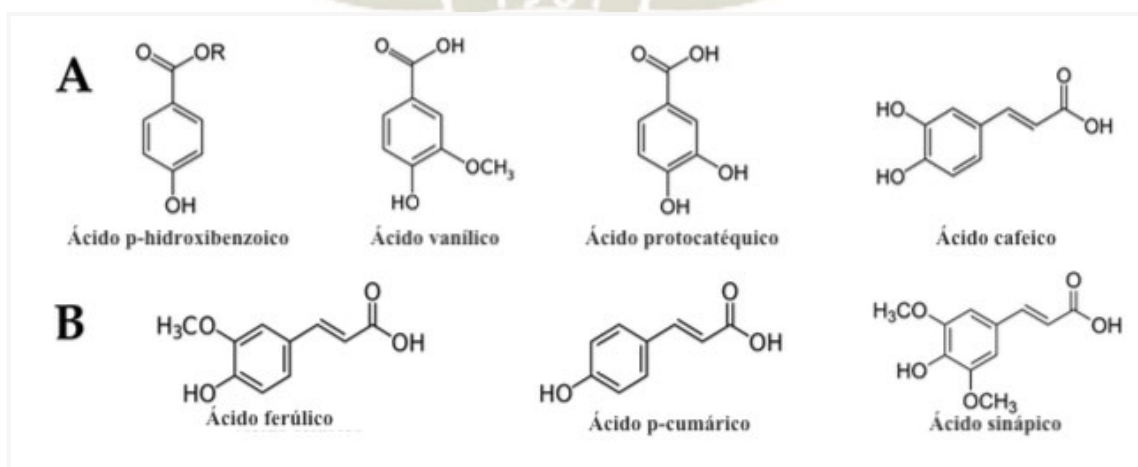
La biosíntesis de estos compuestos se produce por las rutas del ácido shikímico, a partir del ácido cinámico y la ruta del acetato-malonato. Mediante la ruta del ácido shikímico se sintetizan ácidos aromáticos como el ácido corísmico, prefénico, quínico y gálico que a su vez pueden ser precursores de la síntesis de otros compuestos. A partir del ácido cinámico se sintetizan cumarinas y por la ruta del ácido acetato-malonato se sintetizan fenoles simples como el ácido 6-metilsalicilo, orsellínico y derivados (57).

La estructura química de los compuestos fenólicos está compuesta de al menos un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo, incluidos sus derivados funcionales (58). Los compuestos fenólicos son localizados en las vacuolas y tienden a ser solubles en agua debido a que se encuentran en su mayoría combinados con azúcares como glucósidos, confiriéndoles solubilidad en agua y solventes orgánicos (59). Entre los compuestos fenólicos naturales, entre los cuales se conocen más de 200 mil estructuras (60), los flavonoides (flavanoles, flavanonas, flavanonoles, isoflavonas, chalconas, flavonas, flavonoles, flavanodiolos, antocianidinas y proantocianidinas (61) (62)) forman el grupo más grande, también existen fenoles monocíclicos simples, fenilpropanoides y quinonas fenólicas en cantidades considerables. La mayoría de compuestos fenólicos, en especial flavonoides, pueden ser separados y detectados por cromatografía o fluorescencia en luz UV, y algunos compuestos fenólicos coloridos como las antocianinas también absorben en la región visible (59). En la figura 11 se presentan los compuestos fenólicos comúnmente encontrados en el grano de maíz y en la figura 12 se presentan algunas estructuras químicas correspondientes a los ácidos fenólicos detectados en maíz.



**Figura 11.-** Algunos compuestos fenólicos identificados en maíz blanco y pigmentado. (63)

Los ácidos fenólicos que se encuentran en el grano de maíz se derivan tanto del ácido benzoico como del ácido cinámico (63) lo que los divide principalmente en dos grupos: derivados del ácido hidroxibenzoico y del ácido hidroxicinámico. Los cuatro ácidos hidroxicinámicos más comunes son los ácidos ferúlicos, cafeico, p-cumárico y sinápico. Por otro lado, los ácidos hidroxibenzoicos poseen una estructura común de C6-C1 y sus derivados principales son el ácido gálico, vanílico, siríngico y protocatéquico. Ambos grupos pueden encontrarse en forma soluble (conjugada con azúcares o ácidos orgánicos) o unidos a las fracciones de la pared celular como lignina (64).



**Figura 12.-** Ácidos fenólicos más comunes en el grano de maíz. A) Derivados de ácido benzoico y B) Derivados de ácido cinámico. (63)

En el caso de los cereales como el maíz, los compuestos fenólicos se pueden encontrar en forma soluble (fracción fenólica libre) e insoluble (fracción fenólica ligada). La fracción fenólica libre está generalmente compuesta por ácidos fenólicos del tipo hidroxibenzoico e hidroxicinámico mientras que la fracción fenólica ligada es rica en ácidos hidroxicinámicos como el ácido ferúlico y ácido p-cumárico junto con otros derivados del ácido ferúlico como los ácidos ferúlicos diméricos (2). Los ácidos fenólicos ligados pueden formar enlaces éter y éster a través de reacciones que involucran su grupo carboxílico e hidroxilo, esto permite formar enlaces cruzados con macromoléculas de la pared celular (65). Estos compuestos fenólicos ligados se conjugan covalentemente con la celulosa, pectina y polisacáridos a través de enlaces éster que pueden ser difíciles de hidrolizar. Se pueden utilizar métodos de hidrólisis ácida, alcalina y enzimática para liberar el compuesto fenólico unido (66).

#### 1.4.1. Compuestos Fenólicos en Maíz

El maíz tiene el mayor contenido de compuestos fenólicos totales ( $15.55 \pm 0.60$   $\mu\text{mol}$  de equivalente de ácido gálico (GAE)/g de grano) en comparación con otros cereales como el trigo ( $7.99 \pm 0.39$   $\mu\text{mol}$  de GAE/g de grano), la avena ( $6.53 \pm 0.19$   $\mu\text{mol}$  de GAE/ g de grano) y arroz ( $5.56 \pm 0.17$   $\mu\text{mol}$  de GAE/g de grano) (67). Se ha reportado que casi el 85% de compuestos fenólicos se encuentran en su fracción insoluble (o ligada a la fibra dietética), el resto en la fracción soluble (67). Sin embargo, esto es variable dependiendo de la pigmentación del grano de maíz, la cual se ha asociado generalmente a determinados perfiles de compuestos fenólicos.

Los ácidos fenólicos son los principales compuestos fenólicos del grano de maíz, sin embargo, también se han descrito otros compuestos como las aminas fenólicas y algunos flavonoides (68). Los ácidos fenólicos más abundantes son el ferúlico y p-cumárico que se pueden encontrar a su vez en su forma isomérica cis o trans, siendo la forma trans la más común y se pueden encontrar en la forma soluble o ligada a los componentes de la pared celular. El ácido ferúlico (ácido 3-metoxi-4-hidroxicinámico) se encuentra en todas las fracciones del grano de maíz, pero se encuentra en mayor cantidad en el pericarpio y la capa de la aleurona (63).

Entre los flavonoides presentes en el grano del maíz se encuentran los flavonoles, antocianinas y proantocianidinas, responsables de la coloración azul, morada y rojiza en los granos (63). En maíz amarillo se reportó la presencia de 3 flavonoides importantes como la cianidina-3-O-glucósido, quercetina y kaempferol

en el pericarpio ( $49.2 \pm 3.7 \mu\text{g}$  de flavonoides totales/g de muestra seca) y germen ( $42.2 \pm 5.0 \mu\text{g}$  de flavonoides totales/g de muestra seca) (69).

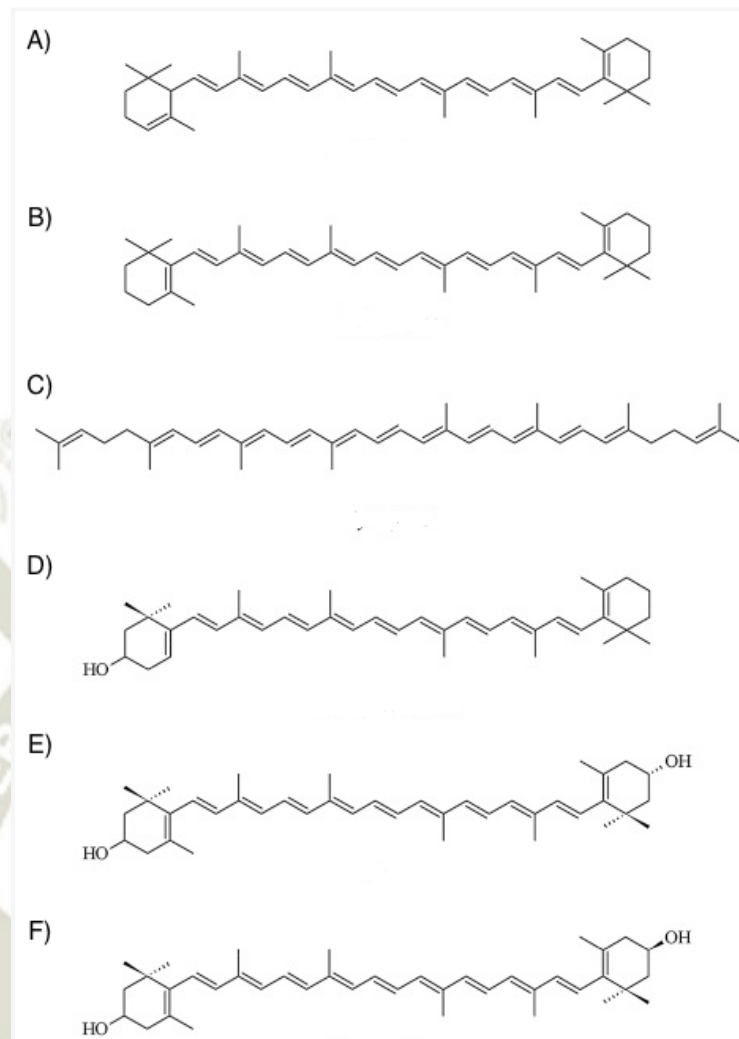
Guo *et al.* (70) analizaron granos de cebada, cebada morada, trigo blanco blando, trigo morado, maíz amarillo, arroz rojo de Indonesia y avena por *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) para identificar el contenido fenólico. Se encontraron 8 ácidos fenólicos monoméricos (protocatéquico, vanílico, cafeico, siríngico, p-cumárico, ferúlico, sinápico e iso-ferúlico) y 4 ácidos ferúlicos diméricos en todos los granos. El ácido ferúlico fue el ácido fenólico monomérico predominante mientras que el ácido 8-O-4'-diferúrico fue el principal ácido ferúlico dimérico en todos los granos. La fibra dietética insoluble del maíz amarillo tuvo la mayor actividad antioxidante entre todos los cereales además de la mayor concentración (2 a 10 veces) de los ácidos ferúlico ( $8322.16 \mu\text{g/g}$  de muestra) y p-cumárico ( $576.52 \mu\text{g/g}$  de muestra) en comparación con los otros cereales. En la fracción soluble, el ácido ferúlico ( $103.59 \mu\text{g/g}$  de muestra) fue el de mayor concentración en el maíz (70).

Existen muy pocos estudios sobre la composición fenólica de la biodiversidad del maíz peruano y en especial del maíz Cabanita. Recientemente, Ranilla *et al.* (37) analizaron el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de 22 razas de maíz peruanos donde se encontraban las razas Arequipeño, Cabanita, Kulli, Granada y Coruca. El mayor contenido fenólico total (TPC) y capacidad antioxidante fue alta en la fracción ligada en especial en los granos de maíz con pigmentación más clara, mientras que los granos de maíz morado presentaron los mayores valores de flavonoides como antocianinas y derivados de quercetina en sus fracciones fenólicas libres. Los principales ácidos fenólicos detectados por Ultra Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (UPLC) fueron los ácidos ferúlico y p-cumárico (37). Por otro lado, Huamán (38) presentó resultados de compuestos fenólicos de varias muestras de granos de maíz de la región Arequipa, donde se encontraba el maíz Cabanita. Los principales ácidos fenólicos encontrados en la fracción fenólica libre del grano de maíz Cabanita fueron los derivados de ácido p-cumárico, derivados de ácido ferúlico y derivados de ácido cafeico mientras que en la fracción ligada se identificaron el ácido p-cumárico, ácido ferúlico y derivado de ácido ferúlico. El principal ácido fenólico en la fracción ligada del grano de maíz Cabanita fue el ácido ferúlico en todas las muestras (119.27 a 138.73 mg/100 g en base seca) (38).

## 1.5. CAROTENOIDES

Los carotenoides son pigmentos naturales derivados de la vía biosintética isoprenoide, son producidos por la mayoría de los organismos fotosintéticos y han demostrado ser beneficiosos tanto para las plantas como para los animales (71). La biosíntesis de los carotenoides en las plantas ocurre en las membranas de los plástidos con enzimas reguladoras codificadas en los genes nucleares y dirigidas a los plástidos (72). Los carotenoides representan un grupo diverso de más de 750 estructuras que se encuentran en bacterias, hongos, algas y plantas (73). De los carotenoides que se encuentran en la naturaleza, 30–50 son comunes en la dieta humana y alrededor de 20 se encuentran en la sangre y los tejidos humanos (74). Bioquímicamente, estos metabolitos secundarios son terpenoides y constituyen una clase de compuestos vitamínicos antioxidantes liposolubles que contienen estructura poliisoprénica (71).

Los carotenoides en los alimentos son generalmente tetraterpenoides C<sub>40</sub> formados a partir de ocho unidades isoprenoides C<sub>5</sub> unidas de cabeza a cola, excepto en el centro donde un enlace de cola a cola invierte el orden, dando como resultado una molécula simétrica (75). Una característica importante es su sistema de doble enlace conjugado extendido ubicado en el centro, que constituye el cromóforo absorbente de luz que les da a los carotenoides su color atractivo y proporciona el espectro de absorción visible que sirve como base para su identificación y cuantificación (75). Los carotenoides de hidrocarburos ( $\beta$ -caroteno, licopeno) se conocen como carotenos, y los derivados oxigenados se denominan xantófilas. Los sustituyentes de oxígeno comunes son los grupos hidroxilo ( $\beta$ -criptoxantina), ceto (cantaxantina), epoxi (violaxantina) y aldehído ( $\beta$ -citraurina) (75). Los carotenoides pueden ser acíclicos (licopeno), monocíclicos ( $\gamma$ -caroteno) o dicíclicos ( $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno). En la naturaleza, los carotenoides existen principalmente en la forma más estable all-trans (o all-E), pero se producen pequeñas cantidades de isómeros cis (o Z) (75). Los carotenoides con grupos terminales de anillo  $\beta$  no sustituidos ( $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ - caroteno,  $\beta$ -criptoxantina) se vuelven más importantes debido a su actividad de provitamina A (71). Según su estructura, la mayoría de los carotenoides exhiben máximos de absorción a aproximadamente 450 nm (76). En la figura 9 se presentan las estructuras de los carotenoides más comunes.



**Figura 13.-** Estructura de los principales carotenoides. A)  $\alpha$ -caroteno B)  $\beta$ -caroteno C) Licopeno D)  $\beta$ -criptoxantina E) Luteína F) Zeaxantina. (174)

### 1.5.1. Contenido de Carotenoides en Maíz

Diversos estudios han determinado el contenido y perfil de carotenoides en el grano de maíz de diferentes procedencias, encontrando una gran variabilidad en especial asociada a factores genéticos (71). Sin embargo, no hay reportes del perfil de carotenoides de la biodiversidad de maíz peruano.

En Italia, Capocchi *et al.* (77) cuantificaron carotenoides mediante espectrofotometría en harinas de maíz italiano local de coloración anaranjada a roja oscura y de maíz amarillo comercial. La concentración de carotenoides de la variedad local de coloración anaranjada fue significativamente mayor entre los demás genotipos y el análisis por HPLC reveló que este genotipo tuvo concentraciones mayores de zeaxantina (8.5  $\mu\text{g/g}$  de harina),  $\beta$ -caroteno (0.5  $\mu\text{g/g}$  harina) y  $\beta$ -criptoxantina (3.2  $\mu\text{g/g}$  harina), y niveles menores de luteína (2.3  $\mu\text{g/g}$  harina) en

comparación con la variedad comercial. Sin embargo, los programas de mejoramiento de maíz en Italia se han centrado principalmente en el desarrollo de variedades de alto rendimiento, lo que está llevando a una erosión progresiva de la diversidad genética de esta especie, incluida la responsable de la variación del pigmento del grano. Estos genotipos locales se han cultivado durante más de un siglo en áreas montañosas restringidas, y a pesar de que su cultivo hoy en día es muy limitado, son apreciados por un mercado restringido debido a sus reconocidas cualidades organolépticas superiores (77).

En Brasil, se analizaron 26 variedades locales de maíz de coloración blanca, amarilla, anaranjada, variegada, rojiza y morada. Se identificaron carotenoides por HPLC y el maíz morado tuvo el mayor contenido de carotenoides (11.72  $\mu\text{g/g}$  de peso fresco), seguido por una variedad de maíz amarillo (10.86  $\mu\text{g/g}$  de peso fresco) siendo las xantófilas como la zeaxantina (7.05  $\mu\text{g/g}$  de peso fresco), luteína (3.69  $\mu\text{g/g}$  de peso fresco) y  $\beta$ -criptoxantina (0.06  $\mu\text{g/g}$  de peso fresco) los carotenoides más abundantes (78).

En otro estudio, Zilic *et al.* (79) analizaron los niveles de carotenoides en maíz de coloración blanca, amarilla, anaranjada, roja y azul procedentes de distintos países mediante cromatografía líquida y espectroscopía de masas. Los carotenoides que se lograron identificar fueron la luteína y el  $\beta$ -caroteno. El maíz de coloración roja tuvo el mayor contenido de luteína (13.89 $\pm$ 0.67  $\mu\text{g/g}$  de muestra seca), seguido por el maíz anaranjado con 11.14 $\pm$ 0.62  $\mu\text{g}$  de luteína/g de muestra seca. Además, el maíz anaranjado tuvo la mayor concentración de  $\beta$ -caroteno (2.42 $\pm$ 0.30  $\mu\text{g/g}$  de muestra seca). Estos resultados proporcionan evidencia de altos niveles de fitoquímicos beneficiosos para la salud del maíz pigmentado (79).

## **1.6. PROPIEDADES FUNCIONALES RELEVANTES A LA SALUD**

### **ASOCIADAS A LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDES EN EL MAÍZ**

#### **1.6.1. Compuestos fenólicos**

El consumo de frutas, verduras, legumbres (64) y cereales integrales está asociado con la reducción del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas (70). La fibra dietética de cereales, una fuente abundante de ácidos hidroxicinámicos unidos a la pared celular de las plantas, es un contribuyente importante al beneficio para la



salud en el consumo de cereales integrales (70). Se ha encontrado una correlación inversa entre la ingesta de cereales integrales y el riesgo de enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II, obesidad y cáncer (80), así como la reducción de las tasas de mutagénesis en células humanas (81). Estos beneficios para la salud se atribuyen en parte a la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos en los cereales (82). Los compuestos fenólicos pueden funcionar como antioxidantes y proporcionar una protección importante para la salud del cuerpo humano (83). Guo et al. (70) encontraron que los ácidos fenólicos como el ferúlico e iso-ferúlico son los principales compuestos responsables del potencial antioxidante *in vitro* de los cereales que analizaron (cebada, trigo, maíz, arroz y avena). Este estudio concluyó que la fibra dietética insoluble del maíz amarillo (rica en ácidos fenólicos ligados) podría ser un ingrediente alimentario funcional más relevante comparado con los otros cereales (70).

Diferentes estudios usando modelos *in vitro* han mostrado el potencial antioxidante asociado con los compuestos fenólicos en granos de maíz de diferentes procedencias (70) (37) (77). También algunos estudios *in vivo* y ensayos clínicos han reportado una relación directa entre los compuestos fenólicos de la fracción libre, en especial antocianinas presentes en maíz de pigmentación morada, con el aumento de la respuesta antioxidante y la potencial prevención de diversas complicaciones de salud asociadas a las enfermedades crónicas no transmisibles (84) (85).

Adicionalmente, la fracción fenólica libre del grano (de maíz de diferentes pigmentaciones y procedencias) ha demostrado un alto poder de inhibición *in vitro* de las enzimas clave para la degradación de carbohidratos a nivel intestinal como la  $\alpha$ -glucosidasa (86) (87) (88) y la  $\alpha$ -amilasa (37) (87), implicando un potencial preventivo de la hiperglicemia a través de la dieta. Otros estudios también han reportado extractos fenólicos de maíz (fracción libre) tendrían un potencial modulador de las enzimas lipasa pancreática y la enzima convertidora de la angiotensina (ACE) relevantes para el control de la obesidad e hipertensión, respectivamente (37).

### 1.6.2. Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos que juegan un papel importante en la protección de las plantas contra los procesos fotooxidativos. Son antioxidantes

eficientes en el organismo humano, ya que contribuyen con el sistema de defensa antioxidante actuando sobre los radicales peroxilo y oxígeno molecular singlete (76) y evitando con ello el daño a moléculas relevantes como el ADN, proteínas, carbohidratos y lípidos (89).

Los carotenoides como el licopeno han logrado una gran atención debido a sus capacidades antioxidantes y sus vínculos con la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer de próstata o del tracto gastrointestinal (90). Otros carotenoides, como las xantófilas, la luteína y la zeaxantina, también han despertado interés debido a su asociación con la protección y desaceleración de la enfermedad ocular de la degeneración macular (91). La luteína y zeaxantina son los únicos carotenoides encontrados en la mácula y su presencia sirve para proteger el ojo de los radicales libres y luz azul cercana al UV (92). También se ha demostrado que la ingesta de luteína y zeaxantina puede reducir los riesgos de cataratas y degeneración macular relacionada con la edad, que es la principal razón de ceguera en ancianos (93).

Varios estudios han asociado los carotenoides del maíz y otros cereales con diversas propiedades funcionales relevantes a la salud. Masisi et al. (94) evaluaron el potencial antioxidante de los carotenoides presentes en fracciones de aleurona, germen y endospermo de cebada, maíz y trigo *in vitro*. Los carotenoides presentes en los extractos actuaron como inhibidores de radicales libres, y reductores de las especies de oxígeno reactivo celular previniendo la apoptosis causada por la oxidación. Estos carotenoides mejoraron la actividad antioxidante y, por lo tanto, tienen el potencial de mitigar el estrés oxidativo. Los mismos autores enfatizaron que la actividad antioxidante podría también estar relacionada con otros de mecanismos endógenos y de expresión génica. El endospermo, aleurona y germen de maíz, cebada y trigo podrían ser un ingrediente funcional útil para frenar el estrés oxidativo evitando así la patogénesis humana (94).

Kljak et al. (95) midieron el contenido de carotenoides en extractos de 5 variedades comerciales de maíz dentado y una variedad de maíz semi-corneo para determinar la relación entre el contenido de carotenoides y la actividad antioxidante. Los niveles de luteína, zeaxantina,  $\beta$ -criptoxantina y  $\beta$ -caroteno en los extractos se determinaron mediante HPLC, y se analizó la actividad antioxidante usando modelos *in vitro* como el sistema de capacidad antioxidante equivalente al Trolox (TEAC) y el método del ácido tiobarbitúrico (TBARS). La luteína y la zeaxantina fueron los

carotenoides predominantes, sus niveles fueron más altos que los de la  $\beta$ -criptoxantina y el  $\beta$ -caroteno. La luteína y el  $\beta$ -caroteno fueron los principales contribuyentes a la actividad TEAC, mientras que la luteína, la  $\beta$ -criptoxantina y el  $\beta$ -caroteno fueron los principales contribuyentes a la actividad TBARS (95).



## CAPITULO II

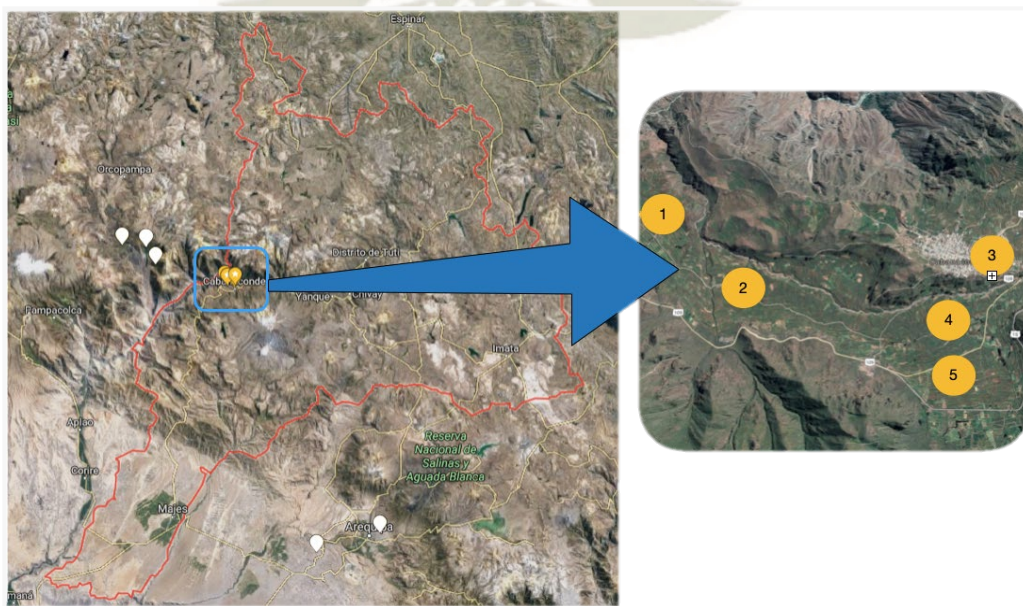
### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1.LUGAR DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló desde el mes de marzo del 2019 hasta enero del 2021 en las instalaciones del Laboratorio de Ciencia de Alimentos del Vicerrectorado de Investigación (Pabellón F-404) de la Universidad Católica de Santa María (UCSM).

#### 2.2. MATERIAL DE ESTUDIO (germoplasma de maíz Cabanita)

Se colectó germoplasma de maíz Cabanita (*Zea mays* L.) de las provincias de Castilla y Caylloma. Se tomaron muestras de mazorcas maduras completas de 5 puntos geográficos por provincia como se muestran en las figuras 14 y 15. Cada grupo de mazorcas por parcela se seleccionó aleatoriamente por punto geográfico. Durante la colecta, se registraron datos de información geográfica (coordenadas, altura, nombre de la parcela y códigos asignados) y condiciones climatológicas (temperatura, humedad relativa, índice UV). Además, mediante encuestas se obtuvo información de las condiciones de cultivo, desarrollo de planta y manejo post cosecha aplicado por los agricultores (Anexo 4, 5, 6, 7 y 8).



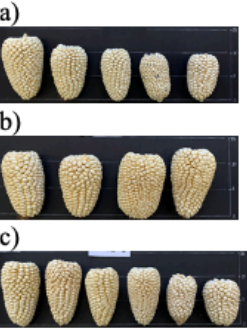

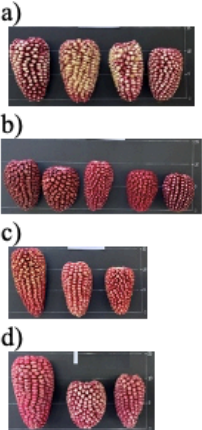
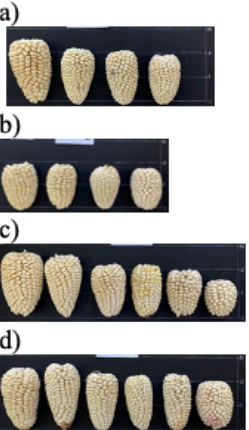

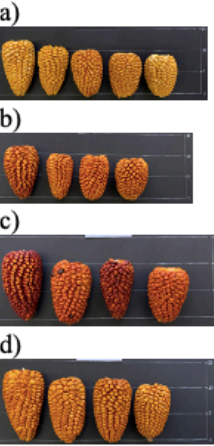
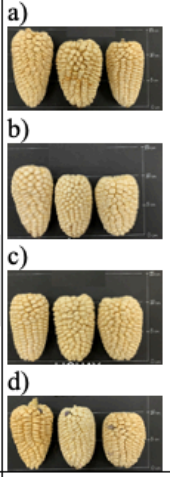
**Figura 14.-** Ubicación geográfica de los puntos de colecta en la provincia de Caylloma.



**Figura 15.-** Ubicación geográfica de los puntos de colecta en la provincia de Castilla.

Las mazorcas con grano maduro fueron colectadas de la misma planta, de las plantas ya cortadas y apiladas en la parcela de cultivo o en algunos casos ya cosechadas de los almacenes de los agricultores. Como las mazorcas estaban aún húmedas, se terminaron de secar bajo sombra y dentro del laboratorio en condiciones ambientales hasta peso constante, tratando de simular el procesamiento de secado aplicado por los agricultores dentro de sus almacenes. Las mazorcas colectadas en cada punto geográfico fueron separadas en función a las pigmentaciones del grano, observándose en algunos casos la presencia de hasta dos tipos de color de grano (blanco y rojo). Esto ocurre, debido a que en muchos casos, los agricultores siembran en una misma parcela maíz Cabanita blanco y rojo. Cada grupo de mazorcas así diferenciadas, fueron a su vez clasificadas en función a la intensidad de la pigmentación del grano, obteniendo varios subgrupos los cuales fueron considerados como las réplicas biológicas por punto geográfico y tipo de maíz. En las tablas 2 y 3 se muestra la información geográfica, el lugar de colecta, la codificación asignada, y el número de réplicas biológicas de las muestras colectadas en la provincia de Caylloma y Castilla, respectivamente.

**Tabla 2.-** Información geográfica, códigos y réplicas biológicas de los puntos de colecta en la provincia de Caylloma.

Punto geográfico	1	1	2	2	3	4	5
Lugar*	Auqui	Auqui	Cusqui	Cusqui	Huancce	Occollina	Liguay
Código	CAB	CAR	CCR	CCA	CHB	COM	CLA
Réplicas biológicas							
Coordenadas	S 15° 37' 05.6" W 072° 00' 37.8"	S 15° 37' 05.6" W 072° 00' 37.8"	S 15° 37' 30.9" W 072° 00' 04.1"	S 15° 37' 30.9" W 072° 00' 04.1"	S 15° 36' 56.4" W 071° 58' 19.5"	S 15° 37' 41.6" W 071° 58' 49.5"	S 15° 38' 01.6" W 071° 58' 49.0"
Altitud	3110	3110	2964	2964	3332	3310	3266

\* Los anexos corresponden al distrito de Cabanaconde.



**Tabla 3.-** Información geográfica, códigos y réplicas biológicas en los puntos de colecta en la provincia de Castilla.

Punto geográfico	1	2	3	4	4	5	5
Lugar*	Huancarani	Ajocha	Alleachaya	Pulluguaya	Pulluguaya	Subna	Subna
Código	CHA	CAA	CAL	CPB	CPC	CSB	CSR
Réplicas biológicas	a) 	a) 	a) 	a) 	a) 	a) 	a) 
	b) 	b) 	b) 	b) 	b) 	b) 	b) 
	c) 	c) 	c) 	c) 	c) 	c) 	c) 
		d) 	d) 				
Coordenadas	S 15° 29' 50.7" W 72° 20' 48.6"	S 15° 29' 57.2" W 72° 20' 45.8"	S 15° 30' 4.1" W 72° 16' 10.7"	S 15° 30' 5.1" W 72° 16' 14.4"	S 15° 30' 5.1" W 72° 16' 14.4"	S 15° 33' 27.5" W 72° 14' 16.3"	S 15° 33' 27.5" W 72° 14' 16.3"
Altitud	3347	3399	3070	3043	3043	2845	2845

\*Huancarani y Ajocha pertenecen al distrito de Andahua, Alleachaya y Pulluguaya pertenece al distrito de Chachas, y Subna pertenece al distrito de Ayo.

## 2.3. REACTIVOS, MATERIALES Y EQUIPOS

### 2.3.1. REACTIVOS

- Acetona p.a. (Merck).
- Acetonitrilo grado HPLC (Merck).
- Ácido Clorhídrico fumante 37% (Merck).
- Ácido fórmico p.a. (Merck).
- Butilhidroxitolueno p.a. (Merck).
- Carbonato de Sodio (Merck).
- Diclorometano grado HPLC (Merck).
- Etanol p.a. (Merck).
- Etilacetato p.a. (Merck).
- Folin-Ciocalteu p.a. (Merck).
- Hidróxido de Potasio p.a. (Merck).
- Hidróxido de Sodio p.a. (Merck).
- Metanol grado HPLC (Merck).
- Metanol p.a. (Merck)

### 2.3.2. Estándares

#### Estándares de compuestos Fenólicos

- Ácido trans-ferúlico (Sigma-Aldrich Co.,  $\geq 99$  %).
- Ácido p-cumárico (Sigma-Aldrich Co.,  $\geq 98$  %).
- Cloruro de Cianidina (Sigma-Aldrich Co.,  $\geq 95$  %).

#### Estándares de carotenoides

- $\beta$ -caroteno (Sigma-Aldrich Co.,  $\geq 95$  %).
- Zeaxantina (Sigma-Aldrich Co.,  $\geq 95$  %)
- Luteína (Sigma-Aldrich Co.,  $96 \geq$  %)

### 2.3.3. Materiales

- Filtros Nylon 0.45  $\mu\text{m}$  (Phenomenex)
- Filtros PTFE 0.54  $\mu\text{m}$  (Fluoropore)
- Filtros PVDF 0.22  $\mu\text{m}$  (Millipore).
- Frascos de 100, 250, 500 ml.



- Matraz aforado de 5, 10, 100 y 500 ml.
- Matraz de evaporación para rotavapor 250 ml.
- Micropipetas de 0.2-20  $\mu\text{l}$ , 20-100  $\mu\text{l}$ , 100-1000  $\mu\text{l}$  y 500-5000  $\mu\text{l}$ .
- Pipetas de vidrio de 1, 5, 10 ml.
- Probetas de 10, 50, 100 y 500 ml.
- Tamiz de 500  $\mu\text{m}$ .
- Tubos de centrifuga de 15 y 50 ml.
- Tubos de ensayo de 10 ml.
- Tubos de microcentrífuga de 2 ml.
- Vasos de precipitado de 50, 100, 250 y 500 ml.
- Vernier

#### 2.3.4. Equipos e Instrumentación

- Agitador orbital (SHKE2000-1CE/Thermo Scientific/EEUU)
- Balanza analítica (Explorer® Analítica, OHAUS, EEUU).
- Balanza electrónica (EX, OHAUS, EEUU).
- Bomba al vacío (2546, Welch, Alemania).
- Campana extractora (FHI800(P), BIOBASE, EEUU).
- Centrífuga (Universal 320 R, Hettich, EEUU )
- Termohigrómetro digital (SH-110, Boeco, Alemania)
- GPS (Etrex 10x, Garmin, USA)
- Medidor de índice de radiación UV (UVD1000, Sunknown, China)
- Sistema UHPLC (*Ultra High-Performance Liquid Chromatography*) con detector de arreglo de diodos (DAD) (Ultimate 3000 RS UHPLC system, Thermo Fisher Scientific, EEUU)
- Bomba cuaternaria (Ultimate 3000 RS/Thermo Fisher Scientific/EEUU)
- Desecador (8GE0043W, Normax, Portugal)
- Espectrofotómetro (Evolution 201, Thermo Scientific, EEUU)
- Estufa de secado (UF55, Memmert, Alemania)
- Molino de análisis (A11 Basic, IKA, Alemania).
- Potenciómetro (HI, 3220, HANNA Instruments, Italia).
- Refrigerador recirculante chiller (F250, Julabo, Alemania)
- Refrigeradora

- Rotavapor con baño maría y bomba de vacío (Rotavapor® R-100, Buchi, Alemania).
- Selladora (PFS-300, Chen-he Machine, China).
- Vernier (Mk-0037, Makawa, China)
- Visicooler
- Vórtex (WIZARD IR Infrared Vórtex Mixer, Velp Scientifica, Italia).
- Columna (Kinetex C18 100 Å; 1.7 µm; 100 x 2.1 mm, Phenomenex, Estados Unidos) con precolumna (Security Guard ULTRA C18; 1.7 µm; 5 x 2.1 mm D.I, Phenomenex, Estados Unidos).
- Columna (YMC carotenoid C30, 3 µm; 150 x 4.6 mm D.I, Waters) con precolumna (C30; 3 µm; 10 x 4.0 mm D.I., Waters)
- Sistema de producción de agua ultrapura (Simplicity, MERK, Estados Unidos)
- Ultrasonido (M2800, Branson, EEUU)
- Concentrador de muestras (FSC400D, Techne, Reino Unido)

## 2.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

### 2.4.1. Análisis de humedad

Se determinó el contenido de humedad de los granos de maíz para poder expresar los resultados en base seca (bs). Se empleó el método de la Norma Técnica Peruana 205.002:1979 (NTP 205.002:1979) para muestras con un contenido de humedad menor de 16%, donde la muestra previamente molida se seca en estufa de secado bajo presión atmosférica normal hasta llegar a peso constante. Los resultados se expresaron en porcentaje (%) peso/peso (96).

### 2.4.2. Caracterización físico-morfológica del germoplasma de maíz Cabanita Colectado

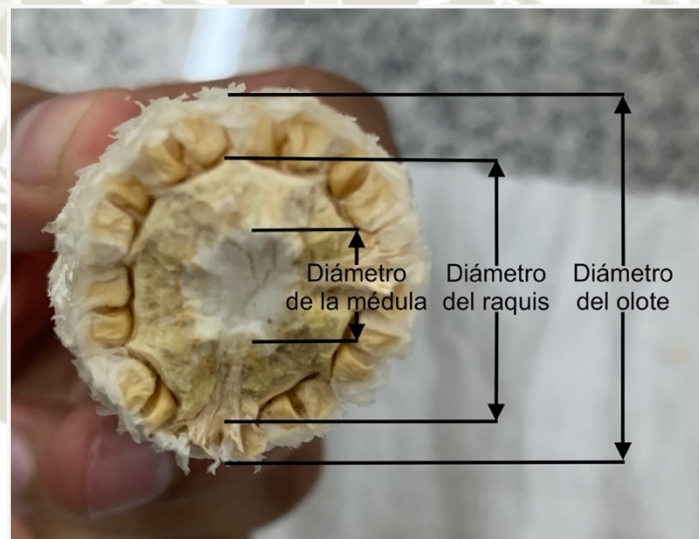
Se realizó una caracterización física y morfológica de las mazorcas (granos y marlo) según los descriptores propuestos por el Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM) (52), la Junta Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR) y El Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y del Trigo (CIMMYT) (14). Los caracteres evaluados se describen a continuación.

### 2.4.2.1. Mazorca

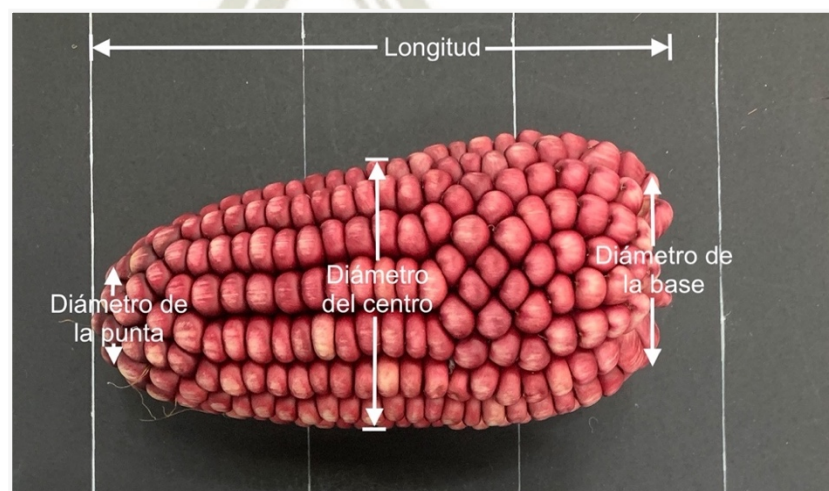
Todas las caracterizaciones se realizaron en cada mazorca (entre 2 a 7 mazorcas) que compone una réplica biológica (se tuvieron entre 3 a 4 réplicas biológicas por punto geográfico), reportando un promedio general por réplica biológica. El resultado de un carácter cuantitativo (cm., mm.) en un punto geográfico (10 puntos geográficos) es el promedio de sus réplicas biológicas  $\pm$  desviación estándar.

#### a) Longitud, diámetro de la punta, diámetro del centro, diámetro de la base, diámetro de la médula, diámetro del raquis y diámetro del olote

Las mediciones fueron tomadas según las figuras 16 y 17 que se presentan a continuación.



**Figura 16.-** Diámetro de la médula, diámetro del raquis y diámetro del olote.



**Figura 17.-** Longitud de la mazorca, diámetro de la punta, diámetro del centro y diámetro de la base.

Las mediciones de los caracteres en cada mazorca se hicieron con un vernier y se expresaron en centímetros (cm).

**b) Número de hileras y número de granos por hilera**

Se contó el número de hileras de granos en la parte central de la mazorca. Para el número de granos por hilera se contaron los granos en una hilera normal por mazorca.

**c) Porcentaje de desgrane y de daño**

El porcentaje de desgrane fue calculado en base al número de granos faltantes en la mazorca como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de desgrane de la mazorca} = \frac{n^{\circ} \text{ de granos faltantes}}{n^{\circ} \text{ de hileras} \times n^{\circ} \text{ granos por hilera}} \times 100$$

Para calcular el porcentaje de daño de la mazorca, primero se definió el nivel de daño que puede presentar cada mazorca y luego se calculó el porcentaje de mazorcas que representa cada nivel.

Niveles de daño de la mazorca:

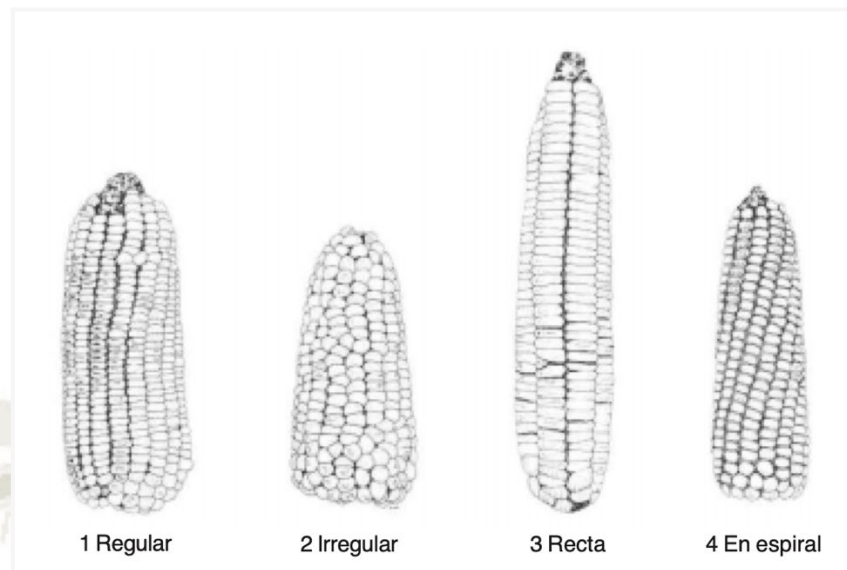
1. Ninguno
2. Poco
3. Grave

$$\% \text{ de mazorcas con "y" daño} = \frac{n^{\circ} \text{ de mazorcas con daño "y"}}{n^{\circ} \text{ total de mazorcas en el PG}} \times 100$$

Donde “y” es el tipo de daño (ninguno, poco o grave) y PG es el punto geográfico.

**d) Porcentaje de disposición de hileras y porcentaje de forma de la mazorca**

La disposición de hileras de granos en cada mazorca se determinó en base a la figura 18.



**Figura 18.-** Disposición de hileras de granos en la mazorca de maíz. (14)

Para determinar el porcentaje de disposición de hileras de granos en las mazorcas primero se eligió la disposición de hileras en cada mazorca que compone un punto geográfico. Luego se calculó el porcentaje de mazorcas que presentan una disposición en común en el punto geográfico de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de mazorcas de disposición "x"} = \frac{n^{\circ} \text{ de mazorcas de disposición "x" en el punto PG}}{\text{Número total de mazorcas del PG}} \times 100$$

Donde “x” es el tipo de disposición de hileras (regular, irregular, recta y en espiral) y PG es el punto geográfico.

La determinación de la forma de la mazorca se hizo en base a los siguientes descriptores propuestos (14) (52):

1. Cilíndrica
2. Cilíndrica cónica
3. Cónica
4. Redondo bolita
5. Cónico redondo

Para la determinación del porcentaje de forma de la mazorca se siguió la misma lógica y se aplicó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de forma "y"} = \frac{n^{\circ} \text{ de mazorcas de forma "y" en el punto PG}}{\text{Número total de mazorcas del PG}} \times 100$$

Donde “y” son los descriptores de forma para mazorcas de maíz (cilíndrica, cilíndrica cónica, cónica, redondo bolita, cónico redondo) y PG el punto geográfico.

#### e) Color del olote (%)

Se determinó el color del olote luego de desgranar las mazorcas y se consideraron los siguientes colores debido a la variedad que presentaron.

1. Blanco
2. Café
3. Café claro
4. Café naranja
5. Morado
6. Jaspeado
7. Rosado claro
8. Palo rosa
9. Palo rosa blanquecino
10. Marrón oscuro
11. Café rojizo
12. Café rojizo claro
13. Rojas
14. Naranja
15. Naranja rojizo
16. Naranja claro
17. Naranja oscuro
18. Crema

El porcentaje de color del olote que corresponde a cada punto geográfico se determinó caracterizando el color de cada uno de los olotes que compone sus réplicas biológicas. Luego se calculó el porcentaje de olotes que representa cada color en todo el punto geográfico.

$$\% \text{ de olotes de color "y"} = \frac{n^{\circ} \text{ de olotes de color "y" en el punto PG}}{\text{Número total de mazorcas del PG}} \times 100$$

Donde “y” representa un color de la gama de 18 colores presentados anteriormente y PG es el punto geográfico.

#### f) Masa

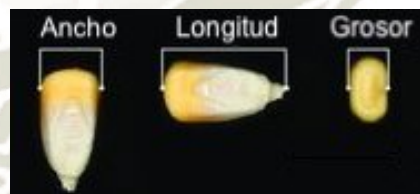
Para determinar la masa de la mazorca se utilizó una balanza electrónica y los resultados fueron expresados en gramos (g).

#### 2.4.2.2. Grano

Todas las caracterizaciones del grano se hicieron en 10 granos seleccionados por mazorca. Para la selección de los 10 granos, primero se identificó una hilera de granos que esté completa y luego se extrajeron los granos de la parte central de la hilera. Los resultados cuantitativos correspondieron al promedio  $\pm$  desviación estándar de las mediciones en los 10 granos por mazorca (2 a 7), por réplica biológica (3 a 4) y por punto geográfico.

##### a) Longitud, ancho, grosor

Para medir la longitud, ancho y grosor del grano se utilizó un vernier y las medidas se expresaron en milímetros (mm). Las mediciones se hicieron como se muestra en la figura 19.



**Figura 19.-** Ancho, longitud y grosor del grano de maíz. (97)

##### b) Masa del grano

Para la determinación de la masa del grano se utilizó una balanza analítica y los resultados se expresaron en gramos (g).

##### c) Porcentaje de la forma de superficie y porcentaje de forma del grano

La forma de la superficie del grano se determinó de acuerdo a la figura 20 en la hilera de 10 granos seleccionados por mazorca. En el caso de que en una mazorca existan más de una forma de la superficie en sus granos, se registraron

hasta 2 formas más relevantes, en este caso a cada forma le correspondería el valor numérico de  $\frac{1}{2}$  o si solo posee una forma el valor de 1, de esa manera se caracteriza cada mazorca.

Por ejemplo, el punto geográfico CCR esta conformado por 4 réplicas biológicas (a, b, c y d), la réplica biológica “c” posee 3 mazorcas. La forma de la superficie de los granos en la primera mazorca es “dentados” ( $\frac{1}{2}$ ) y “puntiagudos” ( $\frac{1}{2}$ ), la segunda mazorca presenta granos puntiagudos (1) y la tercera mazorca presenta granos “redondos” (1). La sumatoria de todas estas características debería dar el número total de mazorcas ( $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 1 = 3$  mazorcas).



**Figura 20.-** Forma de la superficie del grano. (14)

Para determinar el porcentaje de un tipo de forma de la superficie de grano en un punto geográfico se dividió la sumatoria de mazorcas que presentan dicha forma (suma de fracciones y números enteros) entre la cantidad total de mazorcas que presenta el punto geográfico y se multiplicó por 100 para expresar en porcentaje. A continuación se presenta la fórmula utilizada para el cálculo.

$$\% \text{ forma de superficie "y"} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de mazorcas de forma "y" en el punto PG}}{\text{Número total de mazorcas del PG}} \times 100$$

Donde “y” es una forma de superficie y PG el punto geográfico.

La forma del grano se determinó de acuerdo a los siguientes descriptores propuestos (14) (52):

1. Aristado grande



2. Aristado pequeño
3. Redondo aplanado grande
4. Redondo aplanado pequeño
5. Más largo que ancho
6. Isodiametral
7. Cuneiforme
8. Redondo
9. Dentado

En los casos en que en una mazorca existan más de una forma de grano, se registró un máximo de 3 formas más relevantes. La mazorca que presentó un tipo de forma de granos se le asigna el valor 1 a esa forma, en caso presente dos tipos de forma se le asigna el valor  $\frac{1}{2}$  a cada forma y en caso presente 3 formas el valor  $\frac{1}{3}$  a cada forma.

Para determinar el porcentaje de una forma de grano se divide la sumatoria de mazorcas que presenten dicha forma en sus granos entre el número total de mazorcas que presenta el punto geográfico y se multiplica por 100 para expresar el resultado en porcentaje. Luego de haber realizado los cálculos se obtiene la proporción de mazorcas que presentan cada forma por punto geográfico. A continuación, se presenta la fórmula empleada.

$$\% \text{ de forma "y" de grano} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de mazorcas de forma "y" en el punto PG}}{\text{Número total de mazorcas del PG}} \times 100$$

Donde “y” es una forma de grano y PG el punto geográfico.

#### d) Porcentaje de textura del grano

La textura del grano se determinó en base a los siguientes descriptores propuestos más adelante (14) (52). Para el caso de que una mazorca presente más de una textura frecuente se tomaron un máximo de 3 texturas frecuentes. En el caso de que una mazorca presente un solo tipo de textura, dicha textura toma el valor de 1, en caso presente 2 tipos de textura cada textura toma el valor de  $\frac{1}{2}$  y en el caso presente 3 texturas cada una de ellas recibe el valor de  $\frac{1}{3}$ , dichos valores servirán más adelante para realizar los cálculos por punto geográfico.

1. Harinoso

2. Semiharinoso
3. Cristalino
4. Semicristalino
5. Dentado
6. Semidentado
7. Reventón
8. Dulce
9. Opaco-2
10. Tunicado
11. Ceroso

Se calculó el porcentaje de textura en el punto geográfico en base a la siguiente formula.

$$\% \text{ de textura de grano "y"} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de mazorcas de textura "y" en el punto PG}}{\text{Número total de mazorcas del PG}} \times 100$$

Donde “y” es un tipo de textura de grano y PG el punto geográfico.

**e) Porcentaje de color del grano, porcentaje de color del pericarpio, porcentaje de color de la aleurona y porcentaje de color del endospermo**

El color del grano, pericarpio, aleurona y endospermo se determinó de acuerdo a las siguientes gamas de colores.

- Color del grano: En caso de las mazorcas que presenten granos de más de un color se consideraron máximo 3 colores.
  1. Blanco
  2. Amarillo
  3. Morado
  4. Jaspeado
  5. Café
  6. Anaranjado
  7. Capa blanca
  8. Rojo
- Color del pericarpio: Se consideró el color más frecuente.
  1. Incoloro

2. Amarillo
  3. Naranja
  4. Rojo
  5. Rojo capablanca
  6. Marrón rojizo
  7. Otro
- Color de la aleurona: Se consideró el color más frecuente.
1. Incoloro
  2. Amarillo
  3. Bronceado
  4. Púrpura
  5. Púrpura moteado
  6. Rojo
  7. Otro
- Color del endospermo: Se consideró el color más frecuente.
1. Blanco
  2. Crema

El porcentaje de color en cada caso se calculó con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de color "y" en el "x"} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de mazorcas con granos color "y" en el punto PG}}{\text{Número total de mazorcas del PG}} \times 100$$

Donde “y” un color y “x” la parte del grano que se está caracterizando (grano, pericarpio, aleurona o endospermo) y PG el punto geográfico.

### 2.4.3. Análisis del contenido de compuestos fenólicos

#### 2.4.3.1. Extracción de la fracción fenólica libre

Se pesó 5 g de harina de grano y se adicionó 20 ml de la solución de metanol: acetona: agua (45:45:10, v/v/v) acidificado con 0.1% de HCl p.a., la mezcla se llevó a agitación en un agitador orbital a 200 rpm durante 1 h a temperatura ambiente y protegidos de la luz. Luego, se llevó la mezcla a centrifugación por 15 min a 4000 rpm y se almacenó el sobrenadante en un matraz de evaporación para rotavapor de 250 ml. Se realizó una reextracción con la

misma solución de solventes por 30 minutos y se juntaron los sobrenadantes. El extracto se concentró al vacío hasta sequedad en un rotavapor a 45° C y rotación de 180 rpm. Los compuestos fenólicos se resuspendieron con 5 ml de agua ultrapura y se almacenaron a – 20 °C hasta su análisis (98).

#### **2.4.3.2.Extracción de la fracción fenólica ligada a la fibra dietética**

Se pesó 0.5 g de harina de grano y se adicionó 2 ml de la solución de metanol: acetona: agua (45:45:10, v/v/v) acidificado con 0.1% de HCl p.a. y se procedió a realizar la extracción de la misma forma que en el punto 2.4.3.1. Se desecharon los sobrenadantes y se conservó el pellet (fracción insoluble), el cual fue sometido a una hidrólisis con 20 ml de NaOH 3N por 88 min en agitador orbital a 200 rpm a temperatura ambiente. A la solución resultante se le realizó un ajuste del pH con HCl hasta un pH aproximado de 2.5-3. La solución ajustada se sometió a seis extracciones a agitación constante (1 min) con 10 ml de etilacetato y posterior centrifugación a 7000 rpm durante 5 minutos a 14 °C, en cada extracción se retiró y almacenó la fase orgánica (etilacetato) en un matraz de evaporación para rotavapor de 250 ml. La mezcla de fracciones orgánicas fue concentrada por rotaevaporación al vacío a 45 °C hasta sequedad. Las muestras se resuspendieron a 5 ml con agua ultrapura y se almacenaron a – 20 °C hasta su análisis (98).

#### **2.4.3.3. Análisis de compuestos fenólicos totales**

El contenido de compuestos fenólicos se realizó en los extractos de la fracción fenólica libre y ligada con el método de Folin – Ciocalteau. En un tubo de ensayo se colocó 0.5 ml del extracto diluido en agua destilada y se agregó 0.25 ml del reactivo Folin – Ciocalteau 1 N. Luego de 5 minutos de reacción se neutralizó la mezcla con 1.25 ml de solución acuosa de carbonato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 1.2 N y se dejó reaccionar a oscuras durante 25 minutos. Posteriormente se realizó la lectura de la absorbancia en un espectrofotómetro a 755 nm frente a un blanco compuesto por agua destilada en vez de muestra. El contenido de compuestos fenólicos totales se determinó de acuerdo a una curva de calibración con ácido gálico (0.0048 – 0.0384 mg/ml de ácido gálico) y los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g bs (99).

#### 2.4.3.4. Análisis del contenido y perfil de polifenoles por UHPLC-DAD

Los análisis se realizaron en los extractos de las fracciones fenólicas libres y ligadas los cuales fueron filtrados con filtros PVDF de 0.22  $\mu\text{m}$ . La separación de los compuestos fenólicos se realizó con una columna C18 (Kinetex C18 100 Å; 1.7  $\mu\text{m}$ ; 100 x 2.1 mm, Phenomenex), con precolumna (C18 Security Guard ULTRA C18; 1.7  $\mu\text{m}$ ; 5 x 2.1 mm D.I, Phenomenex) interno en fase reversa. La fase móvil estuvo compuesta por agua: ácido fórmico (95:5, v/v, pH  $\approx$  2.27) (D) y acetonitrilo (C). El gradiente de elución aplicado se muestra en la Tabla 4. Un volumen de 20  $\mu\text{L}$  de las muestras filtradas fue inyectado a un sistema UHPLC (ULTIMATE 3000RS, Thermo Scientific, EEUU), con detector de arreglo de diodos bomba cuaternaria, e inyector automático a un flujo de 0.2 ml/min, a una temperatura de columna de 30°C y temperatura de muestra 5°C. Los solventes utilizados fueron de grado HPLC y se sometieron a una previa filtración en filtros de Nylon de 0.45  $\mu\text{m}$ . La detección se realizó en el espectro UV-visible (200-700 nm). La identificación de los compuestos fenólicos se realizó en función a sus tiempos de retención y espectros de absorción en comparación con los estándares de compuestos fenólicos. Para la cuantificación se construyeron curvas de calibración de estándares puros de ácido p-cumárico (0.0007 – 0.0408 mg/ml), ácido trans-ferúlico (0.0007 – 0.0404 mg/ml) y cloruro de cianidina (0.0009 – 0.0608 mg/ml); y los resultados fueron expresados como mg del compuesto fenólico o derivado respectivo/100 g bs de maíz (38).

**Tabla 4.-** Gradiente de solventes para corrida cromatográfica de compuestos fenólicos por UHPLC-DAD

Tiempo (min)	Acetonitrilo (% C)	Agua: ácido fórmico (95:5, v/v) (% D)
0	2	98
2	2	98
3	15	85
9	45	55
10	98	2
13	98	2
14	2	98
17	2	98

## 2.4.4. Análisis del contenido de carotenoides

### 2.4.4.1. Extracción de carotenoides

Se realizó una revisión bibliográfica de las metodologías relacionadas a la extracción y análisis de carotenoides en maíz o matrices similares y se seleccionaron aquellas que presentaron a nivel teórico un mejor rendimiento en la extracción de carotenoides y las más citadas en la literatura científica. Las metodologías propuestas por Fuentealba *et al.* (100) y Egesel *et al.* (101) fueron seleccionadas para ser evaluadas a nivel práctico.

#### a) Extracción de carotenoides según Fuentealba *et al.* (100)

Se pesó 1 g de grano de maíz seco molido de código COM-c y se adicionó 5 ml del solvente acetona:hexano (1:1, v/v) con 200 mg/L de BHT. La mezcla se llevó a agitación en vórtex por 30 segundos y luego a agitación en shaker con baño de hielo durante 30 minutos. Luego se centrifugó a 7500 g por 15 minutos a una temperatura de 4° C y se extrajo el sobrenadante, mientras que al resto de la mezcla se le hizo una segunda extracción repitiendo el proceso. Los sobrenadantes extraídos se juntaron y fueron secados bajo corriente de nitrógeno. El extracto seco se resuspendió en 4 ml de solución metanólica de KOH 10% p/v, se evacuó todo el aire del tubo con nitrógeno y se cerró herméticamente para dejarlo toda la noche en oscuridad a 4 °C. Luego, se adicionó 4 ml de hexano y 4 ml de NaCl (ac) saturado, se homogenizó la muestra por agitación durante 1 minuto hasta la homogenización. Se centrifugó la mezcla a 4000 g por 15 minutos, se retiró la fase orgánica y se hizo una reextracción con 4 ml de hexano a la fase acuosa (se repitieron las reextracciones hasta decolorar por completo la fase acuosa). Se unieron las fases orgánicas extraídas y se secó bajo corriente de nitrógeno. Finalmente se resuspendió el extracto seco en 1 ml de con diclorometano:metanol (65:35, v/v) grado UHPLC y se midió la absorbancia 450 nm.

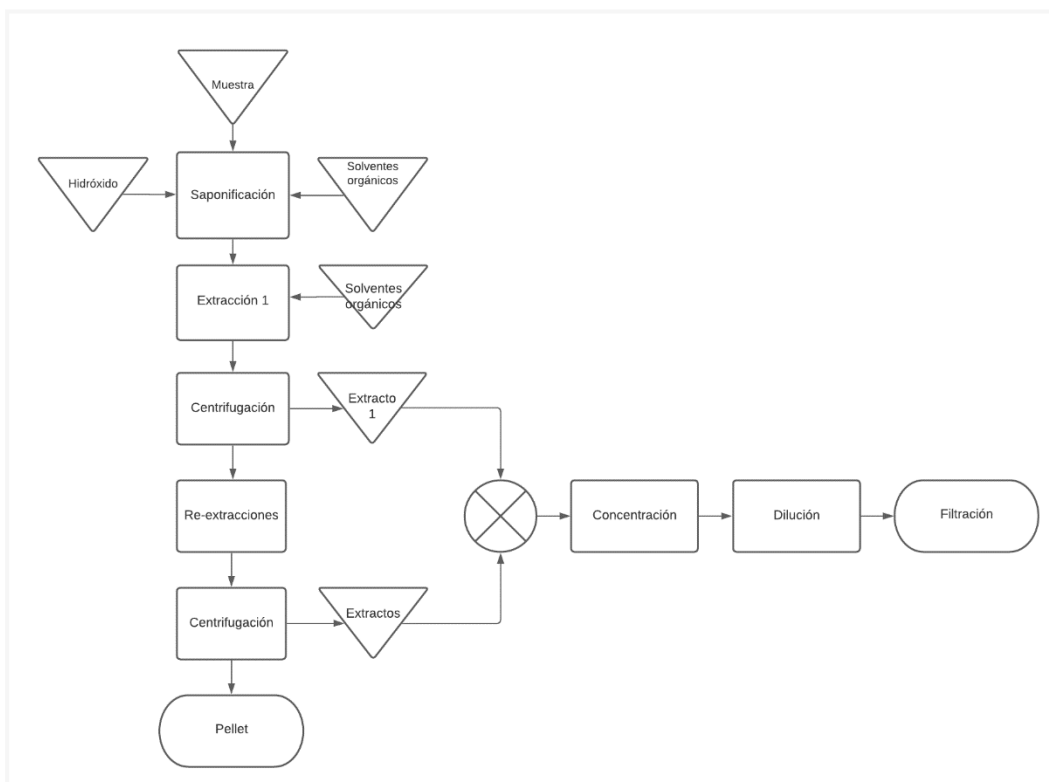
#### b) Extracción de carotenoides según Egesel (101)

Se pesó 1 g de grano de maíz seco molido del código COM-c y se adicionó 6 ml de etanol 0.01% (p/v) de BHT, la mezcla se llevó a baño María a 85° C durante 5 minutos. Posteriormente se agregó 120 µL de KOH 80% (p/v) y se homogenizó en vórtex durante 15 segundos para luego llevarlo a 85° C en baño

María durante 10 minutos al minuto 5 se hizo una homogenización de 10 segundos en vórtex). Luego se transfirió la mezcla a un baño de hielo, donde se adicionó 3 ml de hexano y 3 ml de agua destilada desionizada helada y se homogenizó en vórtex durante 20 segundos. La mezcla se centrifugó a 2700 rpm durante 10 minutos y se almacenó el sobrenadante, se hizo la misma extracción múltiples veces hasta decolorar el pellet a color blanco. La mezcla de sobrenadantes se secó bajo corriente de nitrógeno y posteriormente se resuspendió en 1 ml de diclorometano:metanol (65:35, v/v) grado HPLC y se midió la absorbancia a 450 nm.

c) Metodología final para la extracción de carotenoides

Se seleccionó la metodología de *Egesel et al.* (101), en función a la mayor eficiencia en la extracción de carotenoides medido en el extracto final por espectrofotometría a 450 nm, (Fuentealba et al. dio una absorbancia de 0.082 y la metodología de Egesel et al. dio una absorbancia de 0.745). Se realizaron algunas modificaciones en los solventes de extracción según Rivera y Canela (102), la cantidad de muestra y también se cambió el solvente de resuspensión final. Para la extracción se utilizó 2 a 2.5 g de harina de maíz y se agregó 6 ml de etanol con 0.01% (p/v) de BHT, la mezcla se llevó a baño María a 85 °C por 5 minutos y luego se agregó 120 µL de KOH 80% (p/v), se hizo una homogenización de la mezcla en vórtex por 15 segundos y se regresó la mezcla al baño María durante 10 minutos (al minuto 5 se hace una breve homogenización en vórtex durante 10 segundos). Luego, se transfirió la mezcla a baño de hielo donde se agregó 3 ml de metanol:etil Acetato (6:4, v/v) previamente filtrado, se agitó la mezcla para homogenizar durante 20 segundos y luego se centrifugó a 2800 rpm durante 10 minutos. El extracto se reservó y se hicieron re-extracciones al pellet hasta decolorarlo por completo, se unieron los extractos y se hizo una concentración con rotaevaporación a un volumen aproximado de 4 ml y luego bajo corriente de nitrógeno hasta un volumen aproximado de 3.5 ml. Finalmente, se llevó el extracto a un volumen final de 3.5 a 5 ml con la solución de metanol:etil Acetato (6:4, v/v) filtrado. La figura 21 muestra el diagrama de flujo final de la metodología seleccionada.



**Figura 21.-** Diagrama de flujo de la extracción de carotenos en maíz.

#### 2.4.4.2. Análisis del contenido y perfil de carotenoides por UHPLC-DAD

Los análisis se realizaron en los extractos obtenidos en la extracción de carotenos de maíz. Se utilizó una columna C30 (YMC carotenoid C30, 3  $\mu\text{m}$ ; 150 x 4.6 mm D.I, Waters) y precolumna C30 (C30; 3  $\mu\text{m}$ ; 10 x 4.0 mm D.I., Waters) en fase reversa. La fase móvil estuvo compuesta por acetonitrilo (B), diclorometano (C) y metanol (D), todas las fases móviles fueron grado HPLC y fueron filtradas 0.45  $\mu\text{m}$  (solventes hidrofílicos con filtros de nylon los solventes hidrofóbicos con filtros PTFE 0.45  $\mu\text{m}$ ) y sonicadas por 5 minutos. Se inyectaron 50  $\mu\text{l}$  de muestra filtrada con filtros PVDF de 0.22  $\mu\text{m}$  al sistema UHPLC con detector de diodos (ULTIMATE 3000RS, Thermo Scientific, EEUU), bomba cuaternaria e inyector automático a un flujo de 1.7 ml/min, temperatura de columna 30  $^{\circ}\text{C}$ , temperatura de muestra 10  $^{\circ}\text{C}$  y con un gradiente de elución según tabla 5. La detección se realizó a una longitud de onda de 450 nm y los carotenoides fueron identificados en base a la comparación de sus tiempos de retención y espectros de absorción (200-600 nm) con los estándares y los que se encontraron en publicaciones científicas. La cuantificación se realizó utilizando una curva de calibración con luteína (0 – 0.00007 mg/ml) y zeaxantina (0 – 000095 mg/ml), y los resultados fueron expresados como  $\mu\text{g}$  del carotenoide respectivo/g en bs. Los isómeros de luteína fueron cuantificados como luteína.

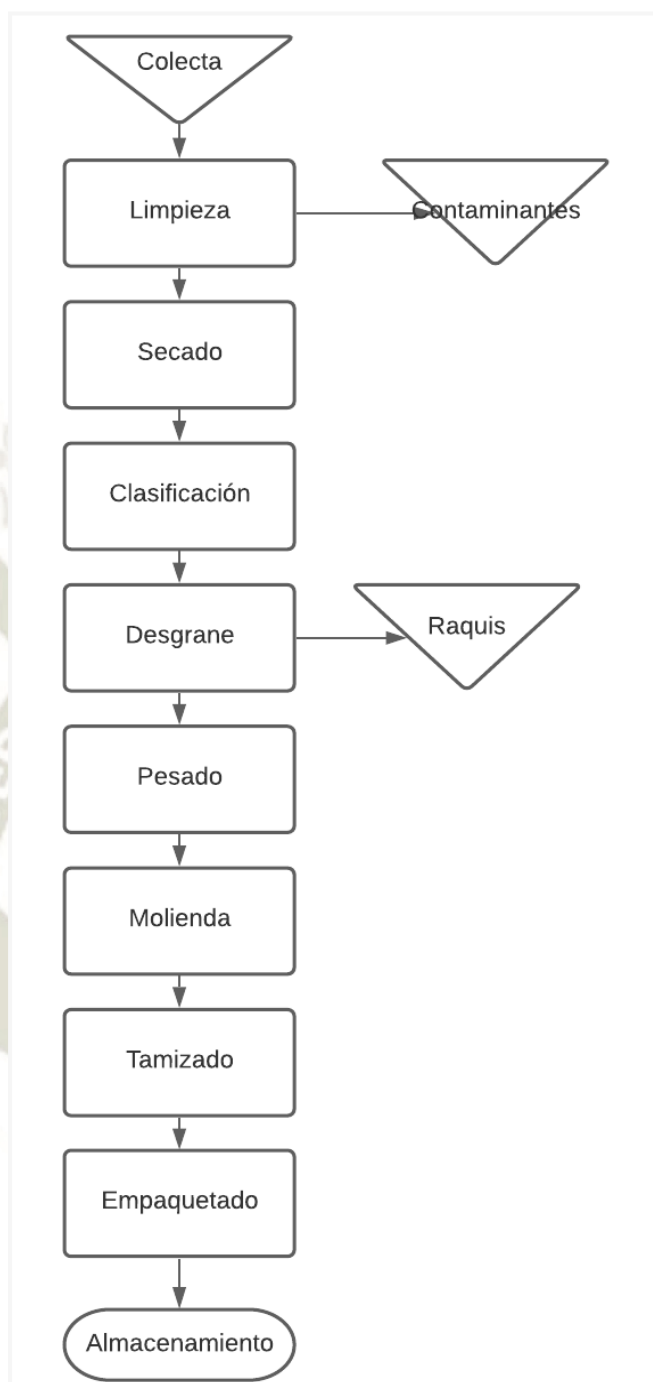


**Tabla 5.-** Gradiente de solventes para corrida cromatográfica por UHPLC-DAD

Tiempo (min)	Acetonitrilo (% B)	Diclorometano (% C)	Metanol (% D)
0	19	5	76
3.176	19	5	76
8.118	17	15	68
11.647	16.6	17	66.4
12.353	14.2	29	56.8
15.882	14	30	56
23.294	13.2	34	52.8
25.059	19	5	76

## 2.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Las mazorcas colectadas se ingresaron al laboratorio donde se les hizo una limpieza de partículas como polvo y tierra, luego se dejaron a temperatura ambiente y cubriéndolas de la luz para continuar con el secado hasta alcanzar un peso constante. Una vez secas se almacenaron a 5 °C con protección de la luz hasta su uso. Las mazorcas y los granos fueron caracterizados según lo presentado en el punto 2.4.2 y posteriormente se desgranaron. Los granos se agruparon según las réplicas biológicas, y se almacenaron en empaques de papel Kraft a 2-5 °C. Aproximadamente 50 g de granos de maíz correspondiente a cada réplica biológica fueron pesados y molidos hasta obtener un polvo fino de 500 µm utilizando el molino de análisis A11 Basic (IKA) y el tamiz de 500 µm. Luego, las harinas se envasaron en bolsas de polipropileno cubiertas de la luz y se almacenaron a una temperatura de -20 °C. Las harinas almacenadas se utilizaron para los análisis químicos respectivos.



**Figura 22.-** Diagrama de flujo de procesamiento de la metodología experimental

## 2.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se siguió para la caracterización de las muestras colectadas, el análisis de compuestos fenólicos y de carotenoides se presenta a continuación en la tabla 6.

**Tabla 6.-** Diseño experimental para la caracterización física, morfológica y de análisis químicos en muestras de maíz Cabanita.

Tratamientos			Variables de respuesta
Códigos	N° de muestras		
Mazorcas recolectadas en la provincia de Caylloma	CAB	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descriptores físicos y morfológicos de mazorca y grano.</li> <li>• Compuestos fenólicos totales en la fracción libre y ligada del grano.</li> <li>• Perfil y contenido de compuestos fenólicos detectados por UHPLC-DAD en la fracción libre y ligada del grano.</li> <li>• Perfil y contenido de carotenoides detectados por UHPLC-DAD en el grano.</li> </ul>
	CAR	3	
	CCR	4	
	CCA	4	
	CHB	3	
	COM	4	
	CLA	4	
Mazorcas recolectadas en la provincia de Castilla	CHA	3	
	CAA	4	
	CAL	4	
	CPB	3	
	CPC	3	
	CSB	3	
	CSR	3	

### 2.7. Análisis estadístico

Los resultados fueron expresados como promedio  $\pm$  desviación estándar. Para el análisis estadístico se utilizó un  $\alpha=0.05$  y se aplicó un análisis de varianza para los datos que cumplieron con los supuestos de normalidad con el test de Shapiro Wilk y de homogeneidad de la varianza con el test de Levene, las diferencias entre los promedios fueron determinadas por el test de Tukey. Los datos que no cumplieron con alguno de los supuestos fueron analizados por el método no paramétrico de Kruskal-Wallis seguido por el Test de Dunn con arreglo de Bonferroni para la comparación entre los promedios. Se utilizó el software R versión 4.0.4 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) para todo el análisis estadístico y la determinación de las correlaciones de Pearson entre todas las variables evaluadas.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. COLECTA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MORFOLÓGICA DEL GERMOPLASMA DE MAÍZ CABANITA COLECTADO

Se colectó germoplasma de maíz Cabanita (mazorcas) de 2 provincias de la región Arequipa y de 5 localidades en cada caso. Las mazorcas se terminaron de secar hasta alcanzar peso constante en el laboratorio a temperatura ambiente. El contenido de humedad final que se encontró en todos los casos fue por debajo del 15%, el cual es adecuado para el caso de granos secos según la Norma Técnica Peruana 205.002:1979 (NTP 205.002:1979). Se determinó el contenido de humedad para expresar los resultados de los ensayos posteriores en base seca (bs.).

Las características físico-morfológicas del grano y mazorca se evaluaron según los descriptores propuestos por el Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM) (52), la Junta Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR) y El Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y del Trigo (CIMMYT) (14). La caracterización físico-morfológica de nuevas accesiones junto a otros estudios como moleculares y citológicos contribuye para completar la clasificación racial de maíz en Perú. Se utilizaron en total 26 descriptores, 15 descriptores para mazorca (11 cuantitativos y 4 cualitativos) y 11 descriptores para grano (4 cuantitativos y 7 cualitativos).

##### 3.1.1. Características Físicas Cuantitativas

Los resultados de la caracterización física cuantitativa en mazorca y grano de ambas provincias se muestran en la tabla 7.

##### 3.1.1.1. Mazorca

En general, la provincia de Castilla presentó una mayor variabilidad en las características físicas de la mazorca que la provincia de Caylloma de acuerdo a los resultados del análisis estadístico. Las muestras de la provincia de Caylloma presentan valores máximos en 8 de los 11 descriptores como son: longitud, diámetro del centro, diámetro de la médula, diámetro del raquis, diámetro del olote, número de hileras, número de granos/hilera y masa. Lo anterior significa que en general, las mazorcas de Caylloma tendrían en varios casos mayores valores en esos parámetros que las muestras de Castilla.

Con respecto al descriptor de longitud, la muestra CAA de Castilla presentó el menor valor ( $8.10 \pm 0.10$  cm) mientras que la muestra CHB de Caylloma ( $12.39 \pm 0.86$  cm) exhibió una mayor longitud.

Los valores del diámetro de la punta, de la base y porcentaje de desgrane en la mazorca no presentaron diferencias significativas entre las mazorcas de ambas provincias sin embargo, la muestra CHA de Caylloma presentó el máximo valor de diámetro del centro ( $6.03 \pm 0.37$ ) mientras que el mínimo lo tuvo la muestra CHA ( $4.94 \pm 0.23$  cm) de la provincia de Castilla.

En relación a las características del olote, la muestra CAB de Caylloma presentó los mayores valores de diámetro de médula, raquis y olote entre todas las muestras evaluadas, por lo que las mazorcas de esta zona tienen olotes más grandes. Por otro lado, los valores mínimos de estos parámetros fueron encontrados en las mazorcas de los puntos geográficos CSB, CSR y CPB de Castilla por lo que se puede decir que estas muestras presentan los olotes más delgados..

El número de hileras, número de granos por hilera y masa son descriptores que representan rendimiento y en los tres casos la provincia de Caylloma presentó los valores máximos mientras que los valores mínimos se encontraron en las muestras de la provincia de Castilla, además se observó una mayor variabilidad en los resultados de esta zona geográfica. Los rangos en el número de hileras variaron entre  $13.84 \pm 1.00$  (CAL) y  $18.88 \pm 2.17$  (CAB), mientras que el número de granos por hilera y la masa variaron entre  $14.96 \pm 0.98$  (CAA) y  $21.18 \pm 0.61$  (CHB), y entre  $69.44 \pm 14.27$  g (CAA) y  $177.76 \pm 15.74$  g (CHB), respectivamente. Se notó que hay una correlación positiva entre los descriptores de número de granos por hilera y la masa en ambas provincias ( $R=0.76$ ,  $p < 0.05$ ) y la muestra CHB (Caylloma) se destacó por presentar los valores más altos de estos parámetros.

Según lo presentado, se pueden describir a las mazorcas de Castilla en general como mazorcas pequeñas en longitud y diámetro con olotes de diámetro pequeño, de menor cantidad de granos y masa. En cambio, las mazorcas de Caylloma se describen como mazorcas de mayor longitud y diámetro, con olotes de diámetros grandes, y mayor número de granos y en consecuencia de mayor masa.

### **3.1.1.2.Grano**

Los parámetros cuantitativos evaluados en los granos presentaron una menor variabilidad en las muestras procedentes de Caylloma que los de la provincia de Castilla.

Los rangos del descriptor de masa en grano de las muestras de la provincia de Castilla variaron entre  $0.29\pm 0.08$  g (CAA) y  $0.63\pm 0.06$  g (CPC) mientras que la masa osciló entre  $0.43\pm 0.03$  y  $0.43\pm 0.05$  (CLA y CAB) a  $0.51\pm 0.04$  (COM) para los granos del maíz cultivado en Caylloma. Estadísticamente, la masa de los granos fue en general similar en la mayoría de las muestras de ambas procedencias, aunque los granos de COM y CHB (Caylloma) y CPB, CPC y CAL (Castilla) se destacaron por presentar los mayores valores de masa.

Con respecto al ancho del grano, Caylloma y Castilla presentaron valores significativamente diferentes, siendo que las muestras CCR ( $7.72\pm 0.84$  cm) en Caylloma y CAA ( $7.44\pm 0.29$  cm) en Castilla mostraron los valores mínimos, mientras que la muestra CPC de Castilla, que también tuvo una mayor masa, presentó el grano más ancho ( $9.99\pm 0.84$  cm) de todas las muestras.

Los descriptores de longitud y grosor del grano no presentaron diferencias significativas por efecto de la procedencia, presentando valores entre  $17.67\pm 2.19$  cm (CSB) y  $14.76\pm 2.38$  cm (CAA) para el caso de longitud, y entre  $6.11\pm 0.19$  cm (CAL) y  $5.03\pm 0.28$  (CAB) cm para el caso de grosor de grano.

Los granos del maíz procedente de la provincia de Castilla presentan una mayor heterogeneidad en los descriptores de masa y ancho de grano incluyendo muestras con los granos más pequeños y livianos (CAA), y también maíz con granos más grandes y pesados (CPC).

**Tabla 7.-** Resultados de las caracterizaciones físicas en granos y mazorcas de maíz Cabanita de las provincias de Caylloma y Castilla.

Descriptores	Caylloma							Castilla						
	CCR	CCA	COM	CAB	CAR	CLA	CHB	CHA	CAA	CSB	CSR	CPB	CPC	CAL
<b>Grano</b>														
Masa	0.44 ± 0.11 <sup>bc</sup>	0.44 ± 0.04 <sup>bc</sup>	0.51 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.43 ± 0.03 <sup>bc</sup>	0.45 ± 0.04 <sup>bc</sup>	0.43 ± 0.05 <sup>bc</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.45 ± 0.06 <sup>bc</sup>	0.29 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.53 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.56 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.59 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.63 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.56 ± 0.08 <sup>ab</sup>
Longitud	16.19 ± 1.11 <sup>a</sup>	15.35 ± 1.05 <sup>a</sup>	17.54 ± 0.47 <sup>a</sup>	16.97 ± 0.63 <sup>a</sup>	15.99 ± 1.01 <sup>a</sup>	16.46 ± 1.01 <sup>a</sup>	16.82 ± 1.17 <sup>a</sup>	15.34 ± 0.59 <sup>a</sup>	14.76 ± 2.38 <sup>a</sup>	17.63 ± 2.19 <sup>a</sup>	16.64 ± 2.48 <sup>a</sup>	16.93 ± 0.70 <sup>a</sup>	16.92 ± 0.12 <sup>a</sup>	15.91 ± 0.61 <sup>a</sup>
Ancho	7.72 ± 0.84 <sup>c</sup>	8.43 ± 0.31 <sup>abc</sup>	8.52 ± 0.35 <sup>abc</sup>	7.99 ± 0.68 <sup>bc</sup>	8.34 ± 0.43 <sup>abc</sup>	8.06 ± 0.61 <sup>bc</sup>	8.13 ± 0.21 <sup>bc</sup>	9.07 ± 0.62 <sup>abc</sup>	7.44 ± 0.29 <sup>c</sup>	9.08 ± 0.57 <sup>abc</sup>	8.91 ± 1.26 <sup>abc</sup>	9.57 ± 0.42 <sup>ab</sup>	9.99 ± 0.84 <sup>a</sup>	9.39 ± 0.57 <sup>ab</sup>
Grosor	5.46 ± 0.09 <sup>a</sup>	5.43 ± 0.35 <sup>a</sup>	5.44 ± 0.33 <sup>a</sup>	5.03 ± 0.28 <sup>a</sup>	5.25 ± 0.20 <sup>a</sup>	5.29 ± 0.28 <sup>a</sup>	5.47 ± 0.13 <sup>a</sup>	6.00 ± 0.51 <sup>a</sup>	5.35 ± 0.34 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.23 <sup>a</sup>	5.62 ± 1.18 <sup>a</sup>	5.98 ± 0.36 <sup>a</sup>	5.74 ± 0.17 <sup>a</sup>	6.11 ± 0.19 <sup>a</sup>
<b>Mazorca</b>														
Longitud	10.92 ± 1.42 <sup>ab</sup>	9.88 ± 1.21 <sup>bc</sup>	10.57 ± 0.59 <sup>ab</sup>	11.00 ± 0.35 <sup>ab</sup>	10.92 ± 0.11 <sup>ab</sup>	10.58 ± 1.17 <sup>ab</sup>	12.39 ± 0.86 <sup>a</sup>	10.34 ± 0.21 <sup>abc</sup>	8.10 ± 0.10 <sup>c</sup>	9.23 ± 0.98 <sup>bc</sup>	9.26 ± 0.87 <sup>bc</sup>	10.69 ± 0.87 <sup>ab</sup>	11.39 ± 0.81 <sup>ab</sup>	10.53 ± 0.39 <sup>ab</sup>
Diámetro de la punta	2.30 ± 0.63 <sup>a</sup>	2.64 ± 0.40 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.30 <sup>a</sup>	2.91 ± 0.60 <sup>a</sup>	2.76 ± 0.32 <sup>a</sup>	2.77 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.23 ± 0.11 <sup>a</sup>	2.21 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.99 ± 0.47 <sup>a</sup>	2.57 ± 0.24 <sup>a</sup>	2.98 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.85 ± 0.45 <sup>a</sup>	3.16 ± 0.81 <sup>a</sup>	2.71 ± 0.13 <sup>a</sup>
Diámetro del centro	5.97 ± 0.28 <sup>a</sup>	5.86 ± 0.18 <sup>a</sup>	5.89 ± 0.32 <sup>a</sup>	6.03 ± 0.37 <sup>a</sup>	5.82 ± 0.29 <sup>ab</sup>	5.85 ± 0.32 <sup>a</sup>	5.93 ± 0.32 <sup>a</sup>	4.94 ± 0.23 <sup>c</sup>	5.14 ± 0.35 <sup>bc</sup>	5.57 ± 0.08 <sup>abc</sup>	5.48 ± 0.27 <sup>abc</sup>	5.50 ± 0.35 <sup>abc</sup>	5.84 ± 0.15 <sup>ab</sup>	5.54 ± 0.14 <sup>abc</sup>
Diámetro de la base	4.38 ± 0.21 <sup>a</sup>	3.89 ± 0.80 <sup>a</sup>	4.52 ± 0.31 <sup>a</sup>	4.23 ± 0.27 <sup>a</sup>	4.26 ± 0.46 <sup>a</sup>	4.41 ± 0.20 <sup>a</sup>	4.54 ± 0.22 <sup>a</sup>	4.12 ± 0.46 <sup>a</sup>	4.10 ± 0.17 <sup>a</sup>	4.57 ± 0.45 <sup>a</sup>	4.18 ± 0.18 <sup>a</sup>	4.42 ± 0.37 <sup>a</sup>	4.17 ± 0.72 <sup>a</sup>	4.35 ± 0.15 <sup>a</sup>
Diámetro de la médula	1.05 ± 0.17 <sup>abc</sup>	0.96 ± 0.27 <sup>abc</sup>	1.08 ± 0.17 <sup>abc</sup>	1.38 ± 0.20 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.29 <sup>abc</sup>	1.04 ± 0.10 <sup>abc</sup>	1.24 ± 0.12 <sup>ab</sup>	0.88 ± 0.10 <sup>abc</sup>	0.99 ± 0.20 <sup>abc</sup>	0.69 ± 0.15 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.13 <sup>c</sup>	0.75 ± 0.23 <sup>bc</sup>	0.86 ± 0.03 <sup>bc</sup>	0.85 ± 0.05 <sup>bc</sup>
Diámetro del raquis	2.03 ± 0.26 <sup>abc</sup>	1.87 ± 0.35 <sup>abc</sup>	1.92 ± 0.15 <sup>abc</sup>	2.38 ± 0.39 <sup>a</sup>	2.23 ± 0.27 <sup>ab</sup>	2.00 ± 0.10 <sup>abc</sup>	2.24 ± 0.16 <sup>ab</sup>	1.76 ± 0.12 <sup>abc</sup>	2.03 ± 0.20 <sup>abc</sup>	1.61 ± 0.36 <sup>bc</sup>	1.73 ± 0.12 <sup>bc</sup>	1.56 ± 0.21 <sup>c</sup>	1.86 ± 0.08 <sup>abc</sup>	1.76 ± 0.15 <sup>bc</sup>
Diámetro del olote	2.88 ± 0.28 <sup>abcd</sup>	2.78 ± 0.39 <sup>abcd</sup>	2.74 ± 0.12 <sup>abcd</sup>	3.31 ± 0.51 <sup>a</sup>	3.17 ± 0.42 <sup>ab</sup>	2.68 ± 0.18 <sup>abcd</sup>	3.09 ± 0.45 <sup>abc</sup>	2.57 ± 0.13 <sup>abcd</sup>	2.95 ± 0.21 <sup>abcd</sup>	2.24 ± 0.34 <sup>d</sup>	2.40 ± 0.07 <sup>bcd</sup>	2.29 ± 0.23 <sup>cd</sup>	2.57 ± 0.18 <sup>abcd</sup>	2.49 ± 0.15 <sup>bcd</sup>
Número de hileras	17.63 ± 1.41 <sup>abc</sup>	18.00 ± 0.61 <sup>ab</sup>	16.96 ± 0.47 <sup>abcde</sup>	18.88 ± 2.17 <sup>a</sup>	17.00 ± 0.88 <sup>abcde</sup>	17.17 ± 0.43 <sup>abcd</sup>	18.58 ± 1.80 <sup>a</sup>	14.00 ± 1.00 <sup>de</sup>	18.17 ± 1.55 <sup>a</sup>	14.50 ± 0.83 <sup>cde</sup>	14.11 ± 1.17 <sup>de</sup>	14.72 ± 1.55 <sup>bcdde</sup>	14.64 ± 1.48 <sup>bcdde</sup>	13.84 ± 1.00 <sup>e</sup>
Número de granos / hilera	19.26 ± 2.52 <sup>abc</sup>	18.92 ± 1.97 <sup>abc</sup>	18.79 ± 1.90 <sup>abc</sup>	20.50 ± 0.50 <sup>ab</sup>	19.56 ± 0.51 <sup>abc</sup>	18.25 ± 1.55 <sup>abcd</sup>	21.18 ± 0.61 <sup>a</sup>	17.13 ± 1.03 <sup>abcd</sup>	14.96 ± 0.98 <sup>d</sup>	17.22 ± 0.84 <sup>abcd</sup>	15.33 ± 1.86 <sup>cd</sup>	17.58 ± 1.42 <sup>abcd</sup>	19.97 ± 1.50 <sup>ab</sup>	16.59 ± 0.68 <sup>bcd</sup>

Porcentaje de desgrane	1.38 ± 0.92 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.44 <sup>a</sup>	1.66 ± 1.57 <sup>a</sup>	2.73 ± 1.05 <sup>a</sup>	1.56 ± 1.84 <sup>a</sup>	3.17 ± 1.00 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.42 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.35 <sup>a</sup>	10.29 ± 7.01 <sup>a</sup>	4.33 ± 3.85 <sup>a</sup>	1.11 ± 1.02 <sup>a</sup>	2.25 ± 1.88 <sup>a</sup>	4.44 ± 2.37 <sup>a</sup>	4.09 ± 2.10 <sup>a</sup>
Masa	159.63 ± 29.35 <sup>a</sup>	136.07 ± 13.37 <sup>ab</sup>	155.15 ± 10.12 <sup>a</sup>	162.73 ± 28.93 <sup>a</sup>	154.44 ± 19.35 <sup>ab</sup>	134.51 ± 21.32 <sup>ab</sup>	177.76 ± 15.74 <sup>a</sup>	97.94 ± 8.99 <sup>bc</sup>	69.44 ± 14.27 <sup>c</sup>	122.13 ± 29.37 <sup>abc</sup>	125.64 ± 23.63 <sup>ab</sup>	139.35 ± 28.71 <sup>ab</sup>	170.09 ± 16.22 <sup>a</sup>	134.92 ± 11.63 <sup>ab</sup>

Los resultados son expresados como el promedio ± DS. Los resultados con la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p>0.05$ ) por la prueba de Tukey o Dunn según corresponda.





### 3.1.2. Características Morfológicas Cualitativas

Los resultados de la caracterización morfológica expresada como porcentaje (%) de las mazorcas procedentes de Caylloma y Castilla se presentan en las tablas 8 y 9, respectivamente. Mientras que la caracterización morfológica de los granos del maíz colectado en Caylloma y Castilla, se muestran en las tablas 10 y 11, respectivamente.

#### 3.1.2.1. Mazorca

De acuerdo a la Tabla 8, ambas provincias presentaron entre el 70 al 100% de mazorcas con forma cilíndrica-cónica (70-100%) mientras que la muestra CPC de Castilla fue la única con mazorcas de forma cilíndrica (70%) en un mayor porcentaje.

En cuanto al color del olote, la mayoría de las muestras de Caylloma y todas las muestras de Castilla presentaron olotes de color principalmente blanco. Sin embargo, Caylloma tuvo muestras con olotes de color morado y marrón/café (CCR y CAR) mientras la muestra COM tuvo olotes de color rojo y café rojizo (82%). Esto indicaría una potencial presencia de pigmentos fenólicos en los olotes de esas muestras y que aún no se ha investigado.

El descriptor de disposición de hileras presenta mayor variabilidad en las muestras de ambas provincias, sin embargo, la disposición de hileras “Regular” es más frecuente en las mazorcas de la provincia de Caylloma (41-53%) mientras que la disposición “Irregular” (50-89 %) predomina en las muestras de la provincia de Castilla. En cuanto al % de daño de las mazorcas, fue poco o ninguno en las muestras de ambas provincias.

En función a lo presentado, la mayoría de las mazorcas de Caylloma presentaron una disposición de hileras regular, forma cilíndrica-cónica, ningún daño y con un 57% aproximadamente de las muestras con olotes de pigmentación morada/rojiza. En la provincia de Castilla, las mazorcas fueron generalmente de distribución irregular, de forma cilíndrica-cónica, presentaron poco daño y color del olote blanco.

**Tabla 8.-** Caracterización morfológica de mazorcas de maíz Cabanita colectadas en la provincia de Caylloma

Parámetros físicos cualitativos	Caylloma						
	CCR	CCA	CAB	CAR	CLA	COM	CHB
<b>Disposición de hileras(%)</b>							
Regular	53	45	27	33	50	53	41
Irregular	27	35	47	56	50	29	18
Espiral	13	20	0	0	0	0	41
Recta	7	0	27	11	0	18	0
<b>Forma (%)</b>							
Cilíndrica	7	10	20	11	0	24	0
Cilíndrica - cónica	80	75	80	89	100	70	100
Cónico redondo	13	0	0	0	0	6	0
Otros	0	15	0	0	0	0	0
<b>Daño (%)</b>							
Ninguno	87	85	67	56	33	65	59
Poco	13	15	33	44	67	35	35
Grave	0	0	0	0	0	0	6
<b>Color del olote (%)</b>							
Blanco	7	90	73	0	100	6	41
Rojo	0	0	0	0	0	35	0
Café rojizo	0	5	27	11	0	47	29
Café	20	0	0	0	0	0	12
Morado	53	0	0	45	0	0	0
Jaspeado	7	0	0	22	0	6	12
Marrón oscuro	0	0	0	22	0	6	0
Otros	13	5	0	0	0	12	6

**Tabla 9.-** Caracterización morfológica de mazorcas de maíz Cabanita colectadas en la provincia de Castilla

Parámetros físicos cualitativos	Castilla						
	CSB	CSR	CPB	CPC	CHA	CAA	CAL
<b>Distribución de hileras (%)</b>							
Regular	30	11	60	40	50	27	33
Irregular	60	89	40	30	50	73	33
Espiral	10	0	0	20	0	0	17
Recta	0	0	0	10	0	0	17
<b>Forma (%)</b>							
Cilíndrica	0	0	30	70	0	0	8
Cilíndrica - cónica	90	100	70	30	100	73	92
Cónico redondo	0	0	0	0	0	27	0
Otros	10	0	0	0	0	0	0
<b>Daño (%)</b>							
Ninguno	50	56	40	20	82	0	33
Poco	50	44	60	50	18	64	59
Grave	0	0	0	30	0	36	8
<b>Color del olote (%)</b>							
Blanco	90	45	100	100	90	64	50
Palo rosa	0	11	0	0	0	0	17
Naranja Claro	10	11	0	0	0	9	0
Café claro	0	11	0	0	0	0	0
Café naranja	0	0	0	0	0	18	0
Café claro a rojizo	0	11	0	0	10	9	0
Otros	0	11	0	0	0	0	33

### 3.1.2.2.Grano

Las características morfológicas cualitativas de grano fueron en general similares en ambas provincias (Caylloma y Castilla) presentado una superficie “dentada”, con un grano “más largo que ancho”, del tipo “harinoso”, el color predominante de los granos fue “blanco”, con color del pericarpio “inoloro”, aleurona “amarilla” y color del endospermo “blanco”. Sin embargo, las muestras de Caylloma presentaron una mayor variabilidad en la forma de la superficie y color del grano mientras que las de Castilla presentaron mayor variabilidad en la forma de la superficie, color del grano y color del pericarpio.

En la forma de la superficie, la mayoría de muestras de ambas provincias tienen granos dentados (27-84%), sin embargo el maíz de Caylloma también presentó un buen porcentaje de granos puntiagudos (34-46%). Respecto a la forma del grano, el maíz de ambas provincias tuvo una mayor proporción de granos con forma más largo que ancho

(44-83%), sin embargo, en las muestras de la provincia de Caylloma también se observaron granos con forma cuneiforme (16-32%) y dentado (6-26%) mientras que el maíz de la provincia de Castilla presentó en menores proporciones granos con forma aristado grande (0-18%), aristado pequeño (0-33%), cuneiforme (0-15%), y dentado (0-21%).

El tipo de grano en ambas provincias es harinoso (47-83%), aunque Caylloma también presenta menores cantidades de granos semi-harinosos (0-18%), dentados (6-39%), semi-dentados (0-26%) y Castilla presenta menores porcentajes de granos dentados (0-17%), semi-dentado (10-25%) y semi-cristalino (0-24%).

El descriptor de color del grano fue más variable en las muestras de la provincia de Caylloma que en las de Castilla, pero en su mayoría ambas provincias presentaron granos de color blanco. Adicionalmente, en Caylloma se observaron muestras con granos de color amarillo (0-57%), púrpura (0-28%), anaranjado (0-30%), capa blanca (0-37%) y otros colores (0-17). El maíz de la provincia de Castilla también presentó granos de color amarillo (0-45%), púrpuras (0-43%), variegado (0-33%), anaranjado (0-15%) y rojo capa blanca (0-39%).

En el descriptor de color del pericarpio, en el caso del maíz de Castilla, las muestras CSB, CPB, CPC Y CHA mostraron granos con pericarpio principalmente incoloro mientras que CSR, CAA y CAL presentaron pericarpio con pigmentación lila morado, incoloro-amarillo-anaranjado y lila morado, respectivamente. Las muestras de grano en Caylloma CCA, CAB y CLA tuvieron un pericarpio incoloro, pero los granos en CCR y CAR presentaron un pericarpio rojo-morado capa blanca, mientras que COM tuvo granos con pericarpio amarillo-anaranjado.

El color de la aleurona en la mayoría de muestras fue amarillo, aunque las muestras CAR (Caylloma) y CPC (Castilla) se diferenciaron por presentar aleurona mayormente de color crema y púrpura moteado, respectivamente. El color del endospermo fue principalmente blanco (71-100%) en todas las muestras de ambas provincias, aunque las muestras COM de Caylloma y CHA en Castilla presentaron también una menor proporción de granos con endospermo color crema (29% y 10%, respectivamente)

Esta diversidad de pigmentación de los granos, en especial en el pericarpio, la aleurona y en algunos casos en el endospermo, indicaría posibles diferencias en los pigmentos fenólicos y carotenoides como será presentado en los siguientes ítems de la presente investigación.

**Tabla 10.-** Caracterización morfológica de granos de maíz Cabanita colectados en la provincia de Caylloma

Parámetros físicos cualitativos	Código						
	CCR	CCA	CAB	CAR	CLA	COM	CHB
<b>Forma de la superficie (%)</b>							
Dentado	23	20	27	22	84	24	46
Redondo	27	30	27	22	0	6	24
Puntiagudo	10	37	20	34	8	46	12
Contraído	7	3	20	0	8	12	6
Plano	20	10	6	22	0	6	6
Muy puntiagudo	13	0	0	0	0	6	6
<b>Forma del grano (%)</b>							
Más largo que ancho	60	54	47	69	44	51	48
Cuneiforme	23	22	17	19	32	27	16
Dentado	10	12	26	6	11	12	23
Otros	6	12	10	6	13	10	13
<b>Tipo de grano (%)</b>							
Harinoso	73	75	63	56	67	47	68
Semi-harinoso (morocho)	0	0	0	0	0	18	0
Dentado	7	15	37	39	8	12	6
Semi-dentado	20	10	0	5	21	23	26
Otros	0	0	0	0	4	0	0
<b>Color del grano (%)</b>							
Blanco	33	90	90	22	100	3	50
Amarillo	0	10	10	0	0	57	43
Morado	23	0	0	28	0	0	0
Naranjado	7	0	0	0	0	30	2
Rojo capa blanca	37	0	0	33	0	0	0
Otros	0	0	0	17	0	10	5
<b>Color del pericarpio (%)</b>							
Incoloro	13	90	93	6	100	0	53
Amarillo	0	10	0	0	0	53	47
Naranjado	0	0	0	6	0	47	0
Rojo morado capa blanca	60	0	7	88	0	0	0
Otros	27	0	0	0	0	0	0
<b>Color de la aleurona(%)</b>							
Incoloro	0	10	0	33	75	0	0
Amarillo	87	90	60	0	25	100	94
Crema	0	0	40	56	0	0	6
Lila	0	0	0	11	0	0	0
Morado	13	0	0	0	0	0	0
<b>Color del endospermo(%)</b>							
Blanco	100	100	100	100	100	71	100
Crema	0	0	0	0	0	29	0

**Tabla 11.-** Caracterización morfológica de granos de maíz Cabanita colectadas en la provincia de Castilla

Parámetros físicos cualitativos	Código						
	CSB	CSR	CPB	CPC	CHA	CAA	CAL
<b>Forma de la superficie (%)</b>							
Dentado	60	11	50	30	40	18	67
Redondo	20	11	40	50	20	18	8
Puntiagudo	10	45	0	0	0	9	0
Contraído	0	11	0	0	0	28	0
Plano	10	22	0	20	20	18	25
Muy puntiagudo	0	0	10	0	20	9	0
<b>Forma del grano (%)</b>							
Aristado grande	0	4	18	13	8	0	0
Aristado pequeño	5	33	5	0	0	18	0
Más largo que ancho	65	43	58	83	55	59	71
Cuneiforme	10	15	15	0	15	9	8
Dentado	20	0	4	4	8	9	21
Otros	0	5	0	0	14	5	0
<b>Tipo de grano (%)</b>							
Harinoso	75	83	80	75	70	51	58
Dentado	5	6	5	0	0	10	17
Semi-dentado	20	11	15	25	15	10	25
Semi-cristalino	0	0	0	0	10	24	0
Otros	0	0	0	0	5	5	0
<b>Color del grano (%)</b>							
Blanco	100	30	100	34	80	45	15
Amarillo	0	5	0	0	10	45	3
Morado	0	26	0	33	0	0	43
Variegado	0	5	0	33	0	0	0
Naranjado	0	15	0	0	10	10	0
Rojo capa blanca	0	15	0	0	0	0	39
Otros	0	4	0	0	0	0	0
<b>Color del pericarpio (%)</b>							
Incoloro	100	11	100	80	70	36	17
Amarillo	0	0	0	0	10	36	8
Naranjado	0	11	0	0	20	27	0
Rojo capablanca	0	11	0	0	0	0	0
Marron Variegado	0	11	0	0	0	0	0
Marron mosaico	0	11	0	0	0	0	0
Lila morado	0	45	0	0	0	0	50
Otros	0	0	0	20	0	1	25
<b>Aleurone colour (%)</b>							
Incoloro	70	17	0	0	20	0	75
Amarillo	30	78	100	0	70	100	0
Purpura moteado	0	0	0	100	0	0	17
Otros	0	5	0	0	10	0	8
<b>Color del endospermo (%)</b>							
Blanco	100	100	100	100	90	100	100
Crema	0	0	0	0	10	0	0

Se han reportado únicamente mazorcas de maíz Cabanita de pigmentación blanca y amarilla. En la segunda aproximación (7) hecha por el MINAM donde sugieren al maíz Cabanita como una raza y presentan fotos de la recolección, únicamente se observan mazorcas blancas. Huaman (38), en su trabajo de tesis, realizó una colección de maíz Cabanita en las zonas de Castilla (Huasisac-Machahuay, Andahua) y Caylloma (Cabanaconde) y también trabajó con muestras de maíz Cabanita donadas por el Programa de Investigación y Proyección Social en Maíz; sin embargo, todas las muestras presentaron pigmentación amarilla. Por la recolección realizada en el presente trabajo y en la misma zona de origen del maíz Cabanita, aparentemente esta raza no solamente podría estar conformada por granos de estas pigmentaciones anteriormente reportadas, sino también por otras pigmentaciones como amarillo-anaranjado (COM), rojo (CSR, CCR, CAR) y combinado (CPC) como se describe en la caracterización morfológica de grano en este trabajo. Sin embargo, esto se tendría que verificar con otros estudios complementarios a nivel molecular y citogenético para determinar si realmente todas las muestras evaluadas en este trabajo pertenecen a la raza Cabanita.

Se ha notado que la provincia de Castilla presenta mayor variabilidad en la caracterización cuantitativa de granos y mazorca, y en la caracterización cualitativa de granos donde el color del grano, del pericarpio y de la aleurona presentan mayor variabilidad de colores además de otras características como forma del grano. Esto podría explicarse a la incorporación de otros tipos de maíz, como fue mencionado por los agricultores de Castilla en las entrevistas realizadas.

Las mazorcas de la provincia de Caylloma presentaron los valores más altos y menos variables de masa de mazorca y número de granos por hilera, en especial el código CHB que presentó los valores máximos de masa y número de grano por hileras. Sin embargo, en la provincia de Castilla, el código CPC tiene valores sobresalientes y son las segundas mazorcas más pesadas y con mayor número de granos por hilera, pero esta provincia muestra una alta variabilidad en sus valores y también aquí se encuentran las mazorcas con los valores mínimos (CAA). Lo que significaría que los mayores rendimientos a nivel agronómico se encuentran en el maíz Cabanita de la provincia de Caylloma.

### 3.2. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS

#### 3.2.1. Contenido de compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos en las fracciones fenólicas libre y ligada y total (libre+ligada) se presentan en la tabla 12.




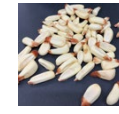









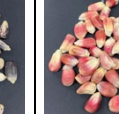
En general, se observó una baja variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos en sus dos fracciones (libre y ligada) y totales. Las muestras de la provincia de Castilla presentaron las mayores concentraciones de compuestos fenólicos en las dos fracciones en comparación con las muestras de Caylloma.

Considerando ambas provincias, el contenido de compuestos fenólicos en la fracción libre varió entre  $37.19 \pm 2.83$  mg EAG/100 g bs (CAB) y  $63.38 \pm 5.28$  mg EAG/100 g bs (CAA), y en la fracción ligada entre  $154.24 \pm 51.92$  mg EAG/100 g bs (COM) y  $251.78 \pm 32.87$  mg EAG/100 g bs (CPB). La fracción ligada fue la fracción mayoritaria y representa un 78.10% a 86.48% respecto a la concentración de compuestos fenólicos totales (libre+ligada), siendo aproximadamente 4 veces mayor a la fracción fenólica libre. Según Adom y Liu (67), los compuestos fenólicos en el maíz pueden encontrarse en un 98.9% en forma ligada/insoluble y el resto en forma libre.

La muestra COM (mazorcas con grano color amarillo-anaranjado) de la provincia de Caylloma presentó la menor concentración de compuestos fenólicos totales (libre + ligada) ( $201.52 \pm 51.30$  mg EAG/100 g bs) mientras que la muestra CPB de Castilla con granos de color blanco ( $291.13 \pm 32.65$ ) se destacó por presentar el mayor contenido de fenólicos totales de todas las muestras evaluadas. De acuerdo a algunas investigaciones en maíz amarillo, se han reportado concentraciones de fenólicos totales entre 90.03-184.3 mg EAG/100 g bs (Trehan et al. (103)) y 81.6–94.8 mg EAG/100 g bs (Yilmaz (104)). Asimismo, Ranilla et al. (105) reportó rangos de 133.14 a 170.39 mg EAG/100 g bs en maíz blanco, amarillo y rojo procedente de región la Arequipa donde se incluyeron algunas muestras de maíz Cabanita. Fuentealba (106) reportó 203.9 mg EAG/100 g bs en maíz amarillo/anaranjado cristalino Chileno y Fabila-Garca (107) analizó maíz mexicano de coloración blanca (146.29 mg EAG/100 g bs), amarillo (215.01 mg EAG/100 g bs) y rojo (380.76 mg EAG/100 g bs). Estos valores reportados son comparables y en varios casos menores a los encontrados en las muestras de maíz Cabanita de pigmentación similar analizadas en este trabajo.



**Tabla 12.-** Concentración (mg EAG/100 g bs) de los compuestos fenólicos en las fracciones fenólicas libre, ligada y total en muestras de maíz Cabanita\* procedentes de las provincias de Caylloma y Castilla

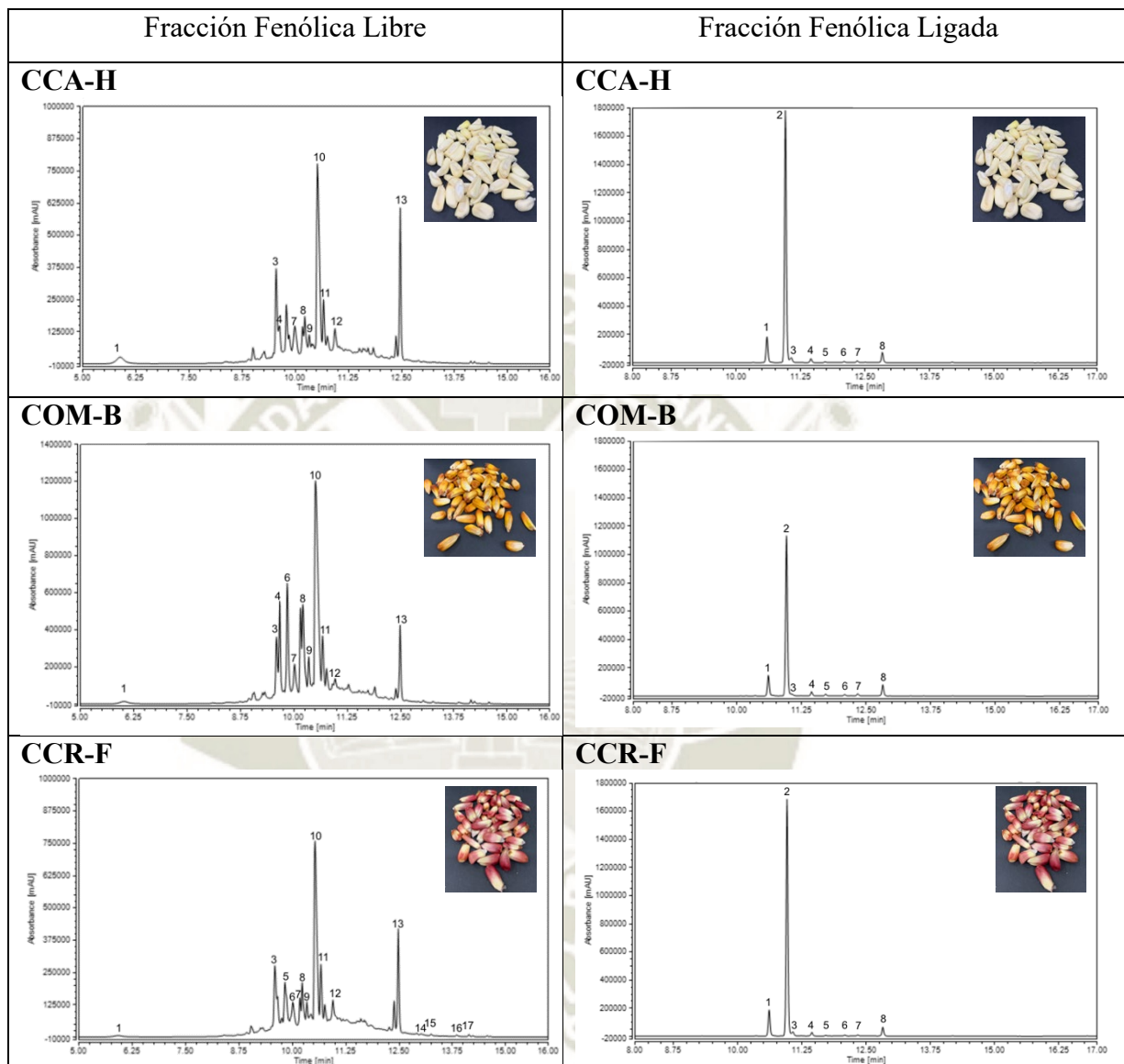
Fracción	Caylloma						
	CCR 	CCA 	COM 	CAB 	CAR 	CLA 	CHB 
Libre	44.44 ± 10.31 <sup>a</sup>	40.69 ± 3.98 <sup>a</sup>	47.28 ± 1.20 <sup>a</sup>	37.19 ± 2.83 <sup>a</sup>	42.77 ± 2.67 <sup>a</sup>	40.56 ± 1.01 <sup>a</sup>	42.80 ± 3.75 <sup>a</sup>
Ligada	193.08 ± 31.35 <sup>a</sup>	213.77 ± 27.40 <sup>a</sup>	154.24 ± 51.92 <sup>a</sup>	222.62 ± 14.15 <sup>a</sup>	180.15 ± 59.74 <sup>a</sup>	192.53 ± 53.36 <sup>a</sup>	204.65 ± 26.98 <sup>a</sup>
Total	237.52 ± 35.03 <sup>a</sup>	254.45 ± 30.12 <sup>a</sup>	201.52 ± 51.30 <sup>a</sup>	259.81 ± 16.80 <sup>a</sup>	222.92 ± 57.36 <sup>a</sup>	233.09 ± 54.31 <sup>a</sup>	247.45 ± 23.40 <sup>a</sup>
Fracción	Castilla						
	CHA 	CAA 	CSB 	CSR 	CPB 	CPC 	CAL 
Libre	50.81 ± 6.61 <sup>a</sup>	63.38 ± 5.28 <sup>a</sup>	49.40 ± 4.72 <sup>a</sup>	48.91 ± 0.68 <sup>a</sup>	39.35 ± 0.96 <sup>a</sup>	56.24 ± 4.68 <sup>a</sup>	47.28 ± 2.75 <sup>a</sup>
Ligada	234.44 ± 33.33 <sup>a</sup>	226.85 ± 50.01 <sup>a</sup>	221.24 ± 6.97 <sup>a</sup>	230.72 ± 48.68 <sup>a</sup>	251.78 ± 32.87 <sup>a</sup>	215.79 ± 11.23 <sup>a</sup>	232.51 ± 26.86 <sup>a</sup>
Total	285.26 ± 33.89 <sup>a</sup>	290.43 ± 48.04 <sup>a</sup>	270.65 ± 6.94 <sup>a</sup>	279.63 ± 49.22 <sup>a</sup>	291.13 ± 32.65 <sup>a</sup>	272.03 ± 13.84 <sup>a</sup>	279.80 ± 28.74 <sup>a</sup>

\* Los resultados son expresados como el promedio ± DS. Los resultados con la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) por la prueba de Tukey o Dunn según corresponda.

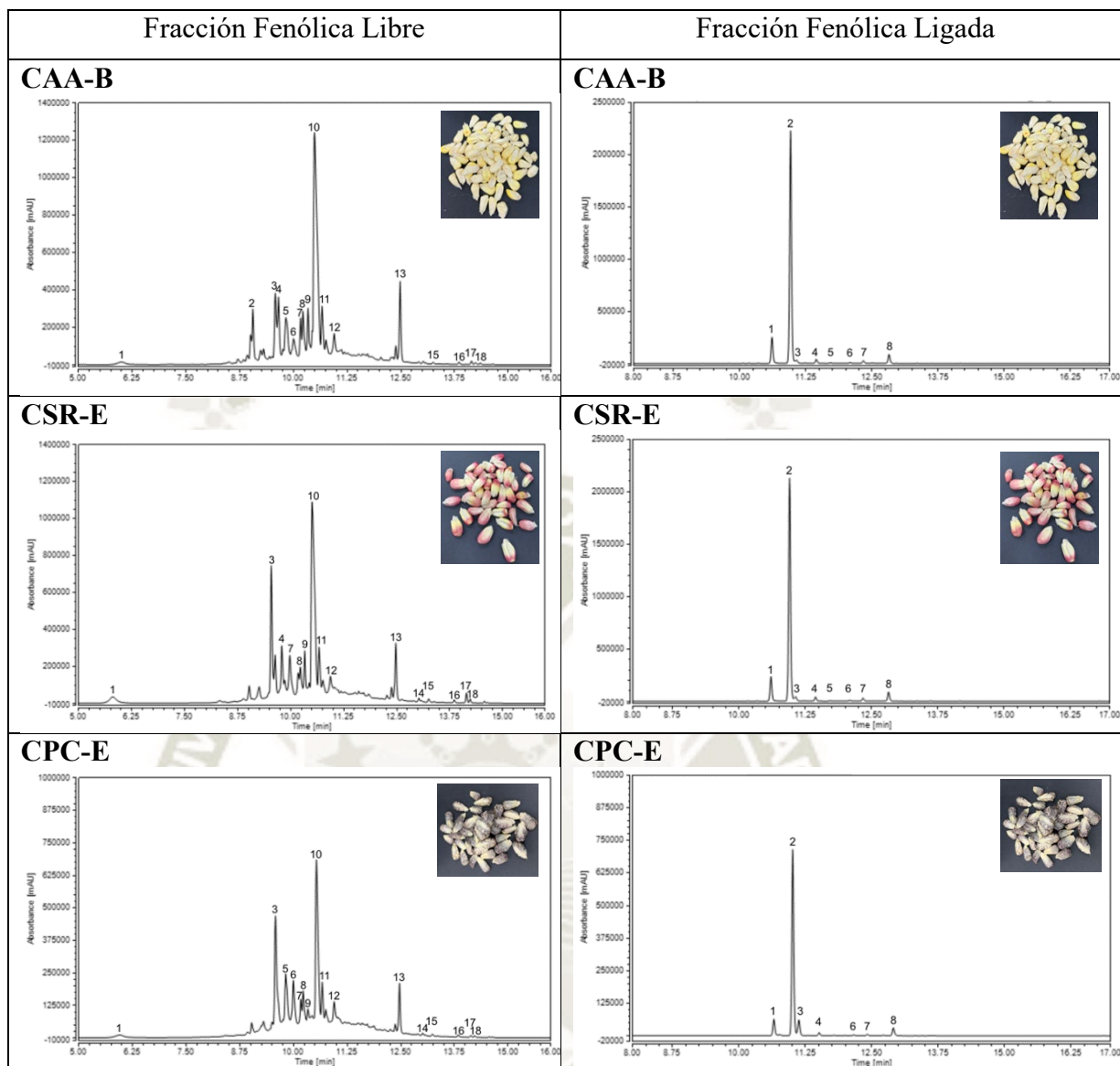
### 3.2.2. Análisis del contenido y perfil de polifenoles por UHPLC-DAD

En las figuras 23 y 24 se muestran los perfiles cromatográficos obtenidos por UHPLC-DAD de las dos fracciones fenólicas evaluadas (libre y ligada) del maíz Cabanita de Caylloma y Castilla, respectivamente. En la fracción libre de ambas provincias se detectaron principalmente ácidos fenólicos del tipo hidroxicinámico como el ácido p-cumárico, derivados de ácido p-cumárico, ácido ferúlico, y derivados de ácido ferúlico, mientras que en las muestras con alguna pigmentación roja o combinada en el pericarpio, se detectaron flavonoides como antocianinas. En el caso de las fracciones fenólicas ligadas, sólo se detectaron ácidos hidroxicinámicos como el ácido p-cumárico, ácido ferúlico y derivados de ácido ferúlico. La identificación se realizó según los tiempos de retención (Tr) y espectros de absorción de los compuestos detectados en comparación con estándares de fenólicos. Los compuestos identificados como “derivados” se identificaron según su similitud con el espectro de absorción del ácido fenólico respectivo. En la tabla 13 se muestra 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 23 y 24.



**Figura 23.** Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos de 3 pigmentaciones de maíz Cabanita de la provincia de Caylloma: CCA-H (blancas), COM-B (Amarillas-anaranjadas), CCR-F (rojas).



**Figura 24.** Perfil cromatográfico a 320 nm de compuestos fenólicos de 3 tonalidades de maíz Cabanita de la provincia de Castilla: CAA-B (Cremas), CSR-E (Rojas), CPC-E (púrpura).

**Tabla 13.-** Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los compuestos detectados en las fracciones libre y ligadas en las 3 muestras de maíz Cabanita de la provincia de Caylloma y Castilla presentadas en las Figuras 23 y 24.

<b>Fracción Fenólica Libre</b>			
<b>Nº Pico</b>	<b>Tiempo de retención (min)</b>	<b>Compuesto</b>	<b><math>\lambda</math> (nm)</b>
1	5.802-6.017	Derivado de Ácido <i>p</i> -cumárico	210, 230, 312
2	9.055	Derivado de Ácido ferúlico	291, 315
3	9.540-9.590	Derivado de Ácido <i>p</i> -cumárico	314
4	9.652-9.787	Derivado de Ácido ferúlico	327
5	9.817-9.825	Derivado de Ácido ferúlico	327
6	9.842-9.863	Derivado de Ácido ferúlico	294, 320
7	10.152-10.173	Derivado de Ácido <i>p</i> -cumárico	294, 310
8	10.208-10.227	Derivado de Ácido <i>p</i> -cumárico	295
9	10.325-10.347	Ácido <i>p</i> -cumárico	311
10	10.518-10.540	Derivado de Ácido <i>p</i> -cumárico	211, 223, 296
11	10.567-10.670	Derivado de Ácido <i>p</i> -cumárico	295
12	10.930-10.963	Ácido ferúlico	298, 320
13	12.467-12.487	Derivado de Ácido ferúlico	394, 317
14	13.008-13.020	Derivado de Ácido ferúlico	327
15	13.235-13.250	Derivado de Ácido ferúlico	236, 327
16	13.842-13.855	Derivado de Ácido ferúlico	218, 239, 327
17	14.132-14.143	Derivado de Ácido ferúlico	239, 320
18	14.222-14.347	Derivado de Ácido ferúlico	240, 325
<b>Fracción Fenólica Ligada</b>			
<b>Nº Pico</b>	<b>Tiempo de retención (min)</b>	<b>Compuesto</b>	<b><math>\lambda</math> (nm)</b>
1	10.587-10.628	Ácido <i>p</i> -cumárico	209, 226, 309
2	10.957-11.012	Ácido ferúlico	218, 236, 323
3	11.098-11.052	Derivado de Ácido ferúlico	215, (245), 319
4	11.423-11.480	Derivado de Ácido ferúlico	221, 237, 323
5	11.693-11.720	Derivado de Ácido ferúlico	201, 226, 321
6	12.060-12.130	Derivado de Ácido ferúlico	237, 327
7	12.310-12.387	Derivado de Ácido ferúlico	217, 245, 324
8	12.795-12.872	Derivado de Ácido ferúlico	201, 324

En la tabla 14 se presentan las concentraciones de cada compuesto detectado, los ácidos fenólicos totales (ácido *p*-cumárico + derivados de ácido *p*-cumárico + ácido ferúlico + derivados de ácido ferúlico) y los compuestos fenólicos totales (ácido *p*-cumárico + derivados de ácido *p*-cumárico + ácido ferúlico + derivados de ácido ferúlico + antocianinas) de todas las muestras evaluadas.

**Tabla 14.-** Contenido (mg/100 g bs) y perfil de compuestos fenólicos determinados por UHPLC-DAD\*.

Compuesto	Caylloma							Castilla						
	CCR	CCA	COM	CAB	CAR	CLA	CHB	CHA	CAA	CSB	CSR	CPB	CPC	CAL
<b>Antocianinas**</b>														
Total	2.81 ± 1.57 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	2.85 ± 1.72 <sup>a</sup>	ND	0.24 ± 0.20 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.07 <sup>a</sup>	ND	ND	0.94 ± 0.86 <sup>a</sup>	ND	5.33 ± 0.40 <sup>a</sup>	0.93 ± 0.46 <sup>a</sup>
<b>Ácido p-cumárico</b>														
Libre	0.32 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.32 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.47 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.26 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.36 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.47 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.34 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.86 ± 0.37 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.13 <sup>ab</sup>	0.28 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.28 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.34 ± 0.03 <sup>ab</sup>
Ligada	11.48 ± 3.03 <sup>a</sup>	11.72 ± 2.44 <sup>a</sup>	10.46 ± 4.44 <sup>a</sup>	11.53 ± 1.24 <sup>a</sup>	11.90 ± 5.21 <sup>a</sup>	10.57 ± 3.97 <sup>a</sup>	13.44 ± 3.64 <sup>a</sup>	13.98 ± 3.64 <sup>a</sup>	19.28 ± 4.54 <sup>a</sup>	10.73 ± 1.58 <sup>a</sup>	15.77 ± 3.62 <sup>a</sup>	11.25 ± 3.26 <sup>a</sup>	10.98 ± 1.74 <sup>a</sup>	13.83 ± 1.79 <sup>a</sup>
Total	11.80 ± 3.03 <sup>ab</sup>	12.04 ± 2.38 <sup>ab</sup>	10.93 ± 4.48 <sup>b</sup>	11.79 ± 1.24 <sup>ab</sup>	12.14 ± 5.23 <sup>ab</sup>	10.93 ± 4.02 <sup>b</sup>	13.91 ± 3.59 <sup>ab</sup>	14.32 ± 3.58 <sup>ab</sup>	20.24 ± 4.75 <sup>a</sup>	11.53 ± 1.53 <sup>ab</sup>	16.35 ± 3.62 <sup>ab</sup>	11.53 ± 3.26 <sup>ab</sup>	11.26 ± 1.74 <sup>ab</sup>	14.16 ± 1.79 <sup>ab</sup>
<b>Derivados del ácido p-cumárico***</b>														
Libre	4.44 ± 0.67 <sup>ab</sup>	4.94 ± 1.35 <sup>ab</sup>	6.33 ± 0.65 <sup>ab</sup>	3.53 ± 0.20 <sup>b</sup>	3.70 ± 0.10 <sup>ab</sup>	4.76 ± 0.42 <sup>ab</sup>	6.04 ± 0.60 <sup>ab</sup>	4.43 ± 0.32 <sup>ab</sup>	8.20 ± 2.36 <sup>a</sup>	7.50 ± 1.00 <sup>ab</sup>	7.39 ± 0.60 <sup>ab</sup>	4.02 ± 0.49 <sup>ab</sup>	4.24 ± 0.97 <sup>ab</sup>	3.70 ± 0.10 <sup>ab</sup>
<b>Ácido ferúlico</b>														
Libre	0.72 ± 0.17 <sup>a</sup>	0.56 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.55 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.65 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.49 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.65 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.81 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.81 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.71 ± 0.09 <sup>a</sup>
Ligada	152.62 ± 27.38 <sup>ab</sup>	161.75 ± 46.20 <sup>ab</sup>	97.96 ± 36.60 <sup>b</sup>	170.72 ± 25.79 <sup>ab</sup>	139.44 ± 42.37 <sup>ab</sup>	151.44 ± 38.85 <sup>ab</sup>	161.07 ± 28.69 <sup>ab</sup>	177.01 ± 42.53 <sup>ab</sup>	189.03 ± 38.13 <sup>a</sup>	191.98 ± 9.85 <sup>a</sup>	188.55 ± 39.47 <sup>ab</sup>	195.11 ± 25.20 <sup>a</sup>	163.87 ± 5.87 <sup>ab</sup>	192.37 ± 31.52 <sup>a</sup>
Total	153.33 ± 27.41 <sup>ab</sup>	162.30 ± 46.20 <sup>ab</sup>	98.58 ± 36.53 <sup>b</sup>	171.26 ± 25.75 <sup>ab</sup>	140.10 ± 42.43 <sup>ab</sup>	151.93 ± 38.90 <sup>ab</sup>	161.68 ± 28.68 <sup>ab</sup>	177.66 ± 42.55 <sup>ab</sup>	189.69 ± 38.16 <sup>a</sup>	192.80 ± 9.91 <sup>a</sup>	188.35 ± 39.42 <sup>ab</sup>	195.71 ± 25.22 <sup>a</sup>	164.50 ± 5.87 <sup>ab</sup>	193.07 ± 31.59 <sup>a</sup>
<b>Derivados del ácido ferúlico****</b>														
Libre	1.97 ± 0.50 <sup>ab</sup>	1.70 ± 0.53 <sup>ab</sup>	3.41 ± 0.95 <sup>ab</sup>	1.30 ± 0.35 <sup>b</sup>	1.43 ± 0.45 <sup>b</sup>	1.63 ± 0.11 <sup>ab</sup>	3.03 ± 0.50 <sup>ab</sup>	3.10 ± 0.41 <sup>ab</sup>	5.85 ± 1.71 <sup>a</sup>	3.27 ± 0.70 <sup>ab</sup>	2.84 ± 0.81 <sup>ab</sup>	2.51 ± 0.68 <sup>ab</sup>	1.34 ± 0.20 <sup>b</sup>	3.38 ± 0.55 <sup>ab</sup>
Ligada	16.52 ± 2.86 <sup>a</sup>	17.60 ± 4.70 <sup>a</sup>	15.01 ± 5.99 <sup>a</sup>	18.09 ± 2.38 <sup>a</sup>	16.36 ± 5.11 <sup>a</sup>	16.29 ± 3.63 <sup>a</sup>	19.72 ± 1.83 <sup>a</sup>	23.96 ± 7.64 <sup>a</sup>	22.69 ± 2.85 <sup>a</sup>	21.98 ± 1.95 <sup>a</sup>	18.71 ± 3.12 <sup>a</sup>	28.21 ± 1.71 <sup>a</sup>	26.71 ± 1.80 <sup>a</sup>	16.36 ± 5.11 <sup>a</sup>

Total	18.49 ± 2.69 <sup>a</sup>	19.31 ± 4.29 <sup>a</sup>	18.42 ± 5.99 <sup>a</sup>	19.39 ± 2.08 <sup>a</sup>	17.78 ± 4.91 <sup>a</sup>	17.92 ± 3.68 <sup>a</sup>	22.75 ± 2.17 <sup>a</sup>	27.06 ± 7.24 <sup>a</sup>	28.55 ± 2.53 <sup>a</sup>	25.25 ± 2.51 <sup>a</sup>	21.55 ± 3.10 <sup>a</sup>	30.72 ± 2.28 <sup>a</sup>	27.95 ± 2.00 <sup>a</sup>	26.96 ± 3.87 <sup>a</sup>
<b>Total ácidos fenólicos Totales</b>														
Libre	7.44 ± 0.84 <sup>ab</sup>	7.51 ± 1.83 <sup>ab</sup>	10.82 ± 1.18 <sup>ab</sup>	5.65 ± 0.73 <sup>b</sup>	6.03 ± 0.52 <sup>b</sup>	7.24 ± 0.64 <sup>ab</sup>	10.15 ± 0.65 <sup>ab</sup>	8.52 ± 0.88 <sup>ab</sup>	15.57 ± 3.46 <sup>a</sup>	12.39 ± 1.82 <sup>ab</sup>	11.62 ± 1.19 <sup>ab</sup>	7.41 ± 0.48 <sup>ab</sup>	6.48 ± 0.97 <sup>ab</sup>	9.38 ± 0.95 <sup>ab</sup>
<b>Compuestos Fenólicos Totales</b>														
Libre	10.25 ± 2.39 <sup>bcd</sup>	7.51 ± 1.83 <sup>cd</sup>	10.82 ± 1.18 <sup>bc</sup>	5.65 ± 0.73 <sup>d</sup>	8.88 ± 1.91 <sup>bcd</sup>	7.24 ± 0.64 <sup>cd</sup>	10.39 ± 0.56 <sup>bcd</sup>	8.65 ± 0.90 <sup>bcd</sup>	15.57 ± 3.46 <sup>a</sup>	12.39 ± 1.82 <sup>ab</sup>	12.56 ± 0.56 <sup>ab</sup>	7.41 ± 0.48 <sup>cd</sup>	11.82 ± 0.84 <sup>abc</sup>	10.31 ± 1.38 <sup>bcd</sup>
Ligada	180.62 ± 31.76 <sup>ab</sup>	191.07 ± 52.13 <sup>ab</sup>	123.44 ± 45.60 <sup>b</sup>	200.33 ± 29.32 <sup>ab</sup>	167.70 ± 51.26 <sup>ab</sup>	178.30 ± 44.26 <sup>ab</sup>	194.23 ± 32.65 <sup>ab</sup>	214.95 ± 49.81 <sup>ab</sup>	231.11 ± 44.73 <sup>a</sup>	224.69 ± 10.26 <sup>ab</sup>	223.02 ± 42.38 <sup>ab</sup>	234.58 ± 28.11 <sup>a</sup>	201.56 ± 8.23 <sup>ab</sup>	229.77 ± 36.19 <sup>a</sup>
Total	190.87 ± 31.23 <sup>ab</sup>	198.58 ± 51.27 <sup>ab</sup>	134.25 ± 45.89 <sup>b</sup>	205.98 ± 29.07 <sup>ab</sup>	176.57 ± 49.54 <sup>ab</sup>	185.54 ± 44.67 <sup>ab</sup>	204.62 ± 33.04 <sup>ab</sup>	223.60 ± 49.63 <sup>ab</sup>	246.68 ± 45.22 <sup>a</sup>	237.08 ± 10.71 <sup>ab</sup>	235.58 ± 41.83 <sup>ab</sup>	241.99 ± 28.57 <sup>ab</sup>	213.26 ± 7.94 <sup>ab</sup>	176.57 ± 49.54 <sup>ab</sup>

\* Los resultados son expresados como el promedio ± DS. Los resultados con la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) por la prueba de Tukey o Dunn según corresponda. \*\*Expresado como cloruro de cianidina. \*\*\*Expresado como ácido p-cumárico. \*\*\*\*Expresado como ácido ferúlico. ND: no detectado.

Se detectaron antocianinas en la fracción libre sólo de las muestras CCR, CAR y CHB de la provincia de Caylloma y en las muestras CHA, CSR, CPC, y CAL de la provincia de Castilla. Las muestras de la provincia de Caylloma presentaron concentraciones de antocianinas entre  $0.24 \pm 0.20$  mg/100 g bs (CHB, mazorcas principalmente blancas con presencia de 3% de granos jaspeados morados) y  $2.85 \pm 1.72$  mg/100 g bs (CAR, mazorcas rojas) mientras que el maíz de Castilla presentó valores entre  $0.13 \pm 0.07$  mg/100 g bs (CHA, mazorcas principalmente blancas con presencia de algunos granos morados) y  $5.33 \pm 0.40$  mg/100 g bs (CPC, mazorcas combinadas con tonalidades moradas). Esta última muestra (CPC) se destacó por presentar la mayor concentración de antocianinas. Se han reportado concentraciones de antocianinas en maíz peruano de raza Granada con pigmentación roja ( $12.69$ - $3.28$  mg cianidina-3-glucósido (C3G)/100 g bs) por Ranilla et al. (105), en maíz mexicano de pigmentación roja ( $10.5$ - $12.7$  mg C3G/100 g bs) por Mónica-Herrera et al. (108) y en maíz mexicano con pigmentación blanca ( $1.66$  mg C3G/100 g bs), amarilla ( $1.25$  mg C3G/100 g bs) y roja ( $145.81$  mg C3G/100 g bs) según Fabila-Garca (107).

En la presente investigación se obtuvieron menores rangos de antocianinas, lo cual puede deberse principalmente a diferencias en el tipo de maíz evaluado (factores genéticos), la procedencia y factores agroclimáticos, entre otros. El maíz Cabanita se caracteriza por presentar granos con pigmentación generalmente mixta del pericarpio variando entre blanco, amarillo, rojo o ligeramente morado que son pigmentaciones que no se correlacionan con altas concentraciones de antocianinas.

La fracción libre representó entre el 2.74-8.06% del contenido total de compuestos fenólicos cuantificados por UHPLC (libre+ligada) con rangos entre  $5.65 \pm 0.73$  (CAB, mazorcas blancas) y  $15.57 \pm 3.46$  (CAA, mazorcas amarillas) mg/100 g bs. La muestra CAA de la provincia de Castilla presentó el mayor contenido de ácido p-cumárico ( $0.86 \pm 0.37$  mg/100 g bs) y sus derivados ( $8.20 \pm 2.36$  mg/100 g b.s.), valores que son superiores a los reportados por Ranilla et al. (105) en maíz peruano ( $0.56$  mg/100 g bs para el caso de ácido p-cumárico y  $6.96$  mg/100 g bs para sus derivados), por Zilic et al. (79) ( $2.83$  mg/100 g bs) y González-Muñoz et al. (87) ( $1.80$  mg/100 g bs) en maíces de coloraciones entre blancas, rojas, amarillas y naranjas. Con respecto al ácido ferúlico libre, las muestras CSB ( $0.81 \pm 0.12$  mg/100 g bs, mazorcas blancas) y CSR ( $0.81 \pm 0.13$  mg/100 g bs, mazorcas rojas), ambas del anexo de Subna en la provincia de Castilla tuvieron las mayores concentraciones

entre todas las muestras analizadas. Adicionalmente, la muestra CAA de Castilla tuvo los mayores contenidos de derivados de ácido ferúlico ( $5.85 \pm 1.71$  mg/100 g bs). Estos valores de ácido ferúlico y sus derivados son comparables y en algunos casos mayores a las concentraciones reportadas por Ranilla et al. (105) en maíz peruano (0.48 mg/100 g bs para ácido ferúlico y 1.89 mg/100 g bs para sus derivados), Zilic et al. (79) (1.25-9.89 mg/100 bs) en maíces procedentes de México, USA y Serbia, y por González-Muñoz (87) (0.26-1.00 mg/100 g bs) en maíz Chileno reportado de distintas pigmentaciones de pericarpio.

Los perfiles cromatográficos a 320 nm en la fracción libre fueron relativamente similares en todas las muestras con respecto a los compuestos eluidos entre los 6.50 y 15.50 minutos, sin embargo se observaron ciertas diferencias después del pico 13 (~12.50 min) en algunas muestras con diferentes pigmentaciones de ambas provincias (3 muestras de Caylloma presentaron compuestos después del minuto ~12.50), en especial de la provincia de Castilla (en 18 réplicas biológicas se detectaron compuestos después del minuto ~12.50). Los compuestos con tiempos de retención después del minuto ~12.50 fueron identificados como derivados de ácido ferúlico en todos los casos. Los ácidos fenólicos mayoritarios de la fracción libre fueron los derivados de ácido p-cumárico que fueron detectados desde el minuto 5.802 hasta el 10.670, siendo el pico 10 (tiempo de retención=10.518-10.540) el más grande y en consecuencia el que más contribuyó a la concentración final. Se encontró una alta correlación entre la concentración de ácido p-cumárico y sus derivados ( $r=0.91$ ), lo cual puede ser debido a la isomerización de este compuesto.

Andreia Bento (109), mediante HPLC-DAD acoplado con espectroscopía de masas ha reportado amidas de ácido hidroxinámico (HCAAs) en cualquiera de las dos configuraciones posibles (cis o trans) de ácido ferúlico o ácido p-cumárico en ambas fracciones fenólicas de maíz blanco. Los HCAAs están formados por restos de ácidos hidroxicinámicos donde las cadenas dobles pueden tener configuración cis o trans, dando así la formación de una gran cantidad de amidas isoméricas (110). En plantas, los isómeros cis son menos comunes y se eluyen más temprano que los trans en cromatografía en fase reversa, presentando picos y áreas más pequeñas (111). Andreia Bento (109) detectó estos compuestos en harina maíz y pan de maíz, y además se sabe que este cereal contiene una gran cantidad de conjugados de putrescina y espermidina en comparación con otros cereales como arroz y trigo (111). Los isómeros identificados más abundantes en la fase soluble de maíz blanco son



derivados de ácido p-cumárico (N,N'-cumaroil feruloil putrescina (CFP), N,N'-dicumaroil spermidina (DCS)) mientras que en la fase insoluble son los derivados de ácido ferúlico (N,N'-feruloil dehidrodiferuloil) (109). Se han descrito que la actividad antioxidante y anti-inflamatoria de estos derivados (HCAAs y dehidrodímeros de ácido ferúlico) son incluso mayores que el propio ácido ferúlico (112) (113).

La fracción fenólica ligada (fracción mayoritaria) representó entre el 91.94 - 97.26% del contenido de compuestos fenólicos totales por UHPLC (libre+ligada) con rangos entre 123.44±45.60 mg/100 g bs (COM, granos amarillo-anaranjado) y 234.58±28.11 mg/100 g bs (CAA, granos amarillos). La muestra CAA de la provincia de Castilla presentó el mayor contenido de ácido p-cumárico (19.28±4.54 mg/100 g bs), este valor se encuentran por debajo de los valores reportados por Ranilla et al. (105) (19.52-22.49 mg/100 g bs ) en maíz raza Arequipeño y Cabanita (de blanco a rojo) y dentro de los rangos reportados en maíz chileno (coloración blanca a roja oscura) por Fuentealba et al (106) (10.64-36.37 56.07 mg/100 g bs). La muestra CPB (grano blanco) de la provincia de Castilla presentó la mayor concentración de ácido ferúlico (195.11±25.20 mg/100 g bs) y derivados de ácido ferúlico (28.21±1.71 mg/100g bs), valores superiores en comparación con estudios previos en maíz Cabanita y otras razas de Arequipa (72.33-143.16 mg/100 g bs para ácido ferúlico y 11.71-23.07mg/100 g bs para derivados de ácido ferúlico) y comparables con el maíz chileno (126.1-268.6 mg/100 g bs para el caso del ácido ferúlico) .

Los perfiles cromatográficos de la fracción fenólica ligada fueron muy similares entre las muestras evaluadas. Se detectaron compuestos desde el minuto ~10.58 hasta el minuto ~12.87. El compuesto más abundante de la fracción fenólica ligada fue el ácido ferúlico (pico N°2), el cual figura entre los minutos 10.957-11.012. Los derivados de ácido ferúlico principalmente se encontraron en la fracción fenólica ligada.

El contenido fenólico total (libre + ligada) más alto lo presentó la muestra CAA (grano amarillo) de Castilla con 246.68±45.22 mg/100 g bs. La misma también presentó la mayor concentración de compuestos fenólicos totales en la fracción libre, de ácido p-cumárico en la fracción libre y ligada, derivados de ácido p-cumárico y ácido ferúlico en la fracción libre, y ácido ferúlico total junto con las muestras CSB y CPB (muestras blancas). Se encontró una alta correlación entre el contenido

fenólico total por UHPLC y el contenido de ácido ferúlico ligado ( $r=0.99$ ) y total ( $r=0.99$ ) confirmando que este ácido fenólico contribuyó significativamente con el contenido de compuestos fenólicos totales en las muestras evaluadas. De igual manera, la concentración de ácido ferúlico total se correlacionó positivamente con el contenido fenólico total determinado por el método espectrofotométrico ( $r=0.88$ ). El contenido fenólico total por UHPLC en maíz Cabanita encontrado en este trabajo se encuentra por encima de lo reportado por Ranilla et al. (37) en maíz Cabanita procedente también de la región Arequipa (202.50 - 215.65 mg/100 g bs). En el mismo trabajo, Ranilla et al (38) evaluaron sólo algunas muestras (6 accesiones) de maíz Cabanita, sin embargo, en el presente trabajo se ha realizado por primera vez una colección más amplia de maíz Cabanita y se ha determinado por primera vez las diferencias en la composición fenólica del maíz de este tipo procedente de dos provincias de la región Arequipa.

Aun no existe información científica de las propiedades saludables de las muestras de maíz Cabanita evaluadas en la presente investigación, sin embargo varios estudios epidemiológicos y resultados *in vitro* e *in vivo* demuestran que la ingesta de cereales como el maíz con elevado contenido de compuestos fenólicos se asocia a diversas propiedades funcionales relevantes para la salud como propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas y antioxidantes (114) (115).

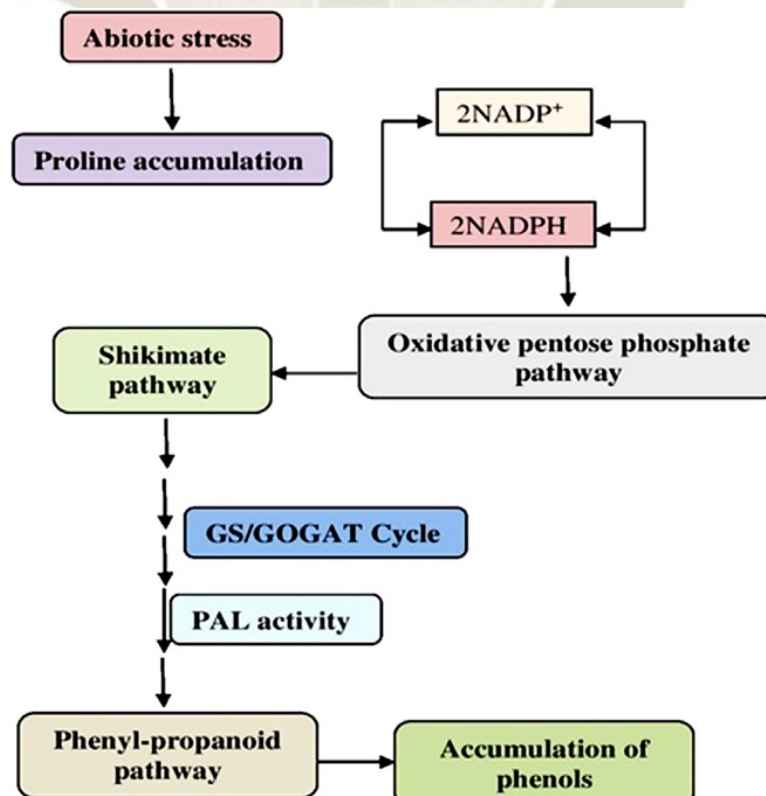
Diversos estudios (67) (116) han reportado que los ácidos fenólicos en cereales son principalmente del tipo hidroxicinámico siendo el principal el ácido ferúlico, seguido por los derivados de ácido ferúlico y en menores concentraciones el ácido p-cumárico, cafeico entre otros. González-Muñoz et al. (87) encontró aproximadamente entre 76-91% del total de ácido ferúlico y p-cumárico en la forma ligada a la fibra dietética. De igual forma, los ácidos fenólicos encontrados en el presente estudio fueron del tipo hidroxicinámico y se encontraron principalmente en la forma ligada (91.94 - 97.26%). En general, se detectaron mayores concentraciones de compuestos fenólicos totales en la fracción fenólica libre ( $37.19 \pm 2.83$  a  $63.38 \pm 5.28$  mg EAG/100g bs) por el método de Folin-Ciocalteu que por cromatografía líquida ( $5.65 \pm 0.73$  a  $15.57 \pm 3.46$  mg/100 g bs). Esto indicaría que podrían existir otros compuestos fenólicos libres diferentes a los identificados por UHPLC ya que en los cereales éstos no solo existen en la forma libre sino también de manera conjugada a carbohidratos solubles por enlaces éster o éter (117).

En general, los contenidos de compuestos fenólicos fueron mayores en las muestras procedentes de la provincia de Castilla en comparación con la provincia de Caylloma y se observó una mayor variabilidad en los contenidos de fenólicos de las muestras de Castilla respecto a las muestras de Caylloma. La muestra que más ha destacado por su composición fenólica fue la CAA (procedente de Ajocha) de la provincia de Castilla, distrito de Andahua. La estación meteorológica más próxima a este punto geográfico es la estación Andahua y según lo reportado por el SENAMHI (118) (Anexo 4) en el año de cultivo y en comparación con las estaciones meteorológicas del resto de las muestras, dicha zona presenta algunas características destacables como localización a mayor altura (3562 m.s.n.m), el promedio de la temperatura mínima más baja (4.9 °C), máxima (17.76 °C) y mayor variabilidad entre temperatura mínima y máxima (13 °C). Estas condiciones geográficas y climatológicas fueron en general más extremas en Castilla (menores temperaturas mínimas y mayores altitudes) que las correspondientes a la provincia de Caylloma. Se ha reportado que por cada 1000 m de altura la radiación solar se incrementa entre un 9-24% (119). Lamentablemente, la estación de Andahua no registra índice de radiación UV (IUV), pero se tienen datos del año 2013 en la estación meteorológica de Arequipa (2372 m.s.n.m.) donde se reportaron índices de radiación catalogados como extremadamente altos (13-15 IUV) (120). Según los datos tomados *in situ* en la zona de Ajocha en la colecta realizada para la realización del presente trabajo, este presentó un IUV de 9.5 a las 12:24 p.m., catalogándose según la OMS (121) como un índice de radiación muy alto.

Las plantas y granos como el trigo y la soya (122) (123) activan mecanismos de producción de metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos en sus tejidos como respuesta adaptativa a condiciones bióticas y abióticas adversas y tienen un papel clave en la regulación de diversos tipos de estrés ambientales, como la luz intensa, radiación ultravioleta, altas y bajas temperaturas (enfriamiento y congelación), exceso o deficiencia de nutrientes, inundaciones o sequías, entre otros (124) (125) que conducen a la producción de radicales libres y otras especies oxidativas en la planta. La actividad de la fenilalanina amonio liasa (PAL), la chalcona sintasa (CHS) y otras enzimas inducen la acumulación de compuestos fenólicos en plantas. Cuando la actividad de la fosfoenol piruvato (PEP)-carboxilasa aumenta indica un cambio de la producción de sacarosa en los procesos metabólicos que ayudan en la defensa y la reparación (126) (127). Las plantas responden a estos

factores de estrés bióticos y abióticos aumentando su capacidad para atrapar especies reactivas de oxígeno (128), activan y desactivan varios genes para la formación de metabolitos y proteínas (129) como las moléculas de señalización: ácido salicílico, ácido jasmónico y sus derivados (130) que dan cierto grado de defensa contra estos factores de estrés.

En respuesta al estrés se produce una fuerte estimulación de los ARNm que codifican la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PDH), una enzima que proporciona sustratos de la vía del shikimato, y 3-desoxiarabinoheptulosa-7-fosfato sintasa, que es una enzima de la vía shikimato requerida para la biosíntesis de fenilalanina (131). Como se observa en la Figura 25, el estrés ambiental también provoca la acumulación de prolina libre la cual en su biosíntesis y degradación puede ser responsable de la regulación del potencial redox en el citosol (132) (127). Lo que indica que distintos factores de estrés abióticos pueden impulsar respuestas metabólicas primarias como secundarias indirecta o directamente implicadas en la creación de compuestos fenólicos planteando una conexión entre el metabolismo primario y secundario, que liga la acumulación de prolina libre con la transferencia de energía que sirve para la biosíntesis de fenilpropanoides a través de la vía pentosa fosfato (PPP) oxidativo, el cual genera precursores para la vía del ácido shikímico en la biosíntesis de compuestos fenólicos (131) (127).



**Figura 25.** Biosíntesis de fenoles mediada por estrés abiótico en plantas. (131)

Se ha comprobado en plantas que la expresión de la CHS se activa por la luz ultravioleta, que es la primera enzima en la ruta de biosíntesis de flavonoides (133). También, estudios en trigo han comprobado que altas dosis de radiación causan una fuerte inhibición del crecimiento durante el período de vegetación y también pérdida de biomasa (134). Estudios realizados en cebada, demuestran que durante la exposición a radiación UV-B la síntesis de sustancias fenólicas aumenta como respuesta al estrés provocado. El aumento del contenido de sustancias fenólicas puede considerarse por lo tanto como una de las reacciones protectoras en plantas sensibles a los rayos UV (134).

Con respecto al efecto de las bajas temperaturas, se ha demostrado que las temperaturas críticas sin llegar a la congelación (135), estimulan la actividad de la PAL, así como otras enzimas necesarias para la biosíntesis de compuestos fenólicos. Lo que aumenta la producción fenólica y al desarrollo vegetal, ya sea de forma independiente o por interacción con promotores del crecimiento vegetal conocidos, especialmente etileno (127). El estrés por el frío también aumenta la producción de fenoles en la pared celular como lignina y suberina (136) las cuales aumentan la resistencia al estrés por frío. Esto explicaría la mayor concentración de compuestos fenólicos en la fracción ligada a la fibra dietética de las muestras procedentes de la provincia de Castilla en la presente investigación.

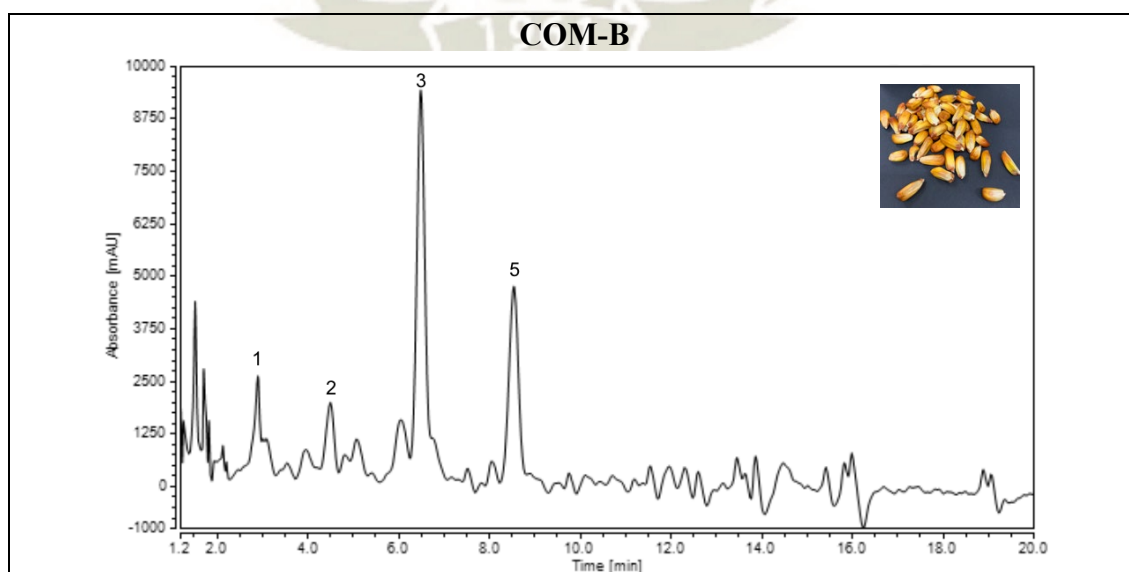
Existen aspectos de las prácticas pre y post cosecha que fueron diferentes en ambas provincias y pueden haber influido en la composición fenólica del maíz analizado (Anexos 5, 6, 7 y 8). El cultivo de maíz Cabanita en Cabanaconde es casi exclusivo, ya que es el principal cultivo en la zona y en los anexos donde se cultiva maíz Cabanita no existe presencia de cultivos asociados o previos de otras especies. Lo opuesto sucede en Castilla, donde utilizan la tierra designada al cultivo de maíz Cabanita también para el cultivo de otras especies (como cultivos asociados y rotativos) como papalisa, alfalfa, arveja, papa, haba, quinua y cebada. Algunas de estas especies leguminosas y según estudios puede permitir a los agricultores lograr un rendimiento alto (mayor producción de biomasa) y estable en condiciones de lluvia variables, con inversiones modestas de fertilizante, lo que está más asociado a climas fríos que cálidos (137) (138). Otro aspecto de importancia es que según las encuestas realizadas hacia los agricultores en ambas provincias, los agricultores de Caylloma rotan la semilla de maíz Cabanita en la misma campiña para conservar el germoplasma lo más puro posible. Sin embargo, los agricultores de la provincia de Castilla han mencionado que se habría realizado la introducción de otras semillas diferentes al maíz Cabanita.

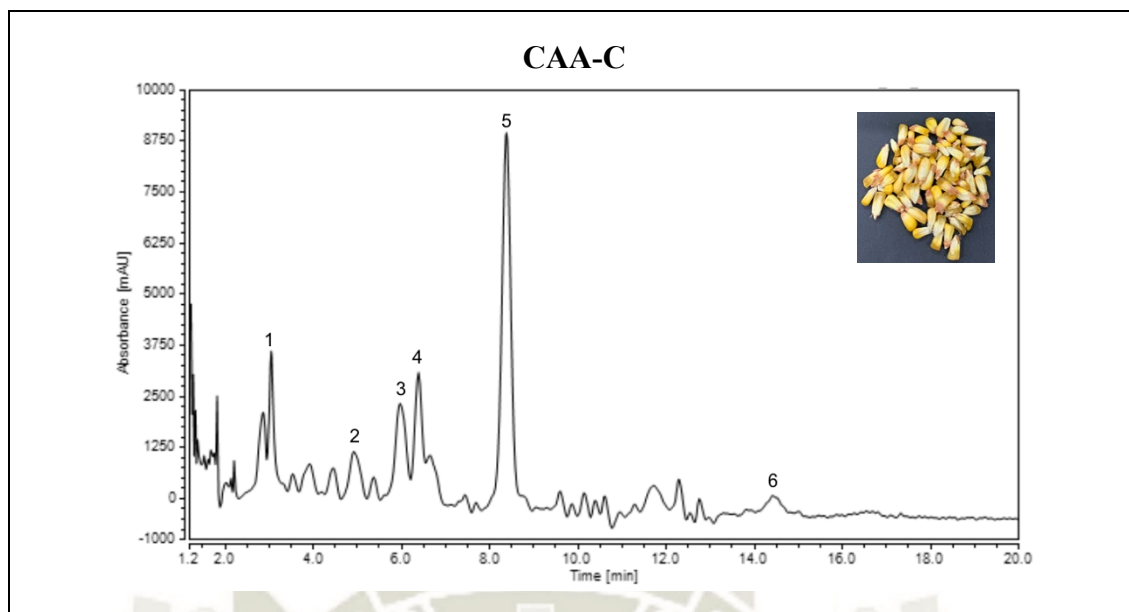
### 3.3. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE CAROTENOIDES

#### 3.3.1. Extracción y análisis del contenido y perfil de carotenoides por UHPLC-DAD

En la figura 26 se muestran los perfiles cromatográficos de los carotenoides detectados por UHPLC-DAD en muestras representativas de maíz Cabanita de cada región (Caylloma y Castilla) y en la Tabla 14 se presenta la información de los picos mostrados en cada cromatograma. Los carotenoides se detectaron entre el minuto ~3 y ~15 y correspondieron únicamente a xantófilas (luteína, isómeros de luteína, zeaxantina, criptoxantina) y un carotenoide que no se pudo identificar. La identificación de cada uno de estos compuestos se realizó por comparación de sus tiempos de retención ( $T_r$ ) y sus espectros de absorción con estándares comerciales (zeaxantina y luteína) y de publicaciones científicas.

Solo se detectó criptoxantina en algunas réplicas biológicas de la muestra CAA de la provincia de Castilla (coloración amarilla), este compuesto eluyó al último entre los minutos 14.13-14.49. También se detectaron compuestos carotenoides no identificados en algunas réplicas de las muestras (CAA y CAL) de la provincia de Castilla los cuales presentaron tiempos de retención (~6.7 min) y espectros de absorción (~428, ~453 nm) muy similares, por lo que podría ser el mismo compuesto, posiblemente un isómero de zeaxantina al comparar su espectro con el reportado por Gentili y Caretti (139). Estos compuestos no fueron cuantificados en la presente investigación.





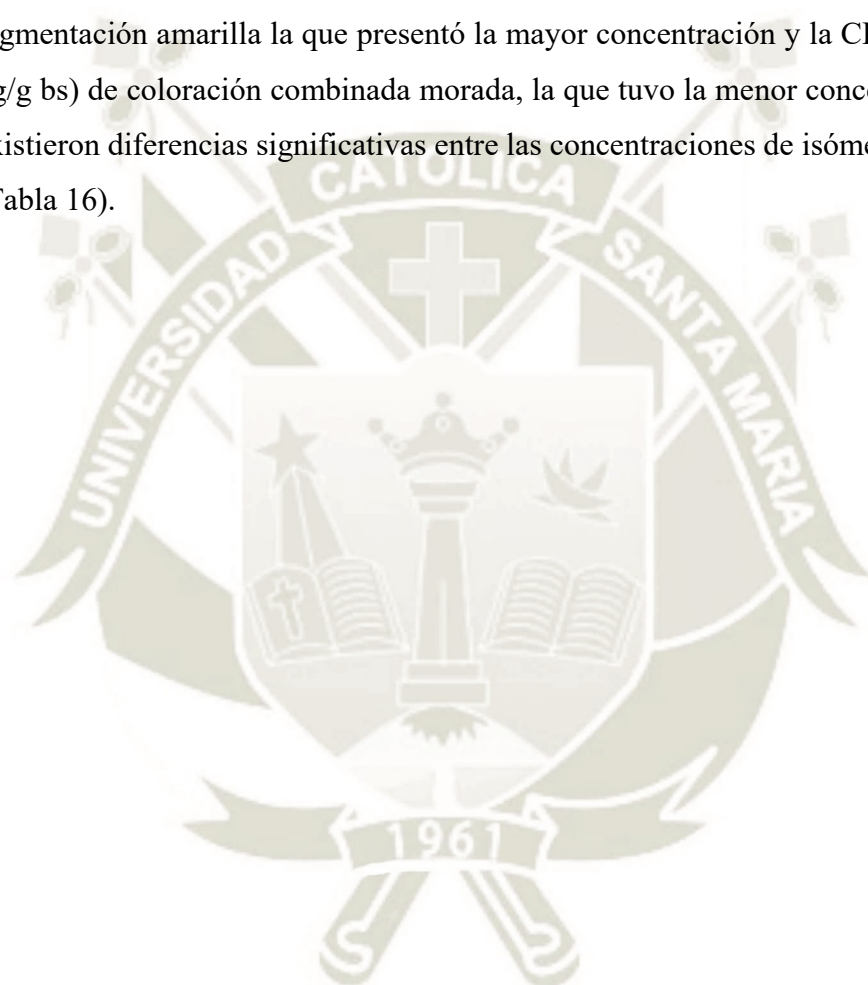
**Figura 26.-** Perfil cromatográfico a 450 nm de carotenoides en maíz Cabanita de la provincia de Caylloma (COM-B) y Castilla (CAA-C).

**Tabla 15.-** Tiempos de retención, compuesto identificado y longitud de onda de máxima absorción de los espectros de los carotenoides identificados en 2 muestras de maíz Cabanita de la provincia de Caylloma (COM-B) y Castilla (CAA-C) presentadas en la Figura 26.

Nº Pico	Tiempo de retención (min)	Compuesto	$\lambda$ (nm)
1	3.05-3.09	Isómero de Luteína	(419), 443, 468
2	4.50-4.92	Isómero de Luteína	334, 442, 464
3	6.38-6.49	Luteína	314, 444, 472
4	6.65	No identificado	427, 452
5	8.38-8.54	Zeaxantina	331, 450, 477
6	14.42	Criptoxantina	452, 473, 481

En la tabla 16 se muestran los resultados del contenido de carotenoides por UHPLC-DAD en las muestras de maíz. No se detectaron carotenoides en las muestras CCR, CAB y CAR de Caylloma, y CHA y CSB de Castilla, estas mazorcas presentan granos con pericarpio blanco y rojo, pigmentaciones que generalmente no se relacionan con la presencia de carotenoides (75). La luteína fue detectada en dos muestras de la provincia de Caylloma (COM y CHB) y en 4 muestras de la provincia de Castilla (CAA, CSR, CPB y CPB). Las concentraciones de luteína de las muestras de Caylloma variaron entre  $1.36 \pm 0.52 \mu\text{g/g}$  bs (COM, grano amarillo-anaranjado) y  $0.10 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$  bs (CHB, granos blancos y amarillos) mientras que las muestras de la provincia de Castilla presentaron un rango entre  $0.24 \pm 0.12 \mu\text{g/g}$  bs (CAA, grano amarillo) y  $0.05 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$  bs (CPC, granos combinados con tonalidades moradas).

La muestra COM presentó la mayor concentración de luteína ( $p < 0.05$ ) entre todas las muestras de maíz evaluadas. La luteína contribuyó entre el 17-69% a la concentración de carotenoides totales. También se detectaron isómeros de luteína en todas las muestras de maíz Cabanita, sin embargo, no todas fueron cuantificables por presentar áreas muy por debajo de las consideradas en la curva de calibración de luteína. Las muestras CCA, COM, CLA, CHB, CAA, CSR, CPB y CPC presentaron isómeros de luteína cuantificables, siendo la muestra CAA ( $0.36 \pm 0.24 \mu\text{g/g bs}$ ) de pigmentación amarilla la que presentó la mayor concentración y la CPC ( $0.03 \pm 0.03 \mu\text{g/g bs}$ ) de coloración combinada morada, la que tuvo la menor concentración y no existieron diferencias significativas entre las concentraciones de isómeros de luteína (Tabla 16).





**Tabla 16.-** Resultados del análisis del contenido\* ( $\mu\text{g/g}$  bs) y perfil de carotenoides por UHPLC-DAD.

Componentes	Caylloma							Castilla						
	CCR	CCA	COM	CAB	CAR	CLA	CHB	CHA	CAA	CSB	CSR	CPB	CPC	CAL
Luteína	ND	ND	1.36 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	0.10 $\pm$ 0.07ab	D	0.24 $\pm$ 0.12ab	ND	0.16 $\pm$ 0.13ab	0.07 $\pm$ 0.12ab	0.05 $\pm$ 0.02ab	ND
Isómeros de Luteína*	D	0.10 $\pm$ 0.08a	0.23 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	D	D	0.12 $\pm$ 0.50a	0.08 $\pm$ 0.06a	D	0.36 $\pm$ 0.24a	D	0.11 $\pm$ 0.06a	0.10 $\pm$ 0.02a	0.03 $\pm$ 0.03a	D
Zeaxantina	ND	ND	0.36 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	0.39 $\pm$ 0.61 <sup>a</sup>	ND	0.25 $\pm$ 0.22a	ND	0.04 $\pm$ 0.06a	ND	0.02 $\pm$ 0.01a	ND
Carotenoides totales	--	0.10 $\pm$ 0.08ab	1.95 $\pm$ 0.70 <sup>a</sup>	--	--	0.12 $\pm$ 0.05ab	0.57 $\pm$ 0.60ab	--	0.85 $\pm$ 0.51ab	--	0.31 $\pm$ 0.24ab	0.17 $\pm$ 0.13ab	0.09 $\pm$ 0.05ab	--

\*Los resultados son expresados como el promedio  $\pm$  DS. \*\*Expresado como luteína. Los promedios con la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) por la prueba de Dunn's. ND: no detectado

Los isómeros de luteína contribuyeron entre el 11-100% a la concentración de carotenoides totales ya que en algunos casos fueron los únicos carotenoides encontrados probablemente por isomerización de la luteína. Diferentes rangos de concentraciones de luteína y sus isómeros han sido reportados en varios estudios en maíz amarillo: 4.70 a 34.97  $\mu\text{g/g}$  bs (140), 0.10 a 21.9  $\mu\text{g/g}$  bs (141), 0.36 a 14.69  $\mu\text{g/g}$  bs (142), 2.5  $\mu\text{g/g}$  bf (base fresca) (143), 0.05 a 8.46  $\mu\text{g/g}$  bs (144) y 2.8 a 18.2  $\mu\text{g/g}$  bs (145). Los valores encontrados en el presente estudio fueron comparables en algunos casos (140) (141) (143).

La zeaxantina fue otro carotenoide detectado en el maíz Cabanita contribuyendo entre el 12-68% a la concentración total de carotenoides. Las muestras donde se detectó zeaxantina fueron COM y CHB de Caylloma y CAA, CSR y CPC de Castilla. El maíz CHB ( $0.39 \pm 0.61$   $\mu\text{g/g}$  bs) de coloración blanca con granos jaspeados presentó la mayor concentración de zeaxantina mientras que la muestra CPC ( $0.02 \pm 0.01$ ) de coloración combinada morada exhibió la menor concentración. No existieron diferencias significativas entre las concentraciones de zeaxantina encontradas en las distintas muestras analizadas. Se han reportado varios rangos de concentraciones de zeaxantina en maíz de pigmentación blanca: 0.05 a 0.11  $\mu\text{g/g}$  bs (146), 0.08 a 0.18  $\mu\text{g/g}$  bs (78), 0.66 a 8.55  $\mu\text{g/g}$  bs (147), 0.25 a 4.59  $\mu\text{g/g}$  bs (147), 0.76  $\mu\text{g/g}$  bs (148) y 4.84  $\mu\text{g/g}$  bs (149). Según estos datos, el maíz Cabanita presenta valores comparables y en algunos casos mayores a los reportados en grano de maíz blanco. Sin embargo, las concentraciones encontradas en el presente estudio son inferiores en general a los rangos reportados en muestras de maíz amarillo de acuerdo a diferentes investigaciones: 2.36 a 21.18  $\mu\text{g/g}$  bs (140), 2.3 a 24.5  $\mu\text{g/g}$  bs (145), 0.54 a 10.31  $\mu\text{g/g}$  bs (150), 5.09 a 5.38  $\mu\text{g/g}$  bs (142) y 8  $\mu\text{g/g}$  bf (143).

En relación al contenido total de carotenoides, la muestra COM (provincia de Caylloma) presentó la mayor concentración ( $1.95 \pm 0.70$   $\mu\text{g/g}$  bs, grano amarillo-anaranjado) entre todas las muestras, mientras que la muestra CPC tuvo el menor contenido ( $0.09 \pm 0.05$   $\mu\text{g/g}$  bs, coloración combinada con tonalidades moradas). Es importante mencionar que esta muestra fue la que exhibió la mayor concentración de antocianinas indicando que es posible una biosíntesis paralela de estos compuestos fenólicos con los carotenoides. La muestra con la segunda mayor concentración de carotenoides totales fue la CAA (coloración amarilla) de Castilla ( $0.85 \pm 0.51$   $\mu\text{g/g}$  bs). Estos valores son menores a los rangos reportados de xantófilas totales en muestras de maíz amarillo de 19.71 a 20.57  $\mu\text{g/g}$  bs (142), 34.8  $\mu\text{g/g}$  bs (141), 13.5 a

48.2  $\mu\text{g/g}$  bs (145), 8.82 a 48.64  $\mu\text{g/g}$  bs (140), y comparables a los encontrados en maíz blanco: 0.55 a 36.95  $\mu\text{g/g}$  bs (147), 0.39 a 2.98  $\mu\text{g/g}$  bs (148) y en maíz blanco y naranja: 0.26 a 38.4  $\mu\text{g/g}$  bs (146).

Se han reportado también carotenoides como el  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -caroteno en algunas variedades de maíz según otras investigaciones (151) (152) (153) (141); sin embargo, este tipo de carotenoides no fueron detectados en la presente investigación. De acuerdo a Ibrahim & Juvik (154), Kurilich & Juvik (155), Haiying Liu et al. (147), y Uarrota et al (140), los carotenoides presentes en maíz amarillo corresponden principalmente al tipo xantófilas (luteína, zeaxantina y  $\beta$ -criptoxantina) (151), las cuales son principalmente sintetizadas y acumuladas en el endospermo del grano (76). Los resultados del presente estudio confirman esta información, siendo la luteína el carotenoide principal en las muestras evaluadas.

Aún no existen publicaciones sobre las propiedades saludables de las muestras de maíz Cabanita evaluadas en el presente estudio y su posible correlación con la presencia de los carotenoides detectados, sin embargo mucha evidencia científica demuestra que el consumo frecuente de alimentos con carotenoides, en especial de luteína y zeaxantina puede prevenir la formación de especies reactivas de oxígeno protegiendo de esta manera del cáncer, de enfermedades cardiovasculares, y ayudando a mejorar la visión (156) (157). El estudio de las diversas propiedades bioactivas de las muestras de maíz Cabanita colectadas en la presente investigación debe ser realizado en trabajos de investigación a futuro.

Diversos factores como el calor, la luz y las diferencias estructurales afectan la isomerización de los carotenoides en los alimentos (158) (159). Los métodos de procesamiento como el calentamiento y secado también conducen a la isomerización e incluso degradación de los carotenoides (160) (161). La degradación oxidativa de los carotenoides también produce las isomerizaciones cis y trans (162). En algunos estudios en maíz se han podido identificar estos isómeros y en general sus tiempos de retención salen en el mismo orden: primero luteína y sus isómeros, seguido por zeaxantina y sus isómeros, y finalmente criptoxantina y sus isómeros (163) (164) (150) (139) (165). Aplicando métodos por HPLC y espectrometría de masas se han identificado los siguientes isómeros de luteína: 13 o 13'-cis-5,6-epoxi-luteína, 15-cis-luteína, 13-cis-luteína, 13'-cis-luteína, all-trans-luteína, 9-cis-luteína y 9'-cis-luteína; de zeaxantina: all-trans-zeaxantina, 13-cis-zeaxantina y 9-cis-zeaxantina, y de criptoxantina: all-trans- $\beta$ -criptoxantina, 13-cis- $\beta$ -criptoxantina y 9-cis- $\beta$ -

criptoxantina (163) (164) (141) (139) (165). De acuerdo a esta información, el carotenoide desconocido detectado en el presente estudio podría corresponder al 13-cis-zeaxantina, mientras que los isómeros de luteína cuantificados en esta investigación podrían ser 15-cis-luteína y 13 o 13'-cis-luteína (150) (139).

Las prácticas post-cosecha pueden representar hasta un 30% de pérdidas de granos de maíz en especial cuando se utilizan métodos de almacenamiento convencionales como bolsas artesanales ya que son más propensas de sufrir infestaciones de insectos, hongos y roedores (166). Existen métodos para prevenir pérdidas durante el almacenamiento como bolsas de polietileno multicapa o silos metálicos sellados herméticamente (166) (167) lo cual impediría el ingreso de oxígeno, luz y humedad que pueda degradar los carotenoides. Existe evidencia de que una menor exposición a la luz y el oxígeno mejoran la retención de carotenoides a temperatura ambiente en maíz (168). Las condiciones postcosecha aplicados al maíz colectado en el presente estudio pueden haber influido negativamente en las concentraciones de carotenoides en los granos (Anexo 6 y 8). En ambas provincias, los granos de maíz fueron secados por exposición al sol durante varios días (aproximadamente 15 días) y fueron almacenados durante largos periodos de tiempo en habitaciones no herméticas y con ligera entrada de luz. Esto, según la información brindada por los propios agricultores, permite el paso de insectos y roedores que infestan los granos y provocan pérdidas, lo que además explicaría sus bajos contenidos en general de carotenoides respecto a otras investigaciones.

He et al. 2019 (169) investigaron el efecto de la radiación ultravioleta en la concentración de carotenoides del maíz, encontrando que los granos de maíz irradiados por luz UV-B tuvieron mayores contenidos de luteína, zeaxantina,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno en comparación con granos no irradiados. Esto posiblemente se deba a la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) inducidas por la luz, las que a su vez inducen a la expresión de genes involucrados en la biosíntesis de eliminadores de ROS a través de vías de señalización, lo que lleva a la producción de varios antioxidantes, incluidos los carotenoides (170) (171). Aunque existen investigaciones en relación a la expresión genética en respuesta a la formación de ROS y el estrés oxidativo, aún no está claro el mecanismo de acción exacto (172). Si bien existe evidencia de que la luz ultravioleta puede estimular la biosíntesis de carotenoides, la radiación ultravioleta de alta intensidad, especialmente UV-B, puede tener un efecto inverso. Según Gaberščik et al. (173) señalaron que la radiación UV-

B resultó en una disminución del contenido de clorofila y carotenoides en el trigo. En la actual investigación, no se dispone de información sobre los índices de radiación UV durante el periodo de crecimiento del maíz evaluado por lo que serían necesarios mayores estudios para determinar el impacto de los diferentes factores climáticos en la concentración de carotenoides en el maíz Cabanita.



## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES

1. Se logró coleccionar nuevo germoplasma de maíz Cabanita de las provincias de Caylloma y Castilla que no se encuentra almacenado en ningún otro banco de germoplasma de maíz en el Perú. Adicionalmente, se ha compilado información sobre las prácticas pre y post-cosecha aplicadas convencionalmente por los agricultores de estas zonas.
2. En relación a las características físicas de las mazorcas y grano de las muestras coleccionadas, las mazorcas de Caylloma presentaron mayores dimensiones y masa, por lo que el rendimiento del maíz en esta zona es mayor; al contrario del maíz de Castilla que presentó mazorcas más pequeñas, de menor masa y con mayor variabilidad en sus caracteres cuantitativos (número de hileras, número de granos por hilera, masa de mazorcas) y cualitativos del grano (masa y forma) lo cual podría deberse a la introducción de semillas de otras razas.
3. La fracción fenólica ligada representó el 78.10 a 86.48% del contenido fenólico total (libre + ligada) y el maíz de la provincia de Castilla presentó las mayores concentraciones de compuestos fenólicos totales destacando la muestra CPB (granos blancos) con  $291.13 \pm 32.65$  mg/100 g bs.
4. El análisis por UHPLC-DAD reveló que los compuestos fenólicos mayoritarios de la fracción fenólica libre del maíz Cabanita son ácidos hidroxicinámicos como compuestos derivados de ácido p-cumárico, seguido por compuestos derivados de ácido ferúlico, mientras que el ácido ferúlico fue el compuesto principal en la fracción fenólica ligada. La muestra CAA (Castilla, granos amarillos) presentó los mayores valores de compuestos fenólicos totales por UHPCL ( $246.68 \pm 45.22$  mg/100 g bs)
5. El contenido de carotenoides analizado por UHPLC-DAD fue variable siendo la muestra de maíz COM (granos amarillos-anaranjados) de la provincia de Caylloma la que presentó la mayor concentración de carotenoides totales ( $1.95 \pm 0.70$  µg/g bs), seguido por la muestra CAA de Castilla (grano amarillo), siendo en general la luteína y la zeaxantina los carotenoides más abundantes seguidos por los isómeros de luteína.
6. La muestra CAA (pigmentación amarilla) de la provincia de Castilla presentó en promedio contenidos elevados de compuestos fenólicos como de carotenoides

constituyendo una fuente natural de compuestos bioactivos como polifenoles y carotenoides, y un potencial candidato para programas de mejoramiento genético en maíz.



## RECOMENDACIONES

1. Son necesarios más estudios complementarios a nivel molecular y citológico para poder definir si todas las muestras colectadas, en especial de la provincia de Castilla pueden ser catalogadas dentro de la raza Cabanita.
2. Medir color para tener datos cuantitativos que permitan correlaciones entre compuestos bioactivos y el color.
3. Evaluar el impacto de los diferentes factores agro-climáticos que puedan influenciar el contenido de carotenoides y compuestos fenólicos en el maíz.





**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. Intenciones de siembra 2015-2018. Gerencia Regional de Agricultura. [Online]. [citado el 6 de Mayo 2020]. Disponible en: <https://www.agroarequipa.gob.pe/index.php/agricol/intenciones-de-siembra>.
2. Ranilla L. Bioactive Ingredients from Corn and Lactic Acid Bacterial Biotransformation. En Shetty K, Sarkar D. Functional Foods and Biotechnology.; 2019. p. 19-45.
3. Ranilla L, Apostolidis E, Genovese MI, Lajolo FM, Shetty K. Evaluation of Indigenous Grains from the Peruvian Andean Region for Antidiabetes and Antihypertension Potential Using In Vitro Methods. *Journal of Medicinal Food*. 2009; 12(4): p. 704-713.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. White Maize: a Traditional Food Grain in Developing Countries. [Online].; 1997 [citado en Mayo 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w2698e/w2698e00.htm#Contents>.
5. Grobman A, Bonavia D, Dillehay T, Piperno D, Iriarte J, Holst I. Pre-ceramic maize from Paredones and Huaca Prieta, Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012; 109(5): p. 1755-1759.
6. Sánchez JJ, Goodman MM, Bird RM, Stuber CW. Isozyme and Morphological Variation in Maize of Five Andean Countries. *Maydica*. 2005; 51(1): p. 25-42.
7. Ministerio del Ambiente Perú. Línea Base de la Diversidad Genética del Maíz Peruano con Fines de Bioseguridad. 1ra ed. Ministerio del Ambiente, editor. Lima; 2018.
8. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. [Online].; 2001 [citado en Mayo 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x7650s00.htm#toc>.
9. Awata L, Tongoona P, Danquah E, Ifie B, Suresh L, Jumbo M, Marchelo-D'ragga PW, Sitonik C. Understanding tropical maize (*Zea mays* L.): The Major Monocot in Modernization and Sustainability of Agriculture in Sub-Saharan Africa. *International Journal of Advance Agricultural Research*. 2019; 7(2): p. 32-77.
10. du Plessis J. Maize production. Directorate of Agricultural Information Services, Department of Agriculture. Pretoria; 2003.
11. Australian Government Office of the Gene Technology Regulator (AGOGTR). The Biology of *Zea mays* L. spp. *mays* (maize or corn). [Online]. 2008 [citado en Mayo 2021]. Disponible en: [https://www.ogtr.gov.au/sites/default/files/files/2021-07/the\\_biology\\_of\\_zea\\_mays\\_l\\_ssp\\_mays\\_maize\\_or\\_corn.pdf](https://www.ogtr.gov.au/sites/default/files/files/2021-07/the_biology_of_zea_mays_l_ssp_mays_maize_or_corn.pdf)

12. Flores-Gallardo H, Castillo-Rosales A, Santana-Espinoza S, Jimenez-Ocampo R, Domínguez MP. Recomendación para la Producción de Grano y Forraje de Maíz Bajo Riego en Durango. 1ra ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, editor. 2017.
13. Cortbaoui P, Vigneault C, Gariépy Y, Goyette B, Raghavan V, Charles M. Assessment of precooling technologies for sweet corn. 2005 AS AE Annual International Meeting; 2005 July 17-20; Tampa, USA. 2005. doi: 10.13031/2013.19607.
14. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome. Descriptores para Maíz; 1991.
15. Ángeles-Gaspar E, Ortiz-Torres E, López PA, López-Romero G. Caracterización y Rendimiento de Poblaciones de Maíz Nativas de Molcaxac, Puebla. Revista Fitotecnia Mexicana. 2009 Diciembre; 33(4): p. 287-296.
16. Singh P. Cereal Processing. Encyclopedia Británica. [Online].; 1996 [citado Septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/cereal-processing/Nonwheat-cereals#ref50113>.
17. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El maíz en la nutrición humana. [Online].; 1993 [citado en Mayo 2020]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/t0395s/t0395s00.htm>
18. Ognakossan KE, Mutungi CM, Otieno TO, Affognon HD, Sila DN, Owino WO. Quantitative and Quality Losses Caused by Rodents in On-Farm Stored Maize: a Case Study in the Low Land Tropical Zone of Kenya. Food Security. 2018 Noviembre; 10: p. 1525–1537.
19. Universidad Nacional Autónoma de México. Taller de Procesos Tecnológicos de Cereales del Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos. [Online].; 2013 [citado en Septiembre 2020]. Disponible en: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=25](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25).
20. World Food Crops: Corn. Oregon State University Extended Campus. [Online].; 2004 [citado en Julio 2020]. Disponible en: <https://oregonstate.edu/instruct/css/330/six/index.htm>.
21. Wolf MJ, Cutler HC, Zuber MS, Khoo U. Maize with Multilayer Aleurone of High Protein Content. Crop Science. 1972 Julio; 12(4): p. 440-442.

22. García-Lara S, Chuck-Hernandez C, Serna-Saldivar SO. Development and Structure of the Corn Kernel. En Serna-Saldivar SO, editor. Corn. 3ra ed. AACC International Press; 2019. p. 147-163.
23. Watson SA. Description, Development, Structure, and Composition of the Corn Kernel. En White PJ, Johnson LA, editores. Corn: Chemistry and Technology. 2da ed. American Association of Cereal Chemists; 2003. p. 69-106.
24. Serna-Saldivar SO, Perez Carrillo E. Food Uses of Whole Corn and Dry-Milled Fractions. En Serna-Saldivar SO, editor. Corn. 3ra ed. AACC International Press; 2019. p. 435-467.
25. Wang X, Larkins BA. Genetic Analysis of Amino Acid Accumulation in opaque-2 Maize Endosperm. Plant Physiology. 2001 Abril; 125(4): p. 1766-1777.
26. Wingen LU, Münster T, Faigl W, Deleu W, Sommer H, Saedler H, et al. Molecular Genetic Basis of Pod Corn (Tunicate maize). Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America. 2012 Mayo; 109(18): p. 7115-7120.
27. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Tiempo / Radiación UV. [Online]. [citado 2020 Mayo]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=radiacion-uv>.
28. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Informe Técnico: Estadísticas Ambientales. [Online]. 2020 [citado en Mayo 2020]. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/ambienbtalesene.pdf>.
29. Departamento de Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la FAO. Sistematización de Buenas Prácticas en la Comunidad de Caylloma, Distrito de Caylloma- Arequipa. [Online]. 2010 [citado en Mayo 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/al927s/al927s00.pdf>.
30. Eric B. Location of the province Caylloma in the Arequipa region in Peru (Mapa). 2008.
31. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. Informe de Evaluación del Riesgo por Lluvias Intensas en el Área de Influencia del Centro Poblado de Cabanaconde, Distrito de Cabanaconde, Provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa. 2017; 6(6): p. 135-173.
32. Mejía A. Actores sociales y gestión del agua en el valle del Colca, Caylloma. [Online]. [citado en Mayo 2020]. Disponible en: <http://www.desco.org.pe/recursos/site/files/CONTENIDO/9/12PeruHoy20006B.pdf>

33. Farfan Rodríguez LA. Identificación y Control de las Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Colca y Tributarios. Arequipa: Ministerio de Agricultura y Riego, Autoridad Nacional del Agua; 2017.
34. Robles MR. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Agricultura de Riego y Tradiciones en el Valle del Colca. Revista de Antrología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2000 (6)
35. Nelly H. Heladas perjudicaron la producción del maíz cabanita. Correo, Junio 2019.
36. Municipalidad Provincial de Castilla. Plan de Ordenamiento Territorial Provincia de Castilla 2008-2018. 2009.
37. Ranilla L, Huamán-Alvino C, Flores-Báez O, Aquino-Méndez E, Chirinos R, Campos D, Sevilla R, Fuentealba C, Pedreschi R, Sarkar D, Shetty K. 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. 2019 June; 56(6): p. 2909-2924.
38. Huaman Alvino CK. Caracterización de los Compuestos Fenólicos del Germoplasma de Maíz (*Zea mays* L.) Nativo de la Región Arequipa, Perú Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina; 2017.
39. Grupo de Gestion Empresarial Llanca. Instalación del Sistema de Riego Presurizado en el GGE Llanca - Sector Llanca, Distrito Choco, Provincia Castilla Region Arequipa. 2014.
40. Eric B. Location of the province Castilla in the Arequipa region in Peru (Mapa). 2009.
41. United Nations. Article 2. Use of Terms. En 8. Convention on Biological Diversity. Rio de Janeiro, 5 June 1992.
42. Ministerio de Agricultura y Riego. [Online]. 2015 [citado 26 de Marzo 2020]. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/50-sector-agrario/conservacion-de-los-rrnn/356-tipos-de->.
43. Taba S. Latin American Maize Germplasm Regeneration and Conservation: Proceedings of a Workshop held at Cimmyt, June 4-6, 1996. En Maize Program Special Report; 1997 Junio 4-6; Mexico, DF.: CIMMYT.
44. Salhuana WS. Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM): Logros y Perspectivas : 50° aniversario. In UNALM, editor. Lima; 2004. p. 188.

45. Anderson E, Cutler H. Races of *Zea Mays*: I. Their Recognition and Classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1942; 29(2): p. 69-88.
46. Camacho Villa TC, Maxted N, Scholten M, Ford-Lloyd B. Defining and Identifying Crop Landraces. *Plant Genetic Resources*. 2005 Diciembre; 3(3): 373-384.
47. Bonavia D. *Maize: Origin, Domestication, and its Role in the Development of Culture*. Cambridge University Press, editor. 2013.
48. Hidalgo O, Roca W, Fernández-Northcote EN, editores. *Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales. Casos: Algodón, Leguminosas de grano, Maíz y Papa*. Consejo Nacional del Ambiente. Lima; 2005.
49. Salhuana WM. Estado Actual de las Accesiones y Plan de Regeneración. En *Proceeding of the Regeneration Project PI Meeting*. CIMMYT. 2003.
50. Ministerio del Ambiente. Razas de maíz del Perú. [Online]. 2012 [citado el 29 de Marzo 2020]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/11927/razasmaizperu.pdf>.
51. Sevilla R, Chura J. Proceedings of a workshop held at CIMMYT, June 1-5, 1998. En *Tabla S*, editor. *Latin American Maize Germplasm Conservation: Core subset Development and Regeneration*. D.F; 1999.
52. Programa Cooperativo de Investigación en Maíz (PCIM). Catálogo del Germoplasma de Maíz del Perú. En *Catálogo de Recursos Genéticos de Maíz de Sudamérica*. 1986.
53. Grobman A, Salhuana W, Sevilla R. *Races of maize in Peru. Their Origins, Evolution and Classification*. Washington, D.C: National Academy of Science - National Research Council; 1961.
54. Vega MA. *Análisis Discriminantes para la Diferenciación de Razas de Maíz* [Tesis de pregrado]. UNALM. Lima; 1972.
55. Boudet AM. Evolution and Current Status of Research in Phenolic Compounds. *Phytochemistry*. Diciembre 2007; 68: p. 2722-2735.
56. Nicholson R, Hammerschmidt R. Phenolic Compounds and Their Role in Disease Resistance. *Annual Review of Phytopathology*. 1992; 30(1): p. 369-389.
57. Martín D. Los Compuestos Fenólicos: Un Acercamiento a su Biosíntesis, Síntesis y Actividad Biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Diciembre 2018; 9(1): p. 81-104.

58. Shahidi F, Naczk M. Biosynthesis, Classification, and Nomenclature of Phenolics in Food and Nutraceuticals. 2da ed. In Phenolics un Food and Nutraceuticals. 2003. p. 1-14.
59. Harborne J. Phenolic Compounds. Phytochemical Methods. 1973. p. 33-88.
60. Vuolo Morandi M, Silva Lima V, Morástica Junior MR. Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. In Bioactive Compounds. 2019. p. 33-50.
61. Winkel-Shirley B. Flavonoid Biosynthesis. A Colorful Model for Genetics, Biochemistry, Cell Biology, and Biotechnology. Plant Physiology. Junio 2001; 126(2): p. 485-493.
62. Yao LH, Jiang YM, Shi J, Tomás-Barberan FA, Datta N, Singanusong R, Chen SS. Flavonoids in Food and Their Health Benefits. Plant Foods for Human Nutrition. 2004; 59(3): p. 113-122.
63. Salinas Y, García C, Ramirez J, Alemán de la Torre I. Phenolic Compounds in Maize Grains and Its Nixtamalized Products. In Soto M, editor. Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications. 2017.
64. Khoddami A, Wilkes MA, Roberts TH. Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds. Molecules. 2013; 18(2): p. 2328-2375.
65. Liyana-Pathirana C, Shahidi F. Importance of Insoluble-Bound Phenolics to Antioxidant Properties of Wheat. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Enero 2006; 54(4): p. 1256-1264.
66. Su D, Zhang R, Hou F, Zhang M, Guo J, Huang F, et al. Comparison of the Free and Bound Phenolic Profiles and Cellular Antioxidant Activities of Litchi Pulp Extracts from Different Solvents. BMC Complementary and Alternative Medicine. 2014; 14(9).
67. Adom KK, Liu RH. Antioxidant Activity of Grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002; 50(21): p. 6182-6187.
68. Choi SW, Lee SK, Kim EO, Oh JH, Yoon SK, Parris N, Hicks KB, Moreau RA. Antioxidant and Antimelanogenic Activities of Polyamine Conjugates from Corn Bran and Related Hydroxycinnamic Acids. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Marzo 2007; 55(10): p. 3920-3925.
69. Das AK, Singh V. Antioxidative Free and Bound Phenolic Constituents in Pericarp, Germ and Endosperm of Indian Dent (*Zea mays* var. *indentata*) and flint (*Zea mays* var. *indurata*) Maize. Journal of Functional foods. Marzo 2015; 13: p. 363-374.
70. Guo W, Beta T. Phenolic Acid Composition and Antioxidant Potential of Insoluble and Soluble Dietary Fibre Extracts Derived from Select Whole-grain Cereals. Food Research International. 2013; 51(2): p. 518-525.

71. Kumar S, Sangwan S, Yadav R, Langyan S, Singh M. Maize Carotenoid Composition and Biofortification for Provitamin A Activity. En *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses*. 2013; p. 83-91.
72. Gallagher CE, Matthews PD, Li F, Wurtzel ET. Gene Duplication in the Carotenoid Biosynthetic Pathway Preceded Evolution of the Grasses. *Plant Physiology*. Julio 2004; 135: p. 1776-1783.
73. Britton G, Liaaen-Jensen S, Pfander H. *Carotenoids Handbook*. Boston: Birkhäuser Verlag; 2004.
74. Johnson EJ. A Biological Role of Lutein. *Food Reviews International*. Agosto 2004; 20(1): p. 1-16.
75. Rodriguez-Amaya DB, Kimura M. *Harvestplus Handbook for Carotenoid Analysis*; 2004.
76. Stahl W, Sies H. Antioxidant Activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*. Diciembre 2003; 24(6): p. 345-351.
77. Capocchi A, Bottega S, Spanò C, Fontanini D. Phytochemicals and Antioxidant Capacity in Four Italian Traditional Maize (*Zea mays* L.) Varieties. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. Diciembre 2016; 68(5): p. 515-524.
78. Kuhnen S, Menel PM, Campestrini LH, Ogliari JB, Dias PF, Maraschin M. Carotenoid and Anthocyanin Contents of Grains of Brazilian Maize Landraces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Julio 2011; 91(9): p. 1548-1553.
79. Žilic S, Serpen A, Akillioğlu G, Gökmen V, Vancětovic J. Phenolic Compounds, Carotenoids, Anthocyanins, and Antioxidant Capacity of Colored Maize (*Zea mays* L.) Kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Enero 2012; 60(5): p. 1224-1231.
80. Okarter N, Lui HR. Health Benefits of Whole Grain Phytochemicals. *Critical Review of Food Science and Nutrition*. Marzo 2010; 50(3): p.193-208.
81. Pedreschi R, Cisneros-Zevallos L. Antimutagenic and Antioxidant Properties of Phenolic Fractions from Andean Purple Corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Junio 2006; 54(13).
82. Lui RH. Whole Grain Phytochemicals and Health. *Journal of Cereal Science*. Noviembre 2007; 46(3): p. 207-219.

83. Palafox-Carlos H, Ayala-Zavala JF, Gonzáles-Aguilar GA. The Role of Dietary Fiber in the Bioaccessibility and Bioavailability of Fruit and Vegetable Antioxidants. *Journal of Food Science*. Enero 2011; 76(1): p. 6-15.
84. Li J, Kang MK, Kim JK, Kim JL, Kang SW, Lim SS, Kang YH. Purple Corn Anthocyanins Retard Diabetes-associated Glomerulosclerosis in Mesangial Cells and db/db mice. *European Journal of Nutrition*. Diciembre 2012; 51(8): p. 961-973.
85. Luna-Vital D, Weiss M, Gonzales de Mejia E. Anthocyanins from Purple Corn Ameliorated Tumor Necrosis Factor- $\alpha$ -Induced Inflammation and Insulin Resistance in 3T3-L1 Adipocytes via Activation of Insulin Signaling and Enhanced GLUT4 Translocation. *Molecular Nutrition & Food Research*. Julio 2017; 61(12).
86. Nile SH, Park SW. Antioxidant,  $\alpha$ -glucosidase and Xanthine Oxidase Inhibitory Activity of Bioactive Compounds from Maize (*Zea mays* L.). *Chemical Biology and Drug Desing*. Agosto 2013; 83(1): p. 119-125.
87. Gonzáles-Muñoz A, Quesille-Villalobos AM, Fuentealba C, Shetty K, Ranilla L. 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*. Noviembre 2013; 61(46): p. 10995-11007.
88. Lee CH, Garcia HS, Parkin KL. Bioactivities of Kernel Extracts of 18 Strains of Maize (*Zea mays*). *Journal of Food Science*. Octubre 2010; 75(8): p. 667-672.
89. Sies H. Biochemistry of Oxidative Stress. *Angewandte Chemie International*. 1986; 25(12): p. 1058-1071.
90. Clinton SK. Lycopene: Chemistry, Biology, and Implications for Human Health and Disease. *Nutrition Reviews*. Febrero 1998; 56(2): p. 35-51.
91. Mozaffarieh M, Sacu S, Wedrich A. The Role of the Carotenoids, Lutein and Zeaxanthin, in Protecting Against Age-related Macular Degeneration: A review Based on Controversial Evidence. *Nutrition Journal*. Diciembre 2003; 2(20).
92. Landrum J, Bone R. Lutein, Zeaxanthin, and the Macular Pigment. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. Enero 2001; 385(1): p. 28-40.
93. Eisenhauer B, Natoli S, Liew G, Flood V. Lutein and Zeaxanthin—Food Sources, Bioavailability and Dietary Variety in Age-Related Macular Degeneration Protection. *Nutrients*. Febrero 2017; 9(2).



94. Masisi K, Diehl-Jones WL, Gordon J, Chapman D, Mohammed MH, Beta T. Carotenoids of Aleurone, Germ, and Endosperm Fractions of Barley, Corn and Wheat Differentially Inhibit Oxidative Stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Febrero 2015; 63(10): p. 2715-2724.
95. Kljak K, Grbeša D. Carotenoid Content and Antioxidant Activity of Hexane Extracts from Selected Croatian Corn Hybrids. *Food Chemistry*. Enero 2015; 165: p. 402-408.
96. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Cereales y Menestras. Determinación del Contenido de Humedad. Método usual. 2016.
97. Liu J, Huang J, Guo H, Lan L, Wang H, Xu Y, et al. The Conserved and Unique Genetic Architecture of Kernel Size and Weight in Maize and Rice. *Plant Physiology*. Agosto 2017; 175(2): p. 774-785.
98. Ranilla L, Ashish C, Sakar D, Shetty K, Chirinos R, Campos D. 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*. Noviembre 2017; 82(12): p. 2968-2976.
99. Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. Enero 1965; 16(3): p. 144-158.
100. Fuentealba C, Ranilla L, Cobos A, Olaeta JA, Defilippi BG, Chirinos R, Campos D, Pedreschi R. 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*. Enero 2016; 190: p. 403-411.
101. Egesel CO, Wong JC, Lambert RJ, Rocheford TR. Combining Ability of Maize Inbreds for Carotenoids and Tocopherols. *Crop Science*. Mayo 2003; 43(3): p. 818-823.
102. Rivera S, Canela R. Influence of Sample Processing on the Analysis of Carotenoids in Maize. *Molecules*. Septiembre 2012; 17(09): p. 11255-11268.
103. Trehan S, Singh N, Kaur A. Characteristics of White, Yellow, Purple Corn Accessions: Phenolic Profile, Textural, Rheological Properties and Muffin Making Potential. *Journal of Food Science and Technology*. Abril 2018; 55(6): p. 2334-2343.
104. Yilmaz VA. Investigation of Bioactive Compounds and Antioxidant Capacities of Various Cereal Products. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*. Marzo 2019; 36(1): p. 10-12.

105. Ranilla L, Huamán-Alvino C, Flores-Báez O, Aquino-Méndez EM, Chirinos R, Campos D, et al. 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*. Mayo 2019; 56: p. 2909-2924.
106. Fuentealba C, Quesille-Villalobos AM, González-Muñoz A, Saavedra Torrico J, Shetty K, Ranilla L. Optimized Methodology for the Extraction of Free and Bound Phenolic Acids from Chilean Cristalino corn (*Zea mays* L.) accession. *CyTA - Journal of Food*. Agosto 2016; 15(1): p. 91-98.
107. Fabila-Garca P, Dublán-García O, Gómez-Oliván L, Baeza-Jiménez R, López-Martínez L. In Vitro Antioxidant and Bioactive Properties of Corn (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Octubre 2017; 67(4).
108. Herrera-Sotero M, González-Cortés F, García-Galindo H, Juárez-Aguilar E, Rodríguez Dorantes M, Chávez-Servia J, Oliart-Ros R, Guzmán-Gerónimo Rosa. Anthocyanin Profile of Red Maize Native from Mixteco Race and Their Antiproliferative Activity on Cell Line DU145. In Justino C. *Flavonoids - From Biosynthesis to Human Health*. 2017.
109. Bento-Silva A, Duarte N, Mecha E, Belo M, Patto MC, Bronze MR. Hydroxycinnamic Acids and Their Derivatives in Broa, a Traditional Ethnic Maize Bread. *Foods*. 2020; 9(10).
110. Macoy DM, Kim WY, Lee SY, Kim MG. Biosynthesis, Physiology, and Functions of Hydroxycinnamic Acid Amides in Plants. *Plant Biotechnology Journal*. Agosto 2015; 9: p. 269-278.
111. Li Z, Zhao C, Zhao X, Xia Y, Sun X, Xie W, Ye Y, Lu X, Xu G. Deep Annotation of Hydroxycinnamic Acid Amides in Plants Based on Ultra-High-Performance Liquid Chromatography–High-Resolution Mass Spectrometry and Its In Silico Database. *Analytical Chemistry*. Noviembre 2018; 90(24): p. 14321–14330.
112. Collison A, Yang L, Dykes L, Murray S, Awika JM. Influence of Genetic Background on Anthocyanin and Copigment Composition and Behavior During Thermoalkaline Processing of Maize. *Journal of agriculture and Food Chemistry*. Mayo 2015; 63(22): p. 5528-5538.
113. Jia Y, He Y, Lu F. The Structure-antioxidant Activity Relationship of Dehydrodiferulates. *Food Chemistry*. Diciembre 2018; 269: p. 480-485.

114. Kolniak-Ostek J, Kita A, Peksa A, Wawrzyniak A, Hamułka J, Jeznach M, Danilčenko H, Jarienè, E. Analysis of the content of bioactive compounds in selected flours and enriched extruded corn products. *Journal of Food Composition and Analysis*. Agosto 2017; 64(2): p. 147-155.
115. Vazquez-Olivo G, López-Martínez L, Contreras-Angulo L, Heredia B. Antioxidant Capacity of Lignin and Phenolic Compounds from Corn Stover. *Waste and Biomass Valorization*. Julio 2017; 10(3).
116. Adom KK, Sorrells ME, Liu HR. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *Journal of agricultural and food chemistry*. Diciembre 2003; 51(26): p. 7825-7834.
117. Naczk M, Shahidi F. Extraction and Analysis of Phenolics in Food. *Journal of Chromatography A*. Octubre 2004; 1054(1-2): p. 95-111.
118. Datos Hidrometeorológicos en Arequipa. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. [Online]. [citado en Octubre 2020]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=estaciones>.
119. Blumthaler M, Ambach W, Ellinger R. Increase in Solar UV Radiation with Altitude. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1997 Junio; 39(2): p. 130-134.
120. Cora O, Echeandía A. Evaluación y Pronóstico de la Radiación Ultravioleta-b en las Ciudades de Lima, Arequipa, Cajamarca y Puno Setiembre-October 2007. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 2007.
121. Organización Mundial de la Salud, 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*. 2003.
122. Shamloo M, Babawale EA, Furtado A, Henry J, Eck PK, Jones JH. Effects of Genotype and Temperature on Accumulation of Plant Secondary Metabolites in Canadian and Australian Wheat Grown Under Controlled Environments. *Scientific Reports*. Agosto 2017; 7(9133).
123. Posmyk MM, Bailly C, Szafrńska K, Janas KM, Corbinau F. Antioxidant Enzymes and Isoflavonoids in Chilled Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Seedlings. *Journal of Plant Physiology*. Abril 2005; 162(4): p. 403-412.
124. Naikoo M, Dar M, Raghieb F, Jaleel H, Ahmad B, Raina A, Khan FA, Naushin F. Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance: An Overview. In Khan

- MIR, Ferrante A, Reddy SP, Khan NA. Plant Signaling Molecule: Role and Regulation under Stressful Environments. 2019; p. 157-168.
125. Pereira A. Plant Abiotic Stress Challenges from the Changing Environment. *Frontiers in Plant Science*. Julio 2016; 7: p. 1123.
  126. Andersen CP. Source-sink Balance and Carbon Allocation Below Ground in Plants Exposed to Ozone. *New Phytologist*. Enero 2003; 157(2): p. 213-228.
  127. Lattanzio V, Cardinali A, Ruta C, Fortunato IM, Lattanzio VM, Linsalata V, Cicco N. Relationship of Secondary Metabolism to Growth in Oregano (*Origanum vulgare* L.) Shoot Cultures Under Nutritional Stress. *Environmental and Experimental Botany*. Enero 2009; 65(1): p. 54-62.
  128. Winkel-Shirley B. Biosynthesis of Flavonoids and Effects of Stress. *Current Opinion in Plant Biology*. Junio 2002; 5(3): p. 218-223.
  129. Parvaiz A, Maryam S, Satyawati S. Reactive Oxygen Species, Antioxidant and Signaling in Plants. *Journal of Plant Biology*. 2008; 51(3): p. 167-173.
  130. Gould KS, Lister C. Flavonoid Functions in Plants. In Endersen ØM, Markham KR. *Flavonoids - Chemistry, Biochemistry and Applications*. Boca Raton: Taylor & Francis; 2006. p. 397-411.
  131. Cheynier V, Comte G, Davies KM, Lattanzio V, Martens S. Plant Phenolics: Recent Advances on their Biosynthesis, Genetics, and Ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*. Noviembre 2013; 72: p. 1-20.
  132. Logemann E, Tavernaro A, Schulz W, Somssich IE, Hahlbrock K. UV Light Selectively Coinduces Supply Pathways from Primary Metabolism and Flavonoid Secondary Product Formation in Parsley. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Febrero 2000; 97(4): p. 1903-1907.
  133. Koes RE, Spelt CE, Mol JN. The Chalcone Synthase multigene family of *Petunia Hybrid* (V30): Differential, Light Regulated Expression During Flower Development and UV Light Induction. *Plant Molecular Biology*. Febrero 1989; 12(2): p. 213-225.
  134. Blum O. Effect of UV-B Radiation on Some Cereals. *BCM Plant Biology*. Mayo 2005; 5(1).
  135. Akula L, Ravinshakar GA. Influence of Abiotic Stress Signals on Secondary Metabolites in Plants. *Plant Signaling & Behavior*. Noviembre 2011; 51(3): p. 1720-1731.

136. Griffith M, Yaish MW. Antifreeze Proteins in Overwintering plants: a tale of two activities. *Trends in Plant Science*. Agosto 2004; 9(8): p. 399-405.
137. Petrova Chimonyo , Snapp SS, Chikowo. Grain Legumes Increase Yield Stability in Maize Based Cropping Systems. *Crop Science*. Mayo 2019; 59(3): p. 1222-1235.
138. Uzoh IM, Igwe C, Okebalama C, Babalola OO. Legume-maize Rotation Effect on Maize Productivity and Soil Fertility Parameters Under Selected Agronomic Practices in a Sandy Loam Soil. *Scientific Reports*. Junio 2019; 9(8539).
139. Gentili A, Caretti F. Evaluation of a Method Based on Liquid Chromatography-diode Array Detector-tandem Mass Spectrometry for a Rapid and Comprehensive Characterization of the Fat-soluble Vitamin and Carotenoid Profile of Selected Plant Foods. *Journal of Chromatography A*. Febrero 2011; 1218(5): p. 684-697.
140. Uarrota VG, Severino RB, Malinowsky C, Kobe de Oliveira S, Kuhnen S, Yunes RA, Maraschin M. 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*. Octubre 2014; 38(6).
141. Abdel-Aal EM, Young C, Rabalski I, Hucl P, Fregeaud-Reid J. Identification and Quantification of Seed Carotenoids in Selected Wheat Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Febrero 2007; 55(3): p. 787-794.
142. Moros EE, Darkono D, Cheryan M, Perkins EG, Jerrell J. Analysis of Xanthophylls in Corn by HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002; 50(21): p. 5787-5790.
143. Sukto S, Lomthaisong K, Sanitchon J, Chankaew , Scott MP, Lübberstedt T, Lertrat K, Suriharn B. Variability in Prolificacy, Total Carotenoids, Lutein, and Zeaxanthin of Yellow Small-Ear Waxy Corn Germplasm. *International Journal of Agronomy*. Noviembre 2020.
144. Anuchita M, Amaraphon , Wariya H. Changes of Phytochemical Contents in Sweet and Waxy Corn (*Zea mays* L.) as Affected by Cultivars and Growth Stages. *Current Nutrition & Food Science*. 2020; 16(2): p. 162-169.
145. Menkir A, Liu W, White WS, Maziya-Dixon , Rocheford T. Carotenoid Diversity in Tropical-adapted Yellow Maize Inbred Lines. *Food Chemistry*. Enero 2008; 109(3): p. 521-529.
146. Hwuang T, Ndolo VU, Katundu M, Nyirenda B, Bezner-Kerr R, Arntfield S, Beta T. Provitamin A Potential of Landrace Orange Maize Variety (*Zea mays* L.) Grown in

- Different Geographical Locations of Central Malawi. *Food Chemistry*. Abril 2016; 196: p. 1315-1324.
147. Liu H, Mao J, Yan S, Yu Y, Xie L, Hu JG, Li T, Abbassi AM, Guo X, Liu RH. Evaluation of Carotenoid Biosynthesis, Accumulation and Antioxidant Activities in Sweetcorn (*Zea mays* L.) During Kernel Development. *International Journal of Food Science & Technology*. Octubre 2017; 53(2).
148. Xiang N, Wen T, Yu B, Li G, Li C, Li W, et al. Dynamic Effects of Post-harvest Preservation on Phytochemical Profiles and Antioxidant Activities in Sweet Corn Kernels. *International Journal of Food Science & Technology*. Septiembre 2020; 55(9): p. 3111-3122.
149. Baseggio M, Murray M, Magallanes-Lundback M, Kaczmar N, Chamness J, Buckler ES, Smith ME, DellaPenna D, Tracy WF, Gore MA. Natural Variation for Carotenoids in Fresh Kernels is Controlled by Uncommon Variants in Sweet Corn. *Plant Genome*. Abril 2020; 13(1).
150. Abdel-Aal EM, Young CJ, Rabalski I. Anthocyanin Composition in Black, Blue, Pink, Purple, and Red Cereal Grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Junio 2006; 54(13): p. 4696-4704.
151. De Oliveira GP, Rodriguez-Amaya DB. Processed and Prepared Corn Products as Sources of Lutein and Zeaxanthin: Compositional Variation in the Food Chain. *Journal of Food Science*. Febrero 2007; 72(1): p. 79-85.
152. Monge-Rojas R, Campos H. Tocopherol and Carotenoid Content of Foods Commonly Consumed in Costa Rica. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2011; 24(2): p. 202-216.
153. Scott CE, Eldridge AL. Comparison of Carotenoid Content in Fresh, Frozen and Canned Corn. *Journal of Food Composition and Analysis*. Mayo 2005; 18(6): p. 551-559.
154. Ibrahim KE, Juvik JA. Feasibility for Improving Phytonutrient Content in Vegetable Crops Using Conventional Breeding Strategies: Case Study with Carotenoids and Tocopherols in Sweet Corn and Broccoli. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Junio 2009; 57(11): p. 4636-4644.
155. Kurilich AC, Juvik JA. Quantification of Carotenoid and Tocopherol Antioxidants in *Zea mays*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Abril 1999; 47(5): p. 1948-1955.

156. Weber EJ. Carotenoids and Tocols of Corn Grain Determined by HPLC. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. Agosto 1987; 67(8): p. 1129-1134.
157. Hock-Eng K, Nagendra P, Kin-Weng K, Yueming J, Ismail A. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. *Molecules*. Febrero 2011; 16(2): p. 1710-1738.
158. Parker RS. Absorption, metabolism, and transport of carotenoids. *The Journal of Federation of American Societies for Experimental Biology*. Abril 1996; 10(5): p. 542-551.
159. Böhm V, Puspitasari-Nienaber NL, Ferruzzi MG, Schwartz SJ. Trolox Equivalent Antioxidant Capacity of Different Geometrical Isomer of Carotene, Lycopene, and Zeaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Enero 2002; 50(1): p. 221-226.
160. Chen BH, Tang YC. Processing and Stability of Carotenoid Powder from Carrot Pulp Waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Mayo 1998; 46(6): p. 2312-2318.
161. Goula AM, Adamopoulos KG, Chatzitakis PC, Nikas VA. Prediction of Lycopene Degradation During a drying Process of Tomato Pulp. *Journal of Food Engineering*. Mayo 2006; 74(1): p. 37-46.
162. Waché Y, Bosser-DeRatuld , Lhuguenot JC, Belin JM. Effect of cis/trans Isomerism of  $\beta$ -Carotene on the Ratios of Volatile Compounds Produced during Oxidative Degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Febrero 2003; 51(7): p. 1984-1987.
163. Aman R, Biehl , Carle , Conrad , Beifuss U, Schieber. Application of HPLC Coupled with DAD, APcI-MS and NMR to the Analysis of Lutein and Zeaxanthin Stereoisomers in Thermally Processed Vegetables. *Food Chemistry*. Octubre 2005; 92(4): p. 753-763.
164. Khoo HE, Prasad KN, Kong KW, Jiang Y, Ismail A. Carotenoids and Their Isomers: Color Pigments in Fruits and Vegetables. *Molecules*. Febrero 2011; 16(2): p. 1710-1738.
165. Ndolo VU, Beta T. Distribution of Carotenoids in Endosperm, Germ, and Aleurone Fractions of Cereal Grain Kernels. *Food Chemistry*. Agosto 2013; 139(1-4): p. 663-671.
166. Tefera T, Kanampiu F, De Groote H, Hellin J, Mugo S, Kimenju S, Beyene Y, Boddupalli PM, Shiferaw B, Banziger M. The Metal Silo: An Effective Grain Storage Technology for Reducing Post-Harvest Insect and Pathogen Losses in Maize While Improving Smallholder Farmers' Food Security in Developing Countries. *Crop Protection*. Marzo 2011; 30(3): p. 240-245.

167. Yakubu A, Bern CJ, Coats JR, Bailey TB. Hermetic On-farm Storage for Maize Weevil Control in East Africa. *African Journal of Agricultural Research*. Julio 2011; 6(14): 3311-3319.
168. Taleon V, Mugode L, Cabrera-Soto L, Palacios-Rojas N. Carotenoid Retention in Biofortified Maize Using Different Post-Harvest Storage and Packaging Methods. *Food Chemistry*. Octubre 2017; 1(232): p. 60-66.
169. Weiwei H, Wang Y, Dai Z, Liu C, Xiao Y, Wei Q, Song J, Li D. Effect of UV-B Radiation and a Supplement of CaCl<sub>2</sub> on Carotenoid Biosynthesis in Germinated Corn Kernels. *Food Chemistry*. Abril 2019; 278: p. 509-514.
170. Xie X, He Z, Chen N, Tang , Wang , Cai Y. The Roles of Environmental Factors in Regulation of Oxidative Stress in Plant. *BioMed Research International*. 2019.
171. Shen J, Jiang CQ, Yan YF, Liu BR, Zu CL. Effect of Increased UV-B Radiation on Carotenoid Accumulation and Total Antioxidant Capacity in Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves. *Genetics and Molecular Research*. Marzo 2017; 16(1).
172. Ngamwonglumlert L, Devahastin S, Chiewchan N, Raghavan V. Plant Carotenoids Evolution During Cultivation, Postharvest Storage, and Food Processing: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Julio 2020; 19(4): p. 1561:1604.
173. Gaberščik A, Vončinab M, Trošt T, Germa M, Björnc L. Growth and Production of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) Treated with Reduced, Ambient, and Enhanced UV-B Radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. Febrero 2002; 66(1): 30-36.
174. Lorenzo JM, Munekata PE. Dietary Carotenoids for Reduction of Cancer Risk. In Atta-ur-Rahman , editor. *Studies in Natural Products Chemistry*.



## ANEXOS

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



**Access and Benefit-Sharing Clearing-House (ABSCH)**

---

graria

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](mailto: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:

La USUARIA tiene derecho a acceder a los recursos genéticos de maíz (*Zea mays*), para el cumplimiento de los objetivos del proyecto: "Análisis metabólico 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", 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.

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.

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.

### Conditions for third party transfer:

La USUARIA no debe transferir los recursos genéticos y sus derivados objeto del contrato a terceros, sin la autorización de la AAE. (7.6)

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).

En el caso excepcional que la USUARIA requiera la salida del material genético, deberá gestionar ante la AAE la autorización correspondiente.

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.

## 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.** Razas de maíz en el Perú, distribución geográfica y altitud (primera aproximación).

Grupos de razas	Nº	Raza	Distribución geográfica	Altitud m.s.n.m.
<b>Razas Primitivas</b>	1	Confite Morocho	Ayacucho, Huancavelica y Junín	2500-3000
	2	Confite Puntigudo	Cajamarca, La Libertad, Ancash, Junín, Apurímac y Ayacucho	2500-3500
	3	Kculli	Junín, Huancavelica, Apurímac, Cuzco y Cajamarca	> 3000
	4	Confite Puneño	Meseta del Collao, alrededor del Lago Titicaca	3600-3900
	5	Enano	Madre de Dios	270
<b>Razas derivadas de las primitivas</b>	6	Huayleño	Callejón de Huaylas, Ancash, Canta	2500-3600
	7	Chullpi	Cuzco, Apurímac, Huancavelica y Ayacucho	2400-3400
	8	Granada	Ancash, Junín y Huancavelica	2600-3300
	9	Paro	Apurímac, Ayacucho y Huancavelica	2600-3300
	10	Morocho	Junín, Cerro de Pasco, Ayacucho y Apurímac	2000-3500
	11	Huancavelicano	Huancavelica, Apurímac, Cuzco, Ayacucho, Junín y norte de Ancash	2200-3500
	12	Mochero	Lambayeque, Piura, valle de Moche de la Libertad e Ica	25-50
	13	Pagaladroga	Trujillo y Piura	10-500
	14	Chaparreño	Valles situados alrededor del río Tambo en Arequipa y Rímac en Lima	10-500
	15	Rabo de Zorro	Valle del río Marañón en los departamentos de Ancash y La Libertad	2600-3200
	16	Piricinco	Madre de Dios, valles de los ríos Urubamba, Huallaga y Ucayali	150-940
	17	Ancashino	Ancash	2700-3100
	18	Shajatu	Ancash y La Libertad	2300-2800
	19	Alazan	La Libertad, Lambayeque y Piura	15-100
	20	Sabanero	Cajamarca	2500
	21	Uchuquilla	Puno y Cuzco	2000-2500
	22	Cuzco Cristalino amarillo	Cuzco y Apurímac	3000-3500
	23	Cuzco	Cuzco, Cajamarca, Junín, Huancavelica y Ancash	2400-3300
	24	Pisccorunto	Apurímac y Cuzco	3000
<b>Razas de reciente derivación</b>	25	Arequipeño	Valles de Ocoña, Sihuas, Vitor y Tambo en el departamento de Arequipa	1000-2000
	26	Huachano	Lima	45

	27	Chancayano	Lima	< 200
	28	San Gerónimo Huancavelicano	Huancavelica y norte de Junín	2500-3500
	29	Perla	Valles Chancay, Huaura, Pativilca y Casma del departamento de Lima	10-900
	30	Rienda	Ancash y La Libertad	10-500
	31	Marañón	Ancash, Huánuco y La Libertad	2000-3000
	32	Chimlos	Cuzco y Huánuco	1500-1250
	33	Cuzco Gigante	Cuzco	2800
<b>Razas introducidas</b>	34	Pardo	Lima	10-800
	35	Alemán	Huánuco	700-2200
	36	Chuncho	Cusco	1300-1800
	37	Arizona	Tumbes, La Libertad, Ayacucho	25-2200
	38	Cubano dentado amarillo	Selva peruana	
<b>Razas incipientes</b>	39	Jora	Ancash	
	40	Coruca	Tacna	
	41	Morocho Cajabambino	Cajamarca y Amazonas	
	42	Morado Canteño	Lima	1900-2300
	43	Sarco	Áncash	
<b>Razas imperfectamente definidas</b>	44	Perlilla	Huánuco	
	45	Tumbesino	Tumbes	
	46	Colorado	Valles de la costa norteña peruana	
	47	Ajaleado	Ancash	
	48	San Gerónimo	Huancayo en la región de Junín	3200
	49	Chancayano Amarillo	Valles de Chancay, Huaura y Rimac-Chillon del departamento de Lima	
	50	Amarillo Huancabamba	Piura	1800-2400
	51	Huarmaca		1100-2700
	52	Blanco Ayabaca	Piura	2300-2700

Fuente: Estado actual de las accesiones y plan de regeneración. Wilfredo Salhuana, 2003.

**Anexo 3.** Razas de maíz en el Perú y su distribución geográfica (segunda aproximación).  
(7)

N°	Raza	Departamento
1	Alazán	Ancash, Lambayeque, Piura
2	Alemán	Huánuco
3	Amarillo huancabamba	Cajamarca, La Libertad, Lambayeque, Piura
4	Ancashino	Ancash, Huánuco, La Libertad
5	Arequipeño	Arequipa, Ica, Tacna
6	Arizona	Amazonas, Cajamarca, La Libertad, Lambayeque, Piura
7	Blanco harinoso	Amazonas, Cajamarca, Huánuco, Lambayeque, Pasco, Piura
8	Blanco semidentado	Amazonas, Cajamarca, Lambayeque, San Martín
9	Cabanita	Arequipa, Moquegua, Tacna
10	Canchero Norteño	Cajamarca, Huánuco
11	Chancayano	Ica, Lima
12	Chaparreño	Arequipa, Ica
13	Chullpi	Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Junín, La Libertad, Lambayeque, Lima
14	Colorado	Piura
15	Confite	Apurímac
16	Confite morocho	Ayacucho, Puno
17	Confite puneño	Puno
18	Confite puntiagudo	Ancash, Apurímac, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Tacna
19	Coruca	Arequipa, Moquegua, Tacna
20	Cubano amarillo	Amazonas, Apurímac, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Junín, Lambayeque, Loreto, Madre de Dios, Pasco, Piura, San Martín, Ucayali
21	Cusco	Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, Lima, Moquegua, Pasco, Puno, Tacna
22	Cusco cristalino amarillo	Apurímac, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Moquegua, Puno
23	Cusco gigante	Ayacucho, Cusco
24	Granada	Ancash, Apurímac, Cusco, Junín, Moquegua
25	Granada Blanco	Arequipa, Cusco, Moquegua
26	Huachano	Ica, La Libertad, Lambayeque, Lima, Piura, Tumbes
27	Huancavelicano	Huancavelica, Huánuco, La Libertad, Pasco
28	Huarmaca	Lambayeque, Piura
29	Huayleño	Ancash, Huancavelica
30	Kculli	Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, La Libertad, Lambayeque, Lima, Moquegua, Tacna
31	Lambayeque	Lambayeque
32	Marañón	Amazonas, Huánuco, La Libertad
33	Mochero	La Libertad, Lambayeque, Piura
34	Morocho	Amazonas, Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, La Libertad, Lambayeque, Lima, Pasco
35	Morocho cajabambino	Cajamarca
36	Morocho norteño	Cajamarca
37	Pagaladroga	Moquegua
38	Pardo	La Libertad, Lima
39	Paro	Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, Lambayeque, Pasco
40	Perla	La Libertad, Lima



41	Piricincó	Loreto, San Martín, Ucayali
42	Piscorunto	Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Lima, Moquegua, Pasco, Puno, Tacna
43	Rabo de zorro	Ancash
44	Rienda	Amazonas, Lambayeque, Piura, Tumbes
45	Sabanero	Amazonas, Cajamarca, La Libertad, Lambayeque, Loreto, San Martín, Ucayali
46	San Gerónimo	Apurímac, Junín
47	San Gerónimo Huancavelicano	Apurímac, Huancavelica, Huánuco, Junín, Pasco
48	Shajatu	Ancash, La Libertad, Lambayeque
49	Tumbesino	Piura
50	Tusilla	Amazonas, Cajamarca, Loreto, Piura, San Martín, Ucayali
51	Uchuquilla	Puno, Uchuquilla
52	Umutu	Cajamarca, Lambayeque

Fuente: Línea Base de la Diversidad Genética del Maíz Peruano con Fines de Bioseguridad. Ministerio del Ambiente Perú, 2018.

**Anexo 4.** Estaciones meteorológicas cercanas a los puntos de colección y las temperaturas mínimas y máximas registradas durante el periodo de crecimiento del maíz Cabanita analizado.

Estación	Cabanaconde		Andahua		Chachas	
Departamento	Arequipa					
Provincia	Caylloma		Castilla		Castilla	
Distrito	Cabanaconde		Andagua		Chachas	
Latitud/longitud	15°37'21.34 "	71°58'26.71 "	15°30'3.24 "	72°21'18.35 "	15°30'8.72 "	72°16'6.68 "
Tipo	CO - Meteorológica		CO - Meteorológica		CO - Meteorológica	
Código	115041		115085		115087	
Altitud (m.s.n.m.)	3333		3562		3071	
Mes/Año	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Ago-18	19.42	5.07	18.22	2.79	20.33	5.01
Set-18	19.89	5.63	18.85	3.60	21.27	5.28
Oct-18	19.23	5.89	17.78	4.18	20.60	6.90
Nov-18	19.83	6.37	18.25	4.53	20.98	7.45
Dic-18	19.90	6.64	18.70	5.21	21.89	8.59
Ene-19	18.94	7.83	17.27	5.81	20.62	9.41
Feb-19	17.68	7.82	16.04	6.00	19.23	9.47
Mar-19	18.23	7.50	17.23	5.85	20.45	9.41
Abr-19	18.99	6.98	17.58	5.08	20.28	8.23
May-19	19.62	5.90	17.77	3.85	20.33	6.34
<b>Promedio</b>	19.17	6.56	17.77	4.69	20.60	7.61

Fuente: SENAMHI

**Anexo 5.** Condiciones geográficas, climáticas y manejo agronómico de maíz Cabanita cultivado en la provincia de Caylloma según información proporcionada por los agricultores.

Parámetros	Código							
	CRR y CAA		CAB y CAR		CLA	COM	CHB	
<b>Fecha</b>	28 de mayo del 2019							
<b>Hora</b>	10:05		10:41		11:53	12:04	15:11	
<b>Condiciones Geográficas</b>	<b>Distrito</b>	Cabanaconde						
	<b>Lugar de cultivo</b>	Cusqui		Auqui		Liguay	Occollina	Huanccce
	<b>Terreno de muestreo</b>	Lote		Lote		Lote	Lote	Lote
	<b>Coloración</b>	Rojo	Amarillo	Blanco	Rojo	Amarillo	Amarillas-anaranjadas	Blanco
	<b>Tipos</b>	R	A	B	R	A	M	B
	<b>Puntos de muestreo</b>	5	4	3	3	4	10	6
<b>Coordenadas GPS</b>	S:15°37'30.9" W:72°00'04.1"		S:15°37'0.5.6" W:72°00'37.8"		S:15°38'01.6" W:71°58'49.0"	S:15°37'41.6" N:71°58'49.5"	S:15°36'56.4" W:71°58'19.5"	
<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	2964		3110		3266	3310	3332	
<b>Condiciones climáticas medidas durante la colecta</b>	<b>Temperatura (C°)</b>	20.7		25.8		26.8	29.3	26
	<b>Humedad Relativa (%)</b>	30		26		21	20	21
	<b>Índice UV</b>	9.5		10		10	10	7.5
<b>Cultivos</b>	<b>Cercanos</b>	No		No		No	No	No
	<b>Previos</b>	No		No		No	No	No
	<b>Asociados</b>	No		No		No	No	No
<b>Semilla</b>	<b>Tratamiento</b>	Secado y selección		Secado y selección		Secado y selección	Secado y selección	Secado y selección
	<b>Procedencia</b>	Rotación campiña		Rotación campiña		Rotación campiña	Rotación campiña	Rotación campiña
<b>Siembra</b>	<b>Preparación del terreno</b>	Limpieza, fertilización orgánica con estiércol, Arado, Reposo, Riego, Aporque		Limpieza, Fertilización orgánica con estiércol, Arado, Reposo, Riego, Aporque		Limpieza, Arado, Fertilización orgánica con estiércol, riego	Reposo, Arado, Reposo, Fertilización orgánica con humus, Riego	Reposo, Fertilización orgánica con estiércol, compost, humus y Biol, Arado
	<b>Mes</b>	Setiembre 2018		Setiembre 2018		Setiembre 2018	Setiembre 2018	Agosto 2018
	<b>Tipo</b>	Surcado con animales		Surcado con animales		Manual	Manual	Surcado con animales

**Anexo 6.** Desarrollo de la planta y manejo post cosecha aplicado durante el cultivo de maíz Cabanita en la provincia de Caylloma según información proporcionada por los agricultores

Desarrollo de la planta						
Crecimiento	Parámetros	Código				
		CCR y CCA	CAB y CAR	CLA	COM	CHB
	Tiempo (meses)	8	8	8	8	8
	Uso de herbicidas	A veces	A veces	No	No	No
	Uso de fertilizantes	No	No	No	Biol aveces	Biol y compost
Presencia de Malezas	Antes	Tembladera ( <i>Briza minor</i> ), Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)	Tembladera ( <i>Briza minor</i> ), Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)	Tembladera ( <i>Briza minor</i> ), Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)	No	Tembladera ( <i>Briza minor</i> ), Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)
	Ahora	Tembladera ( <i>Briza minor</i> ), Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)	Tembladera ( <i>Briza minor</i> ), Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)	Tembladera ( <i>Briza minor</i> ), Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)	Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)	Tembladera ( <i>Briza minor</i> ), Trébol carretilla ( <i>Medicago lupulina</i> L.)
	Control	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Presencia de plagas	Antes	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ) y Gorgojo ( <i>Sitophilus granarius</i> )
	Ahora	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ) y Gorgojo ( <i>Sitophilus granarius</i> )
	Control	Inundación	Inundación	Inundación	Inundación	Inundación
Riego	Procedencia del agua	Canal de Majes	Canal de Majes	Canal de Majes	Canal de Majes y deshielo del nevado Hualca Hualca	Canal de Majes
	Tipo	Gravedad	Gravedad	Gravedad	Gravedad	Gravedad
Cosecha	Mes	Mayo 2019	Mayo 2019	Mayo 2019	Mayo 2019	Mayo 2019
	Tipo	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Descanso de tierra	Tiempo (meses)	4	4	4	4	3
Prácticas post-cosecha						
Secuencia de actividades		Corte de la planta, secado al sol en corral, deshoje, traslado a almacén	Corte de la planta, secado al sol en corral, deshoje, traslado a almacén	Corte de la planta, secado al sol en corral, deshoje, traslado a almacén	Corte, secado al sol en corral, deshoje, secado al sol en corral, traslado a almacén	Corte de la planta, secado al sol en corral, deshoje, traslado a almacén
Secado en corral (días)		15	14	25	15	15
Tipo de almacén		Cuarto de cemento	Cuarto de cemento	Cuarto de cemento	Cuarto de cemento	Cuarto de cemento y tarimas
Condiciones del almacén		Sombra y seco	Sombra y seco	Sombra y seco	Ligera aireación por ventana y poca entrada de sol	Sombra y seco
Control de daños		No	No	Humeado (por presencia de polillas)	Gatos (por presencia de roedores)	No
Tiempo de almacenamiento (meses)		0.5	0.5	4-5	6-8	2
Procesamiento		Desgranado, limpieza, clasificación	Desgranado, limpieza, clasificación	Desgranado, limpieza, clasificación	Desgranado, clasificación	Desgranado, limpieza, clasificación

**Anexo 7.** Condiciones geográficas, climáticas y manejo agronómico de maíz Cabanita cultivado en la provincia de Castilla según información proporcionada por los agricultores.

Parámetros	Código							
	CHA	CAA	CSB y CSR		CPB y CPC	CAL		
<b>Fecha</b>	Andahua			Chachas				
<b>Hora</b>	11:56	12:24	14:09		8:54	15:11		
<b>Condiciones Geográficas</b>	<b>Distrito</b>	Castilla						
	<b>Lugar de cultivo</b>	Huancarani	Ajocha	Sucna		Pulluguaya	Alleachaya	
	<b>Terreno de muestreo</b>	Parcela	Parcela	Lote		Lote	Lote	
	<b>Coloración</b>	Amarillo	Amarillo	Blanco	Rojo	Blanco	Combinado	Rojo
	<b>Tipo</b>	A	A	B	R	B	C	R
	<b>Puntos de muestreo</b>	5	5	4	4	4	4	4
	<b>Coordenadas GPS</b>	S:15°29'50.7" W:72°20'48.6"	S:15°29'57.2" W:72°20'45.8"	S:15°32'13.7" W:72°19'56.3"		S:15°30'5.1" W:72°16'14.4"		S:15°30'4.1" W:72°16'10.7"
<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	3347	3399	2845		3043		3070	
<b>Condiciones climáticas medidas durante la colecta</b>	<b>Temperatura (C°)</b>	24.1	25.9	9		20.2		22.7
	<b>Humedad Relativa (%)</b>	28	20	36		51		29
	<b>Índice UV</b>	10	9.5	0		9.5		9.5
<b>Cultivos</b>	<b>Cercanos</b>	No	No	No		No		No
	<b>Previos</b>	Si (papalisa, alfalfa, quinua, arverja)	Si (papalisa, alfalfa, quinua, arverja)	Si (papa, haba)		Si (papa, haba)		Si (papa, haba)
	<b>Asociados</b>	No	Si (habas)	Si (alfalfa)		No		Si (alfalfa)
<b>Semilla</b>	<b>Tratamiento</b>	Secado y selección	Secado y selección	Secado y selección		Secado y selección		Limpieza y selección
	<b>Procedencia</b>	Rotación campiña	Rotación campiña	Rotación campiña		Rotación campiña		Rotación campiña
<b>Siembra</b>	<b>Preparación del terreno</b>	Limpieza, Fertilización orgánica, Arado, Reposo	Limpieza, Fertilización orgánica, Arado, Reposo	Limpieza, Fertilización orgánica, Arado		Limpieza, Fertilización orgánica, Arado		Limpieza, Fertilización orgánica
	<b>Mes</b>	Setiembre – Octubre 2018	Setiembre – Octubre 2018	Setiembre 2018		Agosto – Octubre 2018		Setiembre – Octubre 2018
	<b>Tipo</b>	Surcado con animales	Surcado con animales	Surcado con animales		Surcado con animales		Surcado con animales

**Anexo 8.** Desarrollo de la planta y manejo post cosecha aplicado por los agricultores para el cultivo de maíz Cabanita cultivado en la provincia de Castilla según información proporcionada por los agricultores.

Desarrollo de la planta						
	Parámetros	Código				
		CHA	CAA	CSB y CSR	CPB y CPC	CAL
Crecimiento	Tiempo (meses)	8	8	9	8	8
	Uso de herbicidas	A veces	A veces	No	No	No
	Uso de fertilizantes	Abono	Abono	Abono	Abono	Abono
Presencia de Malezas	Antes	Tembladera ( <i>Briza minor</i> )	Tembladera ( <i>Briza minor</i> )	No	Si	No
	Ahora	Tembladera ( <i>Briza minor</i> )	Tembladera ( <i>Briza minor</i> )	No	Hierba mala	No
	Control	Manual	Manual	Manual	Arado, uso de lampa	Manual
Presencia de plagas	Antes	Gusano mazorquero ( <i>helioverpa zea</i> )	Gusano mazorquero ( <i>helioverpa zea</i> )	Gusano mazorquero ( <i>helioverpa zea</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ), Elasmopalpus lignosellus	Gusano mazorquero ( <i>helioverpa zea</i> )
	Ahora	Gusano mazorquero ( <i>helioverpa zea</i> )	Gusano mazorquero ( <i>helioverpa zea</i> )	Gusano mazorquero ( <i>helioverpa zea</i> )	Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ), Elasmopalpus lignosellus	Gusano mazorquero ( <i>helioverpa zea</i> )
	Control	Inundación	Inundación	Manual y cenizas de cocina	No	Insecticidas
Riego	Procedencia del agua	Canal de Andahua	Canal de Andahua	Canal de Andahua	Canal de Andahua	Canal de Andahua
	Tipo	Gravedad	Gravedad	Gravedad	Distribución de agua a través de ramales	Gravedad
Cosecha	Mes	Junio	Junio	Junio	Junio	Mayo
	Tipo	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Descanso de tierra	Tiempo (meses)	4	4	4	4	3
Prácticas post-cosecha						
Secuencia de actividades		Corte de la planta, secado al sol en corral, deshoje, traslado a almacén	Corte de la planta, secado al sol en corral, deshoje, traslado a almacén	Corte de la planta, secado al sol en corral, deshoje, traslado a almacén	Corte, secado al sol en corral, deshoje, secado al sol en corral, traslado a almacén	Corte de la planta, secado al sol en corral, deshoje, traslado a almacén
Secado en corral (días)		15	15	60	15	15
Tipo de almacén		Cuarto de techo de paja	Cuarto de techo de paja	Cuarto de techo de paja	Cuarto de techo de paja	Cuarto de techo de paja y tarimas
Condiciones del almacén		Sombra y seco	Sombra y seco	Sombra y seco	Total oscuridad	Sombra y seco
Control de daños		No	No	Aplcacion de Phostoxin (polillas y gorgojo), trampa para roedores	Limpieza manual (polillas), trampa de roedores	Uso de Muña (polillas), trampa de roedores
Tiempo de almacenamiento (meses)		1/2+	1/2+	1	1+	12-60
Procesamiento		Desgranado, limpieza, clasificación	Desgranado, limpieza, clasificación	Desgranado, limpieza, clasificación	Desgranado, limpieza, clasificación	Desgranado, limpieza, clasificación