Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica

"Estudio del efecto de la refrigeración y congelación sobre los componentes bioactivos y color en ajíes nativos peruanos"

TESIS

Para optar al Título Profesional de Químico Farmacéutico

AUTORA

Lis Margot SANCHEZ ALBORNOZ

ASESOR

Fredy Enrique QUISPE JACOBO

Lima, Perú

2020

Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Sanchez L. Estudio del efecto de la refrigeración y congelación sobre los componentes bioactivos y color en ajíes nativos peruanos [Tesis]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Unidad de Posgrado; 2020.

Hoja de Metadatos complementarios

Código ORCID del autor	“—“
DNI o pasaporte del autor	47245005
Código ORCID del asesor	orcid.org/0000-0002-5446-2468
DNI o pasaporte del asesor	29575982
Grupo de investigación	Farmacognosia y medicina tradicional
Agencia financiadora	Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA del Ministerio de Agricultura en el Área de Valoración y Uso de los Recursos Genéticos de la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología. Contacto: Lic. Fredy Quispe, Cel. 963522893
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Perú, Lima, Lima, La Molina, Laboratorio “Investigación nutricional y funcional de los recursos genéticos”, Instituto Nacional de Innovación Agraria, Nevado Sara Sara 1981, La Molina 15024, Latitud: -12.076904 Longitud: -76.944957
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2018 - 2020
Disciplinas OCDE	Farmacología, Farmacia http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.01.05 Química medicinal http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.01.06

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Decanato

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL

Los Miembros del Jurado Examinador y Calificador de la Tesis titulada:

"Estudio del efecto de la refrigeración y congelación sobre los componentes bioactivos y color en ajíes nativos peruanos"

Que presenta la Bachiller en Farmacia y Bioquímica:

LIS MARGOT SANCHEZ ALBORNOZ

Que reunidos en la fecha se llevó a cabo la **SUSTENTACIÓN** de la **TESIS**, y después de las respuestas satisfactorias a las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado, y practicada la votación han obtenido la siguiente calificación:

DIECISIETE (17)

---

en conformidad con el Art. 34.º del Reglamento para la obtención del Grado Académico de Bachiller en Farmacia y Bioquímica y Título Profesional de Químico Farmacéutico(a) de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Lima, 11 de diciembre de 2020

Dra. Gladys Constanza Arias Arroyo

Presidenta

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código Orcid del autor (dato opcional):

Código Orcid del asesor

Lic. Fredy Enrique Quispe Jacobo.

orcid.org/0000-0002-5446-2468

DNI del autor

47245005

Grupo de investigación

FARMACOGNOSIA Y MEDICINA TRADICIONAL

Institución que financia parcial o totalmente la investigación

Trabajo de investigación fue FINANCIADO por el “Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA” del Ministerio de Agricultura en el Área de Valoración y Uso de los Recursos Genéticos de la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología.

Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación

Laboratorio “Investigación nutricional y funcional de los recursos genéticos” Sede central “La Molina- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)”. La Molina – PERU.

Año o rango de años que la investigación abarcó

OCTUBRE 2018 HASTA MAYO 2020

DEDICATORIA

A Ana Cecilia Albornoz Gamarra, mi madre.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, mi *alma mater*. A mi asesor de tesis, Lic. Fredy Enrique Quispe Jacobo, docente de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM, por su confianza, su gran apoyo y colaboración en la investigación. A la Ing. Karina Ccapa Ramirez, investigadora del Instituto de Innovación Agraria (INIA), por su apoyo en esta investigación. Al Q. F. Carlos Medina, por su apoyo durante la fase cromatográfica de esta investigación. A mi hermano, Gerardo Andrés Aliaga Albornoz, por su incondicional apoyo durante mi vida universitaria. A mi esposo, Jorge Carlos Paredes Novoa, por su incondicional apoyo durante todo el proceso de esta investigación y a mi hermosa hija Rafaela por convertirse en el motivo de todo en mi vida.

ÍNDICE

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS 1
DEDICATORIA 2
AGRADECIMIENTOS 3
ÍNDICE 4
ÍNDICE DE TABLAS 6
ÍNDICE DE FIGURAS 7
INDICE DE ANEXOS 9
LISTA DE ABREVIATURAS 10
RESUMEN 13
ABSTRACT 14
I. INTRODUCCIÓN 15
1.1 Objetivos 16
1.1.1 Objetivo general 16
1.1.2 Objetivos específicos 16
1.2 Hipótesis 17
II. MARCO TEORICO 18
2.1 El género *Capsicum* 18
2.1.1 Descripción botánica 18
2.1.2 Procedencia y disposición 18
2.1.3 Taxonomía 19
2.1.4 Variedad en Perú 19
2.1.5 Producción local 20
2.2 Compuestos bioactivos 22
2.2.1 Vitamina C 24
2.2.2 Capsaicinoides 26
2.2.3 Carotenoides 30
2.2.4 Compuestos fenólicos 36
2.3 Color 54
III. MATERIALES Y METODOS 56
3.1 Materiales 56
3.1.1 Lugar de ejecución 56
3.1.2 Material vegetal 56

3.1.3 Reactivos, materiales y equipos 56
3.2 Métodos 59
3.2.1 Muestreo 59
3.2.2 Selección de frutos 59
3.2.3 Preparación de la muestra 59
3.2.4 Tratamiento de la muestra 59
3.2.5 Evaluación de Humedad 60
3.2.6 Determinación de compuestos bioactivos 60
3.2.7 Determinación de color extractable ASTA 65
3.2.8 Análisis de color superficial 65
3.2.9 Análisis estadístico 66
IV. RESULTADOS 67
4.1 Humedad 67
4.2 Compuestos bioactivos 69
4.2.1 Vitamina C 69
4.2.2 Capsaicinoides 71
4.2.3 Carotenoides totales 77
4.2.4 Compuestos fenólicos 79
4.2.5 Flavonoides 81
4.3 Color extractable ASTA 84
4.4 Color superficial 86
V. DISCUSION 95
VI. CONCLUSIONES 125
VII. RECOMENDACIONES 127
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 128
ANEXOS 138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción nacional de *Capsicum* (Miles de toneladas).....22

Tabla 2. Valores promedio de humedad de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p ≤ 0,05.* 69

Tabla 3. Valores promedio de ácido ascorbico (mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....71

Tabla 4. Valores promedio de capsaicina (CAP mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....76

Tabla 5. Valores promedio de dihidrocapsaicina (DHC mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....76

Tabla 6. Valores promedio de nordihidrocapsaicina (NDC mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....76

Tabla 7. Valores promedio de β-caroteno (mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05* 79

Tabla 8. Valores promedio de GAE (mg/100g bs) de los ajíes estudiados a ambas temperaturas (4 y -20°C) y la significancia estudiada según prueba de Tukey con *p= 0,05*.....81

Tabla 9. Valores promedio de QE (mg/100g bs) de los ajíes estudiados a ambas temperaturas (4 y -20°C) y la significancia estudiada según prueba de Tukey con *p= 0,05*.....84

Tabla 10. Valores promedio de color ASTA de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*..86

Tabla 11. Valores promedio de L* de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....92

Tabla 12. Valores promedio de a* de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....93

Tabla 13. Valores promedio de b* de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....93

Tabla 14. Valores promedio de C* de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....93

Tabla 15. Valores promedio de h de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*.....93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de los ajís peruanos 20
Figura 2. Producción nacional de ají en 2018. 21
Figura 3. Ácido ascórbico. 25
Figura 4. Vanililamina (I), capsaicina (II), capsaicinoides principales (III – VIII), capsiato (IX) y capsazepina (X). 30
Figura 5. Estructura del carotenoide licopeno. 30
Figura 6. Grupos finales característicos de carotenoides. 31
Figura 7. Fenol 36
Figura 8. Patrones de sustitución en compuestos fenólicos 41
Figura 9. Ácido *p*-hidroxibenzoico (1), ácido gálico (2), ácido protocatechuico (3), ácido salicílico (4), ácido vanílico(5) vainillina (6). 42
Figura 10. Ácido cinámico (1), ácido p-cumárico (2), ácido cafeico (3), ácido ferúlico (4), ácido 5-hidroxiferulico (5) y ácido sinápico (6). 43
Figura 11. Chalcona (1), dihidrochalcona (2), buteina (3), floridizin (4). 44
Figura 12. Aurona 45
Figura 13. Estructura de la flavanona 45
Figura 14. Pirano (1), pirilium (2) y pirona (3). 46
Figura 15. Flavonona. 46
Figura 16. Flavanonol 47
Figura 17. Leucocianidina (1), leucodelfinidina (2), catequinas (3), galocatequinas (4), éster de ácido gálico (5). 48
Figura 18. Kampferol (1), quercetina (2) y miricetina (3). 49
Figura 19. Ejemplos de antocianinas de color rojo. 51
Figura 20. Humedad (%) versus Tiempo (semanas) 67
Figura 21. Humedad (%) versus Tiempo (semanas) por accesión. 68
Figura 22. Ácido ascórbico (mg/100 g bs) versus Tiempo (semanas) 70
Figura 23. Ácido ascórbico (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesión. 70
Figura 24. Capsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) 72
Figura 25. Dihidrocapsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas). 72
Figura 26. Nordihidrocapsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas). 73
Figura 27. Capsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesiones. 74
Figura 28. Dihidrocapsaiciina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesiones. . 74
Figura 29. Nordihidrocapsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesiones. 75
Figura 30. β-caroteno (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas). 77

Figura 31. β-caroteno (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesión. 78
Figura 32. GAE (g /100g bs) versus Tiempo (semanas). 79
Figura 33. GAE (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesiones. 80
Figura 34. QE (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas). 82
Figura 35. QE (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesión. 83
Figura 36. Unidades ASTA (bs) versus Tiempo (semanas). 84
Figura 37. Unidades ASTA (bs) versus Tiempo (semanas) por accesión. 85
Figura 38. Parámetro cromático L* versus Tiempo (semanas). 87
Figura 39. Parámetro cromático a* versus Tiempo (semanas). 87
Figura 40. Parámetro cromático b* versus Tiempo (semanas). 88
Figura 41. Parámetro cromático C* versus Tiempo (semanas). 88
Figura 42. Parámetro cromático Hue versus Tiempo (semanas). 89
Figura 43. Parámetro cromático L* versus Tiempo (semanas) por accesión. 90
Figura 44. Parámetro cromático a* Tiempo (semanas) por accesión. 90
Figura 45. Parámetro cromático b* versus Tiempo (semanas) por accesión. 91
Figura 46. Parámetro cromático C* versus Tiempo (semanas) por accesión. 91
Figura 47. Parámetro cromático Hue versus Tiempo (semanas) por accesión. 92

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos complementarios de humedad 139
Anexo 2. Datos complementarios de vitamina C 140
Anexo 3. Datos complementarios de capsaicinoides 142
Anexo 4. Datos complementarios de carotenoides totales 148
Anexo 5. Datos complementarios de compuestos fenólicos 150
Anexo 6. Datos complementarios de flavonoides 153
Anexo 7. Datos complementarios de Color ASTA 155
Anexo 8. Datos complementarios de Color superficial 156
Anexo 9. Imágenes fotográficas de los materiales vegetales y trabajo de la investigadora. 166

LISTA DE ABREVIATURAS

1. a*:Coordenada de cromaticidad (rojo-verde)..... .....14, 66, 87, 90, 94, 121, 124, 125, 159, 164
2. AA: Ácido ascórbico 71, 142
3. ADEX: Asociación de exportadores 22, 23
4. ASTA: American Spice Trade Association 14, 18, 56, 66, 85, 96, 118, 125, 1267, 132, 157
5. b* : Coordenada de cromaticidad (amarillo-azul) 14, 66, 87, 90, 94, 121, 126, 160, 165
6. BCl-XL: linfoma de células B extragrande 30
7. BHT: Butil hidroxitolueno 58, 62, 64, 111
8. bs: Base seca.....14, 71, 73, 75, 77, 79, 81, 83, 85, 86, 98, 126
9. C*: Croma.....14, 18, 66, 87, 90, 94, 97, 125, 126, 161
10. CAP: Capsaicina 14, 73, 77, 126, 144
11. CD4: Clúster de diferenciación..... 4 36
12. CD8: Clúster de diferenciación 8 36
13. CIE: Comisión Internacional de Iluminación 18, 56, 66, 97, 123
14. CM: Cuadrados medios 141, 151, 163
15. DHC: Dihidrocapsaicina 73, 75, 77, 126, 143
16. DTT: Dithiothreitol 58, 62
17. GAE: Ácido gálico equivalente 14, 65, 81, 126, 153
18. Gap: Brecha aniónica 35
19. h: Ángulo de tono 123, 162
20. HMG-CoA: Hidroximetilglutaril coenzima A 36
21. HPLC:Cromatografía liquida de alta performance..... ..... 57, 62, 102, 111, 117, 128
22. If ..... Factor de corrección instrumental 63
23. INIA ..... Instituto Nacional de Innovación Agraria 14, 23, 57, 60, 96
24. IUPAC ..... Unión Internacional de Química Pura y Aplicada 32
25. L* ..... Luminosidad 14, 18, 66, 87, 90, 93, 121, 126, 158
26. LDL..... Lipoproteínas de baja densidad 36
27. MAP: Modiffied atmosphere packaging 114

28. mg: Miligramos 14, 27, 41, 61, 71, 103, 126
29. mL: Mililitros 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66
30. NDC: Nordihidrocapsaicina 74, 76, 126
31. pH: Potencial de hidrogenión 50, 61
32. ppm: Partes por millón 60
33. p-valor: Valor de probabilidad 141, 163
34. QE: Quercetina equivalente 14, 66, 83, 126, 155
35. Rpm: Revoluciones por minuto 61, 64, 66
36. UV-C: Radiación ultra-violeta tipo C 110, 115
37. v/v: .....Volumen sobre volumen 61, 62, 63
38. VIH: .....Virus de Inmunodeficiencia Humana 36

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la refrigeración y congelación sobre los componentes bioactivos y características de color en cuatro accesiones de ajíes nativos y un testigo comercial procedentes de Huaral. Los ajíes fueron cultivados en la Estación Experimental Agraria – Donoso del "Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)" de la localidad de Huaral, los frutos fueron remitidos al laboratorio del INIA - La Molina. Las muestras fueron divididas en 17 grupos de 0,8 kg cada uno: ocho grupos se almacenaron a 4°C, ocho a -20°C y un grupo control a temperatura ambiente (25°C). Se analizaron los contenidos de humedad, compuestos bioactivos (vitamina C, capsaicinoides, carotenoides totales, compuestos fenólicos y flavonoides) y color (extractable y superficial) durante ocho semanas. Los resultados se encontraron entre valores promedio de 85,11 y 86,62% de humedad, 506,38 y 576,98 de ácido ascórbico mg/100g (bs) para vitamina C, 121,16 y 137,98 CAP mg/100g (bs) para capsaicina, 118,15 y 145,70 β-caroteno mg/100g (bs) para carotenoides totales, 1127,02 y 1318,68 GAE mg/100g (bs) para compuestos fenólicos, 815,90 y 1063,95 QE mg/100g (bs) para flavonoides, 111,25 y 130,07 unidades ASTA (bs) para color extractable, para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente; y en el caso de color superficial entre 45,55 y 43,47 para L*, entre 29,22 y 25,31 para a*, entre 35,87 y 33,93 para b*, entre 50,76 y 45,00 para C* y entre 47,74 y 49,94 para el ángulo h, para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente. Estos resultados demostraron que las temperaturas de refrigeración y congelación tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre los componentes bioactivos y color en los cuatro ajíes nativos evaluados, mostrando además mejores respuestas de conservación de bioactivos en las muestras sometidas a congelación.

Palabras clave: *Capsicum*, ají, almacenamiento poscosecha, bioactivos, vitamina C, carotenoides, capsaicinoides, compuestos fenólicos, color.

ABSTRACT

The objectives of the present study were to evaluate the effect of refrigeration and freezing on bioactive components and color characteristics in four accessions of native peppers and a commercial control from Huaral. The peppers were grown in the Agricultural Experimental Station-Donoso of the National Institute of Agricultural Innovation (INIA) in the town of Huaral, the fruits were sent to the INIA - La Molina laboratory. The samples were divided into 17 groups of 0,8 kg each: eight groups were stored at 4°C, eight at -20°C and one control group at room temperature (25°C). The contents of moisture, bioactive compounds (vitamin C, capsaicinoids, total carotenoids, phenolic compounds and flavonoids) and color (extractable and superficial) were analyzed for eight weeks. The results were found between average values of 85,11 and 86,62% humidity, 506,38 and 576,98 of ascorbic acid mg/100g (bs) for vitamin C, 121,16 and 137,98 CAP mg/100g (bs) for capsaicin, 118,15 and 145,70 β-carotene mg/100g (bs) for total carotenoids, 1127,02 and 1318,68 GAE mg/100g (bs) for phenolic compounds, 815,90 and 1063,95 QE mg/100g (bs) for flavonoids, 111,25 and 130,07 ASTA units (bs) for color extractable, for chillies refrigerated at 4°C and frozen at -20°C respectively; and in the case of surface color between 45,55 and 43,47 for L*, between 29,22 and 25,31 for a*, between 35,87 and 33,93 for b*, between 50,76 and 45,00 for C* and between 47,74 and 49,94 for angle h, for the chillies refrigerated at 4°C and frozen at -20°C respectively. These results demonstrated that the refrigeration and freezing temperatures had a statistically significant effect on the bioactive components and color in the four native peppers evaluated, also showing better bioactive preservation responses in the samples subjected to freezing.

Key words: *Capsicum*, chili pepper, postharvest storage, bioactives, vitamin C, carotenoids, phenolic compounds, color.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de ají es uno de los más importantes del mundo no solo por su importancia económica, sino también por el valor nutricional de sus frutos, que son fuente principal de colores naturales y compuestos antioxidantes. Estos compuestos en los alimentos han sido reconocidos como beneficiosos para la prevención de enfermedades generalizadas en el ser humano, incluyendo el cáncer y las enfermedades cardiovasculares cuando se consumen diariamente en cantidades adecuadas[1]. Los ajíes, de gran reconocimiento culinario a nivel mundial, poseen compuestos bioactivos como vitaminas, flavonoides, carotenoides y otros metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes, los cuales son importantes para la prevención de enfermedades por la inactivación de radicales libres[2].

En el Perú, se consumen alrededor de 19 variedades de ajíes nativos pertenecientes a las 5 especies de ajíes domesticados y cultivados en diferentes regiones de nuestro país. Dependiendo de los agro-ecosistemas asociados a su adaptación se presenta una diversidad de la especie con gran potencial y posibilidades para ingresar a los mercados nacionales e internacionales debido a la creciente demanda de alimentos e ingredientes diferenciados en propiedades funcionales, y estos incluyen a los frescos y sus procesados[3].

El almacenamiento en frío permite que las frutas y verduras se ofrezcan para su consumo o procesamiento en estado fresco durante largos períodos de tiempo[4]. Considerando las condiciones de cosecha en campo y su temperatura, la tasa de pérdida de agua aumenta, por lo que la selección adecuada de la temperatura de conservación es el factor más importante para el almacenamiento de ajíes, así como para la preservación de sus componentes bioactivos. En ese sentido, la investigación aborda el efecto de la temperatura de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C) sobre los compuestos bioactivos de cuatro ajíes

nativo peruano y un testigo comercial cosechados bajo las condiciones de la localidad de Huaral, con la finalidad de generar conocimiento que ayude a mejorar las condiciones de almacenamiento de los ajíes nativos y proteger la funcionalidad de sus componentes bioactivos mediante la utilización de la temperatura adecuada, cuyos resultados podrán ser replicables en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, y beneficiar a las empresas productoras, el sector gastronómico, comercializadores, exportadores y público en general, y que se espera sirva como referencia de investigaciones posteriores.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de la refrigeración y congelación sobre los componentes bioactivos y características de color en cuatro ajíes nativos y un testigo comercial.

1.1.2 Objetivos específicos

- Cuantificar los contenidos de vitamina C de cuatro ajíes nativos y 1 testigo comercial almacenados en condiciones de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C).
- Cuantificar los contenidos de capsaicinoides de cuatro ajíes nativos y 1 testigo comercial almacenados en condiciones de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C).
- Cuantificar los contenidos de carotenoides totales de cuatro ajíes nativos y 1 testigo comercial almacenados en condiciones de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C).
- Cuantificar los contenidos de compuestos fenólicos de cuatro ajíes nativos y 1 testigo comercial almacenados en condiciones de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C).

- Cuantificar los contenidos de flavonoides de cuatro ajíes nativos y 1 testigo comercial almacenados en condiciones de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C).
- Cuantificar el color superficial según la escala CIELAB y L*C*h de cuatro ajíes nativos y 1 testigo comercial almacenados en condiciones de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C).
- Cuantificar color extractable “ASTA” de cuatro ajís nativos y testigo comercial en condiciones de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C).

1.2 Hipótesis

Los componentes bioactivos y características de color de las cuatro accesiones de ajíes nativos y el testigo comercial no son afectados por las temperaturas de refrigeración (4°C) y congelación (-20°C).

II. MARCO TEORICO

2.1 El género *Capsicum*

2.1.1 Descripción botánica

Los tallos son de forma cilíndrica, con pubescencia escasa, con hábito de crecimiento intermedia, de color verde y verde con rayas de color púrpura, con diámetro promedio de 8 centímetros. La altura de la planta varía según el cultivar o el tipo de accesión, manejándose un rango para los ecotipos estudiados de entre 35 a 46 centímetros; asimismo el ancho de la planta varía según el tipo de ají, presentándose en un rango de entre 54 a 66 centímetros. Las hojas son de formas deltoide, oval y lanceolada; de color verde, verde claro y oscuro. La raíz puede llegar a medir longitudinalmente 1,20 metros, aunque en su mayoría solo miden entre 5 a 40 centímetros y ecuatorialmente hasta 1,20 m. Las flores son de posición intermedia, de reproducción perfecta, de formación axilar, y con coloración blanca a lila. Los frutos son bayas y sus formas dependen del tipo de cultivar, siendo acampanulado para los ajíes miscucho y dulce rojo, triangular para tomatito rojo y acampanulado en bloque para el ají escabeche.[5]

2.1.2 Procedencia y disposición

Los cultivos de ajís y pimientos tienen su origen en las regiones tropicales y sub-tropicales de América, atribuyéndosele principalmente a la región comprendida entre Bolivia-Perú (zonas en las cuales se encuentran la más amplia distribución de cultivos silvestres), donde se han registrado formas milenarias de semillas con más de 7.000 años de antigüedad, y desde donde se habría distribuido a toda América y al mundo. Las especies consideradas silvestres se disponen a través de los Andes sudamericanos y Brasil. La disposición es ininterrumpida en toda Sudamérica, a excepción de Chile y Uruguay.[5]

2.1.3 Taxonomía

Es compleja, por la múltiple diversidad existente en las especies cultivadas y a la variabilidad clasificatoria. En la actualidad se admite la subsecuente clasificación taxonómica del género *Capsicum* y se aceptan alrededor de 30 especies nativas.[6]

Reino: *Plantae-Planta, Vegetal*

División: *Magnoliophyta*

Clase: Magnoliopsida

Subclase: *Asteridae*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanácea*

Género: *Capsicum*

Y comprende cinco especies domesticadas[6]:

- *Capsicum annuum*,
- *Capsicum chinense,*
- *Capsicum pubescens,*
- *Capsicum frutescens* y
- *Capsicum baccatum* var. *Pendulum*

2.1.4 Variedad en Perú

Nuestro país cuenta con las cinco especies cultivadas de ají y el más cultivado es el ají "escabeche" o también conocido como ají "amarillo" o "verde" por las amas de casa, *Capsicum baccatum*. Este ají "escabeche" está posicionado a lo largo de la costa, teniendo más rendimiento productivo en la parte central. El segundo ají más cultivado en el país, es el ají "panca", que se produce de manera similar al ají "escabeche" y se consume mayoritariamente deshidratado[5]. El tercer grupo más cultivado son los "rocotos" (*C. pubescens*) y éstos se encuentran en la selva y sierra central (zonas altas). La especie *Capsicum chinense*, se encuentra en "arnauchos" (norte chico), "mocheros" (La Libertad) y "limos", "paringos", etc. (costa norte), produciéndose en menor escala y representando la más grande afluencia de variedad de los ajís peruanos.

El ají “cerezo”, perteneciente a la especie *C. annuum*, se encuentra en Lambayeque, que se produce a baja escala en zonas pequeñas o en huertas familiares. Del mismo modo, en la región amazónica se presentan una gran variedad de ajíes, aunque su producción es pequeña, principalmente en las viviendas de pobladores y pequeñas huertas, así tenemos a los “charapitas”, “ayauyos” y “challuaruros”, además de otros *C. chinense.*[3]

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	REGION	PRODUCCION
"Cerezos"	*C. annuum*	Lambayeque	Baja
"Cacho de cabra"	*C. baccatum*		Baja
"Verde"			Baja
"Limos"	*C. chinense*	Costa Norte	Muy alta
"Miscucho"			Media
"Mochero"		La Libertad	Baja
"Arnaucho"		Norte chico	media
"Escabeche, amarillo"	*C. baccatum*	Costa	Media
"Panca"	*C. chinense*		Baja
"Ayuyo"	*C. baccatum*	Amazonia	Media
"Challuaruro"			Media
"Charapitas"	*C. chinense*		Alta
"Dulce"			Alta
"Pucunucho"			Baja
"Malagueta"	*C. frutescens*		Baja
Rocoto	*C. pubescens*	Andes (altitud baja y media)	Media
Rocoto de huerta		Sierra sur (Quebradas y huertas)	Media
Rocoto de la selva		Selva central (altura)	Baja

Figura 1: Distribución de los ajíes peruanos

Fuente: Espinoza[5]

2.1.5 Producción local

En 2017, el tipo de *Capsicum* más producido a nivel nacional fue el pimiento morrón con 28% de la producción total, seguido del ají con 23%;

el rocoto, con 22%; la páprika, con 13%; y el piquillo con 13%. De estos productos, la producción de ají se incrementó en 2017 en un 7%, mientras que el morrón cayó 4%.[7] Sin embargo, se observó una caída de -2% en los despachos de *Capsicum*, la cual fue atenuada por los mayores envíos de ajíes peruanos.[8] En cuanto a regiones, Lambayeque lideró la producción de *Capsicum* con 61,351 toneladas, seguido de Cerro de Pasco, con 35,755 toneladas; Lima con 29,046 toneladas; Tacna, con 15,385 toneladas; La Libertad, con 11,781 toneladas; y Arequipa, con 7,926 toneladas, entre otros departamentos[7].

Al 2018 se exportaron ajíes, pimientos y rocotos frescos por un valor de US$ 2,86 millones y congelados por un valor de US$ 7,51 millones.[9]

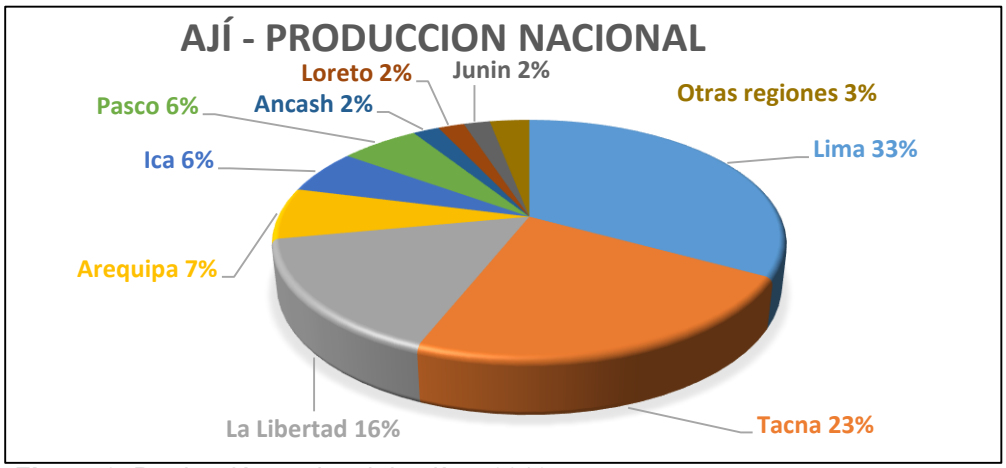


Figura 2. Producción nacional de ají en 2018.

Fuente: Gestión[9]

El presidente de la Asociación de Exportadores (ADEX), Juan Varilias Velásquez, estimó que para el año 2019 la exportación de *Capsicum* cerraría en US$ 246 millones, cifra superior a la del año anterior, para ello, insistió en la necesidad de promover las mejores prácticas de cultivo, cosecha y post-cosecha, y manejo adecuado en el uso de plaguicidas. Añadió que solo los ajíes peruanos exportados sumaron más de US$ 2 millones entre enero y abril de ese año, representando los 3% del total de *Capsicum* exportados. Los principales fueron el ají amarillo, rocoto y ají panca. “ADEX y el INIA trabajan en semillas de ajíes peruanos con el objetivo de exportarlas”, añadió.[8]

Con respecto a la producción por regiones, la región Lima encabeza la producción de ají, con el 33% de la producción, seguido de Tacna (23%) destacando la producción de ají amarillo.[9]

A nivel mundial, Perú es el cuarto productor de *Capsicum* tras China e India, quienes lideran la producción mundial. El *Capsicum*, además, es el sexto producto más exportado del país y la producción total es de más de 164 toneladas métricas. Asimismo, más de 10 familias se involucran con su cultivo.[8]

Tabla 1. Producción nacional de *Capsicum* (Miles de toneladas)

	2014	2015	2016	2017	2018
Ajíes	42,97	38,30	38,93	41,66	49,72
Páprika	34,47	21,38	31,09	24,21	26,23
Pimiento piquillo	24,65	12,42	11,91	23,52	34,45
Otros pimientos	43,39	47,88	53,14	49,19	50,00
Rocoto	16,87	20,49	27,09	38,92	41,54
TOTAL *Capsicum*	162,35	140,47	162,15	177,70	201,94

Fuente: Gestión[9]

2.2 Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son compuestos esenciales y no esenciales (por ejemplo, vitaminas o polifenoles) que están presentes en la naturaleza, son parte de la cadena alimentaria y pueden demostrar tener un efecto en la salud humana. Las sustancias bioactivas presentes como componentes naturales en los alimentos proporcionan beneficios para la salud más allá del valor nutricional básico del producto.[10]

Los compuestos bioactivos también se les conocen como nutracéuticos, un término que refleja su existencia en la dieta humana y sus actividades biológicas. Los nutracéuticos pueden variar desde nutrientes aislados, suplementos dietéticos y dietas para alimentos diseñados

genéticamente, productos a base de hierbas y alimentos procesados, como cereales, sopas y bebidas.

Hasta hace relativamente poco, las vitaminas y otros micronutrientes se habían recomendado solo para evitar los síntomas clásicos de deficiencia. Técnicas modernas en biología nos han dado una visión más profunda de las necesidades moleculares y celulares del organismo. Por ejemplo, síntomas clínicos de deficiencia pueden ser el resultado de una baja ingesta de micronutrientes a largo plazo. Sin embargo, mucho antes de que ocurran estos síntomas, la entrega inadecuada de micronutrientes a su tejido objetivo provoca alteraciones que pueden desencadenar el desarrollo de enfermedades crónicas.[10] Efectos similares sobre la regulación genética en el tejido objetivo pueden ocurrir si los nutrientes son sobredosificados.

Los compuestos estudiados más extensamente son los antioxidantes, cuya mayor ingesta puede alterar el riesgo de enfermedades crónicas, como cáncer y enfermedades cardiovasculares.[10]

Al mismo tiempo, hay evidencia de que algunas personas, a pesar de una ingesta óptima de micronutrientes (medidas basadas en la ingesta diaria recomendada), sin embargo, exhiben un alto riesgo de enfermedades como cáncer o enfermedad coronaria. Estas personas tienen una mutación en una enzima o varias enzimas involucradas en el metabolismo o distribución de micronutrientes. Este "polimorfismo" da como resultado una baja concentración en tejido o una función inadecuada del micronutriente y obviamente tiene implicaciones para la salud de un individuo.

Durante la última década, el conocimiento del papel de los fitoquímicos (por ejemplo, polifenoles) en patologías específicas ha avanzado a un ritmo acelerado. Se han identificado diferentes clases de fitoquímicos (por ejemplo, fitoestrógenos) que tienen un efecto preventivo contra enfermedades específicas, principalmente en etapas muy tempranas del desarrollo de la enfermedad, particularmente en relación con el cáncer. El hecho de que estos compuestos están presentes principalmente en vegetales parece confirmar la evidencia epidemiológica de que una alta

ingesta de verduras se asocia con un menor riesgo de diferentes tipos de cáncer.[10]

Al mismo tiempo, tecnologías de vanguardia, incluida la biotecnología, han llevado a descubrimientos nutricionales, productos innovadores y producción en masa en una escala sin precedentes. Estos desarrollos han generado una nueva área de investigación importante y dinámica, resultando en un número creciente de productos nutricionales con potencial médico y sanitario beneficiosos.

Los avances científicos y tecnológicos están aumentando las posibilidades de modificar los alimentos tradicionales y desarrollar nuevas fuentes de alimentos para cumplir con estos requisitos recientemente descubiertos. Usando genética moderna, química y biología molecular, la comunidad científica ahora puede diseñar y fabricar alimentos con características específicas.

Estos nuevos productos representan una desviación importante de los alimentos tradicionales, en parte porque se basan en un nuevo enfoque de la nutrición, es decir, que tiene el potencial de reducir el riesgo de enfermedad crónica. Enfoques nutricionales actuales están comenzando a reflejar un cambio fundamental en nuestra comprensión de la salud. El incremento del conocimiento del impacto de la dieta sobre la regulación a nivel genético y molecular conducirá a un replanteamiento de los objetivos de salud, lo que resulta en estrategias dietéticas basadas en la agregación en lugar de factores individuales.

2.2.1 Vitamina C

La vitamina C tiene la fórmula química $C_6H_8O_6$ y una masa molecular de 176,14 gramos por mol. La vitamina C es puramente el enantiómero L del ascorbato; el D-enantiómero opuesto no tiene importancia fisiológica[11]. Ambas formas son imágenes especulares de la misma estructura molecular.

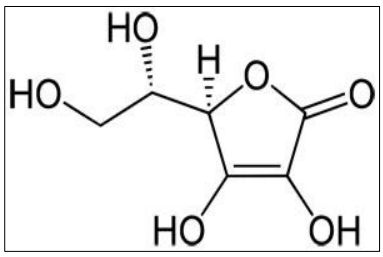


Figura 3. Ácido ascórbico.

Fuente: World of molecules[11]

Es una vitamina soluble en agua que está naturalmente presente en algunos alimentos, se agrega a otros y está disponible como un suplemento dietético. Los humanos, a diferencia de la mayoría de los animales, no pueden sintetizar la vitamina C de manera endógena, por lo que es un componente dietético esencial. Es necesaria para la biosíntesis de colágeno, L-carnitina y ciertos neurotransmisores; la vitamina C también participa en el metabolismo de las proteínas. También es un antioxidante fisiológico importante y se ha demostrado que regenera otros antioxidantes dentro del cuerpo, incluido el alfa-tocoferol (vitamina E). Se está examinando si la vitamina C, al limitar los efectos dañinos de los radicales libres a través de su actividad antioxidante, podría ayudar a prevenir o retrasar el desarrollo de ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades en las que el estrés oxidativo juega un papel causal. Además de sus funciones biosintéticas y antioxidantes, la vitamina C juega un papel importante en la función inmune y mejora la absorción de hierro no hemo, la forma de hierro presente en los alimentos de origen vegetal. La ingesta insuficiente de vitamina C causa escorbuto, que se caracteriza por fatiga o lasitud, debilidad generalizada del tejido conectivo y fragilidad capilar.
La absorción intestinal de vitamina C está regulada por al menos un transportador activo dependiente de la dosis específico. Las células acumulan vitamina C a través de una segunda proteína de transporte específica. Los estudios in vitro han encontrado que la vitamina C oxidada, o ácido deshidroascórbico, ingresa a las células a través de algunos transportadores de glucosa facilitados y luego se reduce

internamente a ácido ascórbico. Se desconoce la importancia fisiológica de la absorción de ácido deshidroascórbico y su contribución a la economía general de la vitamina C.

La vitamina C oral produce concentraciones de tejido y plasma que el cuerpo controla estrictamente. Aproximadamente el 70% –90% de la vitamina C se absorbe a ingestas moderadas de 30–180 mg/día. Sin embargo, a dosis superiores a 1 g/día, la absorción cae a menos del 50% y el ácido ascórbico no metabolizado absorbido se excreta en la orina. Los resultados de los estudios farmacocinéticos indican que las dosis orales de 1,25 g/día de ácido ascórbico producen concentraciones plasmáticas medias máximas de vitamina C de 135 micromol/L, que son aproximadamente dos veces más altas que las producidas al consumir 200 a 300 mg/día de ácido ascórbico a partir de alimentos ricos en vitamina C. El modelo farmacocinético predice que incluso dosis tan altas como 3 g de ácido ascórbico tomadas cada 4 horas producirían concentraciones plasmáticas máximas de solo 220 micromol/L.

El contenido corporal total de vitamina C varía de 300 mg (casi escorbuto) a aproximadamente 2 g. Los altos niveles de vitamina C (concentraciones milimolares) se mantienen en células y tejidos, y son más altos en leucocitos (glóbulos blancos), ojos, glándulas suprarrenales, glándula pituitaria y cerebro. Se encuentran niveles relativamente bajos de vitamina C (concentraciones micromolares) en fluidos extracelulares, como plasma, glóbulos rojos y saliva.[12]

2.2.2 Capsaicinoides

Los capsaicinoides son una familia de metabolitos alcaloides no tóxicos de plantas secundarias que se encuentran en los ajíes. Todos los capsaicinoides son acidamidas de ácidos grasos de cadena ramificada C9 – C11 de vanilamina I (Figura 4). Estos compuestos son responsables de la sensación de picantez que perciben los mamíferos al comer ajíes. Son de gran importancia en productos alimenticios, farmacéuticos, médicos, veterinarios y cosméticos, entre otros (por

ejemplo, antimicrobianos, repelentes contra roedores e insectos, formulación de aerosoles de autoprotección). [13]

La capsaicina es el principal capsaicinoide y se le ha atribuido una variedad de propiedades farmacológicas y biológicas como analgésicos, antiinflamatorios, anticancerígenos, antioxidantes, anticolesterolémicos, anti-obesidad, antimicrobianos y repelentes de insectos, entre otros. La capsaicina tiene una larga tradición de uso con fines medicinales en una variedad de culturas. La mayoría de estos beneficios se han probado in vitro y en modelos animales, pero pocos estudios han alcanzado ensayos clínicos. Las aplicaciones novedosas actuales y potenciales de capsaicina y otros capsaicinoides son limitadas por la irritación causada por su picante. Esto ha impulsado actos para obtener una gran cantidad de compuestos o estrategias para atenuar el picor, pero no a expensas de los beneficios farmacológicos actuales o potenciales de los capsaicinoides.[13]

Los capsaicinoides son encontrados en diferentes cantidades en los frutos de los ajíes, dependiendo principalmente del genotipo, etapa de desarrollo en que se encuentren, y condiciones ambientales y de crecimiento. El contenido de capsaicinoides en ajíes varía con la especie, genotipo, y condiciones ambientales de crecimiento. Sin embargo, los mecanismos por los que las cantidades de capsaicinoides son reguladas en los diferentes frutos de los ajíes son todavía no dilucidados completamente.[13]

La significancia biológica de la ocurrencia de capsaicinoides en ajíes ha sido una materia de controversia. La más convincente de las hipótesis parece relatar el rol ecológico de la capsaicina. Solo las aves son capaces de consumir ajíes, como ellas son no sensibles a capsaicinoides. El paso de la semilla hacia los intestinos no afecta la germinación de la semilla. En contraste, los mamíferos se niegan a comer frutos pungentes, y las semillas que pasan hacia sus intestinos no germinan. Por lo tanto, las aves juegan un rol en la eficiente dispersión de semillas. Así la capsaicina juega un rol en disuadir a los animales que

no son buenos dispersores y favorece a los que sí lo son, a saber, las aves. [13]

Todos los capsaicinoides identificados en los frutos de *Capsicum* son vanillilamidas de ácidos grasos ramificados, con 9–11 carbonos, de los cuales capsaicina y dihidrocapsaicina ocurren en cantidades superiores al 80%. Las diferencias estructurales entre los capsaicinoides provienen de la longitud de la cadena alquilo y la presencia de un doble enlace. Estas características químicas determinan la pungencia relativa y otras actividades biológicas. Los cinco principales capsaicinoides que ocurren naturalmente en los ajíes y su abundancia relativa son: capsaicina, 69%; dihidrocapsaicina, 22%; nordihidrocapsaicina, 7%; homodihidrocapsaicina, 1%; andomocapsaicina, 1%. Los dos primeros son aproximadamente el doble de acre que los menores. Los capsaicinoides análogos sintéticos dignos de mención son nonivamida y ω-hidroxicapsaicina (Figura 4). [13]

La producción de capsaicinoides está restringida a las glándulas en la placenta de los ajíes y las costillas blancas que recorren el medio y largo de los lados de los ajíes. Las semillas no contienen capsaicinoides, pero porque están próximas a la placenta, ellas también presentan pungencia. La ruta biosintética de la capsaicina es bien caracterizada, ellos siguen dos rutas distintas. Una de las rutas atraviesa la síntesis del resto vainillilamina a través del fenilpropanoide shikimato/arogenato. La segunda se conduce a través del resto de ácido graso ramificado derivado de la L-valina. En la primera ruta, brevemente, la L-fenilalanina es secuencialmente convertida a acido cinámico, p-cumárico, cafeico y ferúlico, y luego a vainillina y vaillilamina. En la segunda ruta, el resto de ácidos grasos de cadena ramificada de capsaicina se deriva de valina. Sin embargo, el proceso exacto por el cual la cadena ramificada de ácidos grasos es sintetizada no es conocido.[13]

Además de la toxicidad in vivo, se ha demostrado una respuesta citotóxica de capsaicina para varias líneas celulares. Los principales objetivos moleculares conocidos de la capsaicina incluyen, entre otros,

una disminución de la inactividad del factor nuclear kappa B (NF-κB), survivina (apoptosis), ciclo 1 (proliferación), proteínas de la familia del linfoma 2 de células beta (Bcl-2) (apoptosis), Bcl-XL (apoptosis) y Cdc25 y CdK1.[13]

Lo picante se hereda como un rasgo dominante en los pimientos. La acumulación de acidez en los chiles se debe a un alelo en el locus C mapeado en el cromosoma 2, y es también influido por las condiciones ambientales.

La pungencia de la capsaicina y sus derivados varía significativamente debido a sus diferentes características moleculares. En el pasado, se han sintetizado varios análogos de capsaicina, principalmente con el objetivo de encontrar nuevos agonistas y antagonistas. Más tarde, resiniferatoxina, un agonista de tres a cuatro órdenes de magnitud más potente que la capsaicina y la capsazepina, el primer antagonista conocido, ha sido descubierto. También se ha estudiado las relaciones estructura-función entre diferentes análogas y la activación de TRPV-1. Se ha encontrado que diferentes análogos inducen perfiles variables de liberación de calcio dentro de las células, y además que una hidrofilicidad o hidrofobicidad demasiada alta reduce la acidez de un compuesto. Esto puede explicarse por diferentes comportamientos de permeabilidad de compuestos de diferente polaridad a través de la membrana celular. Los receptores TRPV-1 también se expresan en el retículo endoplásmico y pueden liberar iones de calcio de las reservas internas. Esto permite la hipótesis de que diferentes comportamientos de permeabilidad también influyen en el perfil de liberación de iones de calcio intracelulares, lo que podría afectar a otras respuestas de la célula.[13]

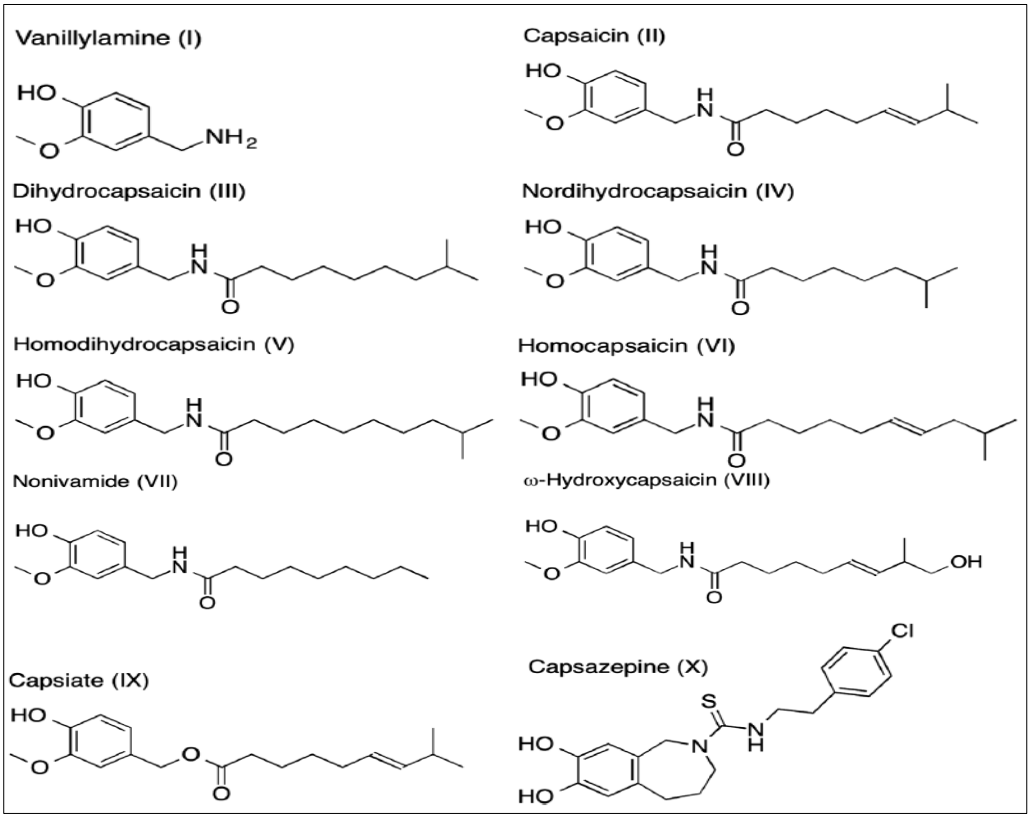


Figura 4. Vanililamina (I), capsaicina (II), capsaicinoides principales (III – VIII), capsiato (IX) y capsazepina (X).

Fuente: Kaiser[13].

2.2.3 Carotenoides

Los carotenoides son una clase de compuestos hidrocarbonados que constan de ocho unidades isoprenoides, unidas en un patrón de cabeza a cola, excepto en el centro, para dar simetría a la molécula de modo que los dos grupos metilo centrales estén en una relación posicional 1,6 y los grupos metilo no terminales restantes están en una posición 1,5 (Figura 5).[14]

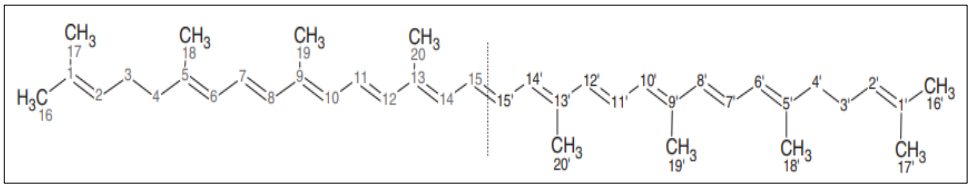


Figura 5. Estructura del carotenoide licopeno.

Fuente: Namitha[14]

Sobre la base de esta estructura semisistemática se utiliza el sistema de numeración y los carotenoides se nombran como un derivado del compuesto original (Figura 6). Las letras griegas se utilizan para describir los grupos finales de la estructura en el sistema IUPAC. La posición de hidrogenación y la sustitución del grupo se indican mediante prefijos y sufijos.

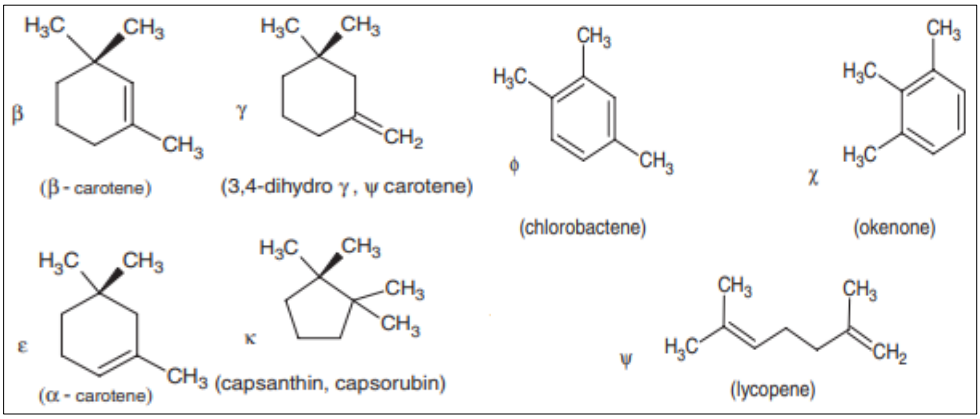


Figura 6. Grupos finales característicos de carotenoides**.**

Fuente: Namitha[14]

La mayoría de los carotenoides se derivan de una cadena de polieno carbono 40, que podría considerarse la columna vertebral de la molécula. Esta cadena puede ser terminada por grupos finales (anillos) cíclicos y pueden complementarse con grupos funcionales que contienen oxígeno.[15]

Según su estructura química, los carotenoides se clasifican en dos grupos: los hidrocarbonados comúnmente conocidos como carotenos, y las xantofilas, que son los derivados oxigenados de los primeros.[14] El otro sistema de clasificación se basa en sus funciones biológicas, que en última instancia dependen de la estructura de un carotenoide.

El patrón característico de alternar enlaces simples y dobles en el polieno, la columna vertebral de los carotenoides, les permite absorber el exceso de energía de otras moléculas, que pueden explicar sus propiedades antioxidantes in vivo.[14] La naturaleza de los grupos finales específicos en los carotenoides puede influir en su polaridad, lo que

puede explicar las diferencias en la forma en que interactúan los carotenoides individuales con membranas biológicas.

Los carotenoides están ampliamente distribuidos en la naturaleza. Diferentes colores producidos por esta clase de pigmentos, a saber, rojo brillante, rosa, naranja, amarillo se encuentran en todas las formas de vida. En plantas superiores, los carotenoides se encuentran en los plástidos. Se encuentran en los cloroplastos de tejidos fotosintéticos y en cromoplastos en frutas y flores.[14,15]

Los carotenoides en la dieta humana se derivan principalmente de plantas donde están presentes de forma natural en hojas, flores y frutos comestibles. En general, un aumento de la intensidad del color en un órgano vegetal indica un mayor nivel de carotenoides. Los hidrocarburos carotenos como el β-caroteno y el licopeno están típicamente presente en forma libre, que atrapados dentro del cloroplasto y cuerpos de cromoplastos. Las xantofilas, como la luteína y la zeaxantina, son abundantes en varias frutas amarillas o anaranjadas y verduras como duraznos, mango, papaya, ciruelas pasas, calabaza, y naranjas. Fuentes alimenticias de luteína y zeaxantina incluyen maíz, yema de huevo, frutas y vegetales verdes como brócoli, judías verdes, guisantes verdes, coles de Bruselas, repollo, col rizada, espinacas y lechuga. La luteína y la zeaxantina también se encuentran en algas y pétalos de muchas flores amarillas. Licopeno encontrado en tomates crudos (sin procesar) está contenido dentro de una matriz. Las fuentes más ricas de β-caroteno son frutas y verduras amarillas, naranjas y rojas como zanahorias, espinacas, lechugas, tomates, batatas, sandía, brócoli y calabaza de invierno. Generalmente, las formas libres de carotenoides están presentes en los cloroplastos de plantas verdes como la alfalfa, espinacas, col rizada y materiales vegetales de hojas verdes y proporcionan mejor absorción cuando se consume en alimentos o como suplemento.[14]

La biodisponibilidad de los carotenoides está influenciada por muchas dietas y factores fisiológicos que incluyen; especies de carotenoides,

enlace molecular, cantidad consumida en una comida, matriz en la que se incorpora el carotenoide, efectores de absorción y bioconversión, estado nutricional del huésped, factores genéticos, factores relacionados con el huésped e interacciones. Como los carotenoides son solubles en lípidos, su absorción del intestino mejora con una dieta rica en grasas, aunque el requerimiento de la cantidad de grasa es baja.[14]
Los carotenoides están presentes en todos los organismos fotosintéticos, donde juegan un rol vital en la fotosíntesis. Están involucrados en el ensamblaje del fotosistema, recolección de luz, y proveer protección contra el exceso de luz a través de la disipación de energía y desintoxicación de radicales libres, lo que ayuda a limitar el daño de la membrana.[14]

Los carotenoides tienen un rango ancho de funciones, especialmente en relación a la salud humana y su rol como antioxidantes biológicos. Casi 50 carotenoides con grupos terminales de β-ionona, como el βcaroteno, el α-caroteno y la β-criptoxantina tienen actividad de provitamina A, siendo esta la actividad mejor establecida de los carotenoides. Después de la ingestión, los carotenoides se escinden por las enzimas intestinales 15-15-dioxigenasa y monooxigenasa para formar la retina.[14]
Los carotenoides son considerados los más potentes extintores del oxígeno singlete y pueden reaccionar con cualquiera de las probables especies de radicales que son encontrados en los sistemas biológicos como peróxido de hidrogeno, oxigeno singlete, óxido de nitrógeno, anión súper-oxido y otras especies reactivas de oxígeno. En la mayoría de estas reacciones, los carotenoides se descomponen en productos de degradación biológica. La longitud de la cadena de polieno de los carotenoides es químicamente responsable de apagar el oxígeno singlete. Otros factores que contribuyen a la actividad antioxidante incluyen su doble enlace aislado, cadena abierta y falta de sustituyentes de oxígeno. También se postula que el número de dobles enlaces conjugados es un parámetro efectivo, y la “actividad antioxidante aumenta a medida que el número de los dobles enlaces conjugados

aumentan en la molécula de carotenoides".[14] Mecanismos alternativos de protección contra daños oxidativos pueden incluir β-caroteno como un antioxidante que rompe cadenas para terminar la oxidación de lípidos y el β-caroteno y la luteína disminuyen la liberación celular de lactato deshidrogenasa para proteger las células de la peroxidación de los lípidos y daño a la membrana[14].

La catarata y la degeneración macular, la principal causa de ceguera irreversible en personas de edad avanzada, son causadas por la luz azul. Los radicales libres causan daño a la retina y son comunes alrededor del mundo. Los carotenoides luteína y zeaxantina presentes dentro de toda la retina y la mácula son responsables del tinte amarillento en la región del ojo macular. Luteína, se ha demostrado que el nutriente protector de los ojos está inversamente asociado con las cataratas y degeneración macular relacionada con la edad. Los carotenoides que tienen actividad de vitamina A como el α-caroteno, el β-caroteno y la β-criptoxantina son buenos para la salud de la visión. Debido a sus capacidades fotoprotectoras, los carotenoides se utilizan en terapias para enfermedades fotosensibles y β-caroteno se usa junto con la vitamina E para obtener efectos beneficiosos. Licopeno, luteína y zeaxantina, a pesar de que no contribuyen a actividad de la vitamina A, se sabe que son excelentes antioxidantes y se utilizan en protectores solares orales que protegen los tejidos expuestos contra daños inducidos por la luz.[14]

Uno de los posibles mecanismos de actividad preventiva del cáncer de los carotenoides ha sido el estímulo de la comunicación gap. Los carotenoides ayudan a regular las uniones de la brecha al aumentar la expresión de connexin-43, una subunidad de proteína presente en la membrana de la célula, mejorando así la comunicación de célula a célula. Se ha encontrado que los carotenoides naturales son más eficientes para inducir la comunicación de unión de brecha que los sintéticos. También ha habido una creciente evidencia de que los productos de oxidación de los carotenoides, análogos del ácido retinoico, también juegan un papel en la actividad preventiva del cáncer. Los

carotenoides se asocian con la inhibición de varios tipos de cáncer, como cervical, pulmonar, prostático, colorrectal, estomacal, pancreático y esófago. Ingesta dietética de tomate y sus productos, que son ricos en licopeno, se ha asociado con una disminución en el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. Esta evidencia se basa en estudios epidemiológicos, de cultivo de tejidos y en animales y ensayos clínicos. Se descubrió que el riesgo de cáncer de cuello uterino, ovario, hígado y otros órganos se redujo significativamente. Estudios de cultivo de tejidos con líneas celulares de cáncer humano en presencia de licopeno tienen inhibición mostrada en el crecimiento celular. Los estudios en animales también han revelado una asociación inversa entre el licopeno en la dieta y el crecimiento espontáneo y tumores trasplantados.[14, 16]

Niveles de colesterol en suero y oxidación lipoproteínas de baja densidad (LDL) se cree que juegan un papel clave en el desarrollo de la aterosclerosis que conduce a un ataque cardíaco e isquémico. El rol de licopeno en el tejido adiposo e infracción aguda del miocardio ha sido evaluado por varios estudios. En sujetos que consumen tomate en pasta, jugo de tomate y cápsulas de oleorresina de licopeno, se redujo significativamente los niveles de LDL oxidado. Se ha demostrado que el mecanismo antioxidante no es el único responsable de la habilidad de β-caroteno o licopeno para reducir los niveles de colesterol LDL, un mecanismo de retroalimentación para inhibir la HMG-CoA reductasa también ocurre.[14]

Los carotenoides también juegan un papel importante en el aumento de la respuesta inmune. Varios estudios informan sobre los mecanismos por los cuales los carotenoides refuerzan el sistema inmunitario como su papel en el aumento de la respuesta de los linfocitos a los mitógenos, aumento de la actividad de las células asesinas naturales en las células envejecidas, aumentando glóbulos blancos totales y relación CD4/CD8 en personas infectadas por VIH. Los estudios epidemiológicos han demostrado que el estrés oxidativo es asociado con la osteoporosis y que los antioxidantes pueden contrarrestar este efecto. Los efectos

estimulantes del licopeno en la célula, la proliferación y los efectos inhibitorios sobre la formación y reabsorción de osteoclastos dan evidencia de la implicación del licopeno en la salud ósea. Diversas investigaciones sobre el papel del licopeno en otras enfermedades humanas como la disminución de la hipertensión, enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer, el Parkinson y demencia vascular también han sido reportadas. La reducción significativa en los niveles de licopeno fue observada en este tipo de condiciones patológicas que indican un aumento de la actividad de radicales libres.[14]

2.2.4 Compuestos fenólicos

Representan un diverso grupo de moléculas con una variedad de funciones en el crecimiento, desarrollo y defensa de las plantas. Como compuestos fenólicos se incluyen moléculas de señalización, pigmentos y de sabor que pueden atraer o repeler, como compuestos que pueden proteger la planta contra insectos, hongos, bacterias y virus. La mayoría de los compuestos están presentes como ésteres o glicósidos que como compuestos libres.[17]

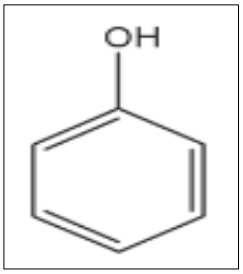


Figura 7. Fenol

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

Estos compuestos se definen como aquellos que tienen uno o más grupos hidroxilos adjuntos directamente a un anillo aromático. El fenol (figura 6) es la estructura sobre la cual el grupo entero se basa.

Los fenoles son similares a las estructuras alifáticas de los alcoholes en donde “el grupo hidroxilo se encuentra junto a una cadena de carbonos”.[17] “El grupo hidroxilo fenólico, sin embargo, es influenciado por la presencia del anillo aromático. El hidrogeno perteneciente al hidroxilo fenólico del anillo aromático es lábil, lo que hace que los fenoles sean ácidos débiles”.[17]
Los polifenoles son compuestos que tienen más de un grupo hidroxilo fenólico adjunto a uno o más anillos bencénicos.

Los compuestos fenólicos tienen su origen en el mundo vegetal. Son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas y su presencia en el reino animal se debe a la ingestión de éstas[18]. Los fenoles son sintetizados de novo por las plantas y son regulados genéticamente, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, aunque a este nivel también existen factores ambientales. Además, actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos) y contribuyen a la pigmentación de muchas partes de la planta (por ejemplo, los antocianos son los responsables del color rojo, naranja, azul, púrpura o violeta que encontramos en las pieles de las frutas y hortalizas). Por otro lado, cuando los fenoles son oxidados, dan lugar a las quinonas que dan un color pardo que muchas veces es indeseable. Los fenoles se encuentran casi en todos los alimentos de origen vegetal. Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor.
Los compuestos fenólicos que encontramos en los distintos alimentos constituyen una fracción muy compleja formada por un número muy grande de compuestos, algunos todavía no identificados. La concentración en polifenoles de cualquier alimento también es muy variable, porque depende de muchos factores tales como la variedad o el grado de maduración del vegetal. También su biodisponibilidad es muy variable: muchos de ellos son metabolizados por microorganismos del colon antes de ser absorbidos. Además, los procesos tecnológicos y los

hábitos culinarios del consumidor pueden reducir en gran parte los fenoles del alimento.

Los polifenoles tradicionalmente han sido considerados como antinutrientes por los nutricionistas de animales, debido al efecto adverso de los taninos sobre la digestibilidad de las proteínas que provoca un menor crecimiento del ganado y una menor puesta de huevos por parte de las aves de corral. Sin embargo, actualmente hay un interés creciente debido a su capacidad antioxidante, tanto como captadores de radicales libres como quelantes de metales. Estas propiedades antioxidantes son el motivo de sus posibles implicaciones en la salud humana, como son la prevención del cáncer, de las enfermedades cardiovasculares o incluso de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. También existen sustancias con actividad estrogénica (fitoestrógenos) como las isoflavonas, los lignanos y el estilbeno resveratrol, y otras con propiedades antimicrobianas.

De todos los compuestos fenólicos, el grupo de los flavonoides es el más extendido en la naturaleza y dentro de ellos, los flavonoles son los que poseen una mayor actividad antioxidante. Estudios epidemiológicos han demostrado que una ingestión rica en flavonoides se correlaciona con un menor riesgo de enfermedad cardiovascular y se ha observado que actúan a diferentes niveles. Por un lado, disminuyen las tasas de colesterol y de LDL oxidada debido a sus propiedades antioxidantes como fuertes quelantes de metales y como donadores de hidrógeno (a través de los grupos hidroxilo). Así, en general, el grado de actividad antioxidante se correlaciona con el número de grupos hidroxilo. Por ello, los ortodifenoles son buenos antioxidantes, mientras que compuestos monofenol, como el tirosol, no lo son tanto. También algunos, como el hidroxitirosol o la oleuropeína, tienen la capacidad de ser captadores de radicales libres. Por otro lado, pueden inhibir la ciclooxigenasa y la lipooxigenasa, lo que se traduce en una disminución en la formación de tromboxano y leucotrienos. Con todo ello, los fenoles pueden controlar, en parte, la reacción inflamatoria de la placa de ateroma. Además, algunos fenoles, como el hidroxitirosol, también inhiben la agregación

plaquetaria y estabilizan las fibras de colágeno de la pared arterial. Por último, cabe destacar que 2 subclases de compuestos fenólicos, las isoflavonas y los lignanos, tienen una estructura muy similar a los estrógenos, por lo que se engloban dentro del grupo de los fitoestrógenos. Estos compuestos son metabolizados por las bacterias intestinales y dan lugar a sustancias, como la enterolactona, que tienen la propiedad de unirse a los receptores estrogénicos y mimetizar su acción. Así, se ha observado que los fitoestrógenos pueden disminuir el riesgo de enfermedad cardiovascular y algunos cánceres por vías hormonadependientes.[17, 19, 20]

Los mecanismos a través de los que los compuestos fenólicos pueden prevenir el cáncer no están aun definitivamente establecidos. Estudios de laboratorio en animales de experimentación han puesto de manifiesto efectos y actividades biológicas muy variadas. Sin embargo, en estos estudios es muy difícil discernir si el efecto es debido a un compuesto en concreto o si, lo más probable, es debido a un efecto sinérgico de distintos fitoquímicos presentes en estos alimentos como son, además de los polifenoles, las vitaminas C y E, los carotenos, el ácido fólico, la fibra, etc. A pesar de haberse demostrado estos efectos en muchos estudios, en otros no se han obtenido resultados significativos. Estas discrepancias pueden ser debidas, entre otros factores, a deficiencias en los métodos de evaluación de la ingestión de compuestos fenólicos. También la matriz del alimento y otros constituyentes de la dieta que acompañan a los polifenoles pueden tener un efecto relevante sobre su biodisponibilidad y metabolismo. La verdad es que se conoce poco sobre la absorción, biodisponibilidad y metabolismo de los compuestos fenólicos y es probable que cada grupo tenga una cinética diferente. Su estructura química determina la velocidad de absorción, la naturaleza de los metabolitos circulantes y su eliminación. También se supone que debido a su naturaleza hidrofílica los compuestos fenólicos son eliminados muy rápidamente de la circulación. Un tema también muy debatido es si el efecto antioxidante de la vitamina E es mayor o no que el de los compuestos fenólicos. Lo que es evidente es que, sólo por su

distinta liposolubilidad, cada antioxidante tendrá su lugar preferente de acción. Se ha sugerido que los compuestos fenólicos se localizan en la superficie de la bicapa lipídica y neutralizan los radicales libres presentes en el medio acuoso, retrasando así el consumo de antioxidantes endógenos como la vitamina E.

A pesar de todo esto, los fenoles pueden tener efectos antinutricionales debido a que pueden interaccionar con algunos elementos de la dieta. Por ejemplo, una ingestión muy elevada y crónica de estos compuestos puede interferir en la absorción del hierro de la dieta y provocar anemia. Sin embargo, en general, la toxicidad de los fenoles en una ingestión moderada es muy poca debido a su baja absorción, rápido metabolismo y a la presencia de un sistema muy eficaz de detoxificación. El problema es que la mayoría de estudios están hechos in vitro o en animales de experimentación, lo que limita la extrapolación de resultados en el hombre. Se ha visto que los polifenoles pueden ser tóxicos si su ingestión está entre el 1 y el 5% del total de la dieta, cosa imposible en condiciones normales, ya que lo habitual es ingerir, aproximadamente, entre 25 mg^{-1} g/día. Aun así, conviene ser prudentes y no recomendar un consumo muy elevado de compuestos fenólicos hasta que su bioactividad esté mejor entendida.

Clasificación:

2.2.4.1 *Fenólicos simples*

Son fenoles sustituidos. La nomenclatura orto, meta y para se refiere a un patrón de sustitución 1,2, 1,3 y 1,4 del anillo bencénico, respectivamente, donde en este caso uno de los grupos funcionales es el grupo hidroxilo. Con tres grupos funcionales, el patrón de sustitución puede ser 1,3,5, el cual, cuando las tres sustituciones son idénticas, es designado como un patrón de sustitución meta-tri-, mientras el patrón de sustitución 1,2,6 es indicado por el prefijo “vic” (figura 8.)[17,19].

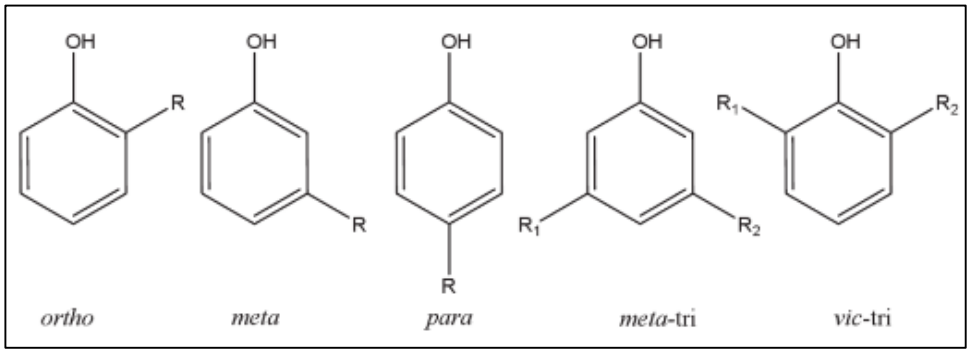


Figura 8. Patrones de sustitución en compuestos fenólicos

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

Los ejemplos incluyen al resorcinol (1,3-dihidroxibenceno), un fenólico simple meta-dihidroxilado, y floroglucinol (1,3,5-trihydroxibenceno), un fenólico simple meta-trihidroxilado.

2.2.4.2 *Ácidos fenólicos y aldehídos*

Ácidos hidroxi-benzoicos tienen la característica de poseer un grupo carboxilo sustituido en un fenol. Los ejemplos incluyen el ácido *p*-hidroxibenzoico, ácido gálico, ácido protocatechuico, ácido salicílico y ácido vanílico. Relacionados están los aldehídos hidroxibenzoicos, como la vainillina, el cual tiene un grupo aldehído en lugar de un grupo carboxilo.[17, 19]

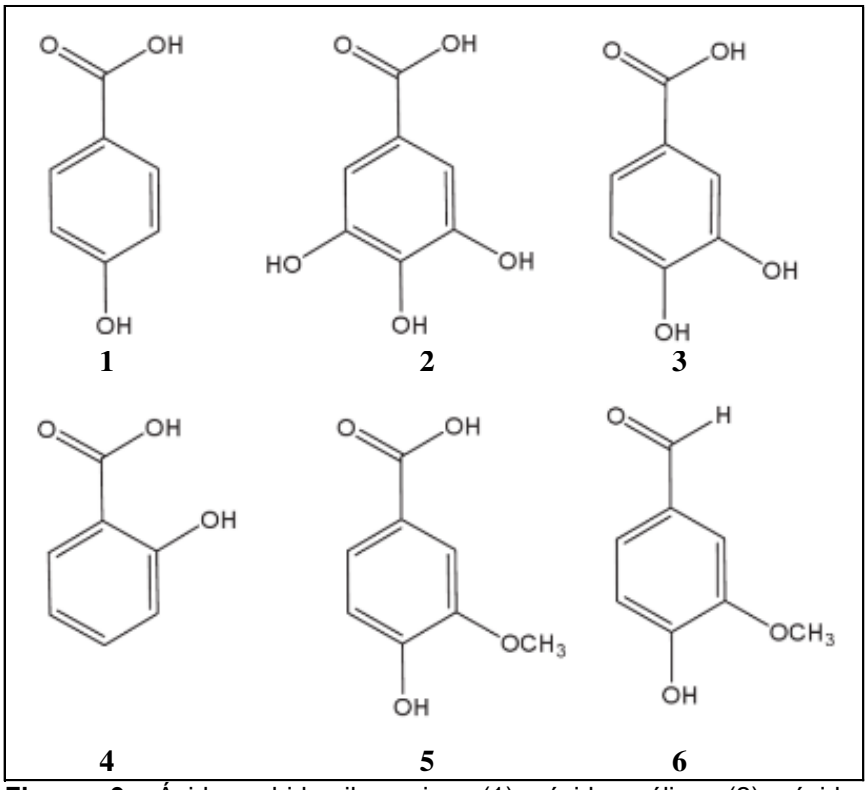


Figura 9. Ácido *p*-hidroxibenzoico (1), ácido gálico (2), ácido protocatechuico (3), ácido salicílico (4), ácido vanílico(5) vainillina (6).

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

2.2.4.3 Acetofenonas y ácidos fenilacéticos

Las fenonas son compuestos C_6-C_2, que son raramente encontrados en la naturaleza. Los ejemplos incluyen la 2-hidroxiacetofenona y el ácido acético 2-hidroxifenil.[17]

2.2.4.4 Ácidos cinámicos

Existen seis ácidos cinámicos comunes, los que tienen un esqueleto C_6-C_3. Todas las plantas contienen al menos tres de ellas. Se muestran a continuación al ácido cinámico (1), acido *p*-cumárico (2), ácido cafeico (3), ácido ferúlico (4), ácido 5-hidroxiferulico (5) y el ácido sinápico (6). Los ácidos cinámicos son comúnmente encontrados en plantas como ésteres de ácidos quínico, ácido shikímico y ácido tartárico. Por ejemplo, ácido clorogénico es un éster de ácido cafeico y ácido quínico. Esteres cinámicos son también encontrados como esteres de azúcares, o como

esteres de una variedad de otros ácidos orgánicos. Por ejemplo, ésteres de sinapoil representan una clase de compuestos absorbentes de rayos UV en la familia de las *Brassicaceae*. Ejemplos incluyen malato de sinapoil presente en hojas, y colina de sinapoil presente en raíces.

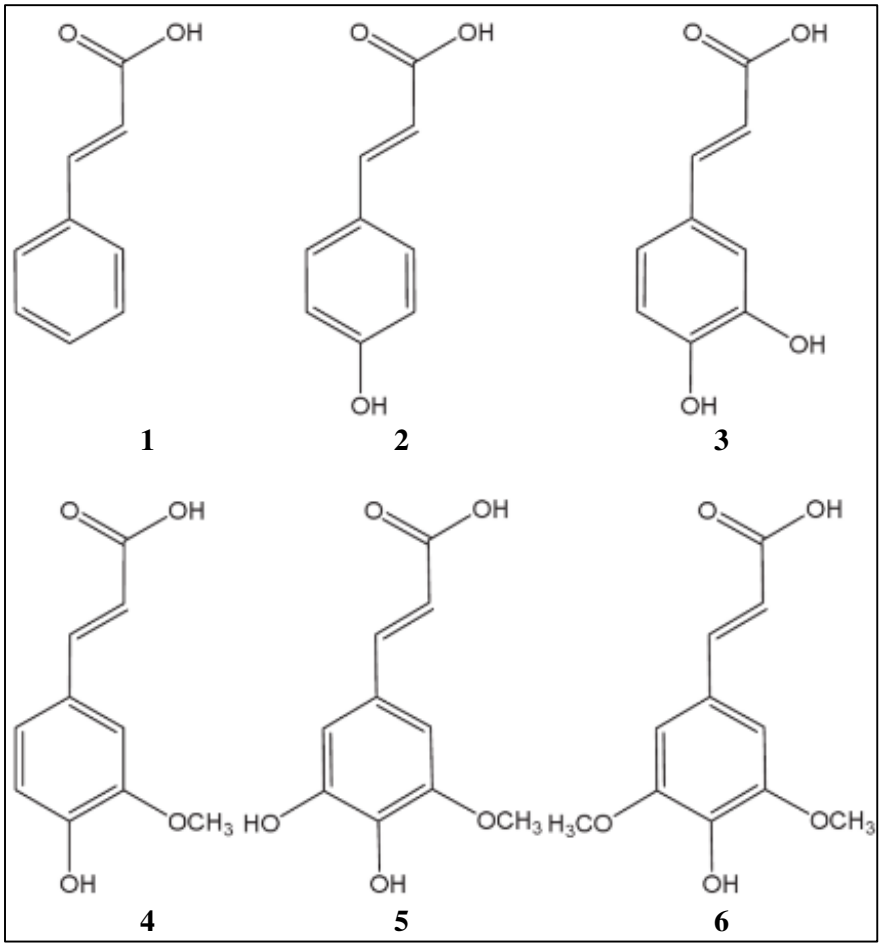


Figura 10. Ácido cinámico (1), ácido p-cumárico (2), ácido cafeico (3), ácido ferúlico (4), ácido 5-hidroxiferulico (5) y ácido sinápico (6)**.**

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

2.2.4.5 Cumarinas

También tienen esqueletos C_6-C_3, pero ellas poseen un oxigeno heterociclo como parte de la unidad C3. Existen numerosas cumarinas, muchas de ellas juegan un rol en las enfermedades y resistencia a plagas, así como tolerancia a la luz UV. La umbeliferona cumarina (1) es popular en ensayos enzimáticos. Las isocumarinas como la bergenina (2) tienen una estructura similar a las cumarinas, pero la posición de los

grupos oxígeno y carbonilo dentro del oxígeno heterociclo son reservados. Las isocumarinas también juegan un rol en la respuesta de defensa. Por ejemplo, bergenina ha demostrado inhibir el crecimiento del moho polvoriento en guisantes.

2.2.4.6 Flavonoides

Son compuestos C15 con estructura C_6-C_3-C_6. Los flavonoides pueden estar agrupados en tres grandes categorías basados en su estructura general. En cada caso, dos anillos benzénicos están unidos entre sí por un grupo de tres carbonos. Es la disposición del grupo C3 que determina cómo se clasifican los compuestos.[17, 19]

2.2.4.6.1 Chalconas

Chalconas (1) y dihidrochalconas (2) tienen una cadena lineal C3 conectando los dos anillos. La cadena C3 de chalconas contiene un doble enlace, mientras la cadena C3 de la dihidrochalconas es saturada. Las chalconas como la buteina (3), son pigmentos amarillos en flores. Un ejemplo de una dihidroxichalcona es floridizin (proteína-2'-O-D-glucosida) (4), un compuesto encontrado en hojas de manzanas, y que ha reportado tener actividad antitumoral.

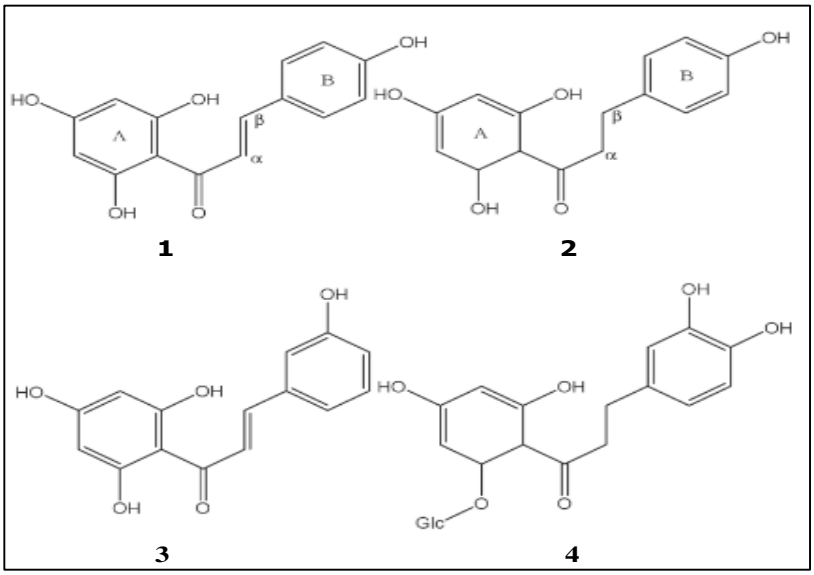


Figura 11. Chalcona (1), dihidrochalcona (2), buteina (3), floridizin (4).

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

2.2.4.6.2 Auronas

Están formadas por ciclación de chalconas, por lo que el grupo meta-hidroxilo reacciona con el carbono alfa para formar un heterociclo de cinco miembros. Las auronas son también pigmentos amarillos presentes en flores.[17]

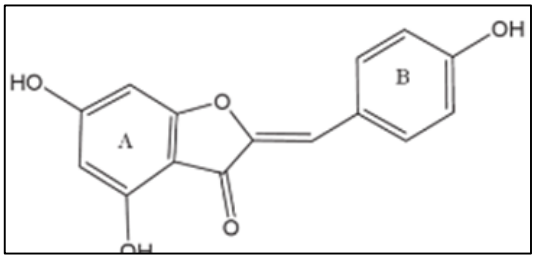


Figura 12. Aurona

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

2.2.4.6.3 Flavonoides

Flavonoides típicos, como flavanona (figura 13), tienen un heterociclo de seis miembros. Los flavonoides tienen anillos A-, B- y C-, y son típicamente representados con el anillo A- en el sitio izquierdo. El anillo A- se origina de la condensación de las tres moléculas de malonil-Co, y el anillo B- se origina del *p*-cumaroil-CoA. Estos orígenes explican por qué el anillo A- de la mayoría de los flavonoides es meta-dihidroxilado o meta-trihidroxilado.[17, 19, 20]

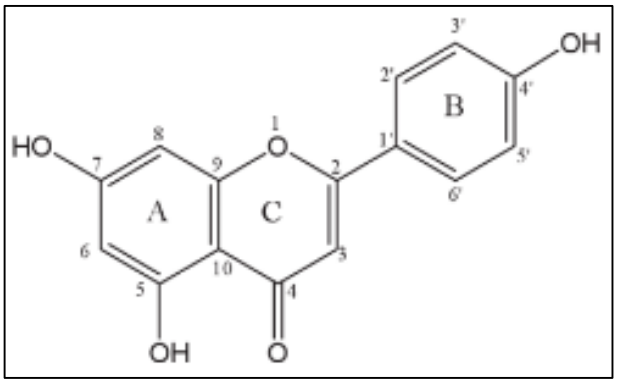


Figura 13. Estructura de la flavanona

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

En los flavonoides típicos uno de los grupos meta-hidroxilos del anillo A contribuye al oxigeno del heterociclo de seis átomos. El heterociclo de oxigeno de seis miembros de los flavonoides típicos puede ser un anillo pirano (1), pirilium (2) o pirona (3).[17, 19] El anillo B- es generalmente mono-hidroxilado, orto-dihidroxilado o vic-trihidroxilado. El anillo B- puede también tener metilesteres como sustituyentes.

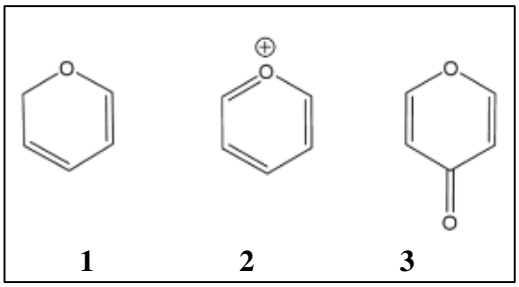


Figura 14. Pirano (1), pirilium (2) y pirona (3).

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

Isoflavonas, isoflavanonas y neoflavonoides son también miembros del grupo de los flavonoides. Todos ellos tienen estructura C_6-C_3-C_6 pero el anillo B- está en una posición diferente a la del oxígeno heterociclo. Ejemplos, isoflavona y el neoflavonoide dalbergina.

2.2.4.6.3.1 Flavanonas

El heterociclo de los flavanonas también contiene un grupo cetona, pero hay un enlace carbono-carbono no insaturado (figura 15).

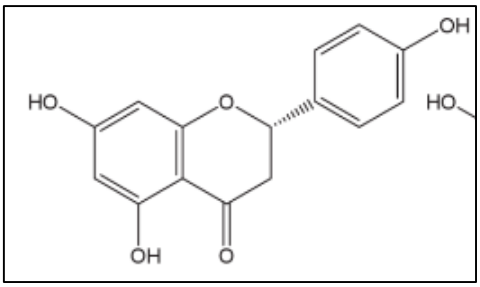


Figura 15. Flavonona.

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

2.2.4.6.3.2 Flavanonoles

También conocidos como dihidroflavonoles, a menudo ocurre en asociación con taninos en el duramen.[17, 19] Un ejemplo es la taxifolina (Figura 16), también conocida como dihidroquercetina.

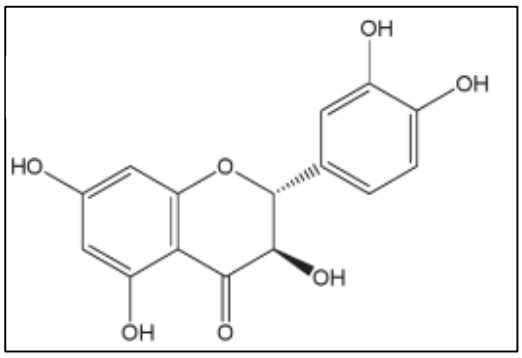


Figura 16. Flavanonol

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

2.2.4.6.3.3 Leucoantocianidinas

También referidas como las flavan-3,4-*cis*-diols. Se sintetizan a través de una reducción del resto cetona en C4. Ejemplos, leucocianidina y leucodelfinidina. Estos compuestos están a menudo presentes en la madera y juegan un papel en la formación de taninos condensados. Debido a su heterociclo completamente saturado, las leucoantocianidinas, junto con los flavan-3-ols son referidas como flavanos. Ejemplos de flavan-3-ols son catequinas y galocatequinas. El "galo" en el último compuesto se refiere al patrón de sustitución vic-tri-hidroxi en el anillo B. A diferencia de la mayoría de los otros flavonoides, los flavanos están presentes como agliconas libres o como polímeros de agliconas, no siendo glicosiladas. Las catequinas pueden también ser encontradas como esteres de ácido gálico que son esterificados en el grupo 3'hidroxilo. Nótese la diferencia entre el éster de ácido gálico de la catequina y de la galocatequina. Ver figura 17.

2.2.4.6.3.4 Flavonas

El heterociclo de los flavones contiene un grupo cetona, y tiene un enlace carbono-carbono insaturado. Los flavonas están presentes comúnmente

en las angiospermas. Los flavonas mas ampliamente distribuidos en la naturaleza son kampferol (5,7,4'hidroxiflavona; 1), quercetina (5,7,3',4' hidroxiflavona; 2), y miricetina (5,7,3',4',5' hidroxiflavona; 3). Ver figura 18.

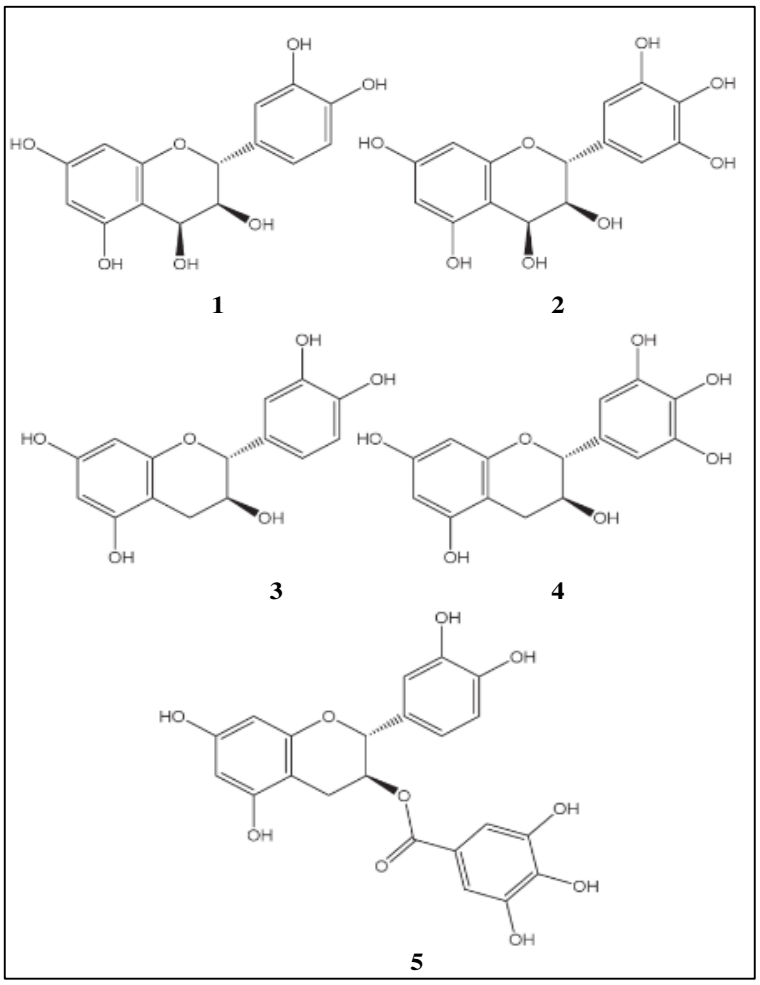


Figura 17. Leucocianidina (1), leucodelfinidina (2), catequinas (3), galocatequinas (4), éster de ácido gálico (5).
Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

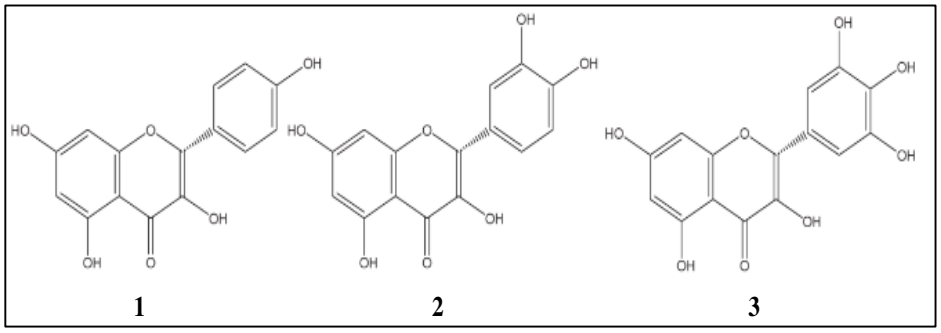


Figura 18. Kampferol (1), quercetina (2) y miricetina (3).

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

2.2.4.6.3.5 Antocianidinas y deoxiantocianidinas

El heterociclo de las antocianidinas es un catión pirilium. Normalmente las antocianidinas no se encuentran como agliconas libres, con excepción de los siguientes ampliamente distribuidos compuestos coloreados: pelargonidina (naranja-rojo), cianidina (rojo), peonidina (rosa-rojo), delfinidina (azul-violeta), petunidina (azul-purpura) y la malvidina (purpura). siendo la cianidina la mas común de este grupo.[17] Estos compuesto están presentes en las vacuolas de tejidos de plantas coloreadas como las hojas o petalos de las flores. El color del pigmento depende del pH, presencia de iones metálicos y la combinación de azucares sustituidos y acilesteres. Diferentes colores pueden resultar de la presencia de combinaciones de muchas antocianidinas.

2.2.4.6.3.6 Antocianinas

Son glucósidos solubles en agua de polihidroxilo y derivados de polimetoxilo de sales de 2-fenilbenzopirilio o flavilio. Las antocianinas individuales difieren en el número de grupos hidroxilo presentes en la molécula; el grado de metilación de estos grupos hidroxilo; la naturaleza, número y ubicación de azúcares unidos a la molécula; y el número y la naturaleza de los ácidos alifáticos o aromáticos unidos a los azúcares en la molécula.[17] Las cianidinas y sus derivados son las antocianinas más comunes presentes en vegetales, frutas y flores.

Las antocianinas comparten un esqueleto de carbono básico en el que se pueden encontrar grupos hidrógeno, hidroxilo o metoxilo en seis posiciones diferentes. En frutas y verduras, predominan seis compuestos de antocianina básicos, que difieren tanto en el número de grupos hidroxilo presentes en el anillo de carbono como en el grado de metilación de estos grupos hidroxilo. La identidad, el número y la posición de los azúcares unidos al esqueleto de carbono también son variables; Los azúcares más comunes que pueden estar relacionados con el carbono 3, el carbono 5 y, a veces, el carbono 7, son glucosa, arabinosa, ramnosa o galactosa. Sobre esta base, es posible distinguir monósidos, biósidos y triósidos.

Otra variable importante que contribuye a la estructura química de las antocianinas es el ácido acilante que puede estar presente en el resto de carbohidratos. Los agentes acilantes más frecuentes son los ácidos cafeico, ferúlico, sinápico y *p*-cumárico, aunque también pueden aparecer ácidos alifáticos como los ácidos acético, málico, malónico, oxálico y succínico. Pueden estar presentes hasta tres ácidos acilantes simultáneamente.

El blindaje natural que ofrece la estructura tridimensional de las antocianinas las protege del ataque acuoso, evitando así los cambios hipercrómicos y batocromáticos en el ión hidroxilo fenólico presente en el esqueleto de carbono. Tal efecto se pierde a altas temperaturas, como las que ocurren durante el procesamiento industrial de vegetales ricos en antocianinas. Por lo tanto, las antocianinas a menudo se degradan parcialmente en muchos alimentos almacenados durante largos períodos de tiempo.

Esta variabilidad en la estructura química de las antocianinas explica la gran cantidad de compuestos que pertenecen a la familia de las antocianinas, y permite a los investigadores asignar huellas digitales químicas / moleculares a muchas especies de plantas diferentes en función de su composición de antocianinas[21, 22].

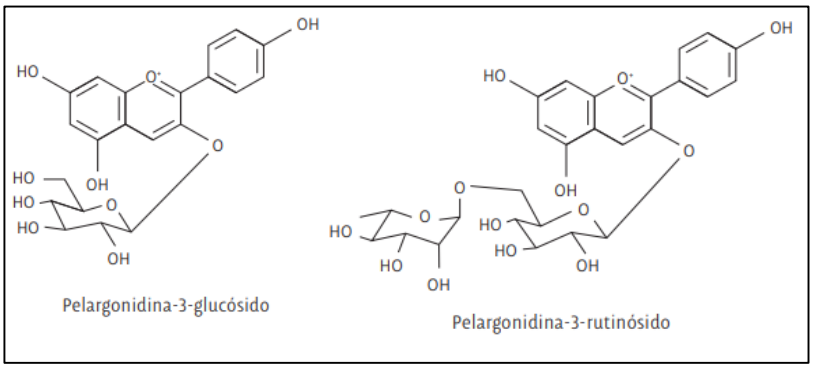


Figura 19. Ejemplos de antocianinas de color rojo.

Fuente: Vermerris y Nicholson[17]

2.2.4.7 Biflavonilos

El biflavonoide (o biflavonil, flavandiol) es una forma dimérica de flavonoide que se forma mediante la unión de dos unidades o mezclas de flavona entre flavona y flavanona o aurona. La estructura básica del biflavonoide es 2,3-dihidroapigeninil- (I-3 ', II-3') - apigenina. Este compuesto tiene un enlace C-C interflavanil entre el carbono C-3 'en cada grupo de flavona. También hay algo de biflavonoide con enlace C-O-C interflavanil. El término "biflavanoide" se asume más preciso que "biflavonoide" porque indica una naturaleza saturada. El sufijo "oido" indica un tipo dimérico homogéneo, que incluye biflavanon, biflavon, biflavan, etc. Sin embargo, el término "biflavonoide" se usa con más frecuencia porque se articula más fácilmente.

Los biflavonoides se encuentran en las frutas, vegetales y otras partes de la planta. Este compuesto fue encontrado originalmente a partir del extracto de hoja de *G. biloba* en forma de compuesto de color amarillo, más tarde llamado ginkgetin. Hoy en día, la cantidad de biflavonoide que se aisla y caracteriza de la naturaleza aumenta continuamente, pero el aprendizaje de la bioactividad sigue siendo limitado. Los más observados son ginkgetina, isoginkgetina, amentoflavona, morelloflavona, robustaflavona, hinokiflavona y ochnaflavona. Esos compuestos tienen una estructura básica similar, es decir, 5,7,4'-

trihidroxi flavonoide, pero difieren en la naturaleza y posición del enlace flavonoide[23].

2.2.4.8 Benzofenonas, xantonas y estilbenos

Las benzofenonas y xantonas tienen una estructura C_6-C_1-C_6, mientras que los estilbenos tienen una estructura C_6-C_2-C_6.[17] Las xantonas son pigmentos amarillos en flores y los estilbenos están asociados con el duramen de los árboles. Se muestran las estructuras de la benzofenona, xantona y los estilbenos resveratrol y pinosilvina.

2.2.4.9 Benzoquinonas, antraquinonas y naftaquinonas

Las benzoquinonas como la 2,6-dimetoxibenzoquinona, están presente en exudados de raíces de maíz y estimula a las plantas parasitarias a formar la haustoria.[17] Las ubiquinonas, como la ubiquinona, donde indica el número de cadenas laterales isoprenoides, es también conocida como coenzima Q y tiene un rol en el transporte de electrones en la mitocondria. Las naftoquinonas son raras. Entre los juglones naftoquinonas es relativamente común. Es encontrado en nueces. La antraquinona es la más ampliamente distribuida de las quinonas en la mayoría de plantas y hongos. La antraquinona emodina ocurre como un ramnósido en raíces de ruibardo.

2.2.4.10 Betacianinas

Son pigmentos rojos responsables del color de la betarraga. Son compuestos únicos de los centrospermas.[17] Ellos tienen un espectro de absorción que se asemeja a las antocianinas, pero ellos contienen nitrógeno. Un ejemplo es la betanidina, las betacianinas son normalmente encontradas como glicósidos. Las betaxantinas son químicamente relacionadas a las betacianinas, pero ellos no son fenoles. Un ejemplo es indicaxantina. Estos compuestos son pigmentos amarillos y son también únicos del centrosperma.

2.2.4.11 Lignanos

Son dímeros u oligómeros que resultan del acoplamiento de monolignoles – *p*-cumaril alcohol, coniferil alcohol y sinapil alcohol, con coniferil alcohol siendo el más común monolignol usado en la biosíntesis del lignano.[17] Los lignanos están presentes en los helechos, gimnospermas y angiospermas. Están localizados en tallos leñosos y en semillas y juegan un rol como disuasivo de insectos. Algunos de estos compuestos tienen propiedades medicinales.

2.2.4.12 Lignina

Es un polímero fenólico. Es el segundo biopolímero más abundante de la Tierra (después de la celulosa), y juega un importante rol en proveer el soporte estructural a las plantas. Su hidrofobicidad también facilita el transporte de agua a través del tejido vascular. Finalmente, la complejidad química y la aparente ausencia de regulación en su estructura hacen de la lignina ser adecuada como una barrera física contra insectos y hongos.[17]

Como los lignanos, la lignina es sintetizada primariamente de tres precursores monolignoles: p-cumaril alcohol, coniferil alcohol y sinapil alcohol. Compuestos adicionales son incorporados dentro de la lignina, pero típicamente en pequeñas cantidades.

2.2.4.13 Taninos

Comprende un grupo de compuestos con una amplia diversidad en estructura que comparte su habilidad de enlazar y precipitar proteínas. El nombre taninos refriere al proceso de curtir la piel de animales para formar cuero. Este proceso es bien conocido desde tiempos prehistóricos, cuando pieles de animales eran tratadas con grasa animal y tejido cerebral. Químicamente esto resulta en la reticulación de cadenas de colágeno en la piel. Durante gran parte de la historia, el encurtido era realizado con derivados taninos de plantas, hasta la llegada de minerales como el aluminio y cromo reemplazaron el uso de

encurtidos de plantas durante la última centuria. Como parte de la medicina natural japonesa y china, los taninos han sido usados como compuestos antiinflamatorios y antisépticos. Ellos también han sido utilizados para tratar una amplia gama de enfermedades, que incluyen la diarrea y tumores en el estómago o duodeno. Otra aplicación de los taninos es en la producción del vino y la cerveza, donde se les utiliza para la precipitación de proteínas.

Los taninos son abundantes en muchas diferentes especies de plantas. También puede estar presentes en hojas, cortezas y frutos, y se cree que protegen a las plantas contra infecciones y herbívoros.[17, 20]

2.2.4.14 Flobafenonas

Su estructura química es poco conocida. Se los describe como polímeros de flavan-4-oles.[17] Estos compuestos están presentes en el maíz (*Zea mays)* y sorgo (*Sorghum bicolor*) y pueden ser parcialmente responsables del color rojo de algunas variedades de estos cultivos.

2.3 Color

Uno de los parámetros de calidad que los consumidores evalúan a primera vista es el color de la superficie. Esto se considera crítico para la aceptación o rechazo del producto. La toma de decisiones por parte de los consumidores se basa en el color, que puede estar relacionado con otros atributos de calidad, como sensoriales, defectos nutricionales y visuales o no visuales. Se sabe que los pigmentos primarios que dan calidad de color en frutas y verduras son la clorofila liposoluble (verde), carotenoides (amarillo, naranja y rojo), antocianina soluble en agua (rojo, azul), flavonoides (amarillo) y betalaínas (rojo)[24].

Para la medición del color en los alimentos, la simple observación visual de las muestras puede ser inadecuada, mientras que las evaluaciones visuales analíticas detalladas pueden llevar mucho tiempo y mano de obra, y la determinación química es demasiado compleja. El caso para algún tipo de evaluación instrumental del color es claro. Usando

refractancia de luz o medidas de transmisión, podemos esperar hacer mediciones físicas rápidas, que puedan relacionarse con atributos percibidos visualmente y propiedades químicas. Las coordenadas CIELAB y Hunterlab han sido los sistemas más exitosos para la evaluación del color en alimentos.[25]

Por otro lado, para evitar problemas asociados con la apreciación individual, la Asociación Americana de Comercio de Especias (ASTA) recomienda que el color de los ajíes se determine por extracción de pigmento utilizando un solvente selectivo. El método ASTA es completamente objetivo, pero es destructivo y requiere mucho tiempo, porque el proceso de extracción dura 16 horas.[25]

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Lugar de ejecución

Laboratorio “Investigación nutricional de los recursos genéticos” Sede central La Molina- INIA.

3.1.2 Material vegetal

04 materiales promisorios y un testigo comercial de la Colección Nacional de *Capsicum* del INIA se utilizaron en la investigación. Los códigos, nombres comunes y científicos de los ajíes:

“Accesión 04 PER 006945, Miscucho”, *Capsicum chinense*.

“Accesión 07 PER 006948, Tomatito rojo”, *Capsicum baccatum*

“Accesión 72 PER 007093, Dulce Rojo”, *Capsicum chinense*

“Accesión 89 PER 006030, Ayucllo”, *Capsicum baccatum*

“Ají escabeche”, *Capsicum baccatum*

3.1.3 Reactivos, materiales y equipos

3.1.3.1 Reactivos

Todos los reactivos y solventes utilizados para el análisis de frutos de *Capsicum* en el laboratorio corresponden al grado analítico para análisis de las marcas Merck, Sigma y J.T. Baker. Entre estos reactivos utilizados en el laboratorio se encuentran:

- Amonio acetato, Merck, grado analítico
- 2-propanona, J.T. Baker, grado analítico
- Metilcianuro, J.T. Baker, grado HPLC
- Ácido ascórbico, Sigma, estándar de referencia
- Ácido gálico, Sigma, estándar de referencia
- Ácido ortofosfórico, Sigma, grado analítico

- Etanol, J.T. Baker, grado analítico
- Carbonato de sodio, Merck, grado analítico
- Cloruro de aluminio, Merck, grado analítico
- Dithiothreitol (DTT), Sigma , grado analítico
- Éter de petróleo, Merck, grado analítico
- Folin Ciocalteu, Sigma, grado analítico
- Sodio Fosfato dibásico, Merck, grado analítico
- Sodio Fosfato monobásico, Merck, grado analítico
- Hidróxido de sodio, Merck, grado analítico
- Metanol, J.T. Baker, grado HPLC
- Nitrito de sodio, J. T. Baker, grado analítico
- Quercetina, Sigma, estándar de referencia
- Tert-butil-4-hydroxy tolueno (BHT), Merck, grado analítico
- β-Caroteno, Sigma, estándar de referencia

3.1.3.2 Equipos

Los equipos utilizados para el análisis de frutos de *Capsicum* en el laboratorio fueron calibrados y corresponden a las marcas AND, Sartorius, Branson, Buchi, Hettich, Minolta, Waters, Genesys, Memmert, Tissue Lyser, Schott, Labolan. Entre estos equipos utilizados en el laboratorio se encuentran:

- Balanza analítica AND
- Balanza de precisión Sartorius
- Baño de ultrasonido Branson
- Bomba de vacío Buchi UV -700
- Centrifuga Hettich Mikro 22 R
- Centrifuga Hettich Rotina 35
- Colorímetro Minolta CR- 400
- Detector arreglo de fotodiodos (PDA) Waters 2998
- Detector de fluorescencia Waters 2475
- Espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10
- Estufa Memmert UF 160
- HPLC Modulo de separación Waters e2695

- Molino Tissue Lyser II
- Potenciómetro Schott instrument Lab 850
- Refrigerador y congelador Combi, Labolan

3.1.3.3 Materiales

Los materiales utilizados para el análisis de frutos de *Capsicum* en el laboratorio fueron verificados y/o calibrados antes de su uso. Entre los materiales de laboratorio se encuentran materiales de vidrio de las marcas Normax, Pyrex Fortuna y Duran de diferentes capacidades, así como materiales de acero inoxidable. Entre estos materiales utilizados en el laboratorio se encuentran:

- Campana desecadora
- Celdas de cuarzo
- Espátulas
- Gradillas
- Mascarillas
- Micropipeta de 0,5 a 5 mL
- Micropipeta de 10 a 100 µL
- Micropipeta de 100 a 1000 µL
- Micropipeta de 20 a 200 µL
- Papel filtro N°1
- Pesafiltros de 40 mL
- Pinzas de sujeción
- Probeta de 100 y 500 mL
- Soporte de Micropipeta
- Tubos de centrifuga de 2, 15 y 50 mL
- Tubos de ensayo 15 x 100
- Tubos de ensayo 15 x 200
- Vasos precipitados 250, 400 y 600 mL
- Viales cromatográficos de 1 mL

3.2 Métodos

3.2.1 Muestreo

La cosecha de los frutos de los cuatro ajís nativos y el “Escabeche” se realizó en el campo experimental de la “Estación Experimental Agraria – Donoso del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)”, del distrito de Huaral, provincia de Huaral, Lima, “km 5,6 de la carretera Chancay – Huaral”. La recolección de muestras se realizó de manera representativa y aleatoria en cada parcela experimental. Los frutos se empacaron y remitieron al laboratorio para su análisis correspondiente.

3.2.2 Selección de frutos

La selección de los frutos se hizo en base a su estado de madurez y eliminando los frutos que presentaran deterioro físico, cortes o golpes.

3.2.3 Preparación de la muestra

Para los análisis, los frutos de ají fueron lavados con agua destilada; se desinfectaron con solución de hipoclorito de sodio a 500 ppm, se secaron superficialmente con papel absorbente y cada ají (accesión, incluyendo al testigo comercial) fue dividido en 17 grupos de 0,8 kg cada uno y guardados en envases rectangulares de polipropileno, ocho grupos se refrigeraron a 4°C, ocho grupos se congelaron a -20°C y un grupo se analizó a temperatura ambiente (25°C) en la semana 0. Los grupos de ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C fueron analizados semanalmente desde la semana 1 hasta la semana 8.

3.2.4 Tratamiento de la muestra

Los frutos de ají se picaron en cubos de aproximadamente medio centímetro de lado y luego fueron tratados según el análisis a realizar. Para los análisis de humedad las muestras fueron utilizadas directamente, para los análisis de compuestos bioactivos se

homogenizaron en el molino de bolas “Tissue lyser II” con frecuencia de 30 ciclos/s y durante 30 segundos.

3.2.5 Evaluación de Humedad

El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de peso debida a la evaporación del agua en el punto de ebullición o temperaturas cercanas a él.[26, 27]

Se empleó método “AOAC (1998)”[28] con ciertas modificaciones. Se pesó de 5 - 10 g de muestra fresca en balanza analítica (con precisión de ± 0,1 mg aproximadamente,) en una placa pesa sustancia (previamente secada a 98-100°C, enfriada en desecador y pesada). Luego se introdujo la placa en la estufa a 105 °C a presión atmosférica. Cuando la muestra presentó peso constante se registró el peso. El análisis se realizó por triplicado. Se reportó la pérdida de peso como humedad en ají fresco y el residuo como materia seca. Se utilizó la siguiente ecuación:

Cálculo: Humedad (%) = (Peso total–Peso final)/(Peso de la muestra) x 100

3.2.6 Determinación de compuestos bioactivos

3.2.6.1 Preparación del extracto

La preparación de los extractos de los compuestos fenólicos (incluyendo flavonoides) y capsaicinoides, se realizó según Meckelmann[29] con ciertas modificaciones, donde 500 mg de muestra homogenizada se extrajeron con 0,5 mL de Buffer fosfato de sodio (0,5 M, pH 11) y 7,5 mL de la mezcla acetonitrilo:metanol (50:50 v/v). La mezcla se homogenizó por agitación usando vórtex durante 30 segundos y se dejó en maceración por 16 horas a 4°C, bajo oscuridad. Posteriormente, la mezcla se incubó a 80 °C durante 4 horas (con agitacion en vórtex cada 30 minutos). Al término, los extractos fueron centrifugados a 13000 rpm durante 30 minutos y 4°C. Finalmente, los sobrenadantes se analizaron de manera inmediata, según el tipo de análisis.

3.2.6.2 Vitamina C

La determinación de vitamina C se realizó por separación en base a su polaridad, previa reducción del ácido dehidroascórbico a ácido ascórbico[30], y la cuantificación se realizó por comparación de picos cromatográficos con estándares comerciales de ácido ascórbico.[29]

En un tubo para centrífuga de 15 mL de capacidad se pesó 0,2 g de muestra homogenizada de ají fresco y se agregó 10 mL de una solución 30:70 v/v compuesta por solución buffer acetato de amonio 100 mM pH 6,8 y acetonitrilo grado HPLC, la cual además contenía 1mg/mL de BHT (Tert-butil-4-hydroxy tolueno) y 1mg/mL de DTT (Dithiothreitol), se agitó suavemente por unos segundos hasta dispersar la muestra de ají en la solución y se llevó al baño de ultrasonido por 30 minutos (se agitó cada 5 minutos para asegurar la dispersión de la muestra y se colocaron bolsas de hielo para evitar el calentamiento de las mismas). Se centrifugó el extracto por 5 minutos a 3000 rpm y se filtró el sobrenadante con un filtro de jeringa de nylon de 0,45 µm hasta transvasar aproximadamente 1mL dentro de un vial cromatográfico. El extracto fue protegido de la luz durante todo el proceso.

El análisis de vitamina C por HPLC se realizó en una columna cromatográfica XBridge Amide 3,5um, 4,6x250mm. La fase móvil consistió en una mezcla 40:60 de buffer fosfato (NaH_2PO4) 10mM a pH 2,7±0,05 y acetonitrilo, a un flujo isocrático de 0,5mL/min. La temperatura de la cámara de muestras fue de 16 °C, mientras que la de la columna fue de 25 °C. Antes de iniciar el análisis, se acondicionó la columna con la fase móvil por 1 hora con un flujo de 1mL/min. Para la detección y cuantificación se empleó un detector de arreglo de fotodiodos (photodiode array detector, PDA) configurado en modo lectura fija a 260 nm (el ácido ascórbico absorbe entre 210 y 300 nm con un máximo a 260 nm). El análisis cromatográfico se realizó utilizando como referencia una curva de calibración de 3 niveles compuesta por concentraciones de 0,006, 0,02 y 0,04 mg/mL de estándar comercial de ácido ascórbico. Cada muestra fresca de ají se trabajó por duplicado y por cada duplicado

se inyectaron dos veces. “Los resultados se expresaron en mg/100g de ají en base seca”.

3.2.6.3 Capsaicinoides

La determinación de capsaicinoides se realizó por separación en base a su polaridad y la cuantificación se realizó por comparación de picos cromatográficos con estándares comerciales de capsaicina y dihidrocapsaicina.[29]

Se pasó el extracto obtenido por un filtro de nylon de 0,45 µm y se transvasó alrededor de 1mL a un vial para su análisis cromatográfico. La resolución de los capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina) se ejecutó en una columna cromatográfica “XBridge C18 5um, 4,6x150mm”. El solvente fue una mezcla de agua ultrapura y acetonitrilo (55:45 v/v) en flujo isocrático de 1,0 mL/min. Los viales de muestras se mantuvieron a temperatura ambiente, mientras que la de la columna se configuró a 40°C”. para iniciar el análisis, se acondicionó la columna cromatográfica con el solvente por 30 minutos a un flujo de 1mL/min”. La detección y cuantificación se realizó con detector de fluorescencia en modo emisión, cuya lamda de excitación fue 280 nm y lambda de emisión fue de 320 nm, con ganancia de 1”. La evaluación se realizó con curva de calibración de estándares comerciales de capsaicina y dihidrocapsacinia, ambas curvas con tres niveles de concentraciones: 0,002, 0,006 y 0,010 mg/mL. El análisis para nordihicrocapsaicinia se realizó utilizando como referencia la regresión lineal de la curva de calibración de dihidrocapsaicina.

Se trabajaron por duplicado cada muestra de ají fresco y se inyectaron 2 veces por cada unidad experimental. “Los resultados se expresaron en mg/100 g de muestra en base seca”.

3.2.6.4 Carotenoides totales

La extracción de los carotenoides se realizó en base a su afinidad con solventes orgánicos miscibles en agua y la partición de los mismos en éter de petróleo en base a la diferencia de polaridades con el agua.[2, 31]

Para el análisis de los carotenoides totales, "1 g de muestra homogenizada de *Capsicum* se extrajo con 5 mL de solución de Acetona:Etanol (1:1) que contenía 200 mg BHT/L", según Talcott and Howard[32], se agitó con la ayuda de un vórtex por 30 segundos y se llevó a centrifugación a 3000 rpm durante 5 minutos. Se decantó el sobrenadante y se repitió el proceso de extracción tres veces más hasta la obtención de 20 mL de extracto. Para la determinación se adicionó 10 ml de bencina seguidos de una vigorosa agitación por 30 segundos y un reposo de 30 minutos, luego se adicionó 5 ml de agua destilada seguidos de una agitación en vórtex por 30 segundos y reposo de 10 minutos para la separación de fases. Se llevó el sobrenadante a lectura espectrofotométrica UV-Vis (GENESYS™ 10S) con λ de 450 nm, usando éter de petróleo como blanco. Se realizó la curva de calibración con estándar de β-caroteno (solución Stock 200 mg/L) a concentraciones de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 mg/L con ecuación de la curva de $y = 0,2359x – 0,0634$ y $R^2 = 0,9979$. "Los análisis fueron realizados por duplicado y el contenido de carotenoides totales se expresaron como Equivalentes de β-caroteno mg/100 g de muestra en base seca".

3.2.6.5 Compuestos fenólicos

La determinación de los compuestos fenólicos se realizó según la oxidación de estos por el reactivo de Folin-Ciocalteu. Este reactivo contiene una mezcla de ácido fosfo-túngstico ($H_3PW_{12}O_{40}$) y el ácido fosfomolíbdico ($H_3PMo_{12}O_{40}$), que se reducen por oxidación de los fenoles de la muestra, "originando óxidos de tungsteno (W_8O_{23}) y de molibdeno (Mo_8O_{23}), de color azul, proporcional a la concentración de compuestos fenólicos presentes en la muestra, absorbido a una longitud de onda de 750 nm".[33] Se utiliza al "Ácido gálico" como estándar de referencia en la elaboración de la curva de calibración[29, 33].

Para esta determinación se utilizó el reactivo realizó Folin-Ciocalteu, siguiendo a Meckelmann[29], para lo cual 0,1 mL de extracto se enrasó a 1 mL con agua destilada y se agitó en vórtex por 30 segundos, luego se adicionó 5 mL del reactivo de Folin Ciocalteu (diluido 1:10 con agua destilada) y se dejó en incubación a 30°C por un tiempo de entre 3 - 8 minutos, posterior a ello se adicionó 4 mL de carbonato de sodio (7,5 %) y se dejó reaccionar a 30°C durante 1 hora. Al término, se realizaron las lecturas de absorbancia a "750 nm en el espectrofotómetro UV-Vis (GENESYS™ 10S)". "Se realizó una curva de calibración con ácido gálico como estándar (solución stock 1000 mg/L)" a las concentraciones de 60, 120, 240, 320, 400 y 520 mg/L. "Las determinaciones se realizaron por duplicado y los compuestos fenólicos totales se expresaron como Equivalentes mg de ácido gálico por 100 g de muestra en base seca (GAE mg/100 g)".

3.2.6.6 Flavonoides

La determinación de flavonoides se realizó según la "reacción que se da entre los iones aluminio con los flavonoides en un medio alcalino y con presencia de nitrito de sodio, lo que genera la formación de un complejo de color rojo".[34]

Los análisis de flavonoides totales se realizaron según Medina[35] con algunas modificaciones. Donde 0,5 mL de extracto se mezcló con 0,15 mL de nitrito de sodio (0,05 g/mL) y se dejó reposar durante 5 minutos, al término se adicionó 0,15 mL de tricloruro de aluminio (0,1 g/mL) y se dejó en reposo por 6 minutos, luego se añadió 1 mL de hidróxido de sodio (1 M) y agua destilada en cantidad suficiente para 5 mL, posteriormente se realizaron las lecturas espectrofotométricas a una longitud de onda de "415 nm en el espectrofotómetro UV-Vis GENESYS™ 10S". Esta determinación fue trabajada a 20°C y en oscuridad. Se realizó la curva de calibración con estándar de quercetina (solución stock 500 mg/L) a las concentraciones de 50, 100, 150, 200, 250 y 300 mg/L. Las determinaciones se realizaron por duplicado y la

cantidad de flavonoides se expresó como “Equivalente mg de quercetina por 100 g de muestra seca (mg QE/100g)”.

3.2.7 Determinación de color extractable ASTA

La determinación del color extractable ASTA se realizó según la extracción de los pigmentos fotosintéticos en base a su solubilidad en acetona.[36]

Se empleó el método 971.26 de la AOAC[37] con algunas modificaciones. Donde 50 mg de muestra homogenizada fue disuelta en 5 mL de propanona y se dejó reposar a temperatura ambiente y a oscuridad durante 16 horas, posterior a eso se agitó en vórtex durante 2 minutos y se llevó a centrifugación (13000 rpm) durante cinco minutos. “Se realizó la lectura de la absorbancia a 460 nm en el espectrofotómetro UV-Vis (GENESYS™ 10S), usando acetona como blanco y teniendo en cuenta el factor de corrección instrumental del equipo”.

$$If = \frac{\text{Absorbancia declarada de la celda patron NIST a 465 nm}}{Absorbancia \text{ actual de la celda patron NIST a 465 nm al momento del análisis}}$$

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$Valor\ de\ ASTA = \frac{Abs\ extracto\ a\ 460\ nm\ x\ 16{,}4\ x\ If}{\text{peso de la muestra}}$$

3.2.8 Análisis de color superficial

El color fue mesurado de manera instrumental “directamente en la superficie de los frutos” de los cinco materiales de *Capsicum* obtenidos de la localidad de Huaral. Los valores de las coordenadas CIE L*, a*, b* y C*, h se midieron con colorímetro KONICA CR-400, con parámetros de calibración de Y=89,5; x=0,3176; y=0,3347, según Martínez y Ordoñez[38]. Los análisis se realizaron por triplicado y se expresaron con su respectiva desviación estándar.

3.2.9 Análisis estadístico

La investigación se ejecutó en el laboratorio de acuerdo a un diseño completo al azar, donde se consideraron los factores: ají (“Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y el ají “Escabeche”; que para el análisis estadístico se etiquetó como Accesión); temperatura de almacenamiento poscosecha (refrigeración, 4 °C y congelación -20 °C), y tiempo (0, 1, 2, 3,4, 5, 6, 7 y 8 semanas). En la semana 0 se acondicionaron los ajíes, formaron los grupos para condiciones de refrigeración y congelación, y se realizaron evaluaciones. Los parámetros evaluados en la investigación fueron humedad, vitamina C, capsaicinoides, carotenoides totales, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, color según escala CIELAB y color extractable. El análisis estadístico consideró análisis de varianza (Anova) y pruebas de comparación múltiple de las medias según Tukey, con un 95% de confianza ($p \leq 0,05$); estos análisis se ejecutaron con el programa InfoStat versión 2019. Adicionalmente se construyeron gráficas y tablas utilizando el Software Excel de Microsoft Windows 10.

IV. RESULTADOS

4.1 Humedad

Los resultados del análisis de humedad de los frutos de ají se presentan en las Figuras 20, 21 y en el Anexo 1 (1.1 y 1.2). En la Figura 20 el gráfico de barras de la humedad promedio de los grupos de frutos refrigerados a 4 °C y congelados a -20 °C, muestran diferencias significativas para la humedad de fruto según la temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento poscosecha (8 semanas), Anexo 1 (1.1). Los análisis de varianza y pruebas de Tukey se presentan en el Anexo 1 (1.2).

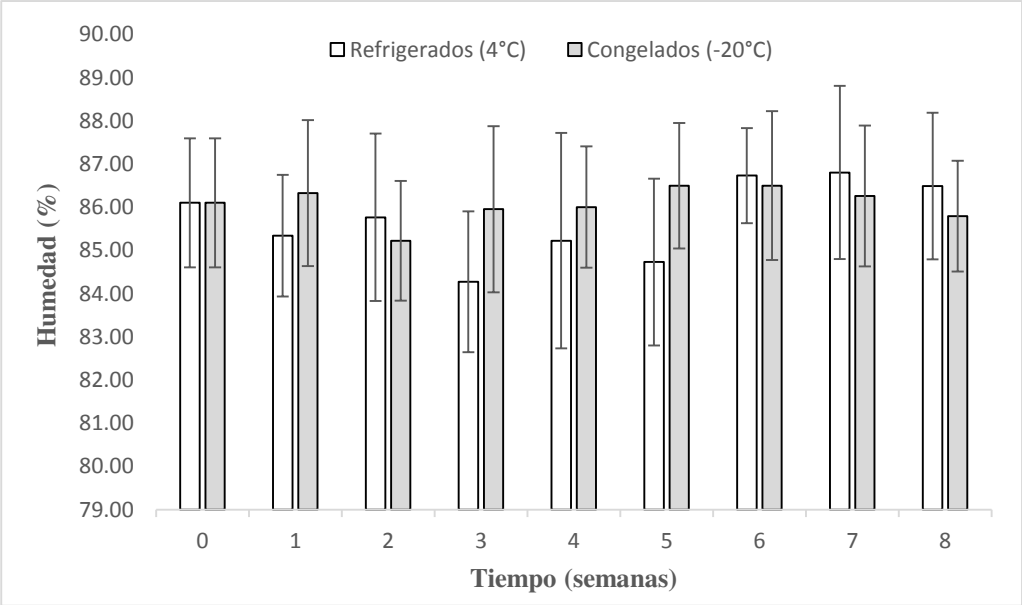


Figura 20. Humedad (%) versus Tiempo (semanas)

Representación en gráficos de barra de la humedad promedio (%) de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (Semanas). Ajíes refrigerados (4 °C) barras de color blanco y ajíes congelados (-20°C) barras de color gris, n=15 evaluaciones. Valores promedio ± desviación estándar.

En esta oportunidad los valores de humedad se encontraron entre valores promedio de 85,11 y 86,62%.

La representación gráfica de la humedad promedio de los frutos de ají "Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche" según el tiempo de almacenamiento poscosecha se presentan en la Figura 21.

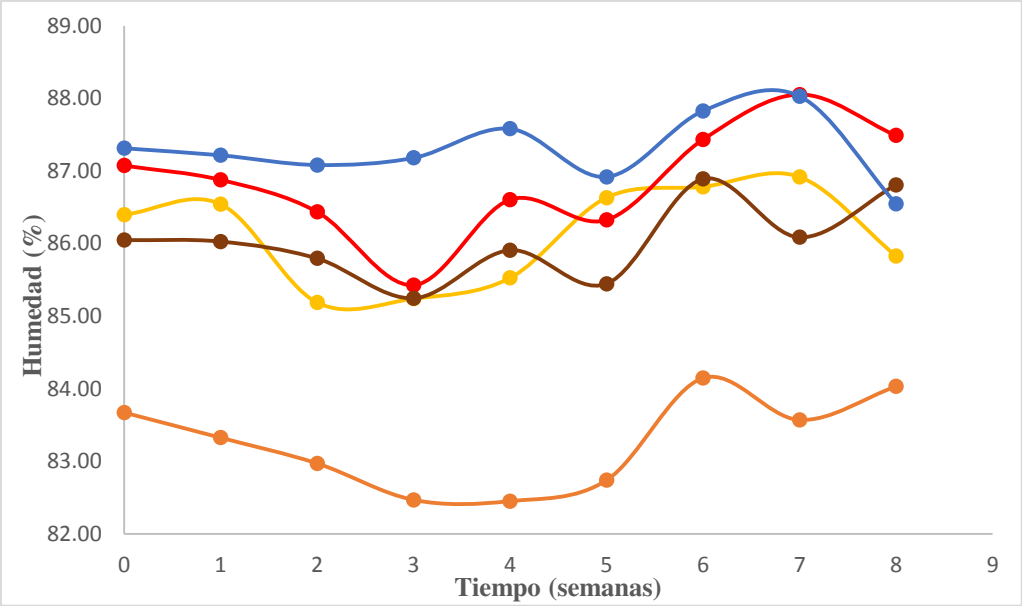


Figura 21. Humedad (%) versus Tiempo (semanas) por accesión.

Representación gráfica de la humedad (%) promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja claro), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscuro), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 6.

De acuerdo a la Figura 21, el ají "Dulce rojo" presentó los valores más bajos de humedad promedio para el almacenado poscosecha bajo refrigeración y congelación en comparación a "Miscucho", "Tomatito rojo", "Ayucllo", y "Escabeche", durante las 8 semanas de investigación. El análisis estadístico del Anexo 1 (1.2) confirma las diferencias significativas entre los diferentes frutos de ají (accesión). Los valores de significancia mostrados en la Tabla 2 según la prueba de Tukey para los ajíes estudiados confirma lo presentado en la Figura 21, donde la significancia encontrada para "Dulce rojo" corresponde la letra "D" con un valor promedio en las 8 semanas de 83,26 %.

Tabla 2. Valores promedio de humedad de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p ≤ 0,05.*

Ají	Media	Significancia asignada
Ají escabeche	87,30	A
Tomatito rojo	86,86	B
Miscucho	86,12	C
Ayucllo	85,94	C
Dulce rojo	83,26	D

Existe diferencia significativa con letras distintas.

4.2 Compuestos bioactivos

4.2.1 Vitamina C

Los resultados de vitamina C de los frutos de ají se presentan en las Figuras 22, 23 y en el Anexo 2 (2.1 y 2.2). En la Figura 22 el gráfico de barras del ácido ascórbico promedio de los grupos de frutos refrigerados a 4 °C y congelados a -20 °C, muestran diferencias significativas para el ácido ascórbico de fruto según la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento poscosecha (8 semanas). En este grafico se nota que, el contenido promedio de ácido ascórbico fue más alto para las semanas segunda, tercera y cuarta, de los ajíes refrigerados a 4 °C; mientras que para los ajíes congelados a -20 °C la humedad más alta fue para las tres primeras semanas. Los análisis de varianza y pruebas de Tukey se presentan en el Anexo 2 (2.2).

En esta oportunidad los contenidos de vitamina C se encontraron entre valores promedio de 506,38 y 576,98 de ácido ascórbico mg/100g (bs).

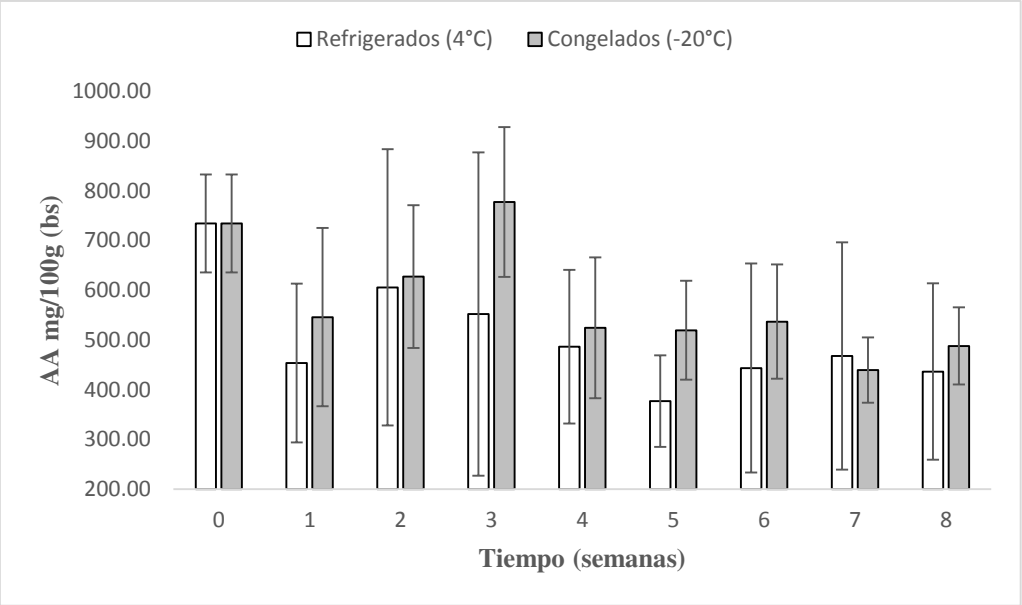


Figura 22. Ácido ascórbico (mg/100 g bs) versus Tiempo (semanas)
Gráficos de barras del ácido ascórbico promedio (mg/100g) de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras blancas y ajíes congelados (-20°C) barras grises, n=10. Valores promedio ± desviación estándar. AA: ácido ascórbico**.** bs: base seca

La representación gráfica del ácido ascórbico promedio de los frutos de ají "Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche" según el tiempo de almacenamiento poscosecha se presentan en la Figura 23.

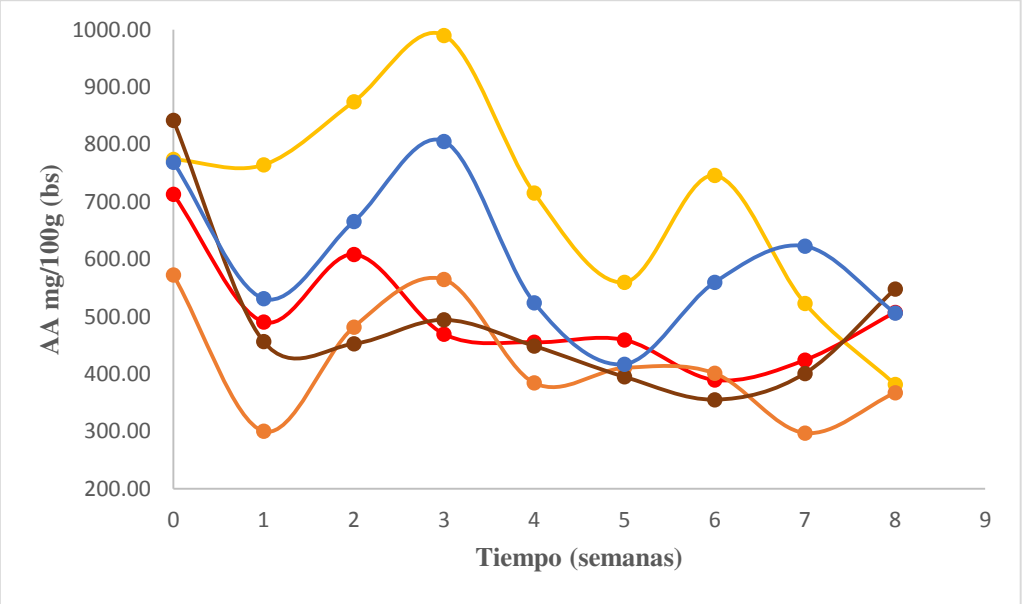


Figura 23. Ácido ascórbico (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesión.

Representación gráfica del ácido ascórbico(mg/100g) promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja clara), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscura), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n=4. AA: ácido ascórbico. bs: base seca

De acuerdo a la Figura 23, el ají "Dulce rojo" mostró tener los valores más bajos de ácido ascórbico promedio para el almacenado poscosecha bajo refrigeración y congelación en comparación a "Miscucho", "Tomatito rojo", "Ayucllo", y "Escabeche", durante las 8 semanas de investigación. El análisis estadístico del Anexo 2 (2.2) confirma las diferencias significativas entre los diferentes frutos de ají (accesión). Los valores de significancia mostrados en la Tabla 3 según la prueba de Tukey para los ajíes estudiados confirma lo presentado en la Figura 23, donde la significancia encontrada para "Dulce rojo" corresponde la letra "E" con un valor promedio en las 8 semanas de 419,88 ácido ascórbico mg/100g (bs).

Tabla 3. Valores promedio de ácido ascorbico (mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Miscucho	703,24	A
Escabeche	600,19	B
Tomatito rojo	501,91	C
Ayucllo	483,19	D
Dulce rojo	419,88	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

4.2.2 Capsaicinoides

Los resultados de capsaicinoides de los frutos de ají se presentan en las Figuras 24, 25, 26, 27, 28, 29 y en el Anexo 3 (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6). En las Figura 24, 25 y 26 se presentan los gráficos de barras de la capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina promedio

(respectivamente) de los grupos de frutos refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, muestran diferencias significativas para la variación de estos capsaicinoides en fruto según la temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento poscosecha (8 semanas). Los análisis de varianza y pruebas de Tukey se presentan en el Anexo 3 (3.4, 3.5 y 3.6).

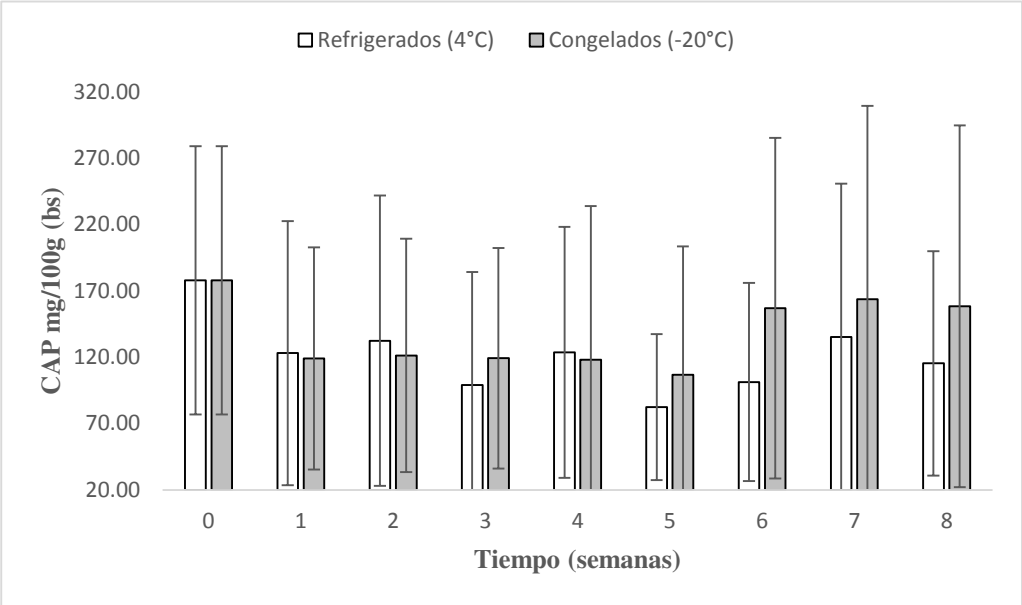


Figura 24. Capsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas)
Gráficos de barras de los contenidos promedio de capsaicina (mg/100g) de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras blancas y ajíes congelados (-20°C) barras grises, n=10. Valores promedio ± desviación estándar. CAP: capsaicina. bs: base seca.

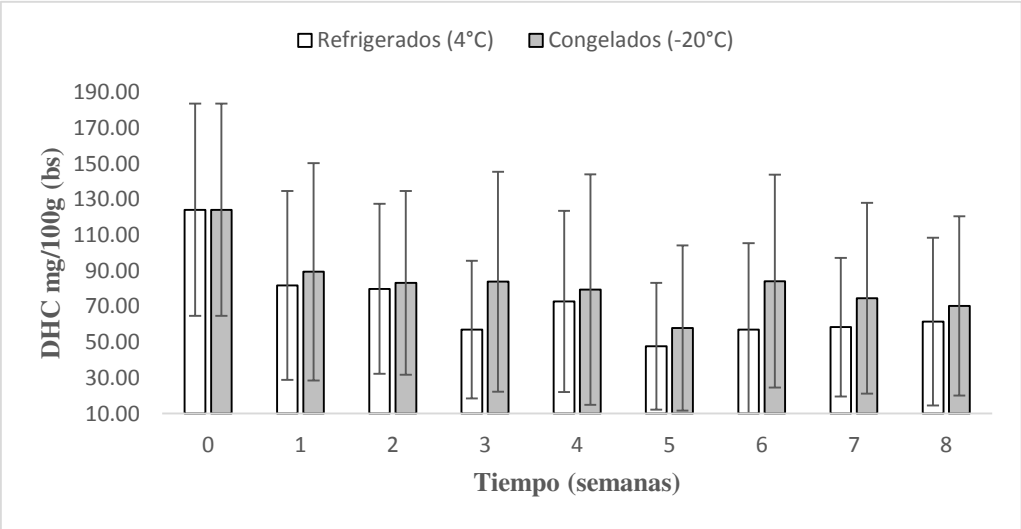


Figura 25. Dihidrocapsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas).

Gráficos de barras de los contenidos promedio de dihidrocapsaicina (mg/100g) delos ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras blancas y ajíes congelados (-20°C) barras grises, n=10. Valores promedio ± desviación estándar. DHC: dihidrocapsaicina. bs: base seca.

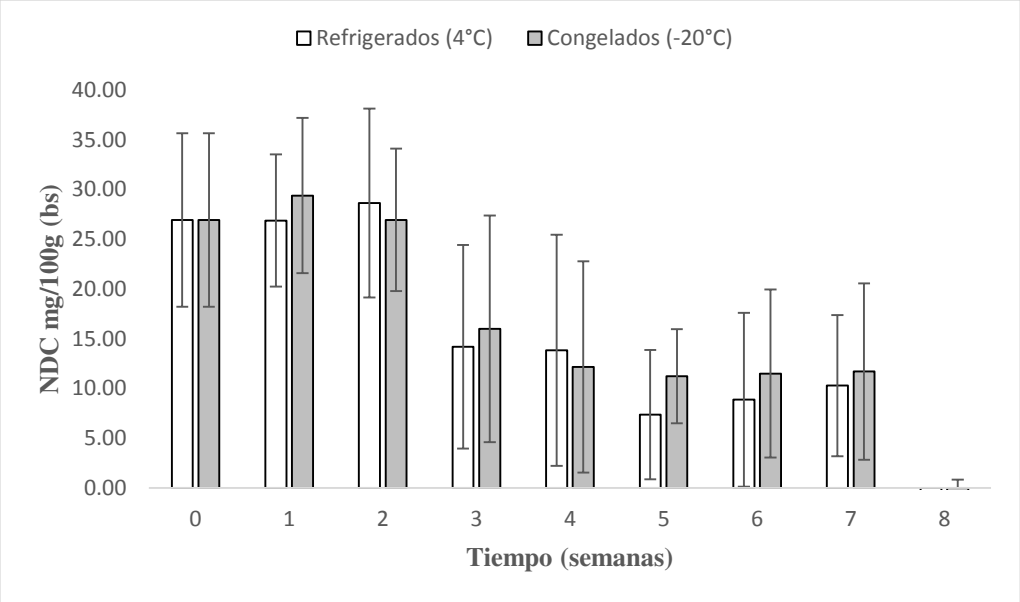


Figura 26. Nordihidrocapsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas).
Gráficos de barras de los contenidos promedio de nordihidrocapsaicina (mg/100g) delos ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras blancas y ajíes congelados (-20°C) barras grises, n=10. Valores promedio ± desviación estándar. CAP: capsaicina. bs: base seca.

Los niveles de capsaicina se encontraron entre valores promedio de 121,16 y 137,98 CAP mg/100g (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente.

La representación gráfica de los capsaicinoides promedio de los frutos de ají “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche” según el tiempo de almacenamiento poscosecha se presentan en las Figuras 27, 28 y 29.

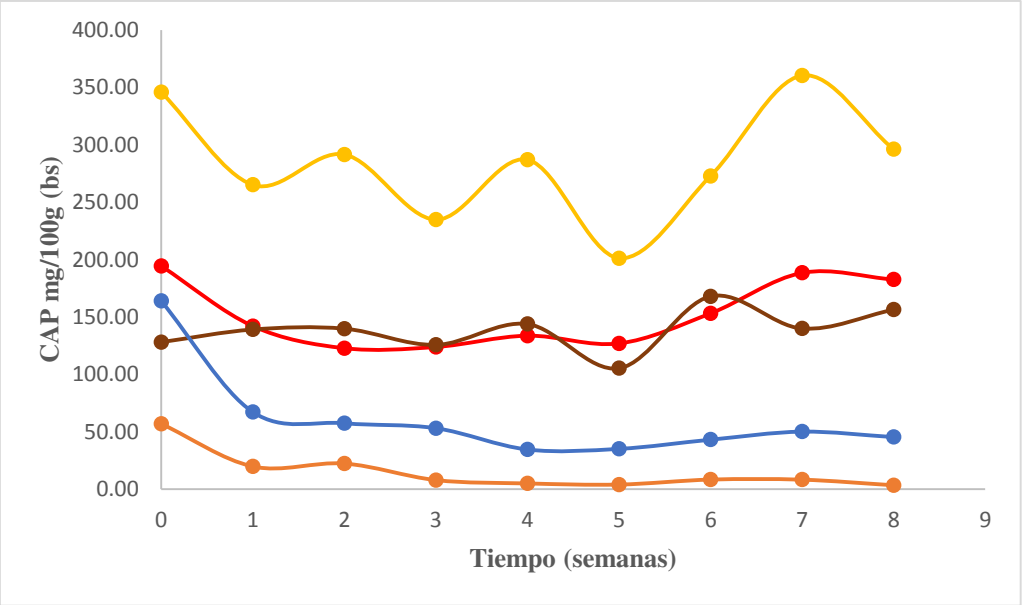


Figura 27. Capsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesiones. Representación gráfica de los contenidos de capsaicina (mg/100g) promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja clara), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscura), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n=4. CAP: capsaicina. bs: base seca.

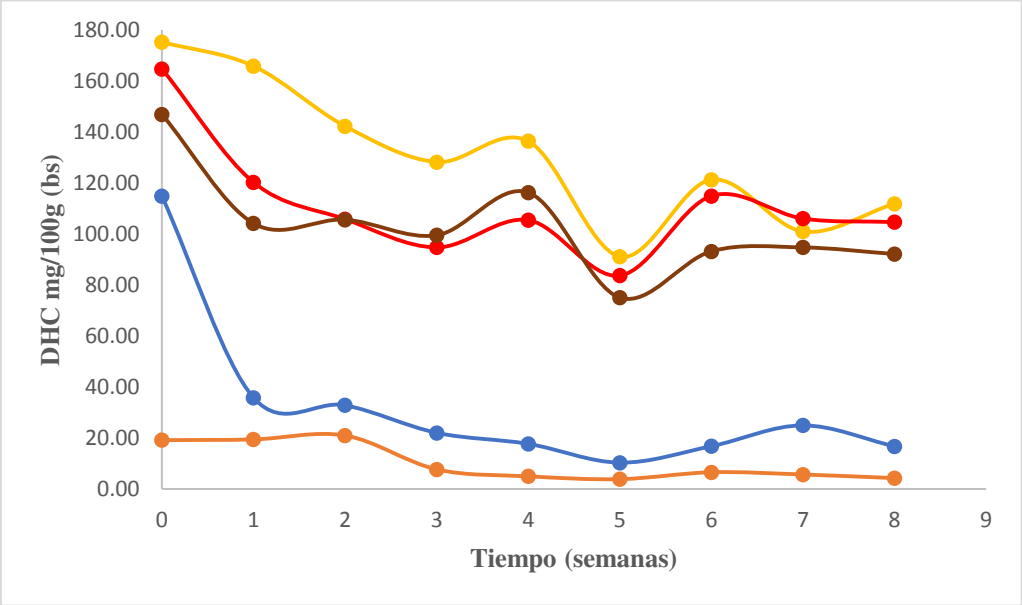


Figura 28. Dihidrocapsaiciina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesiones. Representación gráfica de los contenidos de capsaicina (mg/100g) promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja clara), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscura), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n=4. DHC: dihidrocapsaicina. bs: base seca.

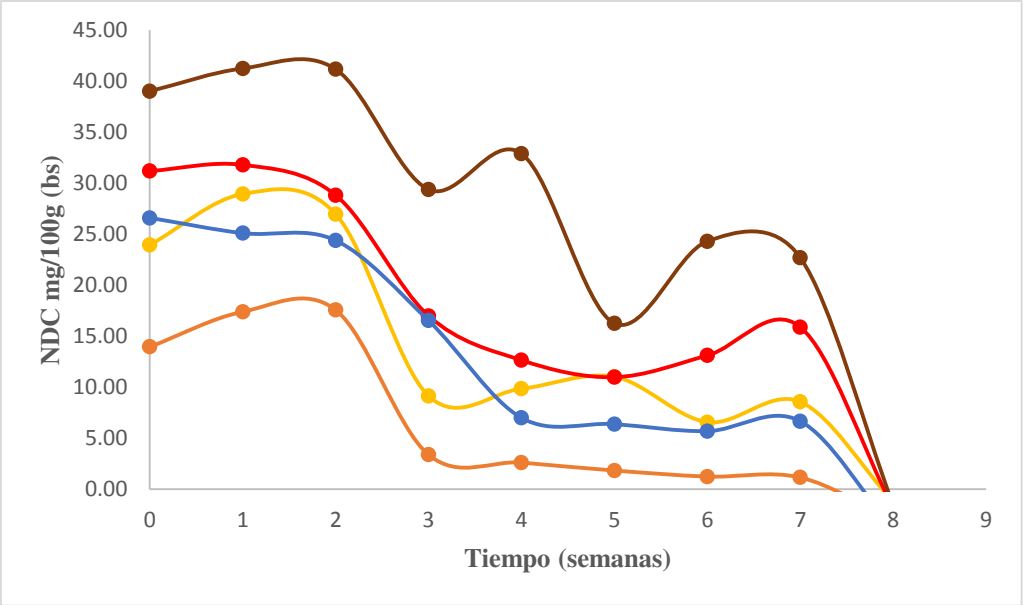


Figura 29. Nordihidrocapsaicina (mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesiones.
Representación gráfica de los contenidos de capsaicina (mg/100g) promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja clara), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscura), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n=4. NDC: nordihidrocapsaicina. bs: base seca.

De acuerdo a las Figuras 27, 28 y 29, el ají "Dulce rojo" presentó los valores más bajos de capsaicinoides promedio para el almacenado poscosecha bajo refrigeración y congelación en comparación a "Miscucho", "Tomatito rojo", "Ayucllo", y "Escabeche", durante las 8 semanas de investigación. El análisis estadístico de los Anexos 3.4, 3.5 y 3.6 confirma las diferencias significativas entre los diferentes frutos de ají (accesión). Los valores de significancia mostrados en las Tablas 4, 5 y 6 según la prueba de Tukey para los ajíes estudiados confirma lo presentado en las figuras mencionadas, donde la significancia encontrada para "Dulce rojo" corresponde la letra "E" con un valor promedio en las 8 semanas de 15,16; 10,27 y 6,24 (mg/100g bs) para capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina respectivamente.

Tabla 4. Valores promedio de capsaicina (mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Miscucho	284,02	A
Tomatito rojo	152,10	B
Ayucllo	135,40	C
Escabeche	61,18	D
Dulce rojo	15,16	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Tabla 5. Valores promedio de dihidrocapsaicina (mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Miscucho	130,35	A
Tomatito rojo	111,13	B
Ayucllo	101,10	C
Escabeche	32,42	D
Dulce rojo	10,27	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Tabla 6. Valores promedio de nordihidrocapsaicina (mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Ayucllo	26,85	A
Tomatito rojo	17,73	B
Miscucho	13,76	C
Escabeche	12,72	D
Dulce rojo	6,24	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

4.2.3 Carotenoides totales

Los resultados de carotenoides totales de los frutos de ají se presentan en las Figuras 30, 31 y en el Anexos 4 (4.1 y 4.2). En la Figura 30, el gráfico de barras de carotenoides totales promedio de los grupos de frutos refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, muestran diferencias significativas para el contenido de estos componentes en fruto según la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento poscosecha (8 semanas). Los análisis de varianza y pruebas de Tukey se presentan en el Anexo 4 (4.2).

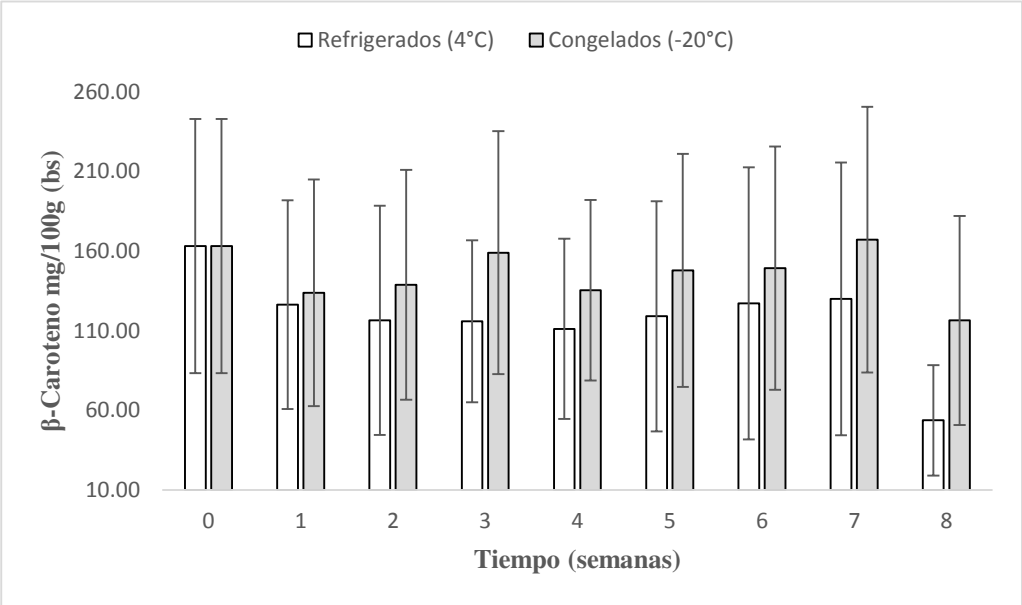


Figura 30. Carotenoides totales (β-caroteno mg/100g bs) versus Tiempo (semanas). Gráficos de barras de β-caroteno promedio de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barra de color blanco y ajíes congelados (-20°C) barras de color gris, n=10. Valores promedio ± desviación estándar. bs: base seca.

Los niveles de β-caroteno se encontraron entre valores promedio de 118,15 y 145,70 β-caroteno mg/100g (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente.

La representación gráfica de β-caroteno promedio de los frutos de ají "Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche" según el tiempo de almacenamiento poscosecha se presentan en la Figura 31.

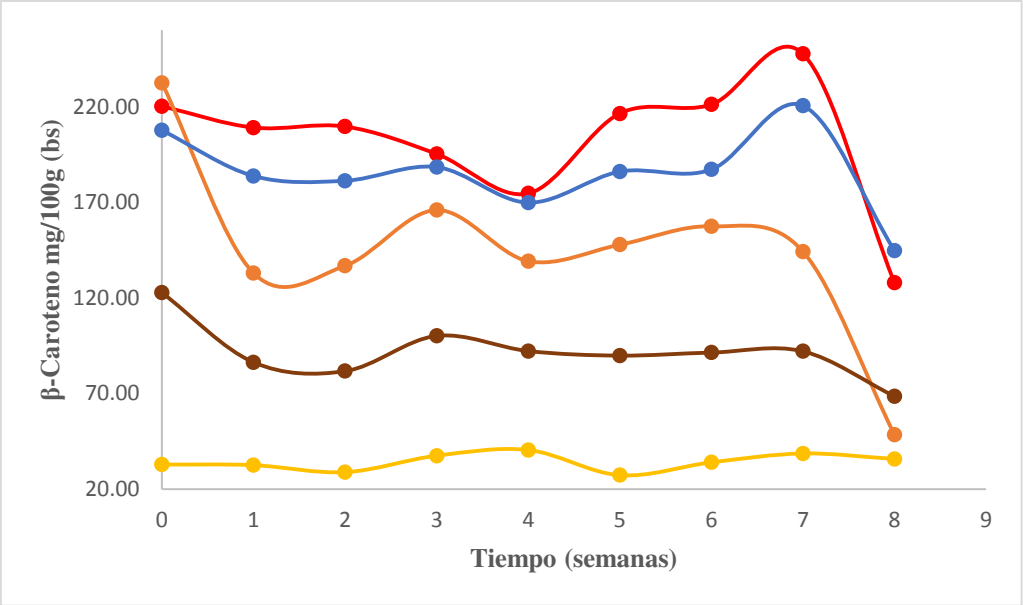


Figura 31. Carotenoides totales (β-caroteno mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesión.
Representación gráfica de β-caroteno promedio (mg/100g) promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja claro), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscuro), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 4. bs: base seca.

De acuerdo a la Figura 31, el ají "Miscucho" presentó el contenido más bajo de β-caroteno promedio para el almacenado poscosecha bajo refrigeración y congelación en comparación a "Dulce rojo", "Tomatito rojo", "Ayucllo", y "Escabeche", durante las 8 semanas de investigación. El análisis estadístico del Anexo 4 (4.2) confirma las diferencias significativas entre los diferentes frutos de ají (accesión). Los valores de significancia mostrados en la Tabla 7 según la prueba de Tukey para los ajíes estudiados confirma lo presentado en la Figura 31, donde la significancia encontrada para "Miscucho" corresponde la letra "E" con un valor promedio en las 8 semanas de 34,26 β -caroteno mg/100g (bs).

Tabla 7. Valores promedio de carotenoides totales (β-caroteno mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Tomatito rojo	202,46	A
Escabeche	185,51	B
Dulce rojo	145,07	C
Ayucllo	92,31	D
Miscucho	34,26	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

4.2.4 Compuestos fenólicos

Los resultados de los fenólicos totales de los frutos de ají se presentan en las Figuras 32, 33 y en el Anexo 5 (5.1 y 5.2). En la Figura 32, el gráfico de barras de los fenólicos totales promedio de los grupos de los frutos refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, muestran diferencias significativas para fenólicos totales de fruto según la temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento poscosecha (8 semanas). Los análisis de varianza y pruebas de Tukey se presentan en el Anexo 5.2.

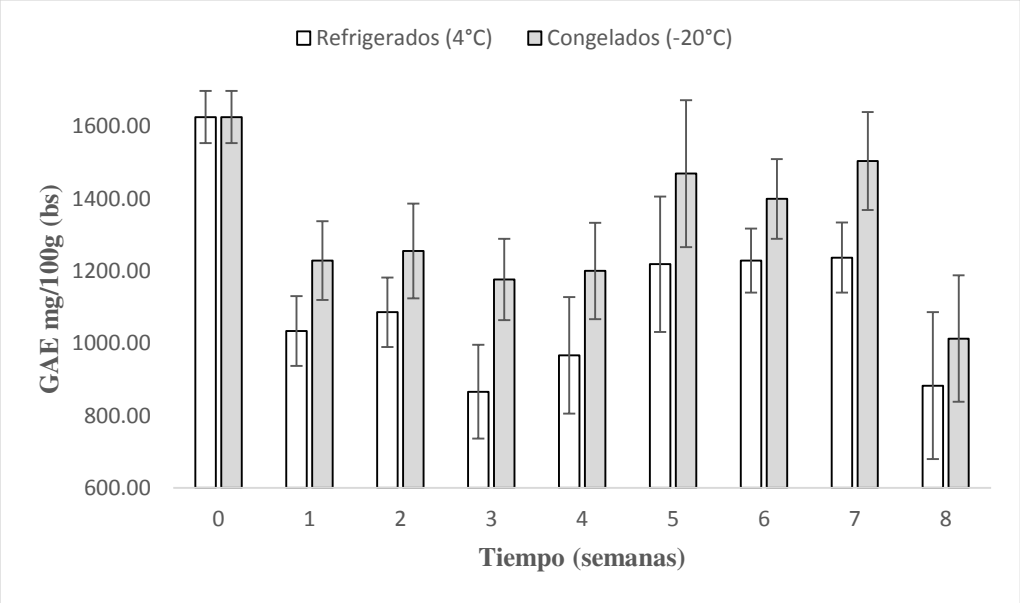


Figura 32. Fenólicos totales (GAE mg /100g bs) versus Tiempo (semanas).

Gráficos de barras de los fenólicos totales promedio (GAE mg/100g bs) de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras blancas y ajíes congelados (-20°C) barras grises, n=10. Valores promedio ± desviación estándar. GAE. Equivalente de ácido gálico. bs: base seca.

En esta oportunidad los niveles de ácido gálico se encontraron entre valores promedio de 1127,02 y 1318,68 GAE mg/100g (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente.

La representación gráfica de los "fenólicos totales promedio" de los frutos de ají "Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche" según el tiempo de almacenamiento poscosecha se presentan en la Figura 33.

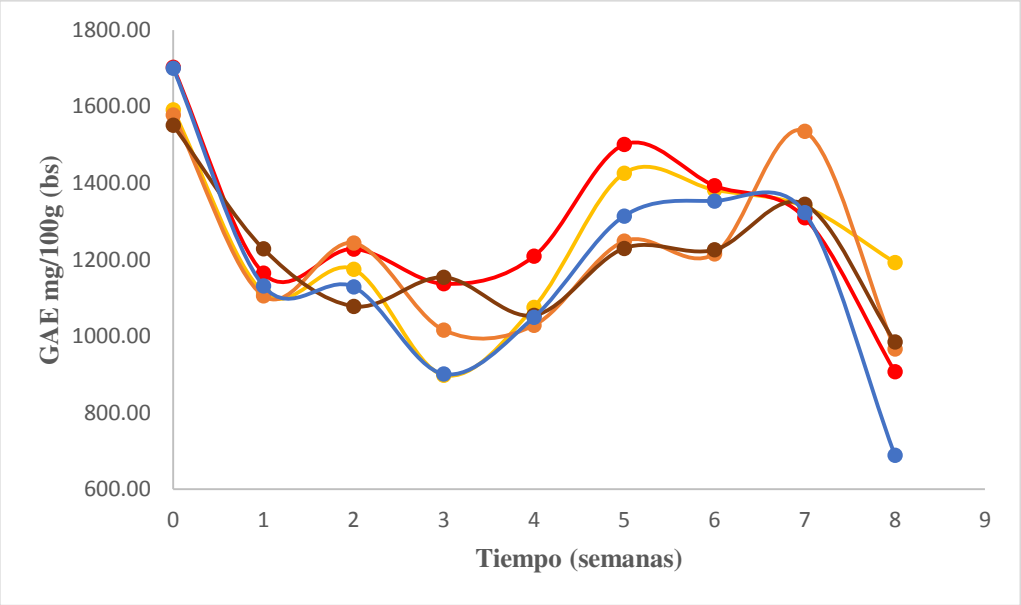


Figura 33. Fenólicos totales (GAE mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesiones.
Representación gráfica de los fenólicos totales (GAE mg/100g) promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja clara), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscura), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n=4. GAE: equivalentes de ácido gálico. bs: base seca.

El análisis estadístico del Anexo 5 (5.2) confirma las diferencias significativas entre los diferentes frutos de ají (accesión). Los valores de

significancia mostrados en la Tabla 8 según la prueba de Tukey para los ajíes estudiados confirma lo presentado en la Figura 33, donde la significancia encontrada para “Escabeche”, “Ayucllo” y “Dulce rojo” corresponde la letra “C” con valores promedio en las 8 semanas de 1176,55, 1195,73 y 1214,94 GAE mg/100g (bs), respectivamente.

Tabla 8. Valores promedio de compuestos fenólicos (GAE mg/100g bs) de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Tomatito rojo	1283,39	A
Miscucho	1243,64	A B
Dulce rojo	1214,94	B C
Ayucllo	1195,73	C
Escabeche	1176,55	C

Existe diferencia significativa con letras distintas.

4.2.5 Flavonoides

Los resultados de los flavonoides totales de los frutos de ají se presentan en las Figuras 34, 35 y en el Anexo 6 (6.1 y 6.2). En la Figura 34, el gráfico de barras de los flavonoides promedio de los grupos de los frutos refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, muestra diferencias significativas para los flavonoides de fruto según la temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento poscosecha (8 semanas). Los análisis de varianza y pruebas de Tukey se presentan en el Anexo 6 (6.2).

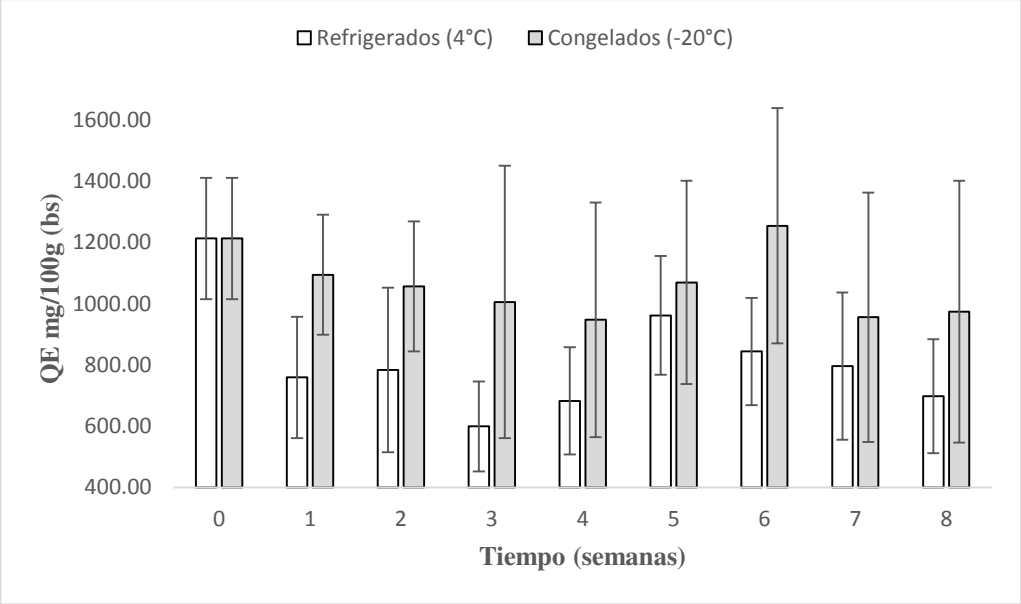


Figura 34. Flavonoides totales (QE mg/100g bs) versus Tiempo (semanas).
Gráficos de barras de los flavonoides totales promedio (QE mg/100g bs) de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras blancas y congelados (-20°C) barras grises, n=2. Valores promedio ± desviación estándar. QE. Equivalente de quercetina. bs: base seca.

En esta oportunidad los niveles de quercetina se encontraron entre valores promedio de 815,90 y 1063,95 QE mg/100g (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente.

La representación gráfica de los flavonoides promedio de los frutos de ají “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche” según el tiempo de almacenamiento poscosecha se presentan en la Figura 35.

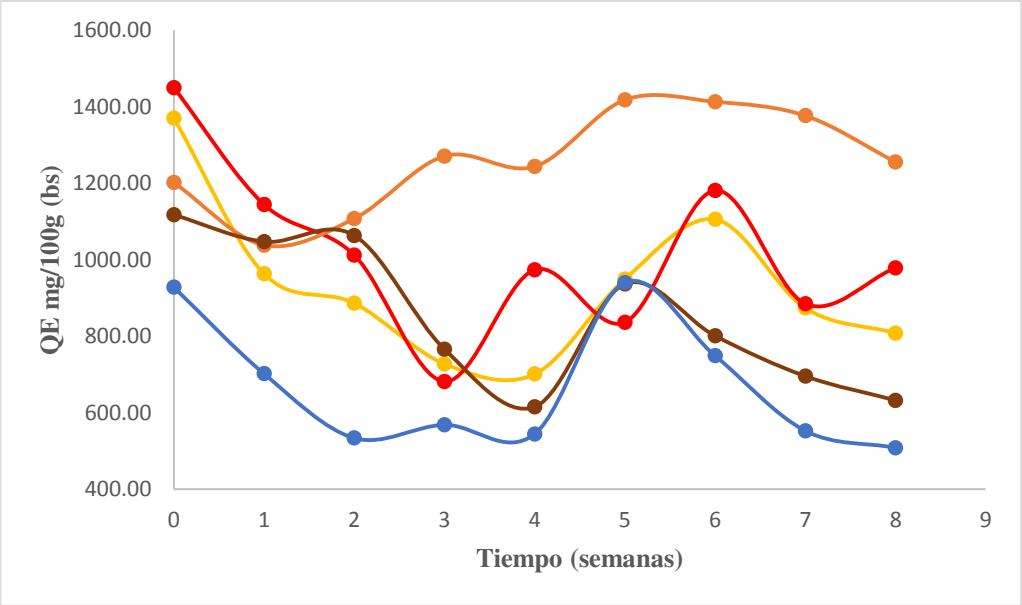


Figura 35. Flavonoides totales (QE mg/100g bs) versus Tiempo (semanas) por accesión.
Representación gráfica de los flavonoides totales (QE mg/100g) promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja clara), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscura), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 4. QE: equivalentes de quercetina. bs: base seca.

De acuerdo a la Figura 35, el ají "Escabeche" presentó los valores más bajos de flavonoides promedio para el almacenado poscosecha bajo refrigeración y congelación en comparación a "Miscucho", "Tomatito rojo", "Ayucllo", y "Dulce rojo", durante las 8 semanas de investigación. El análisis estadístico del Anexo 6 (6.2) confirma las diferencias significativas entre los diferentes frutos de ají (accesión). Los valores de significancia mostrados en la Tabla 9 según la prueba de Tukey para los ajíes estudiados confirma lo presentado en la Figura 35, donde la significancia encontrada para "Escabeche" corresponde la letra "E" con un valor promedio en las 8 semanas de 669,63 QE mg/100g (bs).

Tabla 9. Valores promedio de flavonoides totales de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Dulce rojo	1258,31	A
Tomatito rojo	1015,93	B
Miscucho	931,72	C
Ayucllo	824,04	D
Escabeche	669,63	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

4.3 Color extractable ASTA

Los resultados de color extractable ASTA de los frutos de ají se presentan en las Figuras 36, 37 y en el Anexos 7 (7.1 y 7.2). En la Figura 36, el gráfico de barras de los valores ASTA de los grupos de frutos refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, muestra diferencias significativas para el color ASTA según la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento poscosecha (8 semanas). Los análisis de varianza y pruebas de Tukey se presentan en el Anexo 7 (7.2).

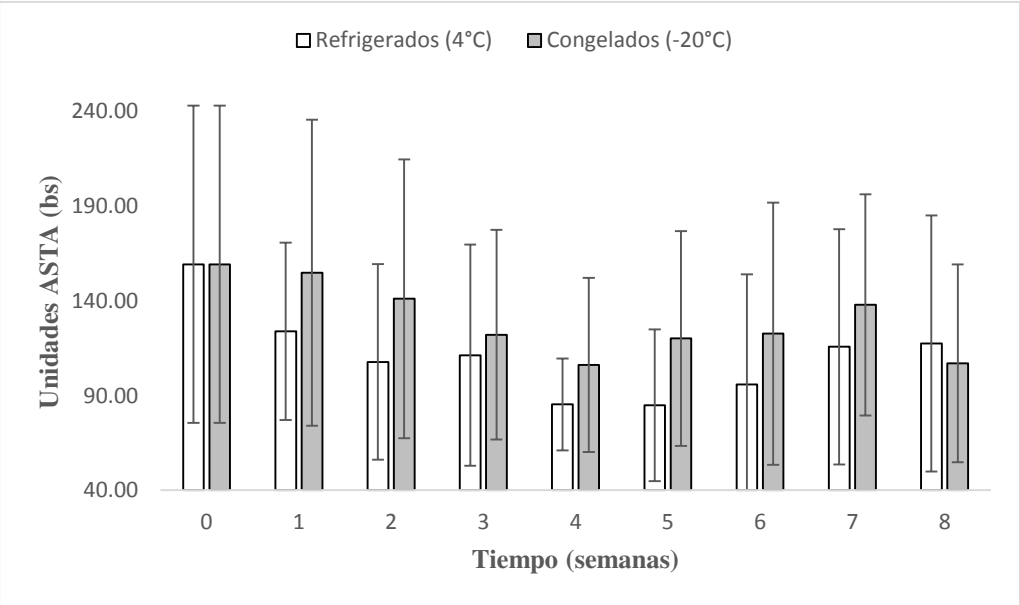


Figura 36. Unidades ASTA (bs) versus Tiempo (semanas).

Gráficos de barras de color ASTA promedio (unidades) de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras de color blanco y ajíes congelados (-20°C) barras de color gris, n=10. Valores promedio ± desviación estándar. bs: base seca.

En esta oportunidad los valores ASTA se encontraron entre valores promedio de 111,25 y 130,07 unidades ASTA (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente.

La representación gráfica de unidades ASTA promedio de los frutos de ají "Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche" según el tiempo de almacenamiento poscosecha se presentan en la Figura 37.

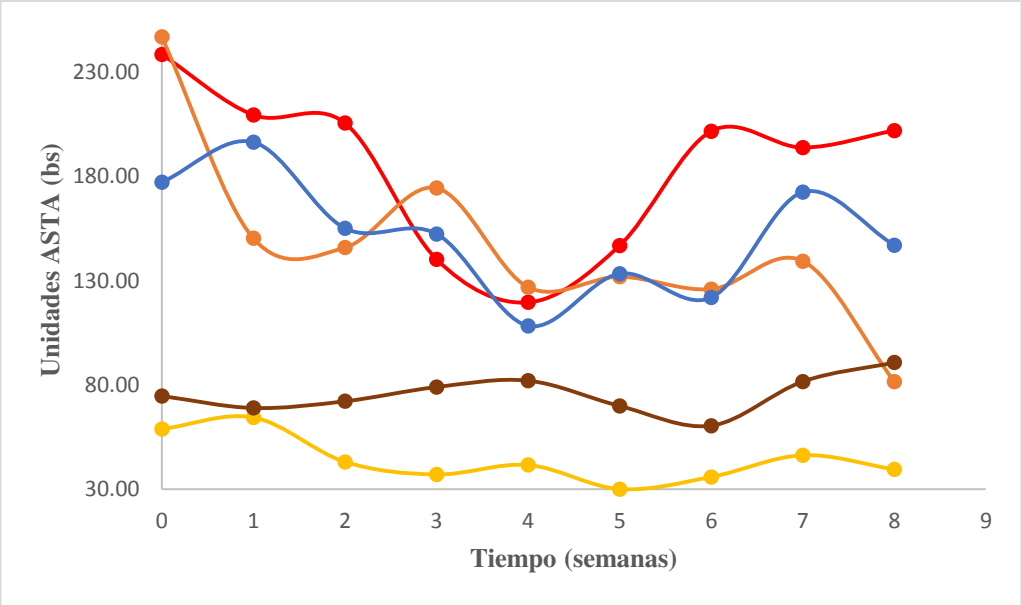


Figura 37. Unidades ASTA (bs) versus Tiempo (semanas) por accesión.
Representación gráfica de color ASTA promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja clara), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscura), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 4. bs: base seca.

De acuerdo a la Figura 37, el ají "Miscucho" presentó los valores más bajos de color ASTA promedio para el almacenado poscosecha bajo refrigeración y congelación en comparación a "Tomatito rojo", "Ayucllo", "Dulce rojo" y "Escabeche", durante las 8 semanas de investigación. El

análisis estadístico del Anexo 7.2 confirma las diferencias significativas entre los diferentes frutos de ají (accesión). Los valores de significancia mostrados en la Tabla 10 según la prueba de Tukey para los ajíes estudiados confirma lo presentado en la Figura 37, donde la significancia encontrada para Miscucho corresponde la letra "E" con un valor promedio en las 8 semanas de 44,15 unidades ASTA.

Tabla 10. Valores promedio de unidades ASTA de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Tomatito rojo	184,20	A
Escabeche	151,60	B
Dulce rojo	147,03	C
Ayucllo	76,33	D
Miscucho	44,15	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

4.4 Color superficial

Los resultados del color superficial de los frutos de ají se presentan en las Figuras 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47 y en el Anexo 8 (8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9 y 8.10). En las figuras 38, 39, 40, 41 y 42, los gráficos de barras de los valores promedio de las coordenadas L*, a*, b*, C* y del ángulo **h** de los grupos de frutos refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, muestran diferencias significativas para estas coordenadas cromáticas de fruto según la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento poscosecha (8 semanas).

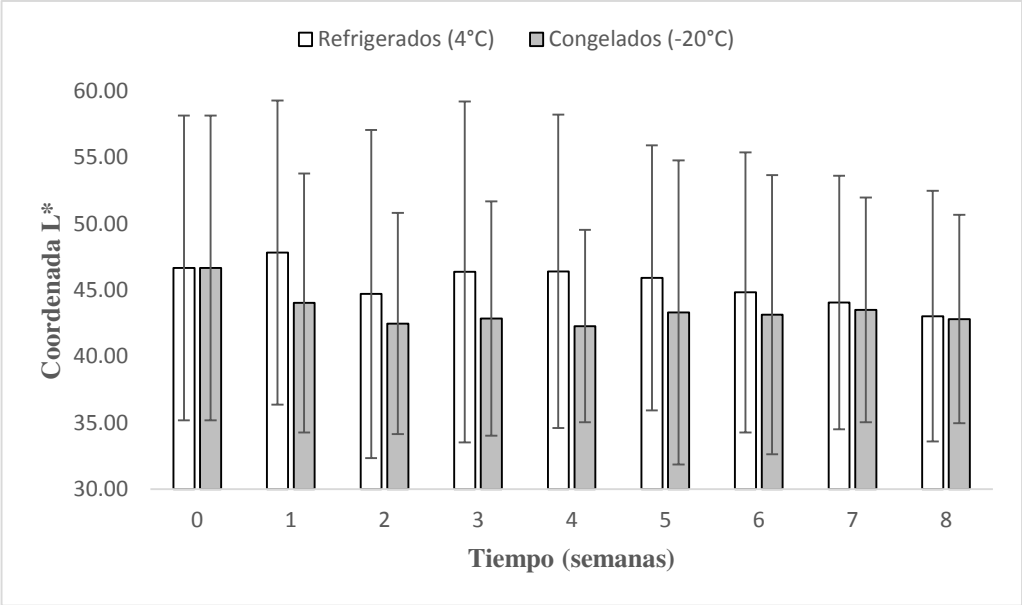


Figura 38. Parámetro cromático L* versus Tiempo (semanas).
Gráficos de barras de L* promedio de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras de color blanco y ajíes congelados (-20°C) barras de color gris, n= 15. Valores promedio ± desviación estándar.

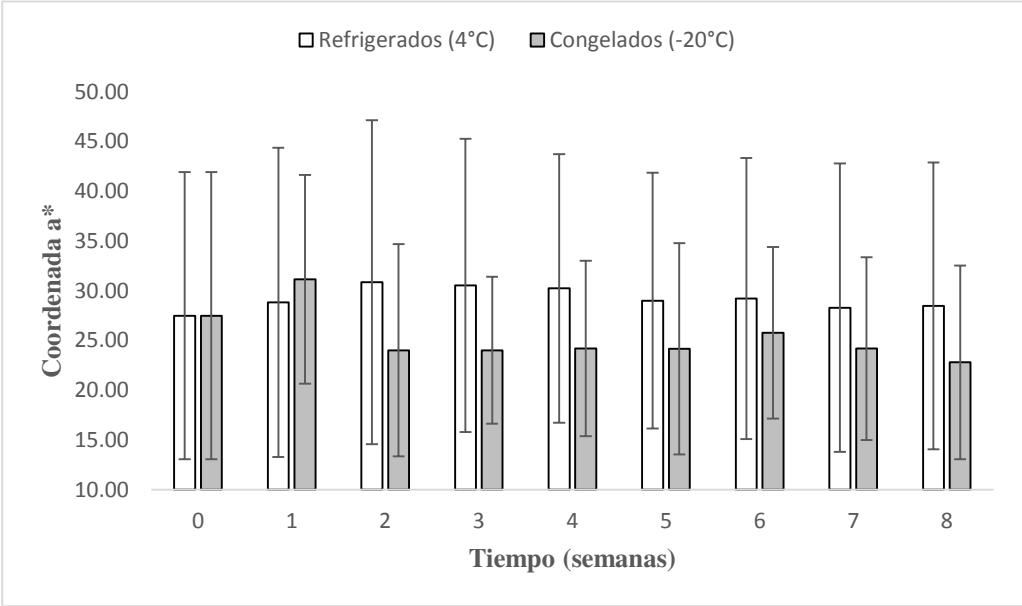


Figura 39. Parámetro cromático a* versus Tiempo (semanas).
Gráficos de barras de a* promedio de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras de color blanco y ajíes congelados (-20°C) barras de color gris, n= 15. Valores promedio ± desviación estándar.

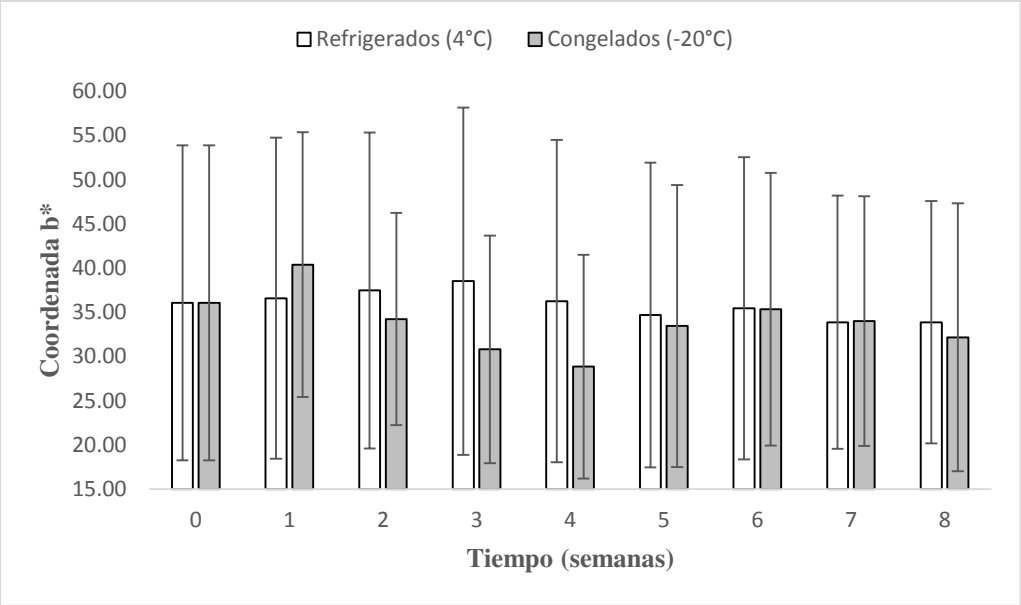


Figura 40. Parámetro cromático b* versus Tiempo (semanas).
Gráficos de barras de b* promedio de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras de color blanco y ajíes congelados (-20°C) barras de color gris, n= 15. Valores promedio ± desviación estándar.

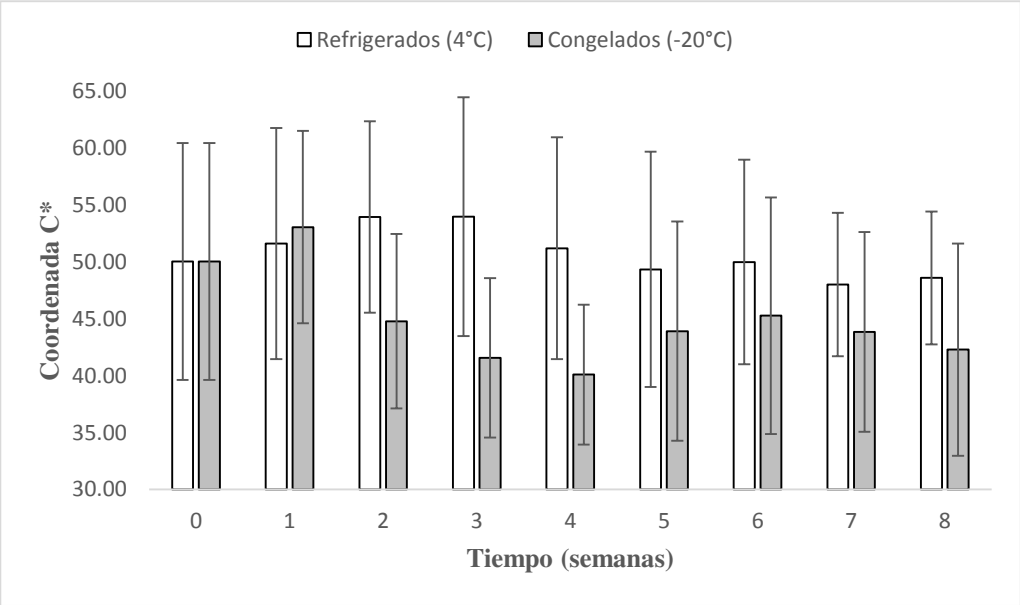


Figura 41. Parámetro cromático C* versus Tiempo (semanas).
Gráficos de barras de C* promedio de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras de color blanco y ajíes congelados (-20°C) barras de color gris, n=15. Valores promedio ± desviación estándar.

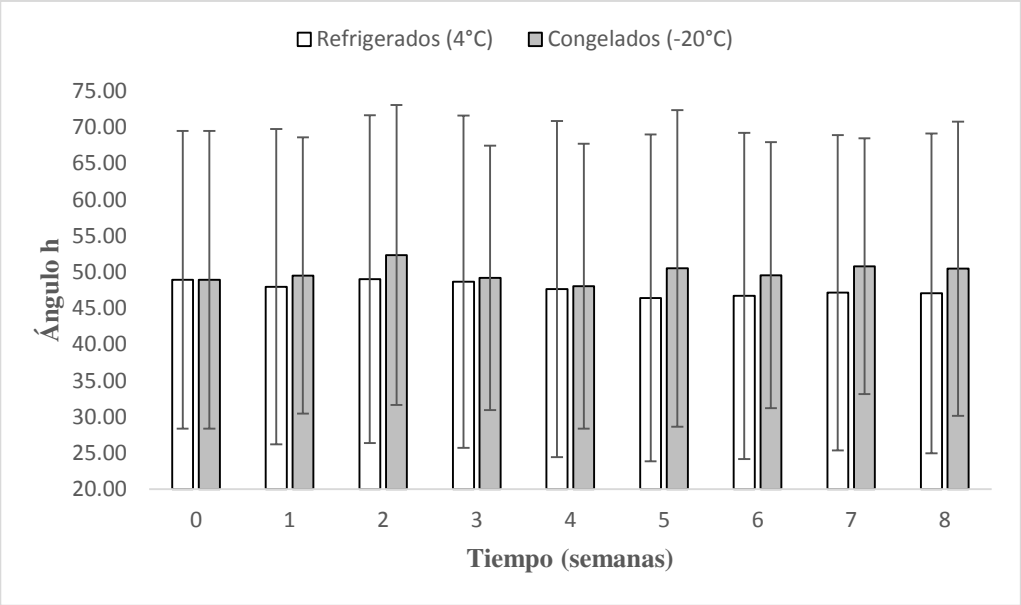


Figura 42. Parámetro cromático Hue versus Tiempo (semanas).
Gráficos de barras de h promedio de los ajíes refrigerados y congelados según el tiempo de almacenamiento poscosecha (semanas). Ajíes refrigerados (4°C) barras de color blanco y ajíes congelados (-20°C) barras de color gris, n= 15. Valores promedio ± desviación estándar.

En esta investigación los valores promedio de L* se encontraron entre 45,55 y 43,47 unidades para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente; los valores promedio de a* se encontraron entre 29,22 y 25,31 para ajíes refrigerados y congelados respectivamente; los valores promedio de b* se encontraron entre 35,87 y 33,93 para ajíes refrigerados y congelados respectivamente; los valores promedio de C* se encontraron entre 50,76 y 45,00 para ajíes refrigerados y congelados respectivamente; los valores promedio de **h** se encontraron entre 47,74 y 49,94 para ajíes refrigerados y congelados respectivamente.

La representación gráfica de L*, a*, b*, C* y h promedio de los frutos de ají “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche” según el tiempo de almacenamiento poscosecha se presentan en las Figuras 43, 44, 45, 46 y 47.

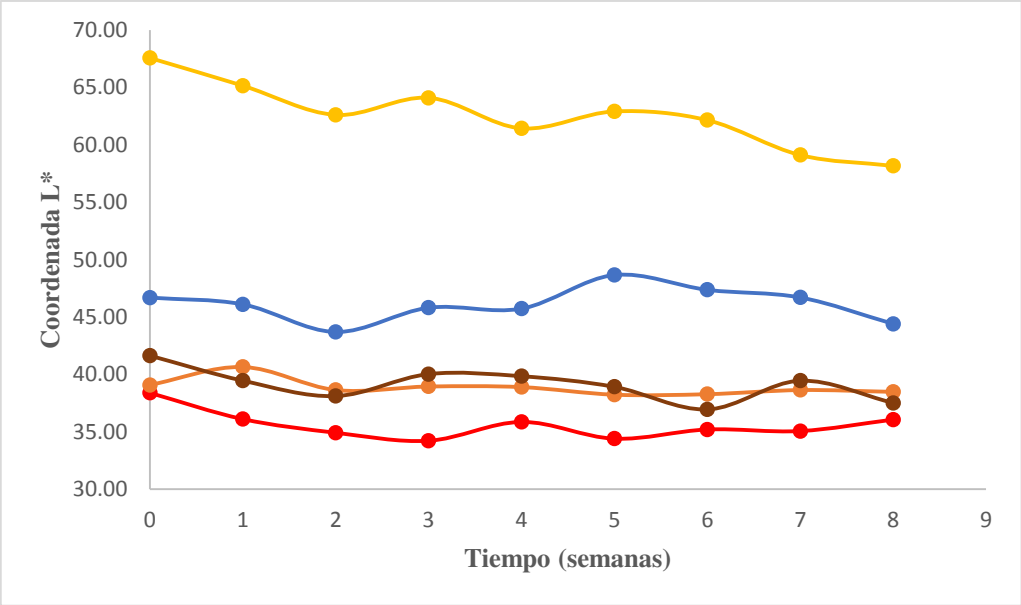


Figura 43. Parámetro cromático L* versus Tiempo (semanas) por accesión. Representación gráfica de L* promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja claro), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscuro), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 6.

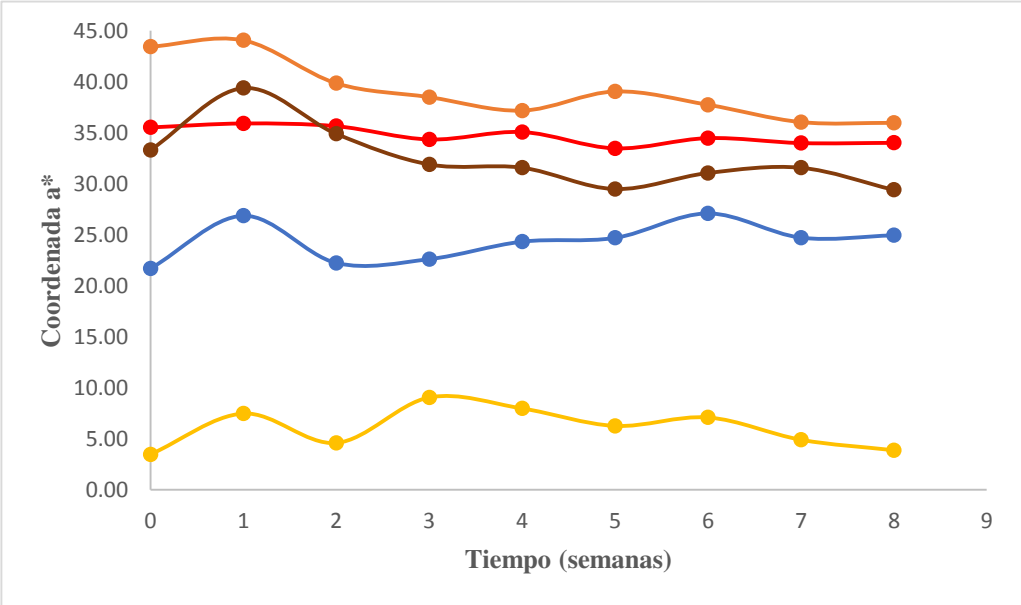


Figura 44. Parámetro cromático a* Tiempo (semanas) por accesión. Representación gráfica de a* promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja claro), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscuro), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 6.

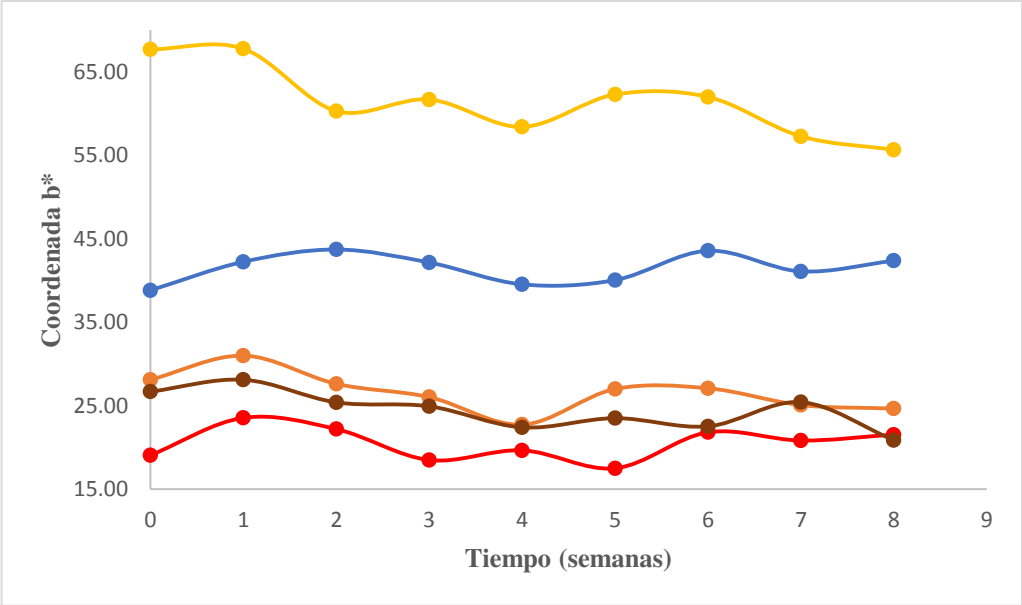


Figura 45. Parámetro cromático b* versus Tiempo (semanas) por accesión. Representación gráfica de b* promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja claro), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscuro), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 6.

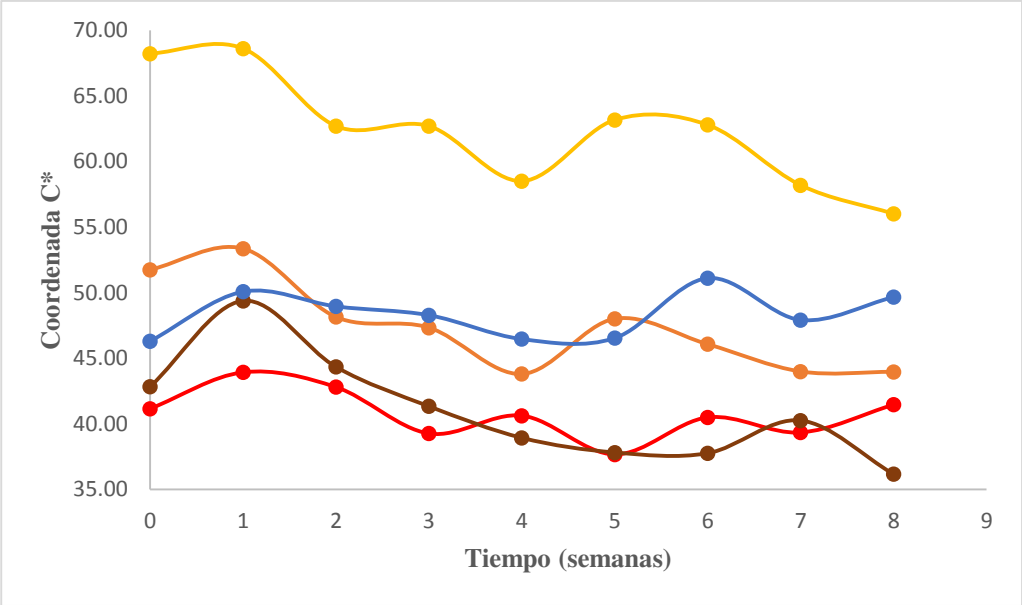


Figura 46. Parámetro cromático C* versus Tiempo (semanas) por accesión. Representación gráfica de C* promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja claro), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscuro), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 6.

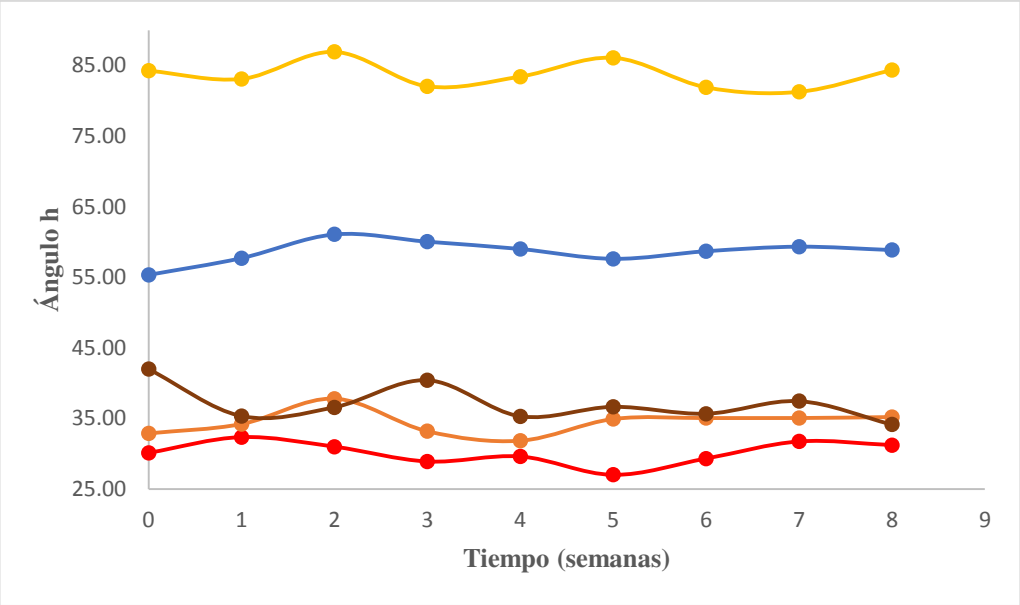


Figura 47. Parámetro cromático Hue versus Tiempo (semanas) por accesión. Representación gráfica de Hue promedio (refrigeración y congelación) de los ajíes Miscucho (-●-, Línea naranja claro), Tomatito rojo (-●-, Línea roja), -Dulce rojo (-●-, Línea naranja oscuro), Ayucllo (-●-, Línea café), y Escabeche (-●-, Línea azul), según el tiempo de almacenamiento (semanas), n= 6.

El análisis estadístico del Anexo 8 (8.6, 8.7, 8.8, 8.9 y 8.10) confirma las diferencias significativas entre los diferentes frutos de ají (accesión). Los valores de significancia mostrados en las Tablas 11, 12, 13, 14 y 15 según la prueba de Tukey para los ajíes estudiados confirman lo presentado en las Figuras 43, 44, 45, 46 y 47.

Tabla 11. Valores promedio de L* de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Miscucho	62,59	A
Escabeche	46,14	B
Ayucllo	39,35	C
Dulce rojo	38,87	C
Tomatito rojo	35,58	D

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Tabla 12. Valores promedio de a* de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Dulce rojo	39,09	A
Tomatito rojo	34,72	B
Ayucllo	32,09	C
Escabeche	24,35	D
Miscucho	6,07	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Tabla 13. Valores promedio de b* de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Miscucho	61,46	A
Escabeche	41,52	B
Dulce rojo	26,60	C
Ayucllo	24,41	D
Tomatito rojo	20,52	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Tabla 14. Valores promedio de C* de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Miscucho	62,33	A
Escabeche	48,36	B
Dulce rojo	47,38	B
Tomatito rojo	40,75	C
Ayucllo	40,58	C

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Tabla 15. Valores promedio de Hue de los ajíes estudiados a temperaturas de 4 y -20°C y la significancia encontrada según prueba de Tukey con *p≤ 0,05*

Ají	Media	Significancia asignada
Miscucho	83,72	A
Escabeche	58,64	B
Ayucllo	37,19	C
Dulce rojo	34,48	D
Tomatito rojo	30,17	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

V. DISCUSION

En la semana 0 las muestras en el laboratorio se acondicionaron en los grupos para su conservación poscosecha bajo refrigeración y congelación, considerándose evaluaciones (realizadas a 25°C) como información inicial. Los resultados encontrados en la semana 0 de los niveles de vitamina C, capsaicinoides, carotenoides totales, fenólicos totales, flavonoides totales y color extractable, estuvieron de acuerdo con los presentados por Rojas et al.[39] con su trabajo "AJÍES NATIVOS PERUANOS – Caracterización agromorfológica, químico nutricional y sensorial", donde realiza la caracterización química (vitamina C, capsaicinoides, carotenoides totales, compuestos fenólicos totales, flavonoides y color extractable ASTA) de 50 ajíes nativos peruanos; Quispe et al.[40] con su estudio titulado "Caracterización agromorfológica y químico-nutricional de cinco ajíes promisorios de INIA-PERU", refiere sobre la caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos (vitamina C, capsaicinoides, carotenoides totales, compuestos fenólicos totales, flavonoides, color extractable ASTA y color instrumental) de frutos frescos y deshidratados de cinco ajíes promisorios peruanos; Meckelmann et al.[29] en su trabajo "Compositional Characterization of Native Peruvian Chili Peppers (*Capsicum spp.)",* seleccionó 147 ajíes nativos del banco nacional de germoplasma de *Capsicum* de Perú en INIA para representar la biodiversidad del "*Capsicum annuum*, *C. chinense, C. baccatum y C. frutescens"* peruanos por rasgos morfológicos, por características agronómicas y origen regional, siendo todas los frutos seleccionados secados y molidos en Perú y analizadas en Alemania, entre otros sus resultados informan sobre capsaicinoides totales, contenido total de polifenoles, capacidad antioxidante, flavonoides específicos (quercetina, kaempferol, luteolina, apigenina), vitamina C, color de superficie y color extraíble; Narváez[41] en su trabajo de tesis evaluó las características de calidad del ají habanero naranja, bajo condiciones de una atmósfera modificada con película de polipropileno a temperaturas de 4°C y 10°C durante 5 semanas; Teodoro

et al.[42] con su estudio “Vitamin C content in Habanero pepper accessions (*Capsicum chinense*)” cuantificó el contenido de vitamina C en pimientos de 22 ecotipos de *C. chinense* "Habanero", obteniendo resultados similares a los aquí reportados; Villar[43] en su trabajo “Capsaicinoides, compuestos fenólicos, actividad antioxidante in vitro y color de 100 accesiones de *Capsicum spp*.” estudió 100 accesiones de las especies *Capsicum annuum, C. baccatum, C. frutescens y C. chinense*, a los que cuantificó el contenido de capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina) y el nivel de pungencia, compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante y el color instrumental (C*, h* e índice de color en CIELab); López et al.[44] en su revisión del 2015 exploró aspectos importantes sobre la “biosíntesis, acumulación y efecto del ambiente sobre los contenidos de compuestos antioxidantes” (vitamina C, carotenoides y capsaicinoides) en frutos de ajíes.

Humedad

La humedad contenida en los frutos se asocia con el valor nutricional de un alimento y permite expresar los resultados analíticos en base uniforme.[27] Su valor depende de la corteza de los frutos, presión de vapor, condiciones de almacenamiento y el error en su determinación que se manifiesta por la desviación estándar de cada evaluación.

Las humedades de los frutos de ají presentados en la parte de resultados para las condiciones de refrigeración y congelación de la Figura 20, indican de manera general diferencias significativas de la humedad según su conservación, el Anexo 2 con los resultados del análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey con $p \leq 0,05$ confirman los resultados encontrados; al respecto Rao et al.[45] en el estudio de tratamientos poscosecha y temperaturas de almacenamiento sobre la calidad y vida útil del pimiento dulce (*Capsicum anuum* L.) que consideró los factores temperatura (25 °C y 10 °C) y tiempo de almacenamiento (0, 9 y 18 días), encontraron diferencias de peso con respecto a la temperatura, siendo las pérdidas mayores en frutos almacenados a 25 °C, que se debe principalmente a los fenómenos de transpiración y su

pérdida afecta significativamente la apariencia y aceptabilidad del consumidor; comparando nuestros resultados con los encontrados por Rao et al.[45] se observó el mismo comportamiento con respecto a la temperatura en los frutos congelados y refrigerados debido a los fenómenos de transpiración.

En relación a los contenidos de humedad de los frutos, su variación según almacenamiento bajo refrigeración y congelación, durante el experimento, los resultados de la Figura 21 y Anexo 1, muestran diferencias entre los diferentes ajíes (Accesión) estudiados. Los frutos de ají "Escabeche" de manera general presentaron los contenidos más elevados; en tanto que el ají "Dulce rojo", los valores más bajos; los ajíes "Tomatito rojo", "Miscucho" y "Ayucllo" presentaron valores intermedios. El Anexo 1.2 en el análisis de varianza para los ajíes (Accesión) confirma estas diferencias significativas que se muestran en la Tabla 2 con diferentes etiquetas. Estas diferencias que se observan en la humedad de fruto (%) dependen de varios factores como genotipo, tamaño de fruto, corteza, así como espesor y fueron diferentes para todos los ajíes estudiados. Al respecto, Lanes et al.[46] en el estudio del crecimiento y calidad de 49 accesiones de frutos de *Capsicum chinense* del Brasil demostraron una relación decreciente entre materia seca y peso fresco con un valor de correlación $r = -0,77$, que significa que los pesos de fruto son proporcionales a la humedad. En nuestra investigación se observaron que los tamaños de los frutos del ají Escabeche fueron superiores a los otros ajíes investigados en condiciones de congelación y refrigeración. Adicionalmente, al tema estudiado otros investigadores como Lotito y Quagliotti[47] en su investigación sobre la temperatura y contenido de humedad sobre la viabilidad de las semillas en *Capsicum annuum*, observaron disminuciones significativas del contenido de humedad según las temperaturas de 25, 35 y 45 °C. Por su parte, Barua et al.[48] estudió el efecto del tipo de contenedor de almacenamiento en diferentes periodos de almacenamiento sobre la calidad de la semilla de *Capsicum annuum* L., reportaron que el contenido de humedad inicial de las semillas en el contenedor de estaño, la bolsa de polietileno y la bolsa

de tela fue de 9,40%, 9,25% y 9,70% pero se incrementó al aumentar el tiempo de almacenamiento, al final de 2 meses el contenido de humedad de la semilla de chile aumentó a 12,30%, 12,10% y 12,83% respectivamente, según la temperatura ambiental (25°C).

Vitamina C

El contenido de ácido ascórbico depende del genotipo, contenido inicial, tamaño de fruto, etapa de madurez, tiempo de cosecha, condiciones de almacenamiento y el error en su determinación que se manifiesta por la desviación estándar en cada evaluación.

El nivel de ácido ascórbico de los ajís presentados en la parte de resultados para las condiciones de refrigeración y congelación de la Figura 22, indican de manera general diferencias significativas de este bioactivo según su temperatura de conservación, el Anexo 2.2 con los resultados del análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey con $p \leq 0,05$ confirman los resultados encontrados; al respecto, Narváez[41] evaluó la variación de la vitamina C en el fruto del ají *Capsicum chinense* Jacq durante el almacenamiento a 4 y 10˚C en películas de polipropileno durante 5 semanas; sus resultados muestran que los ajíes almacenados a 4°C mostraron un incremento paulatino de la concentración de ácido ascórbico hasta la cuarta semana para luego descender, mientras que los ajíes almacenados a 10°C mostraron mayor contenido en la concentración del ácido ascórbico solo hasta la segunda semana. Por otro lado, Martínez et al.[49] estudiaron los cambios en el contenido de vitamina C del *Capsicum annuum* L. en función de la madurez, el almacenamiento y diferentes sistemas de conservación, sus resultados demostraron que la refrigeración a 4°C durante un máximo de 20 días no cambió el contenido de ácido ascórbico y la retención de ácido ascórbico durante la congelación fue del 60%.

Según nuestros resultados, los grupos de ajíes almacenados a temperatura de congelación de -20°C muestran mayores contenidos de ácido ascórbico en comparación con los ajíes almacenados a temperatura de refrigeración de 4°C, lo que se traduce como menor

perdida del contenido de este bioactivo a menor temperatura de almacenamiento poscosecha. Este resultado concuerda con lo presentado por investigadores como Guk et al. (2012).[50] Al respecto, Shafiur et al.[51] en su estudio titulado “Stability of vitamin C in fresh and freeze-dried *Capsicum* stored at different temperatures”, agregó otro factor a considerar como es la humedad, ya que, al determinar la estabilidad de la vitamina C en pimientos frescos y liofilizados durante el almacenamiento a diferentes temperaturas, observó una disminución gradual de la vitamina C en los pimientos frescos almacenados a 5, -20, -40°C y pimientos liofilizados almacenados a todas las temperaturas (es decir, 60 a -40°C), modeló en cero la cinética de degradación de la vitamina C, estimaron las reacciones de primer orden y las constantes de velocidad, demostrando que la constante de velocidad aumentó con el aumento de la temperatura de almacenamiento, mientras que disminuyó con la disminución del contenido de humedad; para la cuantificación de este bioactivo Shafiur et al.[51] realizó un tratamiento por titulación con el reactivo 2,6-dicloro-indofenol. También guarda concordancia con lo expresado por Sudhir[52], que en el 2017 estudió la vida útil y los atributos de calidad en el pimiento con diferentes diluciones de la emulsión de cera de carnauba (3,7–4,8%), demostrando que el ácido ascórbico en el pimiento disminuyó a 6,78 de 10,22% después de 15–20 días de temperatura ambiente y a 9,95 de 12,45% después de 30-35 días de almacenamiento refrigerado con 3,7% de dilución de cera de carnauba en ambos casos; aunque su principal objetivo fue evaluar el efecto de la cera de carnauba sobre este componente bioactivo, secundariamente se puede apreciar el efecto positivo de las bajas temperaturas sobre este metabolito durante el periodo de almacenamiento indiferentemente de otros factores. Apreciación similar a la encontrada en Bayoumi[53] en su estudio “Improvement of postharvest keeping quality of White pepper fruits (*Capsicum annuum,* L.) by hydrogen peroxide treatment under storage conditions”, ya que evaluó el efecto del peróxido de hidrogeno en la calidad del mantenimiento pos-cosecha durante el tiempo de almacenamiento, para esto los pimientos

fueron remojados durante 30 minutos en soluciones de peróxido de hidrógeno (0, 1, 5 y 15 mM), los secaron al aire y los almacenaron a temperatura ambiente de 20ºC durante 2 semanas y en el refrigerador a 10ºC durante 4 semanas; aunque el objetivo de Bayoumi[53] fue estudiar la repercusión del peróxido de hidrógeno sobre la calidad de los frutos, se aprecia en sus resultados además que el almacenamiento a condiciones de refrigeración provee una condición de menores perdidas del contenido de ácido ascórbico, lo que es semejante a nuestra conjetura inicial de que a menor temperatura mayor conservación del contenido de ácido ascórbico o vitamina C. Fortaleciendo esta idea, Ramamurthy et al.[54] en su trabajo titulado "Improvement of shelf-life and microbiological quality of minimally processed refrigerated *Capsicum* by gamma irradiation" evaluó la vida útil, calidad microbiológica y química del pimiento mínimamente procesado sometido a diferentes dosis de radiación, seguido de almacenamiento a 5°C y 10°C, demostrando que la pérdida de nutrientes (ácido ascórbico) inducida por el almacenamiento fue mayor a 10°C en comparación con 5°C. También tenemos a Sanatombi y Rajkumari[55] que en su revisión del 2019 "Effect of processing on quality of pepper" presenta como fundamento que el almacenamiento de ajíes en refrigeración a 4°C por hasta 20 días "retiene el contenido de ácido ascórbico" en comparación con las muestras secadas en un horno a 50°C durante 7 días. Por su parte, Chaudhary et al.[56] estudió la influencia de la temperatura de almacenamiento (11°C y 2°C) y el acondicionamiento a baja temperatura (7 días a 16°C antes del almacenamiento en frío a 2°C) sobre los compuestos bioactivos en la toronja 'Star Ruby' (*Citrus paradisi* Macf.), demostrando que el almacenamiento a baja temperatura (2°C) ayudó a retener el ácido ascórbico durante un período más largo (12 semanas); el contenido de ácido ascórbico en las frutas se determinó titulando el jugo con 2,6-diclorofenolindofenol y comparando los volúmenes de titulación con 0,1% ácido ascórbico. Por el contrario, Fiska et al.[57] en su trabajo "Effect of cold storage and harvest date on bioactive compounds in curly kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala)" comparó la col rizada

almacenada a 1°C durante 3 y 6 semanas con las plantas que permanecieron en el campo con respecto a varias propiedades relacionadas con la salud humana y la calidad sensorial, sus resultados mostraron que el almacenamiento en frío redujo el contenido de vitamina C; para la cuantificación de ácido ascórbico y dehidroascórbico utilizó ácido metafosfórico y HPLC. Volviendo a corresponder nuestra idea inicial tenemos a Igual et al.[58] en su trabajo "Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice" evaluó el efecto de la pasteurización convencional y por microondas en los principales compuestos bioactivos del jugo de toronja y su estabilidad durante el almacenamiento refrigerado (4°C) y congelado (-18°C) por 2 meses, sus resultados mostraron que el almacenamiento congelado a -18°C mantuvo el ácido ascórbico y la vitamina C especialmente en muestras tratadas; el ácido ascórbico y la vitamina C fueron analizados por HPLC. También presentamos una conclusión clave de Jabeen y Srinivasa[59] como correspondencia a nuestros resultados, ya que en su trabajo de revisión "Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review" concluyeron que el cambio en los compuestos bioactivos puede continuar durante el almacenamiento dependiendo de las condiciones de almacenamiento, donde la temperatura y la duración del almacenamiento tienen un efecto significativo, conjeturando que una baja temperatura de almacenamiento mejora la retención de compuestos biológicamente activos como el ácido ascórbico en mermeladas y gelatinas. Como último soporte presentamos a Cogo et al.[60] que en su estudio del 2011 sus resultados demostraron que el bajo contenido de agua del suelo durante el crecimiento de las plantas y el almacenamiento en frío después de la cosecha fueron las condiciones que, combinadas, dieron la mejor preservación del contenido de ácido l-ascórbico; el ácido ascórbico fue extraído con ácido metafosfórico y cuantificado por HPLC.

En relación a las variaciones del contenido ácido ascórbico en los materiales estudiados se observaron diferencias significativas corroboradas en la Figura 23 y Tabla 3. Así vemos que: el ají Miscucho presentó los mayores contenidos de ácido ascórbico, llegando a su máximo valor en la semana tercera y a su mínimo en la octava semana de estudio; seguido se presenta el testigo escabeche, llegando a su mayor nivel en el contenido de este bioactivo en la tercera semana y a su mínimo en la quinta semana; por debajo de estos dos ecotipos se encuentra el ají Tomatito rojo, quien presentó su máximo hacia la segunda semana de estudio y su mínimo en la semana sexta; cercano pero ligeramente inferior se encuentra el ají Ayucllo, presentando su máximo y mínimo contenido del ácido ascórbico en las semanas tercera y sexta respectivamente; el ají Dulce rojo se presenta con los menores contenidos de este metabolito, mostrando un máximo de contenido en la semana tercera y observando valores mínimos en las semanas primera y séptima. Ver Figura 23. Las diferencias que se observan en el contenido de ácido ascórbico del fruto (mg/100g bs) dependen del genotipo, etapa de madurez, tiempo de cosecha, condiciones de almacenamiento y son diferentes para todos los ajíes estudiados. Al respecto, Meckelmann et al.[29] en su trabajo titulado "Compositional Characterization of Native Peruvian Chili Peppers (Capsicum spp.)", seleccionaron 147 accesiones para representar la biodiversidad de los ajíes peruanos por rasgos morfológicos, características agronómicas y origen regional; sus resultados informaron que los ajíes pertenecientes a la especie *Capsicum Chinense* presentaron los mayores contenidos de ácido ascórbico, seguido del *Capsicum baccatum* y fue el *Capsicum annuum* quien presentó los menores contenidos para este compuesto bioactivo. Para la investigación se observaron que los frutos del ají Miscucho (*Capsicum chinense*) fueron quienes presentaron niveles superiores de ácido ascórbico con respecto al resto de ajíes que se consideran como *Capsicum baccatum* (a excepción del ají Dulce rojo), consecuentemente este comportamiento se mantiene durante la

congelación y refrigeración en los ajíes estudiados y que está de acuerdo con el estudio realizado.

Capsaicinoides

Como se mencionó previamente en nuestra metodología solo se cuantificaron a las moléculas capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina como capsaicinoides principales en el fruto de ají. El valor de estos capsaicinoides depende de la especie, genotipo, condiciones de crecimiento ambiental, condiciones de almacenamiento y el error en su determinación que se manifiesta por la desviación estándar de cada evaluación.

Los niveles de capsaicinoides de los ajís presentados en la parte de resultados para las condiciones de refrigeración y congelación de las Figuras 24, 25 y 26, muestran de manera general diferencias significativas de capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina según su temperatura de conservación, el Anexo 3 con los resultados del análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey con $p \leq 0,05$ confirman los resultados encontrados.

Según nuestros resultados, las muestras almacenadas a temperatura de congelación de -20°C muestran mayores contenidos de estas tres moléculas pungentes en comparación con las muestras sometidas a temperatura de refrigeración de 4°C, lo que se traduce como menor perdida del contenido de este bioactivo o mayor protección del mismo a menor temperatura de almacenamiento o conservación post-cosecha; sin embargo presentan discordancia con respecto al efecto del tiempo, así por ejemplo la capsaicina muestra decrecimiento significativo en las primeras semanas y un aumento progresivo hacia las ultimas, lo que se contrapone con el comportamiento de las moléculas dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina que muestran un descenso progresivo desde el inicio hasta el final del estudio; y con respecto al efecto significativo de los ecotipos se presentó una diferencia importante según la molécula, así tenemos que el ají Miscucho es quien presentó los mayores niveles

de capsaicina y dihidrocapsaicina pero fue el ají Ayucllo quien encabeza en el caso de la nordihidrocapsaicina.

Para la temperatura se observó un comportamiento variable según la semana evaluada, por ejemplo en los frutos que fueron sometidos a congelación (-20°C) se observa que de la semana 1 a la 5 lo valores de capsaicina fueron mucho menores que en las semanas sexta, séptima y octava, es decir hubo un crecimiento repentino de este metabolito en la tres últimas semanas; por su parte, los frutos de ajíes que se mantuvieron refrigerados a 4°C presentaron contenidos de capsaicina más estables a lo largo de las ocho semanas de estudio, a excepción de la quinta semana que presentó valor más bajo. De manera general se observó que la capsaicina de los frutos fue mayor en las condiciones de congelación. Con respecto a este parámetro, Wang et al.[61] realizó una investigación en el 2009 en la que tuvo como objetivo determinar los efectos de la temperatura de procesamiento y condiciones de almacenamiento en el contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina, en ají (*Capsicum annuum* L.) en polvo. Sus resultados muestran que las cantidades de capsaicina y dihidrocapsaicina disminuyeron continuamente durante nueve meses de almacenamiento, disminuyendo de 14,5% a 15,0% a temperatura de refrigeración (2-5°C) y 20,9% a 21,9% a temperatura ambiente (25°C) para la capsaicina y de 20,6% a 21,2% en refrigeración (2-5°C) y 28,8 % a 29,9% a temperatura ambiente (25°C) para el caso de la dihidrocapsaicina. Además, durante los primeros tres meses de almacenamiento, la cantidad de capsaicinoides disminuyó mucho más rápido que en la etapa posterior, los niveles de capsaicina disminuyeron 8,6% a 12,2% en tres meses, atribuyendo este fenómeno a la oxidación inducida enzimática residual. Se pueden liberar algunas enzimas resistentes al calor de células dañadas debido a la molienda y permanecen activos después del secado al horno, lo que resulta en mayores pérdidas durante el período de almacenamiento temprano. También demostró que la temperatura de almacenamiento llevó a una diferencia significativa en el contenido de capsaicina en el ají, sugiriendo que una condición de almacenamiento a baja temperatura

ayudó a retener capsaicinoides, el nivel de capsaicinoides en el ají en polvo almacenado a temperatura de refrigeración (2 a 5°C) disminuyó 16% a 17% después de nueve meses, en comparación con una reducción de 23% a 24% para la almacenada a temperatura ambiente (25°C). Por su parte, Miranda et al.[62] en 2019 presentó su estudio "Quality attributes and antioxidant properties of Serrano chili peppers (*Capsicum annuum* L.) affected by thermal conditions postharvest", donde evaluó la modificación de los atributos de calidad y las propiedades antioxidantes de los ajíes serranos (*Capsicum annuum* L.) durante el período posterior a la cosecha en diferentes condiciones térmicas de 4, 8 y 25 °C, y por un período de almacenamiento de 33 días; demostró que la capsaicina aumentó con el tiempo a 25°C, pero permaneció sin cambios en los ajíes almacenados a 4°C y 8°C; lo que también guarda relación con lo expuesto por Sanatombi y Rajkumari[55] en su revisión del 2019, donde no encontraron estudios que avalaran alguna posición con respecto al cambio o conservación de estos metabolitos con respecto a la influencia de las bajas temperaturas de almacenamiento. Por otra parte, González et al.[63] en su estudio "Influence of Refrigerated Storage on the Quality and Shelf Life of 'Habanero' Chili Peppers (*Capsicum chinense* Jacq.)" investigó el efecto de la etapa de madurez en la cosecha y el almacenamiento refrigerado en la vida útil y características de calidad del ají "Habanero", sus resultados determinaron que el contenido total de capsaicinoides no mostró cambios significativos durante los primeros 20 días de refrigeración a 7°C, pero comenzó a disminuir después de 35 días y que durante la post-refrigeración, la fruta refrigerada por hasta 7 días se comportó de manera similar a la fruta de tratamiento de control, con un aumento significativo en el contenido total de capsaicinoides, la fruta refrigerada más de 20 días tuvo un aumento significativamente menor de capsaicinoides que la fruta de control, lo que indica que el almacenamiento en frío prolongado inhibe la formación de capsaicinoides a nivel normal y acelera la degradación de la fruta.

Por otra parte, la discordancia existente con respecto al efecto del tiempo sobre la capsaicina, que muestra decrecimiento significativo en las primeras semanas y un aumento progresivo hacia las ultimas, y que se contrapone con el comportamiento de las moléculas dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina, que muestran un descenso progresivo desde el inicio al final del estudio, se puede fundamentar en la acción de la enzima peroxidasa que según Montoya et al.[64] tiene acción sobre la capsaicina solamente y no sobre las otras moléculas pungentes (o al menos no significativamente), además el posterior aumento que se presentó en nuestros resultados puede atribuirse a que los ajíes son frutas climatéricas que pueden continuar madurando después cosecha, mientras que la disminución puede atribuirse a reacciones de oxidación, principalmente la de la peroxidasa que según Chan et al.[65] se pierde después de 40 días.

En relación a las variaciones del contenido de capsaicinoides en los materiales investigados se observaron diferencias significativas para el tipo de ajíes demostrados en las Figuras 27, 28, 29 y en el Anexo 3. Así por ejemplo: el ají "Miscucho" presentó los mayores contenidos de capsaicina, llegando a su máximo valor en la semana séptima y a su mínimo en la quinta semana de estudio; por debajo, se presentan los ajíes "Tomatito rojo" y "Ayucllo", quienes presentaron medidas similares de capsaicina durante las ocho semanas de estudio, llegando a su mayor nivel en el contenido de este bioactivo en las tres últimas semanas y a su mínimo en la quinta semana; le sigue el testigo "Escabeche", quien presentó un comportamiento uniforme desde la primera a la última semana; el ají "Dulce rojo" se presenta con los menores contenidos de capsaicina, mostrando una tendencia prácticamente horizontal entre las semanas tercera a séptima y con su menor valor en la octava semana de estudio. Ver Figura 27. Para el caso de la dihidrocapsaicina: el ají Miscucho presentó los mayores contenidos de este capsaicinoide, mostrando su máximo valor en la semana primera y a su mínimo en la quinta semana de estudio; por debajo, se presentan los ajíes Tomatito rojo y Ayucllo, quienes presentaron perfiles similares de

dihidrocapsaicina durante las ocho semanas de estudio, llegando a su mayor nivel en el contenido de este bioactivo en las semanas cuarta y sexta y a su mínimo en la quinta semana; le sigue el testigo Escabeche, quien presentó un descenso marcado en la primera semana para mantenerse uniforme hasta la última semana de estudio; el ají Dulce rojo se presenta con los menores contenidos de dihidrocapsaicina, mostrando un descenso a partir de la semana tercera para mantener una tendencia prácticamente horizontal hacia la octava semana de estudio. Ver Figura 28. Con respecto a la nordihidrocapsaicina: el ají Ayucllo fue quien presentó los mayores contenidos de este capsaicinoide, mostrando su mayor valor en las dos primeras semanas y su mínimo en la octava semana de estudio; por debajo, se presentan los ajíes "Tomatito rojo", "Ayucllo" y el testigo "Escabeche", quienes presentaron perfiles cercanos de nordihidrocapsaicina durante las ocho semanas de estudio, llegando a su mayor nivel en el contenido de este bioactivo en las dos primeras semanas para ir descendiendo a su mínimo en la última semana; con el perfil más bajo se presentó el ají "Dulce rojo", quien siguió un comportamiento similar a los otros ajíes. Ver Figura 29. Al respecto, Meckelmann et al.[29] en su trabajo del 2013 informaron que los ajíes pertenecientes a la especie *Capsicum Chinense* presentaron los mayores contenidos de capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina) seguido de los ajíes pertenecientes a *Capsicum baccatum* y *C. annuum* quienes presentaron los menores contenidos para estos capsaicinoides. Para la investigación se observaron que los frutos del ají Miscucho (*Capsicum chinense*) fueron quienes presentaron niveles superiores de capsaicina y dihidrocapsaicina con respecto al resto de ajíes que se consideran como *Capsicum baccatum* (a excepción del ají Dulce rojo), consecuentemente este comportamiento se mantiene durante la congelación y refrigeración en los ajíes estudiados y está de acuerdo con el estudio realizado. Este efecto significativo de los ecotipos que mostró al ají Miscucho como el que presentó los mayores niveles de capsaicina y dihidrocapsaicina es secundada por su especie *C. chinense* que es una de las clasificadas como de mayor picor, como se sabe,

dentro de las diversas especies existentes de *Capsicum* existen diferencias en cuanto a su grado de picor, significando diferencias en la capacidad de acumular capsaicinoides. Esto se corresponde con lo reportado por López et al.[44], Borges et al.[66] y Yañez et al.[67]

Carotenoides

El contenido de carotenoides depende del genotipo, estado de madurez, condiciones de almacenamiento y el error en su determinación que se manifiesta por la desviación estándar en cada evaluación. Los contenidos de carotenoides totales de los frutos de ají presentados en la parte de resultados para las condiciones de refrigeración y congelación de la Figura 30, indican de manera general diferencias significativas de estos metabolitos según su temperatura de conservación, el Anexo 4 con los resultados del análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey con $p \leq 0,05$ confirman los resultados encontrados. Se observó además un comportamiento variable según la semana evaluada, por ejemplo en los frutos que fueron sometidos a temperatura de congelación -20°C se observa una disminución en las dos primeras semanas para luego presentar mayor contenido en la tercera, quinta sexta y séptima semanas, teniendo en la octava semana su punto más bajo; por su parte, los frutos de ajíes que se mantuvieron refrigerados a 4°C presentaron contenidos de carotenoides totales que durante las cuatro primeras semanas fueron disminuyendo para luego aumentar ligeramente en las semanas quinta, sexta y séptima, finalmente presentando su menor valor en la última semana de estudio. Estos resultados demuestran que los ajíes almacenados a temperatura de congelación de -20°C muestran mayores contenidos de β-caroteno en comparación con las muestras sometidas a temperatura de refrigeración de 4°C, lo que se traduce como menor perdida del contenido de este bioactivo o mayor protección del mismo a menor temperatura de almacenamiento o conservación poscosecha. Con respecto a este parámetro, Biacs et al.[68] en su trabajo de 1992 estudiaron los factores

que afectan la estabilidad de las sustancias coloreadas en los polvos de pimentón, estimando la degradación del pigmento carotenoide después de 150 días de almacenamiento. Siendo de 27%, 20% y 15% en condiciones de almacenamiento ambiental y 15%, 13% y 5% bajo refrigeración en polvos no tratados, tratados con tocoferol y tratados con ácido ascórbico, respectivamente. También demostraron que los polvos de los cultivares más picantes presentaron la degradación más baja de pigmentos carotenoides durante el almacenamiento. Resultados similares se encuentran con Wang et al.[69] en su trabajo "Compositional modifications of bioactive compounds and changes in the edible quality and antioxidant activity of 'Friar' plum fruit during flesh reddening at intermediate temperaturas" investigaron las modificaciones de los fitoquímicos y la actividad antioxidante durante el enrojecimiento de la carne, sus resultados demostraron que el contenido de carotenoides a 5 y 15°C aumentó temporalmente y débilmente para luego disminuir, sin embargo, no observaron cambios significativos en el contenido de carotenoides durante todo el almacenamiento a 0°C; el contenido de carotenoides lo determinaron con la mezcla hexano: acetona y se cuantificó espectrofotométricamente. Narváez[41] también presenta una postura similar a lo conjeturado en este estudio, ya que en su tesis los ajíes almacenados a 4°C mostraron mayor contenido de carotenoides en comparación con los conservados a 10°C durante las 4 semanas de su estudio. Además, tenemos a Sanatombi y Rajkumari[55] quienes defienden que la temperatura de congelación (-22°C) es la óptima para preservar los contenidos de carotenoides en ajíes. También guarda relación con los resultados de Pérez et al.[70], en su trabajo titulado "Effect of blue and ultraviolet-C light irradiation on bioactive compounds and antioxidant capacity of habanero pepper (*Capsicum chinense*) during refrigeration storage", donde tenían como objetivo evaluar el efecto de la luz azul y UV-C sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante del chile habanero (*Capsicum chinense*) almacenado en un paquete cerrado y a baja temperatura (4°C-5°C), demostraron que los frutos almacenados a baja temperatura de 4 a 5°C y en empaque cerrado

presentaron bajos cambios en la cantidad de carotenoides totales durante el almacenamiento.

Por otro lado, nuestros resultados no guardan relación con lo presentado por Chaudhary et al.[56], que muestran en sus resultados que los carotenoides fueron significativamente más altos después de 16 semanas en las frutas almacenadas a 11°C en comparación con las almacenadas a 2°C; su metodología implica extracción con cloroformo y BHT (0,2%) y análisis por HPLC. Tampoco hay concordancia con lo expresado por Cogo et al.[60] quien evaluó los cambios en el color, compuestos bioactivos y actividad antioxidante del brócoli cultivado con bajo y normal contenido de agua del suelo, y almacenado a baja temperatura (1°C) y ambiente (23°C), concluyendo que la preservación de los carotenoides dependía de las condiciones de almacenamiento posteriores a la cosecha (atribuyéndolas a la senescencia y lesiones físicas); su metodología implicó la molienda con nitrógeno, extracción con acetona y lectura en espectrofotómetro UV-Vis. Al respecto, Raffo et al.[71] al investigar la calidad interna y contenido de antioxidantes de los pimientos rojos almacenados en frío afectados por el empaque de bolsas de polietileno y tratamiento de agua caliente, observó variaciones significativas del contenido de carotenoides durante su almacenamiento a 7,5°C; así por ejemplo, el contenido de provitamina A mostró una tendencia creciente en los ajíes no envasados y envasados, los pimientos envasados y con tratamiento se caracterizaron por una menor retención de provitamina A y un mayor nivel de capsantina y cucurbitaxantina A con respecto a frutas no tratadas, concluyendo que el efecto de las condiciones de almacenamiento consideradas fue mucho más pequeño que los efectos debido a la etapa de maduración. También Raffo et al.[72] en el 2008 presentó su estudio “Changes in antioxidants and taste-related compounds content during cold storage of fresh-cut red sweet peppers” en el cual las muestras fueron almacenadas a 4 y 8°C durante 9 días, mostrando como resultados que todos los principales carotenoides (capsantina, cucurbitaxantina A, zeaxantina, β-caroteno y

β-criptoxantina) se acumularon notablemente en frutas almacenadas a 8°C (sin tratamiento térmico) y mostraron una disminución general a 4°C.

En relación a las variaciones del contenido de carotenoides en los ajíes estudiados, los resultados de la Figura 31 y el Anexo 4, muestran diferencias significativas para l semanas diferentes tipos de ajíes evaluados durante la investigación. Así por ejemplo: el ají "Tomatito rojo" presentó los mayores niveles de carotenoides totales, teniendo su máximo valor en la semana séptima y a su mínimo en la octava semana de estudio; por debajo, se presenta al testigo Escabeche, quien presenta su mayor nivel en el contenido de este bioactivo en la séptima semana y a su mínimo en la octava semana; le sigue el ají "Dulce rojo", quien presentó su máximo valor en la semana tercera y su mínimo en la octava; el ají "Ayucllo" se presenta por debajo mostrando una tendencia prácticamente horizontal entre las semanas tercera a séptima y con su menor valor en la octava semana de estudio; el ají "Miscucho" es el que se presenta con el perfil más bajo para el contenido de carotenoides totales, mostrando una tendencia estable durante las ocho semanas estudiadas. Al respecto, Kidmose et al.[73], determinaron los efectos del genotipo, el tamaño de la raíz, el almacenamiento y el procesamiento sobre el contenido de compuestos bioactivos en las zanahorias; sus resultados demostraron que el almacenamiento refrigerado a 1°C de las zanahorias durante 4 meses no tuvo diferencias significativas en el contenido de carotenoides en comparación con el almacenamiento congelado a -24°C de zanahorias procesadas; concluyendo que los carotenoides de la zanahoria fueron compuestos bastante estables durante el almacenamiento refrigerado y congelado. Para la investigación se observó que existe diferencias significativas con relación a los ecotipos pero con respecto a las temperaturas de almacenamiento de refrigeración a 4°C y de congelación a -20°C los ajíes muestran un comportamiento similar a lo reportado por Kidmose et al.[73], consecuentemente este comportamiento se mantiene durante la

congelación y refrigeración en los ajíes estudiados y está de acuerdo con el estudio realizado.

Compuestos fenólicos

El contenido de compuestos fenólicos depende del genotipo, estado de madurez, condiciones de almacenamiento y el error en la determinación que se manifiesta por la desviación estándar de cada evaluación.

Los resultados de los contenidos de fenólicos totales de los frutos de ají presentados en la parte de resultados para las condiciones de refrigeración y congelación de la Figura 31 indican de manera general diferencias significativas de estos metabolitos según su temperatura de conservación, el Anexo 5 con los resultados del análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey con $p \leq 0,05$, confirman los resultados encontrados; estos resultados demuestran que los ajíes almacenados a temperatura de congelación de -20°C muestran mayores contenidos de compuestos fenólicos en comparación con las muestras sometidas a temperatura de refrigeración de 4°C, lo que se traduce como menor perdida del contenido de este bioactivo o mayor protección del mismo a menor temperatura de almacenamiento o conservación poscosecha. Con respecto a este parámetro, y dando consistencia a nuestra conjetura mencionamos a Rivera et al.[74], también está Cuadra y Del Amor[75] con su estudio "Effects of postharvest treatments on fruit quality of sweet pepper at low temperatura" donde los fenoles totales de los frutos no fueron afectado a los 21 días de almacenamiento a 5°C, pero que los compuestos fenólicos totales mostraron una ligera tendencia a aumentar después de 7 días de almacenamiento. Al respecto, Chitravathi et al.[76] en su estudio "Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annuum* L.)" observó un "aumento en el contenido de fenólicos totales en las muestras" de control y empaquetadas durante el almacenamiento a 8°C, atribuyendo este aumento durante la maduración de los ajíes por la conversión de flavonoides en compuestos fenólicos secundarios. También tenemos a

Koc et al.[77] quienes estudiaron el efecto del frio en proteínas, prolina, compuestos fenólicos y contenido de clorofila de dos variedades de *Capsicum annuum* L., “comparando el contenido de compuestos fenólicos” en hojas y tallos de las dos variedades de ajíes a 25°C (control) y 4°C durante 3 días, mostrando que la acumulación de ácido gálico en hojas sometidas a baja temperatura fue mayor que el control, aunque no fue estadísticamente significativa. Win et al.[78] al estudiar los efectos de bajas temperaturas (4, 10 y 13ºC) y pre-tratamientos en cambios en los atributos físicos, fisiológicos y fitoquímicos, y en la actividad antioxidante de gac fruta, observaron que los regímenes de baja temperatura tuvieron mayor impacto en la preservación de la reducción de la capacidad fenólica de fruta gac en comparación con el control a 25°C.

Por contraparte, Fiska et al.[57] presentaron una investigación en el 2008 donde estudiaron el efecto del almacenamiento en frio (1°C) y tiempo de cosecha sobre los componentes bioactivos de la col rizada (*Brassica oleracea* L. var. acephala) demostrando como resultado que el almacenamiento en frío no tuvo efecto significativo sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (ensayo Folin-Ciocalteu). También Rezaee et al. [79] demostraron que la fruta de frambuesa almacenada a 10 o 5°C tuvo mayor fenólicos totales que los almacenados a 0°C, según Díaz-Mula et al.[80] en su estudio “Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cultivars. 2. Effect on bioactive compounds and antioxidant activity” demostró que durante el almacenamiento a baja temperatura hubo un retraso en la acumulación de fenólicos que podría deberse al efecto de MAP (bajo O2 y alto CO2) en retardar la maduración pos-cosecha, como puede deducirse por la reducción de la producción de etileno, ablandamiento de la fruta, cambio de color y pérdida de acidez; también se contrapone a nuestros resultados los reportado por Wang et al.[69] que en su trabajo “para la cuantificación de los compuestos fenólicos totales utilizaron el reactivo de Folin-Ciocalteu”, demostrando que temperaturas de almacenamiento más altas de 15 y 25°C mejoraron la

acumulación de fenólicos en ciruelas en comparación con temperaturas de almacenamiento más bajas de 0 y 5°C.

En relación a las variaciones del contenido de compuestos fenólicos en los ajís investigados, los resultados de la Figura 32 y Anexo 5 muestran diferencias significativas entre los diferentes tipos de ajíes evaluados durante la investigación. Así por ejemplo: el ají "Tomatito rojo" presentó su máximo valor en la semana quinta y a su mínimo en la octava semana de estudio; el ají "Miscucho" presenta su mayor nivel en el contenido de este bioactivo en la quinta semana y a su mínimo en la tercera semana; el ají Escabeche presentó su máximo valor en la semana séptima y su mínimo en la octava; el ají "Dulce rojo" presenta su máximo valor en la semana séptima y con su menor valor en la octava semana de estudio; el ají "Ayucllo" muestra su mayor nivel de fenólicos en la semana séptima y su mínimo en la octava.

Al respecto, Rivera et al.[74] estudiaron el efecto de la radiación UV-C y la baja temperatura de almacenamiento sobre los compuestos bioactivos, enzimas antioxidantes y la actividad de barrido radical en el fruto de la papaya, sus resultados demostraron que "la temperatura de almacenamiento no tuvo un efecto significativo en el contenido de los fenólicos totales", más sí lo tuvo el tiempo de almacenamiento. Similar a lo anterior, se presenta Cogo et al.[60] que en su estudio siguiendo el método de Folin-Ciocalteu para la cuantificación de los compuestos fenólicos, "demostraron que el contenido de los compuestos fenólicos se redujo con el tiempo, independientemente del cultivo y las condiciones de almacenamiento posteriores a la cosecha". Para la investigación se observó que existen diferencias significativas con relación a los ecotipos y a las temperaturas de almacenamiento de refrigeración a 4°C y de congelación a -20°C.

Flavonoides

El contenido de flavonoides depende del genotipo, estado de madurez, condiciones de almacenamiento y el error en su determinación que se

manifiesta por la desviación estándar de cada evaluación. Los flavonoides de los frutos de ají presentados en la parte de resultado para las condiciones de refrigeración y congelación de la Figura 34 indican de manera general diferencias significativas de los contenidos de flavonoides según su temperatura de conservación, el Anexo 6 con los resultados del análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey con $p \leq 0,05$ confirman los resultados encontrados En la Figura 34, los resultados demuestran que los ajíes almacenados a temperatura de congelación de -20°C muestran mayores contenidos de flavonoides en comparación con las muestras sometidas a temperatura de refrigeración de 4°C, lo que se traduce como menor perdida del contenido de este bioactivo o mayor protección del mismo a menor temperatura de almacenamiento o conservación poscosecha. Con respecto a este parámetro, Rivera et al.[74] demostró en su investigación que el contenido total de flavonoides de la fruta de papaya fue significativamente afectado por la temperatura y tiempo de almacenamiento, ya que el almacenamiento en frio (5°C) tuvo un efecto positivo en el contenido total de flavonoides a pesar del tratamiento o tejido analizado, mientras que un efecto positivo lineal se observó en el tiempo de almacenamiento alcanzando los valores medios más altos en el día 15. Concluyeron que el almacenamiento en frío tuvo un mayor impacto en el contenido total de flavonoides que el tratamiento con UV-C. Esto guarda consistencia con Afshar et al.[81] en su estudio “Bioactive compounds and antioxidant capacities in the flavedo tissue of two citrus cultivars under low temperatura” examinaron dos cultivares de cítricos, incluidos *Citrus sinensis* 'Siavaraz' y *Citrus limon* 'Lisbon', para comparar los cambios de antioxidantes, incluidos flavonoides totales, fenol total y capacidades antioxidantes totales en el tejido flavedo de los frutos bajo diversos tratamientos de control a baja temperatura (15ºC), 3, 0, -3 y -6ºC, sus resultados indicaron que hubo un aumento significativo en el contenido de flavonoides totales en el flavedo de ambos cultivares de cítricos durante los tratamientos a baja temperatura de 0 a -6ºC. Al respecto, Perez et al.[70] al evaluar el “efecto de la luz azul y UV-C como estrés

abiótico sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante” del ají habanero (*Capsicum chinense*) almacenado en un paquete cerrado y a baja temperatura (4–5°C) halló que los flavonoides totales de ají habanero no tratado y tratado durante el almacenamiento a baja temperatura aumentaron a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento, aunque el aumento fue significativo en los ajíes tratados en comparación con los no tratados, señalaron además que los compuestos bioactivos de *C. annuum*, *C. frutescens* y *C. chinense* aumentaron durante el proceso de maduración, concluyendo que tanto el UVC ligero como el estrés abiótico pueden inducir la síntesis de flavonoides para proteger las plantas contra el estrés oxidativo, o para retrasar la penetración de la luz UV a los tejidos más sensibles. También tenemos a Fiska et al.[57] en su ya mencionado estudio “Effect of cold storage and harvest date on bioactive compounds in curly kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala)” observaron que el contenido de quercetina y flavonoles totales en las hojas de col rizada se mantuvieron al mismo nivel durante 6 semanas de almacenamiento en frío a 1°C, detectando además un aumento significativo en el contenido de kaempferol después de 3 semanas de almacenamiento en frío; y que en las plantas que permanecieron en el campo a temperatura ambiente durante 6 semanas adicionales, el contenido de flavonoles totales se vio disminuido significativamente en aproximadamente 35%, siendo la disminución más grande para quercetina que para kaempferol. Dando consistencia a todo lo anterior, Rivera et al.[74] demostraron que “la baja temperatura y tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo positivo en el contenido de los flavonoides totales”. Por otro lado, Chaudhary et al.[56] estudiaron cómo el acondicionamiento a baja temperatura reduce las lesiones por frío mientras mantiene la calidad y ciertos compuestos bioactivos de la toronja "Star Ruby", demostrando que los flavonoides fueron significativamente más altos después de 16 semanas en las frutas almacenadas a 11°C en comparación con las almacenadas a 2°C; su metodología implicó la extracción con acetato de etilo y acetona y cuantificación mediante HPLC. Wang et al.[69] en su trabajo del 2018

demostraron que temperaturas de almacenamiento más altas de 15 y 25°C mejoraron la acumulación de flavonoides en ciruelas en comparación con temperaturas de almacenamiento más bajas de 0 y 5°C; su metodología implicó la extracción metanólica y cuantificación con cloruro de aluminio usando técnica colorimétrica. Chitravathi et al.[76] observó una disminución en los flavonoides totales en muestras no empaquetadas y empaquetadas durante el almacenamiento a 8°C.

En relación a los contenidos de flavonoides de los frutos, su variación según almacenamiento bajo refrigeración y congelación, durante el experimento, los resultados de la Figura 35 y Anexo 6, muestran diferencias entre los diferentes ajíes (Accesión) estudiados y también se observaron diferencias significativas para las semanas evaluadas durante la investigación. Así, por ejemplo: el ají "Dulce rojo" fue quien presentó los mayores niveles de estos metabolitos, presentó su máximo valor en la semana quinta y su mínimo valor en la segunda semana de estudio; le siguen los ajíes "Tomatito rojo", "Miscucho" y "Ayucllo", quienes muestran similar comportamiento a excepción de la cuarta y sexta semana; el testigo Escabeche se encuentra con los niveles más bajos para flavonoides, teniendo a su máximo en la semana quinta y a su mínimo en las semanas segunda y octava.

Color extractable ASTA

La degradación del color depende de factores, como el genotipo, contenido de humedad, etapa de maduración en la cosecha y el estado saludable de las frutas antes de la molienda. El valor ASTA depende del genotipo, estado de madurez, pigmentos, condiciones de almacenamiento y el error en su determinación que se manifiesta por la desviación estándar de cada evaluación. El color ASTA de los frutos de aji presentados en la parte de resultados para las condiciones de refrigeración y congelación de la Figura 36 indican de manera general diferencias significativas de color según su temperatura de conservación, el Anexo 7 con los resultados del análisis de varianza y la

prueba de significancia de Tukey con p≤0,05 confirman los resultados encontrados. Estos resultados demuestran que los ajíes almacenados a temperatura de congelación de -20°C muestran mayores valores de color extraíble en comparación con las muestras sometidas a temperatura de refrigeración de 4°C. Con respecto a este parámetro, Addala et al.[82] presentó una investigación en el 2015 donde evaluó el efecto de las condiciones de almacenamiento en la tasa de degradación de color de los productos a base de pimentón, sus resultados evidenciaron que las muestras almacenadas en el refrigerador a 7°C y en el congelador a -8°C mostraron una mínima pérdida de color extraíble, en comparación con las muestras almacenadas a 22 y 35°C. Asimismo, In et al.[83] en el 2018 estudiaron los cambios en las características de calidad del polvo de pimiento rojo de acuerdo al método de almacenamiento, sus resultados demostraron que el valor de color ASTA de los polvos de pimiento rojo almacenados a -5 y -20°C no disminuyeron significativamente hasta 9 meses. Vracar et al.[84] en su trabajo "Influence of the heat treatment on the colour of ground pepper (*Capsicum annuum*)" almacenaron a temperatura ambiente de 18-20°C y a refrigeración de 4-6°C pimiento molido no esterilizado y esterilizado, demostrando que las muestras almacenadas a temperatura ambiente no esterilizadas y esterilizadas perdieron 18,17 y 21,10% del valor ASTA inicial después de 90 días de almacenamiento, mientras que las muestras almacenadas en el refrigerador no esterilizadas y esterilizadas perdieron 7,69 y 9,40% respectivamente; confirmando que temperaturas de almacenamiento más altas facilitan la pérdida de color de la pimienta molida durante almacenamiento. Al respecto, Guk et al.[50] en su trabajo del 2012 estudiaron la influencia de diferentes temperaturas de congelación (-20, -30, -40, -50, -60 o -70°C) y descongelación (4, 10, 20, 30, 40 o 50°C) sobre las características de calidad del puré de pimiento rojo, sus resultados mostraron que los valores ASTA de las muestras congeladas no tuvieron diferencias significativas en comparación con el pimiento rojo crudo, demostrando que a bajas temperaturas se obtiene mejor retención de color extraíble. La relativa mejor retención del color

en los ajíes almacenados en frío puede estar justificado, ya que una temperatura más baja retarda el proceso de degradación; las propiedades oxidativas aumentan a una mayor temperatura. El sistema conjugado de dobles enlaces en los carotenoides, que son responsables de sus colores intensos, también son la fuente de su susceptibilidad a la oxidación; la humedad puede proteger a los carotenoides de la oxidación a través de un efecto directo sobre los radicales libres producidos durante la oxidación del pigmento, mayor contenido de humedad disminuye el número de radicales libres y, por lo tanto, ralentiza la tasa de oxidación. Lo anterior está avalado en Cheti et al.[85] en su trabajo "Influence of vacuum packaging and long term storage on quality of whole chilli (*Capsicum annuum* L.)" estudiaron la influencia del envasado al vacío en la calidad del ají rojo a dos niveles de humedad (10 y 12%) y a dos temperaturas de 4 y 25°C durante un período de 24 meses, sus resultados mostraron que hubo una disminución general en el color extraíble de oleorresina para todos los tratamientos, pero que entre todos los tratamientos el envasado al vacío con 12% de humedad y mantenidas a 4°C tenían mejores valores de color.

En relación a las variaciones del valor ASTA en los ajís analizados, se observaron diferencias significativas para los diferentes ajíes, evidenciándose esta diferencia en la Figura 37 y en el Anexo 7. Así por ejemplo: el ají "Tomatito rojo" fue quien presentó los mayores valores para color extraíble, descendiendo en las primeras semanas para llegar a su mínimo valor en la cuarta semana y luego presentar una elevación hasta la semana sexta y manteniéndose casi constante en las dos últimas semanas; por debajo se presentaron los ajíes "Dulce rojo" y el testigo "Escabeche", el ají "Dulce rojo" presenta una disminución las dos primeras semanas y un aumento en la tercera semana para volver a descender las siguientes semanas llegando a su mínimo valor en la última semana de estudio, en tanto que el testigo "Escabeche" muestra sus máximos valores en la primera y séptima semana y su mínimo valor en la cuarta semana; el ají "Ayucllo" se posiciona en cuarto lugar con respecto al valor ASTA, mostrando una tendencia prácticamente

horizontal y presentando un aumento máximo en la última semana de estudio; en último lugar y aparentemente estable se encuentra el ají "Miscucho", quien presenta una tendencia a la baja aunque poco marcada, mostrando su máximo valor en la primera semana y su mínimo en la quinta semana de estudio. Al respecto, Pandey et al.[86] en su estudio "Effect of storage on stability of capsaicin and colour content in chilli (*Capsicum annuum* L.)" observaron que hubo un deterioro significativo en el color en todos los genotipos, el porcentaje de deterioro del color extraíble osciló entre 52,52 a 52,59.

Color superficial

El color superficial de los frutos de ají presentados en la parte de resultados para las condiciones de refrigeración y congelación de las Figuras 38, 39, 40, 41 y 42 indican de manera general diferencias significativas de color según su temperatura de conservación, el Anexo 8 con los resultados del análisis de varianza y la prueba de Tukey con $p \leq 0,05$ confirman los resultados encontrados. En la Figura 38 se aprecia que el valor de L* se mantuvo prácticamente constante hasta la semana quinta, para luego ir disminuyendo ligeramente hasta la semana octava donde presenta su menor valor de los ajíes refrigerados a 4°C; comportamiento disímil se aprecia en los valores de L* de los ajíes congelados a -20°C, mostrando pequeñas disminuciones hasta la cuarta semana, para luego presentar un incremento en las siguientes semanas de estudio. En la Figura 39 se muestra que el valor de a* aumenta progresivamente hasta la segunda semana y se mantiene constante hasta la quinta semana, luego de lo cual presenta variaciones de aumentos y descensos ligeros hasta la última semana de estudio de los ajíes refrigerados a 4°C; en los ajíes congelados a -20°C se presenta el mayor incremento del valor de a* en la primera semana para disminuir notoriamente en la segunda semana y mantenerse constante hasta la quinta semana, en la sexta semana se observa una ligera elevación y en las siguientes dos semanas se aprecia una suave disminución

progresiva. En la Figura 40 se muestra que el valor de b* presenta un ligero ascenso continuo hasta la tercera semana y luego un descenso continuo hasta la quinta semana para mantenerse prácticamente constante hasta la octava semana de estudio de los ajíes refrigerados a 4°C; en los ajíes congelados a -20°C se observa en la primera semana un incremento del valor de b* y luego una descenso marcado y continuo hasta la cuarta semana, incrementándose su valor en las semanas quinta a sexta y finalmente volver a descender hasta la octava semana de estudio. En la Figura 41 se muestra que el valor de C* asciende en las dos primeras semanas y se mantiene constante hasta la tercera semana para luego descender paulatinamente hasta la quinta semana, las siguientes semanas denotan fluctuaciones de ascenso y descenso ligero hasta la octava semana de estudio de los ajíes refrigerados a 4°C; por su parte en los ajíes sometidos a congelación de -20°C se observa un ascenso del valor de C* en la primera semana y un marcado decrecimiento que llega a su mínimo valor en la semana cuarta para volver a ascender las siguientes dos semanas y finalmente descender en las semanas séptima y octava. En la Figura 42 se aprecia que los valores del ángulo **h** se ven prácticamente inalterados a lo largo de las ocho semanas de estudio, tanto para los ajíes refrigerados a 4°C como para los congelados a -20°C, siendo este el parámetro que se observa con un comportamiento prácticamente constante. Los resultados demuestran que los ajíes almacenados a temperatura de refrigeración de 4°C muestran mayores valores para los componentes L*, a*, b* y C* en comparación con las muestras sometidas a temperatura de congelación de -20°C; y solo para el componente ángulo **h** fueron los ajíes en congelación quienes presentaron mayores valores de este parámetro en comparación con los almacenados a refrigeración. Con respecto a este parámetro, Patras et al.[87] en su trabajo titulado “Stability and Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Colour in Strawberry Jam during Storage” investigó el efecto del tiempo de almacenamiento y la temperatura sobre la degradación de compuestos bioactivos como el ácido ascórbico, antocianinas, fenoles totales, color y

capacidad antioxidante total de la mermelada de fresa. Los resultados indicaron que el valor de luminosidad (L*) disminuyó significativamente durante 28 días de almacenamiento a 4 y 15°C, con valores más bajos medidos a temperaturas más altas. La degradación del color siguió una cinética de primer orden donde la tasa constante aumentó con un aumento de la temperatura. Cogo et al.[60] evaluó el brócoli, cultivado con bajo y normal contenido de agua del suelo y almacenado a 1 y 23°C para detectar cambios en el color (informado como ángulo de tono), sus resultados demostraron que el bajo contenido de agua del suelo durante el crecimiento de las plantas y el almacenamiento en frío (1°C) después de la cosecha fueron las condiciones que dieron la mejor preservación del color. Martí et al.[88] en su estudio "Influence of storage temperature and ascorbic acid addition on pomegranate juice" investigó la influencia de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad del color del jugo de granada con y sin adición de ácido ascórbico y almacenados a 5 y 25°C mediante los cambios de color en las coordenadas cromáticas según la escala CIELAB, sus resultados mostraron un aumento más lento en el ángulo de matiz (hue) para los jugos de control almacenados a 25°C y más rápido para los jugos almacenados a 5°C, observó también una disminución general en el valor de L*, aunque los jugos mantenidos a 25°C mostraron una disminución más rápida que los almacenados a 5°C.

Por otra parte, Juárez et al.[89] en el estudio "Ultraviolet Irradiation Effect on Apple Juice Bioactive Compounds during Shelf Storage" evaluaron el efecto de la irradiación UV sobre los compuestos bioactivos y la estabilidad del zumo de manzana clarificado y estandarizado durante 24 días de almacenamiento a 4 y 20°C, sus resultados mostraron que los parámetros de color no se vieron afectados significativamente por la temperatura; los componentes de color analizados fueron las coordenadas L, a y b, basados en el sistema Hunter, que luego se transformaron en los índices tono (H *) y croma (C *).

Adicionalmente, Talcott and Howard[32] en 1999 evidenciaron que la auto-oxidación fenólica es responsable de la degradación del color en el puré

de zanahoria procesado al observar en sus resultados que Hue, la Chroma y la coordenada L* (sistema Hunter) presentaron disminuciones significativas en sus muestras, con o sin tratamiento térmico, almacenadas a 40°C durante 4 semanas.

En relación a las variaciones de los componentes del color en los ajíes examinados, se observaron diferencias significativas para los diferentes tipos de ají, evidenciadas en las Figuras 43, 44, 45, 46, 47 y en el Anexo 8, y para las semanas evaluadas durante la investigación. Así por ejemplo, para la coordenada L*: el ají "Miscucho" fue el que presentó los mayores valores de este componente del color, descendiendo paulatinamente hasta llegar a su mínimo valor en la octava semana; por debajo se presenta el testigo "Escabeche" mostrando una tendencia prácticamente horizontal, presentando su máximo valor en la quinta semana y su mínimo en la semana segunda de estudio; le siguen los ajíes "Ayucllo" y "Dulce rojo" presentando también una tendencia similar y valores muy cercanos durante las ocho semanas de estudio; el ají Tomatito rojo se posiciona por debajo de todos los ecotipos mostrando también una tendencia similar a los demás ajíes. Para el componente a* el ají "Dulce rojo" es quien presenta los valores más altos y un comportamiento inclinado al decrecimiento; por debajo el ají "Tomatito rojo" mostrando una tendencia horizontal con inclinación a la baja; el ají "Ayucllo" con valores cercanos, muestra un comportamiento de incremento del valor de a* en la primera semana para luego mostrar un comportamiento descendente durante el resto del tiempo estudiado; muy por debajo los ajíes "Escabeche" y "Miscucho" se muestran también con una similitud en su tendencia casi horizontal después de un alza en la primera semana de estudio. Con respecto al componente b*, el ají "Miscucho" es quien presenta los mayores valores y muestra una tendencia a la baja de manera irregular y paulatina; más abajo, en mitad del gráfico vemos al testigo "Escabeche" que con una tendencia ondular no muestra una inclinación marcada de ascenso o descenso; por debajo y según su orden decreciente se encuentran los ajíes "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Tomatito rojo" respectivamente, mostrando un

comportamiento irregular con tendencia horizontal. Al respecto, Cogo et al.[60] evaluó el brócoli cultivado con bajo y normal contenido de agua del suelo, y almacenado a baja temperatura (1°C) y ambiente (23°C), para detectar cambios en el color; sus resultados demostraron que el bajo contenido de agua del suelo durante el crecimiento de las plantas y el almacenamiento en frío después de la cosecha fueron las condiciones que, combinadas, dieron la mejor preservación del color, informado como ángulo de tono. Por otro lado, Martí et al.[88] en su estudio incluyó datos sobre la influencia de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad del color del jugo de granada, observando un aumento más lento en el ángulo de matiz (hue) para los jugos de control almacenados a 25°C, observó también, una disminución general en el valor de L*, produciendo el color más oscuro durante el período de almacenamiento, aunque los jugos mantenidos a 25°C mostraron una disminución más rápida que los almacenados a 5°C.

Punto aparte es la correlación que se busca entre el color extraíble (ASTA) y el superficial o instrumental. Según se observa en nuestros resultados no existe una relación de consistencia entre ambos parámetros de color, ya que, aunque se evidencia una influencia significativa de la temperatura a lo largo del tiempo, ésta no afectó de manera similar a ambos parámetros, así, a los ajíes almacenados a temperatura de congelación de -20°C conservaron mejor los valores de color extraíble, en tanto que, fueron los ajíes almacenados a temperatura refrigeración de 4°C quienes mostraron conservar mejor los valores de los parámetros de los componentes del color en las coordenadas L*, a*, b* y C*. Dando consistencia a este punto se encuentra Nieto et al.[25] que en su estudio titulado “Dependence between Apparent Color and Extractable Color in Paprika” analizaron las propiedades de color de 96 muestras de pimentón mediante mediciones de reflectancia triestímulo y color extraíble (unidades ASTA), demostrando que la correlación lineal entre ambos parámetros era muy pobre, concluyendo que varios índices de color utilizados en alimentos tienen una precisión insuficiente para predecir el color extraíble en el pimentón.

VI. CONCLUSIONES

- La humedad se encontró entre valores promedio de 85,11 y 86,62% para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, respectivamente; observándose diferencias significativas entre ambos grupos.
- Los contenidos de vitamina C se encontraron entre valores promedio de 506,38 y 576,98 ácido ascórbico mg/100g (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, respectivamente; observándose diferencias significativas entre ambos grupos.
- Los contenidos de capsaicinoides se encontraron entre valores promedio de 121,16 y 137,98 CAP mg/100g (bs) para capsaicina, 71,12 y 82,99 DHC mg/100g (bs) para dihidrocapsaicina y entre 14,87 y 16,04 NDC mg/100g (bs) para nordihidrocapsaicina para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, respectivamente.
- Los contenidos de carotenoides totales se encontraron entre valores promedio de 118,15 y 145,70 β-caroteno mg/100g (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, respectivamente.
- Los contenidos de compuestos fenólicos se encontraron entre valores promedio de 1127,02 y 1318,68 GAE mg/100g (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, respectivamente.
- Los contenidos de flavonoides se encontraron entre valores promedio de 815,90 y 1063,95 QE mg/100g (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, respectivamente.
- El color extractable se encontró entre valores promedio de 111,25 y 130,07 unidades ASTA (bs) para los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C respectivamente;
- El color superficial se encontró entre valores promedio de 45,55 y 43,47 para L*, 29,22 y 25,31 para a*, 35,87 y 33,93 para b*, 50,76 y 45,00 para C* y 47,74 y 49,94 para Hue, en los ajíes refrigerados a 4°C y congelados a -20°C, respectivamente.

- De manera general, las temperaturas de refrigeración y congelación tuvieron un efecto significativo sobre los componentes bioactivos y color en los cuatro ajíes nativos evaluados; mostrando mejores respuestas de conservación de bioactivos en los frutos congelados, y mejor conservación de color superficial en los frutos refrigerados.

VII. RECOMENDACIONES

- Los frutos de ají deben mantener su pedúnculo hasta el momento que se van a realizar los análisis, de esta manera se retrasa la proliferación de microorganismos.

- En la metodología de análisis de vitamina C se debe evitar el recalentamiento de la muestra en el baño de ultrasonido utilizando refrigerantes, además se debe homogenizar manualmente agitando cada 5 minutos y se debe trabajar de manera rápida (no sobrepasar los 40 minutos de preparación de muestras antes de la determinación por el equipo HPLC).

- Para los análisis que necesiten protección de la luz (vitamina C, compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides) se puede trabajar utilizando doble bolsa plástica oscura e introduciendo las gradillas con los tubos a ensayar dentro, de manera que se protege mejor.

- Para el análisis instrumental del color se recomienda analizar más repeticiones por muestra.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. González A, Robles S, Martínez T, Olivas, Alvarez P, De la Rosa. Bioactive compounds in fruits: health benefits and effect of storage conditions. Steward Postharvest Review. 2008; 4: 1-10.
2. Neitzke R, Vasconcelos C, Barbieri R, Vizzotto M, Fetter M, DCorbelini D. “Variabilidade genética para compostos antioxidantes em variedades crioulas de pimentas (*Capsicum baccatum*)”. Horticultura Brasileira. 2015; 33: 415-421.
3. Jager M, Jiménez A, Amaya K., compiladore. “Las cadenas de valor de los ajíes nativos de Perú”. Bioversity International. 2013.
4. Hameed R, Malik A, Khan A, Imran M, Umar M, Riaz R. Evaluating the Effect of Different Storage Conditions on Quality of Green Chillies (*Capsicum annuum* L.). Tropical Agricultural Research. 2013; 24(4): 391-399.
5. Espinoza JE. “Efecto del tratamiento térmico sobre el color y el contenido de carotenoides totales en salsas de ajíes (*Capsicum* spp) nativos” [Pregrado]. UNALM; 2017.
6. Hernández V, Üávila A, Üyama K. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 1999; 64: 65-84.
7. Lira J. Exportaciones de *Capsicum* crecerían más de 3% y cerrarían el año en US$ 246 millones. Gestión [Internet]. 2018 [Citado el 01 de abril del 2020];: p. 1. Disponible en: https://gestion.pe/economia/exportaciones-capsicum-crecerian-3-cerrarian-ano-us-246-millones-235188-noticia/
8. ADEX. Este año exportación de *Capsicum* cerraría en US$ 246 millones. ADEX [Internet]. 2018 [Citado el 01 de abril del 2020];: p. 1. Disponible en: http://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/este-ano-exportacion-de-capsicum-cerraria-en-us-246-millones/

9. Gestión. Perú posee más de 350 variedades de ajíes, rocotos y pimientos registradas según Minagri. Gestión [internet]. 2019 [citado el 01 de abril del 2020]; p. 1. Disponible en: https://gestion.pe/economia/peru-posee-mas-de-350-variedades-de-ajies-rocotos-y-pimientos-registradas-segun-minargi-noticia/
10. Biesalski H, Dragsted L, Elmadfa I, Grossklaus R, Muller M, Schrenk D, Walter P, Weber P. Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. Nutrition. 2009; 25: 1202-1205.
11. Vitamin C Molecule. World of Molecules [Internet]. 2018 [citado el 01 de abril del 2020];: p. 1. Disponible en: https://www.worldofmolecules.com/antioxidants/vitaminc.htm
12. Vitamin C. National Institutes of Health [Internet]. 2020 [citado el 01 de abril del 2020];: p. 1. Disponible en: https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional/
13. Kaiser M, Higuera I, Goycoolea F. Capsaicinoids: Occurrence, Chemistry, Biosynthesis, and Biological Effects. Fruit and Vegetable Phytochemicals. 2018; 1: 499-513.
14. Namitha K, Negi P. Chemistry and Biotechnology of Carotenoids. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2010; 50(8): 728-760.
15. Prakash D, Gupta C. Carotenoids: Chemistry and health benefits. Phytochemicals of Nutraceutical Importance. CAB International. 2014; 1: 181-195.
16. Carranco M, Calvo M, Pérez-Gil F. Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. Archivos latinoamericanos de nutrición. 2011; 61(3): 233-241.
17. Vermerris W, Nicholson R. Phenolic compound biochemistry [Internet]. USA: Springer; 2008 [revisado 2008-2009; citado 01 de abril del 2020]. Disponible en:https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uLzdv8fsRxYC&oi=fnd&pg=PR10&dq=biochemistry+of+phenolic+compounds+&ots=1hLE3LYKOE&sig=ysOvBHQWzpZxxgTG1NpohMrqt3E#v=onepage&q=biochemistry%20of%20phenolic%20compounds&f=false

18. Gimeo E. “Compuestos fenólicos: un análisis de sus beneficios para la salud”. Ámbito farmacéutico. 2004; 23 (6): 80-84.
19. Troconis I. Huella genética de cultivares de Capsicum Annuum L. y su relación con el perfil de carotenoides y fenoles. [Tesis doctoral]. Instituto Politecnico Nacional. México; 2012.
20. Porras A, López A. importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. Temas selectos de ingeniería de alimentos. 2009; 3(1): 121-134.
21. Galvano F. The chemistry of anthocyanins. International Food Information Service [Internet]. 2005 [consultado el 01 de abril del 2020]; 1. Disponible en: https://www.newhope.com/managing-your-business/chemistry-anthocyanins
22. Mullen W, Edwards C, Serafini M, Cr42ozier A. Bioavailability of Pelargonidin-3-O-glucoside and Its Metabolites in Humans Following the Ingestion of Strawberries with and without Cream. Agricultural and food chemistry. 2008; 56: 713-719.
23. Setyawan A. Review: Natural products from Genus Selaginella (*Selaginellaceae*). Bioscience [Internet]. 2011 [consultado el 01 de abril del 2020]; 3 (1): 44-58. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266275507_Review_Natural_products_from_Genus_Selaginella_Selaginellaceae
24. Montoya L, González A, García M, Rodríguez G. Bioactive Compounds During Drying of Chili Peppers, Drying Technology. An International Journal. 2014; 32(12): 1486-1499.
25. Nieto J, Fernández J, Almela L, Muñoz J. Dependence between Apparent Color and Extractable Color in Paprika. Universidad de Murcia. 1998; 24 (2): 93-97.
26. Kirk R, Sawyer R, Egan H. Composición y análisis de alimentos de Pearson. 2da ed. México: Editorial Continental S.A.; 1999: 10-13.
27. Aurand L, Woods A, Wells M. Proximate Analysis. Food composition and analysis. 1ra ed. New York: Editorial Springer Science+Business Media, LLC.; 1987: 21-26.

28. AOAC method 930.04. Moisture in Plants. “Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists”. 16va ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, INC; 1998.
29. Meckelmann SW, Riegel DW, Zonneveld MJ, Ríos LI, Peña K, Ugás R. “Compositional Characterization of native Peruvian Chili Peppers (*Capsicum* spp.)”. J Agr Food Chem. 2013; 61: 2530-2537.
30. Cortez G, Prieto G, Rozo W. Caracterización bromatológica y fisicoquímica de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) y su posible aplicación como alimento nutracéutico. Revista Ciencia en Desarrollo. 2015; 6 (1): 87-97.
31. Hurst J. Methods of Analysis for Functional Foods and Nutraceuticals. 1a ed. London. CRC PRESS; 2009:104-115.
32. Talcott S, Howard L. “Phenolic Autoxidation Is Responsible for Color Degradation in Processed Carrot Puree J”. Agric. Food Chem. 1999; 47: 2109-2115.
33. Singleton, V, Rossi J. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic– phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture. 1965; 16(3): 144–158.
34. Cruz JA. “Relación flavonoides totales-actividad antidiabética (in vitro por difusión de glucosa) en extractos de *Colubrina elliptica”*. [Pregrado]. UTM. Oaxaca. México. 2012.
35. Medina L, Molina D, Carmen L., Del Toro C, González G, Gámez N. “Antioxidant activity of peppers (*Capsicum annuum* L.) extracts and characterization of their phenolic constituents”. Interciencia. 2012; 37 (8): 588-593.
36. ASTA. Extractable color in *Capsicums* and their oleoresins. Analytical method 20.1. Official Analytical method of the American Spice Trade Association. 2nd ed. NJ: Englewood Cliffs; 1995.
37. AOAC method 971.26. Color (Extractable) in Spices. “Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists”. 16va ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, INC; 1998.
38. Martínez J, Ordoñez L. Efecto del procesamiento térmico sobre el color superficial del pimentón rojo (*Capsicum annuum*) variedad “nataly”.

Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2015; 13 (2): 104-113.

39. Rojas RE, Patel K, Ruiz C, Calderon R, Asencios E, Quispe FE, Marcelo MN. “Ajíes nativos peruanos. Caracterización agro-morfologica, quimico-nutricional y sensorial”. 1ra ed. Lima: UPCH; 2016.

40. Quispe F, Marcelo M, Chanamé J, Baderski S, Sanchez L. “Caracterización agro-morfológica y químico-nutricional de cinco ajíes promisorios del INIA-Perú”. 1ra ed. Lima: Lumiva SRL; 2019.

41. Narváez J. Efecto de una película plástica de polipropileno y refrigeración sobre las características de calidad del chile habanero naranja (*Capsicum chinense* Jacq). [Tesis de pregrado]. Instituto Tecnológico de Mérida. México; 2013.

42. Teodoro A, Alves R, Ribeiro L, Reis K, Reifschneider F, Fonseca M, Da Silva J, Agostini T. Vitamin C content in Habanero pepper accessions (*Capsicum chinense*). Horticultura Brasileira. 2013; 31: 59-62.

43. Villar J. “Capsaicinoides, compuestos fenólicos, actividad antioxidante in vitro y color de 100 accesiones de *Capsicum* spp”. [Tesis magistral]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú; 2019.

44. López A, Espinoza S, Ceceña C, Ruiz C, Nuñez F, Araiza D. “Biosíntesis, acumulación y efecto del ambiente sobre compuestos antioxidantes del fruto del cultivo de chile (*Capsicum spp.*)”. Rev. cienc. biol. tecnol. salud. 2015; 17 (2): 50-57.

45. Rao R, Gol N, Shak K. Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (Capsicum annum L.). Scientia Horticulturae. 2011; 132(1): 18-26.

46. Lannes SD, Finger FL, Schuelter AR, Casali VW. Growth and quality of Brazilian accessions of Capsicum chinense fruits. Scientia Horticulturae. 2007; 112: 266–270.

47. Lolito S, quagliotti L. The influence of storage temperature and moisture content on seed viability in pepper (*Capsicum annuum* L). Agronomie, EDP Sciences. 1993, 13 (3): 231-234.

48. Barua H, Rahman M M, Masud M M. Effect of storage containers environment at different storage period on the quality of chilli seed. Int. J. Sustain. Crop Prod. 2009; 4(4):28-32.

49. Martínez S, López M, González M, Álvarez A. The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2005; 56 (1): 45-51.

50. Guk I, Sang H, Lee J, Young H, Mi S. Influences of Freezing and Thawing Temperature on the Quality Characteristics of Mashed Red Pepper. Korean J. Food & Nutr. 2012; 25 (3): 691-696.

51. Shafiur M, Hamed M, Guizani N, Salom N, Hamed A, Zainab S. Stability of vitamin C in fresh and freeze-dried *Capsicum* stored at different temperaturas. J Food Sci Technol. 2013; 1: 1-7.

52. Sudhir S. studies on carnauba wax emultion coating on extensión of shelf-life and quality assessment in Capsicum (*Capsicum annuum* L.). Vegetable Science. 2017; 44 (1): 18-25.

53. Bayoumi Y. Improvement of postharvest keeping quality of white pepper fruits (*Capsicum annuum*, L.) by hydrogen peroxide treatment under storage conditions. Acta Biologica Szegediensis. 2008; 52 (1): 7-15.

54. Ramamurthy M, Kamat A, Kakatkar A, Chadge N, Brushan B, Alur M. Improvement of shelf-life and microbiological quality of minimally processed refrigerated capsicum by gamma irradiation. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2004; 55 (4): 291-299.

55. Sanatombi K, Rajkumari S. Effect of Processing on Quality of Pepper: A Review. Food Reviews International. 2019; 1: 1-18.

56. Chaudhary P, Jayaprakasha G, Porat R, Patil B. Low temperature conditioning reduces chilling injury while maintaining quality and certain bioactive compounds of “Star Ruby” grapefruit. Food Chemistry. 2014; 153: 243-249.

57. Fiskaa S, Iren G, Asbjorn K, Bengtsson G. “Effect of cold storage and harvest date on bioactive compounds in curly kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*)”. POSTHARVEST BIOL TEC. 2009; 51: 36-42.

58. Igual M, García E, Camacho M, Martínez N. Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. Food Chemistry. 2010; 118: 291-299.

59. Jabeen K, Srinivasa P. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. Trends in Food Science & Technology. 2018; 75: 181- 193.

60. Cogo S, Chaves F, Schirmer M, Zambiazi R, Nora L, Silva J, Rombaldi C. Low soil water content during growth contributes to preservation of green color and bioactive compounds of cold-stored broccoli (Brassica oleraceae L.) florets. Postharvest Biology and Technology. 2011; 60: 158-163.

61. Wang Y, Xia Y, Wang J, Luo F, Huang Y. Capsaicinoids in chili pepper (*Capsicum annuum* L.) powder as affected by heating and storage methods. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2009; 52 (6): 2007-2010.

62. Miranda M, Valle G, Guerra R, Arévalo G, Pérez G, Artés H. Quality attributes and antioxidant properties of Serrano chili peppers (*Capsicum annuum* L.) affected by thermal conditions postharvest. International Food Research Journal. 2019; 26 (6): 1889-1898.

63. González M, Centurion A, Sauri E, Latournerie L. Influence of Refrigerated Storage on the Quality and Shelf Life of “Habanero” Chili Peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). Acta Hort. 2005; 1: 1297-1302.

64. Montoya LC, González A, García MA, Rodríguez GC. Bioactive Compounds During Drying of Chili Peppers, Drying Technology: An International Journal. 2014; 32(12): 1486-1499, DOI: 10.1080/07373937.2014.902381

65. Chan N, Sauri E, Olivera L, Rivas JI. Evaluación de la calidad en la industrialización del chile habanero (*Capsicum chinense*). Rev. Iber. Tecnología Postcosecha. 2011; 12(2): 222-226.

66. Borges L, Cervantes L, Ruiz J, Soria M, Reyes V, Villanueva E. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. Terra latinoamericana. 2008; 28(1): 35-41.

67. Yánez P, Balseca D, Rivadeneira L, Larenas C. Características morfológicas y de concentración de capsaicina en cinco especies nativas del género *Capsicum* cultivadas en Ecuador. LA GRANJA: *Revista de Ciencias de la Vida.* 2015; 22(2): 12-32.

68. Biacs P, Czinkotai B, Hoschke Á. Factors Affecting Stability of Colored Substances in Paprika Powders. Agricultural and Food Chemistry. 1992; 40 (3): 363-367.

69. Wang R, Wang L, Yuan S, Li Q, Pan H, Cao J, Jiang W. "Compositional modifications of bioactive compounds and changes in the edible quality and antioxidant activity of 'Friar' plum fruit during flesh reddening at intermediate temperaturas". Food Chemistry. 2018. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.169

70. Pérez A, Guerrero J, Aparicio X, Ávila R, Hernández P, Cid S, Ochoa C. Effect of blue and ultraviolet-C light irradiation on bioactive compounds and antioxidant capacity of habanero pepper (*Capsicum chinense*) during refrigeration storage. Postharvest Biology and Technology. 2018; 135: 19-26.

71. Raffo A, Baiamonte I, Nardo N, Paoletti F. Internal quality and antioxidants content of cold-stored red sweet peppers as affected by polyethylene bag packaging and hot water treatment. Eur Food Res Technol. 2007; 225: 395–405.

72. Raffo A, Baiamonte I, Paoletti F. "Changes in antioxidants and taste-related compounds content during cold storage of fresh-cut red sweet peppers". Eur Food Res Technol. 2008; 226: 1167–1174.

73. Kidmose U, Hansen S, Christensen L, Edelenbos M, Larsen E, Norbaek R. Effects of Genotype, Root Size, Storage, and Processing on Bioactive Compounds in Organically Grown Carrots (*Daucus carota* L.). Journal of Food Science. 2004; 69 (9): 388-394.

74. Rivera D, Gardea A, Yahia E, Martínez M, González G. Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of papaya fruit. J Food Sci Technol. 2013; 1: 1-9.

75. Cuadra P, M del Amor F. “Effects of postharvest treatments on fruit quality of sweet pepper at low temperatura”. *Sci Food Agric.* 2010; 90: 2716–2722.

76. Chitravathi K, Chauhan OP, Raju PS. Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annuum* L.). Food Packaging and Shelf Life. 2015; 45: 1-9. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.02.001

77. Koc E, Dslek C, Ustun AS. Effect of Cold on Protein, Proline, Phenolic Compounds and Chlorophyll Content of Two Pepper (*Capsicum annuum* L.) Varieties. G.U. J. Sci. 2010; 23(1): 1-6.

78. Win S, Buanong M, Kanlayanarat S, Wongs-Aree C. Response of gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng) to postharvest treatments with storage temperature and 1-MCP. International Food Research Journal. 2015; 22(1): 178-189. Disponible en: https://search.proquest.com/openview/49d5be03cca3d0335cfdccf4225b4c44/1?pq-origsite=gscholar&cbl=816390

79. Rezaee A, Sartipnia N, Babai M. “Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and bioactive compounds in raspberry fruit”. IJPAES. 2014; 4 (3): 343-349.

80. Díaz H, Zapata P, Guillén F, Valverde J, Valero D, Serrano M. Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cultivars. 2. Effect on bioactive compounds and antioxidant activity. Postharvest Biology and Technology. 2011; 61: 110-116.

81. Afshar MA, Mobrami Z, Hasan R. Bioactive compounds and antioxidant capacities in the flavedo tissue of two citrus cultivars under low temperatura. Brazilian Society of Plant Physiology. 2011; 23 (3): 203-208.

82. Addala R, Vasavada M. Effect of Storage Conditions on Rate of Color Degradation of Paprika based Products. 2015. Disponible en: https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Storage-Conditions-on-Rate-of-Color-of-Addala-Vasavada/6cc9696d88134f7cb7cc1155fafa2ff83225aeb0#related-papers

83. In J, In H, Sook M, Eun J. Change in the Quality Characteristics of Red Pepper Powder According to the Storage Method. J. Korean Soc. Food Cult. 2018; 33 (2); 125-132.

84. Vracar LO, Tepic AN, Vujicic BL, Solaja S. Influence of the heat treatment on the colour of ground pepper (*Capsicum annuum*). APTEFF. 2007; 38: 53-58.

85. Chetti MB, Deepa GT, Antony RT, Khetagoudar MC, Uppar DS, Navalgatti CM. Influence of vacuum packaging and long term storage on quality of whole chilli (*Capsicum annuum* L.). J Food Sci Technol. 2012; 51(10): 2827–2832.

86. Pandey J, Singh J, Kumar R, Srivastava K, Kumar S, Singh M, Singh B. Effect of storage on stability of capsaicin and colour content in chilli (*Capsicum annuum* L.). Advances in Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant. 2010; 267-272.

87. Patras A, Brunton N, Tiwari B, Butler F. Stability and Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Colour in Strawberry Jam during Storage. Food Bioprocess Technol. 2011; 4:1245–1252.

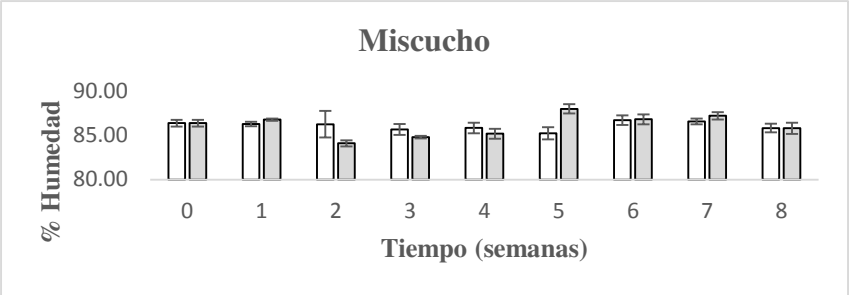
88. Martí N, Pérez A, García C. Influence of storage temperature and ascorbic acid addition on pomegranate juice. J. Sci. Food Agric. 2001; 82: 217-221.

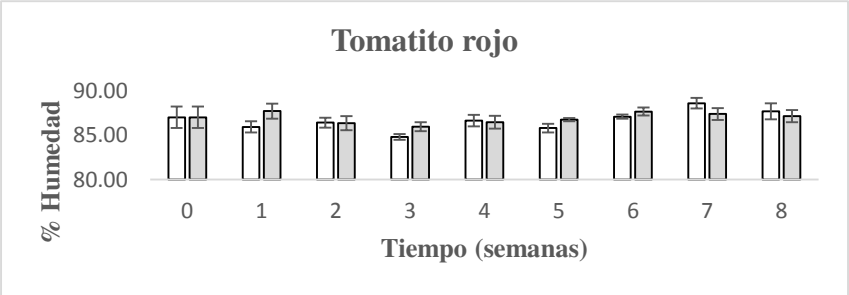
89. Juárez E, Salmerón I, Gutierrez N, Ortega E. Ultraviolet Irradiation Effect on Apple Juice Bioactive Compounds during Shelf Storage. Foods. 2016; 5 (10): 1-8.

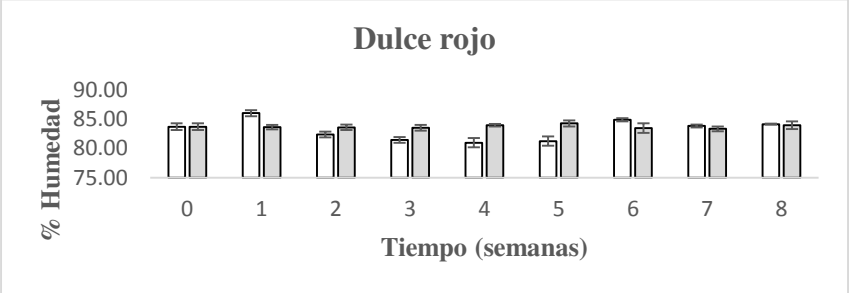
ANEXOS

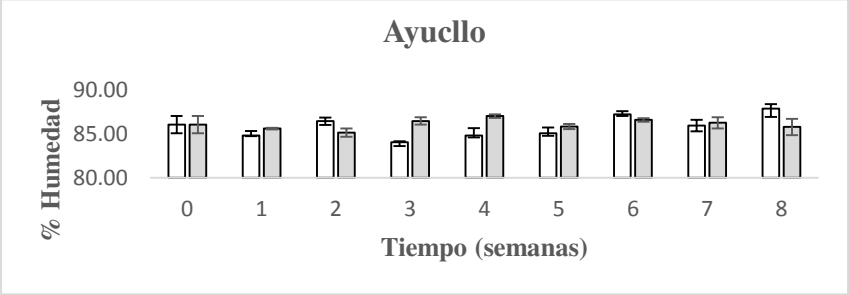
Anexo 1. Datos complementarios de humedad

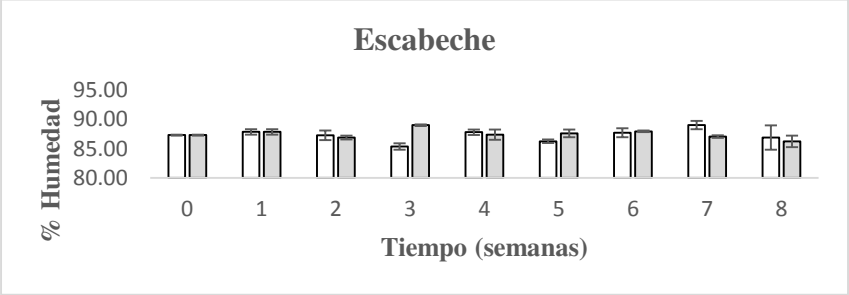
1.1 Gráficos de barra de la humedad promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.











1.2 Tabla resumen del análisis de varianza para la humedad de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión (“Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para humedad de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	763,44	89	8,58	21,82	<0,0001
Tiempo	58,84	8	7,35	18,71	<0,0001
Temperatura	8,49	1	8,49	21,60	<0,0001
Accesión	533,60	4	133,40	339,39	<0,0001
Tiempo*temperatura	56,29	8	7,04	17,90	<0,0001
Tiempo*accesión	39,37	32	1,23	3,13	<0,0001
Temperatura*accesión	5,16	4	1,29	3,28	0,0126
Tiempo*temperatura	61,68	32	1,93	4,90	<0,0001
Error	70,75	180	0,39		
Total	834,19	269			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de prueba de Tukey para humedad según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
6	86,62	30	A
7	86,53	30	AB
8	86,14	30	ABC
0	86,10	30	BCD
1	85,84	30	CDE
4	85,62	30	DEF
5	85,61	30	DEF
2	85,50	30	EF
3	85,11	30	F

Existe diferencia significativa con letras distintas.

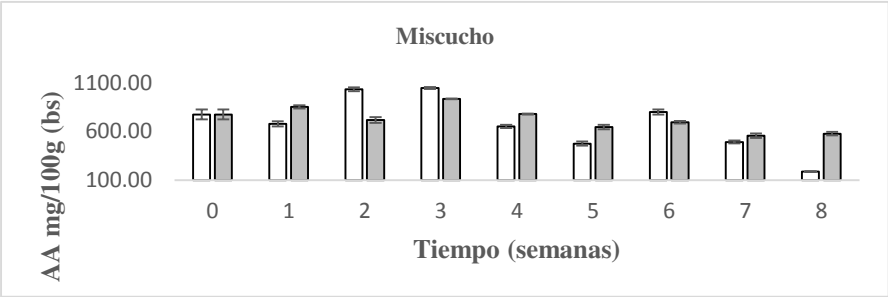
Resumen de prueba de Tukey para humedad según temperatura. Alfa≤0,05

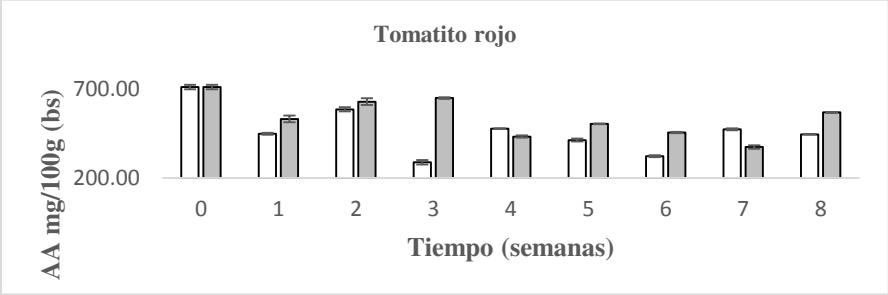
Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	86,07	135	A
4	85,72	135	B

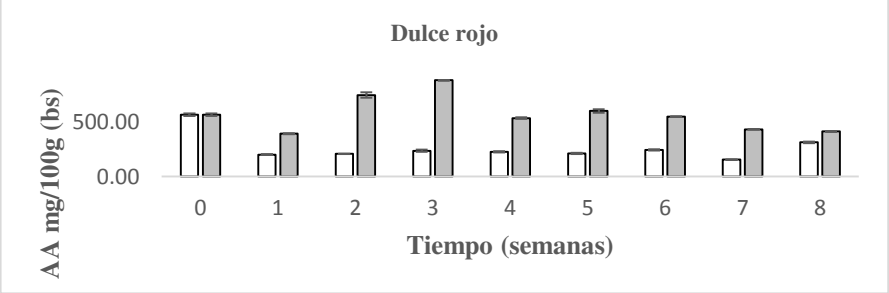
Existe diferencia significativa con letras distintas.

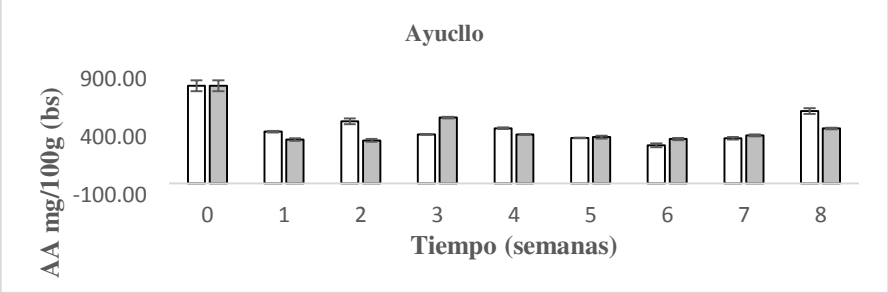
Anexo 2. Datos complementarios de vitamina C

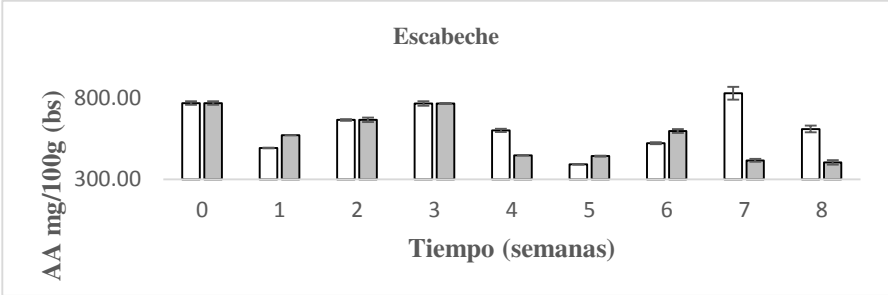
2.1 Gráficos de barra de ácido ascórbico promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.











2.2 Tabla resumen del análisis de varianza para ácido ascórbico de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión (“Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para ácido ascórbico de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6819878,75	89	76627,85	289,24	<0,0001
Tiempo	1726115,58	8	215764,45	814,42	<0,0001
Temperatura	224319,50	1	224319,50	846,71	<0,0001
Accesión	1777094,95	4	444273,74	1676,94	<0,0001
Tiempo*temperatura	243182,04	8	30397,75	114,74	<0,0001
Tiempo*accesión	1240331,69	32	38760,37	146,30	<0,0001
Temperatura*accesión	737150,63	4	184287,66	695,61	<0,0001
Tiempo*temperatura	871684,36	32	27240,14	102,82	<0,0001
Error	23843,81	90	264,93		
Total	6843722,56	179			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de prueba deTukey para ácido ascórbico según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
0	734,12	20	A
3	664,82	20	B
2	616,56	20	C
4	505,57	20	D
1	499,70	20	D
6	490,27	20	D
8	462,15	20	E
7	453,62	20	E
5	448,33	20	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

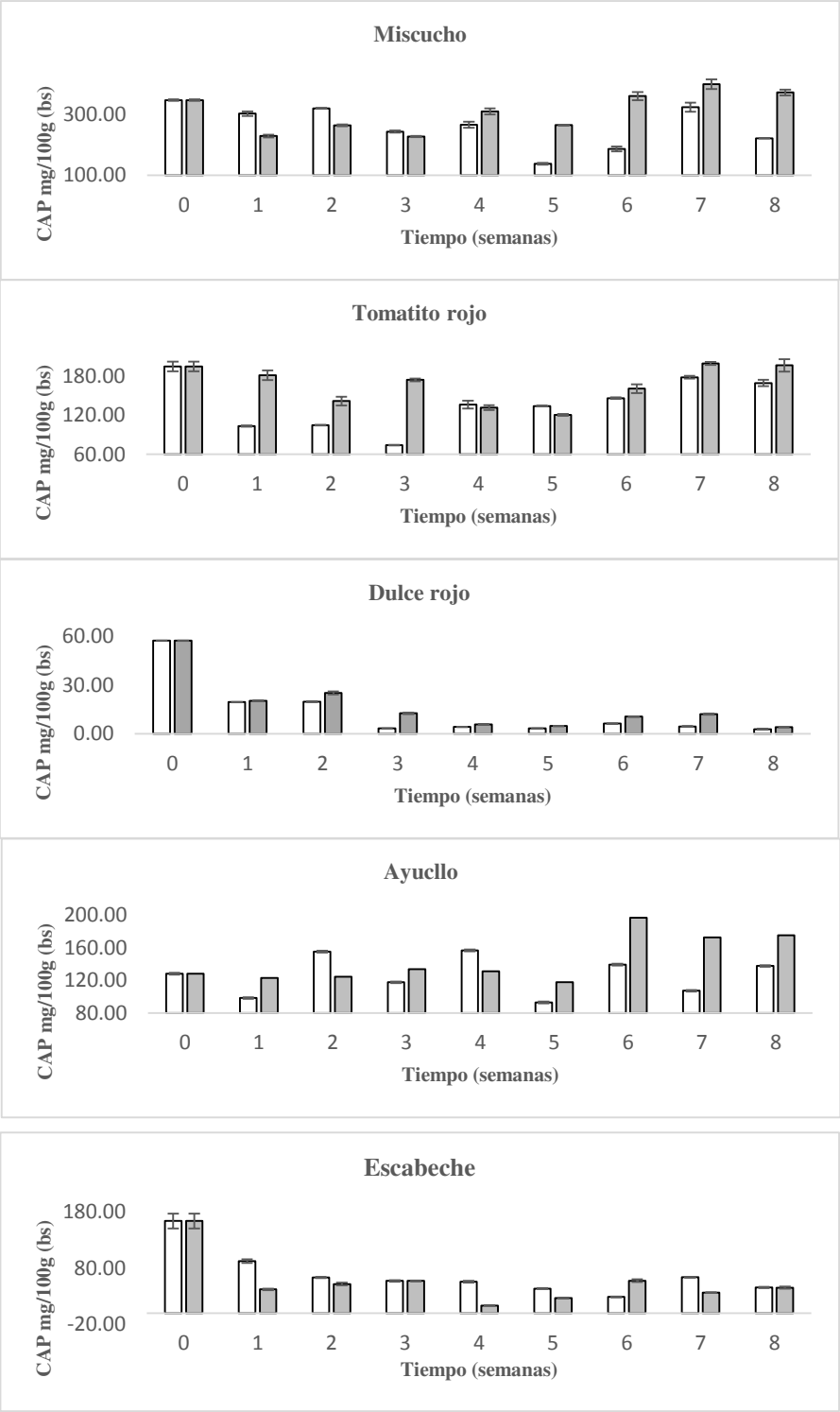
Resumen de prueba deTukey para ácido ascórbico según temperatura. Alfa≤0,05

Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	576,99	90	A
4	506,38	90	B

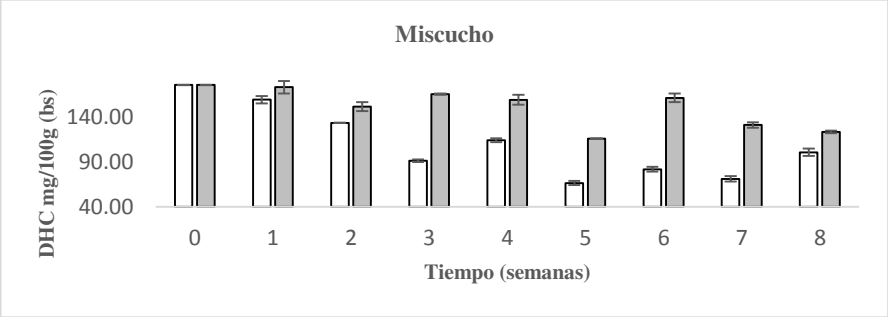
Existe diferencia significativa con letras distintas.

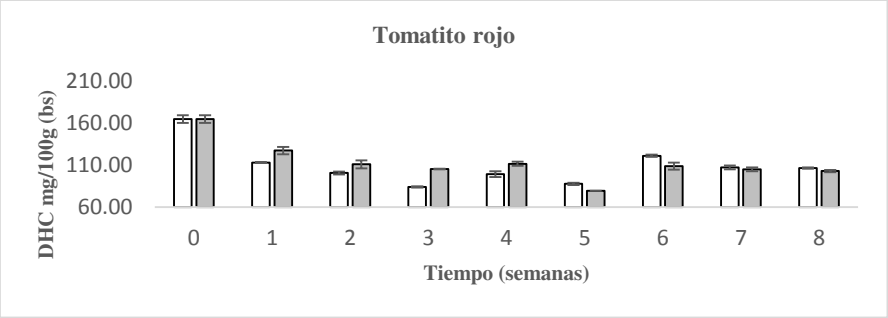
Anexo 3. Datos complementarios de capsaicinoides

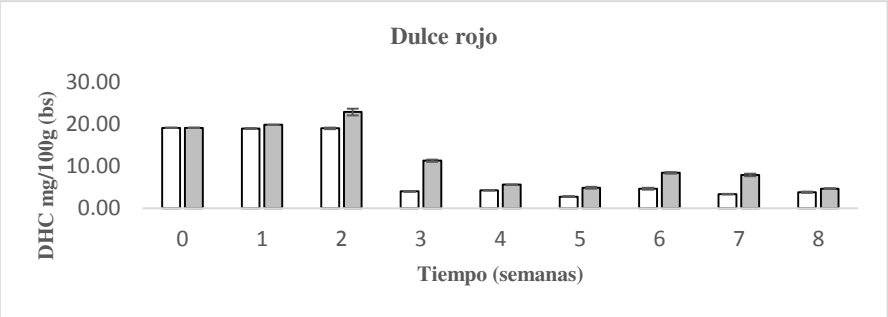
3.1. Gráficos de barra de los capsaicina promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y el testigo comercial “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.

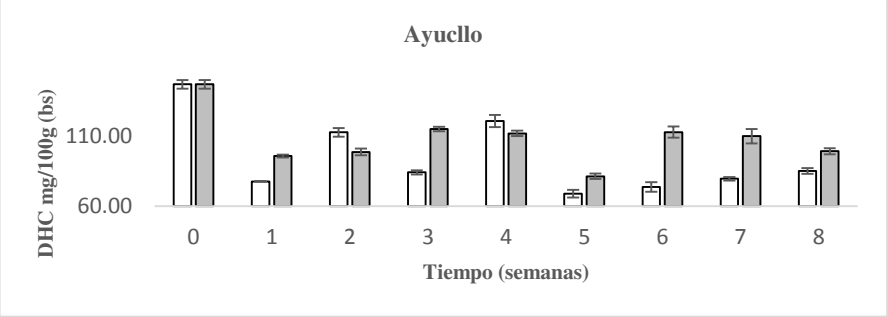


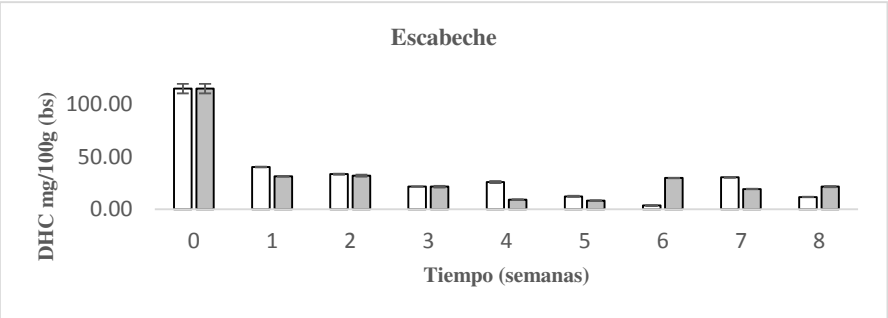
3.2. Gráficos de barra de la dihidrocapsaicina promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.



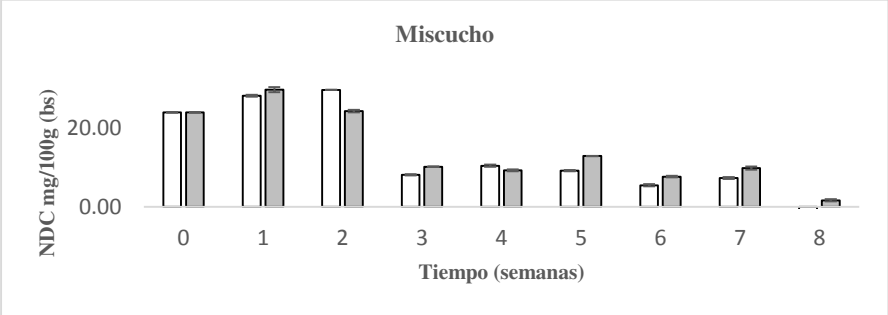


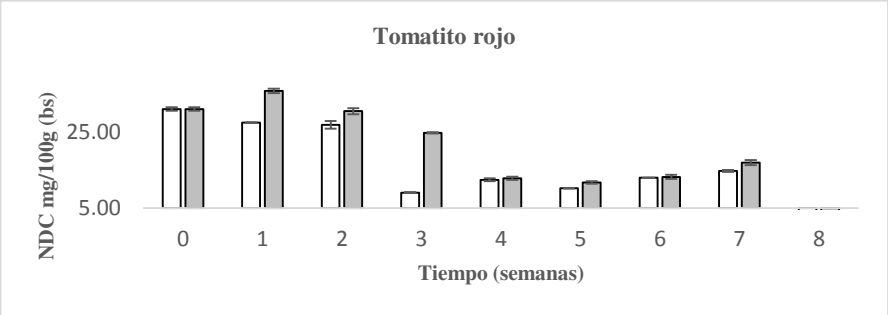


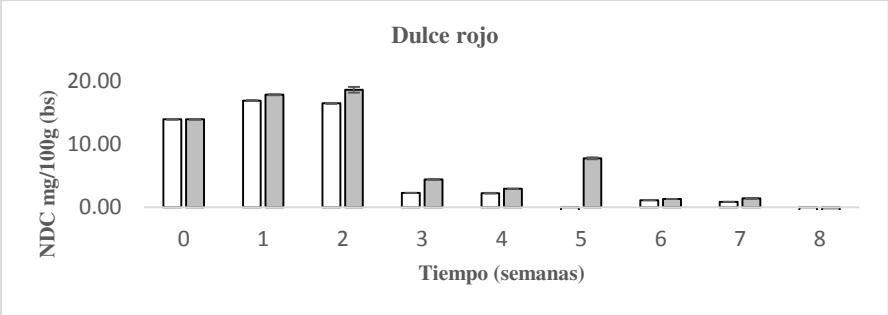


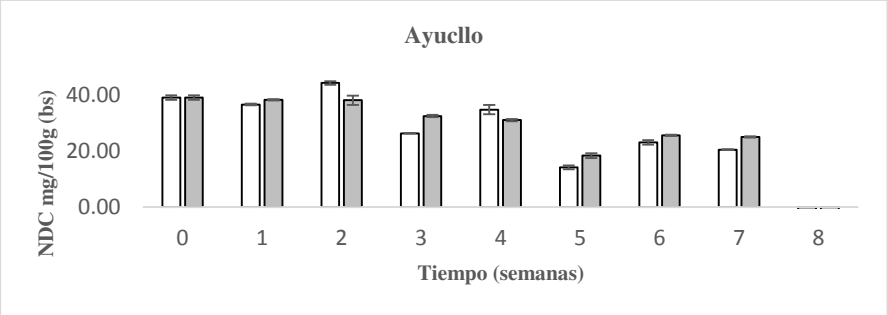


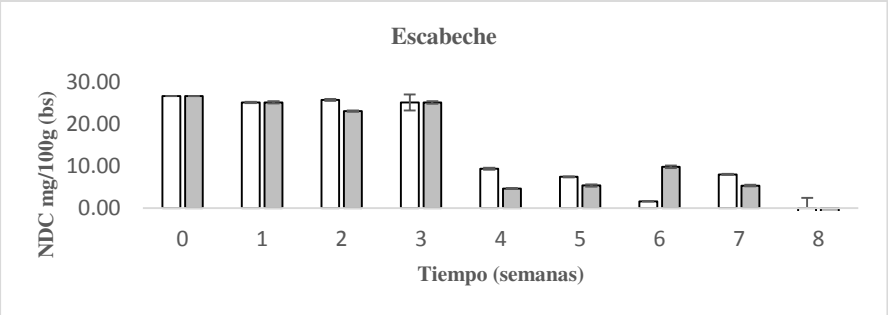
3.3. Gráficos de barra de la nordihidrocapsaicina promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.











3.4. Tabla resumen del análisis de varianza para la capsaicina de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión (“Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para capsaicina de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1819457,96	89	20443,35	795,40	<0,0001
Tiempo	91823,29	8	11477,91	446,58	<0,0001
Temperatura	12725,00	1	12725,00	495,10	<0,0001
Accesión	1517813,31	4	379453,33	14763,64	<0,0001
Tiempo*temperatura	21986,42	8	2748,30	106,93	<0,0001
Tiempo*accesión	87491,33	32	2734,10	106,93	<0,0001
Temperatura*accesión	19740,90	4	4935,22	192,02	<0,0001
Tiempo*temperatura	67877,71	32	2121,18	82,53	<0,0001
Error	2313,17	90	25,70		
Total	1821771,13	179			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de prueba de Tukey para capsaicina según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
0	177,99	20	A
7	149,52	20	B
8	136,87	20	C
6	129,17	20	D
2	126,88	20	D
1	121,07	20	E
4	120,90	20	E
3	109,16	20	F
5	94,59	20	G

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Resumen de prueba de Tukey para capsaicina según temperatura. Alfa≤0,05

Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	137,98	90	A
4	121,16	90	B

Existe diferencia significativa con letras distintas.

3.5. Tabla resumen del análisis de varianza para la dihidrocapsaicina de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión ("Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche"), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para dihidrocapsaicina de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	514512,01	89	5781,03	993,90	<0,0001
Tiempo	64472,83	8	8059,10	1385,55	<0,0001
Temperatura	6345,23	1	6345,23	1090,89	<0,0001
Accesión	397184,18	4	99296,05	17071,32	<0,0001
Tiempo*temperatura	3749,19	8	468,65	80,57	<0,0001
Tiempo*accesión	25189,79	32	787,18	135,33	<0,0001
Temperatura*accesión	9993,18	4	2498,30	429,52	<0,0001
Tiempo*temperatura	7577,60	32	236,80	40,71	<0,0001
Error	523,49	90	5,82		
Total	515035,50	179			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de prueba de Tukey para dihidrocapsaicina según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
0	124,16	20	A
1	85,58	20	B
2	81,49	20	C
4	76,14	20	D
6	70,54	20	E
3	70,42	20	E
7	66,46	20	F
8	65,92	20	F
5	52,79	20	G

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Resumen de prueba de Tukey para dihidrocapsaicina según temperatura. Alfa≤0,05

Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	82,99	90	A
4	71,12	90	B

Existe diferencia significativa con letras distintas.

3.6. Tabla resumen del análisis de varianza para la nordihidrocapsaicina de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión ("Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche"), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para nordihidrocapsaicina de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28291,56	89	317,88	415,38	<0,0001
Tiempo	17044,30	8	2130,54	2784,02	<0,0001
Temperatura	61,80	1	61,80	80,75	<0,0001
Accesión	8290,90	4	2072,73	2708,48	<0,0001
Tiempo*temperatura	148,35	8	18,54	24,23	<0,0001
Tiempo*accesión	1802,82	32	56,34	73,62	<0,0001
Temperatura*accesión	187,12	4	46,78	61,13	<0,0001
Tiempo*temperatura	756,27	32	23,63	30,88	<0,0001
Error	68,87	90	0,77		
Total	28360,43	179			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de prueba de Tukey para nordihidrocapsaicina según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
1	28,13	20	A
2	27,79	20	AB
0	26,95	20	B
3	15,09	20	C
4	13,00	20	D
7	11,00	20	E
6	10,19	20	E
5	9,30	20	F
8	-2,32	20	G

Existe diferencia significativa con letras distintas.

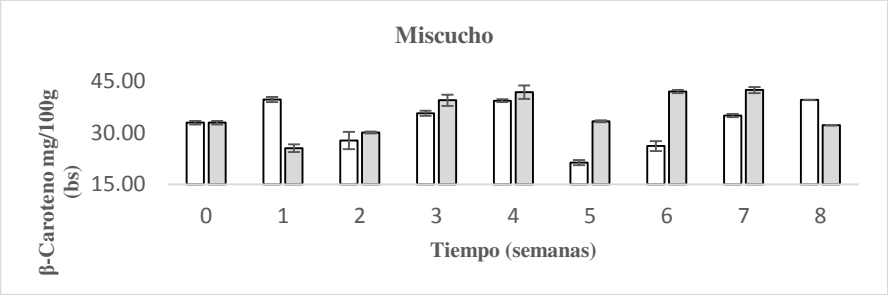
Resumen de prueba de Tukey para nordihidrocapsaicina según temperatura. Alfa≤0,05

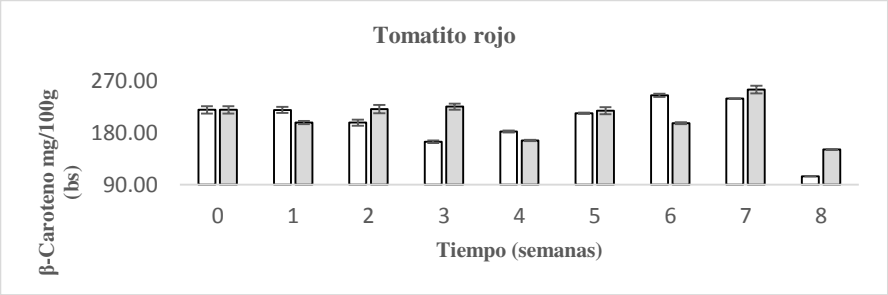
Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	16,04	90	A
4	14,87	90	B

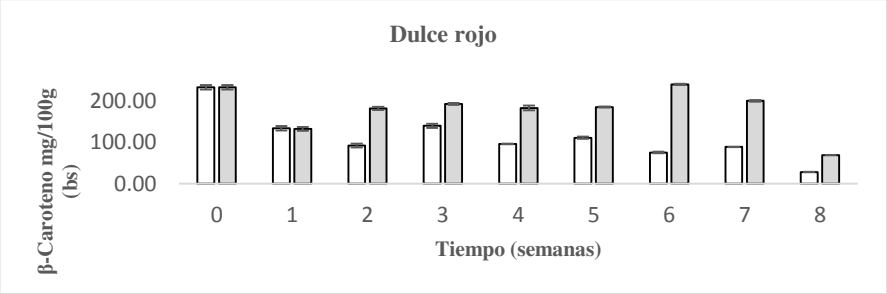
Existe diferencia significativa con letras distintas.

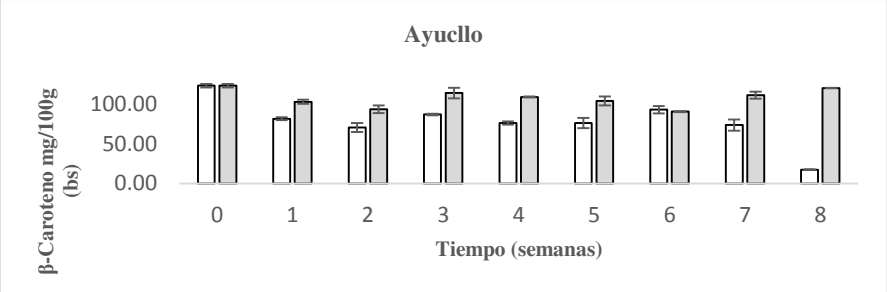
Anexo 4. Datos complementarios de carotenoides totales

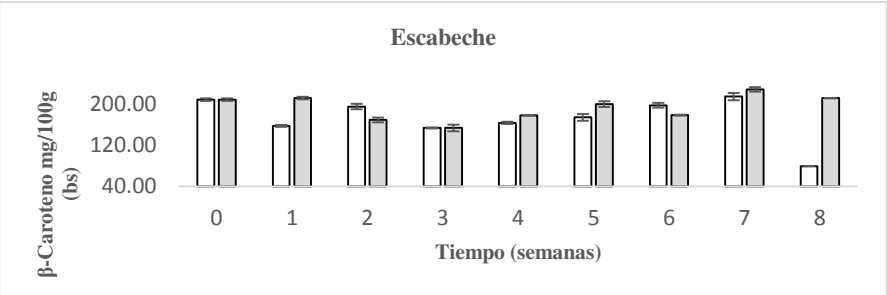
4.1. Gráficos de barra de carotenoides totales promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.











4.2. Tabla resumen del análisis de varianza para carotenoides totales de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión ("Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche"), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de Varianza para carotenoides totales de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	937370,27	89	10532,25	882,42	<0,0001
Tiempo	72367,38	8	9045,92	757,89	<0,0001
Temperatura	34154,56	1	34154,56	2861,55	<0,0001
Accesión	688589,69	4	172147,42	14422,94	<0,0001
Tiempo*temperatura	14000,10	8	1750,01	146,62	<0,0001
Tiempo*accesión	58315,54	32	1822,36	152,68	<0,0001
Temperatura*accesión	24647,66	4	6161,91	516,26	<0,0001
Tiempo*temperatura	45295,34	32	1415,48	118,59	<0,0001
Error	1074,21	90	11,94		
Total	938444,48	179			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de prueba de Tukey para carotenoides totales según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
0	163,21	20	A
7	148,65	20	B
6	138,26	20	C
3	137,48	20	C
5	133,52	20	D
1	130,07	20	DE
2	127,69	20	E
4	123,31	20	F
8	85,12	20	G

Existe diferencia significativa con letras distintas.

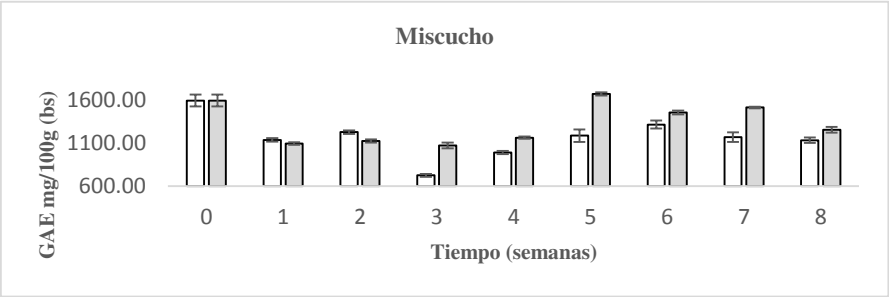
Resumen de prueba de Tukey para carotenoides totales según temperatura. Alfa≤0,05

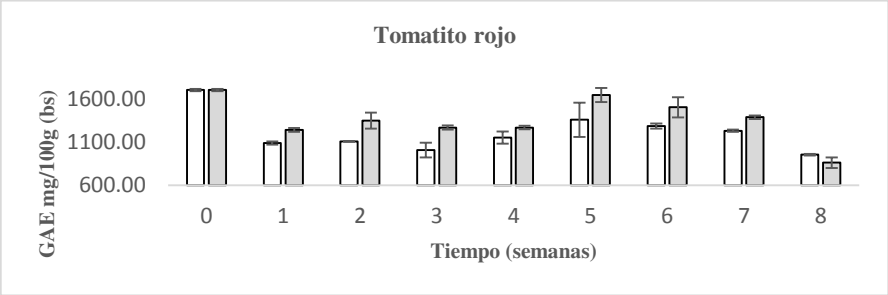
Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	145,70	90	A
4	118,15	90	B

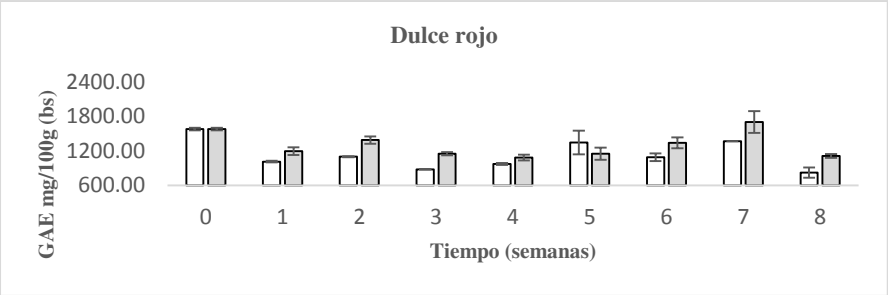
Existe diferencia significativa con letras distintas.

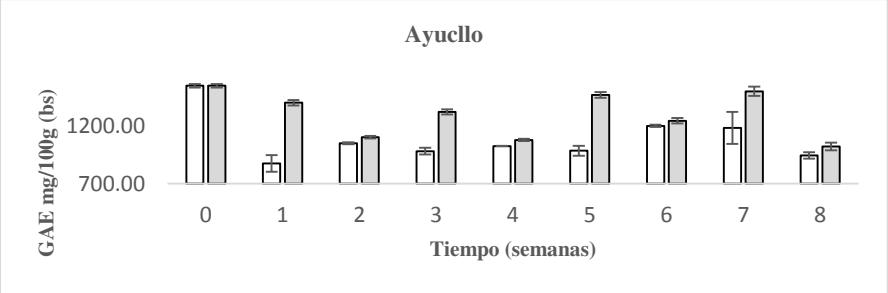
Anexo 5. Datos complementarios de compuestos fenólicos

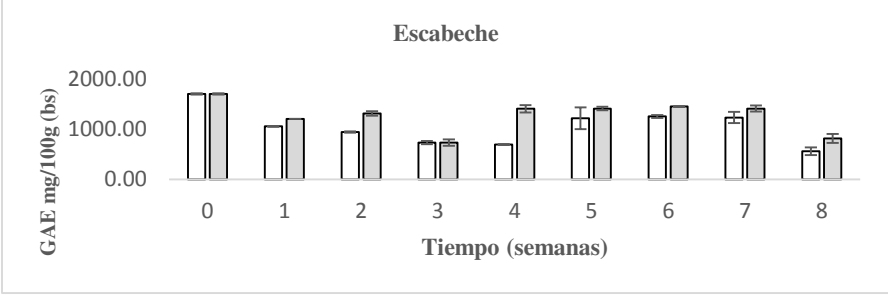
5.1 Gráficos de barra de los compuestos fenólicos totales promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.











5.2. Tabla resumen del análisis de varianza para los compuestos fenólicos totales de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión ("Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche"), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para compuestos fenólicos totales de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11623290,15	89	130598,77	32,05	<0,0001
Tiempo	7066383,88	8	883297,98	216,79	<0,0001
Temperatura	1652939,09	1	1652939,09	405,68	<0,0001
Accesión	253420,99	4	63355,25	15,55	<0,0001
Tiempo*temperatura	331205,73	8	41400,72	10,16	<0,0001
Tiempo*accesión	1238251,53	32	38695,36	9,50	<0,0001
Temperatura*accesión	79640,33	4	19910,08	4,89	<0,0001
Tiempo*temperatura	1001448,60	32	31295,27	7,68	<0,0001
Error	366702,71	90	4074,47		
Total	11989992,86	179			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de prueba de Tukey para compuestos fenólicos totales según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
0	1624,95	20	A
7	1369,98	20	B
5	1343,58	20	B
6	1313,83	20	B
2	1170,36	20	C
1	1131,13	20	CD
4	1083,13	20	DE
3	1020,94	20	E
8	947,76	20	F

Existe diferencia significativa con letras distintas.

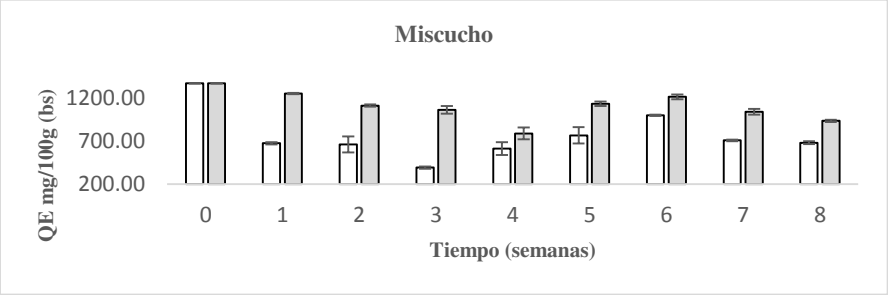
Resumen de prueba de Tukey para compuestos fenólicos totales según temperatura. Alfa≤0,05

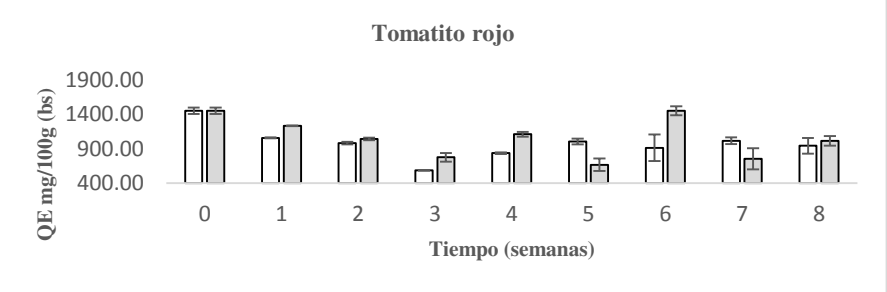
Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	318,68	90	A
4	1127,02	90	B

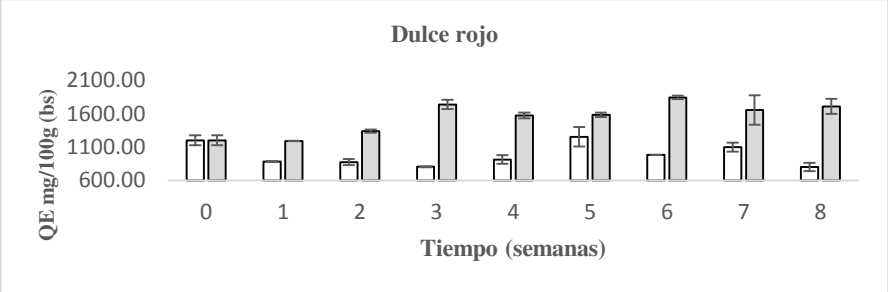
Existe diferencia significativa con letras distintas.

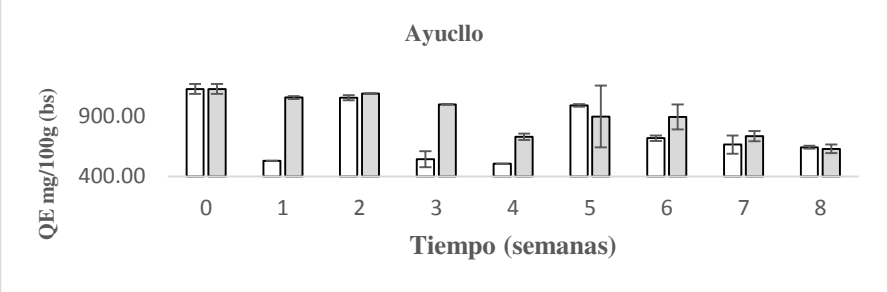
Anexo 6. Datos complementarios de flavonoides

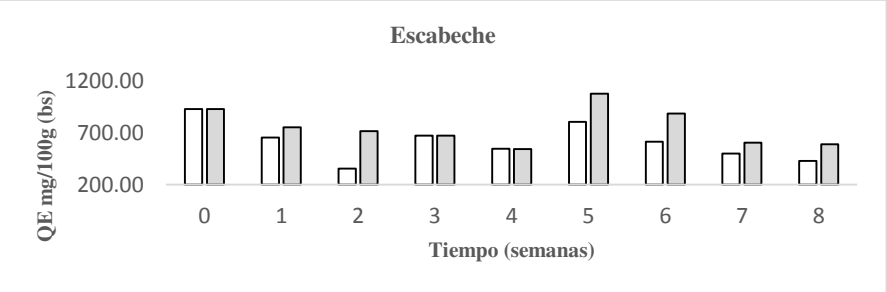
6.1. Gráficos de barra de flavonoides totales promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.











6.2. Tabla resumen del análisis de varianza para flavonoides totales de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión ("Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche"), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para flavonoides totales de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18925760,52	89	212648,99	50,47	<0,0001
Tiempo	2843531,35	8	355441,42	84,36	<0,0001
Temperatura	2768900,29	1	2768900,29	657,15	<0,0001
Accesión	6973329,89	4	1743332,47	413,75	<0,0001
Tiempo*temperatura	748861,91	8	93607,74	22,22	<0,0001
Tiempo*accesión	2611906,03	32	81622,06	19,37	<0,0001
Temperatura*accesión	1422581,79	4	355645,45	84,41	<0,0001
Tiempo*temperatura	1556649,25	32	48645,29	11,55	<0,0001
Error	379214,35	90	4213,49		
Total	19304974,87	179			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resmen de prueba de Tukey para flavonoides totales según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
0	1213,56	20	A
6	1049,86	20	B
5	1016,11	20	B
1	927,33	20	C
2	920,59	20	C
7	876,65	20	CD
8	836,70	20	DE
4	815,56	20	DE
3	802,99	20	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

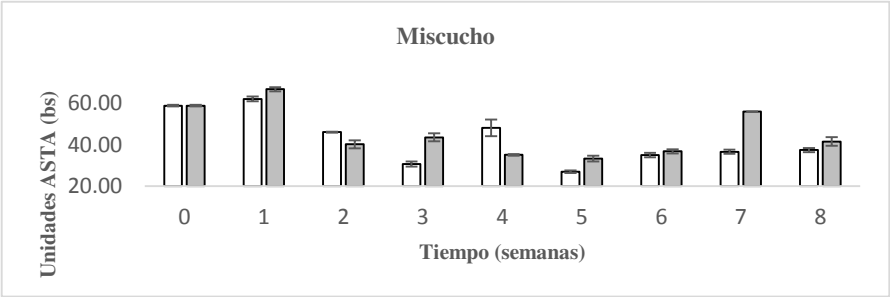
Resumen de prueba de Tukey para flavonoides totales según temperatura. Alfa≤0,05

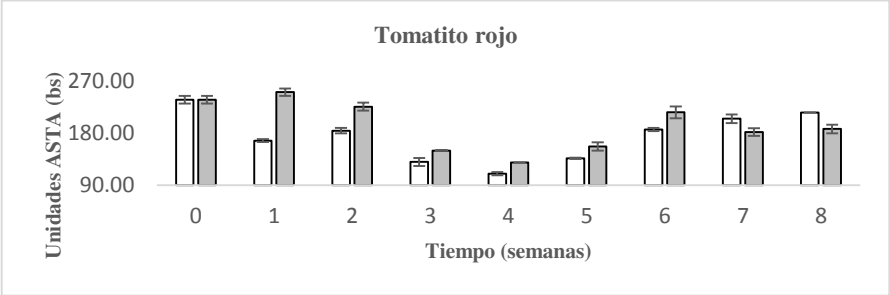
Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	1063,95	90	A
4	815,90	90	B

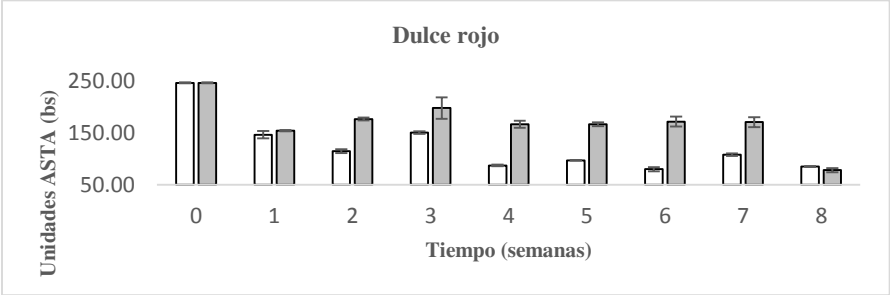
Existe diferencia significativa con letras distintas.

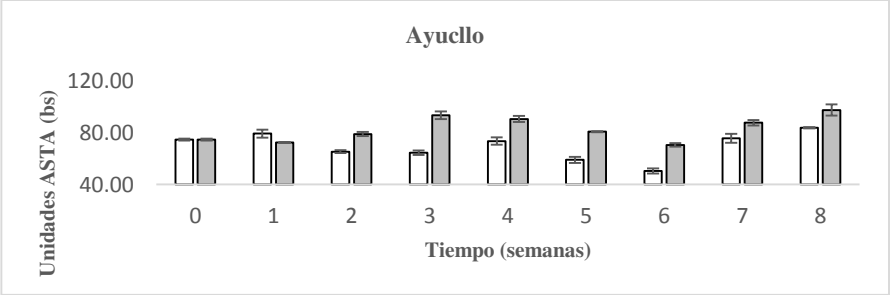
Anexo 7. Datos complementarios de unidades ASTA

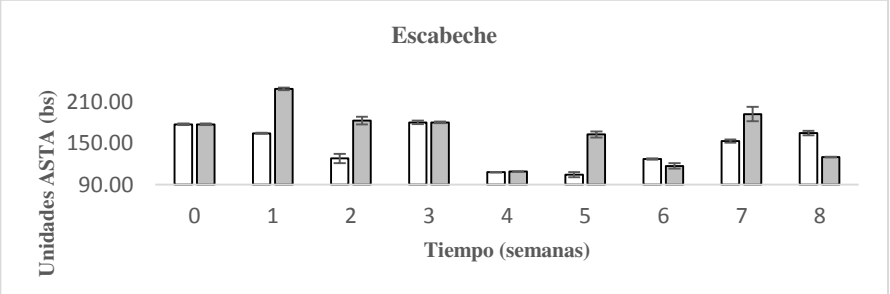
.1. Gráficos de barra de las unidades ASTA promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.











.2. Tabla resumen del análisis de varianza para unidades ASTA de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión (“Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para unidades ASTA de frutos de ají (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	692932,86	89	7785,76	398,90	<0,0001
Tiempo	61166,09	8	7645,76	391,73	<0,0001
Temperatura	15943,18	1	15943,18	816,85	<0,0001
Accesión	486330,21	4	121582,55	6229,28	<0,0001
Tiempo*temperatura	9927,73	8	1240,97	63,58	<0,0001
Tiempo*accesión	83483,86	32	2608,87	133,67	<0,0001
Temperatura*accesión	9372,63	4	2343,16	120,05	<0,0001
Tiempo*temperatura	26709,16	32	834,66	42,76	<0,0001
Error	1756,61	90	19,52		
Total	694689,47	179			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de prueba de Tukey para unidades ASTA según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
0	159,23	20	A
1	139,32	20	B
7	126,74	20	C
2	124,39	20	C
3	116,67	20	D
8	112,20	20	E
6	109,20	20	E
5	102,45	20	F
4	95,73	20	G

Existe diferencia significativa con letras distintas.

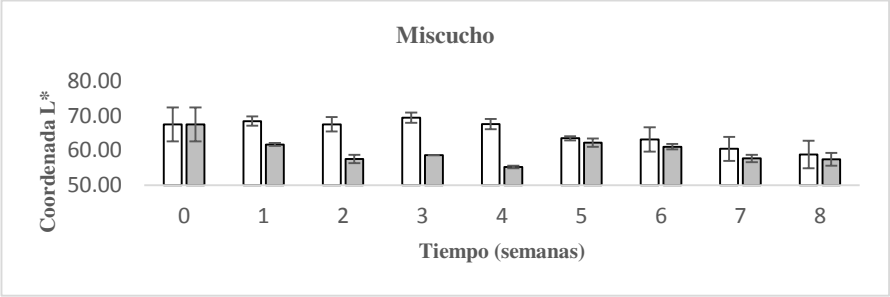
Prueba de Tukey para unidades ASTA según temperatura. Alfa≤0,05

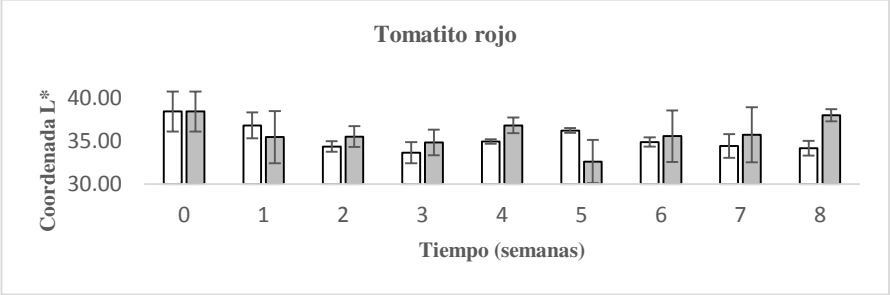
Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	130,07	90	A
4	111,25	90	B

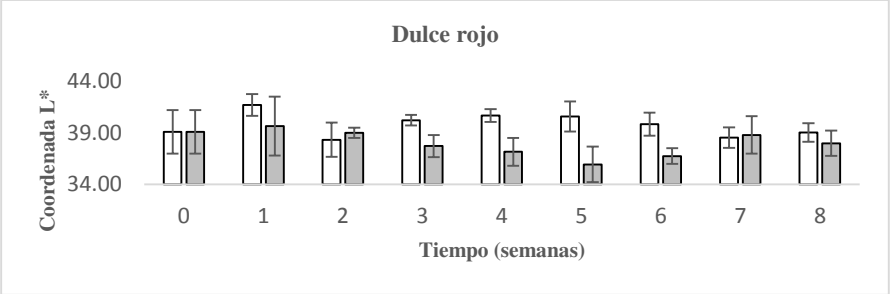
Existe diferencia significativa con letras distintas.

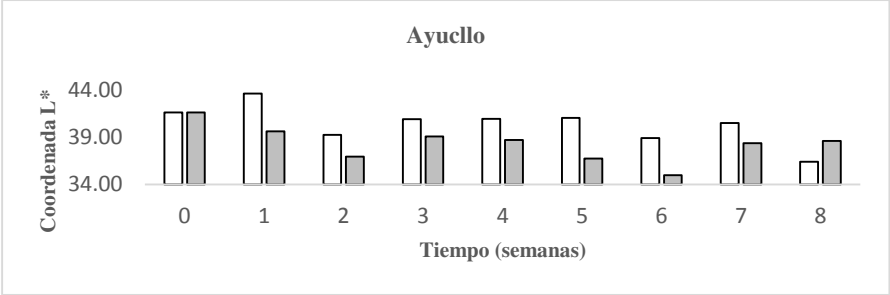
Anexo 8. Datos complementarios de color superficial

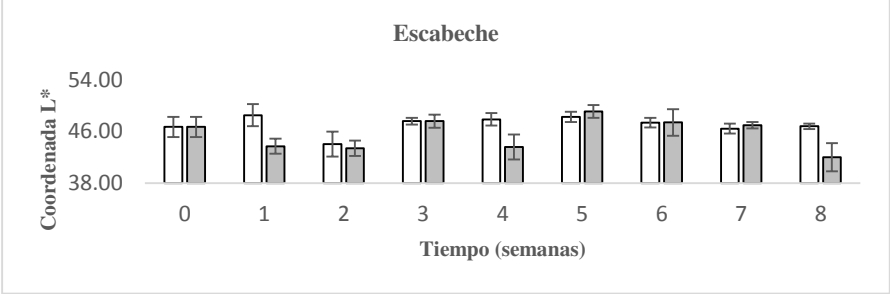
8.1. Gráficos de barra de luminosidad L* promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.



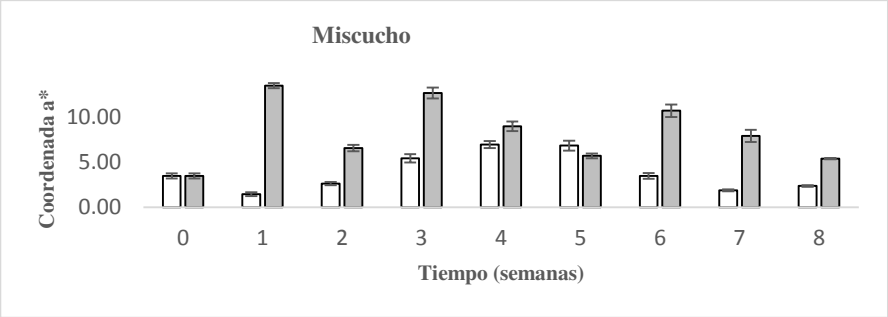


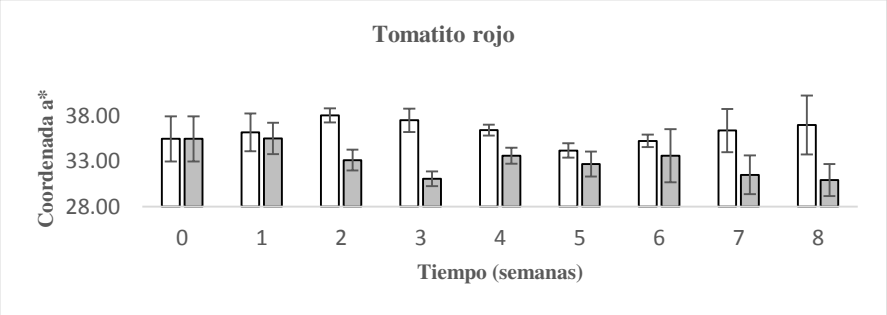


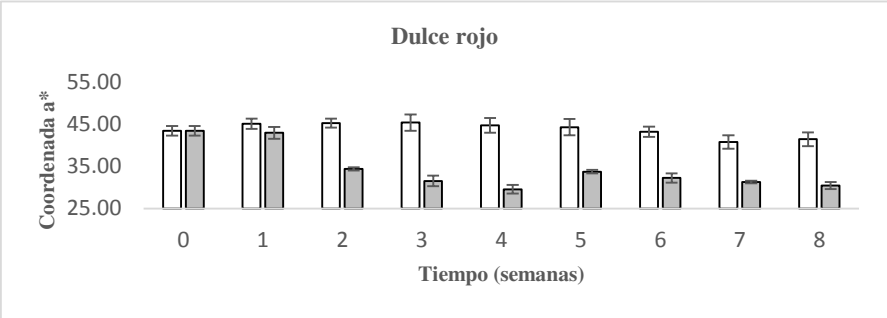


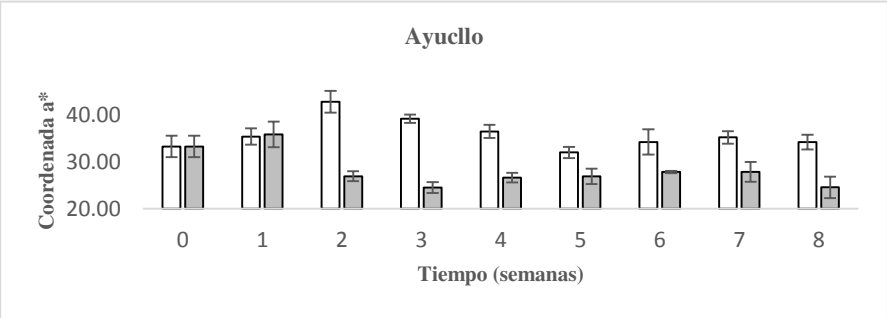


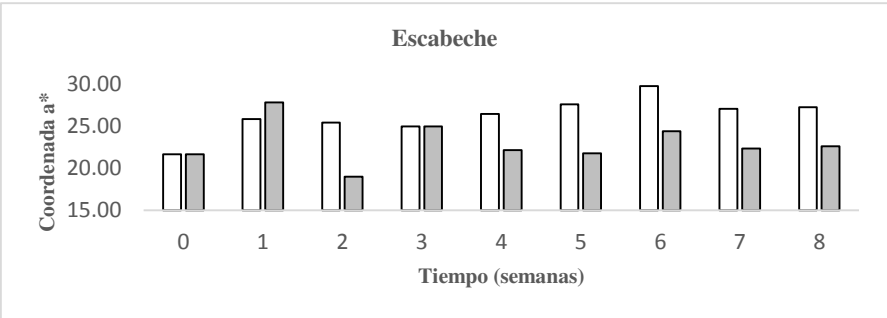
8.2. Gráficos de barra de **a*** promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.



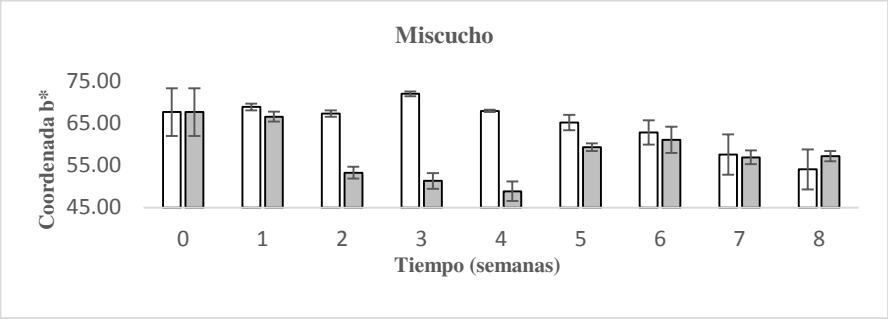


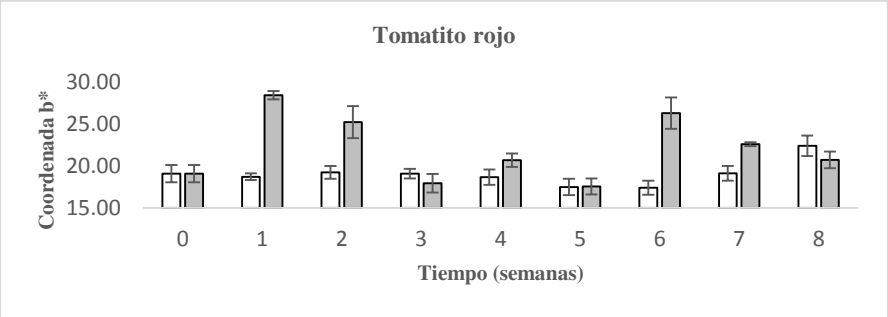


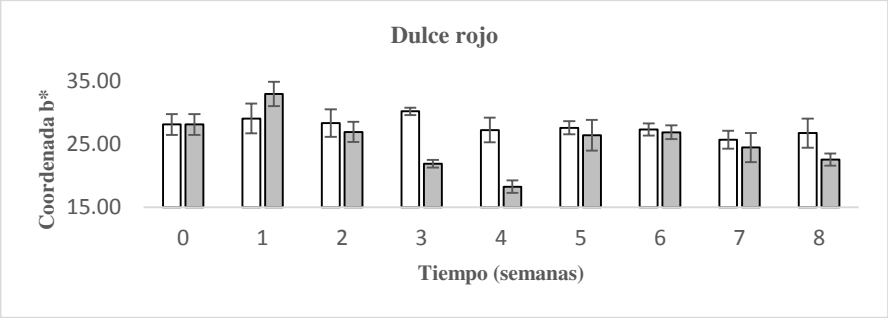


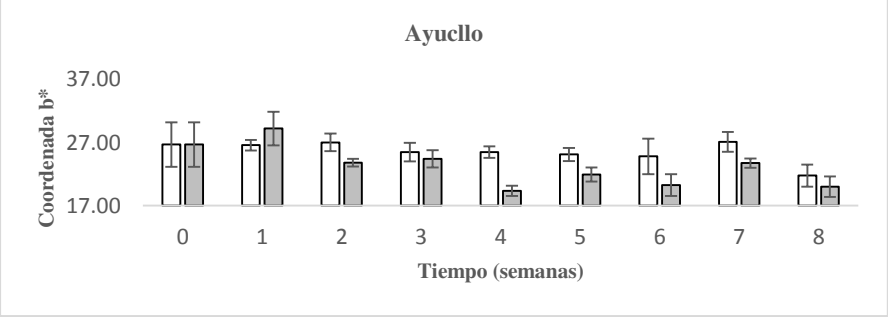


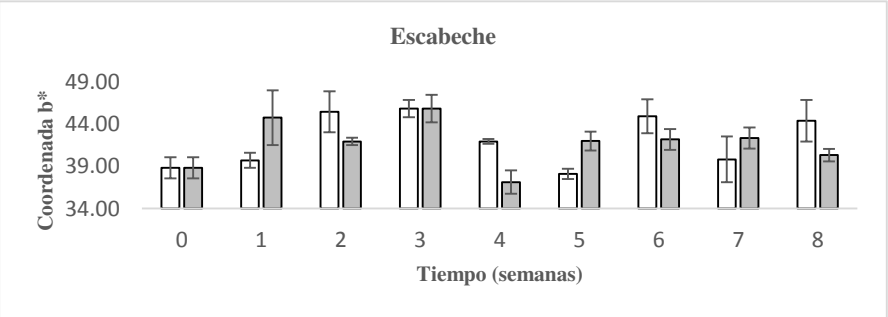
8.3. Gráficos de barra de b* promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.



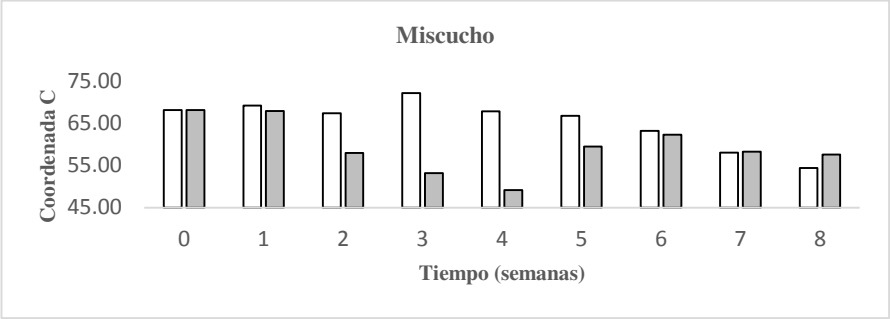


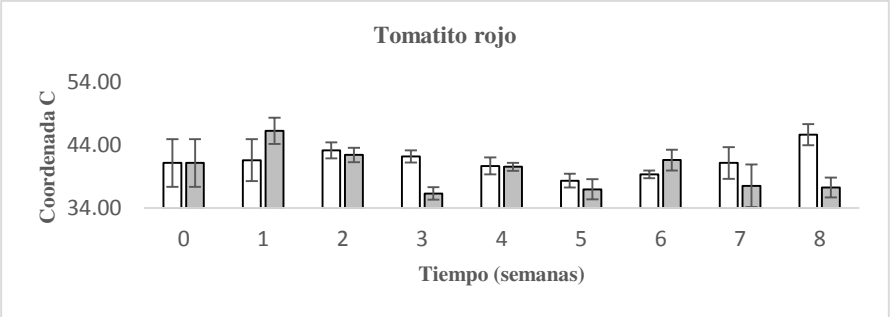


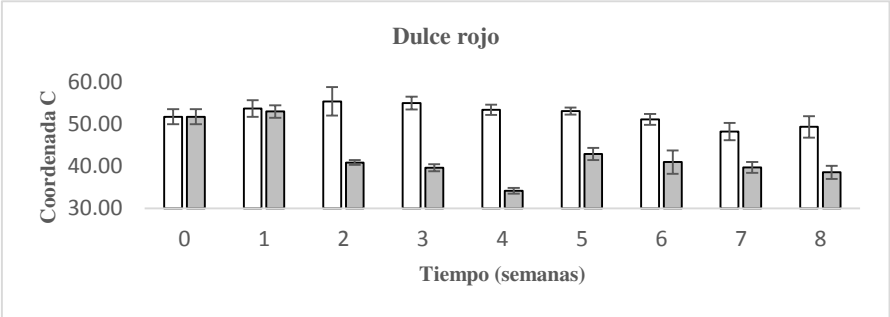


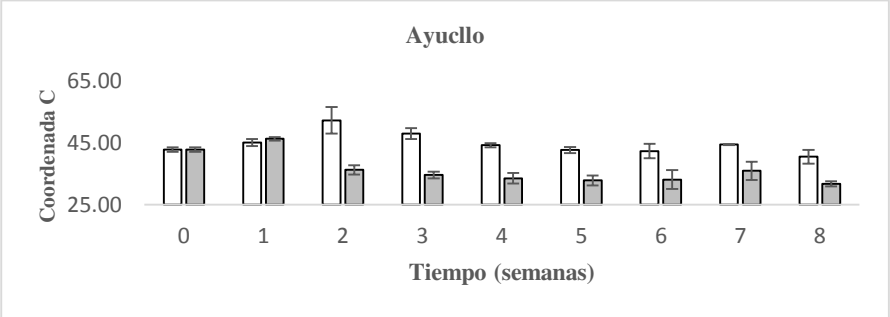


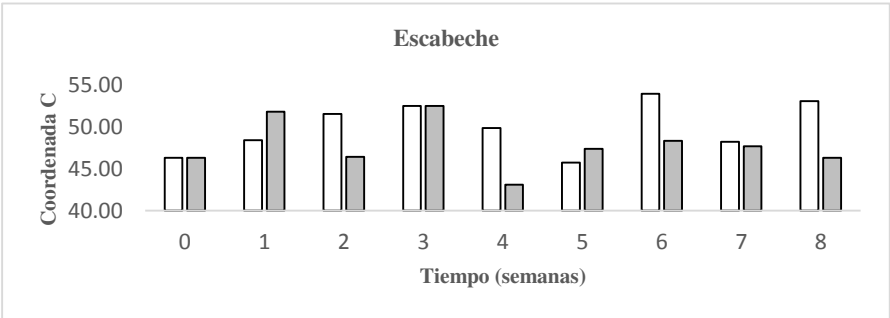
8.4. Gráficos de barra de **C*** promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.



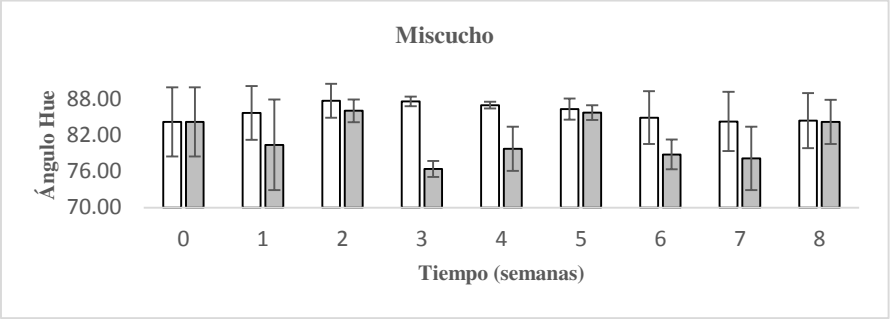


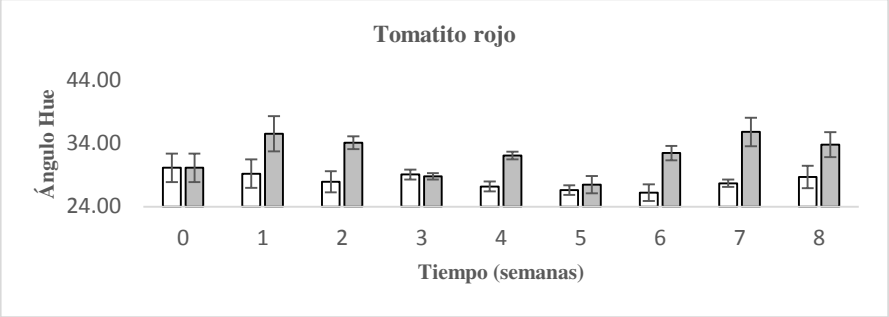


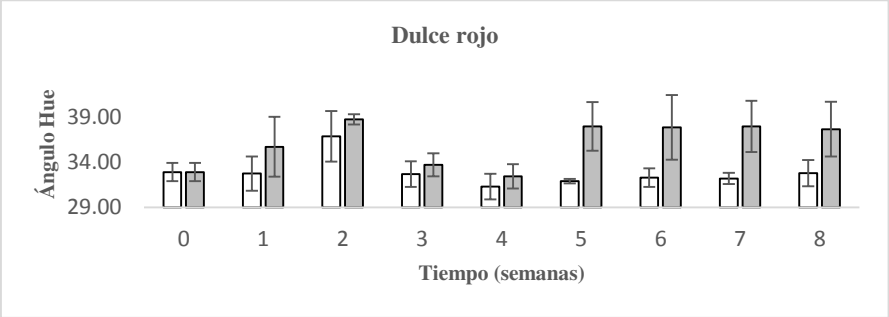


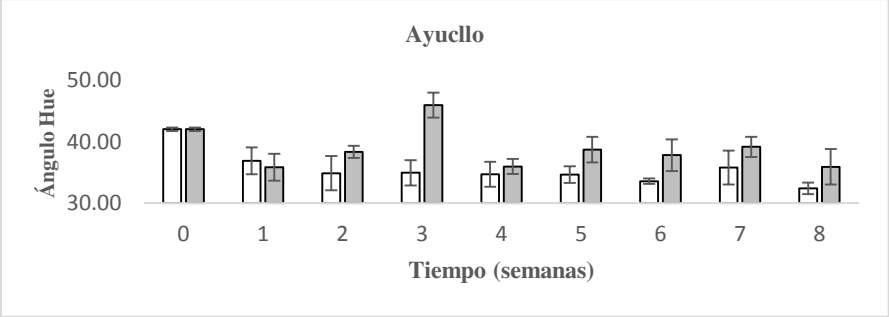


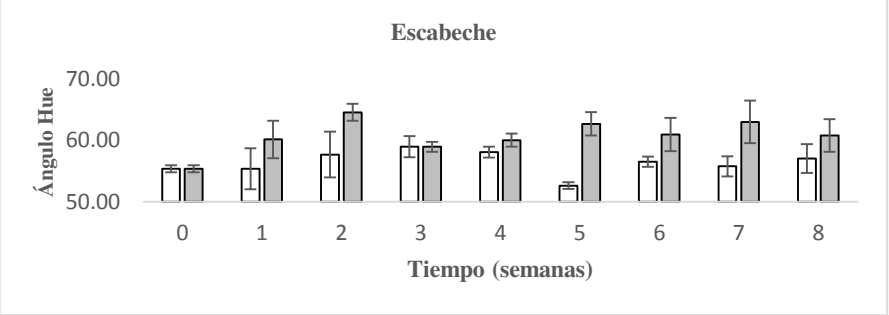
8.5. Gráficos de barra de Hue promedio de los ajíes “Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”. Ajíes refrigerados barras de color blanco, ajíes congelados barras de color gris, n= 3.











8.6. Tabla resumen del análisis de varianza para luminosidad L* de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión (“Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para luminosidad L* de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27010,31	89	303,49	94,94	<0,0001
Tiempo	326,72	8	40,84	12,78	<0,0001
Temperatura	291,97	1	291,97	91,34	<0,0001
Accesión	25252,10	4	6313,02	1974,87	<0,0001
Tiempo*temperatura	147,36	8	18,42	5,76	<0,0001
Tiempo*accesión	414,84	32	12,96	4,06	<0,0001
Temperatura*accesión	234,97	4	58,74	18,38	<0,0001
Tiempo*temperatura	342,35	32	10,70	3,35	<0,0001
Error	575,40	180	3,20		
Total	27585,71	269			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de la prueba de Tukey para luminosidad L* según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
0	46,68	30	A
1	45,94	30	AB
5	44,63	30	BC
3	44,63	30	BC
4	44,36	30	CD
6	44,00	30	CD
7	43,80	30	CD
2	43,60	30	CD
8	42,93	30	D

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Resumen de la prueba de Tukey para luminosidad L* según temperatura. Alfa≤0,05

Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
4	45,55	135	A
-20	43,47	135	B

Existe diferencia significativa con letras distintas.

8.7. Tabla resumen del análisis de varianza para la coordenada a* de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión ("Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche"), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para la coordenada a* de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	41186,47	89	462,77	225,20	<0,0001
Tiempo	351,19	8	1028,78	500,63	<0,0001
Temperatura	1028,78	1	1028,78	500,63	<0,0001
Accesión	36514,65	4	9128,66	4442,26	<0,0001
Tiempo*temperatura	588,27	8	73,53	35,78	<0,0001
Tiempo*accesión	682,20	32	21,32	10,37	<0,0001
Temperatura*accesión	1545,33	4	386,33	188,00	<0,0001
Tiempo*temperatura	476,04	32	14,88	7,24	<0,0001
Error	369,89	180	2,05		
Total	41556,36	269			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de la prueba de Tukey para coordenada a* según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
1	29,99	30	A
6	27,49	30	B
0	27,48	30	B
2	27,44	30	B
3	27,28	30	BC
4	27,22	30	BC
5	26,59	30	BCD
7	26,24	30	CD
8	25,64	30	D

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Resumen de la prueba de Tukey para la coordenada a* según temperatura. Alfa≤0,05

Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
4	29,22	135	A
-20	25,31	135	B

Existe diferencia significativa con letras distintas.

8.8. Tabla resumen del análisis de varianza para la coordenada b* de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión ("Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche"), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para la coordenada b* de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	65566,60	89	736,70	200,25	<0,0001
Tiempo	784,25	8	98,03	26,65	<0,0001
Temperatura	254,84	1	254,84	69,27	<0,0001
Accesión	61294,24	4	15323,56	4165,28	<0,0001
Tiempo*temperatura	823,37	8	102,92	27,98	<0,0001
Tiempo*accesión	903,41	32	28,23	7,67	<0,0001
Temperatura*accesión	665,36	4	166,34	45,21	<0,0001
Tiempo*temperatura	841,14	32	26,29	7,14	<0,0001
Error	662,20	180	3,68		
Total	66228,80	269			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de la prueba de Tukey para coordenada b* según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
1	38,50	30	A
0	36,08	30	B
2	35,85	30	B
6	35,41	30	BC
3	34,67	30	BC
5	34,08	30	CD
7	33,95	30	CD
8	33,03	30	D
4	32,56	30	D

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Resumen de la prueba deTukey para la coordenada b* según temperatura. Alfa≤0,05

Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
4	35,87	135	A
-20	33,93	135	B

Existe diferencia significativa con letras distintas.

8.9. Tabla resumen del análisis de varianza para la coordenada C* de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión (“Miscucho”, “Tomatito rojo”, “Dulce rojo”, “Ayucllo” y “Escabeche”), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para la coordenada C* de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24215,71	89	272,09	60,51	<0,0001
Tiempo	1294,82	8	161,85	35,99	<0,0001
Temperatura	2244,04	1	2244,04	499,06	<0,0001
Accesión	16923,94	4	4230,99	940,94	<0,0001
Tiempo*temperatura	1302,21	8	162,78	36,20	<0,0001
Tiempo*accesión	973,53	32	30,42	6,77	<0,0001
Temperatura*accesión	672,41	4	168,10	37,38	<0,0001
Tiempo*temperatura	804,76	32	25,15	5,59	<0,0001
Error	809,38	180	4,50		
Total	25025,08	269			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

Resumen de la prueba deTukey para coordenada C* según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
1	52,35	30	A
0	50,05	30	B
2	49,39	30	BC
3	47,78	30	CD
6	47,64	30	D
5	46,64	30	DE
7	45,94	30	E
4	45,66	30	E
8	45,45	30	E

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Resumen de la prueba de Tukey para la coordenada C* según temperatura. Alfa≤0,05

Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
4	50,76	135	A
-20	45,00	135	B

Existe diferencia significativa con letras distintas.

8.10. Tabla resumen del análisis de varianza para Hue de fruto según los factores tiempo (semanas), temperatura (congelación y refrigeración), accesión ("Miscucho", "Tomatito rojo", "Dulce rojo", "Ayucllo" y "Escabeche"), y sus interacciones. Incluye pruebas de Tukey p≤0.05, n=3.

Resumen del análisis de varianza para Hue de frutos de ají

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	110702,81	89	1243,85	202,44	<0,0001
Tiempo	152,08	8	19,01	3,09	0,0027
Temperatura	329,12	1	329,12	53,56	<0,0001
Accesión	108151,33	4	27037,83	4400,37	<0,0001
Tiempo*temperatura	151,67	8	18,96	3,09	0,0028
Tiempo*accesión	723,32	32	22,60	3,68	<0,0001
Temperatura*accesión	726,65	4	181,66	29,57	<0,0001
Tiempo*temperatura	468,64	32	14,65	2,38	0,0002
Error	1106,00	180	6,14		
Total	111808,81	269			

Tiempo en semanas y temperatura en °C.

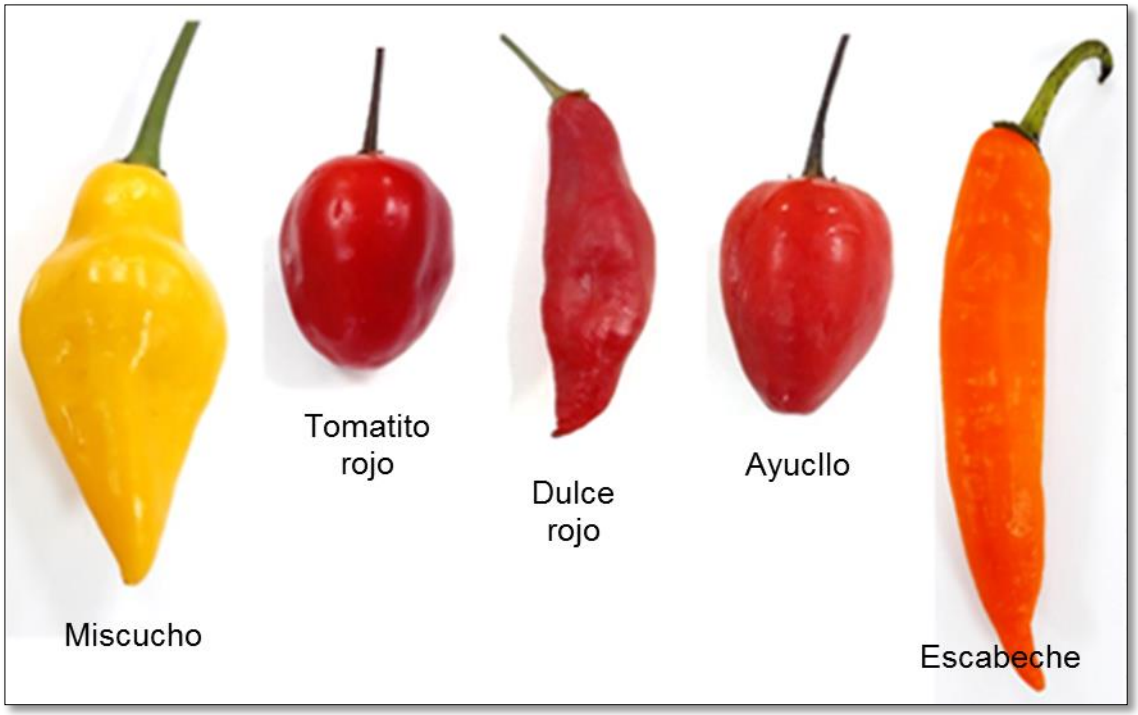
Resumen de la prueba de Tukey para Hue según tiempo (semanas). Alfa≤0,05

Tiempo	Medias	n	Significancia asignada
2	50,69	30	A
7	48,99	30	AB
3	48,94	30	AB
0	48,94	30	AB
8	48,77	30	AB
1	48,76	30	AB
5	48,48	30	B
6	48,15	30	B
4	47,86	30	B

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Resumen de la prueba de Tukey para el ángulo h según temperatura. Alfa≤0,05

Temperatura (°C)	Medias	n	Significancia asignada
-20	49,94	135	A
4	47,74	135	B

Existe diferencia significativa con letras distintas.

Anexo 9. Imágenes fotográficas de los materiales vegetales y trabajo de la investigadora.