

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



“CAROTENOIDES Y CLOROFILA EN CINCO GRADOS DE
MADUREZ DEL AJÍ CEREZO TRIANGULAR (*Capsicum
annuum*), UTILIZANDO IMÁGENES HIPERESPECTRALES”

Presentado por

EULER GONZÁLES SIMPÉRTIGUE

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: M. Sc. LUIS ALBERTO NUÑEZ ALEJOS

Co – Asesora: Dra. NOEMÍ LEÓN ROQUE

Jaén - Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“CAROTENOIDES Y CLOROFILA EN CINCO GRADOS DE
MADUREZ DEL AJÍ CEREZO TRIANGULAR (*Capsicum annuum*),
UTILIZANDO IMÁGENES HIPERESPECTRALES”**

Presentado por

EULER GONZALES SIMPÉRTIGUE

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

Asesor: M. Sc. LUIS ALBERTO NUÑEZ ALEJOS

Co – Asesora: Dra. NOEMÍ LEÓN ROQUE

Jaén - Perú

2019



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la Sala de Docentes, del Local Académico de la Universidad Nacional de Jaén ubicado en el distrito de Jaén de la Provincia de Jaén, siendo las 04:30pm horas del día dieciocho de junio del año 2019, se reunieron los docentes ordinarios: Mg. Polito Michael Huayama Sopla (Presidente), Ing. Sc. James Tirado Lara (Secretario) y el Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos (Vocal), en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final del Tesis intitulado: "CAROTENOIDES Y CLOROFILA EN CINCO GRADOS DE MADUREZ DEL AJÍ CEREZO TRIANGULAR (*Capsicum annuum*) UTILIZANDO IMÁGENES HIPERESPECTRALES", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería de Industrias Alimentarias, EULER GONZÁLES SIMPÉRTIGUE y Asesor, M. Sc. LUIS ALBERTO NÚÑEZ ALEJOS, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la Tesis, el Jurado Evaluador **ACORDO: APROBAR** por **UNANIMIDAD** al Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias EULER GONZÁLES SIMPÉRTIGUE, obteniendo la siguiente calificación y mención:

| Nota en escala vigesimal | | Mención |
|--------------------------|--------|----------|
| Números | Letras | |
| 15 | QUINCE | APROBADO |

En señal de conformidad, se procede a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

Mg. Polito Michael Huayama Sopla
Presidente Jurado Evaluador

Mg. Sc. James Tirado Lara
Secretario del Jurado Evaluador

Ing. Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos
Vocal del Jurado Evaluador



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 04: DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, EULER GONZÁLES SIMPÉRTIGUE identificado(a)
con DNI N° 41416234 bachiller de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental
de la Universidad Nacional de Jaén; **declaro bajo juramento que:** Soy autor del Informe Final de
Tesis; titulado CAROTENOIDES Y CUORFILA EN CINCO GRADO DE MADUREZ DEL ASI
CEREZO TRIANGULAR (Carpinus annuum) UTILIZANDO IMÁGENES HIPERESPECTRALES.

1. El mismo que presento **para optar el:** Título Profesional.
2. El Informe Final de Tesis; **no ha sido plagiado ni total ni parcialmente**, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. El Informe Final de Tesis presentado, **no atenta contra derechos de terceros.**
4. El Informe Final de Tesis; **no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.**
5. Los datos presentados en los resultados **son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.**

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Informe Final de Tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del Informe Final de Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el Informe Final de Tesis; haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 17 de Julio de 2019



Firma- Huella digital

Contenido

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 9 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 11 |
| 1.1. CAPSICUM: ASPECTOS GENERALES | 11 |
| 1.1.1. Origen y Taxonomía..... | 11 |
| 1.1.2. Usos..... | 12 |
| 1.2. AJÍ CEREZO (<i>Capsicum annuum</i>) | 13 |
| 1.2.1. Composición química..... | 15 |
| 1.3. ANTIOXIDANTE..... | 15 |
| 1.3.1. Clasificación de antioxidante | 16 |
| 1.3.1.2. Importancia nutricional..... | 20 |
| 1.3.1.3. Carotenoides en el género <i>Capsicum</i> | 21 |
| 1.4. ANÁLISIS HIPERESPECTRAL | 22 |
| 1.4.1. Espectro Electromagnético..... | 23 |
| 1.4.2. Imagen Hiperespectral..... | 24 |
| 1.4.3. Fundamentos de imágenes hiperespectrales..... | 25 |
| 1.4.4. Camara hiperespectral | 26 |
| 1.4.5. Spectronon..... | 28 |
| 1.4.6. Análisis de datos: hyperspectral classification..... | 28 |
| 1.4.7. Analisis de datos: Hyperspectral Vegetation Indices | 29 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 32 |
| 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN | 32 |
| 3.2. MATERIALES | 32 |
| 3.2.1. Materia prima | 32 |
| 3.2.2. Reactivos | 32 |
| 3.2.3. Materiales | 32 |
| 3.2.4. Instrumentos y Equipos | 33 |
| 3.3. MÉTODOS | 34 |
| 3.3.1. Procedimiento..... | 34 |
| 3.3.2. Análisis de las muestras | 39 |
| 3.3.3. Método Estadístico | 41 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES | 42 |
| 4.1. Contenido solidos totales, pH, acidez, titulable y Índice de madurez. | 42 |
| 4.2. Estudio del ají cerezo mediante imágenes hiperespectrales. | 45 |
| 4.3. Índice espectral (CRI2)..... | 48 |
| 4.4. Correlacion de la parametros de calidad de ají (<i>Capsicum annuum</i>). | 52 |
| 4.5. Análisis de varianza de los grados de madurez con el CRI2..... | 54 |
| 4.6. Análisis de varianza de del grado de madurez con la acidez titulable | 55 |
| 4.7. Analisis de varianza del grado de madurez con los °Brix. | 56 |
| V. CONCLUSIONES | 57 |
| VI. RECOMENDACIONES | 58 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |
| VIII. ANEXOS | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: (a) Ají cerezo Tipo B y (b) Ají cerezo Tipo A y C | 14 |
| Figura 2: Ají cerezo triangular del departamento de Lambayeque..... | 14 |
| Figura 3: Estructura de algunos carotenos..... | 18 |
| A) Estructura de caroteno lineal, correspondiente al fitoeno..... | 18 |
| B) Estructura de caroteno monocíclico, correspondiente al γ -caroteno..... | 18 |
| C) Estructura de caroteno bicíclico, correspondiente al β -caroteno..... | 18 |
| Figura 4: Estructuras de carotenos y xantofilas presentes en el pericarpio del chile..... | 22 |
| Figura 5: Vector Eléctrico..... | 23 |
| Figura 6: Espectro Electromagnético..... | 24 |
| Figura 7: Imágenes hiperespectrales del sistema..... | 25 |
| Figura 8 : el "hypercubo" se muestra como diferentes ubicaciones espaciales..... | 26 |
| Figura 9: Benchtop hyperspectral imaging system..... | 27 |
| Figura 10: Rango Hiperespectral de la Cámara Pika L..... | 28 |
| Figura 11: Software Spectronon Pro..... | 28 |
| Figura 12: Muestras de acuerdo al grado de madurez de la investigación..... | 34 |
| Figura 13: Imagen de la izquierda Hyperspectral imaging system..... | 35 |
| Figura 14: Medición de la reflectancia utilizando material de referencia..... | 35 |
| Figura 15: Calibración de la Imagen de la Cámara Hiperespectral. (teflón)..... | 36 |
| Figura 16: Escaneo de la imagen de la muestra de ají cerezo..... | 36 |
| Figura 17: Selección de la región de interés (ROI) y el espectro medio de muestra..... | 37 |
| Figura 18: Liofilizador BioBase..... | 38 |
| Figura 19: Muestras liofilizadas de ají cerezo..... | 39 |
| Figura 20: Lector de placa MicroplateReader (Biotek, Rochester, VT, USA)..... | 40 |
| Figura 21: Evolución del pH en los cinco grados de madur..... | 42 |
| Figura 22: Evolución de la Acidez Titulable en los cinco grados de madurez de ají cerezo triangular..... | 43 |
| Figura 23: Evolución de los Sólidos solubles en los cinco grados de madurez..... | 44 |
| Figura 24: Evolución del Índice de Madurez en los cinco grados de madurez..... | 44 |
| Figura 25: Perfil de Reflectancia de ají cerezo triangular 100 % verde (C1)..... | 45 |
| Figura 26: Perfil de Reflectancia de ají cerezo triangular 90 - 70 % verde (C2)..... | 46 |
| Figura 27: Perfil de Reflectancia de ají 60 - 40 % verde (C3) banda de 550 nm..... | 46 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28: Perfil de Reflectancia de ají 30 - 10 % verde (C4)) banda de 550 nm..... | 47 |
| Figura 29: Perfil de Reflectancia de ají 100 % rojo (C5)) banda de 550 nm..... | 48 |
| Figura 30: Evolución de los carotenoides (mg/g) en los cinco grados de madurez | 49 |
| Figura 31: Evolución de la Clorofila (mg/g) en los cinco grados de madurez de ají cerezo triangular..... | 50 |
| Figura 32: Evolución de reflectancia de carotenoides de cinco grados de madurez..... | 51 |
| Figura 33: Índice de Reflectancia (CRI2), Carotenoides totales (mg/g)..... | 52 |
| Figura 34: Índice de Reflectancia de Carotenoides (CRI2), clorofila (mg/g)..... | 53 |
| Figura 35: Medición clorofila total y carotenoides totales (mg/g)..... | 53 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Caracterización bioquímica del fruto seco (rango de referencia)..... | 15 |
| Tabla 2: Antioxidantes exógenos | 16 |
| Tabla 3: Antioxidantes endógenos..... | 17 |
| Tabla 4: Análisis físico químico de cinco grados de madurez | 42 |
| Tabla 5: Valores promedio de los parámetros de medición de ají cerezo triangular..... | 49 |
| Tabla 6: Análisis de Varianza de Reflectancia de Carotenoides (CRI2) | 54 |
| Tabla 7: Análisis de Varianza de porcentaje de Acidez Titulable..... | 55 |
| Tabla 8: Análisis de Varianza del grado de madurez de las muestras y °Brix..... | 56 |

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico sobre todas las cosas a mi DIOS. Él supo guiarme por el buen camino, me dio fuerzas para no desmayar en los problemas que se presentaban, y a no desmayar en las adversidades sin perder nunca la esperanza, la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia en especial a mis padres: Josué Gonzales Vilches y Yolanda Simpértigue Chávez y mi hermano querido Holger, que gracias a ellos soy lo que soy, por sus consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, por su tiempo, por los recursos para mi desarrollo como estudiante y por apoyarme a conseguir mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Gracias de corazón, a todos aquellos profesores, ingenieros que encaminaron mis virtudes, conocimientos, experiencia, por su paciencia, dedicación, motivación, criterio y aliento. Han hecho fácil lo difícil. Ha sido un privilegio contar con su guía y ayuda.

Agradecer en especial al Ing. Luis Alberto Núñez Alejos y la Dra. Noemí Roque por su decisivo apoyo y disposición en este trabajo de investigación

A todos aquellos que formaron parte en este proceso y desarrollo de este trabajo de tesis, para lograr el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el contenido de carotenoides y clorofila en cinco grados de madurez (ají cerezo 100% verde (C1); ají cerezo 70% verde (C2); ají cerezo 40% verde (C3); ají cerezo 20% verde (C4) y ají cerezo 100% rojo (C5) utilizando imágenes hiperespectrales en rango visible (Vis) desde 380 a 750 nm (37 bandas espectrales). Los ajíes fueron recolectados en diferentes grados de madurez desde el color verde hasta el rojo entero. Los parámetros de calidad de clorofila y carotenoides totales fueron determinados mediante método espectrofotométrico y su contenido fue correlacionado con los datos espectrales.

Durante el proceso de maduración se incrementa el contenido de carotenoides en ajíes cerezos rojos de (43.608mg/g-145.45mg/g) y disminuye el contenido de clorofila conforme avanza la maduración de (229.33 mg/g-0mg/g) en ají cerezo verde; así mismo, no hubo diferencia significativa entre los parámetros de pH, °Brix y acidez titulable durante la maduración.

El Índice espectral (CRI2) mostró una correlación positiva de 0.851 ($p < 0,05$) con respecto al contenido de carotenoides y una correlación negativa de -0.5639 ($p < 0,05$) respecto al contenido de clorofila, estos métodos permitirían analizar muestras intactas de ajíes cerezos triangulares en distintos grados de madurez.

Palabras clave: ají cerezo triangular, índice espectral, imágenes hiperespectrales.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the content of carotenoids and chlorophyll in five degrees of maturity (100% green cherry chili, 70% green cherry chili, 40% green cherry chili, 20% green cherry chili and 100% red cherry chili pepper) using images hyperspectral in visible range (Vis) from 380 to 750 nm (37 spectral bands), which is a method of non-destructive analysis and which facilitates the evaluation of the quality of vegetables based on color measurement. The peppers were collected in different degrees of maturity from green to red completely, the quality parameter of chlorophyll and total carotenoids was determined by spectrophotometric method and their content was correlated with the spectral data.

During the maturation process, the content of carotenoids in red cherry peppers (43.608mg / g-145.45mg / g) is increased and the chlorophyll content decreases as maturation progresses (229.33 mg / g-0mg / g) in chili peppers green cherry; likewise, there was no significant difference between the parameters of pH, ° Brix and titratable acidity during ripening

The spectral index (CRI2) showed a positive correlation of 0.851 ($p < 0.05$) with respect to the content of carotenoids and a negative correlation of - 0.5639 ($p < 0.05$) with respect to the chlorophyll content. Concluding that these methods would allow to analyze intact samples of triangular cherry peppers in different degrees of maturity.

Key words: triangular cherry chili, Spectral Index, hyperspectral images.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del género *Capsicum* hace 10,000 años aproximadamente, en el continente americano, éste ha estado presente en la vida de las personas, contribuyendo no sólo a enriquecer el ámbito culinario sino también con gran importancia en el ámbito social, religioso, cultural, medicinal y económico. Las plantas del género *Capsicum* se encuentran difundidas alrededor del mundo siendo conocidas bajo diferentes nombres como ají, chile, pimiento, chili pepper, entre otros. Estas denominaciones pueden variar según el idioma y las costumbres del lugar en donde se encuentran, pero lo que se mantiene constante es la importancia que tienen los *Capsicum* por sus propiedades organolépticas (sabor, color, olor, textura, etc.) (Espinoza P., 2017)

Las plantas de ajíes (*Capsicum* spp.) han sido domesticadas, cultivadas y comercializadas entre los indígenas del Nuevo Mundo hace aproximadamente 6000 años. Como evidencia científica, en una investigación del Smithsonian National Museum of Nature History's Archaeobiology Program, USA, se descubrió un desconocido microfósil de grano de almidón, provenientes de ajíes, encontrados en Venezuela, Bahamas, Panamá, Ecuador y Perú.

El ají, en sus muchas variedades, es uno de los pocos productos de la tierra que tienen una profunda identificación con el Perú, simboliza a la fuerza y vitalidad de su gente. Los expertos en la culinaria nacional coinciden en que el ají equivale a la piedra angular de la gastronomía peruana, la misma que ha cruzado las fronteras (Perry L., et al. 2007)

Uno, de ellos es el ají cerezo, es un ají del norte del Perú principalmente Chiclayo que se cultiva en huertos, su producción es baja, es de color rojo intenso presenta forma redondos o cónicos (triangular) (Ugás & Mendoza, 2012). Este ají es solo cultivado en huertos a pequeña escala y no ha sido estudiado su composición química, pero presenta una amplia gama de colores debido a la variación en la concentración de pigmentos, principalmente carotenos, sufren un gran cambio de color durante la maduración debido a la variación en la concentración de pigmentos, lo que determina que en los frutos verdes existan principalmente clorofilas, mientras que en los frutos rojos, se encuentran en mayor concentración los carotenoides (Figuroa Cares, et al, 2015)

Los antioxidantes pueden bloquear los radicales libres que modifican el colesterol malo, reduciendo así el riesgo cardiovascular. Asimismo, los bajos niveles de antioxidantes pueden constituir un factor de riesgo para ciertos tipos de cáncer. Por otro lado, los antioxidantes

presentes en algunos alimentos ayudan a no envejecer antes de lo debido y protegen contra diversos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares.

Las imágenes hiperespectrales, o espectroscopia de imagen, combinan el poder de la imagen digital y la espectroscopia. Este enfoque analítico permite la identificación espacial y la determinación cuantitativa de las especies químicas en una muestra.

Las imágenes hiperespectrales proporcionan información más detallada sobre la escena en comparación con una cámara de color RGB, que sólo adquiere tres canales espectrales diferentes que corresponde a los visuales colores primarios rojo verde y azul. Por lo tanto, conducen a una capacidad mejorada para clasificar los objetos en la escena basada en sus propiedades espectrales (Mundaca Vidarte, 2016).

Es por ello, que se hace el estudio de determinación del nivel de carotenoides totales durante la madurez del ají cerezo (*Capsicum annuum*) utilizando la tecnología de visión artificial mediante método no destructivo, empleando imágenes hiperespectrales.

Esta investigación pretende dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿Cuál es el índice de carotenoides en cinco grados de madurez del ají cerezo triangular (cónicas) (*Capsicum annuum*), utilizando imágenes hiperespectrales?.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales de *Capsicum*

2.1.1. Origen y Taxonomía

Según Paredes y Peche (2019), los ajíes pertenecen al género *Capsicum*, este género se incluye en la extensa familia de las Solanáceas del orden Tubiflorae, que a su vez está en la clase Dicotiledoneae.

El género *Capsicum* tuvo su origen en la zona andina y selvática de lo que antes se denominó el Alto Perú, zona que incluye la cuenca del Lago Titicaca y lo que hoy pertenece a Bolivia. Desde esta zona, el ají logró una expansión a través de Perú, Bolivia y posteriormente el resto de América del Sur y Central, gracias a las corrientes de los ríos y a las aves migratorias, quienes hicieron las labores de propagación natural (Gastronomía, 2009).

La región de Perú y Bolivia es uno de los dos centros de origen de mayor diversidad genética del ají, el cual ha estado presente en la vida de los pobladores de estas zonas desde hace mucho tiempo. En el actual Perú durante la época de las culturas pre-Incas, el ají era utilizado no solo en la preparación de sus alimentos siendo uno de los componentes más importantes de sus dietas, sino también formaba parte de su arte, e incluso, sus usos se extendieron a la religión (Gastronomía, 2009).

El género que deriva del griego, según unos autores de kapsos (picar) y según otros de kapsakes (cápsula), incluye cerca de 25 especies silvestres y 5 domesticadas *Capsicum chinense*, *C. baccatum*, *C. annuum*, *C. pubescens* y *C. frutescens*. La taxonomía de este género es compleja debido a la gran variedad de formas existentes en las especies cultivadas y a la diversidad de criterios utilizados en la clasificación (Nuez, Gil, & Costa, 1996).

Según él (System, 2012) los *Capsicum* se clasifican de la siguiente manera:

| | |
|----------|----------------------|
| Reino | : Plantae |
| División | : Magnoliophyta |
| Clase | : Magnoliopsida |
| Subclase | : Asteridae |
| Orden | : Solanales |
| Familia | : Solanaceae |
| Género | : <i>Capsicum</i> L. |

2.1.2. Usos

En la alimentación, el género *Capsicum* provee muchas especies y variedades usadas en alimentos populares en la cocina de muchas partes del mundo (Loayza & Di Fabio, 2001).

Los tipos picantes se usan en fresco (sean verdes o maduros), en encurtidos, secos (enteros o convertidos en polvo) o como salsa industrializada. Los tipos dulces (no picantes) son utilizados en verde como una hortaliza, pero también se consumen maduros, frescos, encurtidos, asados y cocinados de múltiples formas, secos, en polvo o en conserva (Nuez, Gil, & Costa, 1996).

En la agroindustria, se utilizan las oleorresinas de *Capsicum*, extractos de naturaleza oleosa, que proporcionan compuestos aromáticos, pungentes y carotenoides, obtenidos de la extracción de los ajíes deshidratados con solventes orgánicos (hexano, acetato de etilo o acetona), pero además existen otros trabajos empleando bajas temperaturas usando dióxido de carbono supercrítico ($ScCO_2$) que muestran resultados más satisfactorios en cuanto a pureza, integridad de los carotenoides y concentración de los mismos en la oleorresina obtenida. Las oleorresinas de *Capsicum* están compuestas en su mayoría por la capsaicina, dihidrocapsaicina, capsantina y capsorrubina; las dos primeras son responsables del principio térmico o pungencia y las otras dos de la coloración naranja o rojiza de los frutos, y en menor medida de compuestos volátiles, debido a la pérdida producida al momento de la extracción (Restrepo, 2006).

Las oleorresinas de *Capsicum* picantes, se extraen mayormente de variedades de *C. annuum* y se usan como aditivos en la industria cárnica, embutidos, cerdo ahumado, sopas deshidratadas, salsas, bebidas gaseosas y variedades de snack (Loayza & Di Fabio, 2001).

Los carotenoides como la capsantina y la capsorrubina, que son componentes claves asociados a la coloración roja del género *Capsicum*, pueden presentar efectos antibacteriales y antifúngicos (Brito, Moguel, Zamudio, Gonzales, & Islas, 2009); (Daood, y otros, 2002). En este sentido, (CL, Solar, El Ghaouth, & Wisniewski, 1997), observaron que extractos de carotenoides obtenidos de *Capsicum annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens* inhibieron hasta en un 99 % la germinación de conidios de *Botrytis cinerea*.

2.2. Ají cerezo (*Capsicum annuum*)

El ají cerezo tiene la forma de una cereza de ahí su nombre, las vainas son pequeñas y redondas, miden de 1 ½ pulgada de diámetro; en estado inmaduro son de color verde y en estado maduro son de color rojo intenso. Esta variedad se encuentra en la selva peruana, no existe cultivo comercial de ají cerezo, aunque algunas plantas son cultivadas en pequeñas chacras, la mayoría de este ahí se cultiva en huertos y se pueden encontrar solo en mercados locales. El Ají cerezo se come fresco con alimentos o utilizado como ingrediente en la preparación de platos y salsas (The Chile Pepper Institute Newsletter, 1997).

El ají cerezo, también es característico de la región Lambayeque y normalmente en los mercados y en las chacras se observa una mezcla varietal en la que se presentan frutos redondos y frutos elongados denominándose como cerezo triangular (Ugás & Mendoza, 2012). El grupo cerezo se caracteriza por el color verde del tallo, color blanco de la corola, color morado claro de las anteras, forma casi redonda y triangular del fruto, ausencia de cuello en la base del fruto y las proporciones de tamaño del fruto más pequeño. El (INIA, 2013) en su catálogo de ajíes nativos, menciona que los frutos del grupo cerezo presentaron las siguientes características: es de color rojo del fruto maduro, de forma elongada, casi redonda y triangular, tamaño promedio de 3.4 cm, diámetro promedio de 1.8 cm y peso promedio de 5.4 g. Figura 1. (Navarro, 2014) realizó una investigación sobre uso de abonos orgánicos en ají cerezo triangular y encontró una alta variabilidad en formas de fruto, proponiendo la siguiente clasificación:



Figura 1: (a) Ají cerezo Tipo B



(b) Ají cerezo Tipo A y C

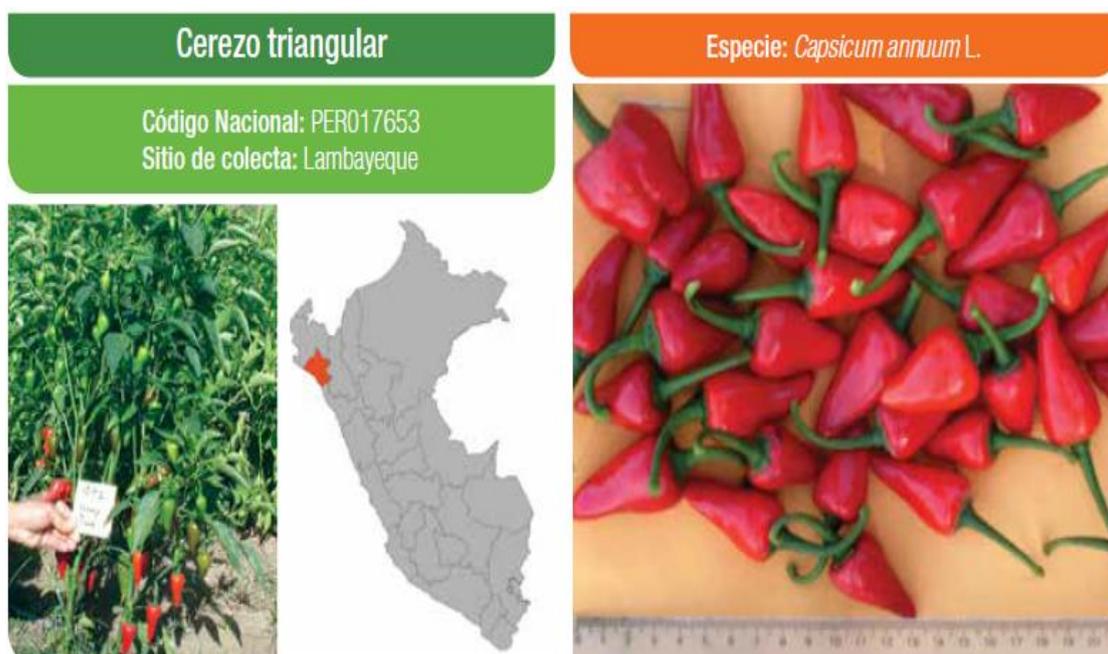


Figura 2: Ají cerezo triangular del departamento de Lambayeque.

Fuente: (INIA, 2013).

Tipo A: Forma triangular, unión con el pedicelo truncado, ápice del fruto de forma puntiaguda o roma.

Tipo B: Forma triangular, pero más acorazonada y pequeña, unión con el pedicelo truncado, forma del ápice romo.

Tipo C: Forma elongada, unión con el pedicelo obtusa, ápice puntiagudo.

2.2.1. Composición química

Tabla 1

Caracterización bioquímica del fruto seco (valor, promedio y rango de referencia)

| Localidad | Capsaicinoides mg/100 g | Vitamina E mg/100 g | Capacidad Antioxidante mmol/100 g | Flavonoides mg/100 g | Quercetina mg/100 g | Azúcar g/100 g | Grasa g/100 g |
|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| Chiclayo | 234.8 | 23.37 | 3.9 | 5.1 | 2.9 | nd | 15 |
| Huaral | 341.5 | nd | 3.9 | 5.6 | 4.0 | 13.8 | 12 |
| Tambogrande | 320.7 | 16.52 | 3.3 | 3.4 | 2.3 | nd | 13.8 |
| Pucallpa | 370.0 | 24.20 | 3.4 | 3.6 | 2.1 | nd | 10.5 |
| Promedio | 291.7 | 21.40 | 3.6 | 4.4 | 2.8 | 13.8 | 12.8 |
| Rango | 1-1736.2 | 0.2-33.3 | 2.0-9.2 | 1.3-27.0 | 1.3-22.6 | 8.4-39.5 | 2.2-23.1 |

Fuente: (INIA, 2013).

2.3. Antioxidante

Un antioxidante es toda sustancia que retrasa o previene el deterioro, daño o destrucción provocados por una oxidación. La oxidación siempre deteriora la cosa que oxida, aunque a menudo resulte muy útil, pues, de hecho, es la fuente misma de toda nuestra energía y, en consecuencia, nuestros cuerpos no podrían funcionar sin ella. Pero en otros casos, como cuando los radicales libres provocan un daño celular durante los procesos de enfermedad, está lejos de ser útil y, naturalmente, se debe intentar hacer algo para detenerla. Es aquí donde entran los antioxidantes (Youngson, 1994).

Los antioxidantes impiden que otras moléculas se unan al oxígeno, al reaccionar o interactuar más rápido con los radicales libres del oxígeno y las especies reactivas del oxígeno que con el resto de las moléculas presentes, en un determinado microambiente: membrana plasmática, citosol, núcleo o líquido extracelular (Camps, 2010).

Un radical libre es considerado como un agente oxidante, y se genera cuando una molécula pierde un electrón, quedando de esta manera con un electrón desapareado, lo cual provoca inestabilidad en la molécula o átomo. Esta molécula tratará de estabilizarse de nuevo buscando un electrón. La formación de radicales libres en los sistemas humanos es muy problemático, debido a que muchas moléculas de nuestro cuerpo participan en las funciones fisiológicas normales del organismo. Muchas de las moléculas que se encuentran en contacto con los radicales libres terminan siendo destruidas o dañadas (Cox, 2001).

Al igual que todos los chiles (*Capsicum* spp.), se cultivan también como una fuente de nutrientes como carbohidratos, azúcares, calcio, magnesio, β -caroteno, ácido ascórbico, tocoferoles, las vitaminas A, C y E, y numerosos compuestos bioactivos no nutritivos como

carotenoides y capsaicinoides, los cuales presentan actividad antioxidante importante (Antonious, Kochhar, Jarret, & Snyder, 2006).

Los chiles fuertes (picantes) contienen varios tipos de antioxidantes y su contenido aumenta a lo largo de su maduración. La luteolina es el antioxidante principal del chile, seguido de la capsaicina y de la quercetina. Estos compuestos previenen algunos cánceres y enfermedades cardiovasculares (Delecroix, 2016).

2.3.1. Clasificación de antioxidante

(Camps, 2010) Agrupa a los antioxidantes de acuerdo a su origen o precedencia (Tabla 2 y 3), así se encuentra antioxidantes exógenos y endógenos.

Tabla 2

Antioxidantes exógenos

| Antioxidante | Acción |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vitamina E | <ul style="list-style-type: none"> - Neutraliza el oxígeno singlete - Captura radicales libres hidroxilos - Captura O₂ - Neutraliza peróxidos |
| Vitamina C | <ul style="list-style-type: none"> - Neutraliza el oxígeno singlete - Captura radicales libres de hidroxilo - Captura O₂ - Regenera la forma oxidada de Vitamina E. |
| Carotenoides, Flavonoides | <ul style="list-style-type: none"> - Neutraliza el oxígeno singlete |

Fuente: (Camps, 2010).

Tabla 3*Antioxidantes endógenos*

| Grupo | Antioxidante | Cofactor |
|----------------|----------------------------|-----------------------|
| Enzimáticos | Superoxido dismutasa (SOD) | Cobre, Zinc Magnesio. |
| | Catalasa (CAT) | Hierro |
| | Glutación peroxidasa (GPX) | Selenio |
| | Glutación reductasa | |
| No enzimáticos | Glutación | |
| | Coenzima Q | |
| | Ácido tioctico | |
| | Tiorredoxinas (TRX) | |

Fuente: (Camps, 2010).

Pedraza A. (2014) señala que los antioxidantes en los alimentos pueden originarse de compuestos que se encuentran naturalmente en productos alimenticios o bien de sustancias adicionadas durante su procesamiento (pp. 15)

El cuerpo produce antioxidantes naturales que contrarrestan los efectos negativos de la oxidación. Pero a medida que una persona envejece, produce menos antioxidantes. Por esta causa expertos recomiendan agregar antioxidantes a la dieta. (pp. 15)

Es conocido que dietas ricas en frutas y vegetales son capaces de prevenir o disminuir el efecto de ciertas enfermedades crónico-degenerativas, incluidas las cardiovasculares y el cáncer. (Pedraza A. 2014, pp. 15)

Debido a esto, muchos científicos han investigado las propiedades fitonutracéuticas de los productos agrícolas, específicamente su capacidad antioxidante natural. Los antioxidantes naturales más ampliamente estudiados son los flavonoides, polifenoles, carotenoides, fibra, vitaminas (A, B, C, E), tocoferoles, calcio y selenio. Estos compuestos y elementos pueden actuar independientemente o en combinación con agentes protectores mediante una variedad de mecanismos. (Pedraza A. 2014, pp. 15)

Actualmente se ha descubierto que muchos metabolitos secundarios sintetizados en las plantas, son una buena fuente de compuestos con capacidad antioxidante; tales como tocoferoles, carotenoides, flavonoides y vitamina C entre otros. Razón por la cual hoy en día se determina el nivel de antioxidantes en frutas, hortalizas, especias, plantas medicinales y en alimentos procesados. (Pedraza Anselmo, S., 2014)

2.3.1.1. Carotenoides

a. Generalidades y estructura química

El ají, posee componentes bioactivos importantes como los capsaicinoides y antioxidantes, representando la capsaicina más del 90% de los capsaicinoides; sin embargo existe muy poca investigación científica publicada sobre los ajíes comerciales del Perú, en cuanto a grado de picor, valor nutritivo y antioxidantes; sí mismo, los ajíes nativos son cultivados por pequeños agricultores bajo sistemas tradicionales de agricultura en pequeños huertos, y chacras donde son utilizados para autoconsumo o vendido en mercados locales con diversos nombres comunes o populares, Estos ajíes presentan propiedades (compuestos aromáticos y pungencia) y características (sabor, aroma, forma y color) que pueden ser apreciadas en ámbitos como la gastronomía, medicina, agroindustria, entre otros (Espinoza P., 2017).

Los carotenoides son un grupo de fitoquímicos que de manera natural se encuentran como pigmentos y son sintetizados invariablemente en los cloroplastos de las plantas superiores (Delgado-Vargas y Paredes- López, 2003). También se encuentran en las algas, bacterias, hongos y levaduras. Se estima que la naturaleza produce aproximadamente 100 millones de toneladas de carotenoides al año (Rodríguez, 1999). Estructuralmente los carotenoides consisten en ocho unidades de isopreno y son hidrocarburos que pueden ser lineales o con anillos cíclicos en uno o en ambos extremos terminales de la cadena hidrocarbonada.

Los carotenoides hidrocarbonados son los llamados carotenos, donde se derivan los que tienen funciones oxigenadas, las cuales son llamadas xantofilas.

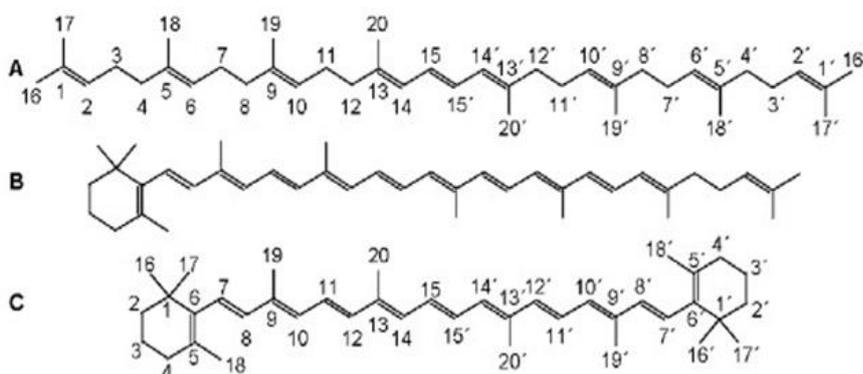


Figura 3. Estructura de algunos carotenos. A) Estructura de caroteno lineal, correspondiente al fitoeno. B) Estructura de caroteno monocíclico, correspondiente al γ -caroteno. C) Estructura de caroteno bicíclico, correspondiente al β -caroteno.

b. Propiedades físicas

El rasgo característico de los carotenoides es su cadena poliénica, que es un sistema extenso de dobles enlaces conjugados, que consiste en alternar enlaces carbono-carbono simple y doble. Esta cadena actúa como cromóforo y es la responsable de la capacidad de estos pigmentos de absorber luz en el visible y, en consecuencia, de su color. La longitud de onda a la que absorben los carotenoides aumenta con el número de dobles enlaces conjugados. Así, el licopeno, que es el caroteno más insaturado, es rojo. La ciclación también influye en el grado de coloración y, por tanto, el β -caroteno y el γ -caroteno, aunque tienen el mismo número de dobles enlaces conjugados que el licopeno, son de color naranja y rojo-naranja, respectivamente. Debido a la existencia de estos dobles enlaces conjugados, todos los carotenoides presentan el fenómeno de isomerización cis-trans. En general, la forma predominante en la naturaleza son los isómeros trans, aunque para ciertos carotenoides, como el fitoeno, los isómeros cis son los más abundantes. Además, aproximadamente la mitad de los carotenoides naturales poseen al menos un carbono asimétrico consecuentemente, dan lugar a isómeros ópticos entre los distintos compuestos (Britton 1998).

Los carotenoides se consideran lípidos y, como tales, son solubles en otros lípidos y solventes orgánicos como acetona, etanol, metanol, éter etílico y cloroformo. Los carotenos se solubilizan en solventes apolares como éter de petróleo y hexano, mientras que las xantofilas se disuelven mejor en solventes polares como etanol y metanol (Gross 1987).

La polaridad de los carotenoides está directamente relacionada con su estructura química: en los carotenos, la polaridad aumenta con el número de dobles enlaces conjugados. En los carotenos cíclicos, el anillo β - es más polar que el ϵ -. En las xantofilas, la polaridad de los grupos funcionales aumenta desde el grupo menos polar monoepoxi al más polar hidroxilo (Gross 1987).

Tanto en plantas como en animales, los carotenoides se encuentran como cristales o sólidos amorfos, en solución en medios lipídicos, en dispersión coloidal o en combinación con proteínas en fase acuosa (Fraser y Bramley 2004).

c. Funciones biológicas

Los carotenoides no son sólo otro grupo de pigmentos naturales, sino que son compuestos con propiedades funcionales importantes.

Además de ser los responsables de la coloración de muchas flores y frutos (Goodwin 1980), regulan las propiedades físicas de las membranas celulares vegetales, de forma similar a como lo hace el colesterol en las membranas animales (revisado en Gruszecki y Strzalka 2005).

Los carotenoides presentes en los complejos antena fotosintéticos captan energía en sus longitudes de onda características, gracias a sus sistemas de dobles enlaces conjugados, y la transfieren a las clorofilas, ampliando así el espectro de luz que un organismo puede utilizar para la fotosíntesis. En concreto, en el complejo antena LHCII se ha descrito la existencia de sitios de unión a cuatro carotenoides, tres de los cuales (dos moléculas de luteína y una de neoxantina) participan en la captación y transferencia de energía. El cuarto carotenoide es un pigmento del ciclo de las xantofilas (zeaxantina, anteraxantina o violaxantina), que juega un papel decisivo en la disipación de la energía excedente (fotoprotección) y en la detoxificación de las formas reactivas del oxígeno que se forman durante la fotosíntesis (Merchant y Sawaya 2005).

Otra función derivada del sistema de dobles enlaces conjugados característico de su cromóforo es la capacidad de los carotenoides para desactivar radicales libres altamente agresivos para el organismo y que se originan como subproductos del metabolismo celular. El comportamiento antioxidante in vivo de los carotenoides depende, además de su estructura, de la concentración y localización celular y tisular de los mismos.

2.3.1.2. Importancia nutricional

La primera función que se atribuyó a los carotenoides en animales fue como precursores de la vitamina A. El requerimiento mínimo para que una molécula tenga actividad provitamina A es un anillo β - no sustituido con una cadena poliénica de once carbonos. Por tanto, si nos basamos en consideraciones estructurales, de los más de 700 carotenoides conocidos actualmente, aproximadamente 50 de ellos tendrían actividad provitamina A. La dieta proporciona vitamina A de dos formas, como vitamina A preformada (retinil éster, retinol, retinal, 3-dehidroretinol y ácido retinoico) a partir de alimentos de origen animal, o como carotenoides, que se pueden transformar biológicamente en vitamina A (provitaminas A), generalmente a partir de alimentos de origen vegetal. La provitamina A tiene la ventaja de convertirse en vitamina A sólo cuando

el cuerpo lo requiere; evitando así la toxicidad potencial de una sobredosis de vitamina (Melendez Martinez et al. 2004; Fraser y Bramley 2004).

Los carotenoides también se han relacionado con un aumento del sistema inmune y una disminución del riesgo de padecer enfermedades degenerativas tales como cánceres y enfermedades cardiovasculares. Estos efectos biológicos se han atribuido a una propiedad antioxidante de los carotenoides a través de la desactivación de los radicales libres y la captura del oxígeno (Melendez Martinez et al. 2004; Fraser y Bramley 2004). Además, la longitud de onda a la que absorben algunos carotenoides les proporciona capacidad protectora frente a la radiación UV (Melendez Martinez et al. 2004; Fraser y Bramley 2004).

2.3.1.3. Carotenoides en el género *Capsicum*

Los carotenoides, son responsables de la coloración amarillo, naranja y rojo de las flores, frutas y vegetales (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003). Además muestran un potente efecto protector frente a varios tipos de cáncer, en la prevención de úlceras gástricas, estimulación del sistema inmune, prevención de enfermedades cardiovasculares, y protección frente a degeneración macular y cataratas (Krinsky y Johnson, 2005), a la vez que son requeridos para la diferenciación celular humana.

El color verde del chile es debido a la clorofila y carotenoides típicos de los cloroplastos (Marín et al., 2004). El color amarillo-anaranjado es formado por el α y β - caroteno, zeaxantina, luteína y β -criptoxantina (Howard, 2001). El color rojo es debido a la presencia de pigmentos de carotenoides de capsantina, capsorubina y capsantina 5,6-epóxido. Por lo tanto, los diferentes colores de los chiles pueden deberse a los diferentes niveles de estos compuestos. Los diferentes estados de madurez del chile pueden tener diferente actividad antioxidante (Sun et al., 2007).

Matsufuji et al., (1998) hacen mención que el chile maduro (rojo, amarillo, anaranjado) presenta mayores contenidos de carotenoides que los frutos inmaduros. La concentración de carotenoides en tejidos vegetales depende de las condiciones agronómicas, especialmente exposición a la luz y aporte de nitrógeno. Los principales carotenoides presentes en alimentos son α - y β -caroteno, luteína, licopeno, β -criptoxantina y zeaxantina. Los carotenoides del tipo amarillo β -caroteno y β -criptoxantina son la principal fuente de vitamina A (Wall et al., 2001).

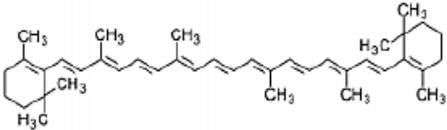
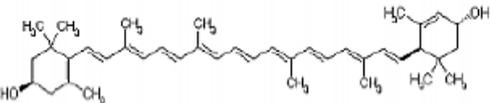
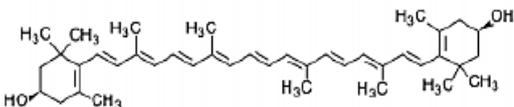
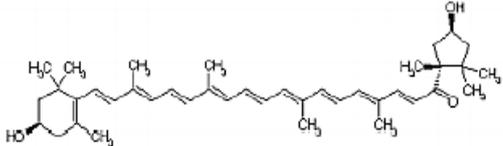
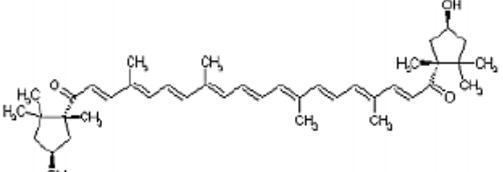
| ESTRUCTURA | NOMBRE |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|  | B – caroteno |
|  | Luteína |
|  | Zeaxantina |
|  | Capsantina |
|  | Capsorubina |

Figura 4. Principales estructuras de carotenos y xantofilas presentes en el pericarpio del chile.

Fuente. Matsufuji et al., (1998)

2.4. Análisis hiperespectral

El análisis de imágenes hiperespectrales es el estudio de la interacción entre la materia y la energía electromagnética. Los átomos y moléculas pueden pasar a un estado activado durante un corto periodo de tiempo regresando luego a su estado fundamental, este análisis integra espectroscopia e imagen suministrando información espectral y física de una muestra (Diezma Iglesias & Diaz Barcos, 2013), estas imágenes se obtienen de manera remota o local a través de sensores que hacen uso de cientos de bandas espectrales contiguas y discretas (Chang, 2007). Este análisis provee a muchos campos de investigación una técnica no destructiva, tal es el caso de la agricultura donde existe un creciente interés por la evaluación de la calidad de productos agroalimentarios y salud de los cultivos (Dale, y otros, 2013).

A través de estas imágenes es posible hacer un estudio espectroscópico para inferir características químicas a partir de la absorción de la energía por parte de la materia (Peguero Gutiérrez, 2010).

2.4.1. Espectro electromagnético

En su mayoría las propiedades de la radiación electromagnética se explican adecuadamente con un modelo clásico de onda sinusoidal que utiliza parámetros como la longitud de onda, la frecuencia, la velocidad y la amplitud.

La Figura 5 se muestra una representación en dos dimensiones del vector eléctrico que es el responsable de los fenómenos de transmisión, la reflexión, la refracción y la absorción.

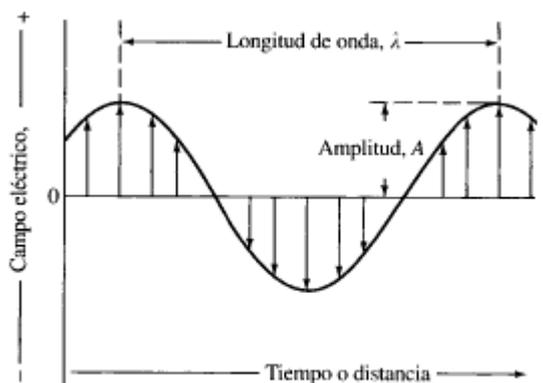


Figura 5: Vector Eléctrico

Fuente: (Roman-Gonzalez & Vargas-Cuentas, 2013)

La radiación electromagnética tiene propiedades fundamentales y su comportamiento se da de manera predecible de acuerdo a la teoría de ondas. Se puede definir según la siguiente ecuación:

$$C = \lambda f$$

Donde

C = Velocidad de la Luz.

λ = Longitud de onda

f = Frecuencia

En la Figura 6 se muestra el espectro electromagnético según (Roman-Gonzalez & Vargas-Cuentas, 2013).

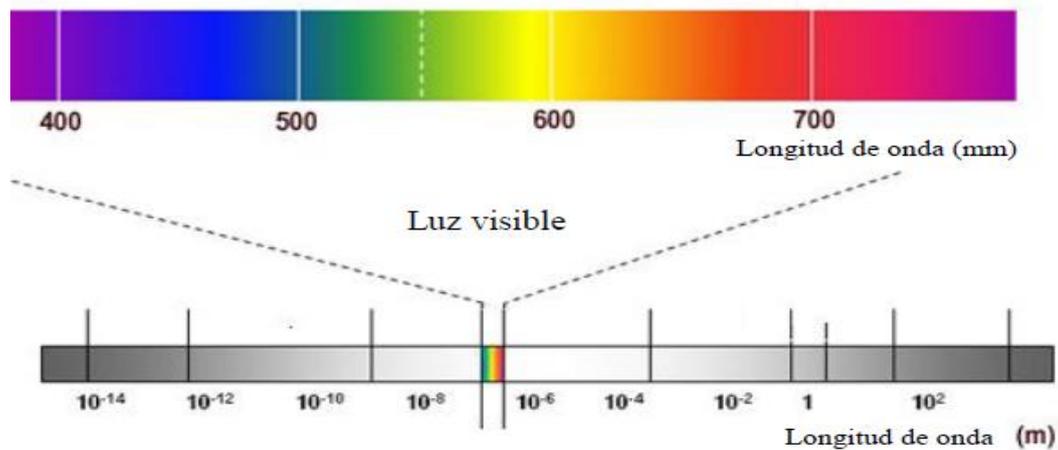


Figura 6: Espectro Electromagnético

Fuente: (Roman-Gonzalez & Vargas-Cuentas, 2013)

2.4.2. Imagen hiperespectral

La imagen hiperespectral también denominado visión hiperespectral es relativamente una técnica nueva que integra imágenes y espectroscopia en un solo sistema, lo que permite adquisición de información espacial y espectral simultáneamente desde un objeto. Como resultado, la tecnología proporciona datos extraordinarios, que se pueden analizar para detectar, identificar, y cuantificar objetos con imágenes con más detalle, que de otro modo no se puede lograr ya sea por imagen o espectroscopia sola (Goetz, Vane, Solomon, & Rock, 1985);(ElMasry, Wang, ElSayed, & Ngadi, 2007).

Esta técnica espectroscópica realiza la medición de un amplio rango de estrechas longitudes de ondas en posiciones tridimensionales, de esta manera muestra la interacción de la radiación electromagnética con la materia, lo que permite obtener una base de información espacial y espectral, es decir, un espectro por cada píxel (Diago et al, 2014). La imagen extraída mediante sensores hiperespectrales está representada en forma de cubo de datos, que son adquiridas en una gran cantidad de canales espectrales muy cercanos entre sí, obteniendo por cada porción de píxel, una firma espectral o «huella dactilar» (Gonzales C. , 2012); (Landgrebe, 2002).

Los principales retos de la visión hiperespectral es el manejo y análisis de esas grandes y complejas bases de datos para la extracción de la información relevante contenida en ellas (Fernandez Pierna, Vermeulen, Dardenne, & Baeten, 2010).

El punto de partida para ello lo constituyen los métodos de pre-procesado de espectros (normalización, suavizado, centrado, diferenciación, etc.) y asociado con análisis multivariados (técnicas de correlación, análisis de componentes principales, análisis discriminantes, etc.) aplicados tradicionalmente a la espectroscopia (ElMasry, Wang, ElSayed, & Ngadi, 2007); (Gowen, O'Donnell, Cullen, Downey, & Frias, 2007); ha sido implementado con éxito para la evaluación de calidad de diversos productos agrícolas y alimenticios (ElMasry, Wang, ElSayed, & Ngadi, 2007).

Por ejemplo, las imágenes hiperespectrales se han utilizado para predecir sensibilidad, pH, color y capacidad de retención de agua (WHC) en la carne de vacuno (ElMasry, Barbin, Sun, & Allen, 2012); (ElMasry, Kamruzzaman, Sun, & Allen, 2012).

2.4.3. Fundamentos de imágenes hiperespectrales

Los fundamentos de la tecnología de imágenes hiperespectrales incluyen hardware para adquirir las imágenes y el software para procesar las imágenes para que la información útil de las imágenes espectrales se puede extraer para correlacionarlas con las características reales de identificación, fines de detección, clasificación y mapeo de los productos examinados (Kim, Kim, Chen, & Kong, 2004).

Un sistema de imagen hiperespectral consta de cuatro partes principales: una fuente de luz, una luz /dispositivo de dispersión de longitud de onda (espectrógrafo) y unidad de imagen (cámara) y una computadora equipado con software de adquisición de imágenes (Kim, Kim, Chen, & Kong, 2004), como se ilustra en la figura 7.

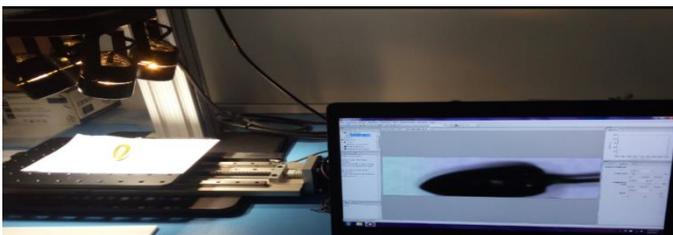


Figura 7: Representación esquemática de los componentes principales de las imágenes hiperespectrales del sistema.

Fuente: elaboración propia

La Imagen hiperespectral, o espectroscopía de imágenes, se refiere a la creación de una imagen digital que contiene una alta resolución espectral (color), Cada punto espacial (píxel) en una imagen hiperespectral representa una curva continua de intensidad de luz entrante frente a la

longitud de onda. Por ejemplo, las flechas rojas, verdes y azules a continuación muestran los espectros de tres píxeles de una imagen de una hoja en la imagen de abajo. Los datos también se pueden interpretar como una pila de imágenes, con cada capa en la pila que representa la escena en una longitud de onda diferente: esta "pila" de imágenes bidimensionales se conoce como "Datacube" (Resonon, Octubre 25, 2016).

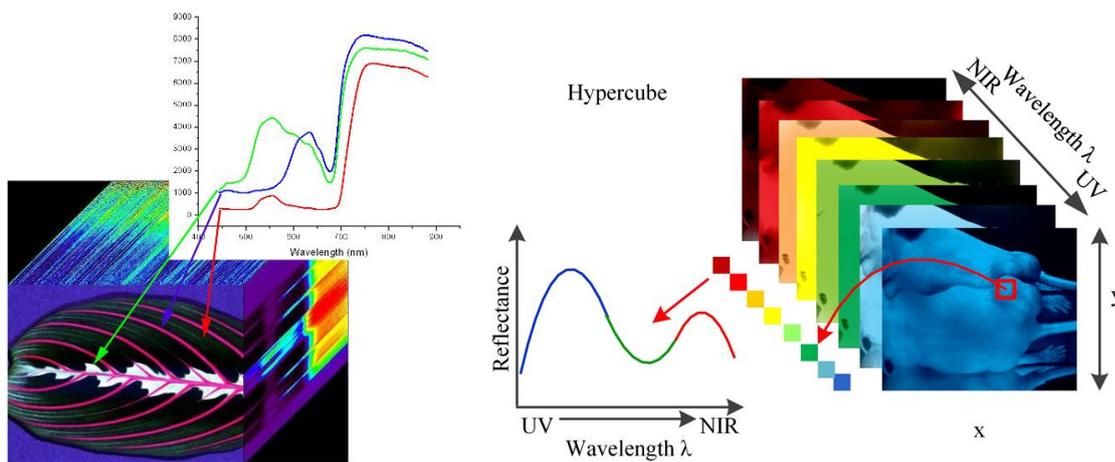


Figura 8: el "hypercube" se muestra como diferentes imágenes espaciales 2D $I(x, y)$ en cualquier longitud de onda o como espectro $I(\lambda)$ en diferentes ubicaciones espaciales.

Fuente: (Resonon, Octubre 25, 2016)

El beneficio de la información adicional proporcionada por las imágenes hiperespectrales es que se puede aplicar a un amplio gama de aplicaciones actuales y emergentes en teledetección, clasificación, control de calidad, investigación, desarrollo, y más (Resonon, Octubre 25, 2016).

2.4.4. Cámara hiperespectral

La cámara de imágenes hiperespectrales Resonon Pika L es un sistema integral de hardware y software para la adquisición y análisis de datos hiperespectrales (ver Figura 9). Es un instrumento de fácil manejo, cuenta con una excelente calidad de imagen, alta SNR (Signal to Noise Ratio), distorsiones y luz difusa escasa. La cámara permite la creación de una imagen digital que comprende una resolución espectral muy alta. Además un píxel de la imagen hiperespectral representa una curva continua de la intensidad de la luz entrante contra longitud de onda. (Resonon, Octubre 25, 2016).

El sistema de imágenes hiperespectrales de Resonon Pika L está compuesto por:

- Una cámara de imagen hiperespectral Pika,
- Una etapa de traducción lineal,
- Una torre de montaje,

- Un conjunto de iluminación y
- Un sistema de control de software.



Figura 9: Benchtop hyperspectral imaging system
 Fuente: (Resonon I. , Octubre 25, 2016)

La imagen hiperespectral posee un píxel (considerado como un vector), adquirido por una cámara hiperespectral, puede ser visto como una firma espectral o “huella digital” de los materiales subyacentes en el píxel (González, 2012).

Sistema de Visión Hiperespectral Pika L

| | |
|---------------------|---------------|
| Spectral Range | 400 - 1000 nm |
| Spectral Resolution | 2.1 nm |
| Spectral Channels | 281 |
| Spatial Channels | 900 |
| Max Frame Rate | 249 fps |
| Bit Depth | 12 |

Fuente: (Resonon, 2018)

El rango de la cámara hiperespectral Pika L está definido entre 400 y 1000 nm (ver Figura 10):

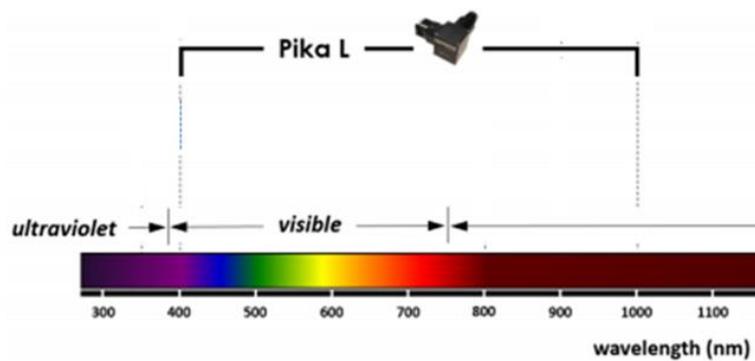


Figura 10. Rango Hiperespectral de la Cámara Pika L.

Fuente: (Resonon, 2018) (s/f). Elaboración: propia

2.4.5. Spectronon

El software Spectronon permite evaluar los datos hiperespectrales adquiridos por la cámara, además de utilizar aplicaciones para el procesamiento de imágenes (ver Figura 11).

Spectronon es un poderoso paquete de software de visualización y análisis de datos hiperespectrales, ofrece un flujo de trabajo eficiente y es altamente extensible por el usuario para personalizar aplicaciones (Resonon, Octubre 25, 2016).

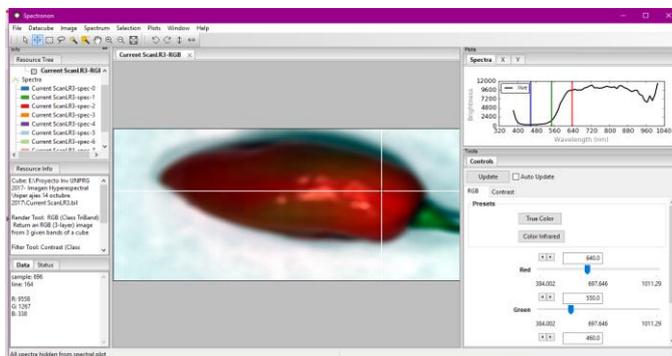


Figura 11. Software SpectrononPro.

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.6. Análisis de datos: hyperspectral classification

Clasificación de imágenes hiperespectrales tiene como objetivo identificar muestras de características similares en función de sus respectivos espectros sin llevar a cabo la determinación de fondo químico de estas regiones. Se pueden usar como métodos de clasificación: Principio análisis de componentes (PCA), análisis discriminante lineal, discriminante cuadrático análisis, análisis discriminante parcial de mínimos cuadrados (PLS-

DA), discriminante lineal de Fisher método, red neuronal artificial (ANN) y máquina de vectores de soporte (SVM).

Por otro lado, la regresión multivariante consiste en construir una correlación entre lo deseado físico, químico o biológico atributos de una muestra y su respuesta espectral. Estos métodos incluyen lineal múltiple regresión (MLR), PLSR y regresión del componente principal. Sin embargo, si los datos espectrales y los atributos de la muestra no son linealmente relacionados, métodos no lineales tales como la regresión ANN y SVM son muy adecuados para el análisis. El modelo desarrollado se puede aplicar a nivel de píxel, lo que permite la visualización de la distribución espacial o mapeo de un componente particular de las muestras. En general, el mapa de distribución puede mejorarse empleando algunos métodos de posprocesamiento relevantes (ElMasry, Kamruzzaman, Sun, & Allen, 2012).

2.4.7. Análisis de datos: Hyperspectral Vegetation Indices

Los índices de vegetación (VIS) son combinaciones de reflectancia de la superficie en dos o más longitudes de onda diseñadas para resaltar una propiedad particular de la vegetación. Se derivan utilizando las propiedades de reflectancia de la vegetación. Cada VIS está diseñado para acentuar una característica particular de vegetación. Más de 150 VIS han sido publicados, pero sólo un pequeño subconjunto tiene base biofísica sustancial o se han probado de manera sistemática (Dubbini, 2013); (E0-1).

La selección de las categorías de vegetación más importantes y los mejores índices representativos dentro de cada categoría se llevó a cabo por el doctor Gregory P. Asner del Instituto Carnegie de Washington, Departamento de Ecología Global. Las selecciones se basaron en la robustez, la base científica y la aplicabilidad general. Los índices se agrupan en categorías que calculan propiedades similares, como se detalla en (E0-1):

Broadband Greenness (5 índices):

- Normalized Difference Vegetation Index
- Simple Ratio Index
- Enhanced Vegetation Index
- Atmospherically Resistant Vegetation Index
- Sum Green Index

Narrowband Greenness (7 índices):

- Red Edge Normalized Difference Vegetation Index
- Modified Red Edge Simple Ratio Index
- Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index
- Vogelmann Red Edge Index 1
- Vogelmann Red Edge Index 2
- Vogelmann Red Edge Index 3
- Red Edge Position Index

Light Use Efficiency (3 índices):

- Photochemical Reflectance Index
- Structure Insensitive Pigment Index
- Red Green Ratio Index

Canopy Nitrogen (1 índice):

- Normalized Difference Nitrogen Index

Dry or Senescent Carbon (3 índices):

- Normalized Difference Lignin Index
- Cellulose Absorption Index
- Plant Senescence Reflectance Index

Leaf Pigments (4 índices):

- Carotenoid Reflectance Index 1
- Carotenoid Reflectance Index 2
- Anthocyanin Reflectance Index 1
- Anthocyanin Reflectance Index 2
- Canopy Water Content (4 índices):
 - Water Band Index
 - Normalized Difference Water Index
 - Moisture Stress Index
 - Normalized Difference Infrared Index

Cada categoría de índices típicamente proporciona múltiples técnicas para estimar la ausencia o presencia de una única propiedad de vegetación. Para diferentes propiedades y condiciones de campo, algunos índices dentro de una categoría proporcionan resultados con mayor validez que otros (Dubini, 2013). La comparación de los resultados de diferentes índices de vegetación de una categoría y la correlación de estos índices, pueden determinar qué índices otorgan el mejor modelo que representa la variabilidad obtenida de una determinada escena para ciertas condiciones de campo. El uso del índice de vegetación de mejor resultado puede aumentar de forma significativa la calidad de los resultados de cualquier tratamiento posterior (E0-1).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en los siguientes laboratorios:

a) Taller de laboratorio de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, donde se realizó la toma de la imagen utilizando la cámara hiperespectral Ressoon Pika L, el procesamiento de las imágenes utilizando el software Spectronon Pro y los análisis de pH, acidez titulable, sólidos totales e índice de madurez;

b) Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, donde se realizó el liofilizado de las muestras utilizando en el Liofilizador BioBase y determinación de carotenoides totales y clorofila, por espectrofotometría adaptado a un lector de placa multipocillos Synergy HT Multi-Mode Microplate Reader (Biotek, Rochester, VT, USA).

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Ají cerezo triangular de diferentes grados de maduración.

3.2.2. Reactivos

- Hidróxido de sodio al 0.1
- Fenolftaleína
- N-hexano
- Acetona
- Agua destilada

3.2.3. Materiales

- Morteros
- Papel filtro
- Matraces
- Matraces
- Fiolas
- Buretas
- Embudo

- Pipetas
- Vasos de precipitación
- Cuchillos
- Gel refrigerante no tóxico Ice Pack.
- Tubos eppendorf

3.2.4. Instrumentos y Equipos

- Phmetro
- Refractómetro
- Balanza analítica
- SpectronPro - Software de Resonon para la adquisición de imágenes hiperespectrales.
- Sistema de cámara hiperespectral; Cámara hiperespectral, Resonon Pika L. La cual consta de una cámara de imagen hyperespectral Pika L, una etapa de traducción lineal, una torre de montaje, un conjunto de iluminación y un sistema de control de software.
- Liofilizador BioBase
- Espectrofotometría adaptado a un lector de placa multipocillos Synergy HT Multi-Mode Microplate Reader (Biotek, Rochester, VT, USA)
- Centrifuga
- Laptop de marca Hp – Intel - core i-7

3.3. Métodos

3.3.1. Procedimiento

3.3.1.1. Recolección de la materia prima

La materia prima se utilizó 500 g de ají cerezo triangular, se recolectó del distrito de Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque, donde el ají cerezo se cultiva a nivel de huerto.

3.3.1.2. Selección y clasificación

Se escogieron los ajíes frescos, sin golpes ni magulladuras y de diferentes grados de madurez (verde a rojo), 100% verde (C1), 90 -70 % verde (C2), 60 - 40 % verde (C3), 30 - 10 % verde (C4) y 100 % rojo (C5), cada muestra con un peso promedio de 8,7 gramos (g) como se presenta en la Figura 12.

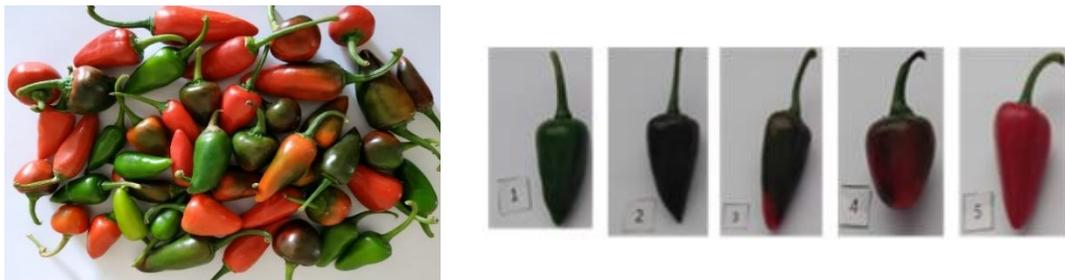


Figura 12. Muestras de ají cerezo triangular y muestras de acuerdo al grado de madurez seleccionada para la investigación.

3.3.1.3. Análisis hiperespectral de las imágenes de ají

Las muestras identificadas en cinco grados de madurez (C1, C2, C3, C4 y C5) se sometieron a la toma de imagen utilizando sistema de formación de imágenes hiperespectral, mediante un equipo Resonon Pika L, utilizando el software SpectrononPro como se muestra en la Figura 13, para ello se siguieron los siguientes pasos:

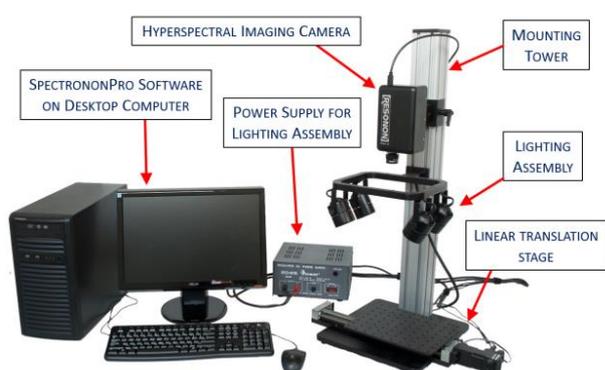


Figura 13. Imagen de la izquierda Hyperspectral imaging system. Manuel Resonon I. (2016) e imagen de la derecha equipo Resonon Pika L del Taller de laboratorio de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

a. Corrección y calibración

Antes de realizar la adquisición de las imágenes hiperespectrales se realizó la corrección y calibración, la medición de la reflectancia absoluta de un objeto requiere corrección para tener en cuenta los efectos de iluminación. Para ello, se colocó un material de referencia dentro del campo de visión del espectrómetro de imágenes Pika L. El material de referencia debe ser uniforme en el campo de visión de la imagen. Una vez que el material de referencia esté en su lugar se activó un escaneo corto del material de referencia como se observa en la Figura 14.

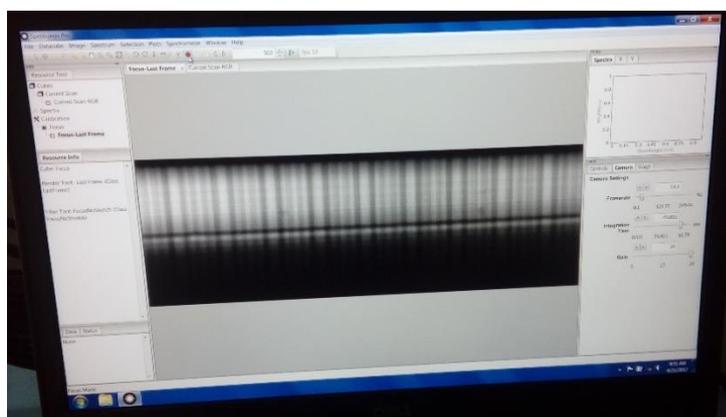


Figura 14. Medición de la reflectancia utilizando material de referencia.

Luego se hizo la calibración mediante la eliminación de la corriente de ruido oscuro, que se inicia bloqueando toda la luz que ingrese al Espectrómetro de imágenes, después se calibró de la corrección de efecto de iluminación el cual se realizó colocando un material de referencia

(teflón) dentro del campo de visión del Espectrómetro de imágenes Pika L (Resonon, 2016) como se muestra en la Figura 15.

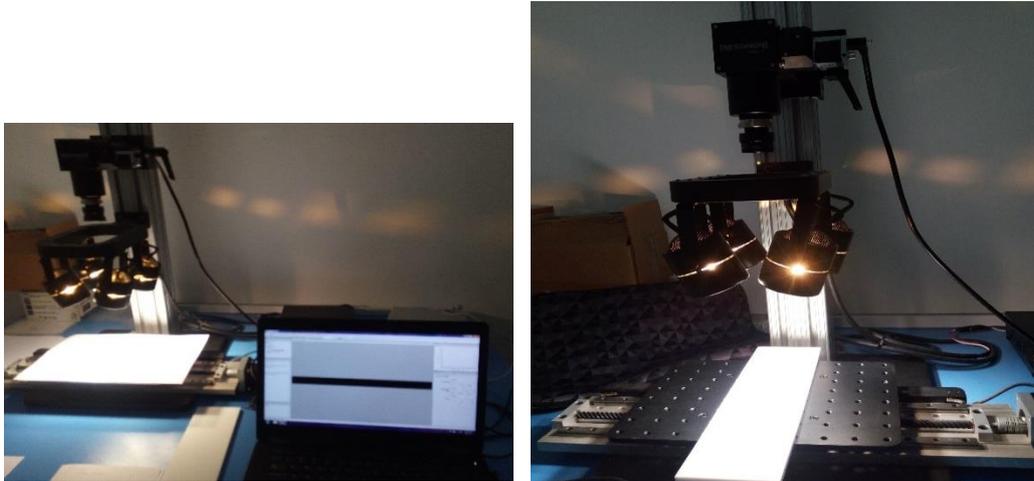


Figura 15. Calibración de la Imagen de la Cámara Hiperespectral. Imagen de la izquierda bloqueo del lente con su tapa negra opaca; Imagen de la derecha de referencia blanca (teflón).

b. Adquisición y escaneo de imágenes hiperespectrales

Antes de escanear las imágenes de las muestras de los ajíes se ingresó la cantidad de líneas a escanear (300 de número de líneas), se tomaron imágenes hiperespectrales (cubos) de 384 a 1011 nm de longitud de onda a intervalos de 10 nm (60 bandas espectrales) y se registraron los cubos de datos de cada muestra a través del programa SpectrononPro, la imagen del datacube se almacenó en formato BIL (banda intercalada por línea). Figura 16.



Figura 16. Escaneo de la imagen de la muestra de ají cerezo.

c. Identificación de la región de interés (ROI) y extracción de datos espectrales

Se seleccionó un ROI rectangular (125 x 84 mm) de cada una de las muestras (C1, C2, C3, C4 y C5) en forma individual, también se seleccionó los espectros de las regiones espaciales que representa la muestra completa, se obtuvo en cada región de interés (ROI) el espectro medio para cada una de las cinco muestras de ají cerezo. El ROI se seleccionó utilizando el software SpectronPro (Resonon, 2016) realizando tres repeticiones por cada muestra. Figura 17.

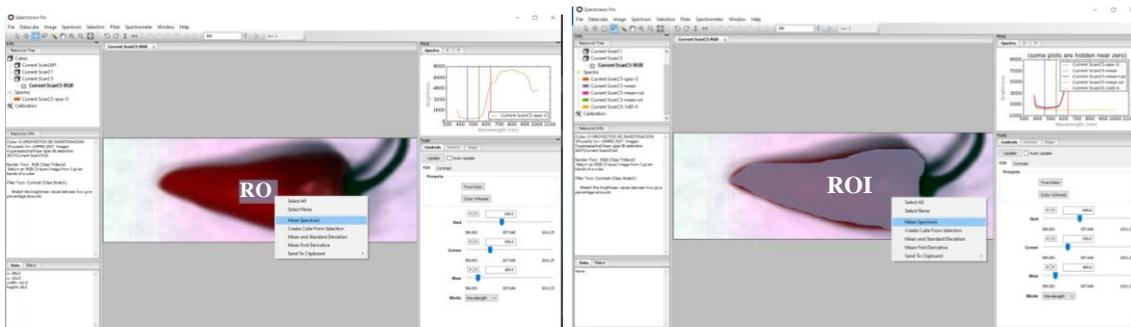


Figura 17. Selección de la región de interés (ROI) y el espectro medio de muestra de ají cerezo.

d. Procesamiento de la imagen

Se procesó las imágenes de las muestras de ají (Resonon, 2016); los espectros medios de los píxeles del rectángulo y de todos los píxeles de cada una de las muestras (Figura 17) fueron guardados en formato de documento de texto, la luminosidad fue convertida a reflectancia utilizando el factor de la escala de reflectancia = 10 000 y se obtuvo los perfiles espectrales de cada una de las bandas espectrales de las muestras del ají de cinco grados de madurez en el rango visible (Vis) desde 380 a 750 nm (correspondiente a 37 bandas).

e. Determinación del índice de carotenoides

Para la determinación del Índice de Reflectancia de carotenoides (Carotenoid Reflectance Index CRI2) se seleccionaron las bandas que proporcionen la información suficiente del ají correspondiente a los espectros de 510 y 700 nm de las regiones segmentadas de cada muestra.

La reflectancia obtenida de las bandas seleccionadas de 510 y 700 nm de longitud de onda se utilizó para determinar el índice espectral: Índice de Reflectancia de Carotenoides (Carotenoid Reflectance Index CRI2) (Zhou et al., 2017).

Se calculó utilizando la ecuación:

$$CRI2 = \frac{1}{R_{510}} - \frac{1}{R_{700}} \quad (1)$$

Dónde:

CRI2 Es el índice de reflectancia de carotenoides 2, **R₅₁₀** es la reflectancia a longitud de onda de 510 nm y **R₇₀₀** es la reflectancia a longitud de onda de 700 nm.

Luego de calcular los valores de CRI2 se correlacionó con los valores cuantitativos de los carotenoides y clorofila totales, para realizar esta correlación se hizo uso del coeficiente de correlación de Pearson.

3.3.1.4. Empacado

Luego de haberse tomado las imágenes a las muestras se colocaron en bandejas de poliestireno, cubiertas con film.

3.3.1.5. Congelado

Las muestras analizadas a través de la imagen hiperespectral se congelaron y se trasladaron para la liofilización en una caja de poliestireno con gel refrigerante no tóxico, para evitar que las muestras sean descongeladas, y mantener así sus componentes carotenoides.

3.3.1.6. Liofilizado

Las muestras se llevaron al laboratorio de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en la ciudad de Huacho, de cada una de las muestras de ajíes congeladas a -20°C se cortaron manualmente la parte correspondiente a la imagen adquirida con la cámara hiperespectral y se retiraron las semillas antes del proceso de liofilizado. Las muestras se liofilizaron (BioBase, MO, USA), se empacó y se almacenó a -20°C para su análisis.



Figura 18. Liofilizador BioBase

3.3.1.7. Empacado

Como las muestras liofilizadas son higroscópicas, se realizó el empacado inmediato para no captar humedad y se rotuló para identificar a cada una de las muestras (Figura 19).

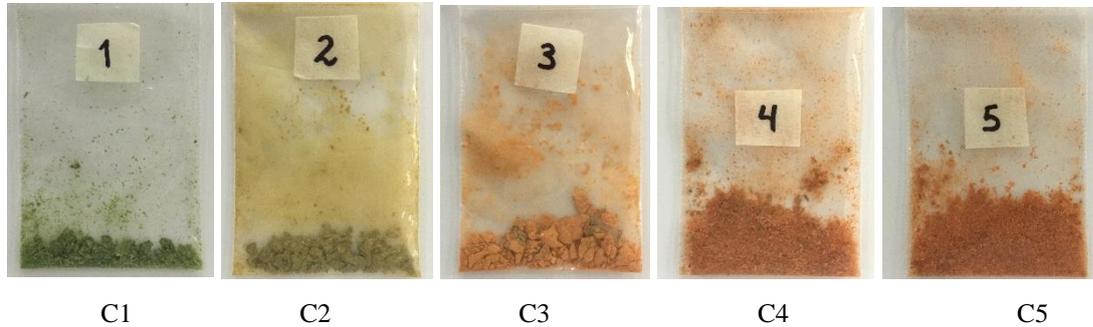


Figura 19. Muestras liofilizadas de ají cerezo.

3.3.1.8. Almacenado

Las muestras se almacenaron en congelación a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la medición de sus componentes químicos.

3.3.2. Análisis de las muestras

2.3.2.1. Análisis fisicoquímicos

Medición de sólidos solubles total

La medición de los sólidos solubles totales (TSS) se realizó utilizando el Refractómetro digital a partir de una muestra que fue tomada la imagen.

Medición del pH

La medición del pH se realizó utilizando un pH-metro a partir de una muestra que fue tomada la imagen en el lugar en el que se realizaran las mediciones hiperespectrales.

Medición de la acidez titulable

Se realizó utilizando hidróxido de sodio al 0.1 N y el indicador fenolftaleína a partir de una muestra que fue tomada la imagen en el lugar en el que se realizaran las mediciones hiperespectrales. Para determinar el porcentaje de ácidos totales se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%Acidez = \frac{(AxBXC)}{D} \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

A= Normalidad del NaOH

B= Peso mili equivalente del ácido predominante (ácido cítrico= 0,064)

C= Volumen en mililitros del álcali usado

D= Peso de la muestra en gramos.

2.3.2.2. Cuantificación de clorofila y carotenoides totales

Extracción

Las muestras de ajíes liofilizadas se extrajeron en metanol al 100% (10 mg/ml) en agitación constante a 1400 rpm x 15 minutos a temperatura ambiente en oscuridad. El extracto se centrifuga a 10000xg durante 5 minutos a 4°C, el sobrenadante se transfirió a tubos eppendorf y se almacena a -20°C hasta su análisis.

Contenido de carotenoides y clorofila

El contenido de clorofila y carotenoides totales se determinaron por espectrofotometría adaptado a un lector de placa multipocillos Synergy HT Multi-Mode Microplate Reader (Biotek, Rochester, VT, USA). Los espectros de absorción de 200 µL de los extractos se adquirieron en el rango de 400-800 nm a intervalos de 1 nm. Los espectros se deconvolucionaron empleando un procedimiento residual usando una línea base linear, suavizado con un filtro FFT y el modelo de Gauss del programa estadístico PeakFit v.4.12 software (Systat Software, Inc., USA). El contenido de clorofila (a, b y total) y el total de carotenoides se calcularon usando las ecuaciones 3-6 descritas por Lichtenthaler (1987).



Figura 20. Lector de placa multipocillos Synergy HT Multi-Mode MicroplateReader (Biotek, Rochester, VT, USA).

$$C_a = 16.72A_{665.2 \text{ nm}} - 9.16A_{652.4 \text{ nm}} \quad (3)$$

$$C_b = 34.09A_{652.4 \text{ nm}} - 15.28A_{665.2 \text{ nm}} \quad (4)$$

$$C_T = C_a + C_b \quad (5)$$

$$Car_T = \frac{1000A_{470 \text{ nm}} - 1.63C_a - 104.96C_b}{221} \quad (6)$$

Dónde: C_a , C_b y C_T son los contenidos de clorofila a, b y total en mg/ml, respectivamente; Car_T es el contenido de carotenoides totales en mg/ml. A es la absorbancia.

3.3.3. Método Estadístico

El diseño de la investigación que se utilizó es un diseño de bloque completo al azar con arreglo factorial 5A5B, Factor A (acidez total) y Factor B (sólidos totales), donde se estudió el efecto de dos factores con cinco niveles en cada uno con 3 repeticiones.

Se correlacionó los parámetros de calidad (clorofila y carotenoides totales) con los Índices de Reflectancia de carotenoides (CRI2) de cada una de las muestras adquiridas mediante el espectro medio de las imágenes hiperespectrales obtenidas mediante el software SpectrononPro. Estableciendo valores de significación en $P < 0.05$ (significativo) y $P < 0.01$ (altamente significativo) y la influencia del estado de madurez en el Índice de Carotenoides (CRI2) se evaluó mediante un análisis de varianza y la significancia al 95% utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 25.

IV. RESULTADO Y DISCUSIONES

4.1. Contenido de solidos solubles totales, ph, acidez titulable e índice de madurez de cinco grados de madurez de ají cerezo triangular.

Tabla 1

Análisis físico químico de cinco grados de madurez de ají cerezo triangular

| Muestras | Peso (g) | pH | °BRIX | %ACIDEZ | IM |
|----------|----------|-------|-------|---------|--------|
| C1 | 7,1 | 5,423 | 6,067 | 0,533 | 11.383 |
| C2 | 8,2 | 5,170 | 5,867 | 1,067 | 5.499 |
| C3 | 11,0 | 5,207 | 6,067 | 0,96 | 6.320 |
| C4 | 8,4 | 5,180 | 7,100 | 0,96 | 7.396 |
| C5 | 8,7 | 5,177 | 8,133 | 1,173 | 6.934 |

Valores correspondientes a tres repeticiones

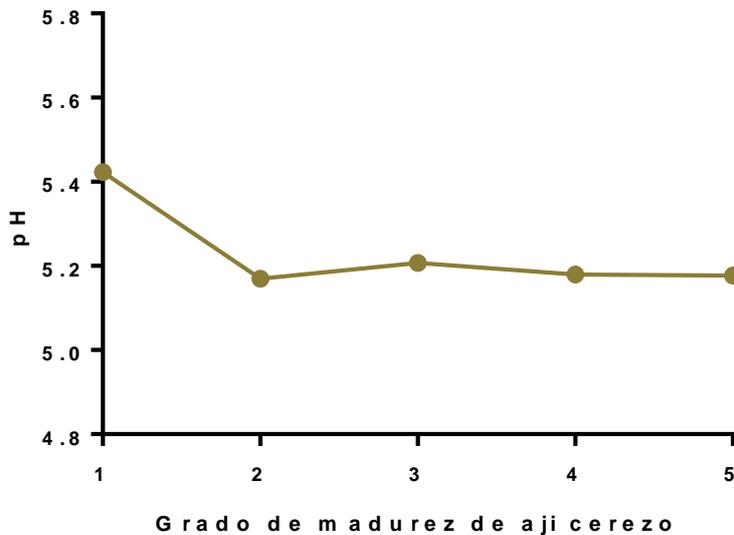


Figura 21. Evolución del pH en los cinco grados de madurez de ají cerezo triangular

En la figura 21 y tabla 4 se observa que a medida que aumenta el grado de madurez de las muestras de ají cerezo, el pH disminuye desde 5,423 en ajíes 100% verde hasta 5,177 en ajíes 100% rojo; coincidiendo con (Sancho & Navarro, 1962) quienes indican que durante el crecimiento de los frutos (chiles), desde el tamaño pequeño hasta el máximo del desarrollo, el pH varía desde 5,30 hasta 6,30 y el pH de los chiles completamente rojos es de 5,0 hasta 5.20.

El pH se comporta de acuerdo a la variación en la acidez titulable (Figura 22), ya que aumenta cuando la acidez desciende y/o viceversa, lo cual ha sido reportado para algunos frutos (Tucker, 1993), y en general este comportamiento se observó en las muestras de ají. La disminución o aumento en pH de los frutos, se atribuye al menor o mayor contenido de ácidos orgánicos presentes en forma ionizada en el tejido vegetal (Salisbury & Ross, 1994).

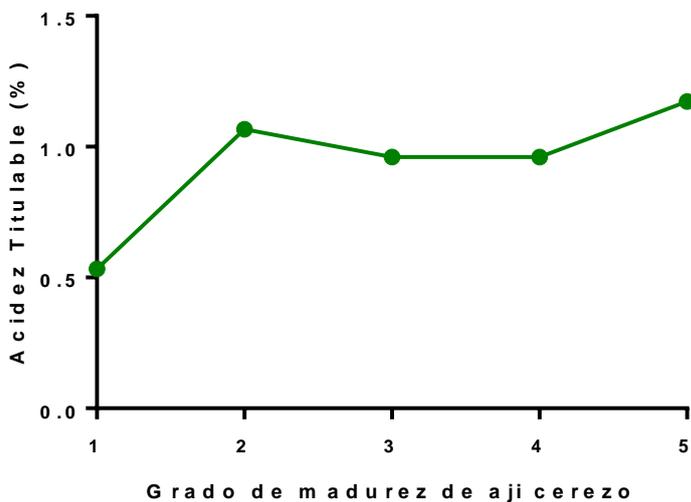


Figura 22. Evolución de la Acidez Titulable en los cinco grados de madurez de ají cerezo triangular

En la figura 22 se aprecia que la acidez titulable (%) aumenta conforme avanza la maduración, desde 0.533 en ajíes 100% verde hasta 0.173 en ajíes 100% rojo. (Peñuela, 2004).

Se observa en la figura 23 que los sólidos solubles incrementan conforme avanza la maduración, por lo tanto, el ají al 100% rojo presenta más contenido de sólidos solubles coincidiendo con (Castro, Saraiva, Dominguez, & Delgadillo, 2011) quienes reportaron datos de sólidos solubles totales para pimientos, con valor de 4.8 °Brix, mientras que (Rao, Gol, & Shah, 2011) determinaron valores que oscilaron entre 2.9 y 5.8 °Brix, que se encuentran relacionados principalmente con los carbohidratos contenidos en el jugo obtenido del fruto, así como de los minerales disueltos, contenidos de sólidos solubles para ají cerezo no hay estudios realizados.

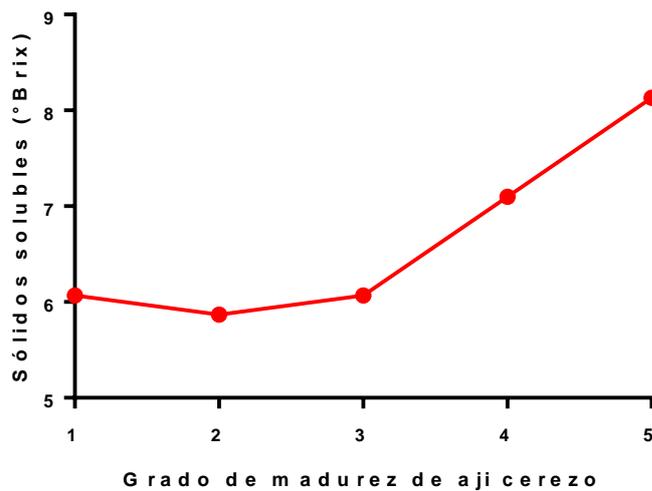


Figura 23. Evolución de los Sólidos solubles en los cinco grados de madurez de aji cerezo triangular

Así mismo (Pedraza S. , 2014), indica que el incremento de los sólidos solubles totales se debe a la morfología de las plantas, su sistema radicular es exigente a la humedad del suelo y un exceso de humedad reduce el contenido de sólidos solubles totales. La intensidad de luz percibida por las plantas, produce un incremento en la cantidad de azúcares solubles, y también un incremento en ácido ascórbico.

Hustik (2015), menciona que los valores °Brix representan un estimado del contenido de azúcar en los frutos, también menciona que, a menor contenido de agua, mayor será el valor en grados Brix y menos energía se requerirá para eliminar el agua en alimentos procesados.

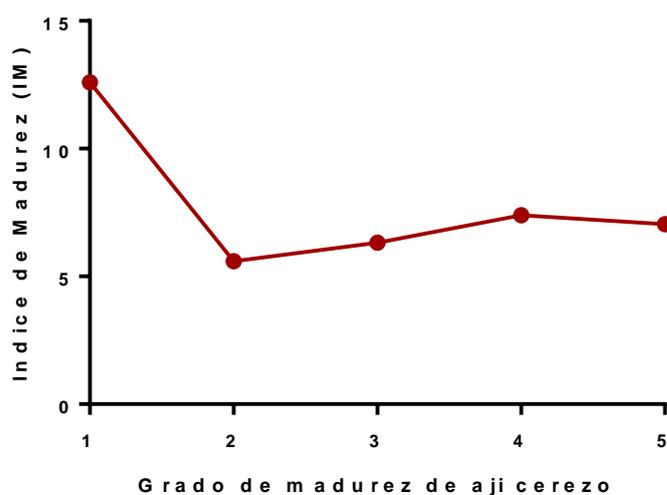


Figura 24. Evolución del Índice de Madurez en los cinco grados de madurez de aji cerezo triangular

En la figura 24 se observar que disminuye el índice de madurez en las muestras de ají cerezo 100% verde, variando los valores desde 12.6 hasta 7.049 en el ají 100 % rojo.

El índice de madurez es la relación entre los grados brix y la acidez titulable.

4.2. Estudio de cinco grados de madurez del ají cerezo triangular (cónicas) (*Capsicum annuum*) mediante el uso de imágenes hiperespectrales.

En las figuras 25, 26, 27, 28 y 29 se presentan los perfiles de Reflectancia en función de las Bandas Espectrales de cinco grados de madurez de ají cerezo triangular, considerando las bandas de 550 nm corresponde al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofilo) y 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo-rojo (pigmento carotenoides). La curva de reflectancia en la banda de 640 nm es similar a la curva de reflectancia reportado por Patsilinakos *et al.* (2018) para contenido de carotenoides en berries.

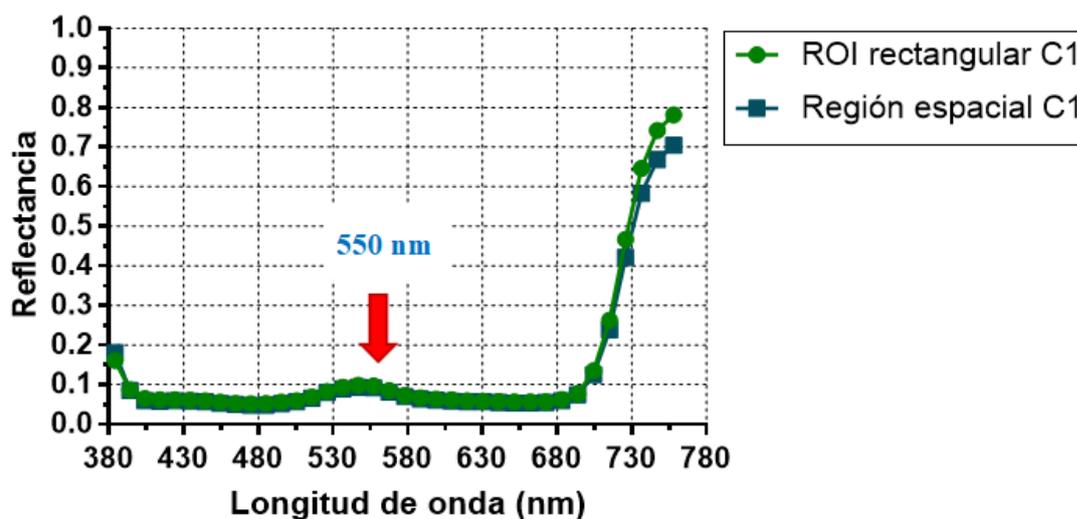


Figura 25. Perfil de Reflectancia en función de las Bandas Espectrales (Bandas espectrales promedio de regiones de interés (ROI) rectangular y regiones completas de ají cerezo triangular 100 % verde (C1)) banda de 550 nm corresponde al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila).

En la figura 25 se observa para la muestra C1 en la banda de 550 nm correspondiente al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) una reflectancia de 0.1 para ambas regiones de dicha muestra.

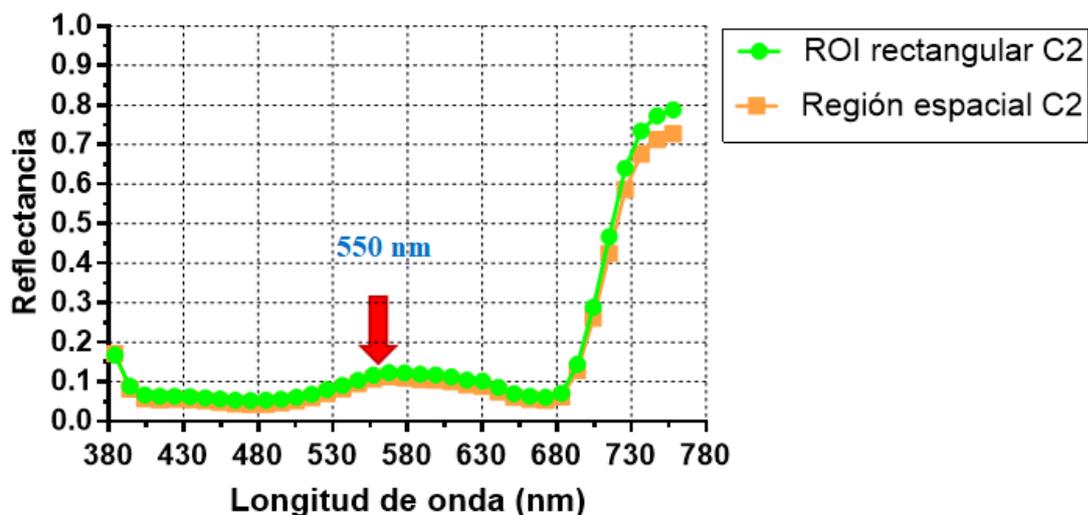


Figura 26. Perfil de Reflectancia en función de las Bandas Espectrales (Bandas espectrales promedio de regiones de interés (ROI) rectangular y regiones completas de ají cerezo triangular 90 - 70 % verde (C2)) banda de 550 nm corresponde al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila).

En la figura 26 se observa para la muestra C2 en la banda de 550 nm correspondiente al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) una reflectancia de 0.1 para ambas regiones de dicha muestra similar a la reflectancia de la muestra C1.

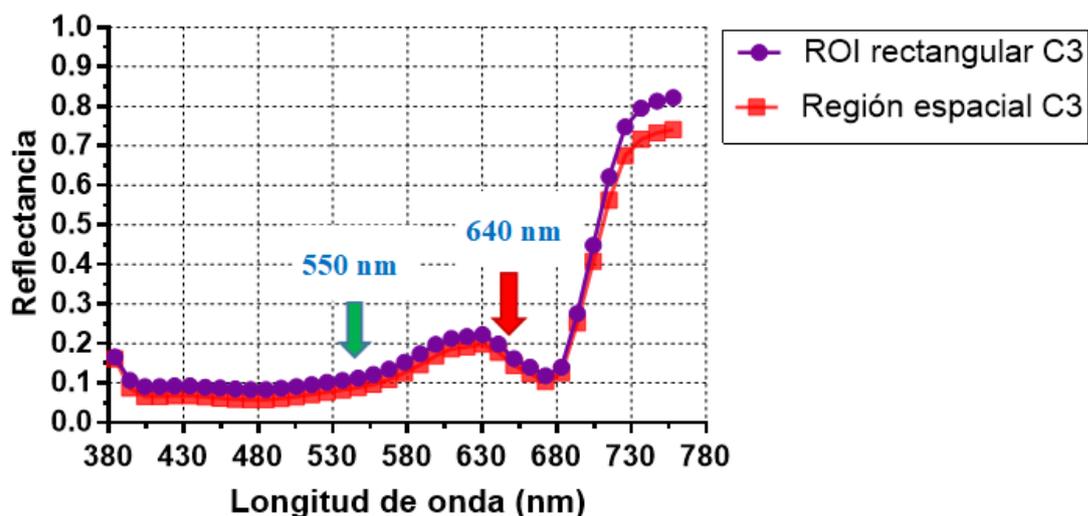


Figura 27. Perfil de Reflectancia en función de las Bandas Espectrales (Bandas espectrales promedio de regiones de interés (ROI) rectangular y regiones completas de ají cerezo triangular 60 - 40 % verde (C3)) banda de 550 nm corresponde al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) y banda de 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo -rojo (pigmento carotenoides).

En la figura 27 se observa para la muestra C3 una disminución del pico en la banda de 550 nm correspondiente al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) y un incremento en la banda de 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo -rojo (pigmento carotenoides), incrementando en esta banda la reflectancia a 0.2, la misma que guarda relación de la imagen adquirida en el rango visible (VIS) utilizando las imágenes hiperespectrales con lo percibido con el ojo humano (RGB) siendo muestra con un 60 a 40 % de verde.

En la figura 28 se observa para la muestra C4 una disminución del pico en la banda de 550 nm correspondiente al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) y un incremento en la banda de 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo -rojo (pigmento carotenoides), incrementando en esta banda a una reflectancia de 0.5 la misma que guarda relación de la imagen adquirida en el rango visible (VIS) utilizando las imágenes hiperespectrales con lo percibido con el ojo humano (RGB) siendo muestra con un 30 a 10 % de verde.

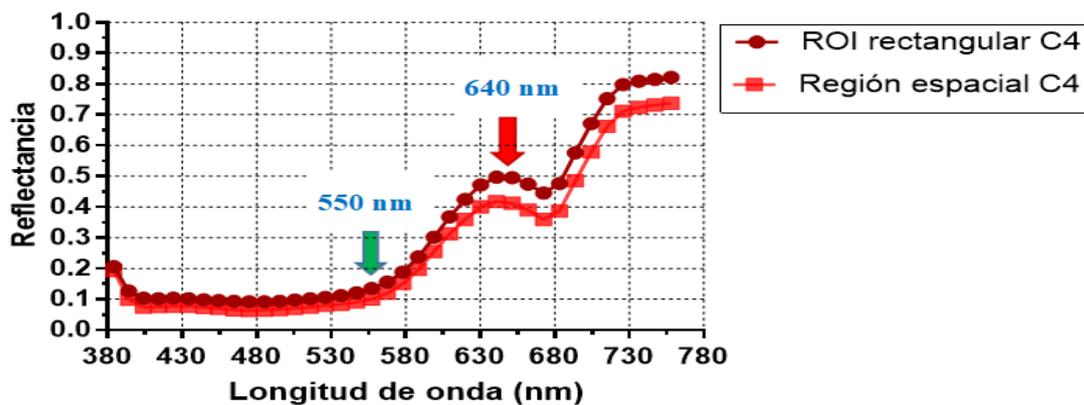


Figura 28. Perfil de Reflectancia en función de las Bandas Espectrales (Bandas espectrales promedio de regiones de interés (ROI) rectangular y regiones completas de ají cerezo triangular 30 - 10 % verde (C4)) banda de 550 nm corresponde al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) y banda de 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo -rojo (pigmento carotenoides).

En la figura 29 se observa para la muestra C5 una disminución del pico en la banda de 550 nm correspondiente al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) siendo menor a 0.1 la reflectancia y un incremento en la banda de 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo -rojo (pigmento carotenoides), incrementando en esta banda a una reflectancia de 0.5 a 0.6 la misma que guarda relación de la imagen adquirida en el rango visible (VIS) utilizando las imágenes hiperespectrales con lo percibido con el ojo humano (RGB) siendo muestra con un 100 % rojo.

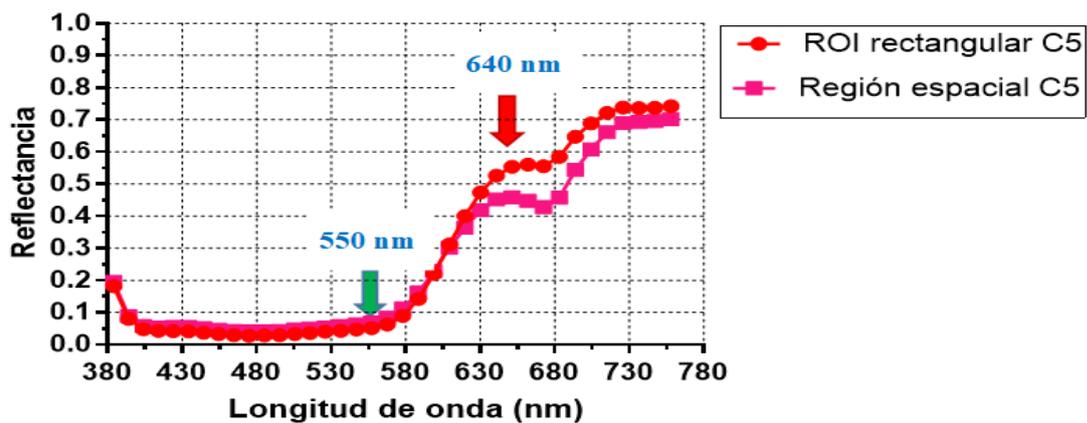


Figura 29. Perfil de Reflectancia en función de las Bandas Espectrales (Bandas espectrales promedio de regiones de interés (ROI) rectangular y regiones completas de ají cerezo triangular 100 % rojo (C5)) banda de 550 nm corresponde al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) y banda de 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo -rojo (pigmento carotenoides).

Observando en las 5 figuras que la muestra C1 tiene una mayor reflectancia en la banda 550 nm, en las muestras C2 y C3 existe un descenso de esta banda y un incremento progresivo en la banda 640 nm de las muestras C4 y C5, similar a lo reportado por Schmilovitch et al. (2014).

4.3. Parámetros de calidad: clorofila total y carotenoides totales de ají cerezo triangular e índice espectral (cri2)

En la Tabla 5 se presentan los valores del índice de reflectancia espectral de cinco grados de madurez de ají cerezo triangular, calculados mediante la ecuación (1) utilizando los espectros medio obtenidos mediante el software Spectrononpro, que se representa como Índice de Reflectancia de Carotenoides (CRI2) (Resonon, 2016). Los índices de reflectancia espectral son relaciones entre las reflectancias medidas en diferentes longitudes de onda (El-Hendawy *et al.*, 2015), estos valores se relacionan con la cantidad de carotenoides contenida en cada una de las muestras evaluadas.

Tabla 5

Valores promedio de los parámetros de medición de ají cerezo triangular (*Capsicum annuum*) de diferentes grados de madurez.

| Muestras | Parámetros de calidad | | |
|----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| | Indice Espectral CRI2 | Carotenoides ¹ (mg/g) | Clorofila ¹ (mg/g) |
| C1 | 6.655 | 43.608 | 229.33 |
| C2 | 12.1 | 76.751 | 117.39 |
| C3 | 9.669 | 74.856 | 15.691 |
| C4 | 10.45 | 115.607 | 14.72 |
| C5 | 24.68 | 145.45 | 0 |

Nota: Valores promedio de 4 repeticiones
¹/ la muestra en base seca

Así mismo, se observa un incremento del contenido de carotenoides y una disminución del contenido de clorofila durante el proceso de maduración.

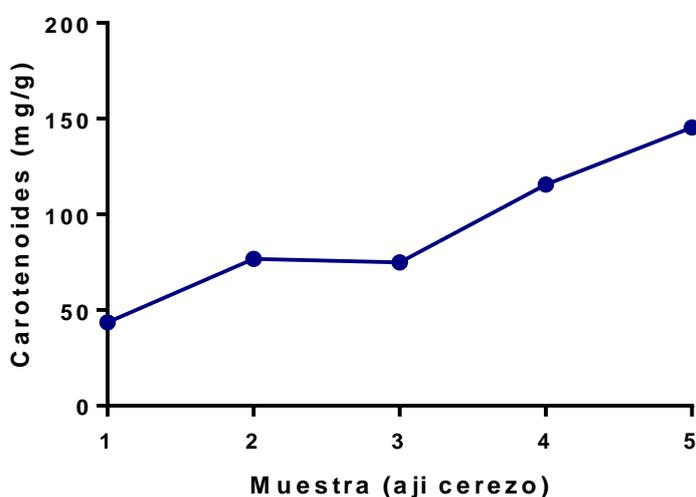


Figura 30 Evolución de los carotenoides (mg/g) en los cinco grados de madurez de ají cerezo triangular

En la figura 30 se observa el incremento del contenido de carotenoides en ají cerezo triangular durante la maduración, que coincide con lo manifestado por Yañez et. al (2015) que la coloración se debe a la presencia de carotenoides y su contenido aumenta a lo largo de la maduración.

Conforme avanza la maduración desde 43.608 mg/g en ají cerezo triangular 100% verde hasta 145.45 mg/g en ají cerezo triangular 100% rojo.

(Chávez, Montiel, Sgreoppo, & Avanza, 2000) indican que, en capsicum rojos al avanzar la maduración se producen incrementos en el poder antioxidante de los frutos, así como el aumento de los contenidos de carotenoides totales, ácido ascórbico y fenoles totales, siendo los incrementos en los niveles de carotenoides totales los más importantes.

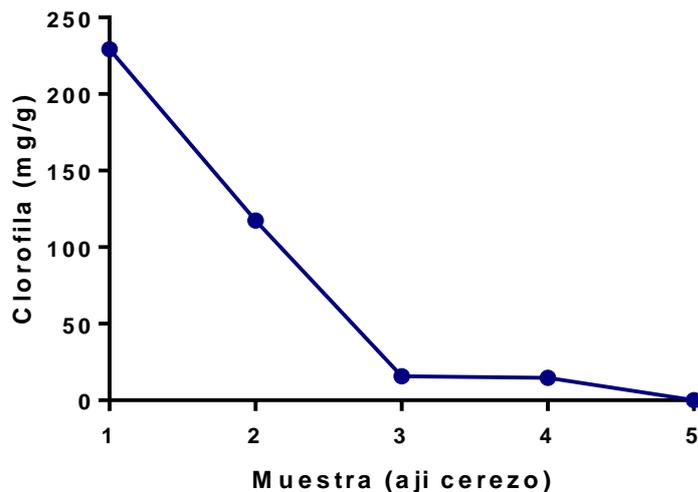


Figura 31. Evolución de la Clorofila (mg/g) en los cinco grados de madurez de ají cerezo triangular

En la figura 31 se observa que la cantidad de clorofila disminuye conforme avanza la maduración desde 229.33 mg/g en ajíes 100% verde hasta 0.00 mg/g en ajíes 100% rojo. Los ajíes sufren un gran cambio de color durante la maduración debido a la variación en la concentración de pigmentos, lo que determina que en los frutos verdes existan principalmente clorofilas, mientras que en los frutos amarillos y rojos, se encuentran en mayor concentración los carotenoides (Figuroa, y otros, 2015).

(Rajput & Parulekar, 1998) Indican que los pimientos dulces se caracterizan por su contenido alto de vitaminas, especialmente la vitamina A y C, pero también son fuente de β -caroteno. Los frutos verdes contienen clorofila a y clorofila b. En cambio, una vez avanzado su estado de madurez y dependiendo de la variedad, el contenido de estos pigmentos disminuye, favoreciendo la expresión de pigmentos rojos y amarillos.

Esto, debido a que a medida que avanza la madurez del fruto ocurre una degradación de la molécula de clorofila, que genera compuestos no coloreados, lo que hace que se expresen otros

pigmentos como los carotenos, los cuales pueden dar al fruto una coloración desde amarilla hasta púrpura (Borovsky & Paran, 2008).

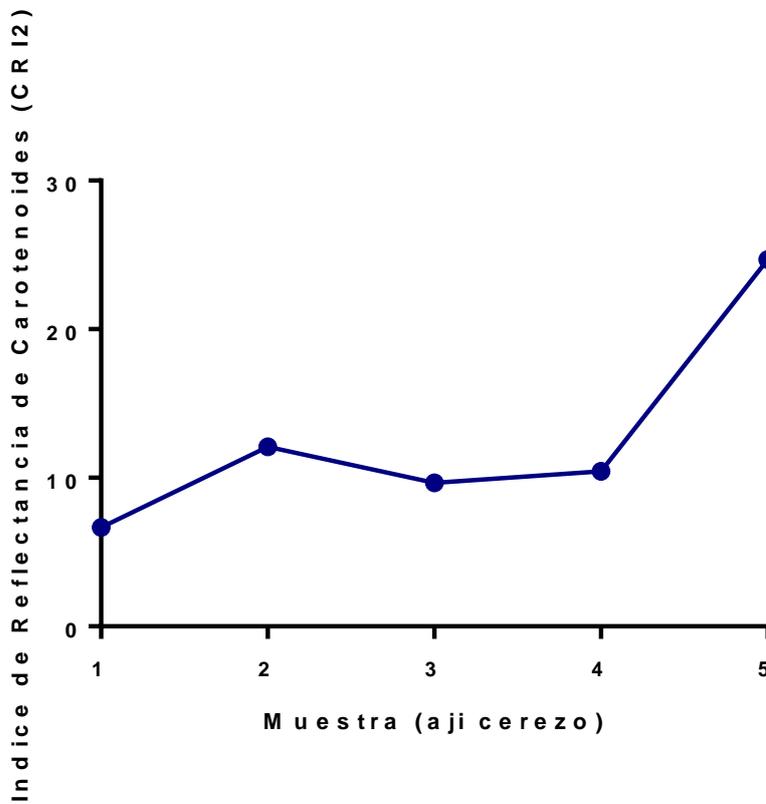


Figura 32. Evolución de la reflectancia de carotenoides de los cinco grados de madurez de ají cerezo triangular

En la figura 32 se observa un incremento en el Índice de Reflectancia de Carotenoides (CRI2), conforme avanza la maduración de un índice de 6.65 en ají cerezo triangular 100% verde hasta un índice de 24.68 en en ají cerezo triangular 100% rojo; coincidiendo con (Gitelson A. e., 2002), que indica que los valores del índice varía de 0 a más de 15, siendo el rango común para la vegetación verde de 1 a 11.

4.4. Correlación de los parámetros de calidad con los índices espectrales (imágenes espectrales) de los cinco grados de madurez del ají cerezo triangular (cónicas) (*Capsicum annuum*).

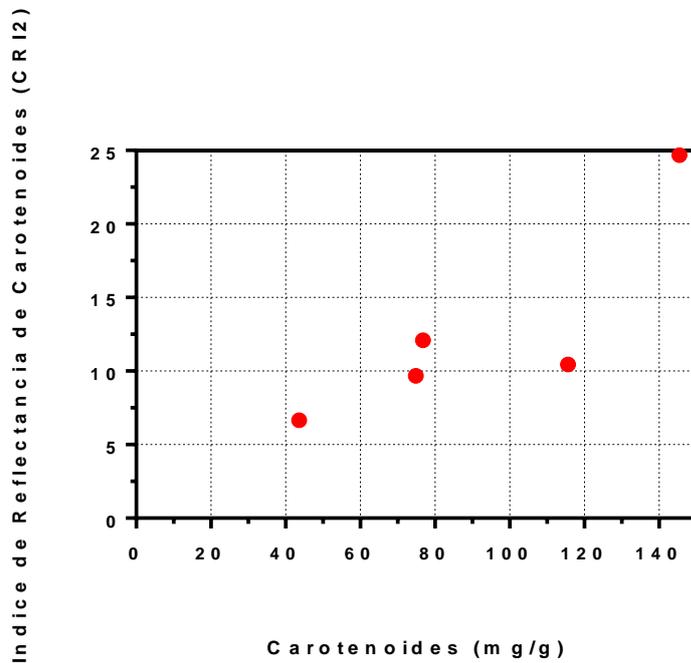


Figura 33. Evaluación del Grado de madurez de ají cerezo triangular (*Capsicum annuum*) con los parámetros de medición Índice de Reflectancia de Carotenoides (CRI2), Carotenoides totales (mg/g).

En la Figura 33 se observa que a medida que el ají cerezo triangular (*Capsicum annuum*) madura el Índice de reflectancia espectral (Carotenoid Reflectance Index - CRI2) aumenta, así mismo, la cantidad de carotenoides totales (mg/g) aumenta, mientras que en la figura 34 el contenido de clorofila totales (mg/g) disminuye hasta llegar a cero (0), tal como lo menciona **González (2010)** y **Minguez (2005)** y en la figura 35 los contenidos de carotenoides aumentan y el contenido de clorofila total disminuye hasta llegar a cero (0) conforme avanza la madurez del ají cerezo.

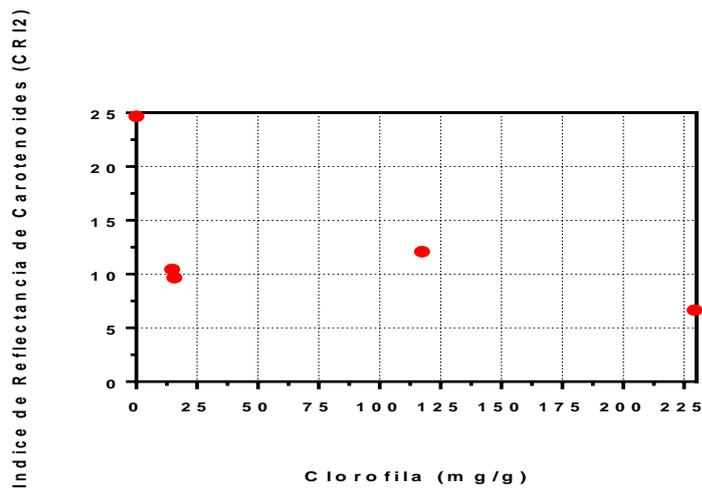


Figura 34. Evaluación del Grado de madurez de ají cerezo triangular (*Capsicum annuum*) con los parámetros de medición Índice de Reflectancia de Carotenoides (CRI2), clorofila total (mg/g)

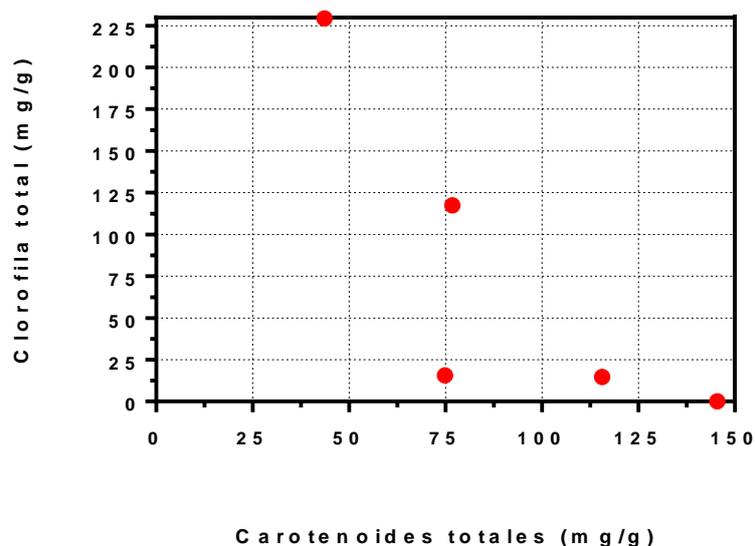


Figura 35. Evaluación del Grado de madurez de ají cerezo triangular (*Capsicum annuum*) con los parámetros de medición clorofila total y carotenoides totales (mg/g)

Las correlaciones entre las variables del Índice de Reflectancia de carotenoides (CRI2) con Clorofila totales y Carotenoides totales y la correlación entre las variables de Carotenoides totales y Clorofila total se evalúan para las 5 muestras en estudio.

Al analizar las correlaciones Carotenoides totales y CRI2 mostró una correlación positiva de Pearson = 0,851 ($p < 0,05$) para 5 muestras, y su relación es directa entre las variables, esto indica que significativamente al aumentar la cantidad de carotenoides totales el índice de

reflectancia de carotenoides también aumenta, concordando con lo manifestado por **Caporaso, et al. (2018)**.

Al analizar las correlaciones Clorofila total y CRI2 mostraron una correlación negativa de Pearson = - 0.5639 ($p < 0,05$) para 5 muestras y su relación es inversa entre las variables, esto indica que significativamente al disminuir la cantidad de clorofila totales el índice de reflectancia de carotenoides aumenta.

Así mismo, al analizar las correlaciones Carotenoides totales con Clorofila total mostraron una correlación negativa de Pearson = - 0.8069 ($p < 0,05$) para 5 muestras, y su relación es inversa entre las variables, esto indica que significativamente al aumenta la cantidad de carotenoides totales la cantidad de clorofila totales disminuye. **Sonobe (2018)**, realizó evaluaciones no destructivas del contenido de carotenoides en especies de plantas de hoja ancha utilizando índices hiperespectrales.

4.5. Análisis de varianza de los grados de madurez de las muestras de ají cerezo triangular con el índice de reflectancia de carotenoides (cri2)

Tabla 2

Análisis de Varianza del grado de madurez de las muestras de ají cerezo triangular y el Índice de Reflectancia de Carotenoides (CRI2)

| ANOVA ^a | | | | | |
|--------------------|-------------------|----|------------------|---|------|
| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Regresión | 194,726 | 4 | 48,681 | | _b |
| 1 Residuo | ,000 | 0 | | - | - |
| Total | 194,726 | 4 | - | - | - |

a. Variable dependiente: CRI2

b. Predictores: (Constante), Grado de madurez

Como $P < 0,05$ hay diferencia significativa entre los tratamientos y como $P < 0,01$ la diferencia es altamente significativo es decir se acepta la hipótesis alterna donde podemos decir de que el grado de madurez influye en el Índice de Reflectancia de Carotenoides (CRI2) significativamente.

4.6. Análisis de varianza de los grados de madurez de las muestras de ají cerezo triangular con acidez titulable

Tabla 7

Análisis de Varianza del grado de madurez de las muestras de ají cerezo triangular y el porcentaje de Acidez Titulable

| ANOVA ^a | | | | | |
|--------------------|-------------------|----|------------------|---|------|
| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Regresión | ,237 | 4 | ,059 | | _b |
| 1 Residuo | ,000 | 0 | . | - | - |
| Total | ,237 | 4 | | - | - |

a. Variable dependiente: Acidez Titulable

b. Predictores: (Constante), Grado de madurez

Como $P < 0,05$ hay diferencia significativa entre los tratamientos y como $P < 0,01$ la diferencia es altamente significativo es decir se acepta la hipótesis alterna donde podemos decir de que el grado de madurez influye en el porcentaje de la acidez titulable| significativamente.

4.7. Análisis de varianza de los grados de madurez de las muestras de ají cerezo triangular con °brix.

Tabla 8

Análisis de Varianza del grado de madurez de las muestras de ají cerezo triangular y °Brix

| ANOVA^a | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|-------------|
| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Regresión | 3,695 | 4 | ,924 | | _b |
| 1 Residuo | ,000 | 0 | . | - | - |
| Total | 3,695 | 4 | | - | - |

a. Variable dependiente: ° Brix

b. Predictores: (Constante), Grado de madurez

Como $P < 0,05$ hay diferencia significativa entre los tratamientos y como $P < 0,01$ la diferencia es altamente significativo es decir se acepta la hipótesis alterna donde podemos decir de que el grado de madurez influye en los °Brix significativamente.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y a los objetivos trazados en esta investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La cantidad de carotenoides aumenta cuando se incrementa el grado de madurez del ají cerezo triangular (*Capsicum annuum*), de 43.608 mg/g en ají verde hasta 145.45 mg/g en ajíes rojos; y el contenido de clorofila disminuye de 229.33 mg/g en ají cerezo verde hasta 0.00 mg/g en ajíes rojo.
2. Los grados de madurez del ají cerezo triangular, se evaluó pH, acidez titulable, °Brix e índice de madurez, donde el pH disminuye (C1:5,423 a C5:5,177); el porcentaje de acidez de las muestras aumenta (C1:0,53 a C5:1,173) y el índice de madurez del ají disminuye a medida que aumenta el grado de madurez aumenta de (C1:11.383 a C5:6.934).
3. Se determinó la relación entre el índice de reflectancia de carotenoides (CRI2) de las imágenes hiperespectrales y la cantidad de carotenoides (mg/g) de cada una de las muestras liofilizadas, obteniéndose un incremento del contenido de carotenoides de (43.608 mg/g en ají verde) hasta (145.45 mg/g en ajíes rojos) y una disminución de (clorofila de 229.33 mg/g en ají cerezo verde) hasta (0.00 mg/g en ajíes rojo).

VI. RECOMENDACIONES

1. Desarrollar este tipo de metodología usando imágenes hiperespectrales con la finalidad de evitar, si bien es cierto los métodos tradicionales comunes de extracción para determinar los carotenoides son técnicas destructivas, utilizando reactivos químicos controlados y de gran toxicidad a veces no accesibles para realizar investigación, además demandan de mucho tiempo, son costosos, laboriosos. De tal manera surge como una herramienta no destructiva, el uso de esta tecnología de Imágenes Hiperespectrales como una herramienta en la evaluación de la calidad.
2. Determinar el contenido de carotenoides, flavonoides, antocianinas, catequinas y otros compuestos antioxidantes de frutos tropicales de la región.
3. Capacitar a estudiantes y egresados de la Universidad Nacional de Jaén en la utilización de la cámara hiperespectral y manejo de programas de análisis de resultados hiperespectrales.
4. Evaluar los parámetros físicos y químicos de diferentes procesos de elaboración y conservación de alimentos, utilizando la tecnología hiperespectral.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antonious, G., Kochhar, T., Jarret, L., & Snyder, J. (2006). Antioxidants in hot pepper: Variation among accessions. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides. Food Contaminants and Agricultural Waster*, 1237-1243.
- Borovsky, Y., & Paran, I. (2008). Chlorophyll breakdown during pepper fruit ripening in the chlorophyll retainer mutation is impaired at the homolog of the senescence-inducible stay-green gene. *Theor. Appl. Genet.*
- Brennan, J. (2008). *Manual del procesado de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia. Recuperado el 10 de Marzo de 2017
- Brito, A., Moguel, F., Zamudio, F., Gonzales, T., & Islas, I. (2009). Characterization of a *Capsicum chinense* seedpeptide fraction with broad antibacterial activity. *Asian J Bio-chem*, 77-87.
- Britton, G. (1998). *Overview of carotenoid biosynthesis*. BirkhSuser Verlag. Deutschland: (G. Britton, S. Liaaen Jensen, & H. Pfander, Edits.) Basel.
- Camps, D. (2010). *Bioquímica del estrés oxidativo y de las especies reactivas del oxígeno*. Córdoba, Argentina: Primera Edición, Universidad Católica de Córdoba.
- Caporaso, N.; Whitworth, M. B.; Grebby, S.; Fisk, I. D. 2018. Rapid prediction of single green coffee bean moisture and lipid content by hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering*, (227), 18-29.
- Castro, S. M., Saraiva, J. A., Dominguez, F., & Delgadillo, I. (2011). Effect of mild pressure treatments and termal blanching on yellow bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *FoodScience and Technology*.
- Chang, C. (2007). *Hyperspectral Data Exploitation: Theory and Applications*. Hoboken. NJ, USA: Wiley-Interscience.
- Chávez, G., Montiel, G. M., Sgreoppo, S. C., & Avanza, J. R. (2000). Capacidad antioxidante del pimiento morrón. Universidad Nacuional del Nordeste, Laboratorio de Tecnología Química . Argentina: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas .

- W., Solar, J., El Ghaouth, A., & Wisniewski, M. (1997). Rapidevaluation of plant extracts and essential oils for antifungal activity against *Botrytis cinerea*. *Plant Dis*, 204-210.
- Cox, S. (2001). Análisis de licopeno y atributos hortícolas de los tomates. U.S.A.: Universidad Estatal de Colorado.
- Dale, L., Thewis, A., Boudry, C., Rotar, I., Dardenne, P., Baeten, V., & Fernandez, J. (2013). Hyperspectral imaging applications in agriculture and agro-food product quality and safety control. A review. *Applied Spectroscopy Reviewa* , 142-159.
- Daood, H., Illes, V., Gnyafed, M., Mezaros, B., Horvath, G., & Biach, P. (2002). Extraction of pungent spice pepper by super-critical carbon dioxide and subcritical propane. *J Supercrit Fluid*, 143-152.
- Delecroix, J. (2016). *Los 170 alimentos que cuidan de ti*. Barcelona, España: Amat.
- Delgado, F., & Paredes, O. (2003). Natural colorants for Food and nutraceutical uses. Boca Raton, Fla, 257 - 305.
- Diago, M., Pou, A., Millan, B., Tardaguila, J., Fernandes, A., & Melo-Pinto, P. (2014). Assessment of grapevine water status from hyperspectral imaging of leaves. *Acta Horticulturae*, 89-96.
- Diezma Iglesias, A., & Diaz Barcos, V. (2013). Aplicación de la imagen hiperespectral para la detección de contaminación microbiana en espinaca fresca envasada. Madrid, España: VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas.
- Dubbini, M. (2013). NDVI and daily movements of Alpine ibex (*Capra ibex ibex*, Linnaeus 1758) females. Obtenido de http://tesi.cab.unipd.it/46939/1/Dubbini_Marco.pdf
- (s.f.). Hyperion Vegetation Indices Tutorial. (s/f). <http://www.exelisvis.com/docs/VegetationIndices.html>.
- Ecured. (09 de Marzo de 2017). Ecured. Recuperado el 09 de Marzo de 2017, de Ecured: <https://www.ecured.cu/Harina>

- ElMasry, G., Barbin, D., Sun, D., & Allen, P. (2012). Meat quality evaluation by hyperspectral imaging technique, an overview. *Critical reviews in Food science and Nutrition*, 689-711.
- ElMasry, G., Kamruzzaman, M., Sun, D., & Allen, P. (2012). Principles and applications of hyperspectral imaging in quality evaluation of agro-food products, a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 999-1023.
- ElMasry, G., Wang, N., ElSayed, A., & Ngadi, M. (2007). Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. *Journal of Food engineering*, 98-107.
- El-Hendawy, S; Al-Suhaibani, N; Salem, A E; Rehman, S U; Schmidhalter, U. 2015. Spectral reflectance indices as a rapid and nondestructive phenotyping tool for estimating different morphophysiological traits of contrasting spring wheat germplasm under arid conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 572-587.
- Espinoza P., D. (2017). *Caracterización morfológica de ajíes de la costa del Perú*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- FAO. (24 de abril de 2010). Recuperado el 19 de Enero de 2017, de Capítulo 26:Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos: <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0u.htm#TopOfPage>
- Fennema, R. O. (2000). *Química de los alimentos (Segunda ed.)*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Fernandez Pierna, J., Vermeulen, P., Dardenne, P., & Baeten, V. (2010). Integration of chemometric tools in hyperspectral imaging data: contaminant detection. Dublin, Ireland: international Association for Spectral imaging.
- Figuroa Cares, I., Martínez Damián, M., Rodríguez Pérez, J., Cruz Álvarez, O., Valle Guadarrama, S., Beryl Colinas León, M., & Ramírez Ramírez, S. (2015). Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) *Interciencia*.

- Figuroa, I. E., Martínez, M. T., Pérez, J. R., Cruz, O., Beryl, M., Valle, S., & Ramirez, S. (Octubre de 2015). Capacidad Antioxidante en variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). *Interciencia*, 40(10).
- Fraser, P. D., & Bramley, P. (2004). The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress Lipid Res.*
- Gastronomia, S. P. (2009). *Ajés Peruanos Sazón para el mundo*. Lima, Perú: El Comercio.
- Gitelson, A. e. (2002). Evaluación del contenido de carotenoides en hojas de plantas con espectroscopía de reflectancia. *Photochemistry and Photobiology*, 272-281.
- Goetz, A., Vane, G., Solomon, J., & Rock, B. (1985). Imaging spectrometry for earth remote sensing. *Science*, 1147-1153.
- González, C. (2012). *Procesamiento a bordo de imágenes hiperespectrales de la superficie terrestre mediante hardware reconfigurable*. Madrid: Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- González C., I. 2010. *Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana*, Tesis de Magister en Ciencias Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 84 pp.
- Gonzales, V., & María. (2012). EL ñame (*Dioscorea spp.*). Características, Usos y Valor Medicinal. Aspectos de Importancia en el Valor de su Cultivo. *Cultivos Tropicales*, 33(4), 5-15.
- Gowen, A., O'Donnell, C., Cullen, P., Downey, G., & Frias, J. (2007). Hyperspectral imaging - an emerging process analytical tool for food quality and safety control. *Trends in Food science & technology*, 590-598.
- Godwin, T. W. (1980). *The biochemistry of carotenoids*. London.
- Gross, J. (1987). *Pigments in fruits*. Academic Press.
- Gruszecki, W. I., & Strzalka, K. (2005). Carotenoids as modulators of lipid membrane physical properties. *Biochim Biophys Acta*.

- Hernandez, A. D., & Fuentes, C. M. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morron (*Capsicum annum* L.) var. California por efecto de la fertilizacion quimica y la apliacion de lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*.
- Howard. (2001). Antioxidant vitamin and phytochemical of fresh and processed pepper fruit (*Capsicum amtuunt*). En W. REC (Ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Hustik, L. M. (2015). ¿Qué adecta a los valores °Brix³? Obtenido de <http://www.hortallizas.com/cultivos/que-afecta-a-los-valores/-brix>
- Krinsky , N. I., & Johnson, E. J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26, 459-516.
- INIA. (2013). Catálogo de ajíes (*Capsicum spp.*) peruanos promisorios conservados en el banco de semillas del INIA. Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA.
- Kim, I., Kim, M., Chen, Y., & Kong, S. (2004). Detection of skin tumors on chicken carcasses using hyperspectral fluorescence imaging. *Transactions-american society of Agricultural Engineers*, 1785-1792.
- Landgrebe, D. (2002). Hyperespectral image data analysis. *IEEE Signal Processing Magazine*, 17-28.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, in *Methods in Enzymology*. Academic Press, 350-382.
- Loayza, I., & Di Fabio, A. (2001). *Capsicum y sus derivados en Iberoamérica: Aspectos Agrícolas, Científicos, Tecnológicos y Económicos*. Bolivia: CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo).
- Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F., & Gil, M. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annum* L). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 3861 - 3869.
- Matsufuji, H., Nakamura, H., Chino, M., & Takeda, M. (1998). Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in paprika (*Capsicum annum*). *J. Agric. Food Chem.*, 3468-3472.

- Meléndez, A., Martínez, I., Vicario, F., & Heredia, J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. Universidad de Sevilla.
- Merchant, S., & Sawaya, M. R. (2005). The light reactions: A guide to recent acquisitions for the picture gallery. *Plant Cell*. Patsilnakos, A.; Ragno, R.; Carradori, S.; Petralito, S.; Cesa, S. 2018. Carotenoid content of Goji berries: CIELAB, HPLC-DAD analyses and quantitative correlation. *Food Chemistry* 268: 49-56.
- Minguez, M.; Pérez, A.; Hornero, D. 2005. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales mucho más que simples “colorantes” naturales. *CTC Alimentation* 26: 108-113.
- Montes, E. T. (Agosto de 2008). Modelado de la cinética de secado de ñame (*dioscorea rotundata*) en capa delgada. *Ingeniería e Investigación*, 45-52.
- Mundaca Vidarte, G. (2016). Análisis de la calidad del grano de cacao mediante imágenes hiperespectrales usando técnicas de visión artificial. Piura, Perú.: Universidad de Piura.
- Navarro, C. (2014). Evaluación de seis formulaciones con abonos orgánicos y guano de islas en el ají. Lima, Perú: UNALM.
- Norman N., P., & Joseph H., H. (1999). *Ciencia de los Alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Nuez, F., Gil, R., & Costa, J. (1996). *El cultivo de pimientos, chiles y ajés*. Madrid, España: Mundiprensa.
- Paredes, A., Peche, J. (2019). "Influencia del estado de madurez en el índice de carotenoides del pimiento morrón (*Capsicum annum*), utilizando visión artificial". Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Escuela profesional de Ingeniería de Industrias alimentarias. Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Patsilnakos, A.; Ragno, R.; Carradori, S.; Petralito, S.; Cesa, S. (2018). Carotenoid content of Goji berries: CIELAB, HPLC-DAD analyses and quantitative correlation. *Food Chemistry* 268: 49-56.

- Pedraza Anselmo, S. (2014). Evaluación de la Capacidad Antioxidante del Pimiento Morrón (*Capsicum annuum L.*) en fresco y sometido a dos tratamientos. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", México.
- Peguero Gutiérrez, A. (2010). "La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados" Tesis Doctoral,. Barcelona, España: universidad Autonoma de Barcelona.
- Peñuela, A. E. (2004). Cambios físicos y químicos que ocurren durante el crecimiento y maduración de los productos hortifrutícolas y su relación con la calidad. En J. M. Rojas, A. E. Peñuela, C. R. Gómez, G. E. Aristizabal, M. C. Chaparro, & J. A. López, Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad. Manizales.
- Perry L., Dickau R., Zarrillo S., Holst I., Pearsall D., & Berman M. (2007). Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*capsicum spp. L.*) in the americas. Science, 986-988.
- Pino Gutiérrez, J. J. (22 de Octubre de 2011). Universidad Nacional de San Martín. Obtenido de Repositorio de tesis digital: <http://tesis.unsm.edu.pe/jspui/handle/11458/371>
- Rajput, J. C., & Parulekar, Y. R. (1998). *Capsicum*. En Salunkhe DK, Kadam SS (Eds.) Handbook of Vegetable Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing. Nueva York, EE.UU.
- Rao, R. T., Gol, B. N., & Shah, K. K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures an the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annuumL.*). Scientia Horticulturae.
- Resonon. (07 de enero de 2018). https://resonon.com/Products/imagers_pika_L.html. Obtenido de <https://resonon.com>
- Resonon Inc. (2016). SpectrononPro Manual Release 5.0. Copyright.
- Resonon, I. (Octubre 25, 2016). SpectrononPro Manual, Release 5.0. USA.
- Restrepo, M. (2006). Oleorresinas de Capsicum en la Industria Alimentaria. Lasallista de investigación, 43-47.

- Roman-Gonzalez, A., & Vargas-Cuentas, N. (2013). Análisis de imágenes hiperespectrales. *Revista Ingeniería & Desarrollo*.
- Rodriguez Amaya, D. B. (1999). Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados. Universidad estadual de Campiñas, Brasil.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1994). *Fisiología vegetal*. México: Grupo Editorial Iberoamericana S.A. de C.V.
- Sancho, J., & Navarro, F. (1962). *Pimientos y Pimenton*. Estudio Químico-Físico. Murcia: Instituto de Orientación.
- Schmilovitch, Z. et al. 2014. Hyperspectral imaging of intact bell peppers. *biosystems engineering* 117: 83-93.
- Sonobe, R.; Wang, Q. 2018. Nondestructive assessments of carotenoids content of broadleaved plant species using hyperspectral indices. *Computers and Electronics in Agriculture* 145; 18-26.
- Sun, T., Xu, Z., Wu, C. T., James, M., Prinyawiwatkui, W., & No, H. K. (2007). Antioxidant activities of different colored sweet peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of Food Science*, 98-102.
- System, I. t. (2012). *Taxonomic Serial*. E.E. U.U. (1997). *The Chile Pepper Institute Newsletter*.
- Tucker, G. A. (1993). *Biochemistry of fruit ripening*. USA: Chapman and Hall.
- Ugás, R., & Mendoza, V. (2012). El punto de Ají. *Investigaciones en Capsicum nativos número 1 y 2*. Programa de Hortalizas. Lima, Perú: UNALM.
- Wall, M. M., Wandell, C. A., & Bosland, P. W. (2001). Variation in β -carotene and total carotenoid content in fruits of capsicum. *Hort Science*, 746-749.
- Yañez, P.; Balseca, D.; Rivadeneira, L.; Larenas, C. 2015. 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*. 22 (2): 12-32.
- Youngson, R. (1994). *Antioxidantes y radicales libres*. Madrid, España: EDAF S.A.

Zhou, X.; Huang, W.; Kong, W.; Ye, H.; Dong, Y.; Casa, R. 2017. Assessment of leaf carotenoids content with a new carotenoid index: Development and validation on experimental and model data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 57: 24-35.

VIII. ANEXOS

1. Imágenes de la materia prima (ají cerezo) y clasificación por grado de madurez.



Foto 1: Selección
y calificación de
los ajíes cerezos



Foto 2: Muestra
C1:100% verde



Foto 3: Muestra
C2: 70% verde



Foto 4: Muestra
C3:40% verde



Foto 5: Muestra
C4:20%verde

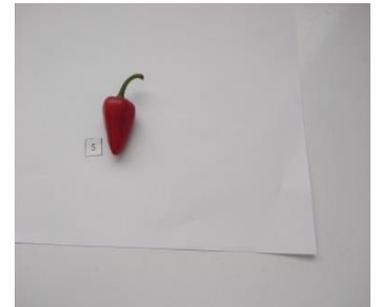


Foto 6: Muestra
C6:100% rojo



Foto 7: Muestras de ají cerezo clasificadas



Foto 8: Muestras de ají cerezo para el estudio

2. Imágenes de análisis físicos de las muestras de ají cerezo.



Foto 10: Imagen hiperspectral del grado de madurez : C1

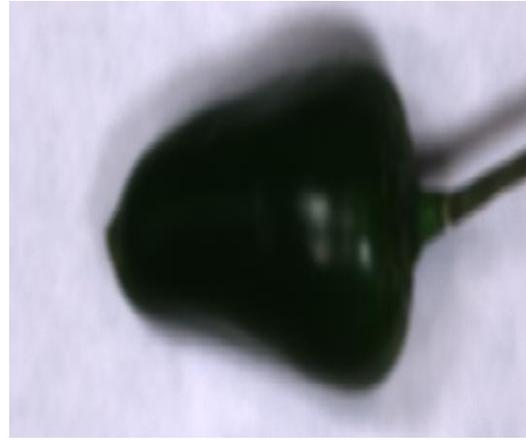


Foto 11: Imagen hiperspectral del grado de madurez :C2

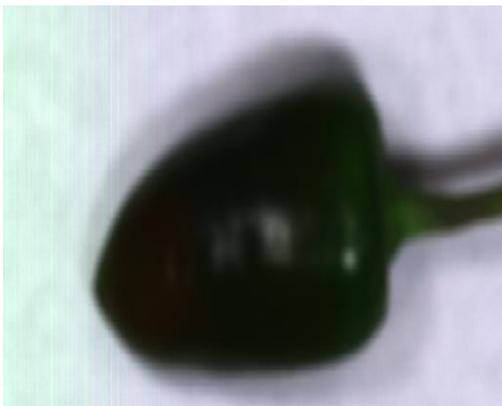


Foto 12: Imagen hiperspectral del grado de madurez : C3



Foto 13 : Imagen hiperspectral del grado de madurez : C4



Foto 14 : Imagen hiperspectral del grado de madurez : C5



Foto 15 : Pesado de las muestras

3. Imágenes de análisis químicos de las muestras de ají cerezo y cálculos de acidez titulable.



Foto 16 : Aditivos para el análisis físico químico

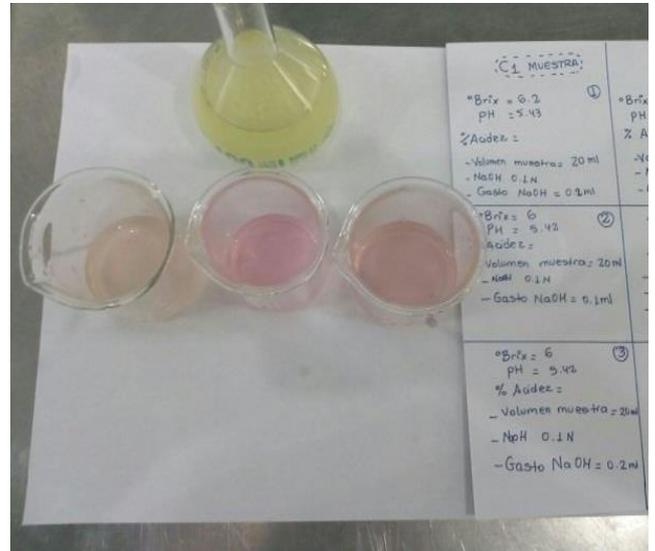


Foto 17 : Análisis físico químico de la muestra C1: pH, °brix, acidez titulable e índice de madurez



Foto 18: Análisis físico químico de la muestra C2: pH, °brix, acidez titulable e índice de madurez.

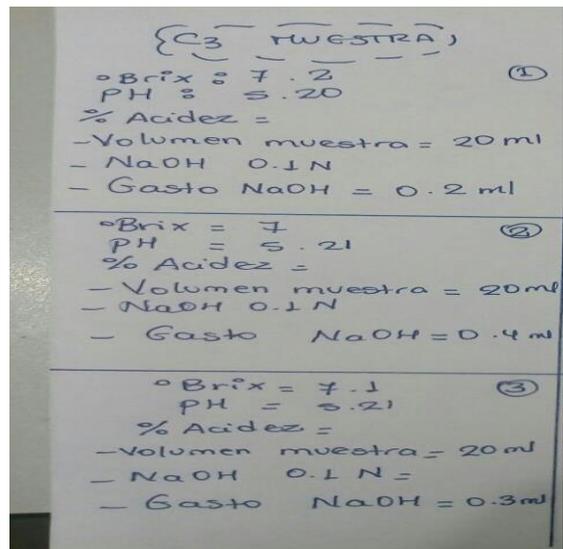


Foto 19 : Análisis físico químico de la muestra C3: pH, °brix, acidez titulable e índice de madurez

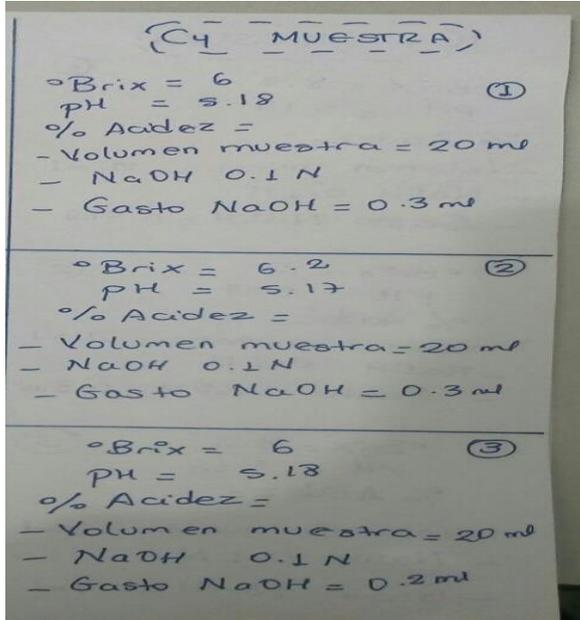


Foto 20 : Análisis físico químico de la muestra C4: pH, °brix, acidez titulable e índice de madurez

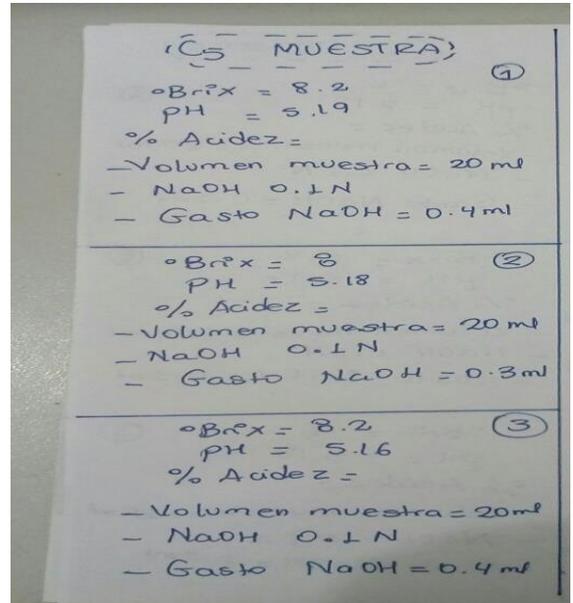


Foto 21 : Análisis físico químico de la muestra C5: pH, °brix, acidez titulable e índice de madurez