

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**



**“EFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y TEMPERATURA EN LAS  
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CHALARINA (*Casimiroa edulis*)  
EN SU PROCESO DE MADURACIÓN EVALUADO POR IMÁGENES  
MULTIESPECTRALES”**

**T E S I S**

Para optar por el Título Profesional de:

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentado por el Bachiller:

**ALEX KELLER CÓRDOVA LEZAMA**

Asesor:

**Ing. M.Cs. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2024**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
*Norte de la Universidad Peruana*  
*Fundada Por Ley 14015 Del 13 De febrero De 1962*  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS REVISADA EN EL SOFTWARE DE ANTIPLAGIO TURNITIN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.

TESIS TITULADA:

"EFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y TEMPERATURA EN LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DE LA CHALARINA (*Casimiroa edulis*) EN SU PROCESO DE MADURACIÓN EVALUADO POR IMÁGENES MULTIESPECTRALES"

Presentada por el bachiller: Alex Keller Córdova Lezama, la que ha sido sometida a revisión mediante software antiplagio TURNITIN, en la fecha del 18 de febrero del 2024, por parte de asesor: Ing. M.Cs. Jimy Frank Oblitas Cruz, obteniendo un puntaje de 13% de similitud.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

Cajamarca, 27 de febrero del 2024

---

Ing. M.Cs. Jimy Frank Oblitas Cruz



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"  
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
Secretaría Académica



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En la ciudad de Cajamarca, a los treinta y un días del mes de enero del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 310-2023-FCA-UNC, de fecha 27 de junio del 2023**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y TEMPERATURA EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CHALARINA (*Casimiroa edulis*) EN SU PROCESO DE MADURACIÓN EVALUADO POR IMÁGENES MULTIESPECTRALES"**, realizada por el Bachiller **ALEX KELLER CÓRDOVA LEZAMA** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las diez horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las once horas y cero minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. José Gerardo Salhuana Granados  
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachin Chávez  
SECRETARIO

Ing. Mg. Sc. Jhon Anthony Vergara Copacandori  
VOCAL

Ing. M.-Sc. Jimmy Frank Oblitas Cruz  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a mis seres queridos, quienes me han brindado su apoyo inquebrantable a lo largo de esta emocionante travesía. A mi familia, por su amor incondicional y paciencia infinita, a mis amigos, por sus palabras de aliento y compañía constante, y a mis profesores, por su invaluable orientación y sabiduría compartida.

Este trabajo de tesis es el resultado de muchas horas de dedicación, sacrificio y esfuerzo, pero también es un testimonio de la confianza y el respaldo que he recibido a lo largo de este camino. Cada uno de ustedes ha desempeñado un papel fundamental en mi éxito, y por eso les dedico este logro con profundo agradecimiento.

*Alex Keller Córdova Lezama*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por darme la fuerza y el saber para alcanzar esta meta importante en mi vida. A mis padres, les agradezco por su incondicional amor y apoyo, por creer en mí y por ser mi pilar en los momentos difíciles.

A mi asesor de tesis, le doy las gracias por su paciencia, guía y conocimiento invaluable que me permitió completar con éxito esta etapa de mi formación académica.

También quiero agradecer a todas las personas que han estado a mi lado durante mi formación académica, por sus enseñanzas, motivación y apoyo constante. Gracias por ayudarme a crecer como persona y profesional.

Este trabajo de investigación es el resultado del esfuerzo y dedicación de muchas personas, y por eso les estaré eternamente agradecido. Gracias a todos.

*Alex Keller Córdova Lezama*

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Descripción del Problema .....	2
1.2.	Formulación del Problema .....	3
1.3.	Justificación .....	3
1.4.	Objetivos .....	4
1.4.1.	Objetivo General.....	4
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	4
1.5.	Hipótesis de la Investigación.....	4
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1.	Antecedentes.....	5
2.2.	Marco Teórico .....	6
2.2.1.	Generalidades de la Chalarina ( <i>Casimiroa edulis</i> ).....	6
2.2.1.1.	Nombre Común. ....	7
2.2.1.2.	Lugar de Origen y Distribución.....	7
2.2.1.3.	Etimología. ....	8
2.2.1.4.	Fruto. ....	8
2.2.1.5.	Cosecha. ....	9
2.2.1.6.	Composición.....	10
2.2.2.	Generalidades Sobre Maduración de Frutos .....	11
2.2.2.1.	Madurez Fisiológica.....	11
2.2.2.2.	Madurez de Consumo u Organoléptica.....	11
2.2.2.3.	Etileno. ....	12
2.2.2.4.	Actividad Respiratoria. ....	12
2.2.3.	El Espectro Electromagnético .....	14

2.2.3.1.	Espectro Visible.....	15
2.2.3.2.	Espectro Infrarrojo.....	15
2.2.4.	Cámara Multiespectral.....	16
2.2.5.	Imagen Multiespectral.....	16
2.2.6.	Reflectancia.....	17
2.2.7.	Sistemas Multiespectrales.....	20
2.2.8.	Firma Espectral.....	20
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1.	Ubicación.....	21
3.2.	Materiales.....	21
3.2.1.	Materia Prima.....	21
3.2.2.	Materiales de Laboratorio.....	22
3.2.3.	Equipos e Instrumentos de Laboratorio.....	22
3.2.4.	Materiales de Gabinete.....	22
3.3.	Metodología.....	23
3.3.1.	Factores, Variables, Niveles y Tratamientos en Estudio.....	24
3.3.2.	Variables independientes.....	24
3.3.2.1.	Tiempo.....	24
3.3.2.2.	Temperatura.....	25
3.3.3.	Variables Dependientes.....	26
3.3.3.1.	Evaluación del Perfil espectral.....	26
3.3.3.2.	Evaluación de Sólidos solubles Totales (SST).....	27
3.3.3.3.	Evaluación de Firmeza.....	27
3.3.4.	Elaboración del Sistema multiespectral.....	28
3.3.4.1.	Componentes del Sistema Multiespectral Utilizado en la Investigación.....	30

3.3.5.	Flujograma de proceso para Obtención y Análisis de Datos.....	32
3.3.6.	Descripción del diagrama de flujo .....	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	36
4.1.	Análisis de perfil multiespectral de frutos de chalarina en A, AE, R y C.....	36
4.1.1.	Firma Espectral Diaria de los cuatro frutos de chalarina .....	38
4.1.2.	Caracterización Multiespectral Promedio de las Cuatro Firmas Multiespectrales	41
4.1.3.	Análisis Estadístico de Resultado de Reflectancia para los Frutos de Chalarina Almacenados en A, AE, R y C .....	42
4.1.3.1.	Chalarina Almacenada a Temperatura Ambiente (A).....	43
4.1.3.2.	Chalarina Almacenada a Temperatura Ambiente Empacado (AE).....	45
4.1.3.3.	Chalarina Almacenada a Temperatura de Refrigeración (R). .....	48
4.1.3.4.	Chalarina Almacenada a Temperatura de Congelación (C).....	49
4.1.4.	Discusión para Estadística de Reflectancia de las Frutas de chalarina Almacenadas en A, AE, R y C .....	50
4.2.	Análisis de Concentración de Sólidos Solubles Totales (SST).....	52
4.3.	Análisis de Firmeza.....	57
V.	CONCLUSIONES .....	62
VI.	RECOMENDACIONES .....	63
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	64
	ANEXOS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Componentes fisicoquímicos y bioactivos de la chalarina ( <i>Casimiroa edulis</i> ).....	10
<b>Tabla 2</b> Bandas de los colores del espectro visible .....	15
<b>Tabla 3</b> Factores, variables, niveles y tratamientos en estudio.....	24
<b>Tabla 4</b> ANOVA para determinar significancia entre días de tratamiento a temperatura ambiente (A) .....	44
<b>Tabla 5</b> Prueba de múltiples rangos para diferencias significativas total de reflectancia con nivel de confianza de 95% DUNCAN a temperatura ambiente (A) .....	44
<b>Tabla 6</b> Diferencia significativa de porcentaje de reflectancia entre pares de días para tratamiento a Temperatura Ambiente (A) .....	45
<b>Tabla 7</b> ANOVA para determinar significancia entre días de tratamiento a T° Ambiente Empacado (AE) .....	46
<b>Tabla 8</b> Prueba de múltiples rangos para diferencias significativas total de reflectancia con nivel de confianza de 95% DUNCAN temperatura Ambiente Empacado (AE) .....	47
<b>Tabla 9</b> Diferencia de media significativa en el nivel de confianza de 95% para días de tratamiento a Temperatura Ambiente Empacado (AE).....	47
<b>Tabla 10</b> ANOVA para determinar significancia entre días de tratamiento a T° de Refrigeración (R) .....	49
<b>Tabla 11</b> ANOVA para determinar significancia entre días de tratamiento a T° de Congelación (C) 50	
<b>Tabla 12</b> ANOVA para determinar la significancia de grados Brix entre tratamientos de temperatura .....	53
<b>Tabla 13</b> Prueba de múltiples rangos para diferencias significativas entre tratamientos de temperatura con nivel de confianza de 95% DUNCAN .....	54
<b>Tabla 14</b> Diferencia significativa entre tratamientos de temperatura con nivel de confianza de 95% 54	
<b>Tabla 15</b> ANOVA para determinar significancia de firmeza (N) entre tratamientos de temperatura. 57	
<b>Tabla 16</b> Prueba de múltiples rangos para diferencias significativas entre pares de tratamientos de temperatura respecto a firmeza con nivel de confianza de 95% DUNCAN .....	58

**Tabla 17** *Diferencia significativa entre tratamientos de temperatura respecto al firmeza con nivel de confianza de 95%..... 58*

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Frutos de Chalarina o Zapote Blanco (Casimiroa edulis)</i> .....	9
<b>Figura 2</b> <i>Etapas entre la formación del fruto y la senescencia</i> .....	11
<b>Figura 3</b> <i>Espectro electromagnético</i> .....	14
<b>Figura 4</b> <i>Perfiles espectrales de reflectancia de diferentes materiales de la superficie terrestre</i> .....	18
<b>Figura 5</b> <i>Espectros de reflectancia de diferentes tipos de vegetación</i> .....	19
<b>Figura 6</b> <i>Ubicación del desarrollo del experimento</i> .....	21
<b>Figura 7</b> <i>Esquema del sistema multiespectral</i> .....	29
<b>Figura 8</b> <i>Sistema multiespectral</i> .....	30
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación</i> .....	32
<b>Figura 10</b> <i>Frutos de chalarina en su tratamiento de temperatura</i> .....	35
<b>Figura 11</b> <i>Frutos de chalarina (Casimiroa edulis) tomados con la cámara TetraCam y procesados en el Software PixelWrench2</i> .....	37
<b>Figura 12</b> <i>Representación de las firmas espectrales del fruto chalarina correspondientes a los cuatro tratamientos de temperatura A, AE, R y C</i> .....	40
<b>Figura 13</b> <i>Firmas espectrales promedio de los cuatro tratamientos de temperatura; con mayor discriminación de valores entre 495 nm a 625 nm</i> .....	41
<b>Figura 14</b> <i>Reflectancia en los 7 días de tratamiento a T° Ambiente (A)</i> .....	43
<b>Figura 15</b> <i>Reflectancia en los 7 días de tratamiento a T° Ambiente Empacado (AE)</i> .....	46
<b>Figura 16</b> <i>Reflectancia en los 7 días de tratamiento a T° de Refrigeración (R)</i> .....	48
<b>Figura 17</b> <i>Reflectancia en los 7 días de tratamiento a T° de Congelación (C)</i> .....	50
<b>Figura 18</b> <i>SST a lo largo de 7 días de evaluación para los 4 tratamientos de temperatura</i> .....	53
<b>Figura 19</b> <i>Tendencia de Sólidos solubles totales (SST)</i> .....	55
<b>Figura 20</b> <i>Firmeza en Newtons para los 4 tratamientos de temperatura durante 7 días de evaluación</i> .....	57
<b>Figura 21</b> <i>Tendencia de Firmeza (Newtons)</i> .....	59

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la Universidad Nacional de Cajamarca. El propósito de la investigación fue determinar el efecto del tiempo de almacenamiento y temperatura en las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*) en su proceso de maduración evaluado por imágenes multiespectrales. Para ello se evaluaron cuatro frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) procedentes del valle de Condebamba acondicionados en cuatro tratamientos de temperatura cada uno: ambiente a 20 °C (A), ambiente empacado en una caja de cartón a 19 °C (AE), refrigeración a 12 °C (R) y congelación a -2 °C (C); la frecuencia de evaluación del perfil multiespectral, la firmeza y los grados Brix de fue de 24 horas. Se descubrió que los frutos almacenados a temperatura “A” y “AE” tienen una vida útil máxima de siete y ocho días; así mismo, los cambios significativos ( $p < 0.05$ ) de color en la piel del fruto a nivel de reflectancia pudieron ser detectados entre 495 nm a 615 nm del espectro electromagnético a partir del día 4 y 6 respectivamente, estos cambios de color se dieron en el momento en el que los frutos alcanzaron la madurez de consumo evidenciados en su firmeza (A= 9.5 N y AE=3,4 N) y grados Brix (A=15.8° Brix y AE=16.1° Brix); sin embargo, los tratamientos de “R” y “C” al día siete de estudio no mostraron cambios significativos ( $p > 0.05$ ). La tendencia de concentración de sólidos solubles fue creciente, de manera que “A” inició con 14.6° Brix y finalizó con 17.9° Brix; “AE” tenía 14.7° Brix al día uno y al día siete 16.5° Brix; “R” inició en 14.6° Brix y al día siete 14.9° Brix; “C” al día uno presentó 14.6° Brix y el día siete 14.7° Brix. Mientras la tendencia de la firmeza fue decreciente; tal que, “A” inició con 18.4 N y finalizó con 1.8 N; “AE” tenía al inicio 18.2 N y al día siete 2.4 N; “R” inició con 18.5 N y al día siete 15.4 N; “C” al día uno presentó 18.4 N y el día siete 16.7 N. Es así que, las características fisicoquímicas de chalarina (*Casimiroa edulis*) como la firmeza, la concentración de sólidos solubles y los cambios de color en la piel del fruto están directamente relacionadas con el tiempo y temperatura a que es expuesta.

**Palabras clave:** Chalarina (*Casimiroa edulis*), tiempo, temperatura, reflectancia, concentración de sólidos solubles, firmeza.

## ABSTRACT

This research was developed at the National University of Cajamarca. The purpose of the research was to determine the effect of storage time and temperature on the physicochemical characteristics of chalarina (*Casimiroa edulis*) in its maturation process evaluated by multispectral images. For this purpose, four chalarina fruits (*Casimiroa edulis*) from the Condebamba Valley were evaluated, conditioned in four temperature treatments each: ambient at 20 °C (A), ambient packed in a cardboard box at 19 °C (AE), refrigeration at 12 °C (R) and freezing at -2 °C (C); The frequency of evaluation of the multispectral profile, firmness and Brix degrees was 24 hours. It was discovered that fruits stored at temperatures “A” and “AE” have a maximum shelf life of seven and eight days; Likewise, significant changes ( $p < 0.05$ ) in color in the fruit skin at the reflectance level could be detected between 495 nm to 615 nm of the electromagnetic spectrum from day 4 and 6 respectively, these color changes occurred in the moment in which the fruits reached consumption maturity evidenced by their firmness (A= 9.5 N and AE=3.4 N) and Brix degrees (A=15.8° Brix and AE=16.1° Brix); However, the “R” and “C” treatments on day seven of the study did not show significant changes ( $p > 0.05$ ). The concentration trend of soluble solids was increasing, so that “A” started with 14.6° Brix and ended with 17.9° Brix; “AE” had 14.7° Brix on day one and 16.5° Brix on day seven; “R” started at 14.6° Brix and on day seven 14.9° Brix; “C” on day one presented 14.6° Brix and on day seven 14.7° Brix. While the trend of firmness was decreasing; such that, “A” started with 18.4 N and ended with 1.8 N; “AE” had 18.2 N at the beginning and 2.4 N on day seven; “R” started with 18.5 N and on day seven 15.4 N; “C” on day one presented 18.4 N and on day seven 16.7 N. Thus, the physicochemical characteristics of chalarina (*Casimiroa edulis*) such as firmness, concentration of soluble solids and color changes in the skin of the fruit are directly related to the time and temperature to which it is exposed.

**Keywords:** Chalarina (*Casimiroa edulis*), time, temperature, reflectance, concentration of soluble solids, firmness.

## I. INTRODUCCIÓN

Las frutas son productos perecibles que experimentan una serie de cambios fisicoquímicos en el transcurso de su maduración postcosecha, durante las etapas de almacenamiento, transporte, venta y consumo, lo que afecta su calidad y apariencia (Kumar Singh y Ghosh, 2021). La tarea principal en postcosecha es mantener la buena calidad de productos perecederos el mayor tiempo posible para evitar el desperdicio de alimentos y pérdidas económicas; en consecuencia, el conocimiento de los factores relacionados con la calidad del producto en la etapa es relevante para productores, distribuidores y consumidores.

Las imágenes multiespectrales, que se desarrollaron originalmente para imágenes espaciales son un tipo de imagen que captura información en múltiples bandas o canales del espectro electromagnético; cada banda o canal corresponde a una porción específica del espectro, como el visible (rojo, verde, azul) y otras regiones, como el infrarrojo cercano; de manera que, se puede extraer mucha información importante de las características fisicoquímicas de frutas y verduras mediante el uso de imágenes multiespectrales; el uso principal de las imágenes multiespectrales en el contexto del análisis de frutas y verduras es determinar la calidad del producto de una manera no invasiva (Gaikwad y Tidke, 2022).

La generación de imágenes multiespectrales es una nueva tecnología que se está implementando para evaluar los parámetros de calidad de las semillas y frutos como las aplicaciones en la detección e identificación de hongos y determinación de la madurez en semillas de remolacha azucarera; de modo que las imágenes multiespectrales tienen potencial para evaluar la calidad de las semillas, en particular para aquellos componentes asociados con la estructura de la superficie, la composición química, el color, la morfología y el tamaño de las semillas y frutos (Boelt et al., 2018).

La presente investigación busca hacer uso de la tecnología de generación y análisis de imágenes multiespectrales para detectar cambios fisicoquímicos en los frutos de chalarina

(*Casimiroa edulis*) en diferentes condiciones de almacenamiento de manera no invasiva antes de que sean perceptibles a simple vista; lo que ayudará a discriminar entre distintas temperaturas de almacenamiento, determinar el grado de madurez de los frutos y tratar comprender los factores que intervienen en su proceso de maduración.

### **1.1. Descripción del Problema**

La chalarina (*Casimiroa edulis*) es una fruta climatérica tropical cultivada en gran parte de Centroamérica (Morton, 1987) y otras zonas de Sudamérica como los valles interandinos del norte de Perú donde es valorada por los consumidores locales por su sabor y valor nutricional. Sin embargo, (McCain, 1993) indica que su comercialización y exportación se ve afectada por la rápida degradación de sus características físicas y químicas después de la cosecha. De modo similar (Yonemoto et al., 2006) mencionan el difícil manejo de cultivo comerciales de zapote blanco (*Casimiroa edulis*) debido a la corta vida útil de la fruta después de la maduración y la dificultad de determinar el momento óptimo de cosecha por observación visual porque el color de la piel de la fruta no cambia mucho al madurar; además, (McCain, 1993) dice que en la mayoría de los cultivares, la fruta permanece de tono verde a verde amarillento cuando está madura.

El almacenamiento postcosecha es un proceso clave para prolongar la vida útil de la fruta, pero su efecto en la calidad de la misma aún no ha sido completamente comprendido. Por lo tanto, es necesario estudiar cómo el tiempo y la temperatura de almacenamiento postcosecha influyen en sus características fisicoquímicas. En este panorama la tecnología de imágenes multiespectrales pueden ser un método eficaz para detectar cambios en la firmeza, concentración de SST y otros atributos de frutos de la chalarina (*Casimiroa edulis*) mucho antes de que sean evidentes a simple vista. Estas imágenes son capturadas utilizando cámaras y sensores que registran la radiación de reflexión de la luz incidente en las muestras a diferentes bandas del espectro electromagnético, lo que permite obtener información detallada sobre la

aparición y composición del fruto. En tal sentido, las imágenes multiespectrales podrían discriminar con gran precisión cómo las características fisicoquímicas del fruto de chalarina (*Casimiroa edulis*) cambian con el tiempo y a diferentes condiciones de temperatura de almacenamiento.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Cuál será el efecto del tiempo de almacenamiento y temperatura en las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*) en su proceso de maduración evaluado por imágenes multiespectrales?

## **1.3. Justificación**

El Perú es un productor diverso de frutas que, debido a sus características de aroma, sabor y valor nutricional, son altamente valoradas en los mercados internacionales; estas frutas alcanzan precios significativamente superiores a los que se obtienen en los mercados locales. Además, el auge de las exportaciones agrícolas en el Perú ha impulsado la búsqueda de nuevas tendencias exportadoras, incluyendo la exportación de frutos poco conocidos. Tal es el caso de la chalarina (*Casimiroa edulis*); sin embargo, su proceso de maduración es complejo y puede verse afectado por diversos factores, incluyendo el tiempo y la temperatura de almacenamiento.

Es importante investigar el efecto de estos factores en las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*) porque puede afectar su calidad, apariencia y valor comercial. Además, una mala gestión en el proceso de maduración puede resultar en pérdidas económicas para los productores locales y una disminución en la disponibilidad de este fruto valioso para los consumidores. El uso de imágenes multiespectrales en la investigación es una técnica novedosa que permite una evaluación objetiva y no invasiva de las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*) durante su proceso de maduración. Esta técnica es útil porque permite analizar cambios imperceptibles para el ojo humano de las características de la fruta de manera rápida y precisa, sin la necesidad de cortar o dañar la fruta;

en este sentido, es crucial aplicar esta técnica para investigar estos factores encaminada a mejorar la calidad y valor comercial de este fruto, y para asegurar la disponibilidad de un producto de alta calidad para los consumidores locales y de otros lugares.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Determinar el efecto del tiempo de almacenamiento y temperatura en las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*) en su proceso de maduración evaluado por imágenes multiespectrales.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto del tiempo en las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*) en su proceso de maduración evaluado por imágenes multiespectrales.
- Determinar el efecto de la temperatura en las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*) en su proceso de maduración evaluado por imágenes multiespectrales.

#### **1.5. Hipótesis de la Investigación**

Existen diferencias cuantitativas y cualitativas significativas en el efecto del tiempo de almacenamiento y temperatura en las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*) en su proceso de maduración evaluado por imágenes multiespectrales.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

En primer lugar, Lozano Grande et al., (2006) estudiaron el Comportamiento en postcosecha de frutos de la chalarina (*Casimiroa edulis*) en Texcoco, México; El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento postcosecha de dos variantes (A, B) de frutos de zapote blanco (*Casimiroa edulis* Llave & Lex.), previamente identificadas en la región de Texcoco, México. Se cosecharon frutos en madurez fisiológica y se evaluaron en un almacenamiento a  $21 \pm 2$  °C por 6 d. Los frutos mostraron un comportamiento climatérico, con un máximo respiratorio a los 4 d en la variante A y a los 5 d en la variante B. La relación Brix/acidez aumentó en ambas variantes, de 28.4 a 34.1 en A y de 33.4 a 43.3 en B. Los frutos de la variante B tuvieron una pulpa más firme que los de la variante A en fase preclimática (17.3 y 13.8 N, respectivamente).

Por otra parte, Yonemoto et al., (2002) evaluaron el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la maduración del fruto de zapote blanco (*Casimiroa edulis*). Los autores investigaron los cambios en el tiempo en la respiración y la producción de etileno en frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) almacenados a 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 °C. Descubrieron que el aumento de la tasa de respiración coincidió con el de la producción de etileno a 30 y 35 °C; durante el almacenamiento a 1 °C no se indujo producción de etileno y se indujo una baja tasa de respiración; los frutos se volvieron blandos y comestibles en el momento de máxima producción de etileno. La temperatura de almacenamiento no afectó el contenido de sólidos solubles totales de los frutos maduros. Todos los frutos almacenados a 1 °C durante 10, 20, 46 y 63 días pudieron madurar luego de ser transferidos a un ambiente a 25 °C.

Liu et al., (2014) estudiaron la “Aplicación de imágenes multiespectrales para determinar los atributos de calidad y el estado de madurez en fresas”. Se evaluó imágenes

multiespectrales en el rango de 405-970 nm para la determinación no destructiva de la firmeza, el contenido de sólidos solubles totales (SST) y el estado de madurez en la fruta de fresa. Los resultados de todos estos modelos demostraron que las partes VIS de los espectros fueron las que más contribuyeron a la determinación de la firmeza, la estimación del contenido de SST y la clasificación del estado de madurez en la fruta de fresa.

Vetrekar et al., (2021) investigaron la “Detección de banano madurado artificialmente utilizando la firma espectral de imágenes multiespectrales”. En este estudio, se buscó diferenciar un banano madurado artificialmente de forma no invasiva utilizando imágenes multiespectrales en ocho bandas estrechas a lo largo del espectro visible (VIS) y del infrarrojo cercano (NIR); se construyeron imágenes multiespectrales recolectadas de muestras de banano madurado artificial y naturalmente. La precisión de clasificación promedio de  $94,41 \pm 4,70$  % basada en la firma espectral muestra la importancia de usar imágenes multiespectrales para detectar banano madurado artificialmente.

Khodabakhshian et al., (2017) determinaron la calidad y madurez de las granadas usando la técnica de imágenes multiespectrales para cuantificar la calidad de la fruta de granada. Evaluaron tres factores de calidad, incluidos los sólidos solubles totales (TSS), el pH y la firmeza en cuatro etapas de madurez diferentes de 88, 109, 124 y 143 días después de la plena floración y se correlacionaron con la información espectral extraída de las imágenes tomadas a cuatro longitudes de onda. Los resultados demostraron la capacidad de las imágenes multiespectrales y la espectrometría como técnicas útiles para monitorear de manera no destructiva los principales atributos de calidad de la granada.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Generalidades de la Chalarina (*Casimiroa edulis*)**

Es una planta arbórea perteneciente a la familia de las rutáceas, su nombre botánico es (*Casimiroa edulis*); su lugar de origen es Centroamérica donde se le llama “zapote blanco”;

siendo posible que haya sido introducida al Perú, desde México. Se cuenta que en Cajabamba se sembró por primera vez en el fundo Santa Elena – Chonta, en el valle de Condebamba por el señor Constante Iparraguirre Vereau, quien le denominó “chelarina”, en recuerdo a un familiar suyo de nombre Graciela, a la que cariñosamente le llamaban “Chela”; la palabra original se ha ido transformando y ahora el común de la gente cajabambina le llama a esta fruta “chalarina” (Urbina Paz, 2008).

#### **2.2.1.1. Nombre Común.**

Chalarina, Zapote blanco, Pera mexicana. Cacchique (maya), Ceax mixtea (otomí), Chaah, Chapote, Cochitzapotl (náhuatl), Iztactzapotl, Matasano, pera criolla, Fruto Pike (en República Dominicana).

#### **2.2.1.2. Lugar de Origen y Distribución.**

La chalarina (*Casimiroa edulis*) común se encuentra tanto silvestre como cultivado en el centro de México. Se planta con frecuencia en Guatemala, El Salvador y Costa Rica y ocasionalmente se cultiva en el norte de América del Sur, las Bahamas, las Indias Occidentales, a lo largo de la Riviera y otras partes de la región mediterránea, India y Asia. Se cultiva comercialmente en el distrito de Gisborne de Nueva Zelanda y, hasta cierto punto, en Sudáfrica. Los horticultores en Israel se interesaron seriamente en los zapotes blancos (*Casimiroa edulis*) alrededor de 1935 y plantaron varias variedades. Los árboles crecían bien y producían poco en la llanura costera; dio buenas cosechas en el interior y las perspectivas comerciales parecían prometedoras, pero la fruta no atraía a los consumidores y era demasiado atractiva para las moscas de la fruta. Por otro lado, en Filipinas, los zapotes blancos no han tenido tanto éxito. La especie común fue introducida en California por los monjes franciscanos alrededor de 1810 y todavía se cultiva en escala limitada en la parte sur de ese estado. (Morton, 1987).

### **2.2.1.3. Etimología.**

El género está dedicado al botánico español Casimiro Gómez de Ortega (1740-1818), catedrático del Real Jardín Botánico de Madrid predecesor de José Cavanilles. El epíteto específico procede del latín *edulis*, *-e*-comestible, por sus frutos (Sánchez de Lorenzo Cáceres, 2017).

### **2.2.1.4. Fruto.**

El zapote blanco (*Casimiroa edulis*) es un fruto climatérico (Yahia E. M., 2004). El fruto es de color verde opaco a amarillo verdoso, subgloboso achatado, y de 5 a 10 cm de diámetro. La piel es muy delgada y la pulpa es de color crema a amarillento, suave y muy dulce, con 1 a 5 semillas grandes, duras y evitar comerlas. El fruto es de forma redonda, ovalada u ovoide. Las variedades de piel verde tienen pulpa blanca y las variedades de piel amarilla tienen pulpa amarilla. La piel es fina y suave y la pulpa tiene una textura similar a la de un flan y un sabor dulce. La fruta de zapote blanco madura de 6 a 9 meses después de la floración. El color de la fruta en la madurez varía de verde manzana a amarillo anaranjado, según el cultivar (Yahia E. M., 2004).

El fruto es redondo, ovalado u ovoide, simétrico o irregular, con más o menos marcados 5 lóbulos, tiene de 2 1/2 a 4 1/2 pulgadas (6.25 a 11.25 cm) de ancho y hasta 4 3/4 pulgadas (12 cm) de longitud, con piel de color verde, amarillenta o dorada, delgada, recubierta con un velo muy fino, tierna, pero no comestible, y una pulpa, de color blanco crema o amarilla con muchas pequeñas y conspicuas glándulas amarillas de aceite. El sabor dulce con un toque más o menos amargo y, a veces claramente resinoso. Puede haber de 1 a 6 semillas regordetas, ovals, duras y blancas, de 1 a 2 pulgadas (2.5 a 5 cm) de largo y 1/2 a 1 pulgada (1.25 a 2.05 cm) de grueso, pero a menudo algunas semillas no están suficientemente desarrolladas (abortadas) y muy delgadas a demás según se informa, son mortalmente tóxicas si se comen (Morton, 1987).

## Figura 1

*Frutos de Chalarina o Zapote Blanco (Casimiroa edulis)*



*Nota.* Frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*). Fuente: elaboración propia

El tiempo de floración varía entre los cultivares, lo que prolonga la cosecha de frutos. Las frutas maduran gradualmente alrededor de 4 a 5 meses después de que ocurre la polinización. Se encuentra en zonas subtropicales y templadas hasta altitudes de 750 a 2700 m, en forma silvestre, escapada o dentro del huerto familiar (McCain, 1993). En el valle de Condebamba - Cajabamba, la floración se produce de febrero a abril y los frutos maduran de septiembre a noviembre (Urbina Paz, 2008).

### **2.2.1.5. Cosecha.**

Cuando los frutos maduros están listos para ser cosechados, se deben recortar de las ramas, dejando un pequeño trozo de tallo adherido; naturalmente, este trozo se desprenderá cuando los frutos alcancen su madurez completa. Si se arrancan con la mano, los frutos se separarán de la rama si se les da un pequeño giro, pero pronto aparecerá un punto debilitado en el pedúnculo que rápidamente se extiende por gran parte de la fruta, llegando a hacerla acuosa e inútil. Los frutos deben ser manipulados con cuidado, incluso cuando no están maduros, ya que se producen fácilmente moretones, la piel se ennegrece y la pulpa se vuelve amarga por debajo. Si se recogen sólo unos días antes de la madurez completa los frutos se ponen blandos

rápidamente, pero pueden ser recogidos varias semanas antes de esta etapa la mayoría desarrollará su sabor pleno. Las frutas de huertos comerciales se clasifican por tamaño, envuelven individualmente para retardar la maduración completa, se envasan en cajas de madera bien acolchadas para el transporte en condiciones de refrigeración (Morton, 1987).

#### 2.2.1.6. Composición.

Los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) tienen un valor alimenticio nutritivo, que proporciona minerales como sodio, potasio, magnesio, hierro, calcio, fósforo, etc. El fruto es rico en vitaminas A y C (180 y 800 mg/kg, peso húmedo respectivamente) y posee un alto contenido de carbohidratos (160 g/kg) (Satheesh, 2015). La Tabla 1 presenta las características fisicoquímicas de la chalarina (*Casimiroa edulis*).

**Tabla 1**

*Componentes fisicoquímicos y bioactivos de la chalarina (Casimiroa edulis)*

<i>Parámetro</i>	<i>Indicador</i>	<i>Cantidad</i>
Agua	%	80.86
Fibra	g/100g	0.203
Carbohidratos	g/100g	17.07
Proteína	g/100g	1.2
Grasa	g/100g	0.066
Ceniza	g/100g	0.47
Capacidad antioxidante	μmol	811.3
Fenoles totales	mg/100g	576.6
Vitamina C	mg/100g	27.9
Acidez	%	0.483
pH	—	5.16
Sólidos solubles	Brix	15.2

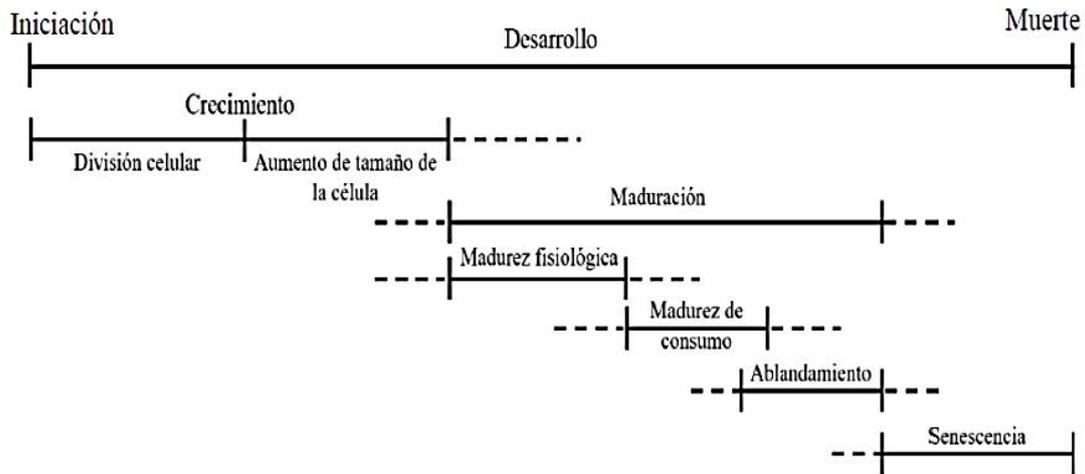
*Nota.* Adaptado de “Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles de la chalarina, (*Casimiroa edulis*)” (Vera Sánchez, 2023).

### 2.2.2. Generalidades Sobre Maduración de Frutos

El desarrollo del fruto ocurre en tres etapas: crecimiento, desarrollo y maduración, seguidas por el ablandamiento y la senescencia (Alba et al., 2005).

**Figura 2**

*Etapas entre la formación del fruto y la senescencia*



*Nota.* Etapas durante el desarrollo del fruto. Adaptación de: (Watada et al., 1894) y (Dos Santos et al., 2015).

#### 2.2.2.1. Madurez Fisiológica.

La madurez fisiológica ocurre antes del desarrollo completo del fruto que después de cosechado debe sobrevivir con sus propios sustratos acumulados (Dos Santos et al., 2015). Este es un paso intermedio entre el fin del crecimiento y el inicio de la senescencia (Dos Santos et al., 2015). Las actividades bioquímicas y fisiológicas involucradas en el ablandamiento, como cambios en la firmeza y en la velocidad de respiración, entre otros; son irreversibles una vez iniciadas (Omboki et al., 2015). Solo pueden retrasar o disminuir su velocidad con la aplicación externa de ciertos procedimientos (Omboki et al., 2015).

#### 2.2.2.2. Madurez de Consumo u Organoléptica.

La maduración organoléptica se refiere al proceso mediante el cual las frutas adquieren las características sensoriales que las identifican como aptas para el consumo. En otras

palabras, es el proceso que transforma un tejido de la fruta que ya está fisiológicamente maduro, pero no comestible, en otro que resulta atractivo visualmente, olfativamente y en sabor. Este proceso puede ocurrir tanto mientras la fruta está en la planta como después de haber sido recolectada. En general, esta etapa es un proceso que comienza durante los últimos días de maduración fisiológica y que irreversiblemente conduce a la senescencia de la fruta (Angón Galván & Hernández, 2006).

#### **2.2.2.3. Etileno.**

El etileno es la hormona vegetal responsable de regular diferentes procesos durante la maduración de productos agrícolas, llevando a procesos de senescencia y finalmente, pérdida de valor nutricional y comercial (Balaguera López et al., 2014).

El etileno regula la maduración y senescencia de productos agrícolas a nivel molecular, bioquímico y fisiológico (Kesari et al., 2007), debido a que estimula la expresión de genes que codifican para las enzimas relacionadas con los cambios durante la maduración y/o senescencia (Jiang y Fu, 2000). El etileno tiene un papel doble en la postcosecha, por un lado, ocasiona que los frutos adquieran características organolépticas óptimas para su consumo, pero también es responsable de la senescencia de los tejidos, generando efectos desfavorables en la calidad (Bapat et al., 2010).

El conocimiento del mecanismo de acción del etileno ha permitido generar diferentes tecnologías y procedimientos para disminuir sus efectos negativos, donde se incluye la refrigeración, uso de atmósferas modificadas y controladas, aplicación de calcio, entre otros; sin embargo, los retardantes químicos de madurez han mostrado mayor eficiencia en el control de la madurez y senescencia de frutos, hortalizas y flores (Paliyath et al., 2008).

#### **2.2.2.4. Actividad Respiratoria.**

La respiración es un proceso biológico, que continúa después que el fruto es cosechado o removido del árbol, donde el oxígeno atmosférico es aprovechado para metabolizar

compuestos de almacenamiento (azúcares y almidón) y formar CO<sub>2</sub>, agua y energía (calor) como subproductos. El nivel de respiración de los frutos varía según la especie, el grado de madurez y las condiciones ambientales (Hulme, 1970).

Los frutos son definidos fisiológicamente con base a la presencia (climatéricos) o ausencia (no climatéricos) de un aumento en la respiración y en la síntesis de etileno al comienzo de la madurez de consumo (Lelièvre et al., 2006).

Los frutos climatéricos son aquellos que continúan madurando después de haber sido cosechados, produciendo altos niveles de etileno (Fuentes et al., 2019). Los frutos climatéricos son aquellos que pueden madurar no sólo adheridos a la planta, sino también después de la cosecha, cuando son cortados en la etapa pre climatérica, como el tomate (*Solanum lycopersicum*), la manzana (*Malus domestica*) y el plátano (*Musa spp.*), este tipo de frutos alcanza más pronto la senescencia (Obando Ulloa et al., 2008), en vista de que la respiración está acompañada por un aumento similar en los niveles de etileno, que coordina y sincroniza el proceso de maduración (Omboki et al., 2015).

Por otro lado, los frutos no climatéricos son aquellos que no continúan madurando después de ser cosechados y no producen altos niveles de etileno. En estos frutos, la maduración se produce gradualmente y se debe principalmente a cambios en las enzimas y otras sustancias químicas dentro del fruto. Los frutos no climatéricos típicos incluyen cítricos, uvas, fresas, piñas y sandías. La maduración no climatérica ocurre independientemente del etileno y solo se da mientras las frutas están adheridas a la planta (Fuentes et al., 2019).

Los frutos no climatéricos no desarrollan los patrones climatéricos que incluyen el aumento en la respiración, biosíntesis de etileno y respuesta autocatalítica al etileno, pero muestran algunas respuestas típicas al etileno como desverdizado (cambios en la coloración de verde a amarillo o anaranjado y ablandamiento), síntesis de enzimas que degradan la pared celular), entre otros (Dos Santos et al., 2015).

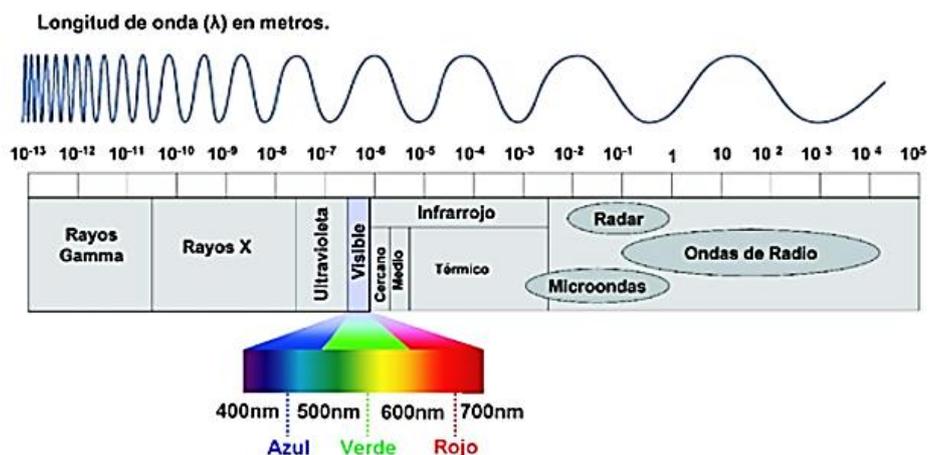
### 2.2.3. El Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético se refiere a toda la gama de radiación electromagnética, que incluye todos los diferentes tipos de ondas electromagnéticas que existen, ordenados por frecuencia creciente y longitud de onda decreciente. La radiación electromagnética consiste en campos eléctricos y magnéticos oscilantes que viajan a través del espacio a la velocidad de la luz (Eugene, 2017).

El espectro electromagnético incluye ondas de radio, microondas, radiación infrarroja, luz visible, radiación ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Las ondas de radio tienen la frecuencia más baja y la longitud de onda más larga, mientras que los rayos gamma tienen la frecuencia más alta y la longitud de onda más corta. Cada tipo de onda electromagnética tiene propiedades y usos únicos, que van desde la comunicación y el entretenimiento (radio y televisión) hasta la imagenología médica (rayos X) y el tratamiento del cáncer (rayos gamma) (Eugene, 2017).

**Figura 3**

*Espectro electromagnético*



*Nota.* Espectro electromagnético. Adaptado de (Correcher y García Guinea, 2015)

### 2.2.3.1. Espectro Visible.

El espectro visible se define como la región del espectro electromagnético que es detectado por el ojo humano como luz visible. El espectro visible se extiende desde longitudes de onda de aproximadamente 400 nanómetros a 700 nanómetros. (Bernabé, 2016)

Según (Eugene, 2017), la luz visible es una forma de radiación electromagnética que viaja a través del espacio y que puede ser detectada por el ojo humano. La luz visible es responsable de la mayoría de la percepción visual que tenemos del mundo que nos rodea. Además, lo clasifica en 6 bandas de colores que van desde el violeta iniciando en 390 nm y finaliza en el rojo en 780 nm aproximadamente.

Desde siempre hemos utilizado la luz visible, reflejada o emitida por los objetos, para informarnos sobre lo que nos rodea, sin embargo, nuestra percepción de los fenómenos está limitada ya que únicamente somos sensibles a una pequeña parte de la radiación del espectro de la radiación electromagnética, la porción visible situada entre los 400 nm y los 700 nm (Bernabé, 2016).

**Tabla 2**

*Bandas de los colores del espectro visible*

<i>Color</i>	<i>Longitud de onda (<math>\lambda</math>) nm</i>
Rojo	780-622
Anaranjado	622-597
Amarillo	597-577
Verde	577-492
Azul	492-455
Violeta	455-390

*Nota.* Adaptado de “Óptica” (Eugene, 2017)

### 2.2.3.2. Espectro Infrarrojo.

La siguiente parte del espectro de interés es la parte de infrarrojos (IR) región que abarca el rango de longitud de onda de aproximadamente 0.7  $\mu\text{m}$  a 300  $\mu\text{m}$ . La región infrarroja se

puede dividirse en dos categorías basadas en sus propiedades de radiación: la región de IR reflejada, y la región IR emitida o térmica. La radiación infrarroja se asocia generalmente con el calor, aunque a veces puede ser generada por algunos diodos emisores de luz y algunos láseres (Eugene, 2017).

El espectro infrarrojo es una parte del espectro electromagnético que se encuentra entre el espectro visible y la radiación microondas. Se caracteriza por tener longitudes de onda más largas que las del espectro visible y más cortas que de las microondas. La luz infrarroja no es visible para el ojo humano, pero puede ser detectada por cámaras especiales y otros dispositivos electrónicos (Pérez, 2017).

#### **2.2.4. *Cámara Multiespectral***

Una cámara multiespectral es un tipo de cámara que puede capturar imágenes en diferentes bandas del espectro electromagnético, como el visible, el infrarrojo cercano y el ultravioleta. Estas imágenes se utilizan en aplicaciones científicas y comerciales, como la agricultura, la agroindustria, la geología y la cartografía. Los componentes básicos de una cámara multiespectral incluyen: sensores, lente, filtros espectrales, procesador, almacenamiento, interfaz de usuario, fuente de energía (Soille, 2010).

#### **2.2.5. *Imagen Multiespectral***

Una imagen multiespectral es una imagen que se captura utilizando varios canales o bandas del espectro electromagnético. Las imágenes multiespectrales se pueden obtener mediante el uso de sensores que capturan la radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda, lo que permite la detección de diferentes características de la escena. Estas imágenes se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la teledetección, la monitorización del medio ambiente, la exploración geológica, la agricultura, la seguridad, entre otras (Rafael C. & Richard E., 2018).

Cada píxel en una imagen multispectral contiene valores numéricos que representan la intensidad o el nivel de reflectancia de la radiación electromagnética en cada banda espectral capturada. Estos valores pueden ser procesados y analizados para extraer información valiosa sobre la composición química, la temperatura, la vegetación, la humedad del suelo y otras características de la escena.

Las imágenes multispectrales pueden ser utilizadas para evaluar la calidad de los frutos, lo que puede ser importante en la selección y clasificación de los mismos para su comercialización. Por ejemplo, la calidad de la fruta puede estar relacionada con la firmeza, sólidos solubles totales (SST), PH y acidez titulable (AT) y estas propiedades pueden ser detectadas mediante el análisis de las imágenes multispectrales (Jianwei et al., 2009).

#### **2.2.6. *Reflectancia***

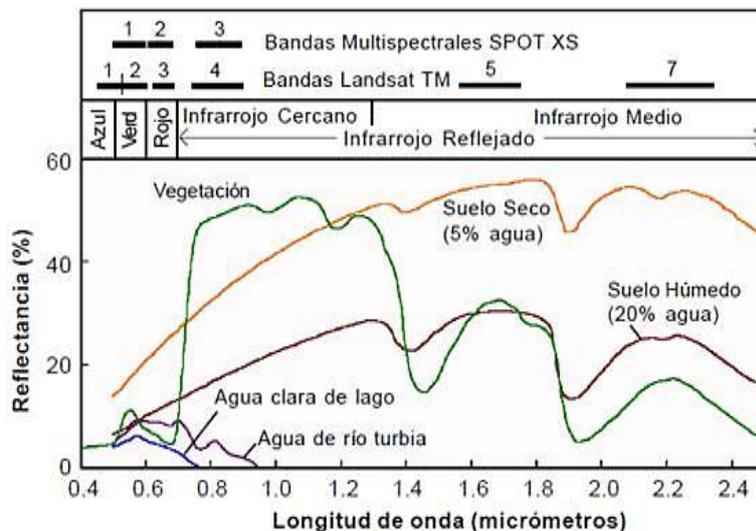
Los autores (Rafael C. & Richard E., 2018), definen a la reflectancia como el fenómeno en que un espectro de la luz es reflejado por la superficie de un objeto. El grado en que esto sucede depende del material del objeto pues determinados elementos absorben cierto espectro del rango luminoso mientras reflejan otro; donde el color reflejado es el que vemos. La reflectancia es una propiedad importante de los objetos en el procesamiento de imágenes, ya que influye en la cantidad de luz que un objeto refleja y, por lo tanto, en la apariencia de un objeto en una imagen.

La reflectancia puede ser medida en diferentes longitudes de onda de la radiación electromagnética y puede ser utilizada para identificar diferentes tipos de materiales en una escena, como la vegetación, el agua y el suelo. También se puede utilizar para determinar la salud de la vegetación, ya que la reflectancia puede disminuir cuando las hojas se vuelven marrones o mueren. La reflectancia es una magnitud adimensional que se expresa mediante un número entre 0 y 1 o un porcentaje entre 0 y 100% (González y Woods, 2008).

A continuación, se presentan dos ejemplos en los que se comparan diferentes firmas espectrales de reflectancia. La Figura 4 muestra las firmas espectrales de reflectancia de los materiales más comunes en la superficie terrestre. En la parte superior de la figura, se representan, a modo de comparación, los rangos de bandas espectrales utilizados en diversos sensores de teledetección. Estas curvas proporcionan información valiosa sobre cómo los materiales reflejan la luz en función de la longitud de onda, lo que es fundamental para el estudio de la composición y características de la superficie terrestre.

**Figura 4**

*Perfiles espectrales de reflectancia de diferentes materiales de la superficie terrestre*



*Nota.* Fuente: (Bernabé, 2016)

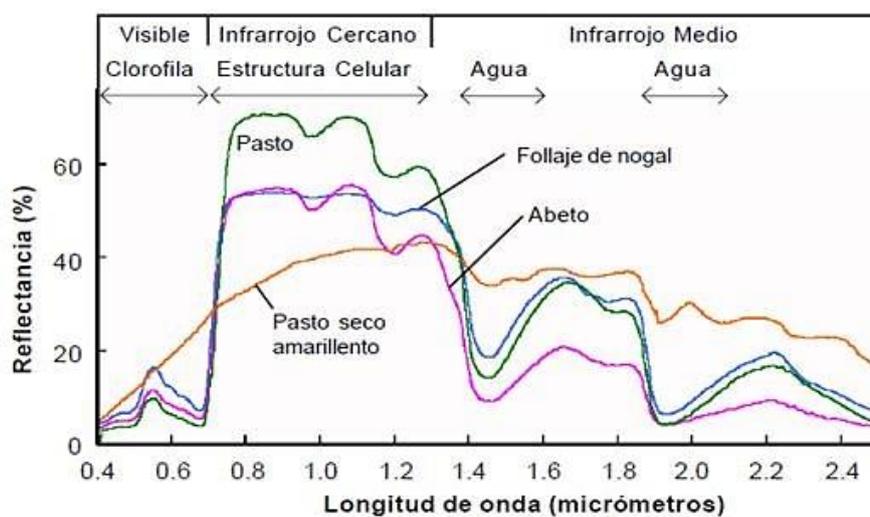
La vegetación tiene una reflectancia baja en el rango visible, aunque con un pico en el color verde debido a su contenido en clorofila. Por otro lado, se observa que dicha magnitud es muy alta en el infrarrojo reflejado o próximo debido a la escasa absorción de energía por parte de las plantas en esta banda. Se observa, por ejemplo, que la vegetación tiene un valor de reflectancia más alto en el rango de frecuencias del infrarrojo cercano y un valor inferior en la zona visible del espectro rojo, que la tierra.

Las firmas espectrales de las plantas tienen una forma característica determinada por sus diversos atributos. En la porción visible del espectro, la forma de la curva se rige por los

efectos de absorción de clorofila y otros pigmentos de las hojas. La clorofila absorbe la luz visible de manera muy eficaz, pero absorbe las longitudes de onda azules y rojas con más fuerza que el verde, produciendo un pequeño pico de reflectancia característica dentro de la gama de longitudes de onda verde. Como consecuencia nuestra percepción visual de las plantas es de color verde (Bernabé, 2016).

### Figura 5

*Espectros de reflectancia de diferentes tipos de vegetación*



*Nota.* Fuente: (Bernabé, 2016)

Tal y como se observa en la Figura 5, la reflectancia aumenta bruscamente entre los límites de las longitudes de onda infrarrojas hasta valores de alrededor de 40 % a 50% para la mayoría de las plantas. Esta alta reflectancia en el infrarrojo cercano se debe principalmente a las interacciones con la estructura celular interna de las hojas. La mayor parte de la energía restante se transmite. La estructura de la hoja varía significativamente entre especies de plantas, y también puede cambiar como resultado del estrés. El estrés en las plantas se produce debido a la presencia de un factor externo a la planta provocado por el medio ambiente cambiante, que ejerce una influencia negativa sobre su desarrollo óptimo

Así la especie, el estrés de la planta, afecta la medida de reflectancia en el infrarrojo cercano. A partir de 1,3  $\mu\text{m}$  los valores de reflectancia disminuyen progresivamente al

aumentar la longitud de onda, a excepción de las dos bandas de absorción de agua pronunciadas cerca de 1.4  $\mu\text{m}$  y 1.9  $\mu\text{m}$ . Con el fin de la temporada de crecimiento, las hojas pierden agua y clorofila. La reflectancia en el infrarrojo cercano disminuye y se producen aumentos de reflectancia en la zona del espectro rojo, creando los tonos amarillos, marrones y rojos de los colores de hojas en otoño.

### **2.2.7. *Sistemas Multiespectrales***

En general, se puede decir que un sistema multiespectral es aquél que tiene un sensor de imagen que realiza el registro de una escena a través de varios canales, con cada canal representando la información de la escena en una determinada banda espectral (Hardeberg, 1999). Una de las clasificaciones más común denota los sistemas multiespectrales como aquéllos que tienen entre 4 y 9 canales de adquisición dentro del rango del visible (Imai et al., 2000).

### **2.2.8. *Firma Espectral***

La firma espectral es una representación gráfica de la reflectancia de un objeto en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. Esta reflectancia puede ser medida utilizando sensores remotos con cámaras especiales. La firma espectral hace referencia a la forma en que una cubierta refleja o emite su energía a distintas longitudes de onda y este comportamiento sirve para diferenciar unas coberturas de otras. También se la conoce como comportamiento espectral o curva espectral (Valbuena Calderón y Castro Méndez, 2013).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias (2H – 207) de la Universidad Nacional de Cajamarca en la ciudad, provincia y distrito de Cajamarca. Esta casa superior de estudios se encuentra ubicada a 3.5 km de la ciudad de Cajamarca ( $78^{\circ} 3'$  de longitud y  $7^{\circ} 10'$  latitud sur), y a 2750 msnm, con temperatura media anual es de máximo  $21^{\circ}\text{C}$  y mínimo  $6^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa de 73 % y precipitación promedio anual de 628 mm/año.

**Figura 6**

*Ubicación del desarrollo del experimento*



*Nota.* Ubicación geográfica del trabajo de investigación. Elaboración propia

#### 3.2. Materiales

##### 3.2.1. *Materia Prima*

Para la investigación se utilizaron frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*), procedente del valle de Condebamba distrito de la provincia de Cajabamba en el departamento de Cajamarca siguiendo los siguientes criterios de madurez descritos por (Yahia E. M., 2004); indicando que las frutas de Zapote blanco (*casimiroa edulis*) deben tener una apariencia

atractiva y fresca; esto incluye una forma y tamaño uniformes, una piel sin daños significativos y un color característico (piel de color amarillo - verdoso); además las frutas deben estar en su punto de madurez óptimo (madurez fisiológica). Por lo que, si se recolectan demasiado pronto, pueden estar inmaduras y con un sabor insípido o amargo. Si se recolectan demasiado tarde, pueden estar sobre maduras y con un sabor picante; además las frutas no deben presentar defectos graves como pudriciones, magulladuras o manchas. Según (McGregor, 1987) las frutas de buena calidad son de color amarillo a verde amarillento y de 60-120 mm de diámetro.

En general el estado de los frutos al corte de la planta para análisis correspondió a madurez fisiológica, caracterizada por una epidermis de color verde amarillento, dureza alta al tacto y tamaño mayor a 6 cm de diámetro horizontal.

### **3.2.2. *Materiales de Laboratorio***

- Termómetros
- Caja de cartón
- Mesa de acero inoxidable

### **3.2.3. *Equipos e Instrumentos de Laboratorio***

- Sistema multiespectral
- Sensor multiespectral - Tetracam
- Texturómetro Brookfield CT3
- Refractómetro ATC
- Congelador
- Refrigerador
- Mortero
- Sacabocado

### **3.2.4. *Materiales de Gabinete***

- Laptop

- Internet
- Memoria USB
- Celular
- Hojas de papel bond
- Lapiceros
- Marcador

### **3.3. Metodología**

Para el desarrollo del experimento se utilizaron frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) en estado de madurez fisiológico; de una población de 30 unidades se seleccionaron al azar cuatro frutos los cuales se distribuyeron en cuatro condiciones de almacenamiento (Ambiente a 20 °C, Ambiente Empacado dentro de una caja de cartón a 19 °C, Refrigeración a 12 °C y Congelación a -2 °C); luego, cada 24 horas se midió y monitoreo los cambios en las características fisicoquímicas (perfil espectral, firmeza y Brix) de los cuatro frutos.

Para llevar a cabo el análisis estadístico, se implementó un diseño de bloques completamente al azar en un arreglo factorial con 3 repeticiones. Se aplicó el método de Análisis de Varianza (ANOVA) y la prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95% para realizar comparaciones múltiples. Todo esto se realizó utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion. El estudio se centró en dos factores: el tiempo y la temperatura de almacenamiento.

El diseño completamente al azar (DCA) es el más simple y utilizado de todos. Es aplicable cuando las unidades experimentales son homogéneas y la administración del experimento es uniforme para todas ellas. Al concluir el experimento las unidades experimentales mostrarán diferentes resultados atribuibles en forma exclusiva a los tratamientos aplicados (Ortega et al., 2017).

### 3.3.1. Factores, Variables, Niveles y Tratamientos en Estudio

A continuación, en la Tabla 3 se describen los factores asociados a las variables.

**Tabla 3**

*Factores, variables, niveles y tratamientos en estudio*

	<i>Variables</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicador</i>
<b>Variab</b>	Tiempo	d1, d2, d3,...,dn	Días
<b>Independientes</b>	Temperatura	-2, 12, 19 y 20	°C
<b>Variab</b>	Perfil espectral	Reflectancia	%
<b>Dependientes</b>	Brix	Sólidos solubles	%
	Textura	Firmeza	Newtons

*Nota.* Factores, variables, niveles y tratamientos en estudio. Elaboración propia.

### 3.3.2. Variables independientes

#### 3.3.2.1. Tiempo.

Se consideró como tiempo final del experimento cuando el fruto almacenado a temperatura ambiente de 20° C entre a la senescencia. Las pruebas se realizaron basado en lo reportado por (Lozano Grande et al., 2006) quienes indican que el fruto de chalarina (*Casimiroa edulis*) tiene una vida útil entre 4 y 6 días almacenado a temperatura ambiente de 21 °C y lo descrito por (Hernández, 2010) indicando que los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) cuentan con una vida postcosecha que va de 7 a 8 días. Durante los días que se realizó las pruebas a las chalarinas (*Casimiroa edulis*) se pudo observar cambios del perfil espectral evidenciados en el color de la piel del fruto, en la firmeza y la concentración de sólidos solubles.

**Procedimiento.** Cada 24 horas se midió y monitoreó los cambios en las características fisicoquímicas (perfil espectral, firmeza y Brix) de los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) almacenadas en las cuatro condiciones de temperatura (A, AE, R y C); para medir del tiempo se utilizó un reloj digital. La toma de datos y medición de las características fisicoquímicas de las frutas de chalarina se realizaron en un promedio de

5 minutos para cada tratamiento de temperatura; luego la fruta se regresó inmediatamente a su respectivo espacio de almacenamiento y se continuó con la siguiente. De manera que, el día uno se realizó la medida de las características fisicoquímicas a partir de las 10:00 am, para el día dos las mediciones iniciaron a la misma hora y de esta manera se procedió durante los siguientes días de evaluación hasta que la fruta almacenada a temperatura ambiente (20 °C) entre en estado de senescencia. El horario en que se evaluó las características fisicoquímicas se detalla a continuación: temperatura ambiente (A) a las 10:00 am, temperatura ambiente empacado (AE) a las 10:05 am, refrigeración (R) a las 10:10 am y congelación (C) a las 10:15 am.

### **3.3.2.2. Temperatura.**

Se consideraron cuatro tratamientos de temperatura, categorizadas por temperatura en calor (ambiente y ambiente empacado en caja de cartón) y temperatura en frío (refrigeración y congelación); las que se denotan de la siguiente manera: ambiente (A), ambiente empacado (AE), refrigeración (R) y congelación (C). La fruta sometida a temperatura ambiente (A) se almacenó en laboratorio a una temperatura promedio de 20 °C; mientras la fruta almacenada en temperatura ambiente empacado (AE) se acondicionó en laboratorio dentro de una caja de cartón cerrada de dimensiones (Altura=15cm, Largo=21cm y Profundidad=14cm) cuya temperatura promedio dentro de la caja fue de 19 °C; las frutas sometidas a tratamiento de congelación (C) y refrigeración (R) fueron almacenadas a temperatura constante de -2 °C y 12 °C respectivamente.

**Procedimiento.** Para medir y controlar la temperatura de los tratamientos (A, AE, R y C) se utilizó un termómetro digital en cada tratamiento. Se aseguró que los cuatro termómetros estuvieran calibrados correctamente antes de comenzar el procedimiento. Luego se colocó un termómetro en cada espacio donde se almacenaron las frutas (ambiente, dentro de la caja de cartón, refrigerador y congelador) de manera

que se mida la temperatura más representativa de las frutas de chalarina. En los cuatro casos se dejó que el termómetro se estabilice durante un tiempo para obtener una lectura precisa. De la misma forma se repitió cada día este procedimiento.

### **3.3.3. Variables Dependientes**

#### **3.3.3.1. Evaluación del Perfil espectral.**

Durante los días de estudio se capturaron las imágenes multiespectrales de las frutas almacenadas en cada condición de temperatura. Luego, para la construcción de las firmas espectrales de cada fruta se extrajeron los datos de reflectancia de las imágenes en las bandas Verde, Rojo e infrarrojo cercano (R, G y NIR) del espectro electromagnético. Las firmas espectrales muestran la variación de la radiación reflejada por los objetos en función de la longitud de onda. Este comportamiento físico puede ser tenido en cuenta en los análisis multiespectrales para reconocer elementos particulares en las imágenes.

**Procedimiento.** Con la finalidad de capturar las imágenes multiespectrales de las frutas de chalarina (*Casimiroa edulis*) en los cuatro tratamientos de temperatura se utilizó el sistema multiespectral que se diseñó previamente; acondicionado con la cámara multiespectral de reflectancia óptica “Tetracam ADC Micro”. En primer lugar, se sacó las frutas de chalarina de su respectivo tratamiento de temperatura; iniciando la evaluación de la chalarina en ambiente, ambiente empacado, refrigeración y finalmente congelación; para esto se colocó bajo el sensor del sistema multiespectral la cara marcada de los frutos, se suministró condiciones ideales de iluminación por medio de las lámparas halógenas, luego de haber enfocado la región de interés del fruto se procedió a capturar la imagen multiespectral presionando el botón de obturar del panel de control. Todas las imágenes multiespectrales adquiridas se guardaron en formato RAW dentro de la memoria del equipo, luego se trasladaron a una computadora para su análisis y con el fin de ordenar los espectros tomados de las frutas de los cuatro

tratamientos de temperatura (A, AE, R, C) se hizo la representación gráfica de las firmas espectrales por medio del Software Matlab 20.

### **3.3.3.2. Evaluación de Sólidos solubles Totales (SST).**

La obtención de datos de los SST de los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) se hicieron por medio de refractómetro o Brixómetro ATC, Brix 0-32; el cual mide la refracción de la luz a través de la solución. La cantidad de azúcar presente en la solución afecta su índice de refracción, lo que a su vez se correlaciona con la lectura en grados Brix en el instrumento. Los grados Brix indican el porcentaje de azúcar en la solución.

*Procedimiento.* Para las cuatro frutas de chalarina en A, AE, R y C se obtuvo una porción de pulpa de la región opuesta a la parte marcada, luego se trituró en un mortero y con la ayuda de un gotero se extrajo una porción de líquido, después se procedió a levantar la tapa que cubre el prisma del refractómetro ATC y se colocó una gota de líquido, luego se cerró la tapa del prisma y se dirigió el refractómetro hacia la luz, finalmente para realizar la lectura se observó las dos divisiones de la escala graduada y se tomó como medida el porcentaje de azúcares presentes expresado en grados Brix. La lectura se realizó por duplicado.

### **3.3.3.3. Evaluación de Firmeza.**

El método de compresión es un método comúnmente utilizado para medir la firmeza de las frutas. Este método consiste en aplicar una fuerza de compresión sobre la fruta y medir la fuerza necesaria para deformarla en un porcentaje determinado. Se midió la firmeza como la máxima fuerza necesaria para comprimir el fruto a una profundidad de 10 mm, se aplicó una velocidad de deformación constante y controlada de 1 mm/s para comprimir la fruta.

*Procedimiento.* El análisis de firmeza, se realizó mediante el Texturómetro Brookfield CT3, equipado con una sonda especial para medir compresión, de fuerza máxima de 25 kgf, resolución de 0.0001 kgf y precisión de 0.0025%. Primero se

programó en el software del equipo a través de una computadora dos ciclos consecutivos de compresión del 50% a una velocidad constante de 1 mm/s con una carga de activación de 4 g y una distancia objetivo de 20 mm; después, se colocó el fruto de chalarina en el centro del soporte del equipo de modo que la sonda se aplique de manera uniforme, luego, la sonda se movió hacia abajo para comprimir la fruta; es así que, el Texturómetro Brookfield CT3 registró automáticamente la fuerza necesaria para comprimir la fruta de chalarina y la curva de carga vs. deformación se mostró en la pantalla del software del equipo; finalmente el valor máximo de fuerza registrado en la curva es una medida de la firmeza de la fruta y estos valores se mostraron en unidades de medida, como N (newtons). La evaluación para las cuatro frutas de chalarina se realizó en los puntos donde se habían obtenido las imágenes multiespectrales; de manera similar este procedimiento se realizó para las demás frutas de chalarina durante los días de evaluación.

#### **3.3.4. *Elaboración del Sistema multiespectral***

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario diseñar e implementar un sistema multiespectral que cumpla con las necesidades requeridas. Este sistema comprende un módulo Vis - NIR, con una cámara Tetracam ADC con sensibilidad entre 520 nm a 920 nm, acoplada a una fuente de diodos emisores de luz (LED) con tres bandas: Verde, Rojo y NIR. Fue necesario diseñar un soporte mecánico que permitió una alineación precisa entre los componentes de la cámara Tetracam ADC Micro; además de proteger tanto al sistema óptico como electrónico en la captura de imágenes de alta calidad. Una vez que el sistema estaba diseñado, fue importante realizar pruebas y evaluaciones para asegurarse de que cumpliera con los requisitos establecidos. También, se requirieron ajustes de calibración para optimizar la calidad de la imagen. Se caracterizaron los elementos del sistema y, además, llevaron a cabo

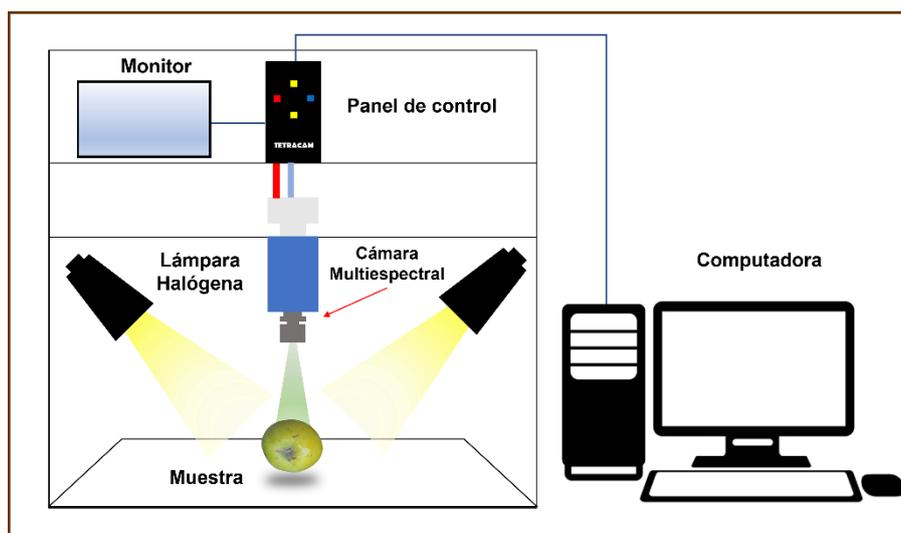
simulaciones para evaluar su rendimiento en la reconstrucción de reflectancia espectral bajo condiciones ideales de iluminación.

El software PixelWrench2, nativo de la cámara Tetracam ADC Micro permitió mover las imágenes capturadas en las tarjetas de memoria flash de la cámara a la computadora, donde las imágenes pudieron ser manipuladas, analizadas o convertirse a otros formatos de archivo estándar, como JPEG o PNG.

A continuación, en la Figura 7 aprecia los componentes esquemáticos del sistema multispectral utilizado para la toma de imágenes multispectrales en el trabajo de investigación.

### Figura 7

*Esquema del sistema multispectral*



*Nota.* Elaboración propia

La figura 8 muestra el sistema multispectral y sus componentes terminados que se usaron en la para la captura de las imágenes multispectrales en la investigación.

## Figura 8

### *Sistema multispectral*



*Nota.* Elaboración propia

#### **3.3.4.1. Componentes del Sistema Multispectral Utilizado en la Investigación.**

*Cámara Multispectral Tetracam.* Funciona capturando la luz en varias bandas del espectro electromagnético, en lugar de solo en el espectro visible. Esta cámara multispectral consta de un sensor, que es el componente encargado de detectar la luz reflejada y convertirla en una señal eléctrica, luego el procesador convierte en datos que son almacenadas en imágenes digitales monocromáticas en formato RAW. La cámara Tetracam micro tiene las siguientes características:

- 3 bandas (verde, rojo y NIR)
- Resolución de 2048 x 1536 píxeles
- 16 GB de memoria
- Lentes de alta calidad de 8,43mm
- Las imágenes se guardan en formato RAW con metadatos como el tamaño de imagen, fecha de creación, información espectral de cada píxel, longitud de onda, reflectancia, etc.
- Sensibilidad del sensor en el rango de 520 nm a 920 nm

- Longitud focal: f/3,2
- 90g de peso
- Dimensiones de 75 mm x 59 mm x 33 mm
- Trabaja a temperaturas entre 0° C y 42° C y con humedad menor de 85% (por condensación)
- Consumo de 2W

**Monitor.** Muestra la información del equipo de la cámara como imágenes y textos. Permite monitorear y encuadrar la fruta de chalarina.

**Panel o Caja de Control.** Es el cuadro que contiene botones que permiten al usuario desplazarse manualmente hacia arriba y hacia abajo a través de los menús del sistema, elegir una selección o tomar una foto.

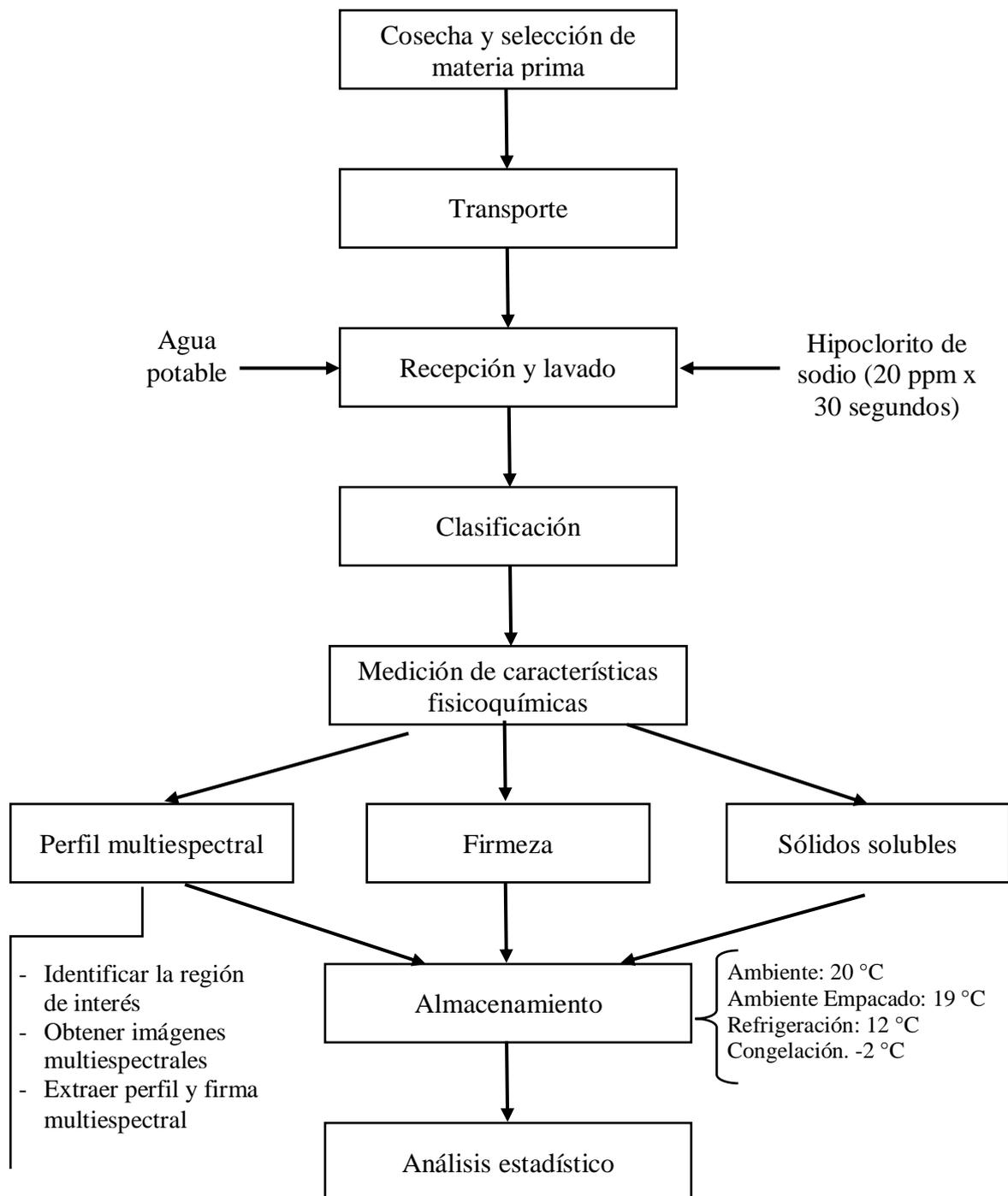
**Fuente de Iluminación.** Para la iluminar la fruta de chalarina se utilizó lámparas halógenas que son un tipo de iluminación, similares a una bombilla convencional, pero a diferencia de estas, en vez de contar en su interior con solo un gas inerte, tienen una mezcla de este y un halógeno, lo que aumenta considerablemente la capacidad. Se utiliza para iluminar de forma uniforme la superficie de la fruta a fotografiar.

**Computadora.** Donde se guardan las imágenes en formato RAW generadas a partir de la reflectancia.

### 3.3.5. Flujograma de proceso para Obtención y Análisis de Datos

**Figura 9**

Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación



Nota. Elaboración propia

### 3.3.6. Descripción del diagrama de flujo

- a) **Cosecha y selección de materia prima.** Los frutos se recogieron de la planta a inicio de su madurez fisiológica; este proceso fue realizado de forma manual, evitando que la materia prima tenga lesiones o algún tipo de daño, teniendo en cuenta que la fruta sea lo más uniforme posible y libre de defectos visibles.
- b) **Transporte.** Inmediatamente después de ser cosechada la materia prima se transportó en cajas de cartón adecuadas para garantizar que esta no sufra golpes o magulladuras durante el viaje al lugar de estudio.
- c) **Recepción y lavado.** Al llegar al laboratorio la materia prima fue extraída de las cajas donde se transportó, luego en un recipiente se utilizó agua potable con la finalidad de eliminar materias extrañas que estén adheridas a la materia prima. Adicionalmente se desinfectó la materia prima con desinfectante Hipoclorito de Sodio más agua en una concentración de 20 ppm por un tiempo de 30 segundos.
- d) **Selección y clasificación.** Para la obtención de los frutos a analizar se tomaron cuatro frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) al azar de una población de 30 unidades; se debió seleccionar una muestra de frutos que sea representativa del conjunto. Luego, estos frutos de chalarina se clasificaron para acondicionar en cuatro condiciones de almacenamiento (A, AE, R y C) cada una.
- e) **Medición de características fisicoquímicas.** Se midió cada 24 horas las características fisicoquímicas de las cuatro frutas de chalarina (*Casimiroa edulis*).
  - **Los sólidos solubles**, se midieron como el porcentaje de sacarosa expresada en grados Brix mediante el uso de un refractómetro ATC, Brix 0-32b
  - **La firmeza**, se midió como la fuerza de compresión necesaria para deformar un porcentaje la chalarina; este valor obtenido se expresa en Newtons.

- **Perfil multispectral**, para la captura de las imágenes multispectrales se desarrolló el siguiente procedimiento:

*Identificación de la Región de Interés.* Se localiza la región de la chalarina más estable para ajustar su posición al sensor del sistema multispectral; se marcó cada fruta con un plumón indeleble para evitar que la región de interés cambie con la toma diaria de datos.

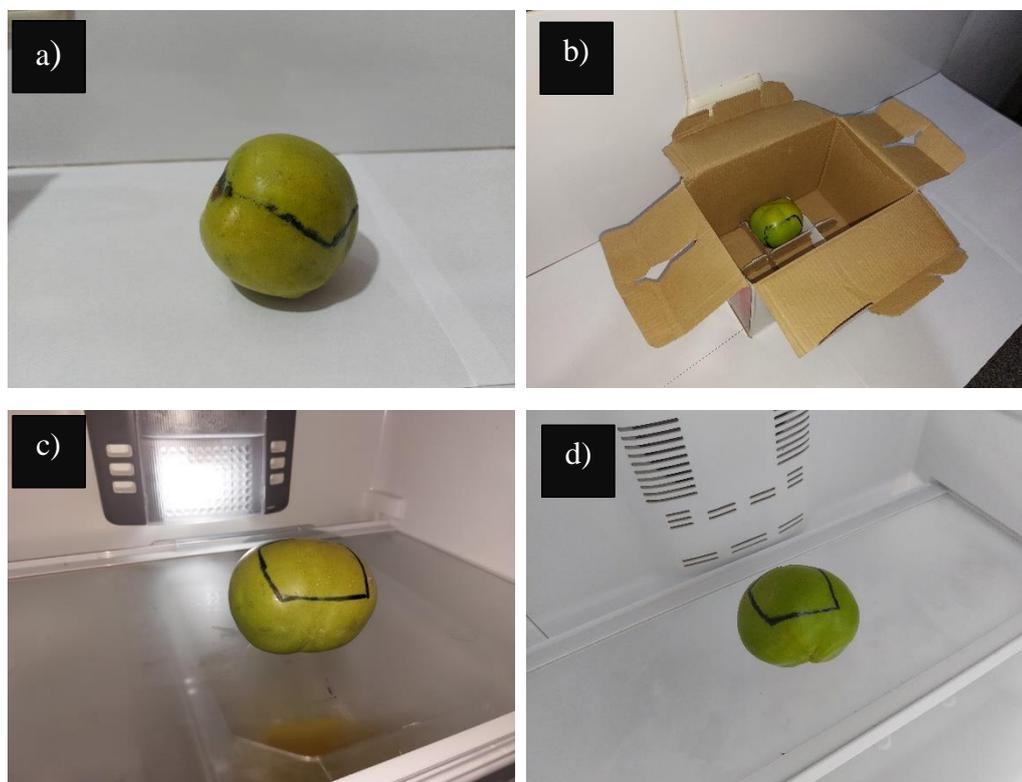
*Obtener Imagen Multispectral.* Una vez colocada la fruta de chalarina bajo el sensor, en condiciones ideales de iluminación se captura la fotografía presionando el botón obturador del panel de control del sistema multispectral. La cámara genera una imagen gris monocromática en formato RAW con la información de reflectancia en las bandas R, G y NIR.

*Extraer Perfil y Firma multispectral.* Las imágenes generadas contienen información de reflectancia en diferentes bandas del espectro electromagnético que permite una mayor comprensión y análisis de la información presente en la superficie de la fruta de chalarina. Las imágenes multispectrales obtenidas están compuestas por píxeles, que contienen información en múltiples bandas espectrales, lo que permitió realizar la representación gráfica de las firmas espectrales y ver su comportamiento a lo largo del espectro electromagnético.

- f) **Almacenamiento.** Luego de la primera medición de las características fisicoquímicas cada chalarina seleccionada se almacenó hasta el siguiente día en su respectivo tratamiento de temperatura: ambiente (A) a 20 °C, ambiente empacado (AE) dentro de una caja de cartón a 19 °C, refrigeración (R) de 12 °C y congelación (C) de -2 °C. Cabe indicar que la temperatura contemplada en la investigación para A y AE es un promedio de siete días de estudio.

## Figura 10

### *Frutos de chalarina en su tratamiento de temperatura*



*Nota.* Se observa los frutos de chalarina en el día 1 en cuatro condiciones de almacenamiento: a) temperatura ambiente, b) ambiente empacado, c) refrigeración y d) congelación.

- g) **Análisis Estadístico.** Se identificó la zona con mayor nivel de discriminación de valores del promedio de los datos de reflectancia de los siete días de evaluación. Esta zona se tomó para el análisis estadístico. Se utilizó el método de Análisis de Varianza (ANOVA) y Duncan con 95% de confianza para comparaciones múltiples, empleando el software estadístico Statgraphics Centurión.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

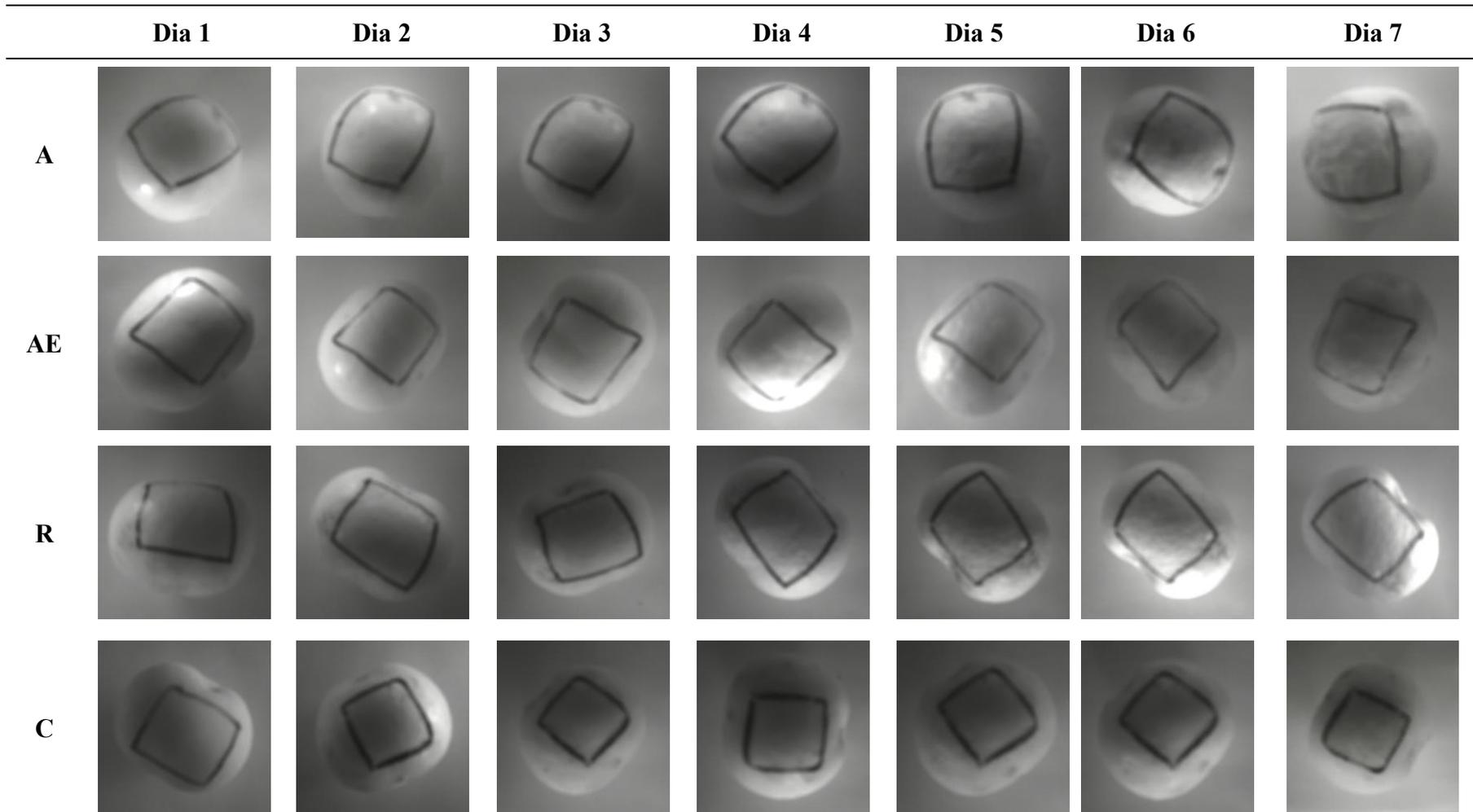
Se descubrió que las frutas de chalarina (*Casimiroa edulis*) almacenadas a temperatura ambiente (20 °C) y ambiente empacado (19°C) tienen una vida útil postcosecha máxima de siete y ocho días respectivamente. De forma similar, (Lozano Grande et al., 2006) reportaron que el fruto de chalarina (*Casimiroa edulis*) tiene una vida útil entre 4 y 6 días almacenado a temperatura ambiente de 21 °C además de lo descrito por (Hernández, 2010) quien indica que los frutos de *Casimiroa edulis* cuentan con una vida postcosecha que va de 7 a 8 días; estos resultados concuerdan con lo encontrado en esta investigación dado que las condiciones de almacenamiento son similares. De manera que, las frutas después del día siete para ambiente y ocho para ambiente empacado continuaron perdiendo firmeza volviéndose más delicadas presentando sobre madurez con presencia de arrugas en la piel, también se volvieron aguadas mostrando signos de descomposición; estas características son indicadores de que los frutos están en etapa de senescencia. Por otra parte, las frutas de chalarina almacenadas en refrigeración y congelación al día siete no presentaron signos de degradación de sus características fisicoquímicas.

##### 4.1. Análisis de perfil multiespectral de frutos de chalarina en A, AE, R y C

En la Figura 11 se observa en escala de grises las imágenes multiespectrales de los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) en sus respectivos tratamientos de temperatura: ambiente (A), ambiente empacado (AE), refrigeración (R) y congelación (C). Se evaluó hasta el día siete puesto que fue el tiempo de vida útil del fruto de chalarina almacenado en temperatura ambiente a 20° C (A). Estas imágenes multiespectrales fueron capturadas con el sistema multiespectral que se diseñó y el sensor de la cámara TetrataCam integrado a este.

**Figura 11**

*Frutos de chalarina (Casimiroa edulis) tomados con la cámara TetraCam y procesados en el Software PixelWrench2*



*Nota.* Se observa las imágenes multispectrales obtenidas de los cuatro tratamientos de temperatura en los siete días. Elaboración propia

#### **4.1.1. Firma Espectral Diaria de los cuatro frutos de chalarina**

En la Figura 12 se muestra la representación de las firmas espectrales del fruto chalarina (*Casimiroa edulis*) correspondientes a los cuatro tratamientos de temperatura (A, AE, R y C) construidas a partir de datos de reflectancia extraída de la información de las imágenes multispectrales obtenidas de cada fruta; donde se observa su comportamiento espectral entre 495 nm a 995 nm del espectro electromagnético; la diferencia entre firmas especialmente se encuentran asociadas a la temperatura y al tiempo de almacenamiento.

A medida que los frutos de chalarina maduran, sus propiedades ópticas y pigmentación cambian, lo que afecta la forma en que interactúan con la luz (Figura 12). Tal es el caso del color verde amarillento en la piel de las chalarinas a inicio del experimento y mayor porcentaje de pigmentación amarilla al final del mismo; las chalarinas en refrigeración y congelación no presentaron cambios significativos en la pigmentación de la piel del fruto permaneciendo visualmente del mismo color; mientras que, en las chalarinas en ambiente y ambiente empacado si presentaron cambios graduales tanto en sus características fisicoquímicas y de color en su piel, exhibiendo mayor porcentaje de tonalidad amarilla a lo largo de los días de experimento. Para los frutos en refrigeración (R) y congelación (C) el proceso de maduración es más lento comparado con las frutas almacenadas en ambiente (A) y ambiente empacado (AE); de ahí lo mencionado por (López Camelo, 2003) que los frutos en R y C al estar en estas condiciones de frío sus procesos bioquímicos y metabólicos son más lentos incluido la actividad enzimática, como es el caso de las enzimas encargadas de la degradación de la clorofila de la piel del fruto.

Esto explica el comportamiento de las firmas espectrales en R y C (Figura 12), de cómo aumenta la reflexión a medida que nos acercamos a las bandas del verde (492 nm - 577 nm) del espectro electromagnético ya que estas frutas de chalarina tienen más porcentaje de su superficie de pigmentación verde expresado como clorofila en la piel del fruto; al acercarse a

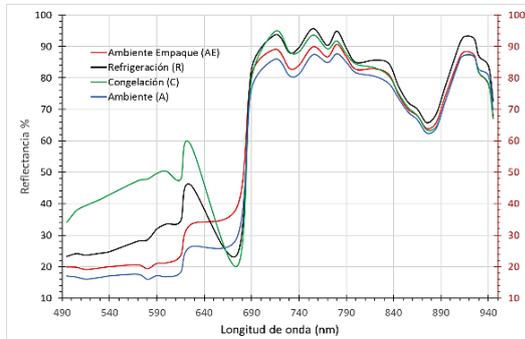
las bandas del amarillo, anaranjado y rojo (570 nm – 675 nm) la reflectancia baja esto manifestado por la poca presencia de pigmentos de estos colores en la piel del fruto. Mientras que las chalarinas en ambiente (A) y ambiente empacado (AE) siguieron un proceso de maduración constante; de modo que, a medida que el fruto madura la clorofila se degrada y desenmascara los pigmentos de carotenoides, es así que, las firmas espectrales en la región del verde (492 nm - 577 nm) la reflectancia es más baja debido a la presencia residual de clorofila y otros pigmentos, a medida que nos acercamos a la región amarilla (550-600 nm), la reflectancia aumenta, ya que los carotenoides, que son pigmentos amarillos y naranjas, comienzan a ser más prominentes en la superficie de la chalarina.

El comportamiento de las firmas espectrales al acercarse al infrarrojo cercano (690nm-945 nm) aumenta drásticamente para los cuatro tratamientos de temperatura (A, AE, R y C) esto porque la radiación incidente no es absorbida y la mayoría es reflejada.

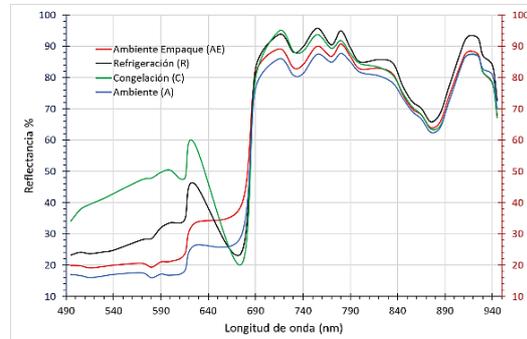
**Figura 12**

*Representación de las firmas espectrales del fruto chalarina correspondientes a los cuatro tratamientos de temperatura A, AE, R y C*

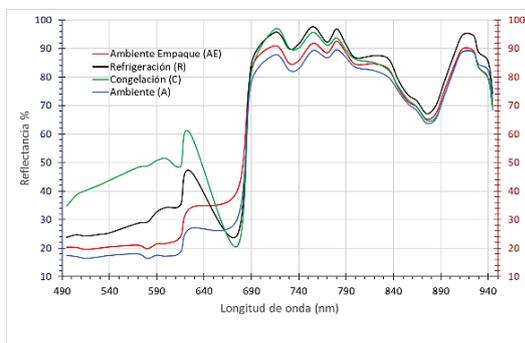
Firmas espectrales A, AE, R y C - Día 1



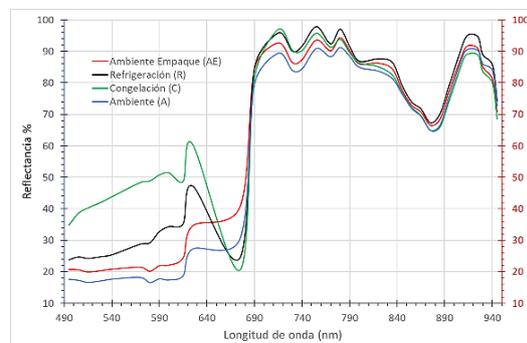
Firmas espectrales A, AE, R y C - Día 2



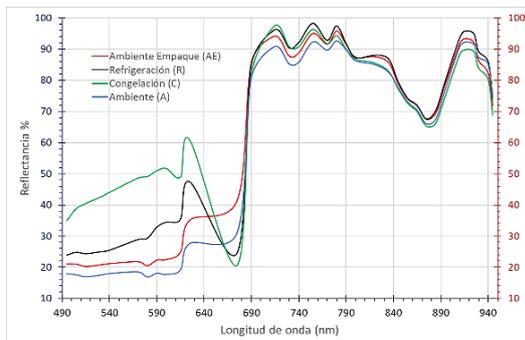
Firmas espectrales A, AE, R y C - Día 3



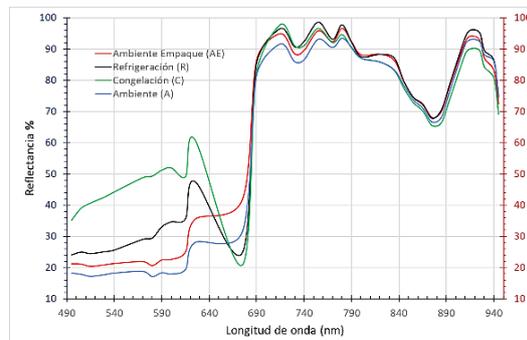
Firmas espectrales A, AE, R y C - Día 4



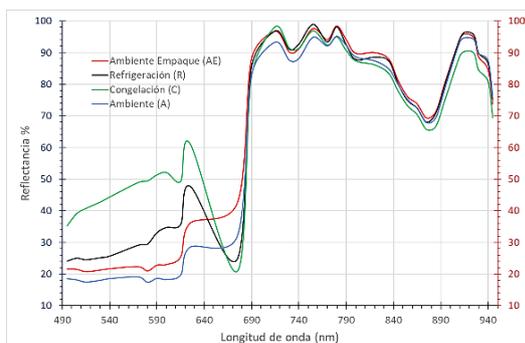
Firmas espectrales A, AE, R y C - Día 5



Firmas espectrales A, AE, R y C - Día 6



Firmas espectrales A, AE, R y C - Día 7



Leyenda

- Ambiente (A)
- Ambiente Empaque (AE)
- Refrigeración (R)
- Congelación (C)

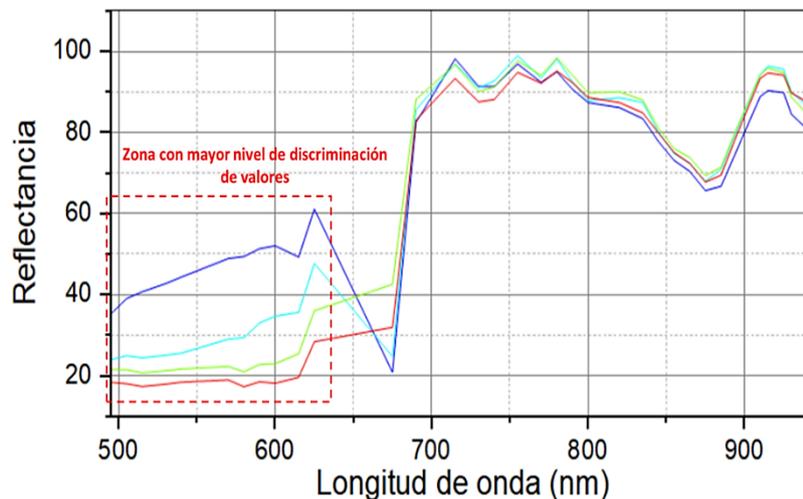
Nota. Elaboración propia

#### 4.1.2. Caracterización Multiespectral Promedio de las Cuatro Firmas Multiespectrales

En la Figura 13 se aprecia las firmas espectrales promedio obtenidas durante siete días de análisis de los cuatro frutos de chalarina almacenados en A, AE, R y C. Para la evaluación estadística se utilizó la zona con mayor nivel de discriminación de valores entre 495 nm y 615 nm del espectro electromagnético; así mismo, según (Eugene, 2017) estos valores de reflectancia corresponden a la región del espectro de luz visible para las bandas: verde entre 492nm - 577 nm, amarillo entre 577nm - 597 nm y anaranjado entre 597 nm - 622 nm, los mismos colores característicos del fruto de chalarina; lo que concuerda con (Morton, 1987) quien menciona que la piel del fruto de casimiroa edulis es fina de color verde, amarillento o dorado recubierta de una capa muy fina.

**Figura 13**

*Firmas espectrales promedio de los cuatro tiramientos de temperatura; con mayor discriminación de valores entre 495 nm a 625 nm*



*Nota.* Firma espectral roja corresponde a temperatura ambiente (A), verde a ambiente empacado (AE), celeste a refrigeración (R) y azul a congelación (C)

Se encontró que el color del epicarpio (piel del fruto) expresado como porcentaje de reflectancia, presentó distinto comportamiento en los frutos de chalarina almacenada en A, AE, R y C, donde se observó que, los valores incrementaron en las frutas almacenadas en A y AE

conforme avanzaron los días de almacenamiento; en ese sentido, a inicio del estudio se presentó una coloración verde amarillenta que concuerda con (Morton, 1987), quien menciona que la piel de la chalarina (*Casimiroa edulis*) es fina de color verde - amarillento, recubierta de una capa muy fina, tierna pero no comestible, mientras que al finalizar el estudio se observó color amarillo a tonalidades amarillas con remanentes de color verde; que coincide con (Yonemoto et al., 2006) que mencionan que aunque el color de la piel de la fruta cambia poco en el árbol, se vuelve amarillenta cuando esta se ablanda después de la maduración, asociando a ello, la degradación de compuestos como la clorofila; así mismo, (Jain N. et al., 2003) y (Jain N. et al., 2001) encontraron que durante el periodo de maduración de frutos de guayaba disminuye la clorofila total mientras que el contenido de carotenoides incrementó, argumentando que la pérdida de clorofila se atribuye al incremento de enzimas degradadoras como la clorofila-asa y peroxidasa durante la maduración; esta enzima hidroliza la clorofila en productos más simples que son fácilmente transportados fuera de las células de la fruta; a medida que la clorofila se degrada, los pigmentos que están enmascarados por ella, como los carotenoides, se vuelven más evidentes y aumentan en concentración; lo mencionado coincide con (Yahia & Gutiérrez Orozco, 2011) quienes mencionan que la fruta madura de zapote blanco (chalarina) es rica en  $\beta$ -caroteno (indicador de carotenoides) y ácido ascórbico. De manera que la disminución en la clorofila y el incremento en el contenido de carotenoides es un fenómeno natural ocurrido durante el desarrollo del fruto. Por otra parte, los frutos en R y C al día 7 no presentaron cambios visibles de pigmentación.

#### **4.1.3. *Análisis Estadístico de Resultado de Reflectancia para los Frutos de Chalarina Almacenados en A, AE, R y C***

Para determinar la existencia de diferencia significativa en torno al cambio del color de la superficie de los frutos de chalarina almacenadas en A, AE, R y C evaluados durante siete días, que fue el tiempo de vida de la chalarina almacenada en ambiente a 20 ° C, se utilizó la

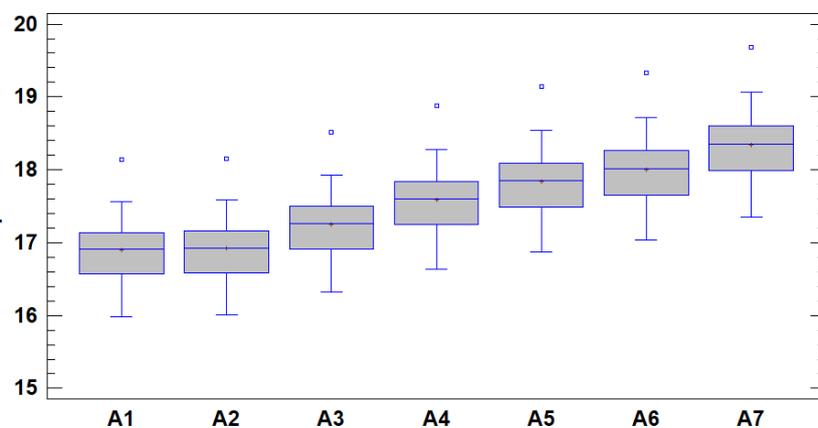
zona con mayor discriminación de valores de las firmas espectrales promedio de cada tratamiento; la que está ubicada en el rango de 495 nm a 625 nm del espectro electromagnético (Figura 13). Los resultados de reflectancia y análisis de varianza ANOVA se detallan a continuación.

#### 4.1.3.1. Chalarina Almacenada a Temperatura Ambiente (A).

En la Figura 14, la gráfica de cajas muestra la variación de valores de reflectancia del fruto de chalarina almacenado a temperatura ambiente (A) a 20 °C durante siete días de estudio, a partir de esta gráfica se observa que el porcentaje de reflectancia tomada diariamente ha ido incrementando durante el transcurso de los días de evaluación. Si bien los datos entre días son muy cercanos, el análisis estadístico nos muestra que son significativamente diferentes.

**Figura 14**

*Reflectancia en los 7 días de tratamiento a T° Ambiente (A)*



Para determinar diferencia significativa entre los días de evaluación se ha hecho una prueba de análisis de varianza (ANOVA); donde si el valor  $p < 0.05$  significa que si existe diferencia significativa entre pares de medias de reflectancia diarias.

**Tabla 4**

*ANOVA para determinar significancia entre días de tratamiento a temperatura ambiente (A)*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	18.2916	6	3.0486	6.72	0.0000
Intra grupos	28.5762	63	0.45359		
Total (Corr.)	46.8678	69			

*Nota.* El ANOVA indica que si hay diferencia significativa con (F = 6.72; p < 0.05)

En la Tabla 4, al realizar el ANOVA se obtuvo como resultado valor p = 0.000. Lo que indica que, si existe diferencia significativa entre los pares de medias de reflectancia tomadas diariamente, para determinar esta diferencia se hizo prueba de Duncan, con nivel de confianza del 95%.

**Pruebas de múltiples rangos para determinar diferencias significativas entre pares de medias de reflectancia a temperatura ambiente (A)**

**Tabla 5**

*Prueba de múltiples rangos para diferencias significativas total de reflectancia con nivel de confianza de 95% DUNCAN a temperatura ambiente (A)*

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Medía</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
A1	10	16.901	X
A2	10	16.9177	X
A3	10	17.2527	XX
A4	10	17.5877	XX
A5	10	17.839	XXX
A6	10	18.0065	XX
A7	10	18.3415	X

El valor promedio de las medias es 17.54944286

**Tabla 6**

*Diferencia significativa de porcentaje de reflectancia entre pares de días para tratamiento a Temperatura Ambiente (A)*

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>
A1 - A2		-0.0167502
A1 - A3		-0.351755
A1 - A4	*	-0.68676
A1 - A5	*	-0.938013
A1 - A6	*	-1.10552
A1 - A7	*	-1.44052
A2 - A3		-0.335005
A2 - A4	*	-0.670009
A2 - A5	*	-0.921263
A2 - A6	*	-1.08877
A2 - A7	*	-1.42377
A3 - A4		-0.335005
A3 - A5		-0.586258
A3 - A6	*	-0.753761
A3 - A7	*	-1.08877
A4 - A5		-0.251254
A4 - A6		-0.418756
A4 - A7	*	-0.753761
A5 - A6		-0.167502
A5 - A7		-0.502507
A6 - A7		-0.335005

*Nota.* \* Indica que la diferencia de medía es significativa en el nivel de confianza de 95%.

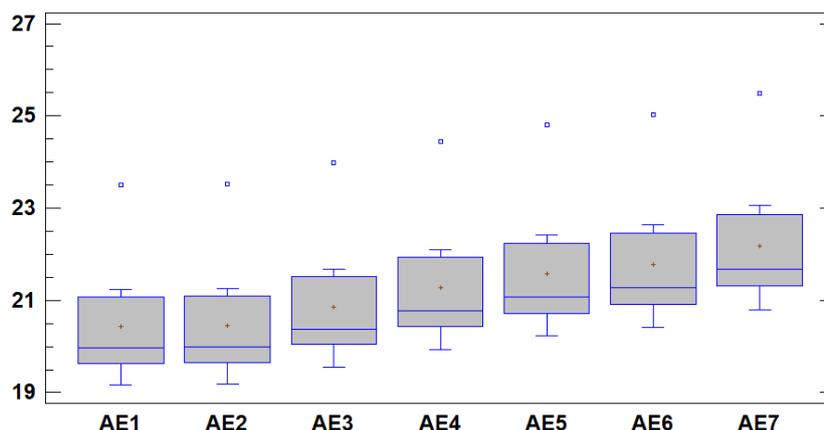
#### **4.1.3.2. Chalarina Almacenada a Temperatura Ambiente Empacado (AE).**

En la Figura 15, la gráfica de cajas se observa los valores de reflectancia del fruto de chalarina almacenado a temperatura ambiente empacado (AE) dentro de una caja de cartón a 19 °C, donde se aprecia que la reflectancia de la fruta ha ido subiendo al pasar los días de

evaluación. Si bien los datos son muy cercanos, el análisis estadístico nos muestra que son significativamente diferentes.

**Figura 15**

*Reflectancia en los 7 días de tratamiento a T° Ambiente Empacado (AE)*



Para determinar diferencia significativa entre los días de evaluación se ha realizado análisis de varianza (ANOVA); si el valor  $p < 0.05$  significa que si existe diferencia significativa.

**Tabla 7**

*ANOVA para determinar significancia entre días de tratamiento a T° Ambiente Empacado (AE)*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	26.7474	6	4.4579	2.55	0.0286
Intra grupos	110.339	63	1.75142		
Total (Corr.)	137.087	69			

*Nota.* El ANOVA indica que si hay diferencia significativa con ( $F = 2.55$ ;  $p < 0.05$ )

En la Tabla 7, al realizar el ANOVA se obtuvo como resultado valor  $p = 0.0286$ , mostrando que este valor es menor a 0.05. Lo que demuestra que, si existe diferencia significativa entre los pares de medias de reflectancia tomados diariamente, para determinar entre qué pares de medias existe esa diferencia se hizo prueba de Duncan, con nivel de confianza del 95%.

**Pruebas de múltiples rangos para determinar diferencias significativas entre pares de medias de reflectancia a temperatura Ambiente Empacado (AE)**

**Tabla 8**

*Prueba de múltiples rangos para diferencias significativas total de reflectancia con nivel de confianza de 95% DUNCAN temperatura Ambiente Empacado (AE)*

<i>Día</i>	<i>Casos</i>	<i>Medía</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
AE1	10	20.4375	X
AE2	10	20.4577	X
AE3	10	20.8628	XX
AE4	10	21.2679	XXX
AE5	10	21.5718	XXX
AE6	10	21.7743	XX
AE7	10	22.1794	X

El valor promedio de las medias es 21.22162857

**Tabla 9**

*Diferencia de media significativa en el nivel de confianza de 95% para días de tratamiento a Temperatura Ambiente Empacado (AE)*

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>
AE1 - AE2		-0.0202552
AE1 - AE3		-0.425359
AE1 - AE4		-0.830462
AE1 - AE5		-1.13429
AE1 - AE6	*	-1.33684
AE1 - AE7	*	-1.74195
AE2 - AE3		-0.405104
AE2 - AE4		-0.810207
AE2 - AE5		-1.11403
AE2 - AE6	*	-1.31659
AE2 - AE7	*	-1.72169
AE3 - AE4		-0.405104

AE3 - AE5	-0.708931
AE3 - AE6	-0.911483
AE3 - AE7 *	<b>-1.31659</b>
AE4 - AE5	-0.303828
AE4 - AE6	-0.506379
AE4 - AE7	-0.911483
AE5 - AE6	-0.202552
AE5 - AE7	-0.607655
AE6 - AE7	-0.405104

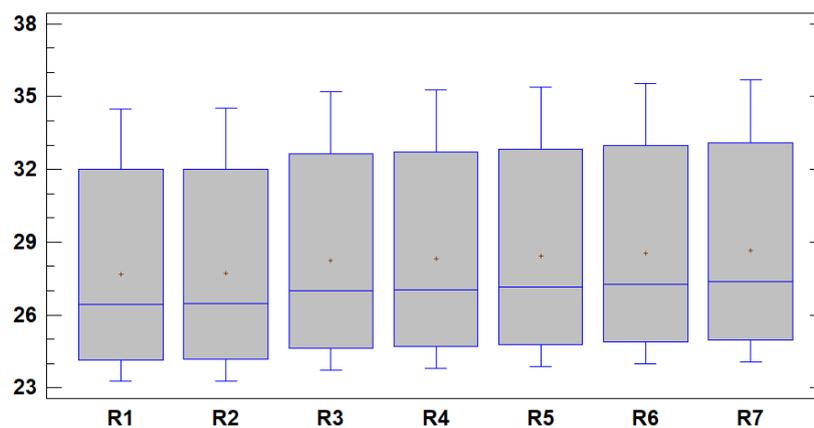
*Nota.* \* Indica que la diferencia de medía es significativa en el nivel de confianza de 95%.

#### 4.1.3.3. Chalarina Almacenada a Temperatura de Refrigeración (R).

En la Figura 16, la gráfica de cajas se observa los valores de reflectancia de la fruta de chalarina acondicionada a temperatura de Refrigeración (R) a 12 °C; donde, se aprecia que no existe variabilidad de datos de reflectancia al pasar los días de estudio. Para determinar diferencia significativa entre los días de evaluación se realizó análisis de varianza (ANOVA); si el valor  $p < 0.05$  significa que si existe diferencia significativa.

**Figura 16**

*Reflectancia en los 7 días de tratamiento a T° de Refrigeración (R)*



Para determinar diferencia significativa entre los días de evaluación se ha realizado análisis de varianza (ANOVA); si el valor  $p < 0.05$  significa que si existe diferencia significativa.

**Tabla 10**

*ANOVA para determinar significancia entre días de tratamiento a T° de Refrigeración (R)*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	8.77099	6	1.46183	0.08	0.9982
Intra grupos	1223.02	63	19.413		
Total (Corr.)	1231.79	69			

*Nota.* El ANOVA indica que no hay diferencia significativa con (F = 0.08; p > 0.05)

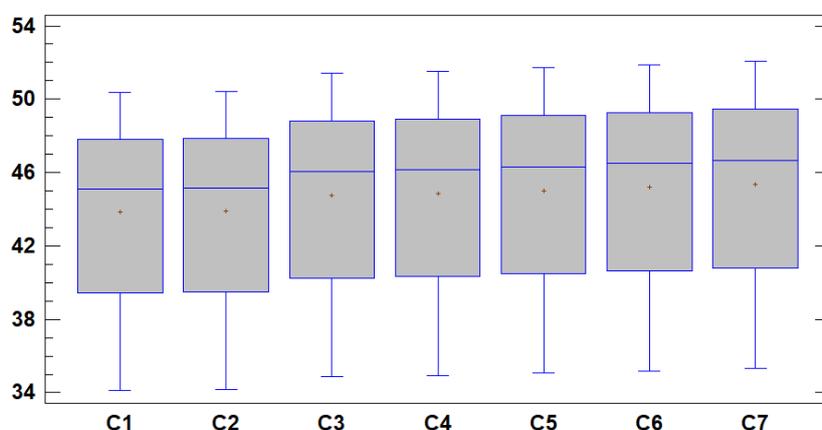
En la Tabla 10 al realizar el ANOVA obtenemos como resultado el valor de p = 0.9982, siendo este valor p mayor a 0.05. Lo que indica que, no existe diferencia significativa de reflectancia en la piel del fruto en ningún día de estudio almacenado a temperatura de refrigeración.

#### **4.1.3.4. Chalarina Almacenada a Temperatura de Congelación (C).**

En la Figura 17, la gráfica de cajas muestra los valores de reflectancia de la fruta de chalarina almacenada a temperatura de Congelación (C) a -2 °C obtenidos durante siete días, donde se aprecia que no existe variabilidad de los datos de reflectancia al pasar los días de evaluación. Para determinar si existe diferencia significativa entre los días de evaluación se ha realizado análisis de varianza (ANOVA); si el valor p < 0.05 significa que si existe diferencia significativa.

**Figura 17**

*Reflectancia en los 7 días de tratamiento a T° de Congelación (C)*



Para determinar diferencia significativa entre los días de evaluación se ha realizado análisis de varianza (ANOVA); si el valor  $p < 0.05$  significa que si existe diferencia significativa.

**Tabla 11**

*ANOVA para determinar significancia entre días de tratamiento a T° de Congelación (C)*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	22.0063	6	3.66771	0.12	0.9943
Intra grupos	2007.66	63	31.8675		
Total (Corr.)	2029.66	69			

*Nota.* El ANOVA indica que no hay diferencia significativa con ( $F = 0.12$ ;  $p > 0.05$ )

En la Tabla 11, al realizar el ANOVA obtenemos como resultado el valor de  $p = 0.9943$ , mostrando que es mayor que 0.05. Lo que indica que, no existe diferencia significativa de reflectancia en la piel del fruto de chalarina almacenado a temperatura de congelación.

#### **4.1.4. *Discusión para Estadística de Reflectancia de las Frutas de chalarina Almacenadas en A, AE, R y C***

Los resultados indican que los cambios significativos de color (valor  $p < 0.05$ ) a nivel reflectancia captada en las bandas del espectro (495nm – 615nm) en la piel del fruto de

chalarina (*casimiroa edulis*) fueron notorios a temperatura ambiente (20 °C) y ambiente empacado (19 °C); por otra parte, en refrigeración (12 °C) y congelación (-2 °C) no se pudo apreciar cambios significativos en el transcurso de los siete días evaluados; de acuerdo con (Hassan et al., 2009) quienes estudiaron el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre algunas características de calidad y componentes volátiles la chalarina (*casimiroa edulis*) estos cambios fisicoquímicos de color en la piel del fruto expresados como porcentaje de reflectancia podrían ser atribuidos a las bajas temperaturas que retardan el proceso de maduración del fruto de *casimiroa edulis* al reducir la tasa de respiración, la producción de etileno y otros cambios metabólicos; asimismo, (López Camelo, 2003) indica que las bajas temperaturas disminuyen la actividad de las enzimas encargadas de degradación de clorofila, de la estructura del fruto y microorganismos responsables del deterioro de los productos perecederos; de esta manera, se reduce el ritmo respiratorio conservando las reservas que son consumidas en este proceso y por ende se retarda la maduración.

En tanto que, los cambios significativos de color en la piel de los frutos de chalarina a nivel de reflectancia óptica para los tratamientos de temperatura ambiente (A) y ambiente empacado (AE) se hicieron evidentes a partir de los días 4 y 6 respectivamente (Tablas 6 y 9) coincidiendo con el momento donde los frutos de chalarina presentaron características de madurez de consumo en firmeza (A= 9.5 N y AE=3,4 N) y grados Brix (A=15.8° Brix y AE=16.1° Brix), de tal forma que estos cambios podrían estar racionados por los picos respiratorios y la producción de etileno durante el proceso de maduración, lo cual se explica en parte por los estudios de (Lozano Grande et al., 2006) quienes investigaron el comportamiento en postcosecha de frutos de zapote blanco (*casimiroa edulis*) en Texcoco, México; según estos autores la fruta mantenida a 21 °C tuvo un pico respiratorio después de 4-5 días coincidiendo con el momento donde la fruta presento características de madurez de consumo; lo que concuerda con (Yonemoto et al., 2002) quienes investigaron los cambios en el transcurso del

tiempo en la respiración y la producción de etileno en frutos de zapote blanco (*casimiroa edulis*) almacenados a distintos tratamientos de temperatura, los que mencionan que la producción de dióxido de carbono fue mayor a temperaturas más altas y el pico climatérico respiratorio se observó al cuarto día de almacenamiento de los frutos de *casimiroa edulis* almacenados a 35 °C y al sexto día de almacenamiento a 15, 20, 25 y 30 °C; además, indican que los frutos se volvieron blandos y comestibles (madurez de consumo) en el momento del pico de producción de etileno. Así mismo, (Kays & Paull, 2004) mencionan que, en muchas variedades de frutas, el inicio de la maduración después de la recolección oportuna, está acompañado en un aumento en la intensidad respiratoria y en la producción de etileno, alcanzando su máximo valor cuando el fruto está completamente maduro y disminuyendo durante la senescencia.

Por otro lado, durante los siete días de evaluación para tratamientos de refrigeración y congelación no se apreciaron cambios significativos a nivel de reflectancia con valor  $p > 0.05$ ; esto estaría relacionado como se mencionó anteriormente con la baja tasa de respiración y la producción de etileno consecuencia de las bajas temperaturas de almacenamiento, lo que es congruente con (Yonemoto et al., 2002) quienes mencionan que la tasa de respiración se reduce cuando la fruta se almacena a 1°C (temperatura de congelación) y no se observa producción de etileno durante estas condiciones; además estos autores indicaron que todos los frutos almacenados a 1 °C por 10, 20, 46 y 63 días pudieron madurar luego de ser trasladados a un ambiente a 25 °C; así mismo, mencionan que dado que se produjeron daños por frío en los frutos almacenados durante 63 días, estos autores sugieren que el período de almacenamiento podría extenderse a 46 días mediante el almacenamiento a 1 °C.

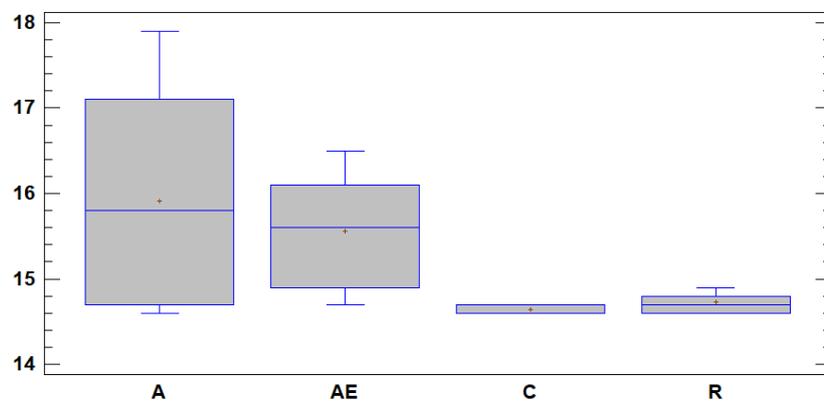
#### **4.2. Análisis de Concentración de Sólidos Solubles Totales (SST)**

La Figura 18 muestra la gráfica de cajas y bigotes de los valores de grados Brix para las frutas de chalarina en las cuatro condiciones de almacenamiento (A, AE, R y C); donde, para

cada tratamiento de temperatura el bigote o valor inferior representa el contenido de SST en el día uno y el bigote o valor superior representa el contenido de SST en el día siete; además, podemos observar que existe una mayor variabilidad de grados Brix en las frutas de A y AE; mientras que en las frutas de chalarina en R y C se aprecia una mínima variación de valores de Brix durante los días de estudio.

### Figura 18

*SST a lo largo de 7 días de evaluación para los 4 tratamientos de temperatura*



Para determinar si existe diferencia significativa de grados Brix de las frutas de chalarina evaluadas en cuatro condiciones de almacenamiento durante siete días se ha hecho análisis de varianza (ANOVA); si el valor  $p < 0.05$  significa que si existe diferencia significativa.

### Tabla 12

*ANOVA para determinar la significancia de grados Brix entre tratamientos de temperatura*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	8.18964	3	2.72988	5.23	0.0064
Intra grupos	12.5171	24	0.521548		
Total (Corr.)	20.7068	27			

*Nota.* El ANOVA indica que hay diferencia significativa con ( $F = 5.23$ ;  $p < 0.05$ )

En la Tabla 12, al realizar el ANOVA se obtiene como resultado el valor de  $p = 0.0064$ , siendo este valor menor a 0.05, indicando este resultado que existe diferencia significativa entre los grados Brix de los pares de tratamientos de las frutas evaluadas.

**Pruebas de múltiples rangos DUNCAN para determinar diferencias significativas entre pares de tratamientos de temperatura respecto a SST**

**Tabla 13**

*Prueba de múltiples rangos para diferencias significativas entre tratamientos de temperatura con nivel de confianza de 95% DUNCAN*

<i>Días</i>	<i>Casos</i>	<i>Medía</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
C	7	14.6429	X
R	7	14.7286	X
AE	7	15.5571	X
A	7	15.9143	X

El valor promedio de las medias es 15.210725

En la Tabla 13 se observa que si existe diferencia significativa en grados Brix para los cuatro tratamientos de temperatura. Con un valor promedio de 15.210725 siendo este valor la diferencia total de grados Brix de las frutas de chalarina durante siete días evaluados.

**Tabla 14**

*Diferencia significativa entre tratamientos de temperatura con nivel de confianza de 95%*

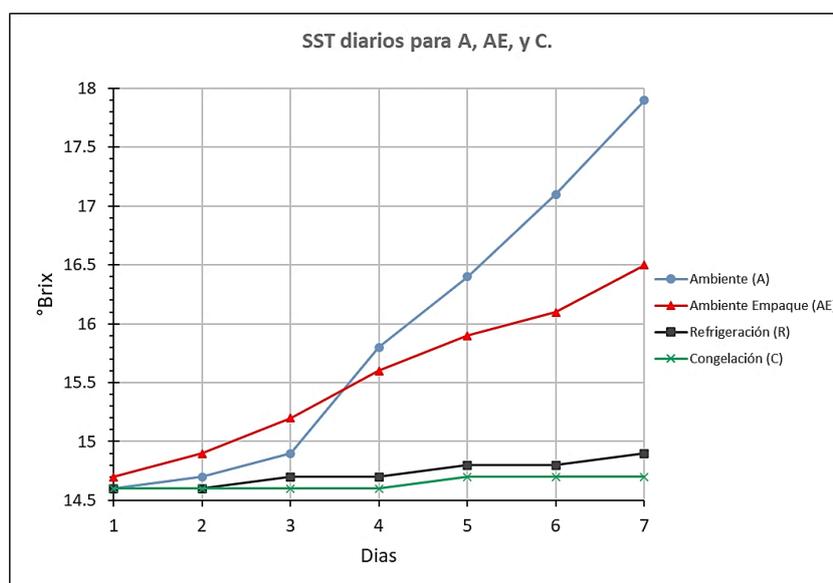
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>
A – AE		0.357143
A – C	*	1.27143
A – R	*	1.18571
AE – C	*	0.914286
AE – R	*	0.828571
C – R		-0.0857143

*Nota.* \* Indica que la diferencia de media es significativa en el nivel de confianza de 95%.

A continuación, se muestra la Figura 19 donde se puede comprender mejor la tendencia de los SST para las frutas estudiadas en los cuatro tratamientos de temperatura (A, AE, R y C).

### Figura 19

*Tendencia de Sólidos solubles totales (SST)*



Los tratamientos de temperatura que presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) se dieron entre tratamientos de frío y calor (A – R, A – C, AE – R y AE – C), (Tabla 14). Se observó que el contenidos de sólidos solubles totales (SST) aumentó gradualmente hasta el final del período de almacenamiento en ambos tratamientos de temperatura (A y AE); se mostró una ligera variación en la concentración de grados Brix entre la fruta almacenada a temperatura ambiente y la fruta almacenada a temperatura ambiente empacado, esto se explicaría por una variación de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre ambos tratamientos, dado que al inicio del experimento el fruto almacenado a temperatura ambiente ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) empezó con  $14.6^{\circ}$  Brix y luego de siete días de evaluación terminó con  $17.9^{\circ}$  Brix; de modo similar el fruto almacenado a temperatura ambiente empacado ( $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) inició con  $14.7^{\circ}$  Brix al final del experimento acabó con  $16.5^{\circ}$  Brix; por otra parte, el fruto sometido a condiciones constantes de refrigeración ( $12^{\circ}\text{C}$ ) al inicio de la evaluación tenía  $14.6^{\circ}$  Brix y al momento final del experimento tuvo  $14.9^{\circ}$  Brix; mientras

que en congelación (-2 °C) el fruto empezó el experimento con 14.6° Brix, al término del experimento presentó 14.7° Brix (Figura 19).

Los resultados obtenidos a temperatura ambiente (A) y ambiente empacado (AE) para el día uno y el día siete de evaluación (ANEXO 17-1) están relacionados con lo reportado por (Lozano Grande et al., 2006) quienes investigaron el comportamiento en postcosecha de frutos de zapote blanco (*casimiroa edulis*) en Texcoco, México durante seis días a temperatura ambiente de 21 °C cuyos resultados fueron de 14.65° Brix para el día uno y 17.16° Brix para el día 6; además (Osama Samaha, 2002) investigó las características y aprovechamiento de frutos de zapote blanco (*Casimiroa edulis*) obteniendo como resultado que la pulpa tiene 14.75° Brix; este resultado es congruente con (Hassan et al., 2009) quienes mencionan que la pulpa de fruto Zapote blanco (*casimiroa edulis*) al inicio de su madurez fisiológica contiene 14,67° Brix.

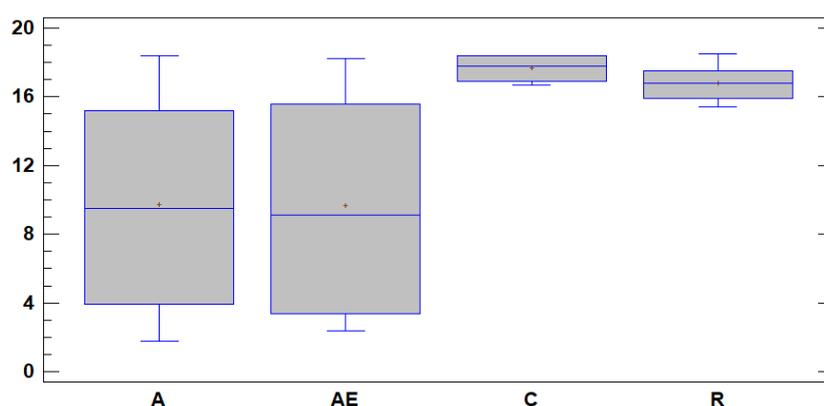
Se observó un incremento en la concentración de sólidos solubles totales (SST) (Figura 19), según (Prasanna et al., 2007) debido a que durante el proceso de maduración se genera hidrólisis enzimática del almidón que deriva en una disminución de la estructura celular y por lo tanto se da la conversión de éste polisacárido en glúcidos más simples como la fructosa, glucosa o sacarosa debido a la actividad de las enzimas hidrolasas del almidón como las amilasas; en tanto que, el cambio más acelerado se observó a temperatura ambiente (A) y ambiente empacado (AE) debido a que la tasa metabólica del fruto de chalarina (*Casimiroa edulis*) es mayor que si se mantiene a bajas temperaturas de refrigeración y congelación. Del mismo modo, el estudio realizado por (Lozano Grande et al., 2006) proponen hidrólisis de almidón durante la maduración de los frutos de zapote blanco (*Casimiroa edulis*), para producir glucosa, y de ésta la síntesis de fructosa. De manera que, a partir de los resultados obtenidos en la investigación, se determina que a un mayor índice de madurez la concentración de SST irá incrementando conforme avance el periodo de almacenamiento y a la temperatura que se encuentre expuesta.

### 4.3. Análisis de Firmeza

En la Figura 20, la gráfica de caja y bigotes muestra los valores de firmeza de los frutos de chalarina almacenados en los cuatro tratamientos de temperatura (A, AE, R y C) durante los 7 días de evaluación; donde, el bigote o valor superior representa la resistencia a compresión (Newton) en el día uno de estudio y el bigote o valor inferior representa resistencia a compresión (Newton) en el día siete, además, se observa que existe una mayor amplitud de variabilidad de resistencia a compresión (Newtons) en las frutas de A y AE; mientras que en las frutas en R y C se aprecia una pequeña variación de compresión durante los días de estudio.

**Figura 20**

*Firmeza en Newtons para los 4 tratamientos de temperatura durante 7 días de evaluación*



Para determinar si existe diferencia significativa entre tratamientos de temperatura durante el periodo de evaluación se ha realizado análisis de varianza (ANOVA); si el valor  $p < 0.05$  significa que si existe diferencia significativa.

**Tabla 15**

*ANOVA para determinar significancia de firmeza (N) entre tratamientos de temperatura*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	400.261	3	133.42	7.09	0.0014
Intra grupos	451.391	24	18.808		
Total (Corr.)	851.652	27			

*Nota.* El ANOVA indica que hay diferencia significativa con ( $F = 7.09$ ;  $p < 0.05$ )

En la Tabla 15, al realizar el ANOVA obtenemos como resultado el valor de  $p = 0.0014$ , siendo este valor menor a 0.05. Lo que indica que existe diferencia significativa entre la firmeza (Newtons) de los pares de tratamientos de las chalarinas evaluadas.

**Pruebas de múltiples rangos DUNCAN para determinar diferencias significativas entre pares de tratamientos de temperatura respecto al nivel de firmeza**

**Tabla 16**

*Prueba de múltiples rangos para diferencias significativas entre pares de tratamientos de temperatura respecto a firmeza con nivel de confianza de 95% DUNCAN*

<b>Temperatura</b>	<b>Casos</b>	<b>Medía</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
AE	7	9.68571	X
A	7	9.72857	X
R	7	16.8	X
C	7	17.6857	X

El valor promedio de las medias es 13.474995

En la Tabla 16 se observa que si existe diferencia significativa en los valores de firmeza para los cuatro tratamientos de temperatura. Con un valor promedio de 13.474995 siendo este valor la diferencia total de firmeza de las frutas de chalarina durante siete días evaluados.

**Tabla 17**

*Diferencia significativa entre tratamientos de temperatura respecto al firmeza con nivel de confianza de 95%*

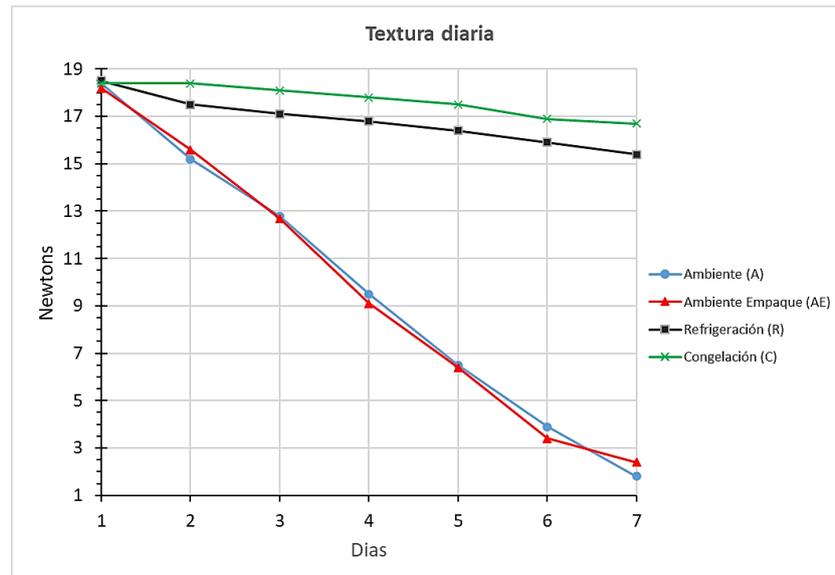
<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>
A - AE		0.0428571
A - C	*	-7.95714
A - R	*	-7.07143
AE - C	*	-8.0
AE - R	*	-7.11429
C - R		0.885714

*Nota.* \* Indica que la diferencia de media es significativa en el nivel de confianza de 95%.

A continuación, se presenta la Figura 21 donde se puede comprender mejor la tendencia de firmeza para las frutas de chalarina estudiadas en los cuatro tratamientos de temperatura (A, AE, R y C).

**Figura 21**

*Tendencia de Firmeza (Newtons)*



A medida que el tiempo de almacenamiento avanzó se observó una disminución en los niveles de firmeza de las frutas en estudio. Según la Tabla 17, los tratamientos de temperatura que mostraron una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) fueron A-R, A-C, AE-R y AE-C. La firmeza disminuyó gradualmente en ambos tratamientos de temperatura (A y AE) hasta el final del estudio. Hubo una leve diferencia en la tendencia de firmeza de la fruta almacenada a temperatura ambiente y la fruta almacenada a temperatura ambiente empacada, que podría explicarse por una variación de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre ambos tratamientos; pues, al inicio del experimento el fruto almacenado a temperatura ambiente comenzó con una resistencia de compresión de 18.4 N y después de siete días de evaluación, terminó con 1.8 N; de manera similar, el fruto almacenado a temperatura ambiente empacado inició con 18.2 N y terminó con 2.4 N; así mismo estos resultados se relacionan con lo reportado por (Lozano Grande et al., 2006) al inicio de su investigación el fruto tuvo 17.34 N y al cabo de seis días de su evaluación el fruto

evaluado presentó una resistencia de compresión de 0.62 N; se podría proponer que los frutos de casimiroa edulis cosechados en el valle de Condebamba tienen mayor vida útil a comparación con los frutos evaluados en Texaco México. En contraste, los frutos sometidos a condiciones constantes de refrigeración (12 °C) y congelación (-2 °C) no mostraron cambios significativos de firmeza comparado con los dos tratamientos a temperatura ambiente; en este sentido el fruto almacenado en congelación, tan solo presentó una diferencia de resistencia de compresión de 1.7 Newtons entre el día uno al día siete de evaluación.

La tendencia general de la firmeza de los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) sometidos a cuatro tratamientos de temperatura fue de disminuir con respecto al tiempo, dichos cambios fueron más evidentes en los frutos almacenados a temperatura ambiente y ambiente empacado (Figura 21); de acuerdo con (Mondal et al., 2008) la firmeza de distintas variedades de frutas disminuye debido a una correlación directa con la tasa de producción de etileno en frutos climatéricos, del mismo modo (McCain, 1993) menciona que el fruto de zapote blanco (*Casimiroa edulis*) está maduro cuando la piel cede a una ligera presión; según (Medina B & Pagano G, 2003) en su estudio sobre las características de pulpa de guayaba, ésta pérdida en la firmeza se puede atribuir a que, a medida que avanza el estado de maduración del fruto hay cambios en la estructura y composición de la pared celular de la célula vegetal por la degradación o hidrólisis enzimática de las sustancias celulósicas, pépticas y ácidos poligalacturónicos. De modo similar, (Africano P. et al., 2015) estudiaron las propiedades fisiológica y bioquímica de la maduración del fruto de durazno, estos autores mencionan que en general el ablandamiento del fruto es un proceso de modificaciones en la estructura de la pared celular donde se presenta despolimerización de glucanos y solubilización de pectina donde intervienen enzimas como poligalacturonasa (PG), pectinmetilesterasa (PME), endo-1,4- $\beta$ -glucanasa,  $\alpha$ -arabinosidasa y  $\beta$ -galactosidasa entre otras. De esta manera, los cambios en la turgencia, la degradación de polisacáridos y almidón de la pared celular determinaron el

grado de reblandecimiento del fruto de chalarina (*casimiroa edulis*), observándose un proceso de reblandecimiento acelerado en frutos almacenados a temperatura ambiente (A) y ambiente empacado (AE), con respecto de los almacenados a baja temperatura de refrigeración (R) y congelación (C).

## V. CONCLUSIONES

Se determinó que el tiempo de almacenamiento prolongado a temperaturas elevadas puede afectar negativamente las características fisicoquímicas de los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) evidenciado en cambios significativos ( $p < 0.05$ ) de color en la piel del fruto, de firmeza y de grados Brix; de manera que, el tiempo máximo de vida útil de los frutos de chalarina almacenados a temperatura ambiente ( $20^{\circ}\text{C}$ ) y ambiente empacado dentro de una caja de cartón ( $19^{\circ}\text{C}$ ) es de siete y ocho días respectivamente, por otro lado, en el transcurso de los días de evaluación las frutas de chalarina almacenadas en refrigeración ( $12^{\circ}\text{C}$ ) y congelación ( $-2^{\circ}\text{C}$ ) no presentaron cambios significativos ( $p > 0.05$ ) en sus características fisicoquímicas. De tal forma, que los cambios significativos ( $p < 0.05$ ) en las características fisicoquímicas ocurrieron en un tiempo más corto en las frutas almacenadas en ambiente y ambiente empacado opuesto a las frutas en refrigeración y congelación debido a que los procesos biológicos son más rápidos a altas temperaturas mientras a bajas temperaturas estos procesos ocurren lentamente.

Se determinó que las temperaturas de almacenamiento ambiente ( $20^{\circ}\text{C}$ ) y ambiente empacado ( $19^{\circ}\text{C}$ ) son las que significativamente ( $p < 0.05$ ) más afectan las características fisicoquímicas de los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*), contrario a las temperaturas de refrigeración ( $12^{\circ}\text{C}$ ) y congelación ( $-2^{\circ}\text{C}$ ) en donde no se aparecieron cambios significativos ( $p > 0.05$ ), dado que las bajas temperaturas retrasan el proceso de maduración del fruto de chalarina (*Casimiroa edulis*) al reducir la tasa de respiración y la producción de etileno; lo que origina la baja actividad enzimática como las encargadas de la degradación de almidón y de la clorofila de la piel del fruto. Es así que, los cambios en las características fisicoquímicas de los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) como la firmeza, la concentración de sólidos solubles y los cambios de color en la piel del fruto están directamente relacionadas con la temperatura a las que son almacenadas.

## VI. RECOMENDACIONES

- Debido a un tiempo de vida corto y rápida degradación de las características fisicoquímicas de los frutos de chalarina (*Casimiroa edulis*) se recomienda almacenar y transportar a temperaturas bajas, ya que esta acción podría preservar más tiempo dichas características.
- Los posibles productores y exportadores de chalarina deben utilizar la tecnología de imágenes multiespectrales para predecir los cambios fisicoquímicos de este fruto.
- Investigar otros parámetros fisicoquímicos del fruto chalarina (*casimiroa edulis*); por ejemplo, pH, acidez titulable y cómo se comportan en condiciones de almacenamiento.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Imai, F. H., Rosen, M. R., & Berns, R. S. (2000). Comparison of Spectrally Narrow-Band Capture Versus Wide-Band with a Priori Sample Analysis for Spectral Reflectance Estimation. *Conferencia de Color e Imagen, Programa Final y Procedimientos de la 8ª Conferencia de Color e Imagen*, 234-241.
- Africano P., K. L., Almanza Merchán, P. J., & Balaguera López, H. E. (2015). Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno [*Prunus persica*(L.) Batsch]. Una Revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 161-172. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3754>
- Alba, R., Payton, P., Fei, Z., McQuinn, R., Debbie, P., Martin, G. B., . . . Giovannoni, J. J. (2005). Transcriptome and Selected Metabolite Analyses Reveal Multiple Points of Ethylene Control during Tomato Fruit Development. *The Plant Cell*, 17(11), 2954-2965. <https://doi.org/https://doi.org/10.1105/tpc.105.036053>
- Angón Galván, P. S., & Hernández, C. G. (Diciembre de 2006). Índices para la determinación de las condiciones óptimas de maduración de un fruto. *Revista Temas de ciencias y tecnologia*, 10(30), 3-8. <https://doi.org/https://www.utm.mx/~temas/temas-docs/ensayo1t30.pdf>
- Balaguera López, H. E., Salamanca Gutiérrez, F. A., García, J. C., & Herrera Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, VIII(2), 203-313. <https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2a12.pdf>
- Bapat, V. A., Trivedi, P. K., Ghosh, A., Sane, V. A., Ganapathi, T. R., & Nath, P. (2010). Ripening of fleshy fruit: molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnology Advances*, 28(1), 94-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.10.002>

- Bernabé, E. S. (2016). *Procesado de imágenes hiperespectrales*. Madrid.
- Boelt, B., Shrestha, S., Salimi, Z., Jorgensen, J. R., Nicolaisen, M., & Carstensen, J. M. (September de 2018). Multispectral imaging – a new tool in seed quality assessment? *Seed Science Research*, 28(3), 222-228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0960258518000235>
- Correcher, V., & García Guinea, J. (2015). *Técnicas Luminiscentes*. Madrid, España. <https://doi.org/https://docplayer.es/49560715-Tecnicas-luminiscentes-av-complutense-40-madrid.html>
- Dos Santos, R. S., Pacheco Arge, L. W., Iribarem Costa, S., Machado, N. D., De Mello-Farias, P. C., Rombaldi, C. V., & Costa, D. O. (2015). Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant Omics*, VIII(2), 78-88. <https://doi.org/https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.064306514227779>
- Eugene, H. (2017). *Optica* (Quinta ed.). (M. Borthakur, Ed.) Boston, Estados Unidos: Pearson Education. Retrieved 20 de Febrero de 2023, from [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5054148/mod\\_resource/content/1/Hecht-optics-5ed.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5054148/mod_resource/content/1/Hecht-optics-5ed.pdf)
- Fuentes, L., Figueroa, C. R., & Valdenegro, M. (3 de Junio de 2019). Recent Advances in Hormonal Regulation and Cross-Talk during Non-Climacteric Fruit Development and Ripening. *Horticulturae*, 5(2), 1-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/horticulturae5020045>
- Gaikwad, S., & Tidke, S. (2022). Multi-Spectral Imaging for Fruits and Vegetables. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, XIII(2), 743-760. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130287>
- Gante Díaz , S. A., & Lozano Hernández, Y. (2022). Integración de una cámara multiespectral y aprendizaje automático para clasificación de manzanas. *Ingeniería Investigación y*

*Tecnología*, XXII(4). <https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/2022/v23n4-07.pdf>

González, R. C., & Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing*. Londres: Pearson.

Hardeberg, J. (1999). Acquisition and Reproduction of Color Images: Colorimetric and Multispectral. *Dissertation.com*, 2-25. [Dissertation.com: www.dissertation.com/library/1121350a.htm](http://www.dissertation.com/library/1121350a.htm)

Hassan, A. M., A. Hassan, G. F., & Abd-El- Mageed, M. A. (Julio de 2009). Effect of storage condition on some quality characteristics and volatile components of casimiroa (white sapote). *journal of plant protection*, 34(7), 7967-7980. <https://doi.org/10.21608/jpp.2009.118785>

Hernández, C. (2010). Características morfológicas y fisiológicas del fruto de diferentes selecciones de zapote blanco (*Casimiroa edulis* Llave & Lex) conservadas In situ. *Colegio de Postgraduados*, 8. <http://agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2010/ix-congreso/cd-actas/p9-comparacion-de-variedades/9-4-caracteristicas-hernandes.pdf>

Hulme, A. C. (1970). *La bioquímica de las frutas y sus productos*. Londres, Nueva York: Academic Press.

Jain, N., Dhawan, K., Malhotra, S. P., Siddiqui, S., & Singh, R. (2001). Compositional and enzymatic changes in guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*, 23, 357-362.

Jain, N., Dhawan, K., Malhotra, S., & Singh, R. (2003). Biochemistry of Fruit Ripening of Guava (*Psidium guajava* L.): Compositional and Enzymatic Changes. *Plant Foods for Human Nutrition* volume, 58(4), 309-315. <https://doi.org/10.1023/b:qual.0000040285.50062.4b>

- Jiang, Y., & Fu, J. (March de 2000). Ethylene regulation of fruit ripening: Molecular aspects. *Plant Growth Regulation*, 30(3), 193-200. <https://doi.org/10.1023/A:1006348627110>
- Jianwei, Q., Peng, Y., & Lu, R. (Marzo de 2009). Prediction of Apple Internal Quality Using Spectral Absorption and Scattering Properties. *ResearchGate*, 52(2), 499-507. <https://doi.org/10.13031/2013.26807>
- Kays, S. J., & Paull, R. E. (2004). *Postharvest biology*. Exon Press, Athens, Ga.
- Kesari, R., Trivedi, P. K., & Nath, P. (2007). Ethylene-induced ripening in banana evokes expression of defense and stress related genes in fruit tissue. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 136-143. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.04.010>
- Khodabakhshian, R., Emadi, B., Khojastehpour, M., & Golzarian, M. R. (Octubre de 2017). Determining quality and maturity of pomegranates using multispectral imaging. *Revista de la Sociedad Saudita de Ciencias Agrícolas*, 16(4), 322-331. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X15300758?via%3Dihub>
- Kumar Singh, A., & Ghosh, M. (Noviembre de 2021). Potential of engineered nanostructured biopolymer based coatings for perishable fruits. *Progress in Organic Coatings*, 163(9), 16. <https://doi.org/org/10.1016/j.porgcoat.2021.106632>.
- Lelièvre, J.-M., Latchè, A., Jones, B., Bouzayen, M., & Pech, J.-C. (28 de Abril de 2006). Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 101, 727-739. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb01057.x>
- Liu, C., Liu, W., Lu, X., Ma, F., Chen, W., Yang, J., & Zheng, L. (2014). Application of Multispectral Imaging to Determine Quality Attributes and Ripeness Stage in Strawberry Fruit. *www.plosone.org*, 8(2), 1-8.

- [https://www.researchgate.net/publication/260127421\\_Application\\_of\\_Multispectral\\_Imaging\\_to\\_Determine\\_Quality\\_Attributes\\_and\\_Ripeness\\_Stage\\_in\\_Strawberry\\_Fruit](https://www.researchgate.net/publication/260127421_Application_of_Multispectral_Imaging_to_Determine_Quality_Attributes_and_Ripeness_Stage_in_Strawberry_Fruit)
- López Camelo, A. F. (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas*. Roma: FAO. <https://doi.org/https://www.fao.org/3/Y4893S/y4893s00.htm#Contents>
- Lozano Grande, M. A., Valle Guadarrama, S., Marroquín Andrade, L. M., & Ybarra Moncada, M. C. (Septiembre de 2006). Comportamiento en poscosecha de frutos de zapote blanco en Texcoco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 129-133. [https://www.researchgate.net/publication/26474487\\_Comportamiento\\_en\\_postcosecha\\_de\\_frutos\\_de\\_zapote\\_blanco\\_en\\_Texcoco\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/26474487_Comportamiento_en_postcosecha_de_frutos_de_zapote_blanco_en_Texcoco_Mexico)
- McCain, R. (1993). Goldenberry, passionfruit & white sapote: Potential fruits for cool subtropical areas. *J. Janick y JE Simon (eds.), Nuevos cultivos*. Wiley, Nueva York., 479-486. <https://doi.org/https://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/V2-479.html#GOLDENBERRY>
- McGregor, B. M. (1987). *Tropical Products Transport Handbook* (Vol. VIII). (O. d. Departamento de Agricultura de EE. UU., Ed.) Estados Unidos: U.S. Dept. of Agriculture, Office of Transportation. <https://doi.org/https://handle.nal.usda.gov/10113/CAT89930509>
- Medina B, M. L., & Pagano G, F. (Enero de 2003). Caracterización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo "Criolla Roja". *Revista Facultad de Agronomía*, 20(1), 72-86. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10872/5387>
- Mihailova, A., Liebisch, B., Islam, M., Carstensen, J., Cannavan, A., & Kelly, S. (2022). The use of multispectral imaging for the discrimination of Arabica and Robusta coffee beans. *Food Chemistry*: X, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100325>

- Mondal, K., Singh, A., Saxena, N., Malhotra, S., Dhawan, K., & Singh, R. (2008). Possible interactions of polyamines and ethylene during ripening of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. *Journal of Food Biochemistry*, 32(1), 46-59. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00145.x>
- Morton, J. F. (1987). *Fruits of warm climates* (Prmera ed.). Florida, Miami, Estados Unidos: Echo Point Books & Media. [https://doi.org/https://hort.purdue.edu/newcrop/morton/white\\_sapote.html](https://doi.org/https://hort.purdue.edu/newcrop/morton/white_sapote.html)
- Obando Ulloa, J. M., Moreno, E., García Mas, J., Nicolai, B., Lammertyn, J., Monforte, A. J., & Fernández Trujillo, J. P. (Julio de 2008). Climacteric or non-climacteric behavior in melon fruit: 1. Aroma volatiles. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1), 27-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.11.004>
- Omboki, R. B., Wu, W., Xie, X., & Mamadou, G. (2015). Ripening Genetics of the Tomato Fruit. *Agric. Crop Sci.*, VIII(4), 567-572. [https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/277571565\\_Ripening\\_Genetics\\_of\\_the\\_Tomato\\_Fruit](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/277571565_Ripening_Genetics_of_the_Tomato_Fruit)
- Ortega, J. G., Lucio, A. V., Ganchozo, B. I., Piguave, C. C., Tumbaco, M. V., Cobeña, J. A., & Velásquez, R. V. (2017). *DISEÑOS EXPERIMENTALES: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios* (Segunda ed.). (J. G. Ortega, & A. V. Lucio, Edits.) Guayaquil, Manabí, Ecuador: Editorial Grupo Compás. <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/116>
- Osama Samaha, R. (2002). Characteristics and utilization of white sapote (*Casimiroa edulis* L. Lave) fruits. *Alexandria Journal of Agricultural Research*, 47(3), 49-53. <https://eurekamag.com/research/003/673/003673863.php>
- Paliyath, G., Murr, D., Handa, A., & Lurie, S. (2008). *Postharvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables, and Flowers*. Iowa: Wiley-Blackwell.

- <https://doi.org/https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=560591e45e9d9793f08b45b7&assetKey=AS%3A277638577967117%401443205603741>
- Pérez, G. (12 de enero de 2017). *espectrometria.com*. espectrometria: <https://www.espectrometria.com/>
- Prasanna, V., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (February de 2007). Fruit Ripening Phenomena—An Overview. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 47(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>
- Rafael C., G., & Richard E., W. (2018). *Digital Image Processing*. (V. Tiwari, Ed.) New York, Estados Unidos: Pearson Education. Retrieved 23 de Enero de 2023.
- Sánchez de Lorenzo Cáceres, J. M. (6 de 12 de 2017). *arbolesornamentales*. [arbolesornamentales.es: www.arbolesornamentales.es](http://arbolesornamentales.es)
- Satheesh, N. (Enero de 2015). Review on Distribution, Nutritional and Medicinal Values of *Casimiroa edulis* Llave—An Underutilized Fruit in Ethiopia. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 15(8), 1574-1583. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.8.9585>
- Soille, P. (2010). *Morphological Image Analysis: Principles and Applications* (Segunda ed.). Berlín, Alemania: Springer.
- Urbina Paz, R. (2008). *Cajabamba, eterna tierra. Visión General*. Cajamarca, Perú. <https://doi.org/http://biblioteca.cultura.pe:8020/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=5269>
- Valbuena Calderón, C., & Castro Méndez, C. (Diciembre de 2013). Protocolo para el proceso de captura de firmas espectrales aplicada a levantamiento de suelos. Bogotá, Colombia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31094.86087>

- Vera Sánchez, G. M. (2023). Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles de la Chalarina, (*Casimiroa edulis*). *Repositorio Institucional UNIFE*, 100. <https://doi.org/https://repositorio.unife.edu.pe/repositorio/handle/20.500.11955/1113>
- Vetrekar, N., Ramachandra, R., Raja, K. B., Gad, R. S., & Naik, A. (2021). Detection of artificially ripened banana using spectral signature from multi-spectral imaging. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1063/5.0044851>
- Watada, A. E., Herner, R. C., Kader, A. A., Romani, R. J., & Staby, G. L. (Febreo de 1894). Terminology for the Description of Developmental Stages of Horticultural Crops. *American Society for Horticultural Science*, 19(1), 20-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.1.20>
- Yahia, E. M. (Febrero de 2004). Sapodilla and Related Fruits. (K. C. Gross, C. Y. Wang, & M. Saltveit, Edits.) *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*(66), 543-549. <https://doi.org/https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/oc/np/commercialstorage/commercialstorage.pdf>
- Yahia, E. M., & Gutiérrez Orozco, F. (June de 2011). White sapote (*Casimiroa edulis* Llave & Lex). (E. M. Yahia, Ed.) *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*, 4, 474-480. [https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/277816766\\_White\\_sapote\\_Casimiroa\\_edulis\\_Llave\\_Lex](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/277816766_White_sapote_Casimiroa_edulis_Llave_Lex)
- Yonemoto, Y., Higuchi, H., & Kitano, Y. (2002). Fruit Ripening as Affected by Storage Temperature in White Sapote (*Casimiroa edulis* Llave and Lex.). *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 46(2), 82-87. <https://doi.org/https://doi.org/10.11248/jsta1957.46.82>

Yonemoto, Y., Nomura, K., Ide, M., Inoue, H., Majikina, M., & Okuda, . (Enero de 2006).

Index for harvesting time of white sapote (*Casimiroa edulis* Llave & Lex.) cv. 'Cuccio'.

*The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 81(1), 18-22.

<https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512023>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Cámara multispectral Tetracam VIS-NIR sensible entre 520 nm a 920 nm.



**Anexo 3.** Texturometro Brookfield CT3.

**RECOGNIZED AMETEK TESTER ANALYZER**

### CT3™ Texture Analyzer

compression and tension testing for rapid QC analysis

An extensive history and customer input have contributed to the development of the most powerful, low cost, stand alone Texture Analyzer ever produced. With six test modes (plus calibration check) and a wide choice of accessories, no other texture analyzer has ever done so much without requiring a computer and software!

**Standard Test Modes:**  
 Normal Test: a single compression cycle  
 Hold Time Test: compress and hold  
 Cycle Count Test: compress multiple times  
 Bloom Test: gelatin bloom strength test  
 TPA Test: texture profile analysis  
 Tension Test: tensile testing  
 Swivel Test: gel strength  
 Static Load Test: calibration check

**Texture Loader Software** allows up to ten custom tests and ability to lock parameters

**Compression distance** up to 150mm, can accommodate sample up to 22.5cm, almost 9 inches tall. Probe shaft is 8cm from back wall.

**Choice of Load Cells** 7 measurement ranges up to 50kg

**Choice of Base Tables** allows for larger samples and more accessory choices

**What's Included?**  
 Instrument with choice of load cell  
 Texture Loader Software  
 USB Cable

**What else do I need?**  
 Rotary Base or Fixture Base Table (see below)  
 At least one probe or test fixture

**Optional Accessories**  
 The CT3 has a wide variety of probes, fixtures and jigs which enable it to be very versatile. Brookfield can also custom design a fixture and probe for most applications.

TexturePro CT Software 1x CT PRO KIT  
 Temperature Probe: 0/100/100  
 Bubble Level 1x LCL  
 Calibration Weight Set  
 Gelatin Bath System for gel conditioning  
 Bloom Jar - industry approved 1x 028-2

CT3 with Fixture Base Table and Cylindrical Probe in compression mode

TA-RT-KIT Rotary Base Table  
 TA-ST-KIT Fixture Base Table

100 BEST 2008 CERTIFIED  
**BROOKFIELD**  
**AMETEK**

TEL 800-629-8139 or 508-946-4200 FAX 508-946-4242 www.brookfieldengineering.com

**Anexo 2.** Sistema multispectral diseñado para el estudio.



**Anexo 4.** Refractómetro ATC.



**Anexo 5.** Frutas de chalarina marcadas (*Casimiroa edulis*).



**Anexo 6.** Medición de sólidos solubles totales (SST) - ° Brix.



**Anexo 7.** Captura de imagen multispectral.



**Anexo 8.** Monitor de sistema multispectral con la captura de imagen multispectral.



**Anexo 9.** Panel de control y monitor del sistema.



**Anexo 10.** Chalarina bajo el sensor de la cámara.



**Anexo 11.** Chalarina en ambiente empacado en caja de cartón.



**Anexo 12.** Chalarina en ambiente.



**Anexo 13.** Chalarina en Refrigeración



**Anexo 14.** Chalarina en Congelación



**Anexo 15.** Data reflectancia para 7 días de evaluación

**Anexo 16.1.** Tabla de reflectancia para los cuatro tratamientos de temperatura día 1

Longitud de onda (nm)	Ambiente	Ambiente empaque	Refrigeración	Congelación
495	17.02656221	19.92069709	23.26331229	34.14268326
505	16.68588345	19.84809954	24.14909321	37.81022673
515	16.05559142	19.1610109	23.68780868	39.42676581
530	16.57186645	19.63324308	24.28530821	41.35179655
540	17.04304927	20.01237483	24.78712427	42.89346783
570	17.56596352	20.61029814	28.11014469	47.32436016
580	15.98644465	19.38164893	28.49115318	47.81168698
590	17.14179001	21.07173402	31.98587513	49.66064921
600	16.79484536	21.24168998	33.56234682	50.3498063
615	18.1378849	23.49394951	34.48205032	47.67991158
625	26.2365225	33.28122933	46.12681842	59.12895386
675	29.5072969	39.24238115	23.98817789	20.20140089
690	76.56330342	81.25756493	82.76386067	79.74968506
715	86.00858269	89.16471451	93.69537676	94.89719666
730	80.7041587	83.07438042	87.99661539	88.32544849
740	81.25458838	84.07123206	89.66062792	88.33246104
755	87.42428032	89.9893803	95.6568324	93.67595351
770	84.91566416	86.7351535	90.31993879	89.29554145
780	87.71698113	90.72155106	94.85122662	91.79023341
790	85.04836784	86.73403351	89.42771036	87.64161892
800	81.72049413	82.75601065	84.91983133	84.48524494
820	80.5554321	82.95514689	85.63846131	83.27253793
835	78.19867044	81.10669925	84.49593025	80.63677768
845	73.60354318	74.76359048	77.42224494	75.21148558
855	69.2400016	70.09677377	72.32463568	70.71121441
865	66.71469658	68.02733495	70.0646573	68.06695838
875	62.48109402	63.92873659	65.76706396	63.50713603
885	64.05103748	65.85412048	68.58535231	64.57697873
895	73.07689563	74.70126455	77.78322478	73.03030001
910	85.96148257	86.80783177	91.11328522	85.87703936
915	87.27915585	88.37030863	93.17662968	87.33150277
925	86.74666619	87.31515697	92.40474468	86.84198642
930	82.71375373	81.72975675	86.87009716	81.72033269
940	80.70602535	77.98932312	83.75689829	78.15723081
945	69.98821546	68.01071672	72.61209978	67.08186159

**Anexo 16.2.** Tabla de reflectancia para los cuatro tratamientos de temperatura día 2

Longitud de onda (nm)	Ambiente	Ambiente empaque	Refrigeración	Congelación
495	17.0434369	19.9404401	23.2863681	34.1765214
505	16.7024205	19.8677706	24.1730269	37.8476997
515	16.0715038	19.180001	23.7112852	39.4658409
530	16.5882905	19.6527012	24.3093769	41.3927795
540	17.0599403	20.0322087	24.8116903	42.9359787
570	17.5833728	20.6307246	28.1380041	47.3712624
580	16.0022885	19.4008577	28.5193902	47.8590722
590	17.1587789	21.0926178	32.0175757	49.7098669
600	16.8114904	21.2627422	33.5956098	50.399707
615	18.155861	23.5172339	34.5162248	47.7271662
625	26.262525	33.3142137	46.1725338	59.1875554
675	29.536541	39.2812735	24.0119521	20.2214221
690	76.6391838	81.3380977	82.8458863	79.8287234
715	86.0938241	89.2530839	93.7882364	94.9912474
730	80.784143	83.1567138	88.0838271	88.4129861
740	81.3351182	84.1545534	89.7494888	88.4200056
755	87.5109248	90.078567	95.751636	93.7687939
770	84.9998224	86.821115	90.4094531	89.3840405
780	87.8039157	90.8114634	94.9452318	91.8812049
790	85.1326576	86.8199939	89.5163404	87.7284788
800	81.8014857	82.8380285	85.0039937	84.5689766
820	80.635269	83.0373621	85.7233359	83.3550677
835	78.2761716	81.1870825	84.5796725	80.7166952
845	73.6764902	74.8376872	77.4989766	75.2860262
855	69.308624	70.1662453	72.3963152	70.7812949
865	66.7808162	68.0947555	70.134097	68.1344182
875	62.5430178	63.9920951	65.8322444	63.5700767
885	64.1145172	65.9193872	68.6533259	64.6409797
895	73.1493207	74.7752995	77.8603142	73.1026789
910	86.0466773	86.8938653	91.2035858	85.9621504
915	87.3656565	88.4578907	93.2689752	87.4180553
925	86.8326391	87.4016933	92.4963252	86.9280538
930	82.7957297	81.8107575	86.9561924	81.8013241
940	80.7860115	78.0666168	83.8399081	78.2346909
945	70.0575794	68.0781208	72.6840642	67.1483451

**Anexo 16.3.** Tabla de reflectancia para los cuatro tratamientos de temperatura día 3

Longitud de onda (nm)	Ambiente	Ambiente empaque	Refrigeración	Congelación
495	17.3809307	20.3353003	23.7474843	34.8532842
505	17.0331615	20.2611918	24.6517007	38.5971591
515	16.3897514	19.559803	24.1808156	40.2473427
530	16.9167715	20.0418636	24.7907507	42.2124385
540	17.3977609	20.4288861	25.3030109	43.7861961
570	17.9315584	21.0392538	28.6951923	48.3093072
580	16.3191655	19.7850331	29.0841306	48.8067766
590	17.4985567	21.5102934	32.6515871	50.6942207
600	17.1443912	21.6837866	34.2608694	51.397721
615	18.515383	23.9829217	35.1997144	48.6722586
625	26.782575	33.9739011	47.0868414	60.3595862
675	30.121423	40.0591205	24.4874363	20.6218463
690	78.1567914	82.9487531	84.4863989	81.4094902
715	87.7986523	91.0204717	95.6454292	96.8722622
730	82.383829	84.8033814	89.8280613	90.1637383
740	82.9457146	85.8209802	91.5267064	90.1708968
755	89.2438144	91.862301	97.647708	95.6256017
770	86.6829872	88.540345	92.1997393	91.1540215
780	89.5426071	92.6097102	96.8253354	93.7006347
790	86.8184528	88.5392017	91.2889412	89.4656764
800	83.4213171	84.4783855	86.6872411	86.2436098
820	82.232007	84.6816663	87.4208277	85.0056631
835	79.8261948	82.7947475	86.2545175	82.3150456
845	75.1354306	76.3196216	79.0336098	76.7768386
855	70.681072	71.5556759	73.8299056	72.1829047
865	68.1032086	69.4431665	71.522891	69.4836146
875	63.7814934	65.2592653	67.1358532	64.8288901
885	65.3841116	67.2247216	70.0127977	65.9209991
895	74.5978221	76.2559985	79.4021026	74.5502567
910	87.7505719	88.6145359	93.0095974	87.6643712
915	89.0956695	90.2095321	95.1158856	89.1491059
925	88.5520973	89.1324199	94.3279356	88.6494014
930	84.4352491	83.4307725	88.6780972	83.4211523
940	82.3857345	79.6124904	85.5001043	79.7838927
945	71.4448582	69.4262024	74.1233526	68.4780153

**Anexo 16.4.** Tabla de reflectancia para los cuatro tratamientos de temperatura día 4

Longitud de onda (nm)	Ambiente	Ambiente empaque	Refrigeración	Congelación
495	17.7184245	20.7301605	23.7935959	34.9209605
505	17.3639025	20.654613	24.6995681	38.672105
515	16.707999	19.939605	24.2277686	40.3254929
530	17.2452525	20.431026	24.8388881	42.2944044
540	17.7355815	20.8255635	25.352143	43.8712178
570	18.279744	21.447783	28.7509111	48.4031117
580	16.6360425	20.1692085	29.1406046	48.901547
590	17.8383345	21.927969	32.7149882	50.7926561
600	17.477292	22.104831	34.3273954	51.4975224
615	18.874905	24.4486095	35.2680634	48.7667678
625	27.302625	34.6335885	47.1782722	60.4767893
675	30.706305	40.8369675	24.5349847	20.6618887
690	79.674399	84.5594085	84.6504502	81.5675669
715	89.5034805	92.7878595	95.8311485	97.0603637
730	83.983515	86.450049	90.0024847	90.3388135
740	84.556311	87.487407	91.7044282	90.3459859
755	90.976704	93.646035	97.8373152	95.8112825
770	88.366152	90.259575	92.3787679	91.3310196
780	91.2812985	94.407957	97.0133458	93.8825777
790	88.504248	90.2584095	91.4662013	89.6393962
800	85.0411485	86.1187425	86.8555658	86.4110731
820	83.828745	86.3259705	87.5905769	85.1707226
835	81.376218	84.4024125	86.422002	82.4748806
845	76.594371	77.801556	79.1870731	76.9259198
855	72.05352	72.9451065	73.9732646	72.3230657
865	69.425601	70.7915775	71.6617704	69.6185342
875	65.019969	66.5264355	67.2662141	64.9547714
885	66.653706	68.530056	70.1487449	66.049001
895	76.0463235	77.7366975	79.5562814	74.6950145
910	89.4544665	90.3352065	93.1901986	87.8345933
915	90.8256825	91.9611735	95.3005766	89.322211
925	90.2715555	90.8631465	94.5110966	88.8215362
930	86.0747685	85.0507875	88.8502877	83.5831351
940	83.9854575	81.158364	85.6661239	79.9388129
945	72.832137	70.774284	74.2672814	68.6109823

**Anexo 16.5.** Tabla de reflectancia para los cuatro tratamientos de temperatura día 5

Longitud de onda (nm)	Ambiente	Ambiente empaque	Refrigeración	Congelación
495	17.9715449	21.0263057	23.8858192	35.056313
505	17.6119583	20.9496789	24.7953028	38.8219969
515	16.9466847	20.2244565	24.3216747	40.4817932
530	17.4916133	20.7228978	24.9351628	42.4583362
540	17.988947	21.1230716	25.4504071	44.0412613
570	18.5408832	21.7541799	28.8623488	48.5907206
580	16.8737003	20.4573401	29.2535527	49.0910879
590	18.0931679	22.2412257	32.8417905	50.9895268
600	17.7269676	22.4206143	34.4604473	51.6971252
615	19.1445465	24.7978754	35.4047613	48.9557863
625	27.6926625	35.1283541	47.3611337	60.7111954
675	31.1449665	41.4203528	24.6300816	20.7419736
690	80.8126047	85.7674001	84.9785527	81.8837202
715	90.7821017	94.1134004	96.202587	97.4365666
730	85.1832795	87.6850497	90.3513316	90.688964
740	85.7642583	88.7372271	92.0598717	90.6961642
755	92.2763712	94.9838355	98.2165296	96.182644
770	89.6285256	91.5489975	92.7368252	91.6850158
780	92.5853171	95.7566421	97.3893665	94.2464636
790	89.7685944	91.5478154	91.8207214	89.9868357
800	86.2560221	87.3490103	87.1922153	86.7459998
820	85.0262985	87.5591987	87.9300752	85.5008417
835	82.5387354	85.6081613	86.756971	82.7945507
845	77.6885763	78.9130068	79.4939998	77.2240823
855	73.082856	73.9871795	74.2599827	72.6033876
865	70.4173953	71.8028858	71.9395292	69.8883735
875	65.9488257	67.4768132	67.5269358	65.2065341
885	67.6059018	69.5090568	70.4206392	66.3050049
895	77.1326996	78.8472218	79.8646391	74.98453
910	90.7323875	91.6257095	93.5514009	88.1750374
915	92.1231923	93.2749046	95.6699587	89.6684211
925	91.5611492	92.1611915	94.8774187	89.1658057
930	87.3044081	86.2657988	89.1946686	83.9071008
940	85.1852498	82.3177692	85.9981632	80.2486532
945	73.8725961	71.7853452	74.5551391	68.8769164

**Anexo 16.6.** Tabla de reflectancia para los cuatro tratamientos de temperatura día 6

Longitud de onda (nm)	Ambiente	Ambiente empaque	Refrigeración	Congelación
495	18.1402918	21.2237358	23.9780424	35.1916656
505	17.7773288	21.1463895	24.8910376	38.9718888
515	17.1058085	20.4143575	24.4155808	40.6380936
530	17.6558538	20.917479	25.0314376	42.622268
540	18.1578573	21.3214103	25.5486712	44.2113048
570	18.714976	21.9584445	28.9737864	48.7783296
580	17.0321388	20.6494278	29.3665008	49.2806288
590	18.2630568	22.4500635	32.9685928	51.1863976
600	17.893418	22.6311365	34.5934992	51.896728
615	19.3243075	25.0307193	35.5414592	49.1448048
625	27.9526875	35.4581978	47.5439952	60.9456016
675	31.4374075	41.8092763	24.7251784	20.8220584
690	81.5714085	86.5727278	85.3066552	82.1998736
715	91.6345158	94.9970943	96.5740256	97.8127696
730	85.9831225	88.5083835	90.7001784	91.0391144
740	86.5695565	89.5704405	92.4153152	91.0463424
755	93.142816	95.8757025	98.595744	96.5540056
770	90.470108	92.4086125	93.0948824	92.039012
780	93.4546628	96.6557655	97.7653872	94.6103496
790	90.611492	92.4074193	92.1752416	90.3342752
800	87.0659378	88.1691888	87.5288648	87.0809264
820	85.8246675	88.3813508	88.2695736	85.8309608
835	83.313747	86.4119938	87.09194	83.1142208
845	78.4180465	79.653974	79.8009264	77.5222448
855	73.76908	74.6818948	74.5467008	72.8837096
865	71.0785915	72.4770913	72.217288	70.1582128
875	66.5680635	68.1103983	67.7876576	65.4582968
885	68.240699	70.161724	70.6925336	66.5610088
895	77.8569503	79.5875713	80.1729968	75.2740456
910	91.5843348	92.4860448	93.9126032	88.5154816
915	92.9881988	94.1507253	96.0393408	90.0146312
925	92.4208783	93.0265548	95.2437408	89.5100752
930	88.1241678	87.0758063	89.5390496	84.2310664
940	85.9851113	83.090706	86.3302024	80.5584936
945	74.5662355	72.459386	74.8429968	69.1428504

**Anexo 16.7.** Tabla de reflectancia para los cuatro tratamientos de temperatura día 7

Longitud de onda (nm)	Reflectancia (A)	Reflectancia (AE)	Reflectancia (R)	Reflectancia (C)
495	18.47778555	21.61859595	24.07026564	35.32701816
505	18.10806975	21.5398107	24.98677236	39.12178068
515	17.4240561	20.7941595	24.50948688	40.79439396
530	17.98433475	21.3066414	25.12771236	42.7861998
540	18.49567785	21.71808765	25.64693532	44.38134828
570	19.0631616	22.3669737	29.08522404	48.96593856
580	17.34901575	21.03360315	29.47944888	49.47016968
590	18.60283455	22.8677391	33.09539508	51.38326836
600	18.2263188	23.0521809	34.72655112	52.0963308
615	19.6838295	25.49640705	35.67815712	49.33382328
625	28.4727375	36.11788515	47.72685672	61.18000776
675	32.0222895	42.58712325	24.82027524	20.90214324
690	83.0890161	88.18338315	85.63475772	82.51602696
715	93.33934395	96.76448205	96.94546416	98.18897256
730	87.5828085	90.1550511	91.04902524	91.38926484
740	88.1801529	91.2368673	92.77075872	91.39652064
755	94.8757056	97.6594365	98.9749584	96.92536716
770	92.1532728	94.1278425	93.45293964	92.3930082
780	95.19335415	98.4540123	98.14140792	94.97423556
790	92.2972872	94.12662705	92.52976176	90.68171472
800	88.68576915	89.80954575	87.86551428	87.41585304
820	87.4214055	90.02565495	88.60907196	86.16107988
835	84.8637702	88.01965875	87.426909	83.43389088
845	79.8769869	81.1359084	80.10785304	77.82040728
855	75.141528	76.07132535	74.83341888	73.16403156
865	72.4009839	73.82550225	72.4950468	70.42805208
875	67.8065391	69.37756845	68.04837936	65.71005948
885	69.5102934	71.4670584	70.96442796	66.81701268
895	79.30545165	81.06827025	80.48135448	75.56356116
910	93.28822935	94.20671535	94.27380552	88.85592576
915	94.71821175	95.90236665	96.40872288	90.36084132
925	94.14033645	94.75728135	95.61006288	89.85434472
930	89.76368715	88.69582125	89.88343056	84.55503204
940	87.58483425	84.6365796	86.66224164	80.86833396
945	75.9535143	73.8074676	75.13085448	69.40878444

### Anexo 17. Parámetros de madurez

**Anexo 17.1.** Sólidos solubles medido en grados Brix de los cuatro tratamientos durante los siete días evaluados.

	A	AE	R	C
Días	Ambiente	Ambiente empaque	Refrigeración	Congelación
Día 1	14.6	14.7	14.6	14.6
Día 2	14.7	14.9	14.6	14.6
Día 3	14.9	15.2	14.7	14.6
Día 4	15.8	15.6	14.7	14.6
Día 5	16.4	15.9	14.8	14.7
Día 6	17.1	16.1	14.8	14.7
Día 7	17.9	16.5	14.9	14.7

**Anexo 17.2.** Firmeza medida en Newtons de los cuatro tratamientos durante los siete días evaluados

	A	AE	R	C
Días	Ambiente	Ambiente empaque	Refrigeración	Congelación
Día 1	18.4	18.2	18.5	18.4
Día 2	15.2	15.6	17.5	18.4
Día 3	12.8	12.7	17.1	18.1
Día 4	9.5	9.1	16.8	17.8
Día 5	6.5	6.4	16.4	17.5
Día 6	3.9	3.4	15.9	16.9
Día 7	1.8	2.4	15.4	16.7