



Estudio de parámetros estadísticos con técnica de imágenes hiperespectrales, para detectar daños en naranja (*Citrus sinensis*) ocasionados por *Ceratitis capitata* y *Penicillium digitatum*

Veronica Zuta Chamoli
Polito Michael Huayama Sopa
Elías Alberto Torres Armas
Hada María Guevara Alvarado
Wigoberto Alvarado Chuqui



Tinta&Pluma
Editorial



Veronica Zuta Chamoli
<https://orcid.org/0000-0002-5063-8083>
veronica.zuta@untrm.edu.pe

Instituto de Investigación de Estudios Estadísticos y Control de Calidad IEC-UNTRM

Doctora en Ciencias para el desarrollo sustentable con mención en Recursos naturales y medio ambiente, Maestra en Gestión para el Desarrollo Sustentable e Ingeniera Agroindustrial, docente de la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología (FIZAB) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Perú. Evaluadora certificada de la Calidad Educativa Universitaria por el SINEACE desde noviembre 2021, investigadora en áreas de alimentos funcionales, economía circular y desarrollo de productos sostenibles.



Polito Michael Huayama Sopa
<https://orcid.org/0000-0002-4892-5331>
polito.huayama@untrm.edu.pe

Instituto de Investigación en Negocios Agropecuarios INNA-UNTRM

Doctor en Ciencia e Ingeniería, Maestro en Administración y Dirección de Empresas e Ingeniero Agroindustrial, Profesor Principal a Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología (FIZAB) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Perú. Consultor, formulador y coordinador de proyectos en I&D+I, investigador en áreas de seguridad alimentaria y economía circular.



Elías Alberto Torres Armas
<https://orcid.org/0000-0003-2774-1055>
elias.torres@untrm.edu.pe

Instituto de Investigación de Estudios Estadísticos y Control de Calidad IEC-UNTRM

Doctor en Planificación y Gestión, Maestro en Ciencias con mención en Estadística, Licenciado en Estadística, Profesor Principal a Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología (FIZAB) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Perú. Consultor estadístico, investigador en áreas de Estadística, probabilidad, ciencias Agrícolas y Sociales.



Hada María Guevara Alvarado
<https://orcid.org/0000-0002-0963-9391>
hada.guevara@untrm.edu.pe

Instituto de Investigación de Estudios Estadísticos y Control de Calidad IEC-UNTRM

Doctora en Ciencias para el Desarrollo Sustentable con mención en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Maestra en Gerencia en Agronegocios e Ingeniera Agroindustrial, Docente contratada a Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología (FIZAB) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Perú. Consultora empresarial, asesora técnica de procesos y proyectos productivos con experticia en control de calidad de alimentos. Investigadora en alimentos funcionales, derivados lácteos y economía circular.



Wigoberto Alvarado Chuqui
<https://orcid.org/0000-0002-6069-6025>
wigoberto.alvarado@untrm.edu.pe

Instituto de Investigación en ganadería y biotecnología IGBI – UNTRM

Maestro en Ciencias para el Desarrollo Sustentable con Mención en Producción Animal, Docente Asociado a tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología (FIZAB) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza Amazonas, especialista en la formulación y evaluación de proyectos, con experiencia en gestión empresarial y negocios agropecuarios, investigador Renacyt.

**Estudio de parámetros estadísticos con técnica de imágenes
hiperespectrales, para detectar daños en naranja
(*Citrus sinensis*) ocasionados por
Ceratitis capitata y *Penicillium digitatum***

Estudio de parámetros estadísticos con técnica de imágenes hiperespectrales, para detectar daños en naranja (*Citrus sinensis*) ocasionados por *Ceratitidis capitata* y *Penicillium digitatum*

Autores

Veronica Zuta Chamoli
Polito Michael Huayama Soplá
Elías Alberto Torres Armas
Hada María Guevara Alvarado
Wigoberto Alvarado Chuqui

Primera edición: Tinta&Pluma 2023

Tinta&Pluma 2023, Guayaquil, Ecuador, Urbanización Puerto Azul, Mz 20 Villa 12,
fitogonzal@gmail.com
<https://editorialtintaypluma.com/index.php/etp/index>

ISBN: 978-9942-619-18-1

DOI:



Obra revisada previamente por la modalidad doble par ciego, en caso de requerir información sobre el proceso comunicarse con la editorial.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros), sin la previa autorización por escrito del titular de los derechos de autor, bajo las sanciones establecidas por la ley. El contenido de esta publicación puede ser reproducido citando la fuente.

El trabajo publicado expresa exclusivamente la opinión de los autores, de manera que no compromete el pensamiento ni la responsabilidad de la editorial

Estudio de parámetros estadísticos con técnica de imágenes hiperespectrales, para detectar daños en naranja (*Citrus sinensis*) ocasionados por *Ceratitis capitata* y *Penicillium digitatum*

**Veronica Zuta Chamoli
Polito Michael Huayama Sopa
Elías Alberto Torres Armas
Hada María Guevara Alvarado
Wigoberto Alvarado Chuqui**

ÍNDICE

	Pág.
PRÓLOGO	- 2 -
INTRODUCCIÓN	- 3 -
CAPITULO I	- 4 -
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	- 6 -
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	- 6 -
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	- 7 -
1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	- 8 -
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	- 8 -
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	- 8 -
1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	- 9 -
1.7. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	- 10 -
1.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .	- 13 -
1.9. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	- 20 -
CAPITULO II	- 22 -
MARCO TEÓRICO.....	- 24 -
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	- 24 -
2.2. BASES TEÓRICAS	- 25 -
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	- 39 -
CAPÍTULO III	- 40 -
PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	- 41 -
3.1 NARANJA INOCULADA CON HONGO VERDE <i>P. Digitatum</i>	- 41 -
3.2 NARANJA INOCULADA CON MOSCA DE LA FRUTA <i>C. capitata</i>	- 51 -
CONCLUSIONES.....	- 62 -
RECOMENDACIONES	- 63 -
BIBLIOGRAFÍA	- 64 -

PRÓLOGO

Uno de los principales problemas presentes en la industria cítrica peruana son la mosca de la fruta *Ceratitis capitata* y el hongo verde *Penicillium digitatum*, para analizar los daños generados por estos se propuso la obtención de los parámetros estadísticos en frutos afectados por hongo verde y mosca de la fruta. Se evaluaron muestras de naranja afectadas por ambos problemas, obteniendo un total de 1 180 perfiles espectrales a partir de los cuales se obtuvieron los parámetros estadísticos máximos, mínimos, moda, media y desviación estándar en aquellas longitudes de onda de mayor relevancia para la evaluación de daños; estas se obtuvieron analizando las longitudes de onda entre 200 y 1200 nm. Se estableció que la presencia de daño en la naranja inoculada con mosca puede evaluarse a 400nm y para el hongo verde el rango a evaluar es de 304 a 504 nm. Los resultados mostrados en esta investigación revelan que es posible detectar con exactitud la presencia de daños producido por hongo verde y por mosca de la fruta en muestras de naranjas y que hay diferencias estadísticamente significativas entre sus parámetros estadístico en la longitud de onda seleccionadas. Por lo tanto, el uso de imágenes hiperespectrales utilizando un sistema de visión por computador es una opción aceptable para el proceso de selección.

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este estudio fue el estudio de parámetros estadísticos con técnica de imágenes hiperespectrales, para detectar daños en naranja (*Citrus sinensis*) ocasionados por *Ceratitis capitata* y *Penicillium digitatum*.

En la actualidad, se están desarrollando nuevas técnicas para la evaluación de calidad en los alimentos, buscando así satisfacer las altas expectativas del consumidor. En estas técnicas se requieren características como: fiabilidad, rapidez, precisión y simplicidad, sin embargo, los métodos utilizados para la determinación de daños en cítricos en la etapa de postcosecha se basan en la inspección visual, constituyéndose en un proceso tedioso y subjetivo (Gómez, 2010).

En ese contexto, las imágenes hiperespectrales constituyen una de las técnicas más prometedoras, con muchas aplicaciones para la evaluación de la calidad en la industria agroalimentaria, ya que su principal característica es la incorporación de la espectroscopia y análisis de imágenes, lo que permite evaluar diferentes componentes de manera simultánea, así como para localizar la distribución espacial de dichos componentes en las muestras bajo estudio (Elmasry et al. 2012). En productos agrícolas, esta técnica ha demostrado su gran capacidad para la evaluación de la calidad e inocuidad, en aspectos tales como: contaminación, defectos superficiales y otros (Rajkumar et al., 2012; Sun et al., 2013; Vélez et al., 2013).

CAPITULO I



PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La industria cítrica ha contemplado un decrecimiento en la calidad poscosecha, debido principalmente a defectos en el color y daños externos, constituyéndose de esta manera en uno de los factores más influyentes en el precio de la fruta, las principales causas de estos daños son plagas y enfermedades, las cuales muestran sus efectos, principalmente, en la superficie del cítrico.

A manera de contextualizar es necesario observar que en la provincia de Rodríguez de Mendoza en la Región Amazonas la producción de naranjas se comercializa a un precio promedio de S/. 0.15/kg. Esto debido esto a la presencia de daños en el fruto, ocasionado, entre otras causas, por la presencia de las larvas de mosca de la fruta *Ceratitis capitata* y el desarrollo del hongo verde *Penicillium digitatum* (Polo, 2014). En este contexto la producción sin defectos y con diferentes niveles de defectos se comercializa junto con la fruta seriamente dañada, provocando de este modo importantes pérdidas económicas.

Por lo que es necesaria, la búsqueda de métodos que ayuden a la detección de estos daños y la toma de decisiones como la planificación previa a la cosecha, poscosecha y entrega a fin de asegurar su calidad, inocuidad y adecuado valor de venta. Una de las nuevas técnicas aplicadas es la de imágenes hiperespectrales la cual combina las técnicas de visión por computador y la espectroscopia en la inspección de la calidad como alternativa a los métodos de inspección tradicionales (Abdel et al. 2014).

En este trabajo, se realizó las pruebas necesarias para la obtención de parámetros estadísticos con alta precisión y exactitud, en la detección de daños mediante el uso de técnicas de imágenes hiperespectrales en frutos de naranja *Citrus sinensis* inoculados con mosca de la fruta *Ceratitis capitata* y hongo verde *Penicillium digitatum*.

1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

a) Delimitación espacial

La investigación se desarrolló en la región Amazonas, se trabajó con material proveniente de la provincia de Rodríguez de Mendoza, dicha localidad posee climas diversos, con pisos altitudinales variables en la cuales se produce una diversidad de frutas como la naranja (*Citrus sinensis*).

b) Delimitación social

La investigación está encaminada al estudio de daños ocasionados por la mosca de la fruta y el hongo verde utilizando técnicas de detección amigable con el medio ambiente, este tipo de técnica tiene una demanda creciente por parte de la población para evitar daño al medio ambiente.

c) Delimitación temporal

La investigación se llevó a cabo en el periodo del 2014-2015. Durante ese tiempo se recolectó las muestras y se evaluaron los daños mediante la técnica de imágenes hiperespectrales.

d) Delimitación conceptual

- Imágenes hiperespectrales

Son una tecnología poderosa que captura información espectral detallada en una amplia gama del espectro electromagnético. Tiene aplicaciones en diversos campos y permite analizar y caracterizar en profundidad objetos en función de sus propiedades espectrales.

- Parámetro estadístico

Son valores numéricos que resumen características de una población determinada. Estos parámetros proporcionan información importante sobre la distribución, tendencia central y dispersión de los datos en una población.

1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Problema principal

¿Es posible realizar un estudio de parámetros estadísticos con técnica de imágenes hiperespectrales, para detectar daños en naranja *Citrus sinensis* ocasionados por *Ceratitis capitata* y *Penicillium digitatum*?

1.3.2. Problemas secundarios

- a) ¿Cómo detectar daños en naranja producido por mosca de la fruta?
- b) ¿Cómo detectar daños en naranja producido por hongo verde?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Obtener parámetros estadísticos con técnicas de imágenes hiperespectrales para detectar daños en naranja *Citrus sinensis* ocasionados por mosca de la fruta *Ceratitis capitata* y *Penicillium digitatum*.

1.4.2. Objetivo específico

- a) Detectar daños en naranja producido por mosca de la fruta mediante técnica de imágenes hiperespectrales
- b) Detectar daños en naranja producido por hongo verde mediante técnica de imágenes hiperespectrales

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis general

El uso de técnicas de imágenes hiperespectrales, permite obtener parámetros estadísticos para detectar daños en naranja *Citrus sinensis* ocasionados por mosca de la fruta *Ceratitis capitata* y hongo verde *Penicillium digitatum*.

1.5.2. Hipótesis secundaria

- a) Es posible detectar daños en naranja producido por mosca de la fruta *Ceratitis capitata* mediante técnica de imágenes hiperespectrales
- b) Es posible detectar daños en naranja producido por hongo verde mediante técnica de imágenes hiperespectrales

1.5.3. Variables (Definición conceptual y operaciones)

Tabla 1: Variables de la investigación

Dimensiones	Definición conceptual	Indicadores	Tipo/Nivel de Medición
Parámetros estadísticos	Es un número que resume una gran cantidad de datos que pueden derivarse de un estudio estadístico	Mínimo Máximo Moda Media Desviación estándar	Cuantitativo
Inoculación de mosca de la fruta y hongo verde	Es la introducción intencional de algo que crecerá y se reproducirá.	Daños	Cuantitativo Espectro (nm)

1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Tipo de investigación

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizarán conocimientos de las ciencias ingenieriles y administrativas, a fin de aplicarlo en el: “Estudio de parámetros estadísticos con técnica de imágenes hiperespectrales, para detectar daños en naranja (*Citrus sinensis*) ocasionados por mosca de la fruta *Ceratitis capitata* y hongo verde *Penicillium digitatum*”.

1.6.2. Nivel de investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio aplicativo.

1.6.3. Métodos de investigación

Es un método mixto, que utiliza el método cualitativo y cuantitativo. Se empieza por la toma de imágenes con un equipo hiperespectral, con la finalidad de convertirlo en datos numéricos cuantificables y así obtener los parámetros estadísticos para dichas imágenes.

1.7. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Población

El material de estudio fue la naranja variedad valencia *C. sinensis*, procedente de la localidad de Huambo debido a que el precio de la naranja que se registra en esta localidad es el más bajo que se oferta en la Región, ya que existe la presencia de daños producidos entre ellos por *P. digitatum* y *C. capitata* (Polo, 2014).

1.7.2. Muestra

La composición de cada muestra se detalla en la Tabla 2:

Tabla 2: Composición de las muestras a analizar

Inoculados	Tamaño de muestra (unidades)	Número de tomas de muestra
Hongo verde <i>P. digitatum</i>	5	- 5 tomas de muestra cada día durante 3 días. - Por cada toma se analizaron 12 regiones.

Mosca de la fruta	10	- 10 tomas de muestra por ambos lados, cada tres días.
<i>C. capitata</i>		- Se analizaron 5 regiones.

1.7.3. Equipo de adquisición de imágenes hiperespectrales

Las cámaras hiperespectrales capturaron imágenes en múltiples bandas espectrales estrechas y contiguas. Cada píxel de la imagen contiene datos sobre la reflectancia o emisión de luz en diferentes longitudes de onda. Estos datos se utilizaron para analizar las propiedades químicas o físicas de los objetos de los que se obtienen imágenes. El proceso de capturar imágenes hiperespectrales implicó una iluminación controlada y una velocidad de captura específica que garantizó una recopilación de datos muy preciso.

El uso de cámaras hiperespectrales permitió obtener imágenes no invasivas y resultados en tiempo real.

El sistema de adquisición de imágenes hiperespectrales que se utilizó, véase la representación esquemática en la Figura 1, fue de modo de reflectancia, entendida como una medida de la cantidad de luz que es reflejada por una superficie, se refiere a la proporción de luz incidente que es reflejada en relación con la luz que incide sobre la superficie. La reflectancia puede variar dependiendo de la longitud de onda de la luz y de las propiedades de la superficie en cuestión.

En esta investigación se utilizó en un rango de longitud de onda de 200nm – 1200 nm con enfoque en línea (Pushbroom) y se conformó por los siguientes componentes:

- Unidad de iluminación con cuatro lámparas ajustadas en un ángulo de 45°.
- Cámara hiperespectral modelo PIKA XC (Resonon Inc, USA).

- Ordenador i7
- Plataforma de traslado de la muestra
- Fuente de alimentación al sistema de iluminación.
- Muestra (caso de naranja)

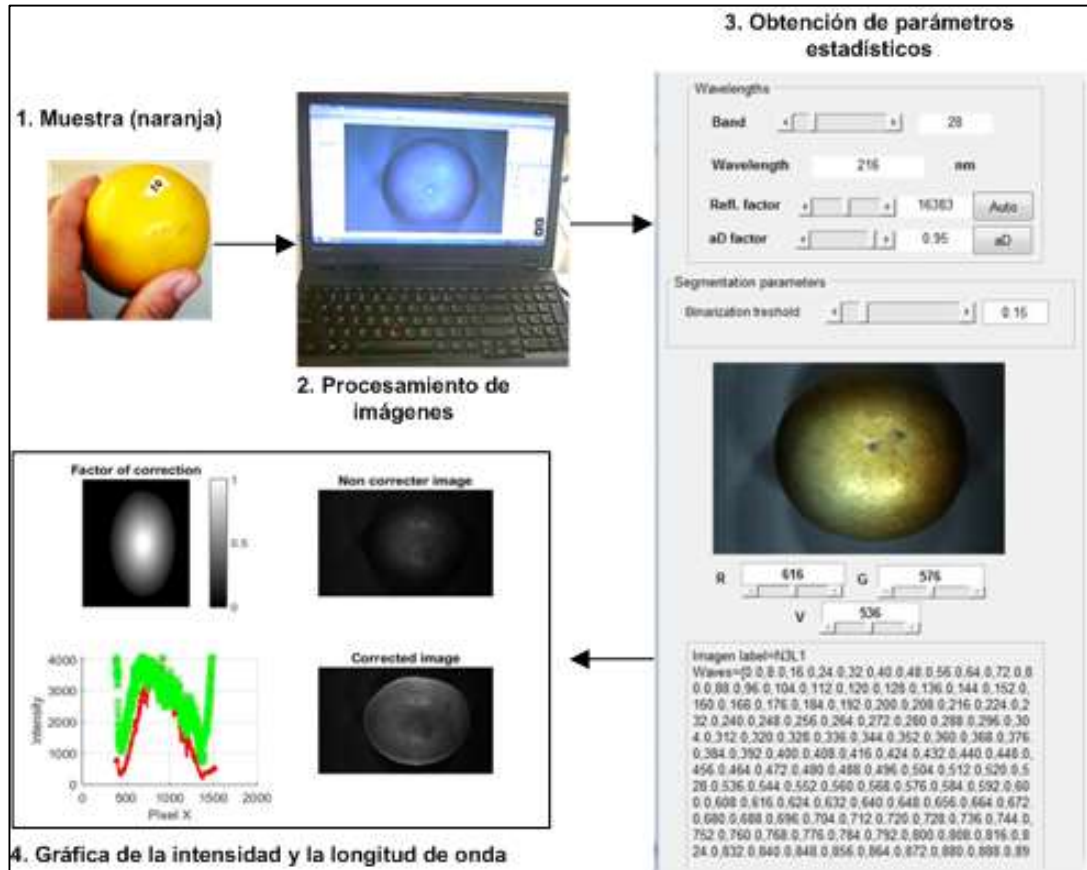


Figura 1: Sistema de adquisición de imágenes hiperespectrales de reflectancia con enfoque en línea (Resonon, 2011).

1.7.4. Ambientes para el desarrollo de la investigación

La investigación se realizó en los laboratorios de:

- Agua y suelo: En este laboratorio se realizó la preparación del medio de cultivo PDA para sembrar el hongo verde.
- Bioquímica y Microbiología: En este laboratorio se realizó la identificación de la presencia del hongo verde en el medio de cultivo PDA.

- Biotecnología animal: En este laboratorio se inoculó la mosca de la fruta y se realizó la toma de imágenes hiperespectrales de todas las muestras, incluyendo a las inoculadas con el hongo verde.

Todos estos laboratorios se encuentran en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

1.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.8.1. Métodos, técnicas e instrumentos

La recolección de las muestras de naranja *C. sinensis* se realizó en la localidad de Huambo, posteriormente se trasladó a los laboratorios de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, para la inoculación de podredumbre verde *P. digitatum* y mosca de la fruta *C. capitata*, para ello se siguió la metodología propuesta en la figura 2.

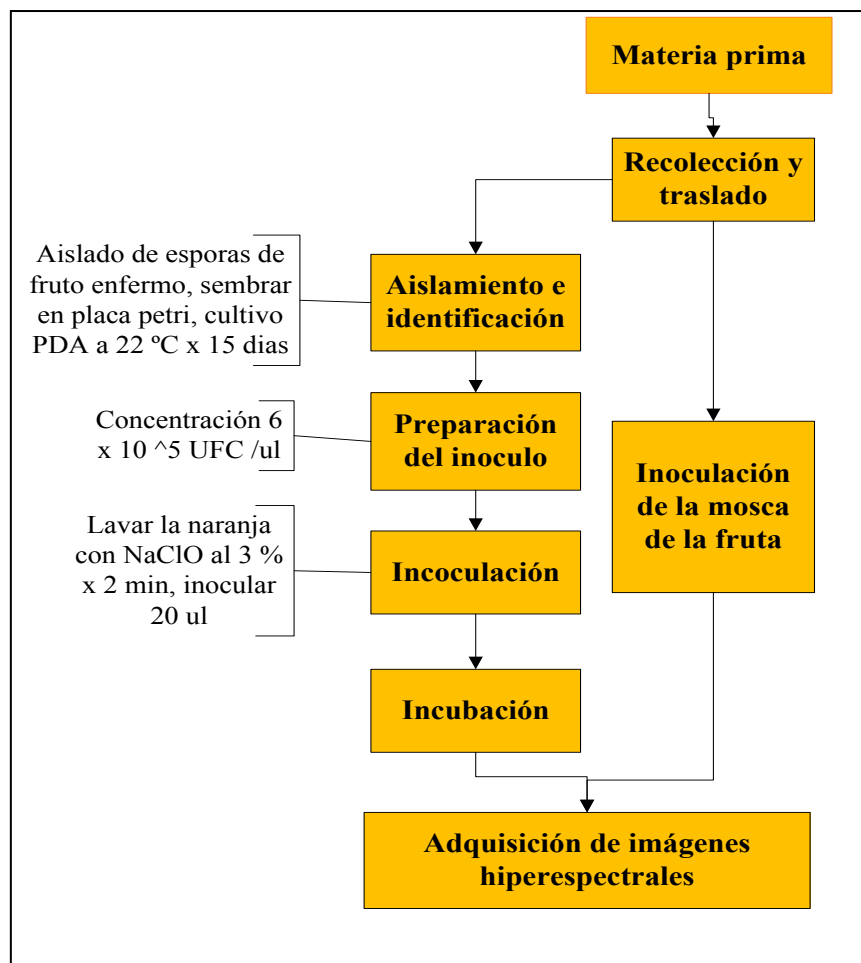


Figura 2: Tratamiento de muestras (Adaptado de Gonzales, 2011; Marín, 2002).

1.8.2. Inoculación de *P. digitatum*

La inoculación de este hongo se realizó teniendo en cuenta la metodología propuesta por Gonzales (2011).

a) Aislamiento e identificación

El hongo se aisló de naranjas enfermas que presentaban hongo verde, figura 3, posteriormente se sembró en un medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) en el laboratorio de agua y suelo de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, posteriormente se realizó la identificación morfológica del hongo *P. digitatum* de acuerdo a sus características de crecimiento en el medio de cultivo.



Figura 3: Siembra de *Penicillium digitatum*

b) Preparado del inóculo

Se obtuvieron los conidios puros de cultivos monospóricos y se suspendió en agua destilada estéril. Para la determinación de la concentración de esporas se utilizó una cámara de Newbawer, determinando la concentración de 6×10^5 UFC/ml.

c) Inoculación e incubación

Los frutos de naranja fueron lavados y sumergidos en una solución de hipoclorito de sodio al 3% durante 2 minutos en agua destilada estéril y finalmente se secaron con papel toalla.

Se inoculó los frutos realizándoles una punción con aguja hipodérmica, calibre N° 21, inyectándoles 20 microlitros en la línea ecuatorial del fruto. Se procedió a incubar en bandejas desinfectadas y cubiertas de plástico para mantener la humedad alta, 95 %, y temperatura de 25°C

d) Medición de crecimiento

Los frutos se evaluaron diariamente durante tres días mediante el uso de la técnica de imágenes hiperespectrales.

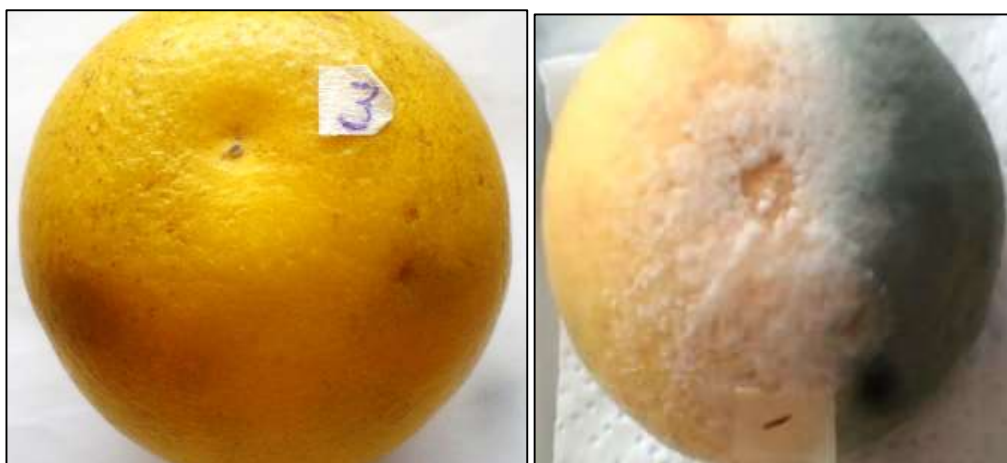


Figura 4: Naranja sana y naranja con inóculo de hongo verde

1.8.3. Inoculación con *C. capitata*

La inoculación se realizó teniendo en cuenta la metodología propuesta por Marín, (2002).

a) Obtención de *C. capitata*

Se realizó la compra de 30 parejas de *C. capitata*, procedentes de la ciudad de Trujillo, de la empresa denominada Protección de Cultivos Perú SAC. Estas fueron transportadas al Laboratorio de Biotecnología

de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

b) Inoculación

Se colocaron las muestras de *C. capitata* en una jaula cúbica de plástico transparente, la cara anterior de esta jaula estuvo constituida por una malla especial para facilitar a las hembras la puesta de huevos; en la cara posterior se colocó una cartulina negra humedecida con una solución de levadura y sacarosa en proporción de 1:3, tratando de mantener una humedad relativa de 67 % (Marín, 2002); tal como se puede apreciar en la figura 5. Simultáneamente se colocaron las muestras de naranja en el interior de la jaula cúbica, Las muestras de naranja estuvieron expuestas a la mosca de la fruta un promedio de 5 días. Posteriormente se colocó las muestras de naranja en una jaula cúbica con fondo blanco.



Figura 5: Jaula cúbica de plástico con muestras de naranja inoculadas con *C. capitata*.

c) Medición

Luego de la inoculación se realizó la toma de imágenes hiperespectrales cada 3 días, por un periodo de 10 veces.



Figura 6: Naranja sana y naranja con inóculo de *C. capitata*

1.8.4. Obtención de imágenes hiperespectrales

Para el caso de las naranjas inoculadas con *P. digitatum* se realizó la observación mediante imágenes hiperespectrales diariamente luego de la inoculación por un periodo de 3 días, periodo en el cual el fruto en las condiciones antes mencionadas se encontró completamente dañado (Gonzales, 2011). Para el caso de las naranjas inoculadas con *C. capitata* se realizó la toma de imágenes hiperespectrales cada tres días repitiéndolo por 10 veces. Los pasos de esta etapa se pueden ver en la figura 7.

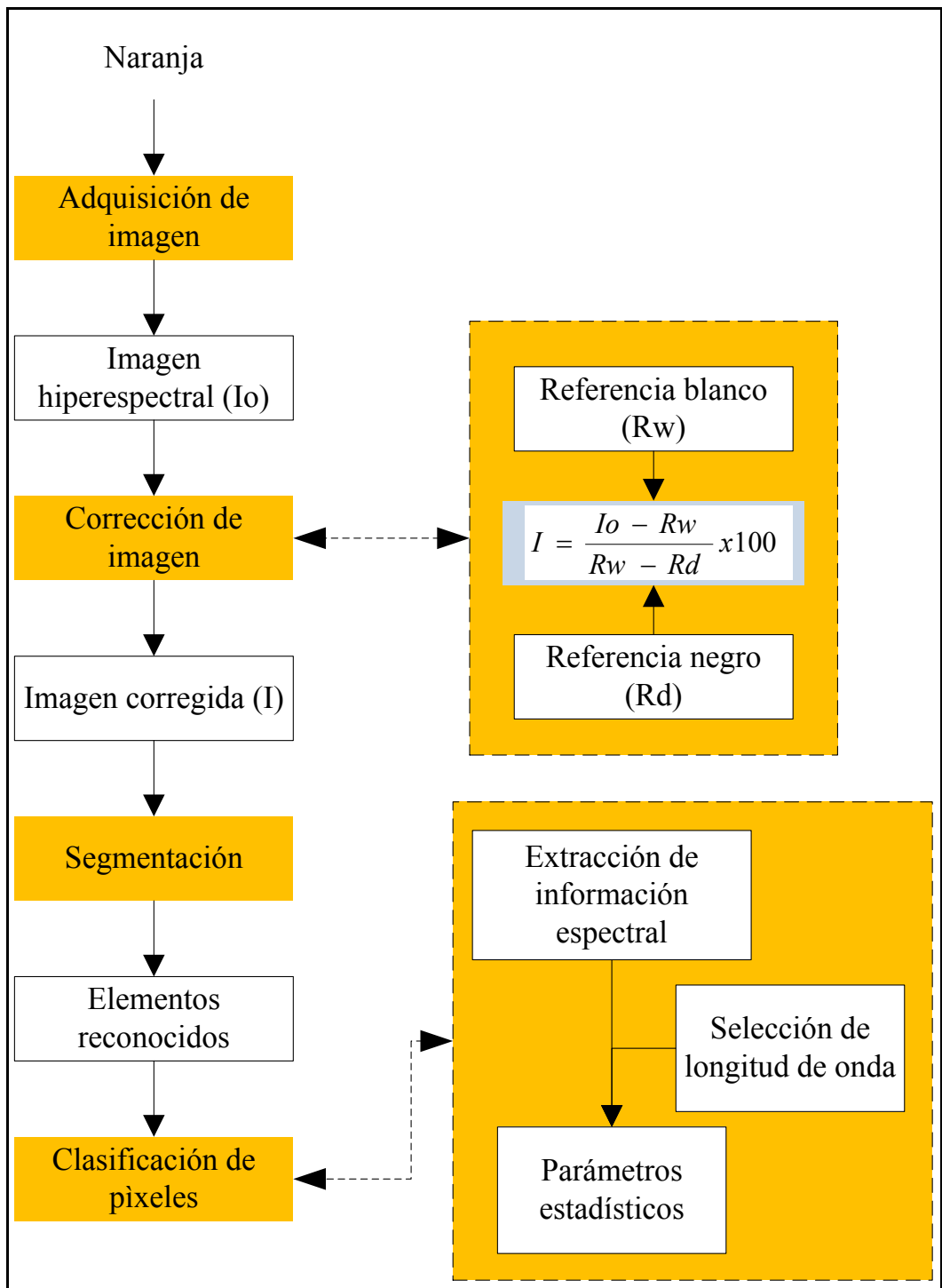


Figura 7: Adquisición de imágenes hiperspectrales obtenidos de la naranja (Liu et al., 2013)

a) Adquisición y corrección

La adquisición de imágenes se basó en los pasos para el análisis de imágenes hiperespectrales mostrados en la figura 8 y elaborados a partir de la metodología propuesta por Li et al. (2011).

En primer lugar, se realizó una calibración de la reflectancia del sistema con dos imágenes de referencia: una imagen oscura (R_d) con reflectancia nula que se adquirió al apagar la fuente de luz y al cubrir el lente de la cámara con su tapa opaca (para remover el efecto de la “corriente de la oscuridad” o “dark current” del sensor de la cámara), y una imagen blanca (R_w) de una superficie de teflón estándar blanca y uniforme, provista por RESONON INC, y que tiene un nivel alto de reflectancia, esta imagen se adquirió bajo las mismas condiciones de escaneo de las muestras y fue útil para suavizar el efecto de las variaciones espaciales de la luz en la área de toma de imágenes (Barbin et al., 2013). Ambas imágenes se utilizaron para calcular la imagen corregida (I) utilizando la Ecuación 1.

$$I = \frac{I_o - R_w}{R_w - R_d} \times 100 \dots Ec (1)$$

Donde

- I = Imagen hiperespectral corregida a unidad de reflectancia relativa (%);
- I_o = Imagen hiperespectral original
- R_d = Imagen oscura (0% reflectancia)
- R_w = Imagen blanca (99.9% reflectancia).

Una vez corregida la imagen se procedió a tomar la muestra de imágenes hiperespectrales de la naranja, colocando cada muestra en la plataforma de carga y luego se transportó a una velocidad ajustada de 0.3 cm/s al campo de visión de la cámara (de escaneo línea por línea). De este modo se obtuvo información espectral y espacial que se guardó en el computador. La distancia entre la lente y la plataforma se fijó en 27.5cm. Las imágenes tuvieron una resolución espectral de 8nm es decir de 125 bandas en el rango trabajado (200-1200 nm). El sistema de

imágenes hiperespectrales estuvo controlado por una computadora mediante el software Spectronon pro-software (Resonon Inc, USA).

b) Segmentación de la imagen

El interés de la segmentación es separar la parte real del alimento y el fondo de la imagen (Barbin et al., 2013). La segmentación se inició por la sustracción de la imagen a una longitud de onda de 420 nm, en la cual se generaba alto contraste entre la muestra y el fondo homogéneo. Esta imagen segmentada es llamada "máscara completa", y contiene la región que representa al alimento. Este paso se realizó utilizando el software Spectronon Pro (Resonon Inc., EE.UU).

c) Extracción espectral

En este paso se extrajo el espectro de reflectancia promedio del ROI seleccionado en el paso anterior y el cual se almacenó en una matriz de datos. Este paso se realizó utilizando el sistema desarrollado por los investigadores del proyecto.

1.9. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La detección de daños por imágenes hiperespectrales es de gran importancia en diversas aplicaciones, como el control de calidad, la seguridad alimentaria y la detección temprana de enfermedades en cultivos. Las imágenes hiperespectrales son aquellas que capturan información en múltiples bandas espectrales, lo que permite obtener una representación detallada de los objetos y materiales presentes en una escena.

La detección de daños por imágenes hiperespectrales es especialmente útil en el control de calidad de productos, como frutas y verduras. Estas imágenes permiten identificar daños y anomalías que no son visibles a simple vista, como golpes, magulladuras, podredumbre y enfermedades. Al detectar estos problemas de manera temprana, se pueden tomar medidas preventivas y evitar la comercialización de productos en mal estado

Por otro lado, las imágenes hiperespectrales también se utilizan para la detección temprana de enfermedades en cultivos, estas imágenes capturan información detallada sobre la salud de las plantas, como cambios en la reflectancia espectral y la presencia de síntomas tempranos de enfermedades. Al analizar estas imágenes, los agricultores y expertos pueden identificar y controlar rápidamente la propagación de enfermedades, lo que ayuda a minimizar las pérdidas de cultivos y mejorar la productividad agrícola.

CAPITULO II



MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Una revisión de los trabajos de investigación desarrollados últimamente, muestran las potencialidades de la técnica de imágenes hiperespectrales en la evaluación de la calidad en productos alimentarios. se han obtenido diferentes investigaciones en las que se utilizaron imágenes hiperespectrales de reflectancia en el rango de longitudes de onda entre 500 a 1 000 nm para determinar la firmeza y el contenido de sólidos solubles en arándanos, alcanzando una precisión de la predicción de 0.87 y 0.79 respectivamente, y demostrando así la viabilidad de la implementación de esta técnica (Elmasry et al., 2009; Gómez, 2010; Leiva et al. 2013; Sun, 2013).

Algunos de estos trabajos se relacionan a la determinación de del contenido de sólidos solubles de naranja como el de Barkai (2008) que utilizando imágenes hiperespectrales de fluorescencia inducida por láser en el rango de 700 a 1 100 nm obtuvo coeficientes de correlación de 0.998. Otras investigaciones son la de Elmasry y col (2012) que usando imágenes hiperespectrales de dispersión entre 450nm y 1 000 nm seleccionar modelo óptimo para la detección de daños en frutos, la predicción del contenido de sólidos solubles, determinación no destructiva del contenido de humedad, contenido de sólidos solubles y pH, Para todo esto se utilizó los coeficientes “ β ” del modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR, siglas en ingles). Asimismo, Zhao, et al. (2009), utilizaron esta técnica para predecir el contenido de humedad en frutas como: el contenido de sólidos solubles y pH con coeficientes de correlación de 0.91, 0.80 y 0.94, para predecir el contenido de sólidos solubles en manzanas usando imágenes hiperespectrales. O el trabajo de Rajkumar y col (2012) que en usando imágenes hiperespectrales en el modo de reflectancia permitieron predecir el contenido de humedad y sólidos solubles totales en plátano mediante modelos PLSR lo que resultó en coeficientes de determinación de 0.85, 0.87 y 0.91 respectivamente para cada parámetro.

Más centradas en la presencia de daños o afectaciones es la de Gómez (2010) que evaluó modelos para la detección de daño por hongos en naranjas o la de Elmasry y Col. (2009) que evaluaron los daños mecánicos en el pericarpio de mangos a fin de detectar diferencias espectrales entre las zonas sanas y las zonas dañadas a partir de sus espectros de reflectancia. Por los antecedentes mencionados podemos apreciar que existe ya el uso de imágenes espectrales en un sinnúmero de productos agrícolas, pueden aplicarse en productos vegetales frescos, como la naranja, que es uno de los productos con mucho potencial en el Perú, y que representa un cultivo tradicional en localidades como Rodríguez de Mendoza en la Región Amazonas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Generalidades del cultivo de la naranja

La clasificación taxonómica de las naranjas se detalla a continuación (Vente, 2007):

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Sapindales
- Familia: Rutaceae
- Subfamilia: Citroideae
- Tribu: Citreae
- Género: Citrus
- Especies:
 - Naranja dulce: *Citrus sinensis* (L.) Osb
 - Naranja amarga: *Citrus aurantium* (L.)

El cultivo de la naranja es un cultivo permanente, con una longevidad que oscila entre los 30 a 40 años; requiere, a partir de la siembra, aproximadamente seis años para empezar a producir y alcanza entre los

15 y 20 años su máximo de producción (Gutiérrez, 2007). Necesitan suelos profundos y permeables, y no toleran la salinidad, se desarrolla en climas subtropicales, requieren buenas precipitaciones (repartidas durante todo el año), son ávidos de luz, especialmente para los procesos de floración y fructificación y son susceptibles a corrientes fuertes de viento que pueden ocasionar pérdidas en la fructificación (Alarcón, 2012; Flores, 2009).

Otros factores importantes son la altitud para el cultivo de naranjas estas oscilan entre los 400 a l 300 msnm y la humedad relativa, entre 60 a 70 %. En regiones donde la humedad relativa es alta se tiende generar cáscara delgada y suave, mayor cantidad de jugo y mejor calidad, en cuanto a las bajas humedades favorecen una mejor coloración de la fruta (Wills et al, 1998; Alarcón et al., 2012). Una fruta de alta calidad debe al mismo tiempo presentar un aspecto exterior atractivo (color, tamaño) y un índice de madurez adecuado que le proporcionen un sabor y aroma agradable (Flores, 2009).

2.2.2. Producción mundial y nacional

La producción mundial de naranjas ha experimentado cambios a lo largo de los años. Según los datos recopilados, la producción mundial de naranjas ha sido variable.

En Bolivia, la mandarina y la naranja son los principales cítricos cultivados a nivel nacional. Durante el año agrícola 2015-2016, se produjo 225,712 toneladas métricas de mandarina y 185,093 toneladas métricas de naranja.

A nivel mundial, Brasil es uno de los principales productores y exportadores de jugo de naranja. Sin embargo, en los últimos años ha enfrentado desafíos debido a sequías históricas que han afectado la cosecha de naranjas utilizadas para la producción de jugo.

Es importante tener en cuenta que la producción de naranjas puede variar según diferentes factores, como el clima, las condiciones del suelo y las políticas agrícolas de cada país. Las estadísticas específicas sobre la producción mundial de naranjas pueden estar disponibles en informes y bases de datos de organizaciones como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y los organismos nacionales de estadísticas agrícolas de cada país.

La producción total de cítricos ha ido en aumento en las últimas décadas y superando 115 millones de toneladas en el 2011, de esto 71 millones de toneladas pertenecen a la especie *Citrus sinensis* lo que da una idea de la importancia que tiene dentro de la economía mundial de este sector (Gómez, 2010; Palou, 2014).

La producción de la naranja es uno de los principales cultivos en el mundo ya que se cultivan en más de 100 países (Gómez, 2010) y se distribuye tal como se aprecia en la figura 8.

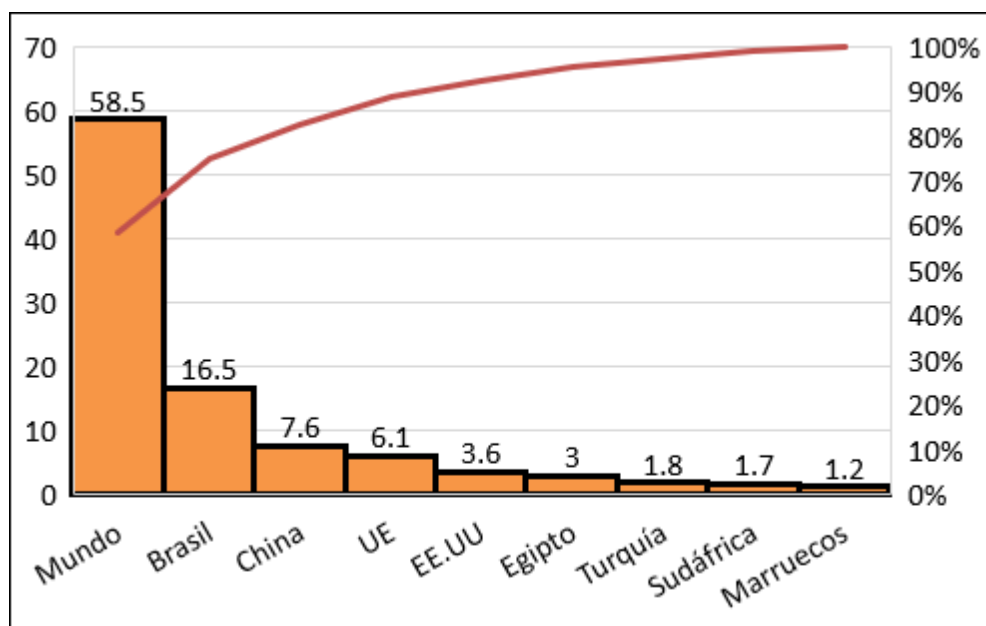


Figura 8. Principales regiones productoras de naranja (MINAGRI, 2015).

La producción nacional de naranja fue de 441 125 toneladas el año 2013, cantidad 2.89% superior a la producción del año 2012, la producción ha venido creciendo, aunque no de una manera ininterrumpida debido a que los años 2007 y 2009 tuvo ligeras caídas en el nivel de producción (2.71% y 0.63% respectivamente). Esta producción, como se observa en la Figura 8, se concentra en la región Junín la cual ha sido tradicionalmente la principal productora de naranjas en el Perú, seguidos por la región Lima y San Martín (MINAGRI, 2015).

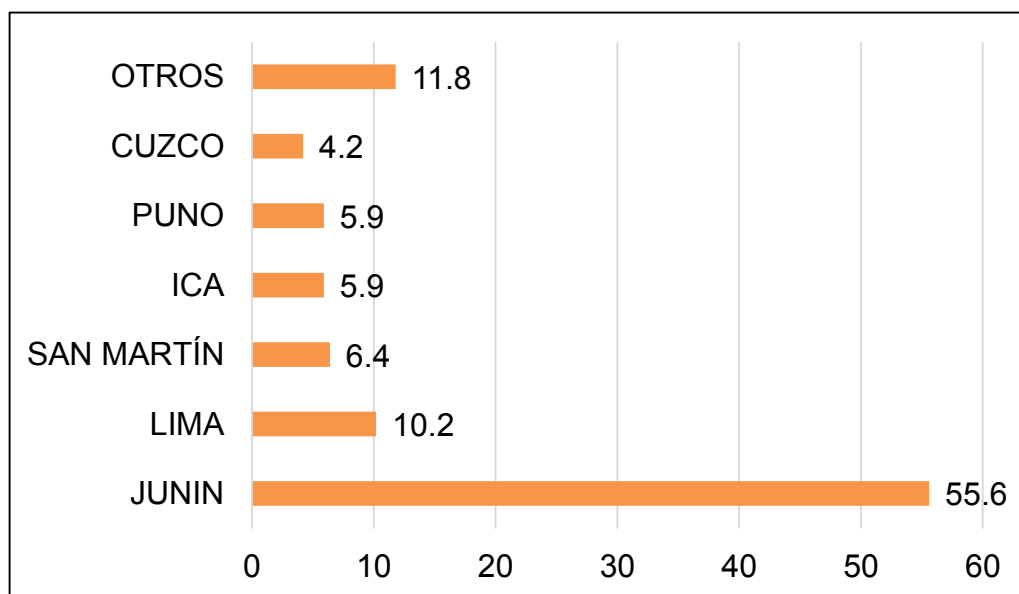


Figura 9: Principales regiones productoras de naranja en el Perú (MINAGRI, 2015).

El año 2011 las naranjas peruanas se exportaron a 17 países y el principal mercado es el holandés; los US\$ 142 426 729 millones de dólares exportados hacia Holanda representan el 28.2% del total exportado de naranjas frescas el año 2011 (DGIA, 2015). La región Amazonas, produjo 5 970 toneladas de naranja el año 2013, la provincia de Rodríguez de Mendoza produjo 1 213 toneladas el año 2014 (MINAGRI, 2015).

2.2.3. Diagnóstico y detección de plagas y enfermedades en naranja

Para realizar un diagnóstico del hogo verde *P. digitatum* y la mosca de la fruta *C. capitata*, es necesario conocer el comportamiento de cada especie.

a. Hongo verde

La familia de hongos *penicillium* es uno de los principales patógenos de los cítricos, estos penetran por orificios o heridas naturales causando las enfermedades más comunes y devastadoras en postcosecha. Su crecimiento se acelera a temperatura moderada (20 a 27°C) y por tanto predomina durante el transporte y almacenamiento a corto plazo (Gonzales, 2011).

a.1. Distribución y origen

El daño postcosecha generado por *penicillium* es el de mayor importancia económica en los almacenes citrícolas a nivel mundial (Gonzales, 2011; Gómez, 2010) y ha llegado a causar pérdidas postcosecha del 55 al 80% por pudrición de frutos (Pelayo, 2012).

a.2. Desarrollo de la infección

La infección se inicia a través de heridas o daños mecánicos ocasionados durante la cosecha, empaque o transporte; los frutos también son susceptibles a la infección durante la época de lluvia y con temperaturas óptimas entre 20 y 27 °C (Gonzales, 2011).

La infección puede desencadenarse por pequeños grupo de naranjas infectadas, desencadenando la infección en el resto del lote e incidiendo principalmente en aquellos transportados por largo periodo de tiempo (Blasco et al., 2010).

En estados tempranos el hongo causa hundimiento, posteriormente se desarrolla un micelio blanco del centro del área afectada hacia afuera y posteriormente esporulación de color verde oliva (Barkai, 2008). Los síntomas son vistos después de aproximadamente 3 días de incubación a temperatura ambiente, aparece un área circular que rodea el sitio de infección (herida corteza) húmeda y suave, se decolora y puede ser fácilmente penetrado con el dedo (Palou, 2014).

a.3. Factores que propician el desarrollo de la infección

Los factores ambientales y el manejo inadecuado de la fruta en postcosecha son alguna de las causas que favorecen al desarrollo de este hongo (Smilanick, 2006), aunado al almacenamiento de frutos por largos períodos de tiempo (Kanetis et al., 2008); así mismo a mayor concentración de esporas, los síntomas se presentan en menor tiempo, demeritando la calidad poscosecha del fruto y por lo tanto teniendo menor vida de anaquel (Gonzales, 2011; Zumbado, 2006).

b. Daño causado por la mosca de la fruta

La mosca de la fruta puede causar daños significativos en los cultivos de frutas. Existen más de 5000 especies de moscas de la fruta en la familia Tephritidae, y algunas de las especies más problemáticas son *Ceratitis capitata*, conocida como mosca del mediterráneo y especies del género *Anastrepha*, que son comunes en el continente americano.

El daño directo causado por las moscas de la fruta ocurre cuando las larvas se alimentan de la pulpa o las semillas de la fruta, lo que hace que la fruta sea inaceptable para el consumo directo o para su uso agroindustrial. Además del daño directo, las moscas de la fruta también pueden causar restricciones en los mercados internacionales debido a su carácter cuarentenario, lo que dificulta la exportación de frutas frescas.

Las moscas de la fruta son especialmente comunes en el verano y el otoño, ya que son atraídas por las frutas y verduras maduras o fermentadas. Pueden infestar cultivos como tomates, melones, calabacines, uvas y otras frutas perecedoras. También pueden ser un problema en el hogar, restaurantes y supermercados, donde se encuentran alimentos fermentados.

El daño causado por las moscas de la fruta se debe principalmente a las larvas que se desarrollan dentro de la fruta, lo que puede

provocar una maduración prematura, caída del fruto y pérdida de la cosecha. Además, la presencia de larvas en el interior de la fruta genera desconfianza en los consumidores y puede afectar la comercialización del producto.

El manejo de la mosca de la fruta puede incluir medidas de control mecánico, como la recolección y destrucción de frutas infestadas, así como el uso de trampas y productos químicos específicos. El manejo integrado de plagas es una estrategia recomendada que combina diferentes métodos de control para reducir el impacto de las moscas de la fruta en los cultivos.

Puede tener varias generaciones anuales, dependiendo de la climatología de la zona. La época fría la suelen pasar en el suelo en forma de pupa y en las zonas de clima suave puede tener hasta 7- 8 generaciones (Muñiz, 1984).

b.1. Distribución y origen

La mosca de la fruta tiene una distribución geográfica amplia y su origen se encuentra en diferentes regiones del mundo.

La mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata*) es originaria de la costa occidental de África y se ha extendido a otras zonas templadas, subtropicales y tropicales de los dos hemisferios. También se le conoce como mosca mediterránea de la fruta debido a su dispersión a través del transporte de productos realizado por el ser humano.

Otras especies de moscas de la fruta, como las del género *Anastrepha*, tienen una distribución en América y se encuentran en áreas tropicales y subtropicales. Estas especies son nativas de América y pueden causar daños económicos a los cultivos de frutas si no se controlan adecuadamente.

El Programa Moscamed es un acuerdo tripartito entre los gobiernos de Estados Unidos, Guatemala y México para la detección, supresión y erradicación de la mosca del Mediterráneo y otras

moscas de la fruta de importancia económica. Este programa se ha ampliado a República Dominicana y tiene como objetivo proteger las áreas libres de mosca del Mediterráneo en la región, fortaleciendo la exportación de frutas y hortalizas.

Es importante tener en cuenta que la distribución y el origen de las moscas de la fruta pueden variar según la especie y la región geográfica. Las fuentes consultadas proporcionan información adicional sobre la taxonomía, descripción, ciclo biológico, hábitat, daños y métodos de control de las moscas de la fruta.

Esta plaga es originaria de la costa occidental de África extendiéndose a otras zonas templadas, subtropicales y tropicales de los dos hemisferios.

La mosca de la fruta ataca a más de 250 especies de frutales y horticolas, entre ellas los cítricos (Liquido et al., 1991). Muestra alta proliferación y alta adaptabilidad lo cual explica que haya colonizado con éxito diversas regiones templadas del mundo (Papadopoulos et al., 1996).

La *C. capitata* se ha convertido en una auténtica plaga en las zonas tropicales, subtropicales y mediterráneas; de hecho, afecta a todos los países de la franja mediterránea y está extendida en Asia (India), Sudáfrica, América e incluso en Australia (Davies et al. 1999).

La mosca mediterránea de la fruta en Perú constituye un problema serio (Hagen, 1981), detectándose inicialmente en Huánuco en 1955 y desde entonces ha invadido prácticamente todos los valles del país, habiendo llegado a desplazar en importancia a la mosca sudamericana de la fruta *Anastrepha fraterculus* en el sur. Más grave aún es que el problema de la mosca de la fruta no se restringe a la mosca mediterránea, sino que existen también otras especies de moscas por un fenómeno ecológico conocido como desplazamiento forzoso de los homólogos ecológicos, confirmado

en nuestro medio por el desplazamiento de *A. fraterculus* por *C. capitata* en los valles del sur, las especies que hoy día han sido desplazadas y no tienen mayor importancia económica pueden tenerla en cuanto desaparezca el competidor (Ramos, 2012).

En la figura 10 se observa a continuación la distribución a nivel mundial de datos tomados de la Organización para la Protección de las Plantas del Mediterráneo y Europa (EPPO).

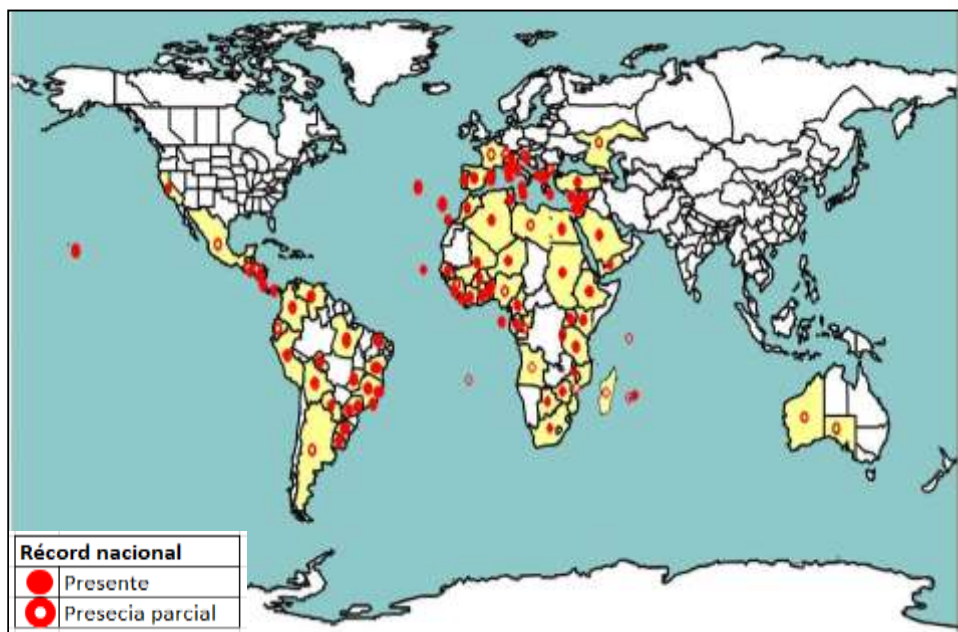


Figura 10. Distribución mundial de *Ceratitis capitata* (EPPO, 2006)

b.2. Impacto económico

La mosca de la fruta, especialmente la mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata*) y las especies del género *Anastrepha*, tiene un impacto económico significativo en la agricultura y la producción de frutas en todo el mundo. Estas moscas son consideradas plagas agrícolas altamente destructivas debido a su capacidad de reproducción, distribución geográfica amplia y adaptabilidad a diferentes climas.

La mosca del Mediterráneo, en particular, es una de las plagas más importantes a nivel mundial. Puede infestar más de 418 frutas y

hortalizas, lo que genera daños directos a la producción y comercialización de estos productos. Su distribución geográfica abarca los cinco continentes y su impacto económico, social y ecológico es significativo.

El Programa Moscamed es un acuerdo de cooperación entre los gobiernos de Estados Unidos, Guatemala y México para la detección, supresión y erradicación de la mosca del Mediterráneo y otras moscas de la fruta de importancia económica. Este programa tiene como objetivo proteger las áreas libres de la mosca del Mediterráneo en la región, fortaleciendo la exportación de frutas y hortalizas.

Además de los daños directos que causan las moscas de la fruta a los cultivos, también generan restricciones en los mercados internacionales debido a su carácter cuarentenario. Esto dificulta la exportación de frutas frescas y puede resultar en pérdidas económicas para los productores.

A pesar de su origen africano se denomina mosca mediterránea de la fruta ya que en los países mediterráneos es donde su incidencia económica se ha hecho más patente, afectando a numerosos cultivos, sobre todo, cítricos y frutales de hueso y de pepita. Para mantener la rentabilidad de una explotación es crítico un control efectivo de la mosca de la fruta, puesto que utilizan las frutas como sustrato para la oviposición y desarrollo de las larvas causando daños directos e indirectos en la fruticultura (Núñez, B. 2000), ocasionando pérdidas por alrededor de un 2.5% de la producción de cítricos (Muñiz, M. 1984).

b.3. Desarrollo de la infección

Una vez que la hembra ha depositado su huevo en la naranja, emergen larvas que se alimentan del interior de la naranja; pueden presentarse varias generaciones anuales, dependiendo de la climatología de la zona (Fimiami, 1989).

La época fría la suelen pasar en el suelo en forma de pupa y en las zonas de clima suave puede tener de 7 a 8 generaciones (Muñiz, 1984); en estas generaciones la larva se alimenta de la pulpa de los frutos atacados, convirtiéndolos en no aptos para la comercialización. La *C. capitata* presenta una metamorfosis completa y su ciclo biológico, figura 11, presenta cuatro fases de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto (Jara, 2009).

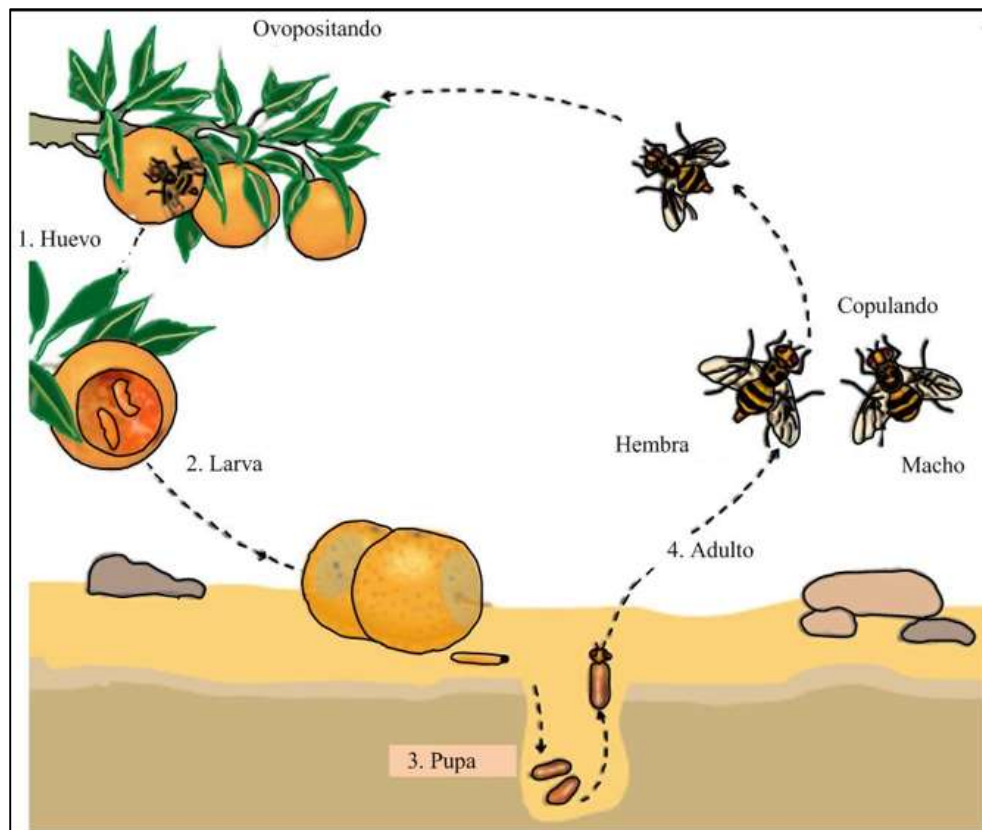


Figura 11. Ciclo biológico de la mosca de la fruta *C. capitata* (SENASA, 2012)

En invierno aparecen hembras adultas de primera generación que atacan a naranjas, buscando las ramas más soleadas (Porrás, 2008), siendo más susceptibles los frutos maduros (Thomas et al., 2004). El número total de huevos por hembra puede ser de 300 a 400. Los frutos podridos se caen al suelo y la larva sale del interior pupando bajo tierra a una profundidad de 5 - 10 cm, cuando la temperatura sube por encima de 14 °C las moscas vuelven a estar activas (Muñiz, 1984).

b.4. Factores que propician el desarrollo de la infección

Todos los cítricos están expuestos a su ataque el cual se reduce por el espesor y textura de la piel y la densidad de las glándulas de aceites esenciales (Fletcher, 1989; Robinson, 1989). Los primeros daños que producen a la fruta son debidos a las picaduras que efectúa las hembras para depositar los huevos (Muñiz, 1982); esta picadura produce una vía de infección de hongos que favorecen el deterioro del fruto (Pelayo, 2012), el segundo síntoma lo producen las larvas al alimentarse de la carne del fruto y destruir la pulpa por completo (Muñiz, 1984).

c. Sistemas hiperespectrales

c.1. Definición del método

Las imágenes hiperespectrales suponen una extensión del concepto de imagen digital y en el sentido de que sus píxeles no están formados por un único valor discreto; sino por un conjunto amplio de valores correspondientes a las diferentes mediciones espectrales realizadas por un sensor o instrumento de medida en diferentes longitudes de onda (Gómez, 2010). Podemos entender así una imagen hiperespectral como una colección de medidas espectroscópicas que ofrecen una gran cantidad de información sobre las propiedades de los materiales que aparecen en la escena (Diezma, 2011). Es por esta combinación de tecnología de imágenes y espectroscopia que las técnicas de análisis hiperespectral han encontrado numerosas aplicaciones prácticas, entre las que podemos mencionar a la detección de daños producidos por plagas o enfermedades en frutales como los cítricos (Gómez, 2010).

En este sentido los sistemas de imágenes hiperespectrales adquieren imágenes a una gran cantidad de longitudes de onda contiguas (normalmente menos de 10 nm). Por lo general hay decenas o cientos de imágenes, cada píxel de la imagen

hiperespectral tiene su propio espectro en un rango de longitud de onda contigua. Las imágenes hiperespectrales organizan la información en un arreglo tridimensional tridimensional, llamado hipercubo, cubo espectral, volumen espectral, cubo de datos y volumen de datos, que se compone de elementos de imagen volumétrica (también llamado vector de píxeles) que contiene información espectral (intensidad a longitudes de onda λ), así como la información espacial de dos dimensiones (filas y columnas) (Sun, 2010).

De manera más comprensiva y visual una imagen hiperespectral está constituida por un conjunto extenso de imágenes monocromáticas, incrementando la complejidad del análisis de este tipo de imágenes y aumentando el tiempo requerido para extraer información de las mismas por un sistema automático (Sun, 2010).

c.2. Funcionamiento y principios físicos

La finalidad de esta técnica es obtener información a través de un grupo de bandas espectrales logrando así poder detectar los frutos afectados en el periodo de poscosecha mediante algoritmos automáticos de clasificación (Paz, 2009). A partir de una imagen hiperespectral se puede obtener la firma espectral (espectro) de un píxel y a partir de la misma se puede tratar de detectar daños de una manera más eficaz que con los sistemas RGB¹ convencionales (Gómez, 2010).

Uno de los principales inconvenientes que presentan los sistemas hiperespectrales es la gran cantidad de datos que generan. Mientras que los sistemas RGB convencionales proporcionan tres imágenes correspondientes a las bandas del rojo. Por esta razón, es importante seleccionar sólo aquellas bandas que contienen la información más relevante para el problema que se está tratando,

¹ El modelo de color llamado RG:B es el que se utiliza en todos los sistemas que forman imágenes a través de rayos luminosos, ya sea emitiéndolos o recibéndolos. El modelo RGB está formado por los tres componentes de colores primarios: rojo, verde y azul (viniendo el nombre de las iniciales de su nomenclatura inglesa Red, Green, Blue).

y descartar aquéllas que no contribuyen significativamente al problema de inspección (Gómez, 2010; Sun, 2010).

c.2.1. Superficie Lambertiana

La superficie Lambertiana, también conocida como superficie de Lambert, es una superficie ideal que refleja la energía incidente de manera igual en todas las direcciones. Es un concepto utilizado en física y fotometría para describir una superficie que dispersa la luz de manera uniforme en todas las direcciones.

La superficie lambertiana se utiliza como referencia para comparar la reflectancia de otras superficies. Se considera una superficie idealizada, ya que en la práctica es difícil encontrar una superficie que refleje la luz de manera perfectamente lambertiana.

La ley de Lambert, también conocida como ley del coseno de Lambert, describe cómo la intensidad de la luz reflejada por una superficie lambertiana disminuye con el ángulo de observación. Según esta ley, la intensidad de la luz reflejada es proporcional al coseno del ángulo entre la dirección de observación y la normal a la superficie. Es importante tener en cuenta que la superficie lambertiana es un concepto teórico utilizado en estudios científicos y técnicos. En la práctica, las superficies reales pueden tener diferentes propiedades de reflectancia y dispersión de la luz.

En la siguiente figura 12 podemos observar la superficie lambertiana que hace posible medir los daños producidos en naranja

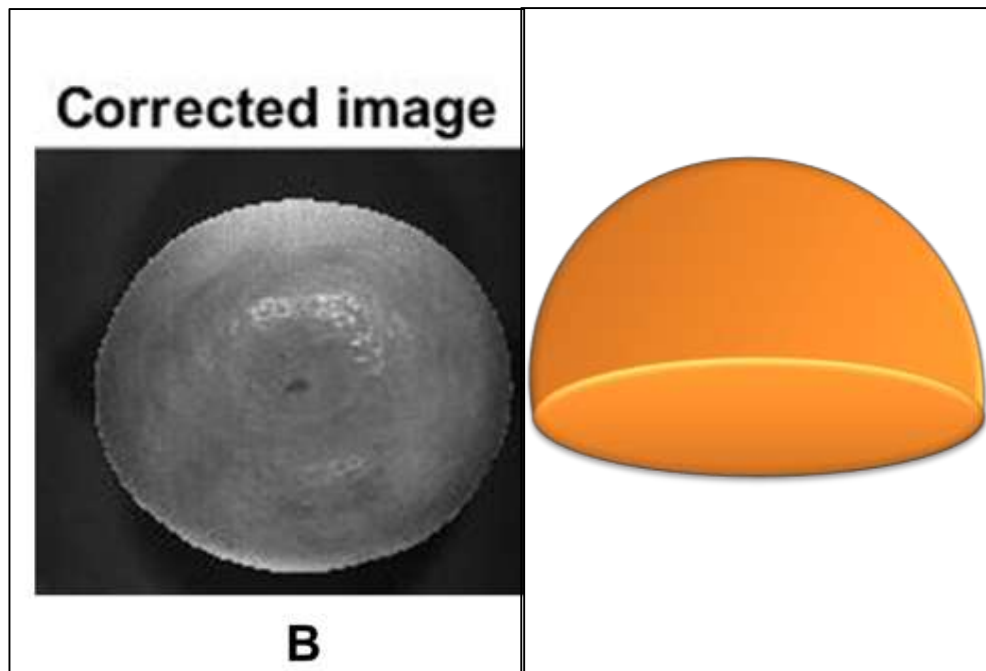


Figura 12: Superficie lambertiana

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Hongo: Ser vivo heterótrofo, carente de clorofila, hojas y raíces, que se reproduce por esporas y vive parásito, en simbiosis o sobre materias orgánicas en descomposición (RAE, 2016).

Inocular: Introducir en un organismo una sustancia que contiene los gérmenes de una enfermedad (RAE, 2016).

Imagen: Figura, representación, semejanza y apariencia de algo (RAE, 2016).

Espectro: Distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda (RAE, 2016).

Parámetro: Es una variable que en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico (RAE, 2016).

Estadístico: Estudio de daños cuantitativos (RAE, 2016)

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1 NARANJA INOCULADA CON HONGO VERDE *P. Digitatum*

Se han analizado cinco naranjas inoculados con hongo verde, por cada naranja se realizó 12 tomas de imágenes hiperespectrales de diferentes regiones de la naranja, de la misma fase, teniendo un total de 180 imágenes. La coloración blanca y verde en las naranjas puede ser causada por la presencia de hongos. Los hongos pueden crecer en la superficie de las naranjas y producir diferentes colores, como verde, blanco, gris o incluso marrón. Los hongos pueden ser perjudiciales para la salud y la calidad de las naranjas. Estos hongos pueden ser fitopatógenos y afectar la calidad y el sabor de las naranjas. Es importante tener en cuenta que el color del hongo en las naranjas no indica necesariamente el grado de peligro que pueda representar. Sin embargo, es recomendable eliminar cualquier tipo de moho de las naranjas y desechar las frutas afectadas. En la figura 13 se puede apreciar las muestras de naranja de la cual se dividió en cuatro fases según el daño que presentó, así se tiene que:

- La fase cero: Esta fase corresponde a la muestra de naranja al inicio del estudio, la cual no presenta *P digitatum*.
- La fase uno: Esta fase corresponde a la muestra de naranja que ha sido inoculada con *P. digitatum*.
- La fase dos: Esta fase corresponde a la muestra de naranja con presencia de coloración blanca debido a la presencia de filamentos (hifas - micelio)
- La fase tres: Esta fase corresponde a la muestra de naranja con presencia de coloración verde olivácea debido a la presencia de esporas.

A continuación, se presenta la figura 13 en la que se diferencian las fases de estudio, la muestra de naranja sana corresponde al primer día de evaluación, y la muestra de naranja inoculada con el hongo corresponde al tercer y último día de la evaluación.

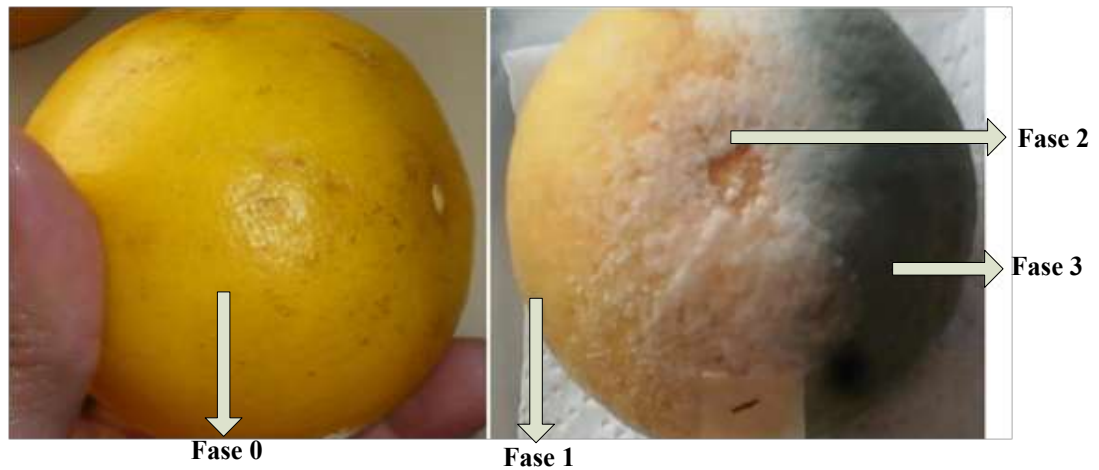


Figura 13. Fases de estudio de la naranja inoculada con *P. digitatum*

Corrección de una imagen hiperespectral:

La corrección de imagen hiperespectral se refiere al proceso de eliminar o reducir los efectos no deseados en las imágenes hiperespectrales. Estos efectos pueden incluir la distorsión geométrica, la corrección atmosférica como la dispersión de luz y dispersión atmosférica, el ruido y otros artefactos, esto permite obtener mediciones más precisas de las características de la superficie terrestre. La corrección geométrica se utiliza para corregir la distorsión espacial en las imágenes hiperespectrales. Esto implica alinear y registrar las imágenes para corregir cualquier deformación o desplazamiento espacial.

A continuación, en la figura 14, se observa una imagen de la muestra de naranja tomada por la cámara de imágenes hiperespectrales, el primer día de la evaluación de datos que corresponde a la fase cero, aquí se puede apreciar una imagen visualizada sin corrección frente a la misma muestra de naranja pero con la respectiva corrección realizada por el software MATLAB que tiene el equipo de toma de imágenes hiperespectrales, podemos evaluar que la imagen no corregida ostenta colores más oscuros que la imagen corregida, la cual tiene mayor nitidez y se observan diferencias muy marcadas en el borde de la muestra de la naranja, de esta imagen corregida se tomaron algunas áreas o zonas al azahar que nos sirvieron para determinar los parámetros estadísticos, objetivo de esta investigación.

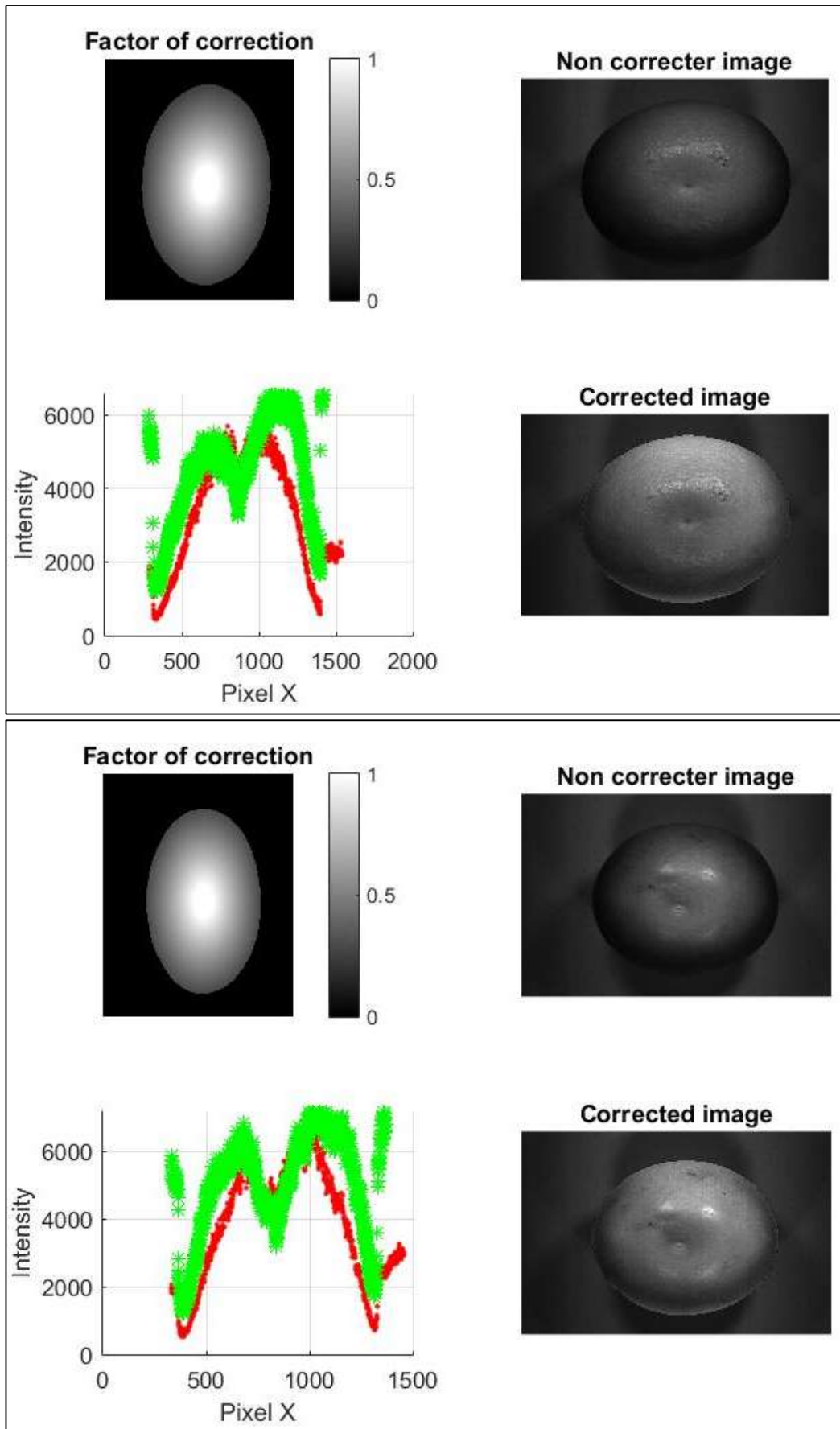


Figura 14: Corrección de la imagen de naranja con *P. digitatum*.

Por otro lado, en la figura 15, se observa una muestra de naranja en fase uno, fase dos y fase tres y de la muestra de naranja, se tomaron imágenes hiperespectrales de diferentes áreas a fin de obtener la mayor cantidad de registro de datos posibles; de esta información recolectada, se obtuvo el perfil espectral, que es una representación gráfica de la información espectral de un área de la naranja analizada en una imagen hiperespectral, permite visualizar y analizar la reflectancia o emisión de luz en diferentes longitudes de onda. Muestra cómo varía la reflectancia o emisión de luz en cada banda espectral para un objeto o área específica, resultando útil para identificar características distintivas en la firma espectral de diferentes materiales o para detectar cambios en la reflectancia que puedan indicar la presencia de daños.

A medida que se incrementan los daños producidos por el hongo verde, el espectro de reflectancia o la curva de reflectancia espectral muestra cómo varía la reflectancia en función de la longitud de onda, estas curvas disminuyen de tamaño, según el incremento de cada fase analizada, es decir que el daño ocasionado por el hongo, es indirectamente proporcional a la curva de reflectancia.

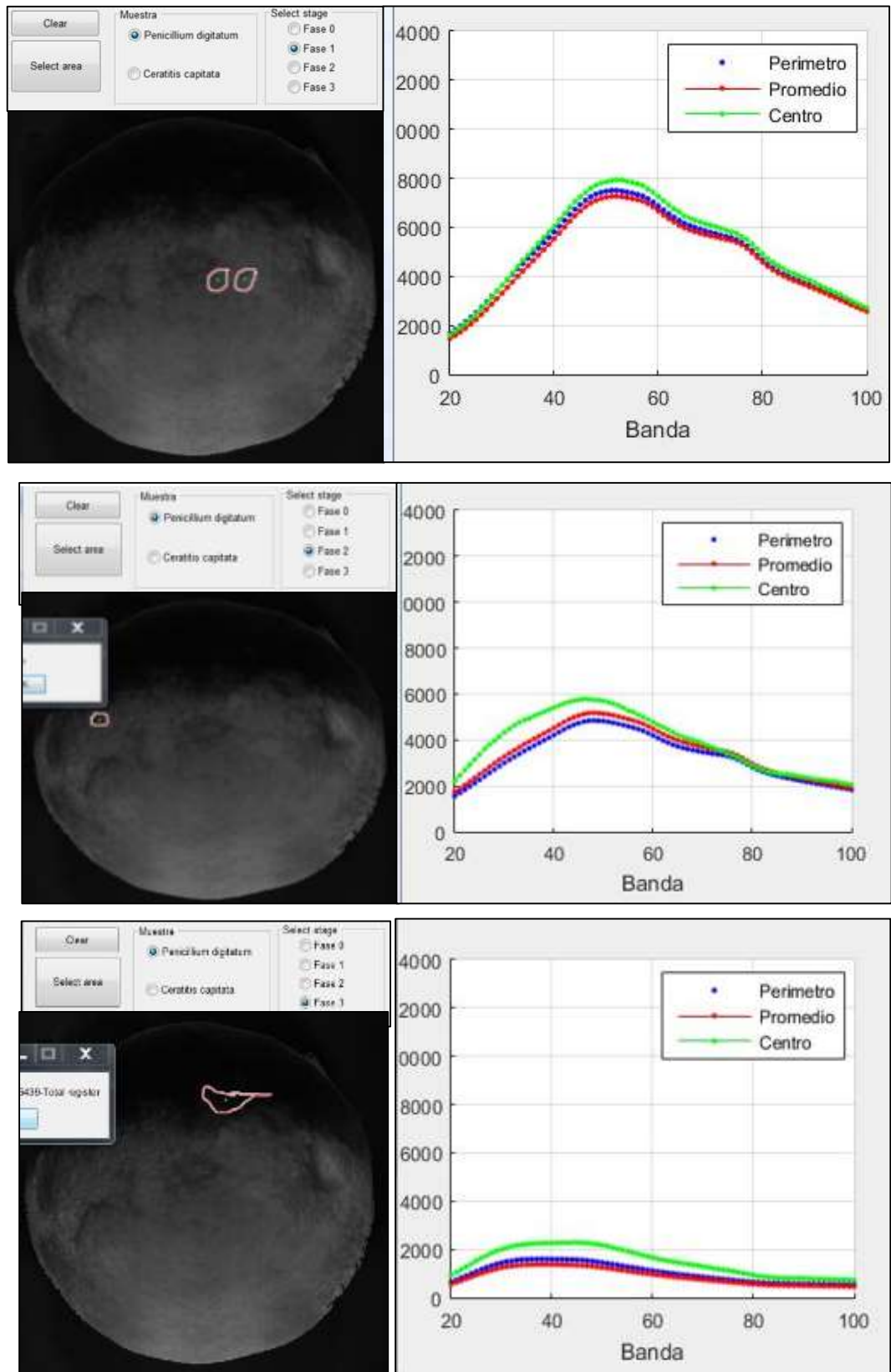


Figura 15: Daño ocasionado por el hongo verde en fase uno, dos y tres.

Posteriormente se realizó la evaluación tomando cuatro referencias de longitudes de onda a fin de determinar la presencia de daño producido por el hongo verde, así tenemos: la figura 16 en la que se analizó la reflectancia a 304 nm en muestras de naranja. En esta longitud de onda se aprecia que la fase cero, uno y dos poseen valores intermedios muy cercanos en relación a los valores que representa la fase tres, la cual indica valores intermedios por debajo de los valores de las fases cero, uno y dos.

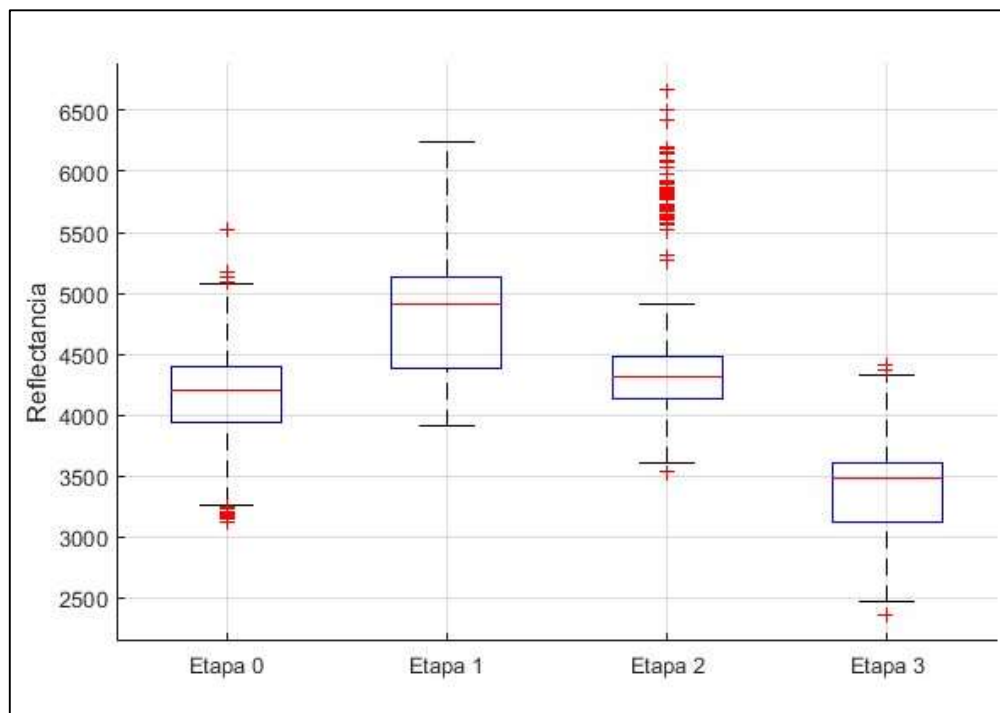


Figura 16: Evaluación de daño en muestras de naranja a 304 nm.

A continuación, tenemos otro análisis hecho de las cuatro fases entre los 304 y 504 nm en la que se puede observar que los niveles medios de reflectancia de las fases cero, uno y dos son cercanos a diferencia de la fase tres que nos representa valores medios por debajo de las anteriores fases (cero, uno y dos), véase figura 17.

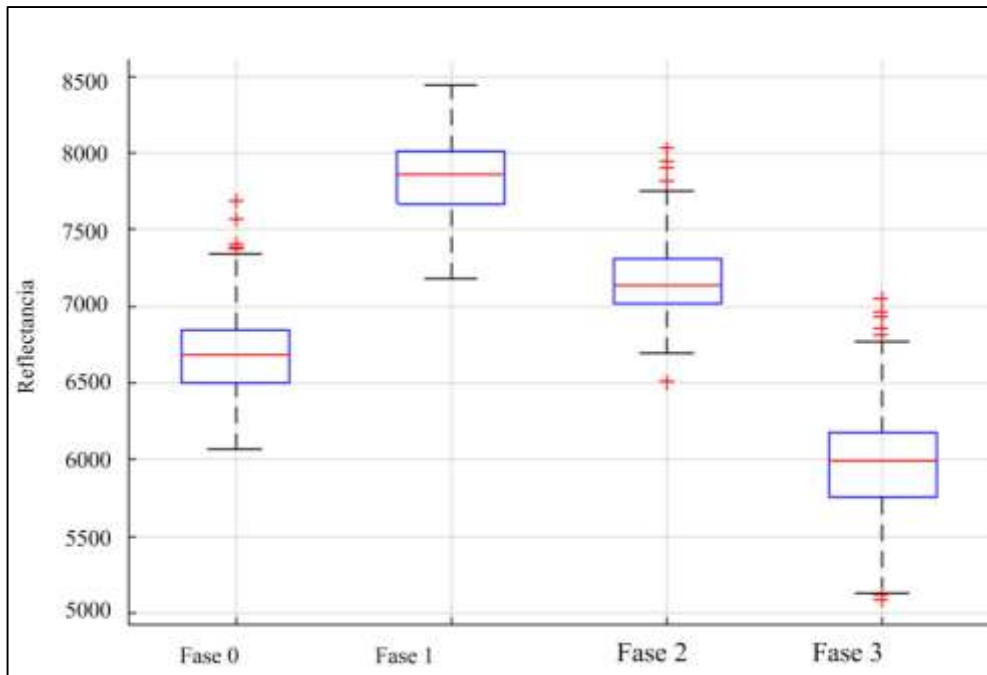


Figura 17. Evaluación de daño en muestras de naranja desde 304 a 504nm.

Seguidamente tenemos la figura 18 se puede observar que existen valores diferenciados en las gráficas que representan a las fases cero, uno, dos y tres. El nivel de reflectancia para la fase cero es mayor en este rango de longitud de onda.

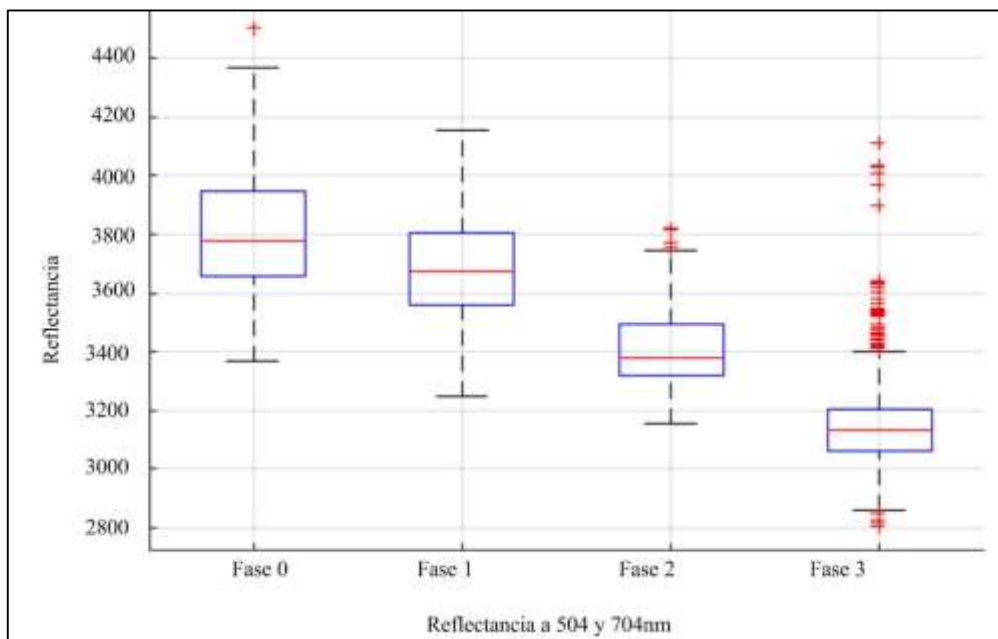


Figura 18. Evaluación de daño en muestras de naranja desde 504 a 704nm.

Después de haber realizado el análisis de la toma de imágenes hiperespectrales se continuó con el análisis para la obtención de los de parámetros estadísticos con ayuda del software MATLAB y StatAdvisor:

En el Tabla 3 podemos apreciar los parámetros estadísticos obtenidos del análisis de reflectancia a 304 nm en etapa cero (sin daño), etapa uno, dos y tres (con presencia de daño), tenemos los máximos, mínimos, moda, media, mediana y desviación estándar.

Tabla 3: Parámetros estadísticos a 304 nm

Parámetros estadísticos	Reflectancia a 304nm			
	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Mínimo	4135.5	4838.4	4448.9	3371.4
Máximo	5515.9	6236.6	6671.8	4408.2
Moda	3429.9	4069.2	4132.4	2805.1
Media	4200.0	4916.9	4308.0	3476.1
Mediana	412.0	495.0	580.1	353.6
Desviación estándar	1882056	1920257	2130512	2751372

En el Tabla 4 podemos apreciar los parámetros estadísticos obtenidos del análisis de reflectancia a 304 y 504 nm en etapa cero (sin daño), etapa uno, dos y tres (con presencia de daño), tenemos los máximos, mínimos, moda, media, mediana y desviación estándar.

Tabla 4: Parámetros estadísticos entre 304 y 504 nm

Parámetros estadísticos	Máxima reflectancia entre 304 y 504nm			
	Etapas 0	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
Mínimo	6067.4	7178.9	6505.6	5085.7
Máximo	7688.5	8441.8	8033.1	7051.0
Moda	6414.7	7557.7	6987.3	5318.6
Media	6679.0	7856.7	7132.5	5993.4
Mediana	271.9	231.9	246.3	312.4
Desviación estándar	3043209	3115498	3438104	4860763

En la Tabla 5 se presenta los parámetros estadísticos obtenidos del análisis de reflectancia a 504 y 704 nm en etapa cero (sin daño), etapa uno, dos y tres (con presencia de daño), tenemos los máximos, mínimos, moda, media, mediana y desviación estándar.

Tabla 5: Parámetros estadísticos entre 504 y 704 nm

Parámetros estadísticos	Mínima reflectancia entre 504 y 704 nm			
	Etapas 0	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
Mínimo	3368.4	3249.2	3152.9	2806.4
Máximo	4503.6	4152.5	3820.3	4112.6
Moda	3870.7	3378.5	3311.3	2933.2
Media	3777.3	3676.6	3379.1	3134.0
Mediana	200.3	160.4	130.4	146.8
Desviación estándar	1732849	1461909	1636854	2569917

En el Tabla 6 podemos apreciar los parámetros estadísticos obtenidos del análisis de reflectancia a 400 y 600 nm en etapa cero (sin daño), etapa uno, dos y tres (con presencia de daño), tenemos los máximos, mínimos, moda, media, mediana y desviación estándar.

Tabla 6: Parámetros estadísticos entre 400 y 600 nm

Parámetros estadísticos	Mínima reflectancia entre 400y 600nm			
	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Mínimo	4462.4	5066.8	4990.9	4136.9
Máximo	4713.9	5648.3	5432.9	4975.0
Moda	4490.9	5119.6	5041.1	4460.2
Media	4587.1	5382.2	5165.9	4657.2
Mediana	62.5	146.1	114.2	156.1
Desviación estándar	2086186	2136142	2483913	3802231

Las cuatro últimas tablas dan una idea de cómo están distribuidos los valores según la longitud de onda analizada; sin embargo, aún no se puede apreciar de forma exacta el parámetro ideal para la detección de daño, por lo tanto se siguió analizando la gráfica que representa las fases cero, uno, dos y tres, en la figura 19 se puede apreciar el comportamiento del espectro evaluado de los 200nm a 1200 nm, correspondiente a 5 muestras de naranja inoculadas con hongo verde, se observa el comportamiento en cada fase de daño. Cada fase tiene un comportamiento ascendente entre 200 y 400 nm. Es así que a 400nm de evaluación se puede determinar un nivel máximo de reflectancia representado por las muestras de naranja con fase uno y un nivel mínimo de reflectancia con fase tres y en la longitud de onda tomada desde los 400 y 604nm se observa un nivel mínimo de reflectancia en las muestras de naranja con fase tres. Para esta gráfica se ha tomado en cuenta sólo los valores medios y se ha obviado los máximos y mínimos de cada fase debido a la dificultad para la observación.

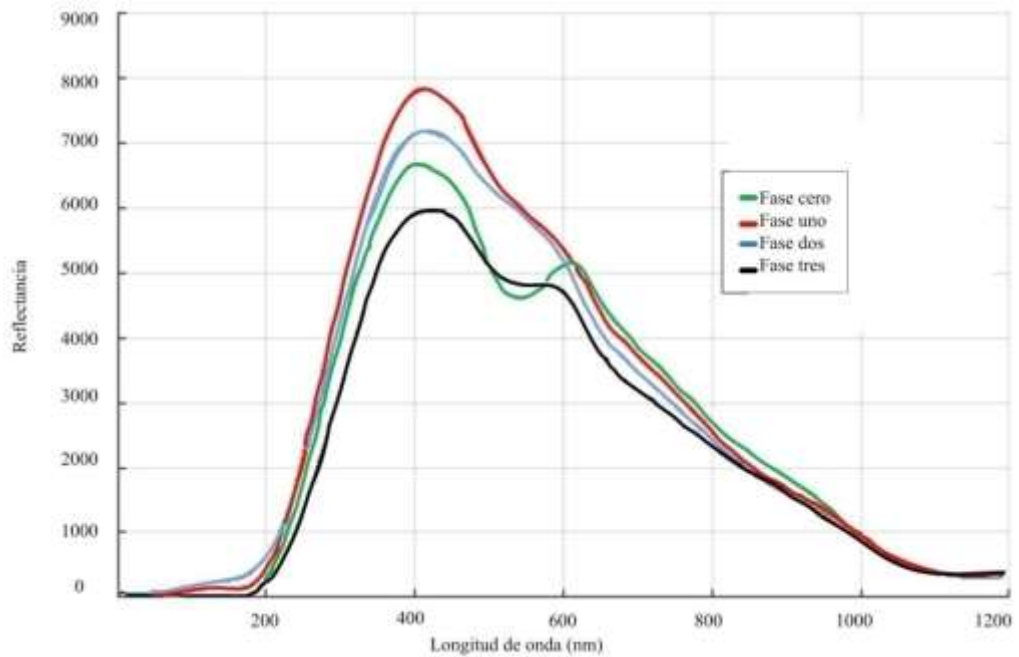


Figura 19: Longitud de onda en naranjas inoculadas con *P. digitatum*.

3.2 NARANJA INOCULADA CON MOSCA DE LA FRUTA *C. capitata*

Se han analizado diez muestras de naranja, para la toma de imágenes hiperespectrales se ha considerado para la toma de imágenes el lado uno (zona posterior de la naranja) y el lado dos (zona anterior de la naranja). En la figura 20 se puede apreciar la muestra de naranja.



a) Lado uno

b) Lado dos

Figura 20: Representación de los lados de la naranja

Además, se ha considerado dos fases de estudio según el daño producido por la inoculación de la mosca de la fruta *C. capitata*, así tenemos:

Fase cero: Esta fase la constituye la muestra de naranja sana, tomada en el primer día de estudio y

Fase uno: Esta fase la constituye la muestra de naranja con daño, imágenes tomadas después de la inoculación, en la figura 21 se puede observar a la naranja en estudio la cual presenta dos fases bien marcadas.



a) Fase cero

b) Fase uno

Figura 21: Fases de estudio de la naranja inoculada con *C. capitata*

A continuación se observa una figura 22 de la muestra de naranja tomada del lado dos (L2), aquí se puede apreciar una imagen visualizada sin corrección frente a la misma muestra de naranja pero con la respectiva corrección realizada por el software MATLAB que posee el equipo de toma de imágenes hiperespectrales, podemos apreciar que la imagen no corregida posee poca resolución en relación a la imagen corregida la cual tiene mayor nitidez y se observa diferencias muy marcadas en el borde de la muestra de naranja, de esta imagen corregida se tomaron algunas áreas al azahar que nos sirvieron para determinar los parámetros estadísticos, objetivo de esta investigación.

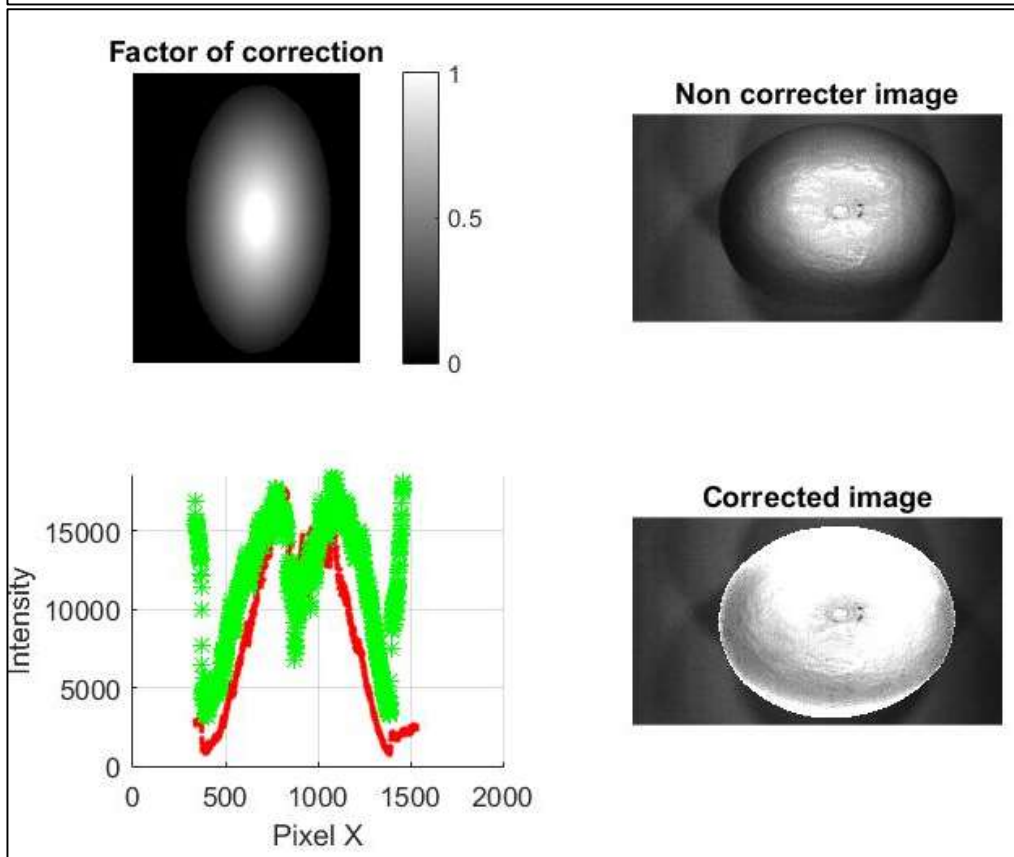
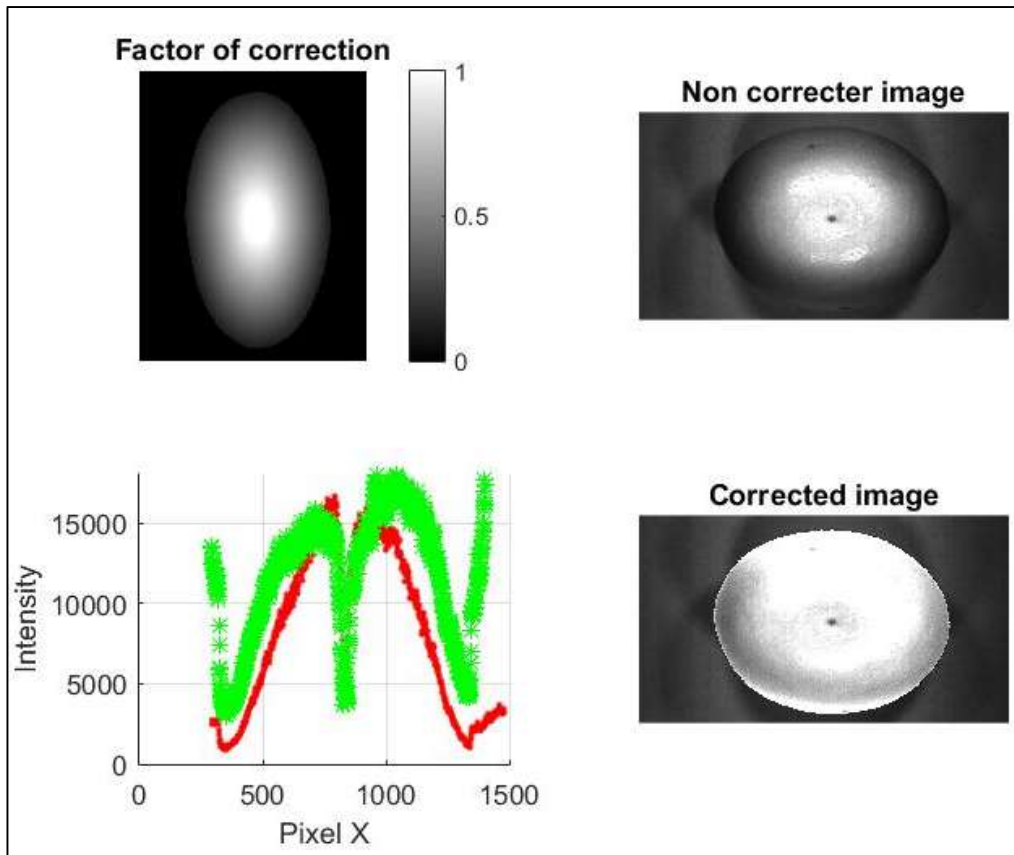


Figura 22: Corrección de la imagen de la naranja inoculada con mosca de la fruta

En la figura 23 obtenida de la evaluación de la naranja inoculada con *C. capitata*, capturadas por medio de las imágenes hiperespectrales; se puede observar la representación de valores en la fase cero, cuya reflectancia es alta entre los 400 y 600 nm, en cambio la evaluación realizada en la fase uno de la naranja inoculada con mosca de la fruta posee un valor alto de reflectancia entre los 600nm y 800nm. Sin embargo, al comparar las dos gráficas se puede observar que la fase cero analizada posee un mayor nivel de reflectancia.

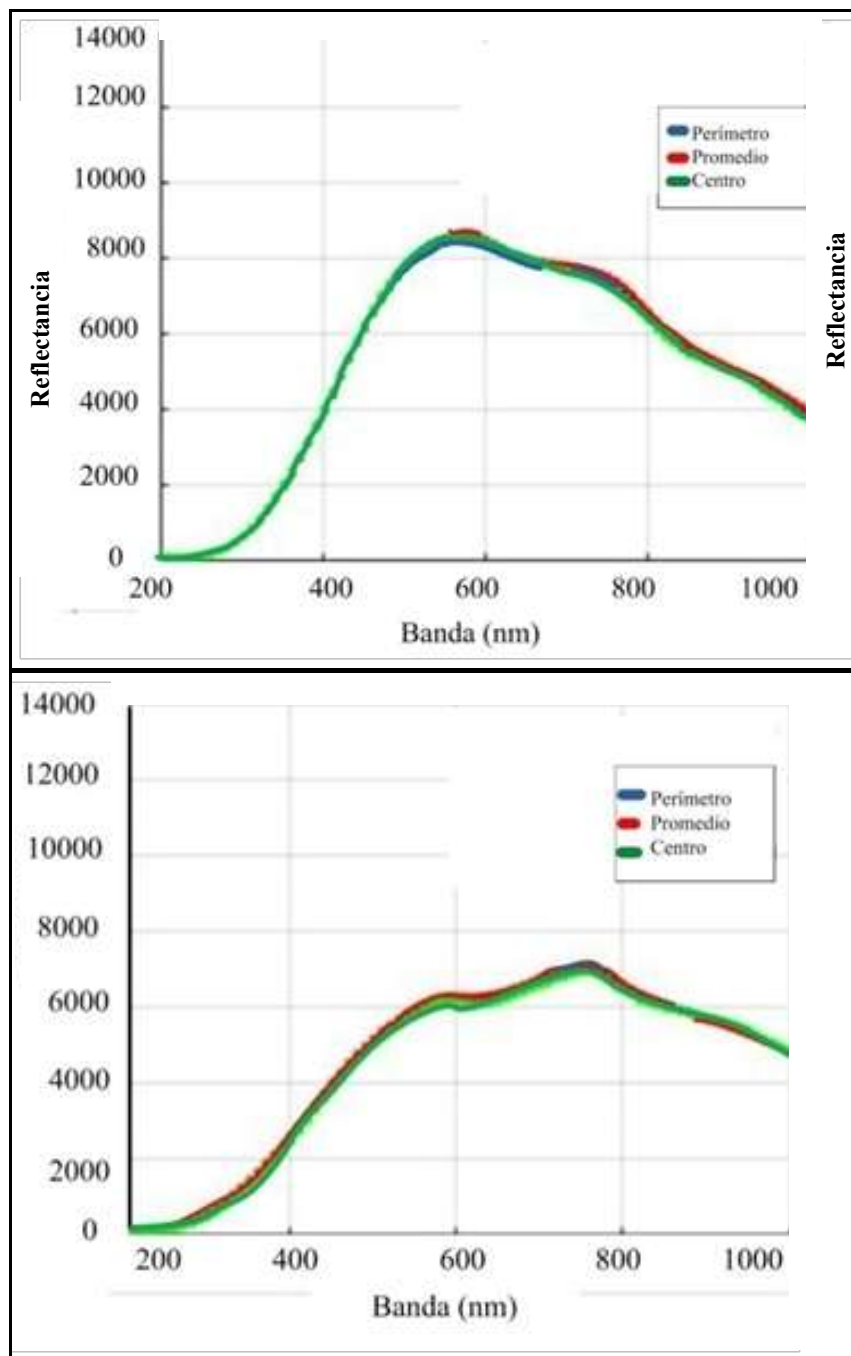


Figura 23: Fase cero y fase uno en muestras de naranja.

A continuación, se muestra la gráfica 24, con los resultados obtenidos al analizar todas las muestras de naranjas inoculadas con mosca de la fruta. Este análisis se realizó desde los 200nm a 1 200nm, se ha determinado los máximos, los mínimos y el valor medio de cada fase de estudio; desde los 200nm ambas fases ofrecen un comportamiento creciente hasta llegar a los 400nm en la cual la curva analizada en la fase cero alcanza su máximo nivel, en cambio la curva que define el comportamiento de la naranja con fase uno ofrece menor reflectancia, a partir de los 400 nm la tendencia de la curva analizada en la fase cero empieza a descender en cambio la tendencia de la curva en fase uno sigue incrementado su grado de reflectancia, llegando a su grado máximo a los 600nm; posteriormente ambas curvas empiezan a descender.

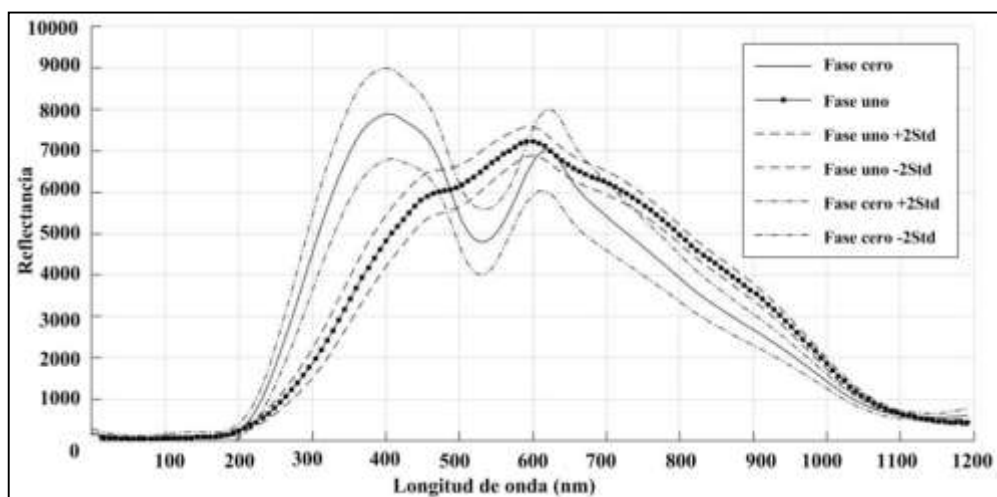


Figura 24: Longitud de onda y reflectancia.

En la siguiente figura 25, podemos apreciar el gráfico de caja y bigotes, se hizo una comparación de la lectura de reflectancia a 400 y 528nm, puntos en los cuales se observan los comportamientos extremos, es decir se registran los valores máximos y mínimos. Observamos que los análisis realizados a las muestras de naranja en fase cero representan los valores extremos.

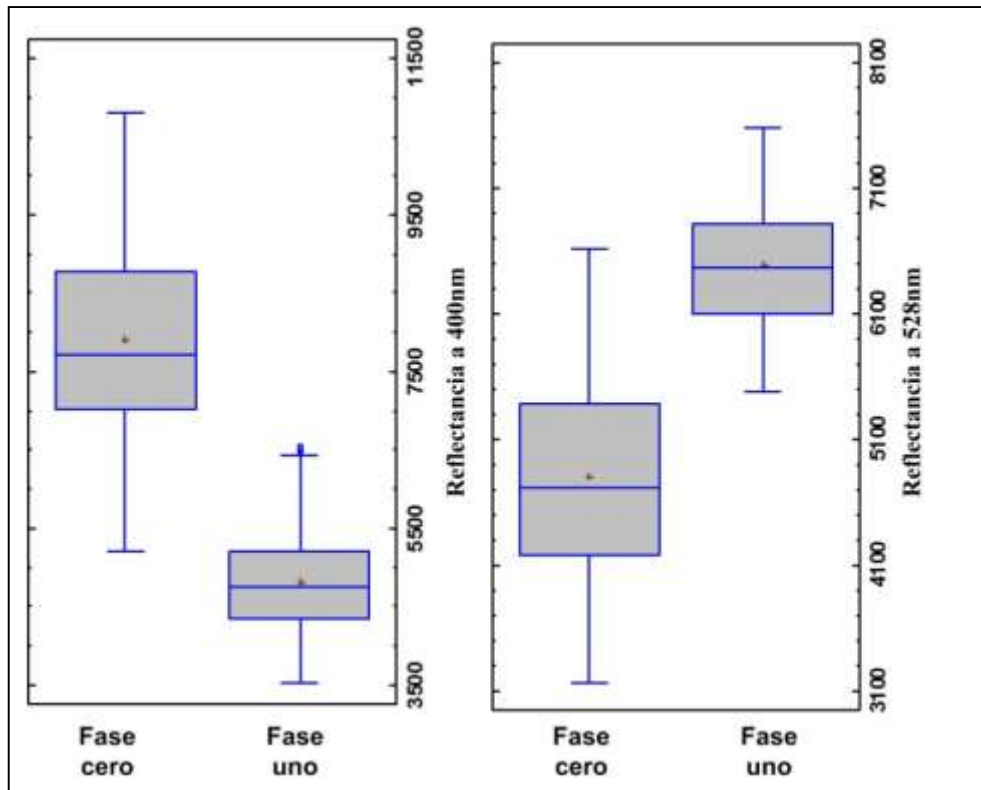


Figura 25: Análisis de reflectancia a 400nm y 528nm en muestras de naranja

Después de haber realizado el análisis de la toma de imágenes hiperespectrales se continuó con el análisis para la obtención de los parámetros estadísticos con ayuda del software MATLAB y StatAdvisor. En la Tabla 7 podemos apreciar los parámetros estadísticos obtenidos del análisis de reflectancia a 400nm en etapa cero (sin daño) y etapa uno (con presencia de daño), tenemos los máximos, mínimos, moda, media y desviación estándar.

Tabla 7: Parámetros estadísticos obtenidos a 400 nm

Parámetros Estadísticos	Reflectancia a 400nm	
	Etapla 0	Etapla 1
Mínimo	5201.6	3520.4
Máximo	10811.2	6530.2
Moda	6296.5	3842.8
Media	7712.8	4763.5
Desviación estándar	1109	622

Podemos apreciar en la Tabla 8 los parámetros estadísticos obtenidos del análisis de reflectancia a 528 nm en etapa cero (sin daño) y etapa uno (con presencia de daño), tenemos los máximos, mínimos, moda, media y desviación estándar.

Tabla 8: Parámetros estadísticos obtenidos a 528 nm

Parámetros Estadísticos	Reflectancia 528nm	
	Etapa 0	Etapa 1
Mínimo	3160.1	54780.2
Máximo	6616.6	7580.7
Moda	3891.5	5880.6
Media	4720.8	6461.6
Desviación estándar	797	477

Las naranjas inoculadas con *P. digitatum*, presentaron pudrición completa en un lapso de tres días. Este resultado sigue la tendencia observada por Gonzales (2011), donde las naranjas inoculadas y conservadas a 95% de humedad con una temperatura de 25°C con una concentración de 10⁶ esporas/ml, presentaron infestación completa de frutos (Palou et al., 2001).

Análisis

Las naranjas inoculadas con mosca de la fruta tuvieron un tiempo de análisis de 26 días, el proceso de pudrición fue más lento.

Las muestras fueron adquiridas situando cada fruto en la cámara con la zona dañada hacia arriba, esto también fue tomado en cuenta por Gómez, (2010), con este procedimiento nos aseguramos de que los parámetros estadísticos obtenidos han sido los óptimos.

Se ha realizado la corrección sin tener en cuenta la geometría del cítrico, ya que se ha empleado un blanco de teflón, que es plano, para corregir las variaciones introducidas por el sistema de iluminación se ha considerado la naranja tal como lo indica Gómez, (2012), como

una superficie lambertiana esférica sobre la que se refleja una luz con dos componentes: una directa y otra difusa. Tiene la característica de reflejar la luz con la misma intensidad en todas las direcciones, la cantidad de luz recibida por el observador es independiente de la dirección del mismo, únicamente depende del ángulo de incidencia de la luz directa con la superficie (Yang *et al.*, 2014). Este tipo de observación toma en cuenta la forma geométrica de la naranja, pero descuida la longitud de la esfera, independiente en cada muestra.

La adquisición de imágenes de forma esférica, tiene una característica común, ofrecen bordes más oscuros que el centro del objeto que aparece más brillante, y no debe ser confundido como zona sana o enferma. Es por ello que es necesario añadir una etapa de preprocesado de corrección de imagen a fin de corregir los efectos adversos que introduce la curvatura del objeto o eliminar del análisis las zonas mal iluminadas. En los puntos del perímetro de la naranja, la luz que reflejan es luz difusa por lo tanto los valores se distribuyen entorno al valor medio, ejecutándose así la corrección del factor geométrico del cítrico, esto implica que para aplicar la corrección es necesario conocer las características geométricas del cítrico a analizar (Elmasry *et al.*, 2012).

Con esta investigación se propone: Quitar la dependencia de la forma geométrica, utilizando un nuevo modelo generalizado de conversión geométrica, en este modelo se consideran valores difusos de los bordes de la naranja, tomando muy en cuenta la dimensión de la muestra.

La longitud de onda que aporta la información más relevante asociada al promedio de los valores que generan la evaluación de daño en naranja inoculada con hongo verde es aquella que va desde 304 a 504nm y para la mosca de la fruta el rango adecuado para determinar la presencia de daño es de 400nm, todo esto se ha demostrado con los análisis estadísticos respectivos.

Como se aprecia de otras investigaciones los trabajos revisados y que compararon métodos de análisis en imágenes hiperespectrales para determinar rangos de longitud de onda adecuados para observar características en productos agrícolas como el de Coelo et al., (2013) que indicaron que la banda espectral analizada desde 600 a 950 nm, de la almeja *Mulinia edulis* han dado resultados óptimos para conocer la presencia del parásito *Edotea magellanica* por medio de análisis hiperespectral. Así mismo Barbedo et al., (2015), delimitaron la zona de interés, donde se encuentran los granos de trigo, para lo cual determinaron la reflectancia en la banda 647 nm, la misma que proporciona un mejor contraste, del mismo modo, Abdel et al., (2014), indicaron que unas pocas bandas espectrales deben ser seleccionados para derivar un modelo de predicción estadístico con respecto al rendimiento de acelga (Rud et al., (2013), y concluyen en su investigación que en torno a 680 nm (banda de absorción de la clorofila) se observa un incremento en el nivel de reflectancia al aumentar la concentración de salinidad (Dumont et al., 2015).

Sin embargo, todos estos estudios utilizaron la comparación de los resultados de sus métodos con un análisis patrón; en el caso de la naranja los resultados de las longitudes de onda adecuados para determinar la presencia de daño por mosca de la fruta y hongo verde han sido sometidos a un riguroso análisis estadístico para evidenciar con las diferencias estadísticamente significativas que estos resultados son exactos y confiables.

3.3. Contrastación de hipótesis

En esta investigación se ha podido demostrar la hipótesis propuesta a inicios de este trabajo.

La demostración de hipótesis permitió demostrar lo siguiente:

3.3.1. Contrastación de hipótesis general

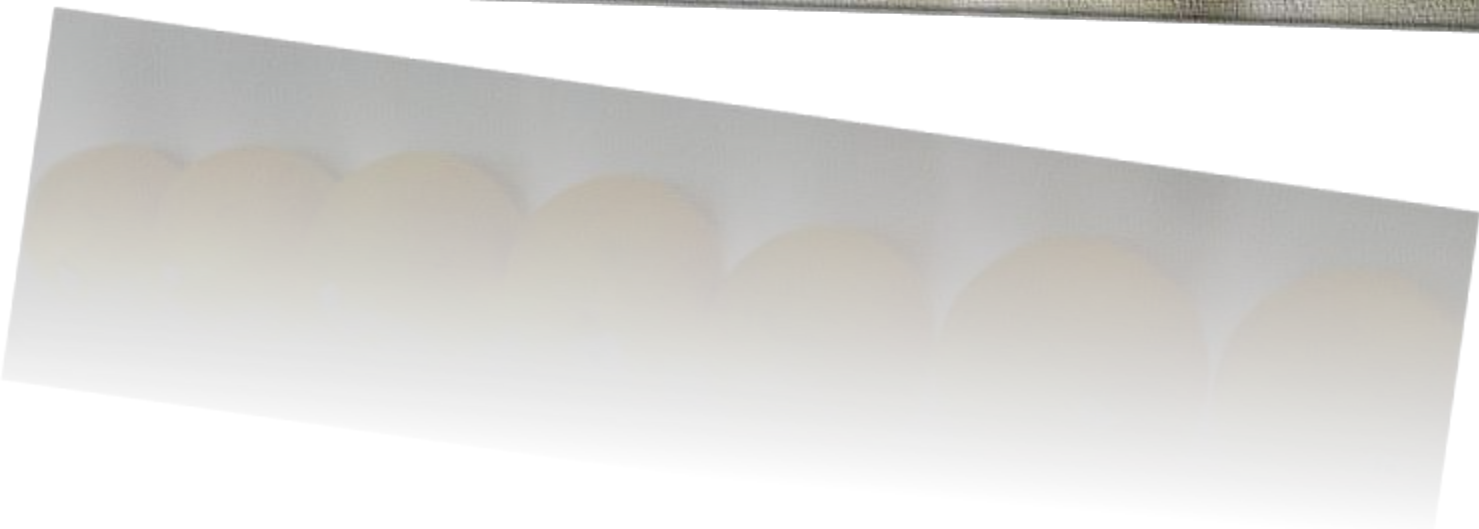
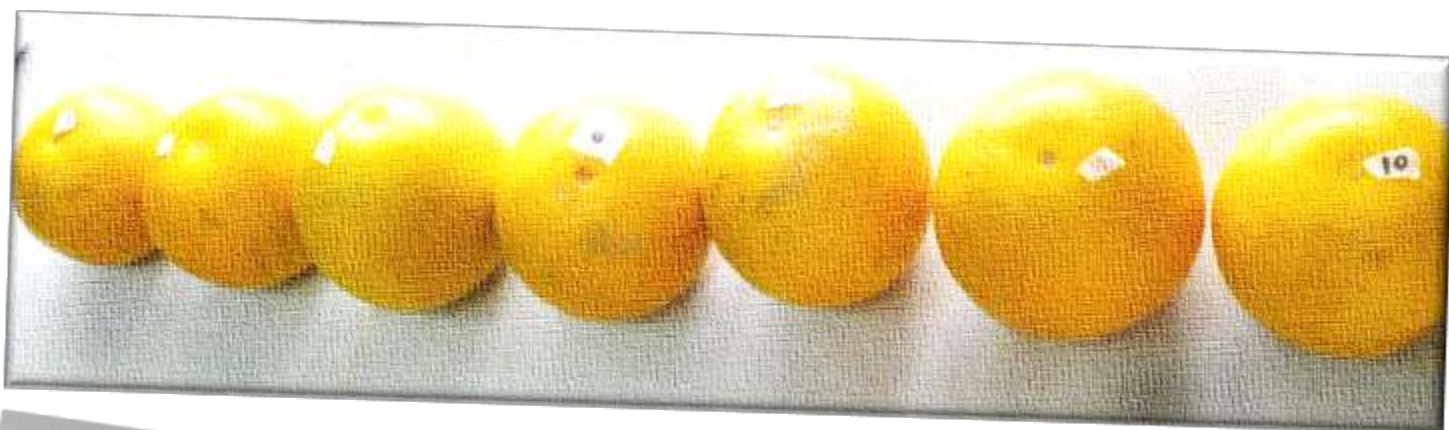
El uso de técnicas de imágenes hiperespectrales, permitió obtener parámetros estadísticos para detectar daños en naranja *Citrus*

sinensis ocasionados por mosca de la fruta *Ceratitis capitata* y hongo verde *Penicillium digitatum*.

3.3.2. Contrastación de hipótesis secundarias

Este estudio realizado permitió detectar daños en naranja producido por mosca de la fruta *Ceratitis capitata* mediante técnica de imágenes hiperespectrales

Este estudio realizado permitió detectar daños en naranja producido por hongo verde *Penicillium digitatum* mediante técnica de imágenes hiperespectrales



CONCLUSIONES

La técnica de obtención de imágenes hiperespectrales para la detección de daños producidos por *P. digitatum*, las medias entre las fases cero, uno, dos y tres, se observaron claramente a una longitud de onda que va entre los 304nm y 504nm, en este rango se mostraron diferencias estadísticamente significativas y se presentaron como el rango óptimo para estimar la presencia de daño ocasionado por el hongo verde. Los parámetros estadísticos nos permitieron sintetizar la información existente en los datos tomados de la muestra de una manera sencilla y fácil de interpretar.

Para determinar la presencia o ausencia de daño por mosca de la fruta se evaluó dos fases, en la fase cero y en la fase uno, se observaron que la longitud de onda adecuada o parámetro óptimo fue de 400nm, en este punto se pudo observar claramente las diferencias significativas entre las dos fases.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar otras investigaciones relacionadas a imágenes hiperespectrales en frutos y vegetales con otro tipo de color, textura y forma, analizarlos teniendo en cuenta el grado de madurez y la hora de recojo, ya que los estudios aquí realizados sientan las bases para realizar los procedimientos adecuados.

Se recomienda utilizar las imágenes hiperespectrales con la finalidad de solucionar problemas que presentan los agricultores con los productos a la hora de la postcosecha y posterior comercialización y que generan pérdidas económicas con productos tradicionales de la región como por ejemplo en papa, cacao y otros, ya que nuestra Región Amazonas posee múltiples pisos altitudinales y por ende una diversidad de productos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel, E., Mutanga, O., Odindi, J., Adam, E. y Odindo, A. (2014). A comparison of partial least squares (PLS) and sparse PLS regressions for predicting yield of Swiss chard grown under different irrigation water sources using hyperspectral data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 11–19.
- Alarcón, J. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo de cítricos. Bogota: Linea Agrícola.
- Barbedo, J., Casiane S., Tibola y Fernandes, J. (2015). Detecting Fusarium head blight in wheat kernels using hyperspectral imaging. *biosystems engineering*, (131), 65 – 76.
- Barbin, D., Sun, D., Su, C. (2013). NIR hyperspectral imaging as non-destructive evaluation tool for the recognition of fresh and frozen- thawed porcine longissimus dorsi muscles. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 18: 226-236
- Barkai, R. (2008). Chapter 7 - Penicillium Mycotoxins. En R. Barkai-Golan & N. Paster (Eds.), *Mycotoxins in Fruits and Vegetables* (pp. 153-183). San Diego: Academic Press.
- Blasco, E., Gómez, J. y Molto, E. (2010). Analysis of hyperespectral imagen citrus fruits, 28.
- Coelho, P., Soto, E., Torres, S., Sbarbaro, D. y Pezoa, J. (2013). Hyperspectral transmittance imaging of the shell-free cooked clam *Mulinia edulis* for parasite detection. *Journal of Food Engineering*, (117), 408–416.
- Sun. (2010). *Principles of Hyperspectral Imaging Technology*.
- Davies, N., Villablanca, F., y Roderick, G. (1999). Bioinvasions of the medfly *Ceratitidis capitata*: source estimation using DNA sequences at multiple intron loci. *Genetics* 153: 351-360.
- DGIA, (2015). Módulo de Consulta a la Base de Datos. Recuperado 4 de octubre de 2015, a partir de <http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca/?mod=salida>
- Diezma, B., Lleó, L., Herrero, A., Loredana, L., Roger, M. (2011). La imagen hiperespectral como herramienta de evaluación de la calidad de hortaliza de hoja mínimamente procesada. pp. 1-9. En: VI Congreso Ibérico de Agroingeniería. Évora, Portugal, España. Setiembre 5 – 7, 2011. Universidad de Évora. Portugal, España.

- Dumont, J., Hirvonen, T., Heikkinen, V., Mistretta, M., Granlund, L., Himanen, K, Keinänen, M. (2015). Thermal and hyperspectral imaging for Norway spruce (*Picea abies*) seeds screening. *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, 118 - 124.
- EPPO (2006). (European and Mediterranean Plant Protection Organization). http://www.eppo.org/QUARANTINE/insects/Ceratitis_capitata/CERTCA_map.htm
- Elmasry, G., Sun, D. y Alle, P. (2012). Principles and Applications of Hyperspectral Imaging in Quality Evaluation of Agro-Food Products: A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 235 -246.
- Fimiani, P. (1989). Mediterranean region, pp. 37-55. In Robinson, A. and Hooper, G. [eds.], *Fruit flies: Their biology, natural enemies and Control*, Vol. 3. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands
- Fletcher, J. (1989). Movements of Tephritidae fruit flies, pp. 209-217. In Robinson, A. and Hooper, G. [eds.], *Fruit flies: Their biology, natural enemies and Control*, Vol. 3. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Flores, K. (2009). Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. España. 183 p.
- Gómez, S. (2010). Detección automática de podredumbre en cítricos mediante procesamiento avanzado de imágenes hiperespectrales. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, España.
- Gonzales, P. (2011). Control postcosecha de *Penicillium digitatum* en frutos de naranja. Mexico.
- Gutiérrez, K. (2007). Producción de naranjas en el Perú. Universidad de San Martín-Lima Perú.
- Hagen, K., Wiliam, W. y Tassan, R. (1981). Mediterranean fruit fly: The worst may be yet come. *California Agric.* 35: 5-7.
- Jara, B. (2009). Revista peruana de entomología. Nuevos dispositivos de oviposición para crianza masal de *Anastrepha fraterculus*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Kanetis, L. Forster, H. y Adaskaveg E. (2008). Baseline sensitivities for new postharvest fungicides against *Penicillium spp.* on citrus and multiple resistance evaluations in *P. digitatum*. *Plant Dis.* 92: 301-310
- Leiva, G., Lu, R. y Aguilera, J. (2013), Prediction of firmness and soluble solids content of blueberries using hyperspectral reflectance imaging. *J. Food Eng.* 2013, 115, 91–98.
- Li, W., Renfu, P. y Diwan, A. (2011). Detection of common defects on oranges using hyperspectral reflectance imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 78(1), 38-48. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2011.05.010>
- Liquido, N. J., L. A. Shinoda, y R. T. Cunningham. (1991). Host plants of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitits capitata* (Wiedemann) (Diptera:Tephritidae): an annotated world review. Lanham: ESA. (Entomological Society of America, Miscellaneous Publications, 77).
- Marín, M. (2002). Identificación y caracterización de moscas de las frutas en los departamentos del valle del Cauca, Tolima y Quindío
- MINAGRI, (2015). Naranjas, Cultivo, Variedades, Mercados y Producción en el Perú. Recuperado 4 de octubre de 2015, a partir de <http://www.proyectosperuanos.com/naranjas.html>
- Ministerio de agricultura, (2008). Un Nuevo Protocolo Fitosanitario y el Acceso de los Cítricos Peruanos al Mercado Chino. Disponible en: <http://www.agronegociosperu.org/downloads/citricos.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) PERÚ. (2012). Cítricos. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/organizaciones/dgca/citricos.pdf>
- Muñiz, M. (1982). Desarrollo y reproducción de *Ceratitits capitata* (Wied.) en condiciones artificiales. V. Método para estimar las temperaturas límites de desarrollo. *Bol. Serv. Plagas, Fuera de serie*, 2: 133-140.
- Muñiz, M. (1984). Desarrollo y reproducción de *Ceratitits capitata* en condiciones artificiales.
- Núñez, B. (2000). Las Moscas de las frutas: importancia económica, aspectos taxonómicos, distribución mundial de los géneros de importancia económica

- Palou, L. (2014). *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* (Green Mold, Blue Mold). En Postharvest Decay (pp. 45-102). Elsevier. Recuperado a partir de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124115521000028>
- Papadopoulos, N., Katsoyannos, B., Kouloussis, N. y Hendrichs, J. (2001). Effect of orange peel substances on mating competitiveness of male *Ceratitis capitata*. *Entomol. Exp. Appl.* 99: 253-261.
- Paz, A. (2009). Procesamiento paralelo de imágenes hiperespectrales: Sistemas multiprocesador frente a tarjetas gráficas programables (GPUs)p.
- Pelayo, G. (2012). Patogénesis y sensibilidad de *Penicillium sp.* En cítricos a fungicidas. Tesis presentada para obtener el grado de maestra en ciencias. Texcoco Mexico.
- Polo, B. (2014). Producción de naranja en la Provincia de Rodríguez de Mendoza en la Dirección Regional Agraria Amazonas [Entrevista directa].
- Porras, L., Lecuona, R. (2008). Estudios de laboratorio para el control de *Ceratitis capitata* (Wiedmann) (*Diptera: Tephritidae*) (Mosca del mediterraneo) con *Bauveria bassiana*. Nota técnica de la conferencia agronómica. Buenos Aires Argentina 32(2): 119-128
- Rajkumar P., Wang, N., Elmasry, G., Raghavan, G. y Garipey, Y. (2012). Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering* 108:194-200.
- Ramos, F. (2012). Investigaciones sobre control de *Ceratitis capitata* por la técnica de insectos estériles en Moquegua. Perú. *Rev. Peruana de Entomol.* 15 (1): 1-21.
- Resonon, (2011). Manual de imágenes hiperespectrales
- Robinson, A. y Hooper, G. (1989). Fruit flies, their biology, natural enemies and control. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Rud, R., Shoshany, M. y Alchanatis, V. (2013). Spatial-spectral processing strategies for detection of salinity effects in cauliflower, aubergine and kohlrabi. *Biosystems Engineering*, 114(4), 384 - 396.<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng>.
- SENASA, (2012). Ministerio de Agricultura. Biología y comportamiento de la mosca de la fruta *Ceratitis capitata*. Sub dirección de la mosca de la fruta y proyectos fitosanitarios.

- Smilanick, L. (2006). Control of citrus green mold by carbonate and bicarbonate salts and the influence of commercial postharvest practices on their efficacy. *Plant Dis.* 83: 139-145.
- Sun, R., Ying, Y. y Jingbo, M. (2013). Prediction of moisture, color and pH in cooked, pre-sliced turkey hams by NIR hyperspectral imaging system. *Journal of Food Engineering* 117: 42-51.
- Thomas M., Heppner J. B., Woodruff R., Weems H., Steck G., Fasulo, T. y Lanzavecchia S. (2004). *Ceratitis capitata*: Pest typification in Argentina. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 127 p. 2005. Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Insecta: Diptera: Tephritidae). Universidad de Florida. EE.UU. <http://edis.ifas.ufl.edu/IN371>. Última revisión: Marzo, 2005
- Vélez, N., Carrasco, J., Pére, C., Lorente, D., Gómez, J., Millán, G., Farrera, R. y Blasco, J. (2013). Detección de daños no perceptibles en frutos climatéricos a través de imágenes hiperespectrales. VII Congreso ibérico de agroingeniería y ciencias agrícolas. Madrid - España
- Vente, B. (2007). Las frutas cítricas: concepto, clases y porcentajes (página 2) - Monografias.com. Recuperado 21 de septiembre de 2015, a partir de <http://www.monografias.com/trabajos52/frutas-citricas/frutas-citricas2.shtml>
- Wills, R., Maglasson, W., Graham, D., and Joice, D. (1998). *Postharvest. Introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and ornamentals*. CAB International, 4th edition.
- Yang, C., Kim, M., Millner, P., Chao, K., Cho, B., Mo, C. Chan, D. (2014). Development of multispectral imaging algorithm for detection of frass on mature red tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 93, 1 - 8. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio>.
- Zhao, J., Vittayapadung, S., Chen, Q., Chaitep, S. y Chuaviroj, R. (2009). Non-destructive measurement of sugar content of apple using hyperspectral imaging technique. *International Journal of Science and Technology*. 3(1): 130–142.
- Zumbado A. (2006). *Dípteros de Costa Rica y la América Tropical*. Manuel A. Zumbado (ed), Santo Domingo de Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio, 2006. 272 p.

ISBN: 978-9942-619-18-1



SCAN ME



Tinta&Pluma
Editorial



OPEN ACCESS