

**ANÁLISIS DE IMÁGENES DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL  
FRUTO DEL LULO, *Solanum*sp. MEDIANTE METODOS DE VISIÓN  
POR COMPUTADOR**

**FREDY ANDRES BURBANO VALDIVIESO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES,  
EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
POPAYÁN  
2012**

**ANÁLISIS DE IMÁGENES DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL FRUTO DEL  
LULO, *Solanumsp.* MEDIANTE METODOS DE VISIÓN POR COMPUTADOR**

**FREDY ANDRES BURBANO VALDIVIESO**

**Trabajo de investigación presentado  
como requisito parcial para optar al  
Título de Ingeniero Físico**

**Director**

**EDGAR LEONAIRO PENCUE FIERRO**

**Ingeniero Físico**

**Docente**

**Universidad del Cauca**

**Codirector**

**Carlos Albero Rojas Avellaneda**

**Pos Doctor en Bioquímica y Biología Molecular**

**Docente Pontificia Universidad Javeriana**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES,  
EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
POPAYÁN  
2012**

Nota de aceptación

---

---

Director: \_\_\_\_\_

Edgar LeonairoPencue Fierro  
*Ingeniero Físico*

Jurado: \_\_\_\_\_

Jorge Washington Coronel García  
*Magister en Ciencias*

Jurado: \_\_\_\_\_

Dagoberto Mayorca  
*Ingeniero Físico*

Popayán, 1 de marzo de 2012

A mis padres y hermana con mucho amor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Universidad del Cauca por contribuir a mi formación profesional y personal; y por las maravillosas experiencias vividas desde mi niñez

Al Señor Decano de mi Facultad, Doctor Edier Humberto Pérez por su valiosa colaboración y apoyo constante a los estudiantes; y sobre todo por su calidez y don de gente.

Al ingeniero Edgar Leonairo Pencue Fierro, profesor de la Universidad del Cauca, por sus valiosas enseñanzas y conocimientos para la realización de este trabajo y excelente dirección. Por su dedicación y paciencia.

Al Dr. Carlos Alberto Rojas Avellaneda, profesor de la Pontificia Universidad Javeriana, Departamento de Física, integrante del Grupo de investigación en Biofísica Molecular, por sus excelentes aportes y darme la oportunidad de trabajar en el Laboratorio de Biofísica Molecular.

Al Dr. Jesús Daza, profesor de la Pontificia Universidad Javeriana; coordinador del Centro de Microscopia Electrónica, Departamento de Nutrición y Bioquímica, por sus excelentes aportes y su importante amistad.

A todos mis profesores por sus valiosos aportes para mi formación profesional y personal; en especial a los doctores Luis Fernando Echeverri, Jorge Washington Coronel, Jorge Rodríguez, Rubiel Vargas, Mario Patiño y Gilberto Bolaños y a las Doctoras Luz Elena Bolívar y Sonia Gaona

A la Pontificia Universidad Javeriana por permitiré realizar mi trabajo de campo en sus instalaciones

A todos los integrantes del Grupo de Óptica y LASER de la Universidad del Cauca.

A los técnicos de laboratorio por su colaboración durante mi carrera.

A mis padres por la dedicación y apoyo constante en mi formación personal y profesional. Por permitirme contar siempre con ellos.

A mi hermana María Alejandra por su amor, orientación y apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros de mi universidad, en especial a Julio Mejía y Diego Salazar

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	ix
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
ESTADO DEL ARTE	3
PROBLEMA	6
OBJETIVOS	8
<b>1. REFERENTES TEÓRICOS</b>	9
1.1. VISIÓN POR COMPUTADOR	10
1.1.1 Elementos de un sistema de computador	12
1.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA ANÁLISIS DE IMÁGENES	12
1.2.1.Extracción de características	14
1.2.2.Segmentación	15
1.2.3. Espacios de color	15
1.3. CARACTERIZACIÓN DEL DESARROLLO DEL FRUTO DE <i>Solanum sp.</i>	18
1.3.1. Aspectos generales de la planta	19
1.3.2.Desarrollo del fruto: crecimiento y maduración	19
1.3.3.Del proceso de maduración del fruto	21
<b>2. METODOLOGÍA</b>	24
2.1 DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DE VISIÓN POR COMPUTADOR PARA EL ANÁLISIS DE IMÁGENES DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL FRUTO DE <i>Solanum sp.</i>	24
2.1.1 Iluminación	24
2.1.2 Óptica	26
2.1.3 La cámara	26
2.2 SOBRE EL MATERIAL DE TRABAJO Y CAPTURA DE IMÁGENES	27
2.2.1 Selección del material de trabajo	28
2.2.2 Captura de imágenes	28
2.3 PRCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE IMÁGENES	30

2.3.1 Aplicación de métodos y parámetros	30
<b>3. RESULTADOS.</b>	<b>32</b>
3.1 APLICACIÓN DEL DISEÑO DE VISIÓN POR COMPUTADOR PARA EL ANÁLISIS DE IMÁGENES DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL FRUTO DE LULO	32
3.2 SEGMENTACIÓN	33
3.2.1 Conversión de la imagen al espacio hsv	33
3.2.2 Eliminación del fondo azul	34
3.2.3 Conversión de la imagen a la escala de grises	35
3.2.4 Binarización de la imagen	36
3.2.5 Detección de contornos	37
3.2.6 Etiquetado de la imagen	38
3.2.7 Determinación del centroide	39
3.3. ANALISIS DE IMÁGENES DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL FRUTO DEL LULO	40
3.3.1 El color del fruto en maduración	43
3.3.2 El tamaño del fruto en maduración	46
<b>4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>48</b>
4.1 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS DE IMÁGENES MEDIANTE TRIANGULACIÓN METODOLÓGICA	51
4.1.1 Sobre la triangulación metodológica	51
4.1.2 De la variación del color	52
4.1.3 De la variación del tamaño del fruto	58
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>63</b>



## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Elementos de un sistema de visión por computador	10
1.2	Representación del espacio de color RGB	16
1.3	Representación del espacio de color HSV	16
1.4	Imagen de una planta de <i>Solanum sp</i>	18
2.1	Disposición de los elementos utilizados	25
2.2	Imágenes que muestran la adecuación de la iluminación	25
2.3	Cámara utilizada en el estudio y Estrategia de fijación del objetivo	27
2.4	Imágenes que muestran la instalación de la cámara al computador	29
3.1	Imagen digital revelada de los frutos de lulo	32
3.2	Imagen en espacio HSV	33
3.3	Imagen con fondo blanco eliminado.	34
3.4	Imagen en escala de grises	35
3.5	Imagen binarizada	36
3.6	Imagen con detección de contornos	37
3.7	Imagen etiquetada mostrando contornos, bounding box y los datos de tamaño	38
3.8	Imagen con centroides y radios dibujados	39
3.9	Muestra etiqueta, contorno y bounding box; frutos 7,8 y 9 en el día 1 de inicio del estudio	40
3.10	Imágenes de frutos de lulo. Muestra el seguimiento a los lulos 4,5 y 6 durante 25 días	41
3.11	Imagen con pixeles blancos en posición del color amarillo de maduración del fruto	42
3.12	Imagen que muestra los cambios drásticos en el color en los frutos	44
3.13	Gráficas que representan el aumento de los pixeles blancos, indicadores del amarillo de maduración.	45
3.14	Imágenes con los radios dibujados en cada lulo	46
3.15	Gráficas que representan la disminución del radio medio del lulo.	49
3.16	Gráficas que representan la variación de la desviación estándar.	50
3.17	Relación de pixeles blancos y estados de maduración del fruto, Lulo 2	52

4.1	Imagen que muestra el color del fruto en tres estadios de maduración	54
4.2	Partes del fruto de lulo utilizados en los análisis químicos	54
4.3	Curva de calibración de sacarosa	56
4.4	Variación del tamaño del fruto de lulo durante la maduración	57
4.5	Curva que relaciona la pérdida de peso en el transcurso de los días	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla No.		Página
4.1	Contenido de <i>clorofila a</i> y <i>clorofila b</i> en diferentes estados de maduración. Base húmeda	54
4.2	Datos experimentales en la cuantificación de <i>clorofila a</i> y <i>clorofila b</i>	54
4.3	Contenido de sacarosa en los estados de maduración del lulo	56
4.4	Porcentajes de Humedad y materia seca en diferentes estados de maduración del lulo	59

## RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo presentar la aplicación de la técnica de visión por computador y el análisis de imágenes a la secuencia de imágenes capturadas durante el seguimiento del proceso de maduración del fruto del lulo, *Solanum sp.* El análisis de imágenes realizado es un aporte al campo de la biología, por cuanto los datos y la información obtenida permiten explicar y relacionar los cambios bioquímicos internos particulares del proceso de maduración del fruto con los cambios físicos visualizados externamente, al confrontarlos con los resultados de la aplicación de parámetros y métodos de las técnicas de visión por computador. En la comprensión de los resultados se tiene en cuenta los principios fisiológicos propios del proceso de maduración y algunos datos obtenidos de determinaciones químicas de sacarosa y clorofilas realizadas a frutos de lulo en tres estadios de maduración: verde, pintón y amarillo. El alcance de los resultados es contribuir al conocimiento del comportamiento de maduración de los frutos dada su gran importancia económica con grandes perspectivas de exportación. Se utilizan los principios de la técnica de visión por computador porque permite emular la percepción visual humana e interpretar escenas naturales.

El análisis de imágenes realizado al seguimiento del proceso de maduración del fruto de *Solanum sp* durante 25 días muestra que los cambios de color del fruto acontecen de manera rápida. Los detalles a nivel de pixel muestran que el cambio de color verde al color amarillo durante su proceso pasa por matices

que no se visualizan al ojo humano por lo rápidos que acontecen. Se percibe también que los frutos disminuyen su tamaño y cambian su textura.

La validación del presente estudio se hace mediante la triangulación metodológica confrontando los resultados obtenidos del análisis de imágenes, los análisis químicos realizados y los principios teóricos de la fisiología vegetal sobre la maduración y senescencia de los frutos. La validación muestra que evidentemente los acontecimientos encontrados en el análisis de imágenes en cuanto al cambio de color y del tamaño del fruto son cambios fisiológicos naturales que se reflejan como consecuencia de cambios bioquímicos internos dados en la maduración.

## INTRODUCCIÓN

Las formas de construir conocimiento y aportar a la ciencia van cambiando con los años; muchos aportes a las ciencias utilizaron solo descripciones de las características de imágenes observadas al ojo humano desnudo o al microscopio óptico o electrónico. En los últimos años se exige más allá del solo saber como es; se requiere cuantificar, conocer posición y ubicación, este es un trabajo arduo y complejo que no lo puede hacer el ojo humano; requiere de máquinas para tratar las imágenes y lograr discriminar los objetos en cantidad y posición; se precisan de datos numéricos para obtener conclusiones. Hoy en día para muchas investigaciones es relevante la información de los datos obtenidos del tratamiento de imágenes; se requiere reconocimiento de patrones gráficos y procesamiento de imágenes.

En tal sentido, el presente trabajo tiene como objetivo aplicar la técnica de visión por computador al análisis de las imágenes capturadas en el seguimiento del proceso de maduración del fruto del lulo, *Solanum sp.*, para poder entender mediante cambios visualizados externamente los cambios bioquímicos internos particulares del proceso de maduración del fruto; los resultados obtenidos de la aplicación son un aporte al campo de la biología. En la interpretación y comprensión de los resultados se tiene en cuenta los principios fisiológicos propios del proceso de maduración y los datos obtenidos de determinaciones químicas de sacarosa y clorofilas realizadas a frutos de lulo en tres estadios de

maduración: verde, pintón y amarillo. Las imágenes se capturaron diariamente cada 15 minutos durante 25 días.

Se utiliza los principios de la técnica de visión por computador porque permiten emular la percepción visual humana e interpretar escenas naturales. En la aplicación se programa al computador para que entienda las características a analizar y proporcione la información concerniente al proceso de maduración del fruto del lulo. En la aplicación de la técnica se utiliza el lenguaje de programación C/C++ haciendo uso de la biblioteca para visión por computador, *OpenCV*<sup>1</sup>.

Para el análisis de imágenes se tiene en cuenta variaciones del color y del tamaño. La validación del presente estudio se hace mediante la triangulación metodológica confrontando los resultados obtenidos del análisis de imágenes, los análisis químicos realizados y los principios teóricos de la fisiología vegetal sobre la maduración y senescencia de los frutos

Los resultados obtenidos, además de aportar información que permite aclarar y explicar el proceso, pueden brindar información a los cultivadores, productores, comercializadores, entre otros, sobre: el momento ideal de cosecha del fruto del lulo; relaciones de calidad<sup>2</sup> externa e interna del fruto; estadios de maduración

---

<sup>1</sup> OpenCV Esta es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel y publicada bajo licencia BSD, que permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones en ella expresadas, en el 2002.

<sup>2</sup> La palabra «calidad» proviene del latín *qualitas*, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es «grado de excelencia o superioridad» (Kader, et al., 1985)

vulnerables al ataque de plagas, para seguimiento y monitoreo ya sea manual o digital.

Entender procesos biológicos también es pertinencia también de la física. Como se sabe “la física es el segundo continente científico. En él podemos reconocer “regiones” relativamente bien delimitadas: la astronomía, la química, la biología” (Braunstein, 2003). El cual es coherente con la misión y visión de la Universidad del Cauca porque con su aporte se estaría contribuyendo a atender problemas de la región y el país, puesto que el lulo se cultiva en varias zonas de Colombia.

Después de realizar un estado breve del estado del arte y plantear el problema, se presenta organizado en capítulos los referentes teóricos, la metodología, el análisis de imágenes respectivo para finalizar con las conclusiones obtenidas.

- **ESTADO DEL ARTE**

En la actualidad, cada vez más se siente la importancia de hacer análisis de imágenes para realizar y entender procesos, aclarar detalles y cuantificar tamaños y posiciones. En la biología es una necesidad el análisis de imágenes para muchos estudios; y todo aporte que se realice contribuirá a su avance.

En cuanto a la maduración de frutos el análisis de imágenes toma importancia porque aporta al entendimiento del dicho proceso; información que puede utilizarse para planear cosechas con fines industriales, medicinales y de consumo; propiciar ambientes de conservación para no alterar la calidad del producto e identificar estados de vulnerabilidad del producto, entre otros.



Los siguientes estudios muestran la importancia de la necesidad de relacionar análisis de imágenes a procesos de maduración de frutos: *“Monitoreo De La Actividad Enzimática De La Xilanasa En El “Lulillo” A Través De Métodos Bioquímicos Comparados Con Imágenes De Resonancia Magnética (Irm)”* (Mendoza & Alarcón Sierra, 2009), el cual deja claro que para mejorar el entendimiento del proceso de maduración de un fruto es conveniente realizar estudios de análisis de imágenes que aporten elementos que permitan valorar con facilidad el proceso de maduración de un fruto. Para el caso, dicho estudio realizado con el fruto de lulo, solo llega hasta el análisis químico de la actividad de la enzima en estudio, faltando confrontar la investigación con el análisis de las imágenes utilizando métodos de visión por computador.

En el estudio, *“Procesamiento de imágenes ópticas de frutos café en cereza por medio de filtros acusto-ópticos”* (Mosquera M, Sepúlveda G, & Isaza B, 2007), los investigadores relacionan la importancia del análisis de imágenes en los estudios de maduración de frutos. El cual muestra la experiencia del análisis espectral de las imágenes ópticas de muestras de fruto del café en cereza utilizando un filtro acusto-óptico (FAO) fabricado con un cristal de dióxido de Telurio; como alternativa en el procesamiento de imágenes para aplicaciones industriales para selección de granos de café según su estado de maduración. El anterior estudio es un trabajo más que hace notar la importancia de estudios y aplicaciones desde el campo físico a problemáticas biológicas reales.

El estudio *“Desarrollo de un algoritmo para la caracterización y clasificación de granos de café empleando técnicas de visión artificial”* (Maya Naranjo, 2001), es un aporte a la caracterización de los frutos de café en sus etapas de maduración; utilizando un clasificador Bayesiano bidimensional para reconocer el grado de

maduración del fruto del café; en la descripción utiliza el cálculo de la media, desviación y simetría de cada una de los componentes de los espacios de color RGB y HSI.

El reporte técnico presentado sobre el *“Estado actual de la representación y análisis de la textura en imágenes”* (Gil, 2008), expone el estado del arte acerca de los modelos y representación del análisis de textura en imágenes hasta comienzos del 2005. El documento es importante por cuanto resalta la importancia de la aplicación del análisis de imágenes en la investigación; hace comparaciones de los modelos y aporta conceptos importantes para el análisis de texturas.

La tesis doctoral sobre *“Técnicas de visión por computador para la reconstrucción en tiempo real de la forma 3D de productos laminados”* (Molleda, 2008). Presenta la aplicación de técnicas de visión por computador en el análisis, diseño e implementación de un sistema para la reconstrucción tridimensional de la superficie de objetos con restricciones de tiempo real. El aporte de la tesis es importante por cuanto describe las técnicas de visión por computador aplicables a la reconstrucción tridimensional de la superficie de productos laminados.

- **PROBLEMA**

En la naturaleza acontecen fenómenos con procesos complejos que son difíciles de cuantificar y analizar rápidamente por el ser humano. Procesos que requieren la aplicación de métodos computacionales para agilizar su procesamiento y automatizar acontecimientos que se dan de manera constante; en tal sentido, la aplicación de métodos de visión por computador en diferentes campos como la biología, la medicina, la agricultura entre otros, favorece los estudios y las investigaciones que implican el análisis de imágenes para la interpretación de acontecimientos y resultados.

En la agricultura la cosecha de frutos es un momento muy importante; conocer el estado de maduración es crucial para la calidad producto. El proceso de maduración varía en las especies y con los frutos, lo que dificulta tener información particular para cada caso.

El problema radica, en que por la gran diversidad y variedad de especies, no hay información sobre la maduración de frutos por especie y variedad; no hay registros que relacionen los cambios que se reflejan en su piel con los que acontecen internamente debido a sus procesos bioquímicos. De aquí nace la necesidad de aplicar técnicas de visión por computador para analizar imágenes y establecer relaciones entre cada cambios físicos externos y cambios bioquímico que acontecen internamente; para así explicar y conceptuar acerca del proceso físico-químico de la maduración. Los biólogos han ubicado a los frutos en dos grandes grupos según su comportamiento fisiológico: los denominados climatéricos y los no climatéricos. Los climatéricos son los frutos

que sufren grandes cambios que son visibles o se reflejan en su epicarpio o piel<sup>3</sup>, a diferencia de los no climatéricos; el fruto del lulo es climatérico. Por sus características organolépticas<sup>4</sup> del fruto, el lulo es de alto consumo en Colombia y con grandes expectativas de exportación; por lo tanto amerita conocer más sobre las relaciones de los cambios en su madurez.

El problema se aumenta por la dificultad de cuantificar al ojo humano cambios que solo son posibles al computador. La pregunta en cuestión es: ¿cómo determinar y relacionar en el estado de maduración del fruto del lulo los cambios físicos que acontecen como consecuencia de los cambios bioquímicos internos?

---

<sup>3</sup> Los frutos climatéricos son los que tienen tasas respiratorias altas causando así mismo rápido deterioro del producto.

<sup>4</sup> Las propiedades organolépticas son todas aquellas características que pueden percibirse de forma directa por todos los sentidos (no sólo la vista) sin utilizar aparatos o instrumentos de estudio; como por ejemplo sabor, textura, olor, color. Esas propiedades son utilizadas para valorar la calidad del alimento.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Aplicar la técnica de visión por computador para hacer análisis de imágenes a las capturadas durante el seguimiento al proceso de maduración del fruto del lulo *Solanum sp.* y establecer relaciones entre los cambios físicos visualizados y los procesos fisiológicos propios del maduración.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar parámetros y procedimientos para el procesamiento de las imágenes
- Diseñar una aplicación de visión por computador para el análisis de imágenes
- Establecer las relaciones para el análisis de imágenes
- Poner en funcionamiento la aplicación para el análisis de imágenes para analizar el proceso de maduración del fruto de lulo, *Solanum sp.*
- Analizar y validar los resultados según las relaciones establecidas.

## 1. REFERENTES TEÓRICOS

### 1.1 VISIÓN POR COMPUTADOR

La Visión artificial, también conocida como Visión por Computador (del inglés Computer Vision) o Visión técnica, es un subcampo de la inteligencia artificial. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen siguiendo pautas asignadas por el investigador. Dicho de otro modo la visión artificial es análisis de imágenes a través de computadores para obtener una descripción de los objetos físicos que son captados por la cámara (De la Escalera, 2001) aportando datos que pueden ser utilizados para hacer análisis cuantitativos y/o cualitativos.

El análisis de imágenes por computador proporciona elementos importantes de las imágenes en estudio; esos elementos darán las categorías e indicadores que permitirán emitir conceptos teóricos dicentes sobre el objeto real, físico, objeto de investigación. Es decir, un análisis riguroso, sistemático, debe proporcionar en el investigador el concepto de cómo es el objeto estudiado, para que pueda crear en su pensamiento la imagen real del objeto; y pueda con ellas analizar y explicar teóricamente la pregunta en cuestión<sup>5</sup>. Con este

---

<sup>5</sup> Bachelard dice que para pasar del "saber" emanado de la intuición o de los sentidos (conocimiento de apariencias) al conocimiento racional y objetivo (científico).

tratamiento de las imágenes se logra discriminar los objetos en cantidad y posición; se requiere datos numéricos para obtener conclusiones.

Es importante reconocer como dice Suarez Bravo que hoy por hoy la visión por computador a veces no siempre es la mejor solución a un problema. Existen muchas ocasiones en las que el problema es tan complejo que la solución humana sigue siendo lo ideal. En otros casos las soluciones humanas tienden a ser inexactas o subjetivas y en ocasiones lentas y con ausencia de rigor (Suarez, 2009). Lo que debe quedar claro es que la calidad en análisis de cualquier información depende del investigador.

### 1.1.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN POR COMPUTADOR

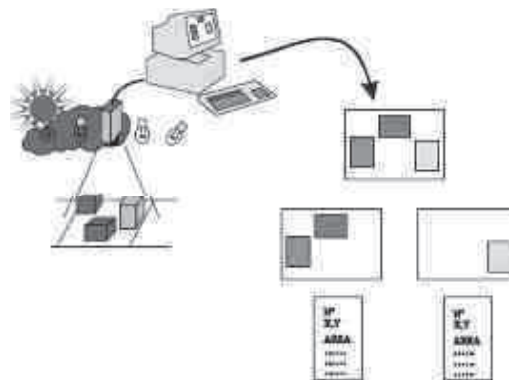


Figura 1.1 Elementos de un sistema de visión por computador (De la Escalera, 2001)

Según lo propuesto por De la Escalera, ver figura 1, para desarrollar una aplicación de análisis de imágenes por computador, entre los elementos que estructuran el sistema de visión por computador que pueden afectar y determinar el análisis de imágenes están:

- Iluminación
- Óptica
- Cámara
- Tarjetas de adquisición y procesamiento
- Algoritmos para procesamiento

#### *1.1.1.1 Iluminación*

La iluminación es el factor decisivo que exige importante atención puesto que puede afectar considerablemente la información de visión que se procesa para el análisis de imágenes; la iluminación debe contribuir a la calidad de las imágenes de tal forma que faciliten la tarea del sistema de visión. La extracción de información de un objeto o escena puede realizarse con luz natural o mediante el uso de lámparas. En la adecuación y selección del tipo de iluminación es importante tener en cuenta las propiedades de los objetos, reflexivas, absorbentes o transmitivas.

#### *1.1.1.2. Óptica*

La óptica se utiliza para transmitir la luz al sensor de la cámara de forma controlada para poder obtener una imagen enfocada de uno o varios objetos; en palabras de De la Escalera es captar los rayos luminosos y concentrarlos sobre el sensor de la cámara; de la óptica depende la calidad de la imagen y el tamaño de los objetos.



### 1.1.1.3 La cámara

La cámara se puede definir como el dispositivo que recibe la luz reflejada por el objeto y la utiliza para generar imágenes; en términos de De la Escalera, es el elemento encargado de captar la información luminosa de la escena, y transmitirla al computador como una señal analógica o digital. El sensor es el componente más importante de la cámara; está formado por una capa de material fotosensible que transforma la luz incidente en señal eléctrica.

## 1.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA ANÁLISIS DE IMÁGENES

### 1.2.1 EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Es importante recordar que el concepto de imagen está asociado a la función bidimensional  $f(x, y)$ , cuya amplitud o valor será el grado de iluminación en el espacio de coordenadas  $(x, y)$  de la imagen para cada punto. El valor de dicha función depende de la cantidad de luz que incide sobre la escena vista, así como de la parte reflejada por los objetos que componen la escena. Los componentes son: iluminación y reflexión. La naturaleza de la iluminación viene determinada por la fuente de luz, mientras que la reflexión de las características del objeto en la escena. El elemento mínimo de una imagen es el pixel y se define como una de las casillas o celdas en que se puede descomponer una imagen. Matemáticamente se define como  $pixel_{intensidad}=f(x,y)$ , donde el valor de  $f$  es la intensidad del color en las coordenadas espaciales  $(x,y)$ . La cantidad de bits que necesita cada pixel para

guardar la información de la imagen depende cómo se codifica el color; con RGB, por cada pixel se necesitan 24 bits, es decir 3 bytes; codificando cada color primario con 1 byte(8 bits) que puede tomar 256 valores con un rango de 0 a 255.

En la imagen binaria, como su nombre lo indica, muestra únicamente dos valores: 0 y 1. El cero representa el color negro y el uno el color blanco; las imágenes binarias se conocen como imágenes blanco y negro.

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, M - 1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, M - 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N - 1,0) & f(N - 1,1) & \dots & f(N - 1, M - 1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matriz discreta que representa una imagen digital (De la Escalera, 2001)

Aspectos importantes a considerar en la extracción de las características de las imágenes.

En la extracción de las características de las imágenes a analizar para el presente estudio se tiene en cuenta el concepto definido por De la Escalera (De la Escalera, 2001): Detección de bordes

1.2.1.1 *Detección de bordes o contornos.* Es la información que permite definir los límites entre los objetos y el fondo, y entre los objetos entre sí. Dicha información se utiliza en la etapa de segmentación. La localización de los puntos en los que se produce la variación de la intensidad depende de la técnica utilizada, que puede ser por gradiente o derivada. Para esta detección se ingresan los parámetros pertinentes al algoritmo de detección. Bradski

define el contorno como una lista de puntos que representan de una u otra manera una curva en una imagen (Bradski & Kaehler, 2008). La función utilizada es: *cvFindContours*

## 1.2.2 SEGMENTACIÓN

Es la técnica que se usa para individualizar y separar objetos de la imagen o separar los objetos entre sí; con el fin de hacer una descripción individualizada de los objetos encontrados, su reconocimiento e interpretación. Las propiedades que atiende la segmentación son: la similitud, la discontinuidad y la conectividad.

*1.2.2.1 Umbralización.* En la segmentación también es importante la umbralización porque utiliza el principio de que todos los pixeles de un determinado objeto tienen el mismo nivel de gris, lo permite convertir imágenes con varios niveles de gris a otras con sólo dos.

*1.2.2.2 Ubicación del objeto en la imagen binarizada.* Para encontrar la imagen del fruto de lulo en la imagen binarizada se usa la función OpenCv *CvBoundingRect*; que crea un rectángulo que envuelve con mínima área cada contorno de la imagen objeto de estudio; proporciona también el ancho y el largo del rectángulo; también proporciona la posición X,Y de su esquina superior izquierda.

*1.2.2.3. Etiquetado.* Es la técnica que permite asignar un nivel de gris distinto a cada objeto distinguido en la imagen.

1.2.2.4. *Crecimientos de regiones.* Esta técnica permite elegir una serie de píxeles iniciales denominados puntos semillas en determinadas regiones de la imagen a los que se le irán añadiendo píxeles de iguales propiedades, ocasionando crecimiento de las regiones

### 1.2.3. ESPACIOS DE COLOR.

Espacio de color es un método por el que se puede especificar, crear o visualizar cualquier color. Puede decirse también, como la porción del espectro de color que usaremos definido por una norma. Los espacios de color se derivan de modelos de color; un modelo de color es una fórmula matemática abstracta que describe como se representan los colores; los modelos de color más conocidos son RGB, CMYK y los CIE<sup>6</sup>. Dependiendo del tipo de sensor y aplicación se han desarrollado diversos espacios de colores. Los espacios de color dan información adicional sobre escalas o referencias.

1.2.3.1 *El espacio sRGB* o Adobe RGB (1998) define una escala que permite representar el color, y sirven de representación geométrica tridimensional para los colores que pueden verse o ganarse mediante el modelo RGB; la representación del espacio RGB se muestra en la *figura 1.2*

---

<sup>6</sup> La CIE, comisión internacional de iluminación, es la autoridad internacional en cuestiones de iluminación, luz, color y espacios de color.

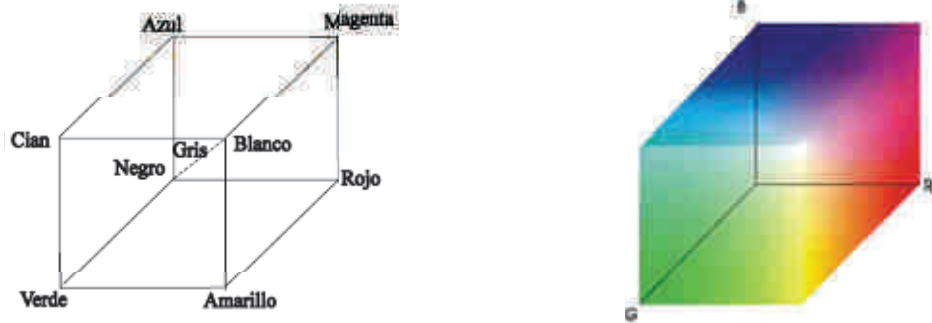


Figura 1.2. Representación del espacio de color RGB (De la Escalera, 2001)

1.2.3.2 El espacio de color HSV se basa en la combinación de tres componentes: tono, saturación y valor; en el cual *el tono* refiere la degradación del color dentro del espectro visible de luz en el intervalo que va de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . La *saturación* indica la intensidad de un tono específico y se basa en la pureza del color se representa como la distancia al eje de brillo negro-blanco; los valores posibles van del 0 al 100%. El *Valor* refiere la brillantez del color; y representa la altura en el eje blanco-negro; los valores posibles van del 0 al 100%. 0 siempre es negro. La figura 1.3 muestra la representación del espacio de color HSV

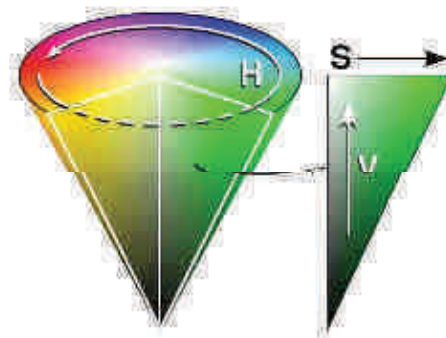


Figura 1.3. Representación del espacio de color HSV (Pierce, 2005)

1.2.3.3 *Transformación del RGB a HSV.* El software utilizado en el presente estudio basa la conversión del RGB atendiendo principios matemáticos como muestran las siguientes fórmulas para calcular los componentes (Smith, 1978):

$$H = \begin{cases} \text{no definido,} & \text{si } MAX = MIN \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 0^\circ, & \text{si } MAX = R \\ & \text{y } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 360^\circ, & \text{si } MAX = R \\ & \text{y } G < B \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 120^\circ, & \text{si } MAX = G \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 240^\circ, & \text{si } MAX = B \end{cases} \quad (2)$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{si } MAX = 0 \\ 1 - \frac{MIN}{MAX}, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (3)$$

$$V = MAX \quad (4)$$

Sea *MAX* el valor máximo de los componentes (*R, G, B*), y *MIN* el valor mínimo de esos mismos valores.

### 1.3 CARACTERISTICAS DEL DESARROLLO DEL FRUTO DE LULO, *Solanum sp.*

#### 1.3.1. ASPECTOS GENERALES DE LA PLANTA

El lulo, *Solanum sp.*, es una planta angiosperma dicotiledónea que pertenece a la familia Solanácea, al género *Solanum*; la planta es un arbusto de hasta un metro de altura aproximadamente, de hojas grandes con bastantes tricomas en su lámina foliar, puede presentar espinas o no según la variedad; la variedad septentrional presenta espinas y es la más cultivada en la región andina colombiana; las flores son completas, hermafroditas, pequeñas y de color blanco; el fruto es una baya globosa entre 4 y 8 cm de diámetro cuando alcanzan su máximo desarrollo con peso que oscila entre los 60 y 100g (Pastrana, 2000). Ver figura 1.4



Figura 1.4 Imagen de una planta de *Solanum sp.* (Tayrona)

El lulo es una planta que llega a alcanzar los 2.5 m de altura, se adapta a los climas fríos y templados entre 11 y 20°C, crece entre los 500 y los 2.500 msnm; florece varias veces al año, lo que permite cosechas continuas. Los frutos son simples que acumulan agua, ácidos y azúcares en el proceso de desarrollo y crecimiento. Según la tasa respiratoria del lulo, se clasifica como un fruto climatérico; lo que significa que dentro de la maduración se producen varios cambios en sus características físicas y químicas tanto interna como externamente. La actividad de la tasa respiratoria podría alterar el color, la forma, el tamaño, la firmeza y consistencia del producto al avanzar su estado de madurez afectando su calidad en sabor, aroma, dulzura etc. (Pastrana, 2000)

Es importante contribuir al conocimiento del comportamiento de maduración de los frutos de lulo porque dado su gran aporte nutricional rico en vitamina C, 31.2-83.7 mg / 100 g (Acosta O. P., 2009), en los últimos años se exporta a otros países, y los estudios sobre económicos consideran que la pulpa también podría comercializarse favoreciendo la economía de este producto (Marina, 2002); aumentando así su perspectiva de exportación a los mercados europeos y japonés (Fory, 2006).

### 1.3.2 DESARROLLO DEL FRUTO: CRECIMIENTO Y MADURACIÓN

Los botánicos definen a los frutos como flores maduras que albergan a las semillas para protegerlas hasta que maduran y favorecer su dispersión; por lo que podría decirse que el fruto está formado por dos estructuras importantes, la (s) semilla (s) y la estructura que envuelve o rodea denominada pericarpio. En el pericarpio se pueden distinguir 3 capas en general: el epicarpio (exocarpo), el mesocarpo y el endodermo (Joaquín & Talon, 2001).



El epicarpio, la capa más externa de un fruto, que comúnmente se conoce como “cáscara”, puede decirse, desde el punto de vista de la salud del fruto, que es la capa más importante, porque de la presentación del epicarpio depende el grado de atracción de los frutos, tanto que el color, el brillo, la textura y la resistencia condicionan decisivamente la calidad comercial de los frutos.

En el desarrollo del fruto el aporte nutricional y las condiciones climáticas son factores importantes que determinan el crecimiento y la maduración del fruto. En la botánica se llama cuajado cuando una flor puede culminar en un fruto que activó su proceso de desarrollo; de lo contrario viene el desprendimiento del fruto de la planta y se dice que no cuaja (Joaquín & Talon, 2001).

El desarrollo del fruto comprende dos grandes momentos; uno que implica gran crecimiento y otro de madurez. El proceso de crecimiento del fruto tiene lugar porque se activan mecanismos biológicos propios para ello como son la mitosis y la elongación celular; para aumentar así el número y el tamaño de las células, y por consiguiente el tamaño del fruto. El crecimiento, es un momento crucial, porque es una fase que implica mucho gasto energético para la planta, de tal forma que de no contar con gran aporte de carbohidratos conlleva a la caída del fruto. Las encargadas de elaborar los carbohidratos son las hojas, de tal forma que cae en ellas la responsabilidad de la manutención de los frutos. Algunos estudios muestran que para ganar 100 g de peso el fruto se precisa una lámina foliar de 200 cm<sup>2</sup> (Joaquín & Talon, 2001, pág. 425); de tal forma que podría decirse que plantas frondosas dan buenos frutos o que por el contrario la defoliación llevaría a la caída de los frutos.

El proceso de crecimiento final implica gran engrosamiento celular y se da inicio al proceso de maduración, que lleva a algunos frutos a acumular sustancias o metabolitos que determinan el tamaño final del fruto; para el caso, el fruto del lulo acumula ácidos, agua y azúcares; situación que demanda gran actividad fotosintética de la planta; en este crecimiento final se da consistencia a la pulpa. La maduración conlleva al cambio de color del fruto (Acosta, 2009).

### 1.3.3 DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL FRUTO

La maduración se define como el conjunto de cambios externos, de sabor y de textura que un fruto experimenta cuando completa su crecimiento. Cambios que afectan la coloración del pericarpio, el descenso en el contenido de algunas moléculas como almidón, clorofilas y ácidos, y el aumento en la concentración de otras, como azúcares y agua en muchos casos.

Como muchos frutos, en su fase última de crecimiento, el fruto de lulo acumula sustancias importantes que contribuyen a dar consistencia, color y sabor con características propias del lulo.

1.3.3.1. *De la variación de coloración del fruto.* El cambio de color es un proceso característico de la maduración de la mayoría de los frutos; causada por la degradación de algunos pigmentos y el aumento en concentración por síntesis y acumulación de otros. Dicha actividad varía entre los frutos y está regulada por diversos mecanismos, hormonas y condiciones climáticas (Joaquín & Talon, 2001).

El lulo es un fruto que acumula agua y azúcares formando la pulpa en la medida que crece y madura. El azúcar que acumula es la sacarosa. El crecimiento de la pulpa genera que la corteza se adelgace.

El cambio de color de la cáscara, el epicarpio está relacionado como se ha dicho con la degradación de pigmentos; para el caso la degradación de las clorofilas y la síntesis de carotenos, causando el cambio de color, pasando del verde al amarillo (Acosta O. P., 2009). De tal forma que, el fruto verde es rico en ácidos y su color se debe a la presencia de clorofila; fruto a amarillo es rico en azúcares, sacarosa y su color se debe a la presencia de carotenos.

1.3.3.1. *De la variación de tamaño del fruto.* Al avanzar el proceso de maduración el fruto aumenta internamente mecanismos fisiológicos propios de la senescencia o envejecimiento; entre estos mecanismos está la transformación de moléculas, la síntesis de otras, como enzimas que llevan a la degradación estructural interna que va a repercutir en la presentación externa y física del fruto. Entre los cambios está el consumo de algunas moléculas como almidones y azúcares en el proceso de respiración celular; este proceso en algunos frutos puede ser más activo que en otros, como es el caso de los frutos climatéricos.

Las consecuencias de la activación de estos mecanismos fisiológicos que se dan para dejar al descubierto las semillas para ser dispersadas, generan cambios que no son deseables para la presentación del fruto, consumo y comercialización.

Estos cambios causan la *pérdida de la firmeza del fruto* dada por la actividad enzimática que hidrolizan las moléculas que le dan soporte a las capas del fruto. Ello se refleja en pérdida de tamaño y forma del fruto.

La causa más directa de la disminución del tamaño del fruto es la pérdida de agua que se da notoriamente en los frutos que han sido separados de la planta por las heridas causadas en el corte.

## 2. METODOLOGÍA

Para realizar la aplicación de la técnica por visión por computador en el análisis de imágenes al seguimiento del proceso de maduración del fruto se realizó en los siguientes momentos:

- ✓ Diseño y montaje de los elementos que estructuran el sistema de visión por computador
- ✓ Adquisición y selección del material
- ✓ Aplicación del diseño y procesamiento de imágenes
- ✓ Monitoreo de la aplicación para determinar variación de color y tamaño

### **2.1 DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DE VISIÓN POR COMPUTADO APLICADO AL ANÁLISIS DE IMÁGENES DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL FRUTO DE *Solanum sp.***

#### 2.1.1 ILUMINACIÓN

Para acondicionar la iluminación para la extracción de información de las imágenes de los frutos en proceso de maduración, se tuvo en cuenta las propiedades reflexivas y absorbentes del material de trabajo. En tal sentido, como los frutos tienen color se los considera como *materiales selectivos al espectro*; lo que requiere buen control de la iluminación para que todos los haces reflejados por el objeto sean tomados por la lente como parte de la imagen.

Así, en el diseño de la iluminación se utiliza luz blanca y el tipo de iluminación difusa, porque se busca que los haces luminosos incidan sobre el objeto desde

todas las direcciones. Por tal razón la fuente de luz utilizada es fluorescente, además se buscaba no generar calor que pudiera afecta el material vivo utilizado.



Figura 2.1 Disposición de los elementos utilizados



Figura 2.2 Imágenes que muestran la adecuación de la iluminación

### 2.1.2 ÓPTICA.

Se utiliza un objetivo tipo zoom porque se requiere buen rango de acercamiento y ángulo de visión. Se usa zoom estándar porque permitía el control manual. Modelo del objetivo: *Canon EF-S 18-55 mm f/3.5-5.6 IS*

- No se utiliza filtros para evitar las variaciones de transmisión entre las longitudes de onda.
- El objetivo utilizado viene construido de fábrica para evitar al máximo imperfecciones en las imágenes que causen aberraciones

### 2.1.3 LA CÁMARA.

Dado que el éxito del análisis de imágenes depende de la calidad de las imágenes capturadas se selecciona una cámara fotográfica digital que cumpliera con los siguientes requisitos: que tanto la velocidad de obturación, abertura de diafragma y la capacidad de enfoque se puedan ajustar de manera manual. Se consideró también que dicha cámara pudiera ser controlada mediante un programa de computador. Por lo tanto la cámara seleccionada fue: Canon EOS-1000D, con objetivo Canon 28-55mm.

La cámara fotográfica se adecua a un computador Dell Optiplex GX260 con sistema operativo LINUX Mandriva 2010.1. El Sistema LINUX se selecciona para dicho trabajo porque es rápido, estable y se puede manejar a través de consola



a



B

Figura 2.3 a. Cámara utilizada en el estudio b. Estrategia de fijación del objetivo (para evitar movimientos del zoom cuando se ubica de manera vertical)

## 2.2 SOBRE EL MATERIAL DE TRABAJO Y CAPTURA DE IMÁGENES.

### 2.2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE TRABAJO.

#### 2.2.1.1 Selección del Lenguaje, biblioteca de procesamiento de imágenes y del IDE.

Según el tamaño de las imágenes y la cantidad de información se hace el procesamiento digital en lenguaje C/C++ con las bibliotecas de OpenCV. Que por experiencia vivencial, se considera de fácil manejo, rápido y estable al momento del procesamiento en comparación con MATLAB que también ofrece funciones para el procesamiento digital de imágenes. La biblioteca OpenCV<sup>7</sup> es

---

<sup>7</sup> OpenCV Esta es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel y publicada bajo licencia BSD, que permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones en ella expresadas, en el 2002.



multiplataforma y puede ser usada en Mac OS X, Windows y Linux. Como herramienta de programación se trabaja el IDE (entorno de desarrollo integrado) Dev-C++ para Windows

*2.2.1.2 Selección de la Muestra para aplicación de la técnica de visión por computador.* Inicialmente se toman varios lulos en diferentes estadios de maduración para adecuar la iluminación y la captura de las imágenes. Posteriormente se seleccionan 12 lulos de aproximadamente igual peso, tamaño, de buena presentación y calidad al ojo humano y que estuvieran en proceso de maduración. Es de aclarar que 12 era la cantidad que a la altura de la cámara se podía enfocar y fotografiar sin dificultad ya que ésta se encontraba ubicada dentro de una campana de extracción de gases y el tamaño era reducido. Para iniciar se hace un registro del peso inicial del material de análisis.

## 2.2.2 CAPTURA DE IMÁGENES.

*2.2.2.1 Procedimiento para la captura de imágenes.* Para tal fin se ubica y fija la cámara en un lugar que no corra riesgos de movimientos por factores externos, como viento o por vibraciones o por accidentes de acciones humanas o de animales. La idea era aislar el montaje de factores o agentes externos. Para ello se utiliza un soporte de una ampliadora de fotografía porque garantiza el ajuste del brazo en posición horizontal a cualquier altura

El formato de captura de imágenes es RAW (\*.CR2), en el espacio de color Adobe RGB(1998); profundidad 8 bits/canal. Se programa la cámara y el computador

para la captura cada 15 minutos las 24 horas día los 25 días del seguimiento. Se logran 2016 capturas

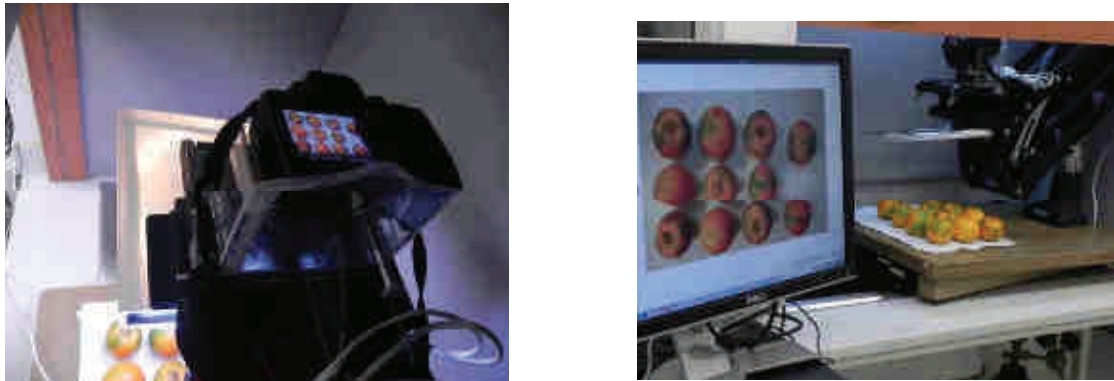


Figura 2.4 Imágenes que muestran la instalación de la cámara al computador

*2.2.2.2 Revelado digital de imágenes.* Para el revelado digital se utiliza el programa UFRaw, el proceso se hace por medio de consola a la cual se le dan los valores que se desea aplicar al revelado.

Para calcular el tiempo de revelado digital por imagen se hace la aplicación proceso para 200 imágenes tomando el tiempo final menos el inicial, y se encuentra que el tiempo de revelado es de aproximadamente 7 segundos por imagen. Para las 1996 tarda 3 horas y 54 minutos. Cada imagen después de revelada pesa 50 MB en formato TIFF, originalmente en formato RAW pesaba 10 MB, o sea se incrementa el peso 5 veces, el peso final de todas las imágenes es de 100.5 GB. (10,16 Mega pixeles: 2602X3906 pixeles)

## 2.3 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE IMÁGENES.

### 2.3.1 APLICACIÓN DE MÉTODOS Y PARAMETROS

- *Conversión de la imagen digital al espacio HSV.* Para ello se identifica el color *amarillo* que en este caso representaría los tonos de maduración del lulo en el rango de la tonalidad del HSV y se recorre toda la imagen para buscar la posición de píxeles en el rango del amarillo. Luego los píxeles encontrados se ubican en la imagen RGB y se cambian a *blanco* (255, 255, 255); esto se hace para cada lulo de la imagen.
- *Eliminación del fondo.* De la imagen se elimina el fondo azul con el fin de eliminar datos que no se necesitarán para el procesamiento de imágenes, éste se reemplaza por un color blanco.
- *Paso de la imagen a la escala de grises*
- *Binarización de la imagen.* Se hace para convertir imágenes con varios niveles de gris a otras con sólo dos; porque los objetos en el epicarpio tienen una superficie parecida y uniforme. Se procura tener una imagen sin perder los rasgos del contorno, o bordes externos
- *Detección del contorno externo de la imagen.* (fruto del lulo). Los contornos se detectan con OpenCV aplicando la función: *cvFindContours*
- *Ubicación de la imagen binarizada.* Para encontrar en este caso la imagen del fruto de lulo binarizada se usa la función OpenCv *CvBoundingRect*; que crea un rectángulo que envuelve con la mínima área cada contorno de la imagen, y proporciona también el ancho y largo; además de la posición X,Y de la esquina superior izquierda del rectángulo formado
- *Etiquetado de la imagen.* Que se realiza con la misma función que detecta bordes puesto que ésta proporciona datos de posición X,Y.

- *Determinación del Bounding box.* Para conocer la posición y el área de cada elemento binarizado.
- *Determinación del centroide.* Se determina el centroide de cada borde del lulo en la imagen para usarlo como referente del centro de cada fruto. Identificado el límite del borde y el centroide se mide la distancia en pixeles que hay del centroide al borde, que para el caso hará equivalente al radio del fruto del lulo dado que su imagen se asemeja a un círculo.
- *Determinación del radio.* Para obtener la medición del radio promedio para cada lulo se suman las longitudes de radio obtenidas y se dividen entre la sumatoria de radios utilizados, 360 para este caso. Luego se determina la desviación estándar muestral de los promedios obtenidos de las longitudes de los radios.

Con la aplicación de dichos parámetros se monitoria para determinar la variación de color y tamaño de cada fruto en la imagen y poder así obtener información sobre el proceso de maduración

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 APLICACIÓN DEL DISEÑO DE VISIÓN POR COMPUTADOR PARA EL ANÁLISIS DE IMÁGENES DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL FRUTO DE LULO

A continuación se muestran los resultados del procesamiento de imágenes descritos en el capítulo 2.

##### 3.1.1 REVELADO DE LA IMAGEN

La figura 3.1 muestra el resultado después de revelar la imagen capturada del día 1



Figura 3.1 Imagen digital revelada de los frutos de lulo- Día 1

## 3.2 SEGMENTACIÓN

### 3.2.1 CONVERSIÓN DE LA IMAGEN AL ESPACIO HSV

La figura 3.2 muestra la conversión al espacio HSV de la imagen de la figura 3.1. Se puede apreciar que el fondo azul es representado con una tonalidad uniforme en este espacio lo que permite eliminarlo después.

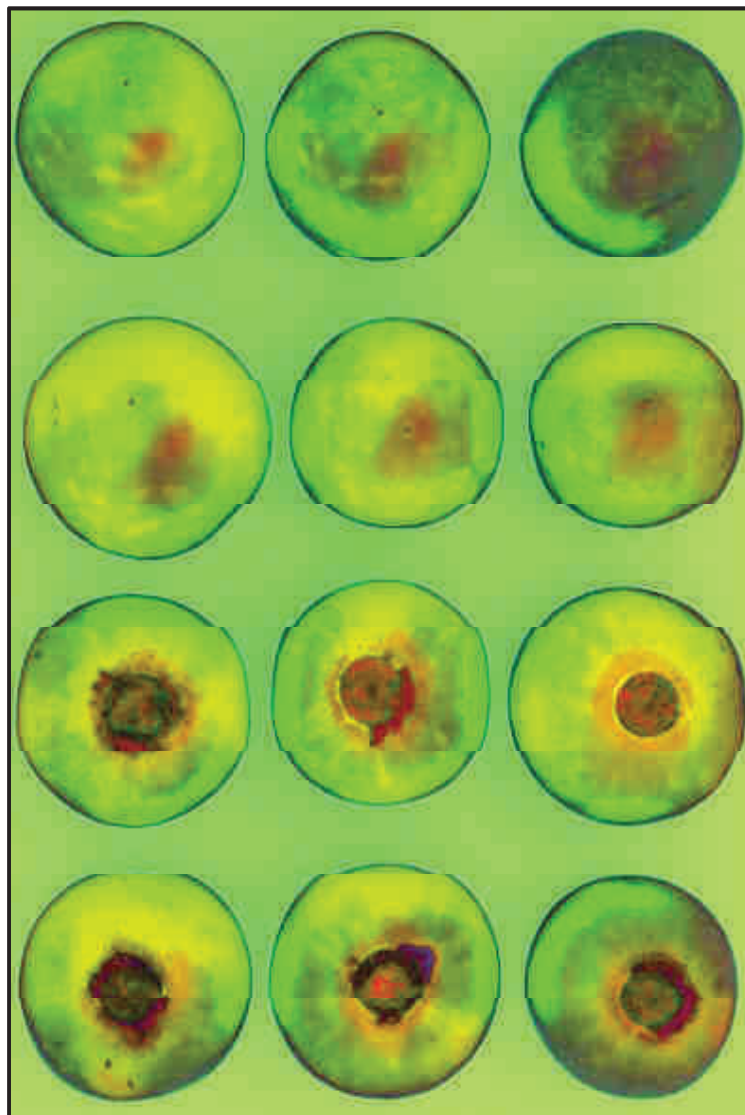


Figura 3.2 Imagen en espacio HSV

### 3.2.2 ELIMINACIÓN DEL FONDO AZUL

La figura 3.3 muestra la imagen sin el fondo azul (después de haberla convertido al espacio HSV de la figura 3.2)

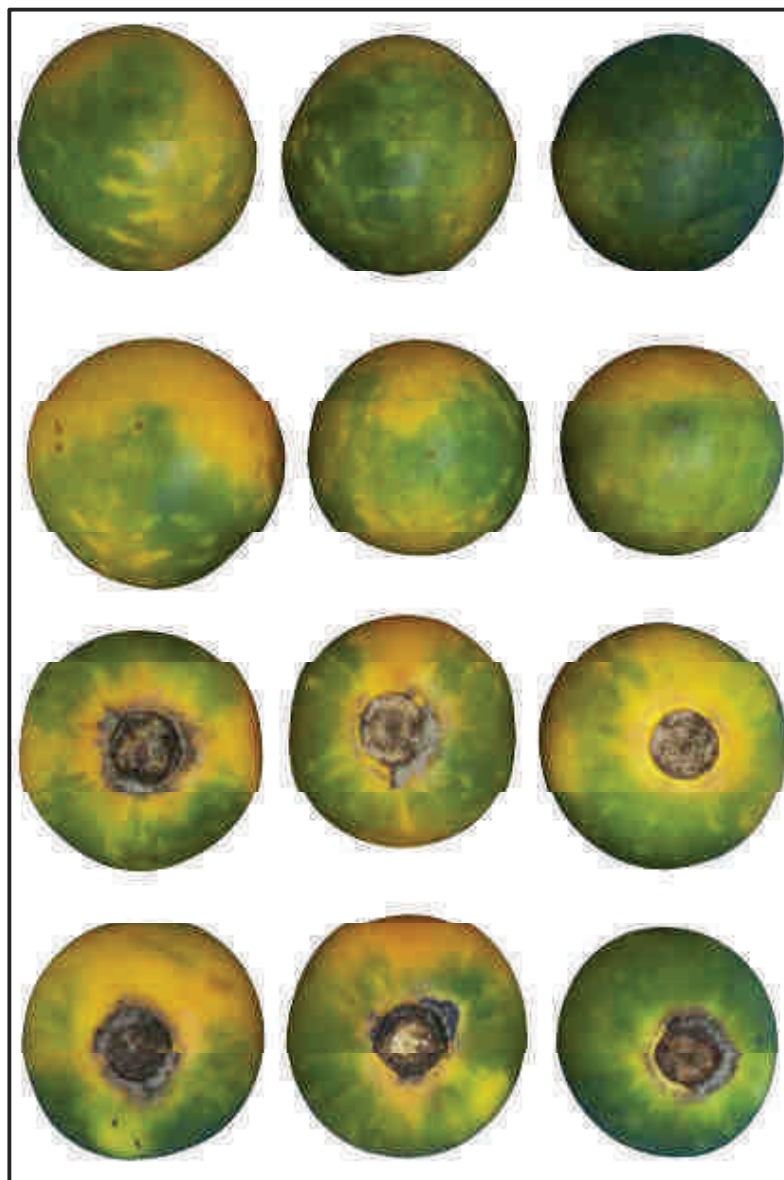


Figura 3.3 Imagen con fondo blanco eliminado.



### 3.2.3 CONVERSIÓN DE LA IMAGEN A LA ESCALA DE GRISES

La figura 3.4 muestra la imagen de la figura 3.3 convertida a escala de grises para luego ser binarizada.

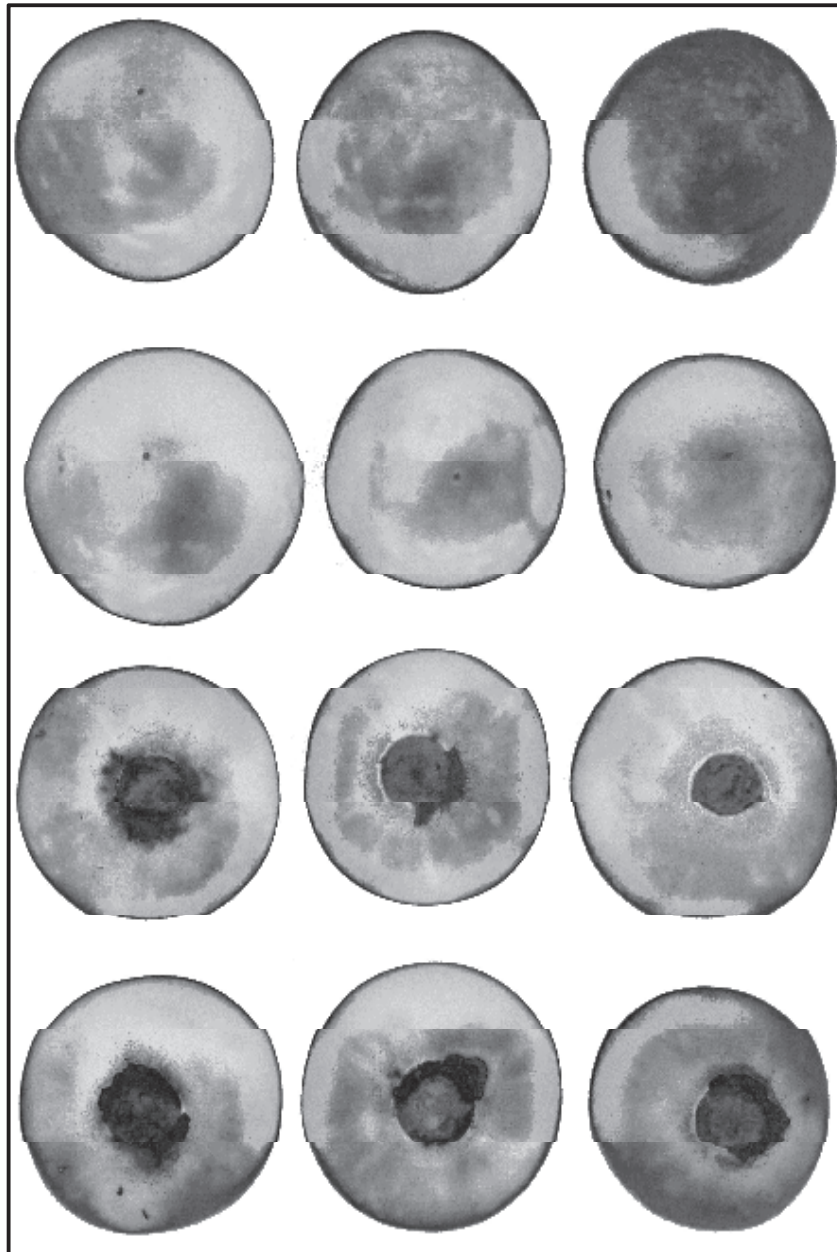


Figura 3.4 Imagen en escala de grises



### 3.2. 4 BINARIZACIÓN DE LA IMAGEN

La figura 3.5 muestra la imagen de la figura 3.4 binarizada.

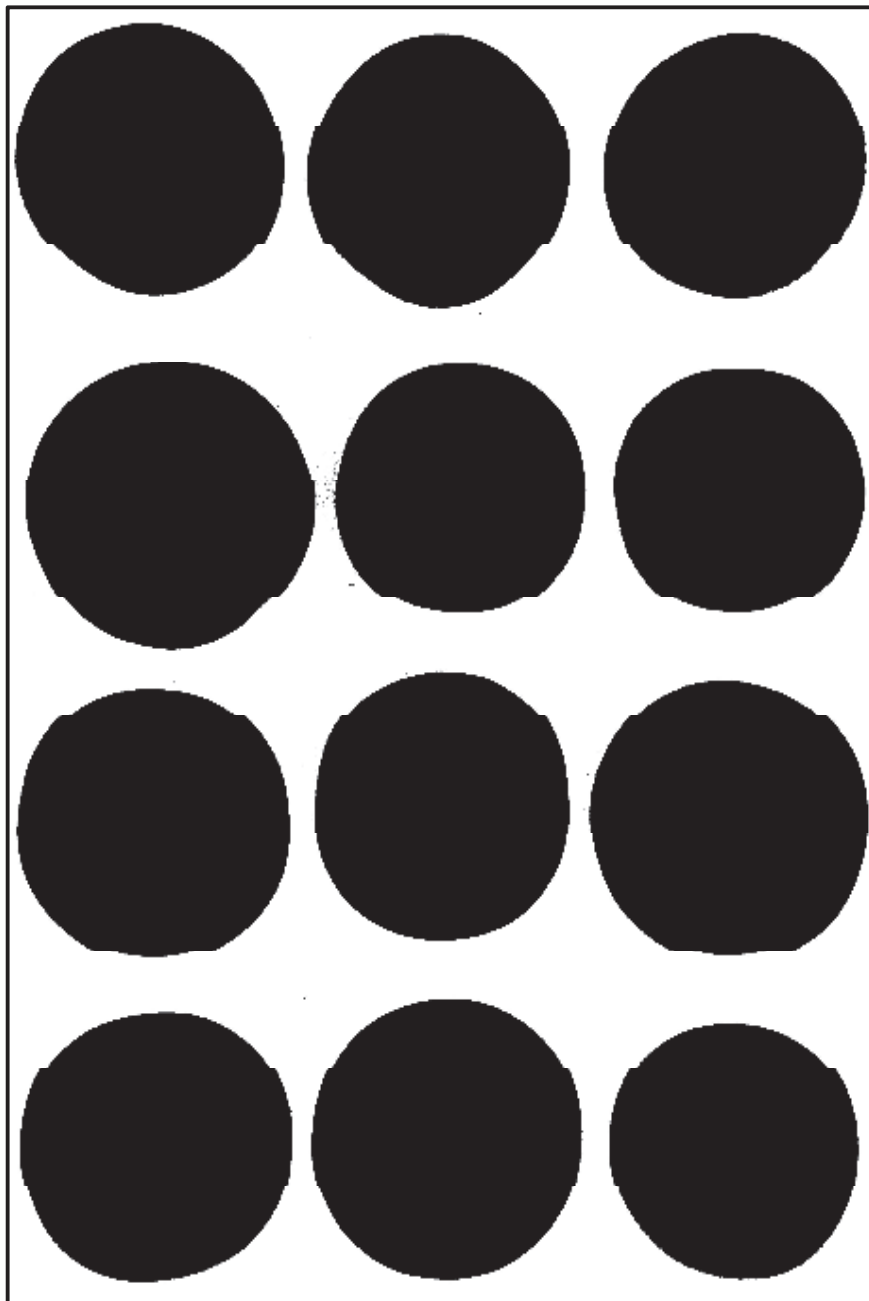


Figura 3.5 Imagen binarizada

### 3.2.5 DETECCIÓN DE CONTORNOS

La figura 3.6 muestra los contornos detectados a partir de la imagen binarizada de la figura 3.5

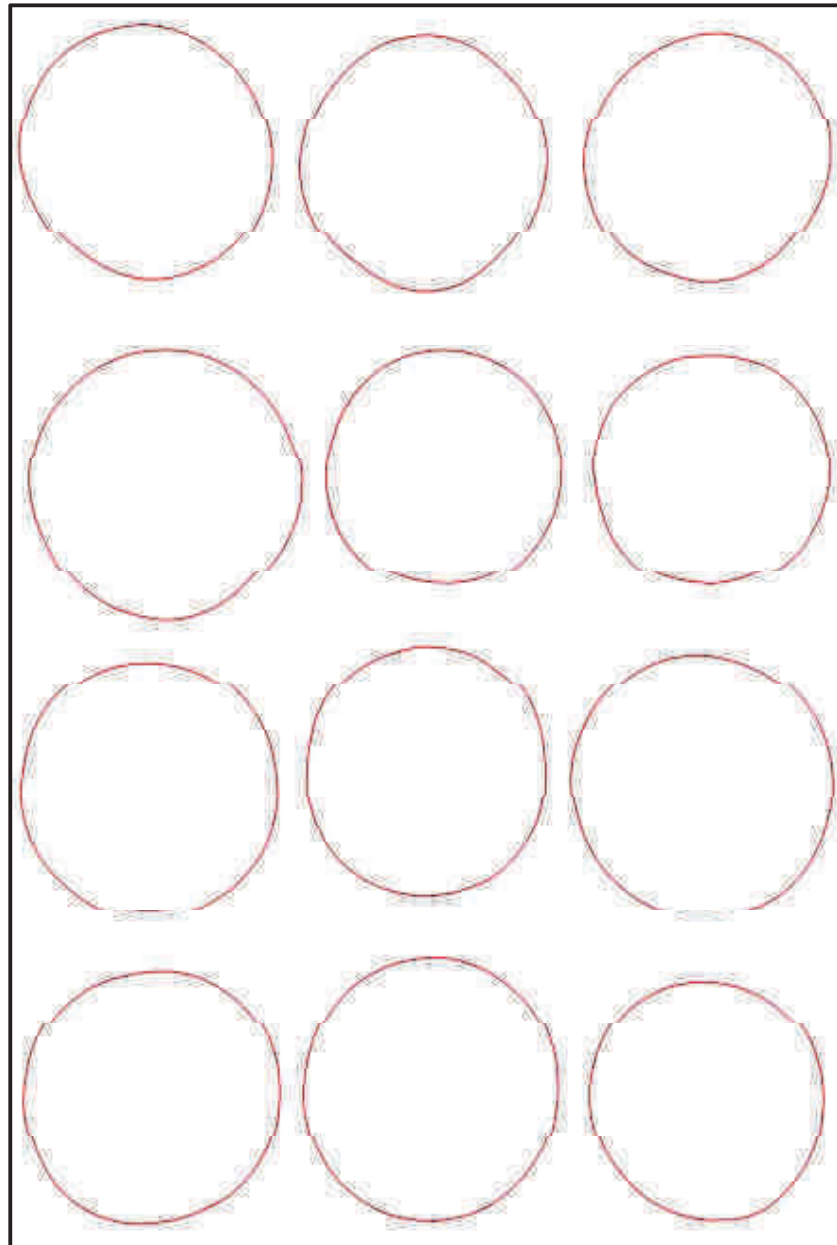


Figura 3.6 Imagen con detección de contornos

### 3.2.6 ETIQUETADO DE LA IMAGEN

La figura 3.7 muestra los frutos segmentados, etiquetados, y con bounding box.

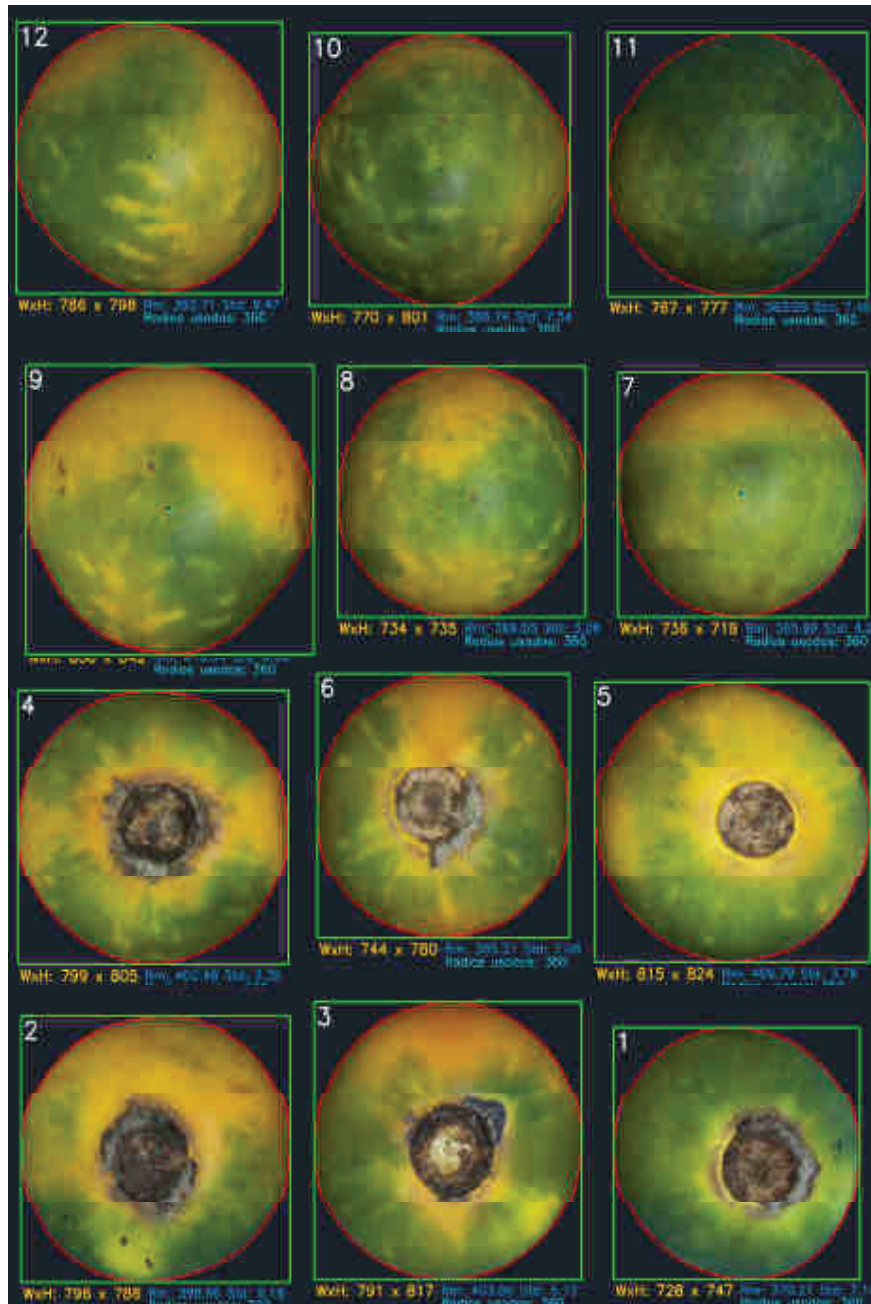


Figura 3.7 Imagen etiquetada mostrando contornos, bounding box y datos de tamaño

### 3.2.7 DETERMINACIÓN DEL CENTROIDE

La figura 3.8 muestra los frutos 7,8 y 9 en los que se les ha encontrado el centroide y dibujado 360 radios para poder calcular un radio promedio para cada fruto.

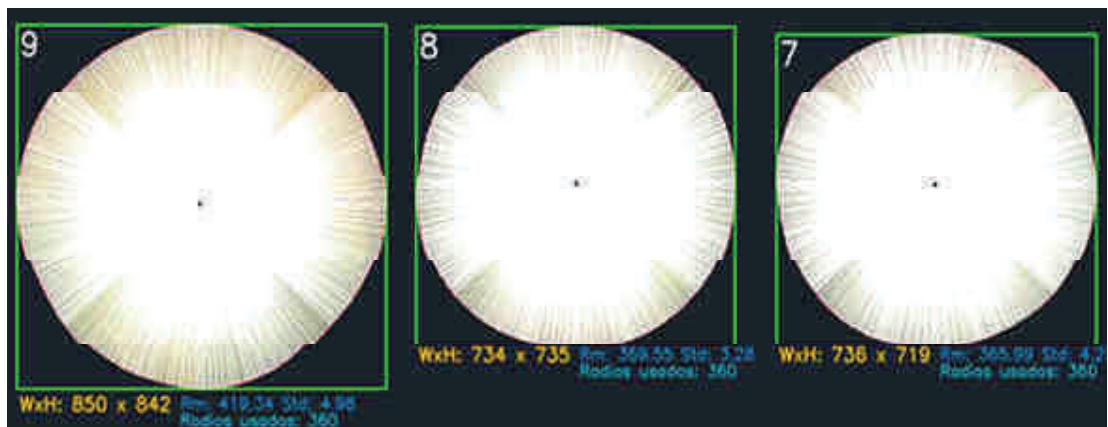


Figura 3.8 Imagen con centroides y radios (de color blanco) dibujados

### 3.3 ANALISIS DE IMÁGENES DEL PROCESO DE MADURACIÓN DEL FRUTO DE LULO

En el presente estudio se hace análisis del color y del tamaño en las imágenes de los frutos del lulo utilizados en el seguimiento al proceso de maduración durante 25 días. La *figura 3 10*. Muestra las imágenes del seguimiento de maduración de tres frutos durante los 25 días.

Para realizar el análisis de las imágenes y obtener información sobre el proceso de maduración era necesario conocer la posición y características particulares de cada imagen de lulo. Para ello, se *etiqueta* y encuentra el *bounding box* como se mostró en *La figura 3.7*. La figura 3.9 muestra el etiquetado y contornos de los frutos 7,8 y 9 en los días 1 y 25.

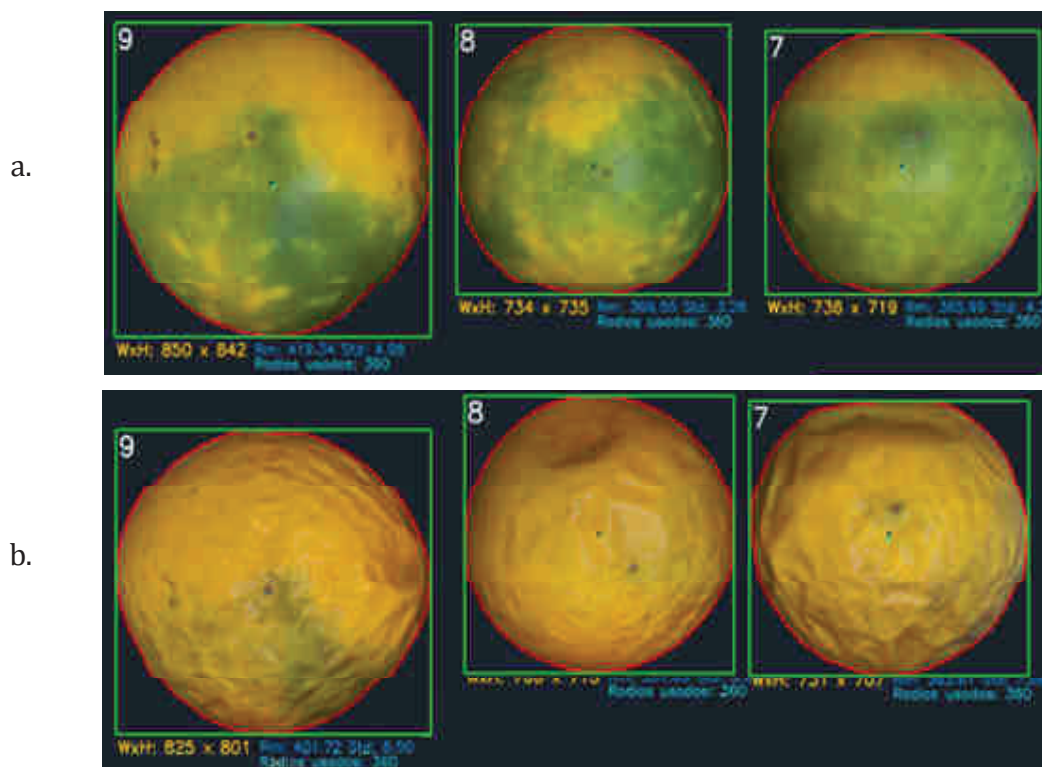
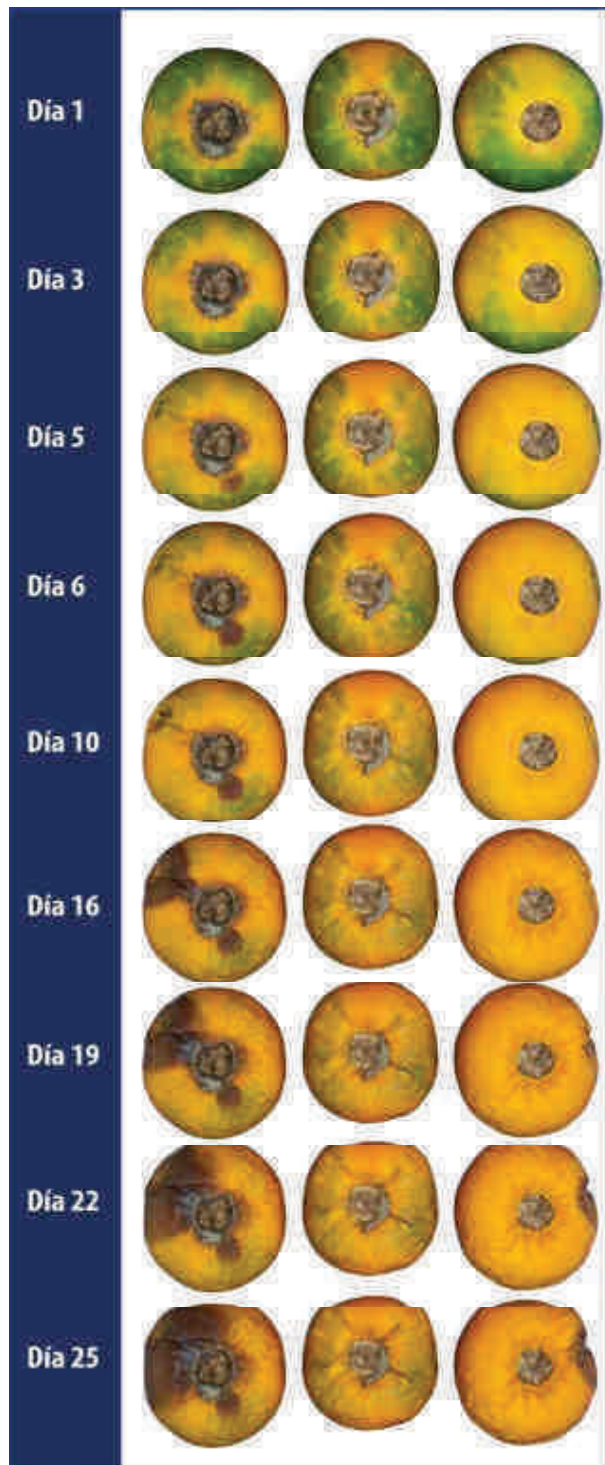


Figura 3.9 Muestra etiqueta, contorno y bounding box de los frutos 7,8 y 9. Día 1 y b. Día 25

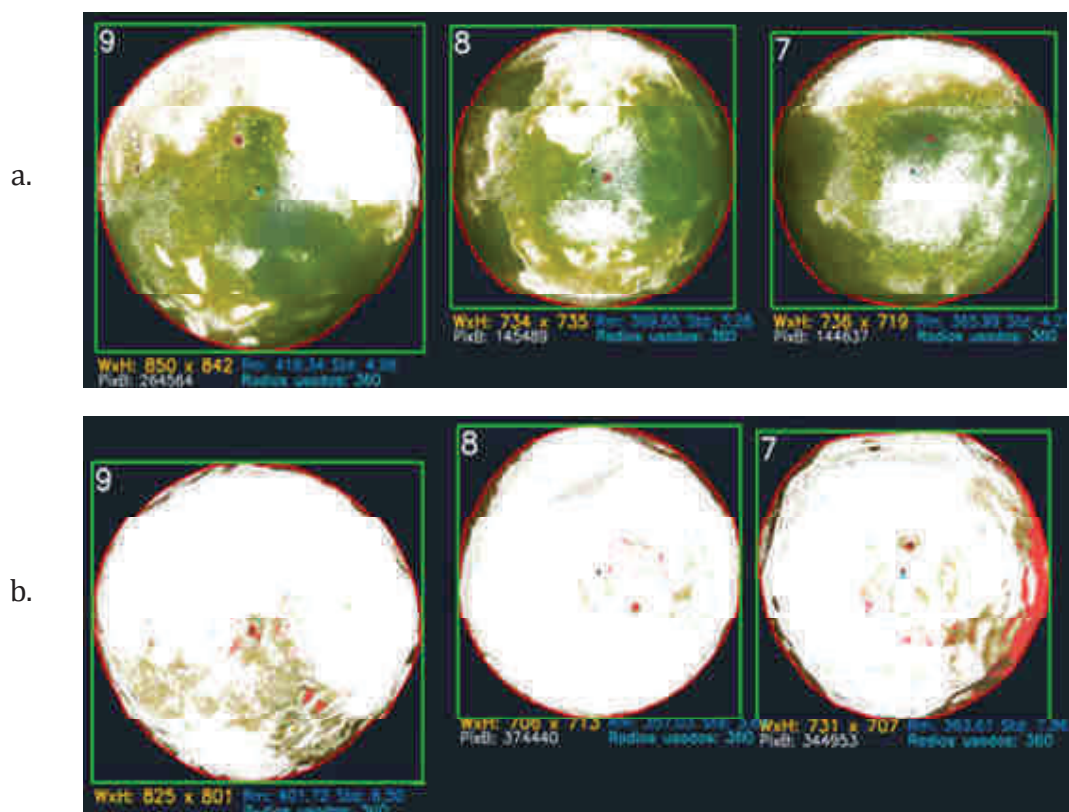


**Figura 3.10** Imágenes de frutos de lulo. Muestra el seguimiento a los lulos 4,5 y 6 durante 25 días



### 3.3.1 EL COLOR DEL FRUTO EN DE MADURACIÓN

Después de la conversión de la imagen digital al espacio HSV e identificar el *amarillo* en el rango de la tonalidad del HSV, se recorre cada una de las imágenes para buscar la posición de píxeles en el rango del amarillo como se indicó en el anterior capítulo. Se obtiene los siguientes resultados que se pueden observar en las *figura 3.11*. El fondo oscuro es intencional para que el programa pudiera cuantificar solo los píxeles del blanco en la imagen de cada fruto. Puede compararse con las imágenes que se presentan en la *figura 3.9* Los resultados para los 12 lulos se muestran en la *figura 3.12*



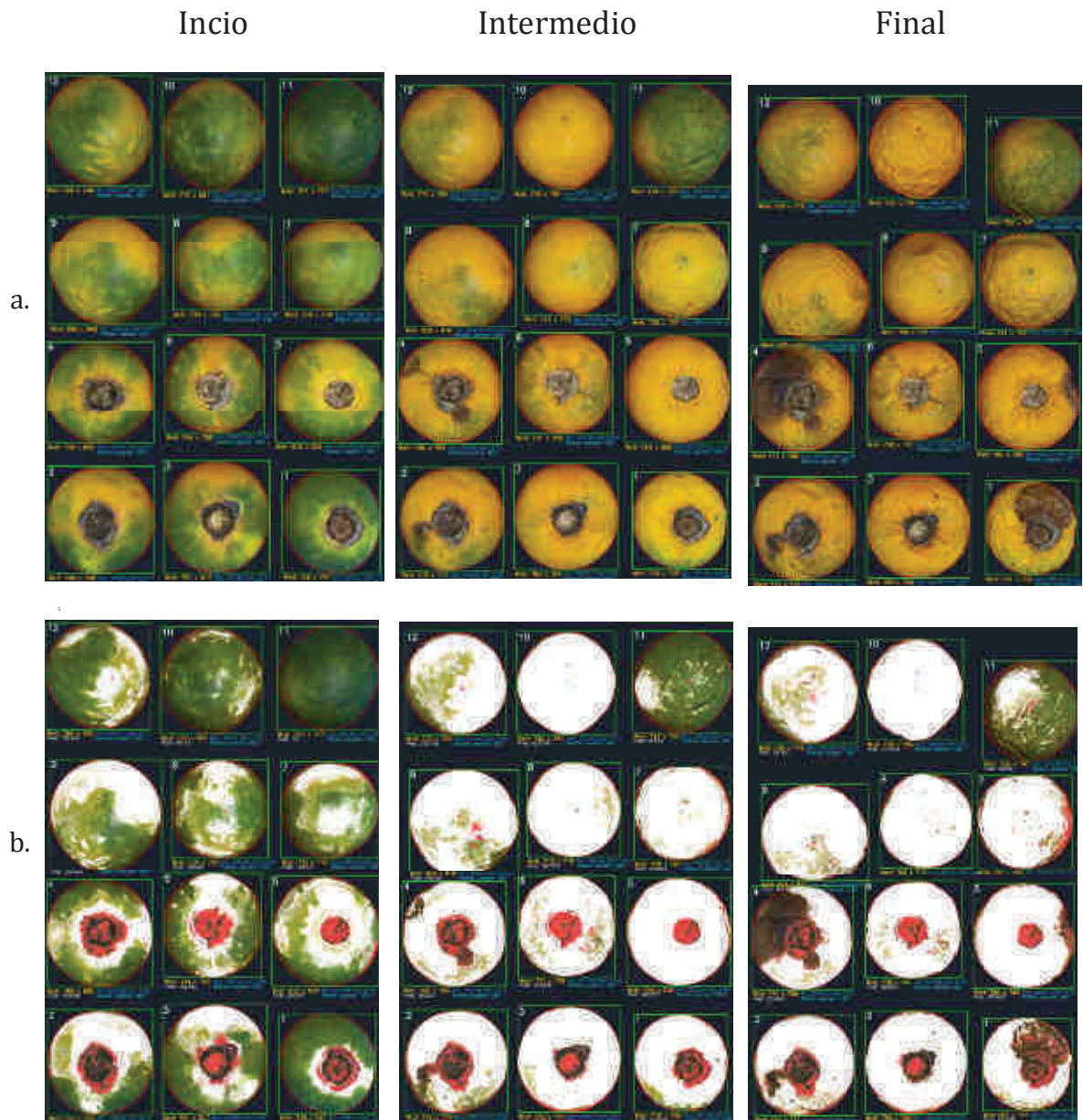
**Figura 3.11.** Imagen con píxeles blancos en posición del color amarillo de maduración del fruto. Se destaca el aumento de píxeles del día 1 al día 25. a. Día 1 y b. Día 25

Como se puede observar la *figura 3.11* muestra la imagen de los lulos en el día de inicio de la experiencia, día 1 y en el final, día 25. Puede notarse como se ha remplazado completamente el color verde por los pixeles blancos; indicando que hubo un aumento en el color amarillo de maduración del fruto. La *figura 3.12* deja ver lo acontecido en tres momentos seleccionados para mejor comprensión: inicial, intermedia y final; lo que equivaldría a decir lo que comúnmente se conoce como verde, pintón y maduro. Puede notarse en la *figura 3.12* parte a. la cantidad de color verde y en la parte b. como ha sido remplazado por pixeles blancos casi en su totalidad. Puede verse también que algunos frutos empiezan a deteriorar su forma.

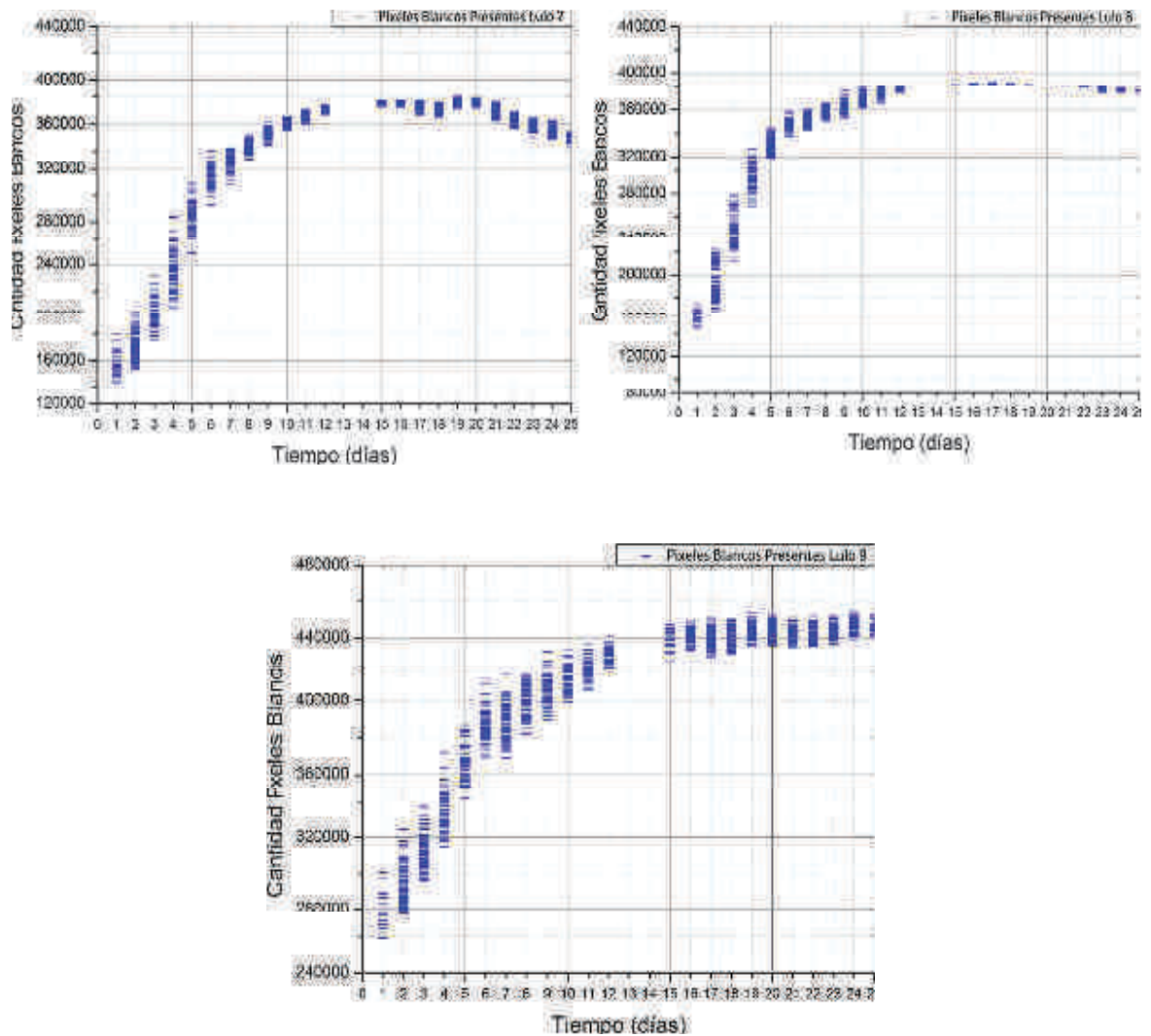
El análisis de imágenes deja ver que acontecen cambios en las tonalidades de color durante la observación en la maduración; variaciones que pasan por las tonalidades del color verde contexto del espacio de color HSV; se observan varios matices del verde pasando por el amarillo hasta llegar al color naranja, sin llegar al rojo para el caso del lulo. Es decir las imágenes muestran que el color verde se pierde al avanzar la maduración del fruto y aparece los tonos o matices del amarillo

Las gráficas de la *figura 3.13* muestran los resultados obtenidos del procesamiento de las imágenes en las cuales se observa el aumento de los pixeles blancos en la medida que avanza el proceso de maduración. Puede verse como los cambios de color se dan drásticamente en los primeros días (entre el día 1 y el día 7) de ahí el incremento en número de pixeles blancos tiende a estabilizarse en un solo valor.





**Figura 3.12** Imagen que muestra los cambios drásticos en el color en los frutos entre los días 1, 13 y día 25 respectivamente. Imágenes con su amarillo original, b. Imágenes con pixeles blancos que remplazan el amarillo de maduración



**Figura 3.13** Gráficas que representan el aumento de los pixeles blancos, indicadores del amarillo de maduración. Se muestra para los lulos 7, 8 y 9

### 3.3.3 EL TAMAÑO DEL FRUTO EN MADURACIÓN

La aplicación de los procedimientos para *determinación del radio*, mediante la medición de pixeles de los radios de cada fruto muestra, según las imágenes obtenidas, que los frutos disminuyen su tamaño al transcurrir el proceso de maduración. En la *figura 3.14* puede notarse como ha variado la longitud del radio

promedio (rm) en cada caso. Las imágenes: a) corresponden a los frutos en el día 1, b) en el día 13 y las del c) corresponden a las imágenes de los frutos del día 25.

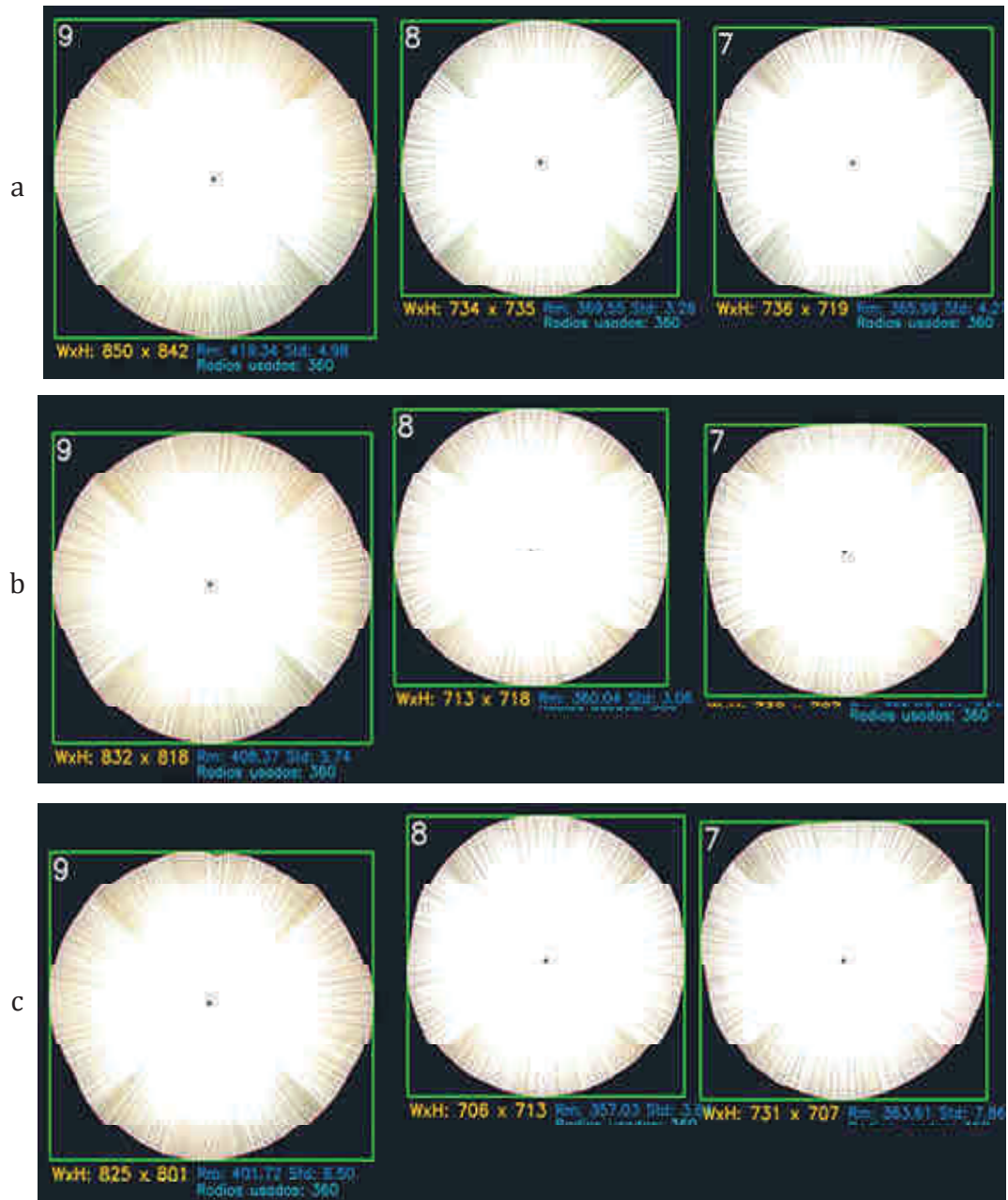


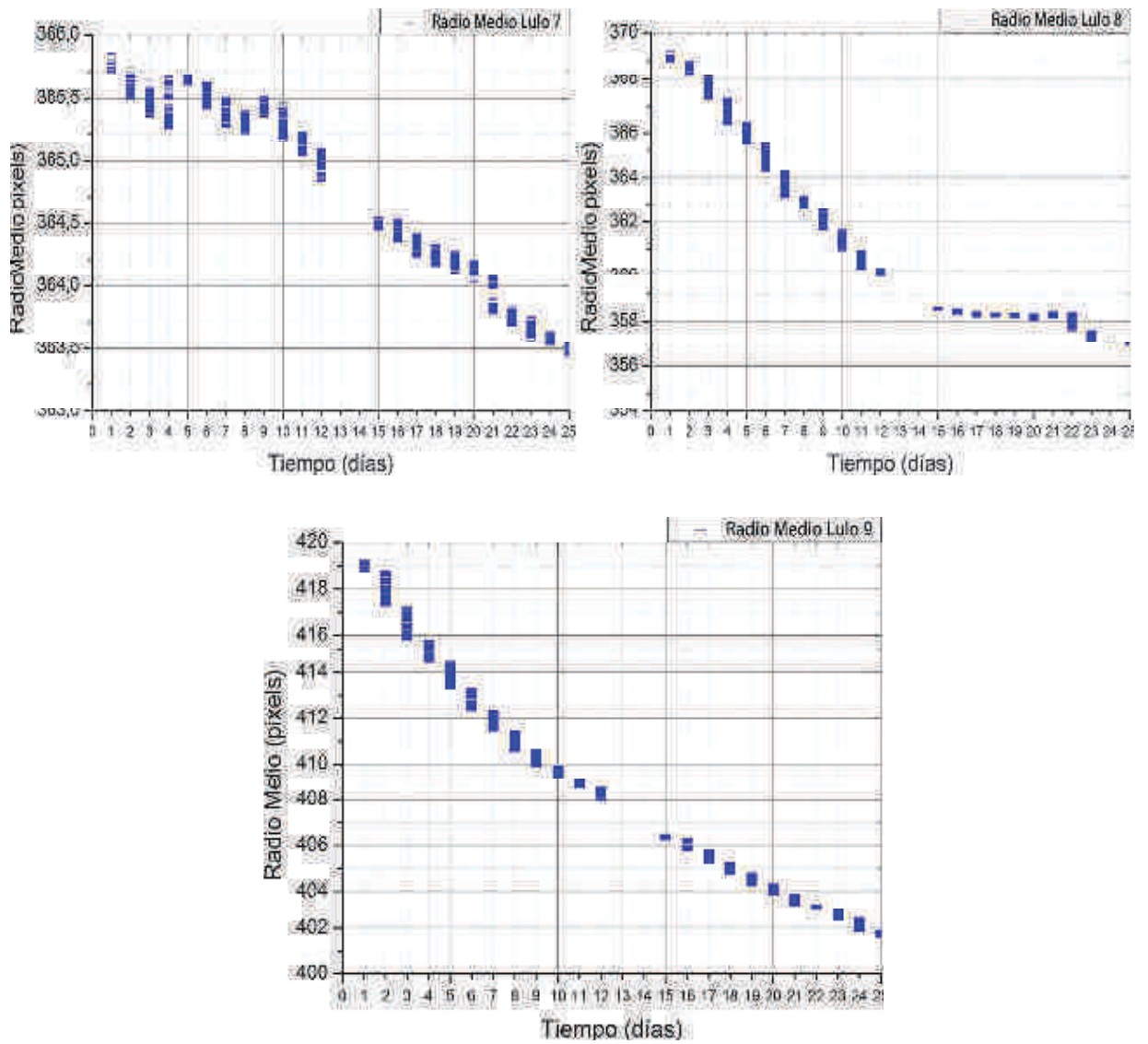
Figura 3.14 Imágenes con los radios dibujados en cada lulo (360 radios por lulo) en: a) día 1, b) día 13 y c) día 25

En las presentes imágenes como puede comprobarse es notorio el cambio en cuanto a la dimensión del tamaño de los lulos acontecida entre los días 1 y 25. Como puede leerse en el lulo 9 del día 1 presenta unas dimensiones de ancho (w) 850 y largo (H) 842 pixeles y un radio medio de 419.34 pixeles en comparación con el lulo 9 del día 25 que presenta las siguientes dimensiones de ancho (w) 825 y largo (H) 801 y un radio medio de 401.72 pixeles. Resultando así una diferencia significativa de 25 pixeles en ancho, 41 en largo y 17.65 en el radio medio.

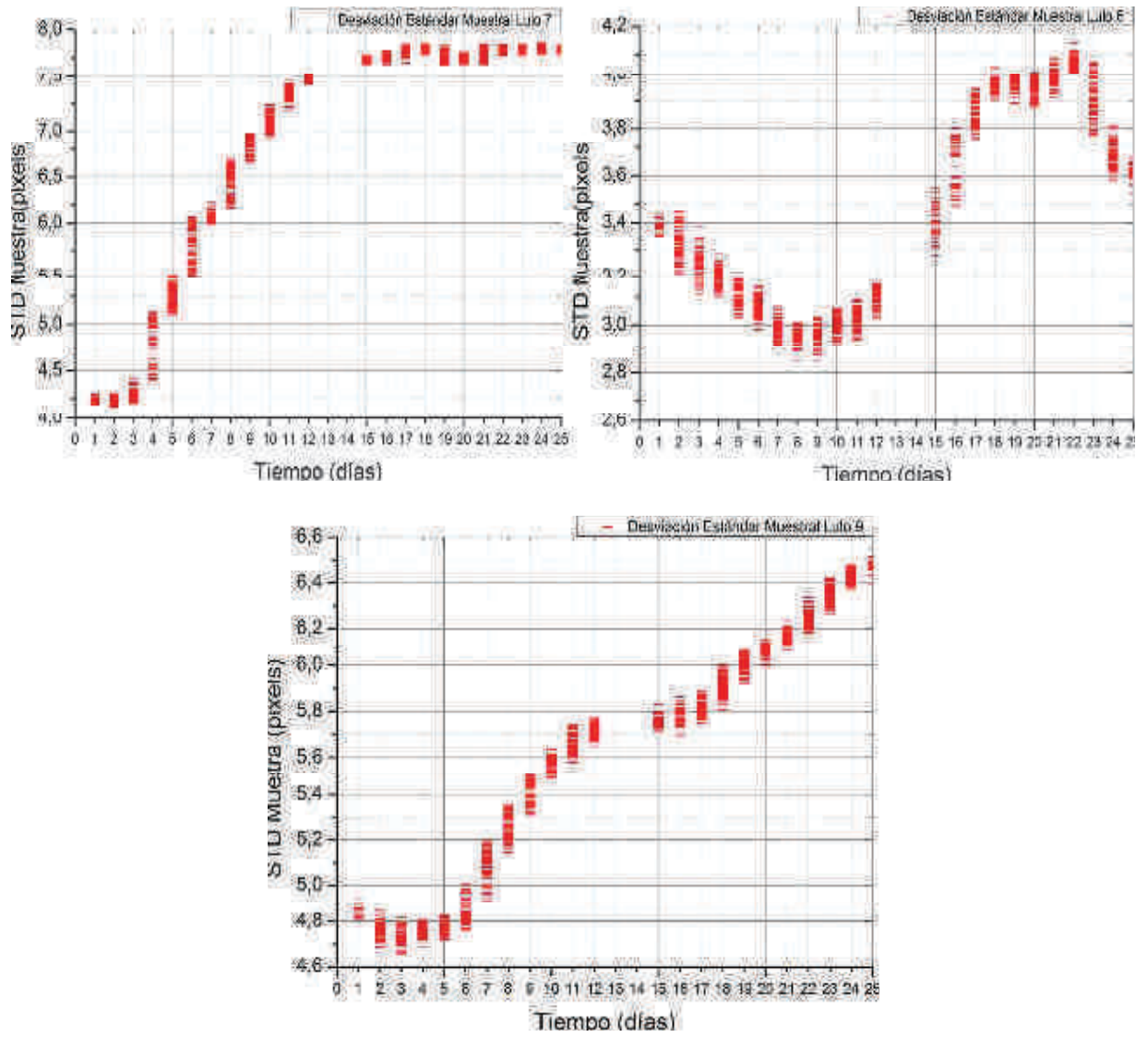
Como puede verse las gráficas de la *figura 3.15* muestran que hay disminución de tamaño de los lulos 7, 8 y 9. Para los lulos 8 y 9 la disminución del radio es mayor en los primeros días (entre el día 1 y el día 8), posteriormente la pérdida es lenta y tiende a ser constante. Para el lulo 7 los cambios de tamaño, según la gráfica, no reflejan una tendencia de mayor disminución en los primeros días sino que al contrario fluctúa en el transcurso del tiempo, esto es debido a que ocurren variaciones de forma (dejando de ser redondo el lulo) por lo tanto el radio promedio variará en cada toma de medidas.

3.3.3.1 *Análisis de la desviación de estándar.* Los resultados obtenidos de la desviación estándar muestral aplicada a los promedios de los radios muestran incrementos en sus valores; lo que se infiere que el fruto de lulo al avanzar su proceso de maduración e iniciar la senescencia pierde notoriamente su forma; lo que se refleja en arrugas y pliegues; afectando por consiguiente su tamaño. La *figura 3.16* muestra dicho acontecimiento.





**Figura 3.15** Gráficas que representan la disminución del radio medio del lulo. Se muestra para los lulos 7, 8 y 9



**Figura 3.16** Gráficas que representan la variación de la desviación estándar. Se muestra para los lulos 7, 8 y 9

## **4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS DE IMÁGENES MEDIANTE TRIANGULACIÓN METODOLÓGICA**

#### **4.1.1 SOBRE LA TRIANGULACIÓN METODOLÓGICA.**

Se considera para el presente estudio la triangulación metodológica como una estrategia de análisis que permite confrontar los resultados de un estudio con otros resultados, métodos o conceptos teóricos de otras disciplinas. Es la estrategia que permite el diálogo entre datos y conceptos, entre datos y saberes para enriquecer conclusiones. El término triangulación se toma de la experiencia de los navegantes que utilizaban varios puntos de referencia para analizar su posición; de tal forma que en la investigación se toma para analizar resultados desde varios referentes. Mariño define la triangulación como un proceso de contraste entre las técnicas de investigación que permiten comparar y completar los resultados de cada una de ellas sobre un objeto de estudio común, con el objetivo de perfeccionar la validez y la fiabilidad del estudio (Mariño, 2006)

La triangulación metodológica es una técnica que se aplica para validar estudios en las ciencias sociales; pero dada su forma de relacionar métodos y conceptos para validar resultados, se considera conveniente aplicarla para el presente estudio para validar los resultados de la aplicación de los métodos de visión por computador con los siguientes tres referentes; podría considerarse una innovación:

- Resultados obtenidos del análisis de imágenes

- Resultados obtenidos mediante análisis químico del fruto de lulo
- Conceptos teóricos sobre la fisiología de maduración del fruto

Referentes que permitirán comprender y explicar con más claridad los cambios en la variación de color y tamaño del fruto de lulo en el proceso de maduración.

#### 4.1.2 DE LA VARIACIÓN DEL COLOR

Los resultados de la aplicación de los métodos de visión por computador y las imágenes del fruto de lulo procesadas dejan ver que acontecen cambios en las tonalidades de color durante la maduración; variaciones que pasan de las tonalidades del color verde hacía el color amarillo, esto en el contexto del espacio de color HSV; se observan varios matices del verde pasando por el amarillo hasta llegar al color naranja, sin llegar al rojo para el caso del lulo. Lo cual puede comprenderse al observar las curvas graficadas de la variación del número de pixeles del color blanco y el tiempo de maduración. La *figura 3.17* muestra la curva para el *lulo 2*, en la que se observa que el número de pixeles blancos va aumentando con el paso de los días, es decir con la maduración del fruto. Es de anotar que los pixeles blancos indican para el caso, el color amarillo correspondiente a la madurez del fruto. Así confrontando con lo analizado en las curvas de las gráficas de *figura 3.13* puede entenderse que el incremento de los pixeles blancos, disminución de tonalidades, acontece de manera rápida en los primeros días de observación.



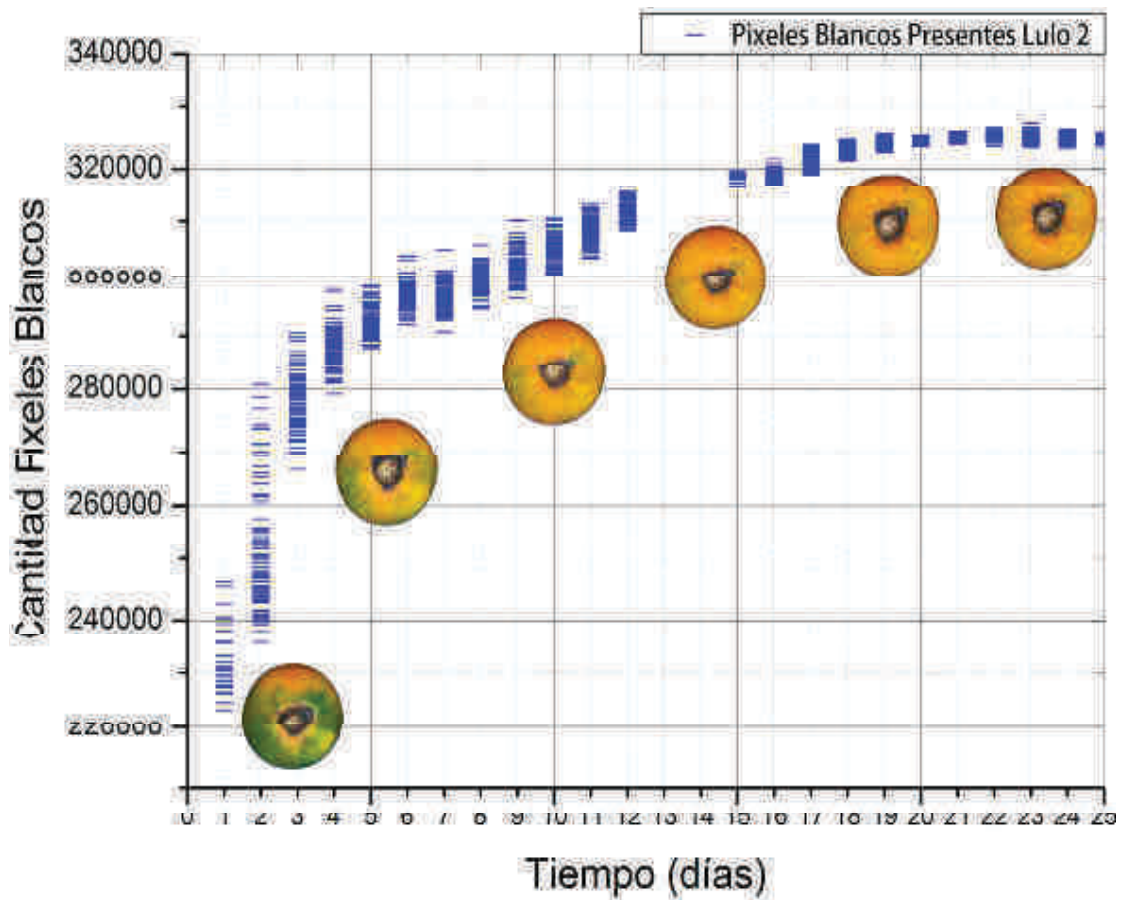


Figura 3.17 Relación de píxeles blancos y estados de maduración del fruto, Lulo 2

#### 4.1.2.1 Determinación de clorofilas.

La variación en la presencia de clorofilas en el epicarpio se va reflejando en el cambio de color del fruto y se puede visualizar. Para cuantificar la presencia de clorofilas se utiliza como muestra para el análisis químico al epicarpio porque contiene altas contenidos de clorofilas. La tabla 4.1 muestra los datos experimentales, donde la lectura en el espectrofotómetro a 645 y 663 nm que corresponden a las *clorofila a* y *clorofila b* respectivamente. La tabla 4.1 muestra los contenidos de *clorofila a* y *clorofila b* en base húmeda y la tabla 4.2 en base seca.

En tal sentido, para determinar la variación del color en relación con la presencia de clorofila; la clorofila es la molécula responsable del color verde en las plantas. Para determinar su presencia se toman frutos de lulo en tres estadios de maduración, verde, pintón y maduro

**Tabla 4. 1.** Datos experimentales en la cuantificación de *clorofila a* y *clorofila b*

Muestra	Peso muestra (g)	Volumen de aforo (ml)	Lectura espectrofotómetro (abs) 645 nm	Lectura espectrofotómetro (abs) 663 nm
VERDE	1,0173	50	0,041	0,043
PINTON	1,0131	50	0,029	0,061
MADURO	5,0085	50	0,089	0,184

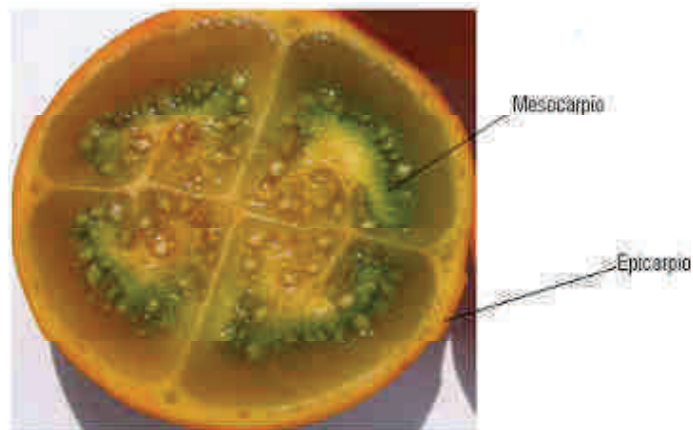
**Tabla 4.2** Contenido de *clorofila a* y *clorofila b* en diferentes estados de maduración.

Muestra	Contenido clorofila a g clorofila/g lulo bh	Contenido clorofila b g clorofila /g lulo bh	Contenido clorofila a + b g clorofila /g lulo bh
VERDE	0,021	0,036	0,058
PINTON	0,034	0,019	0,053
MADURO	0,021	0,012	0,033

Los resultados de determinación de clorofila muestran que el fruto en estado inmaduro conocido como verde, por su color, tiene más concentración de clorofila que el pintón y el maduro. Ver figura 4. 1.



**Figura 4.1** Imagen que muestra el color del fruto en tres estadios de maduración



**Figura 4.2** Partes del fruto utilizados en los análisis químicos

Los conceptos de fisiología vegetal citados en el capítulo de referentes de la investigación ilustran que en el proceso de maduración acontecen cambios de color en los frutos como resultado de un proceso bioquímico interno propio de la maduración de la mayoría de los frutos. Cambio de color causado por la degradación de algunos pigmentos y el aumento en concentración por síntesis y acumulación de otros.

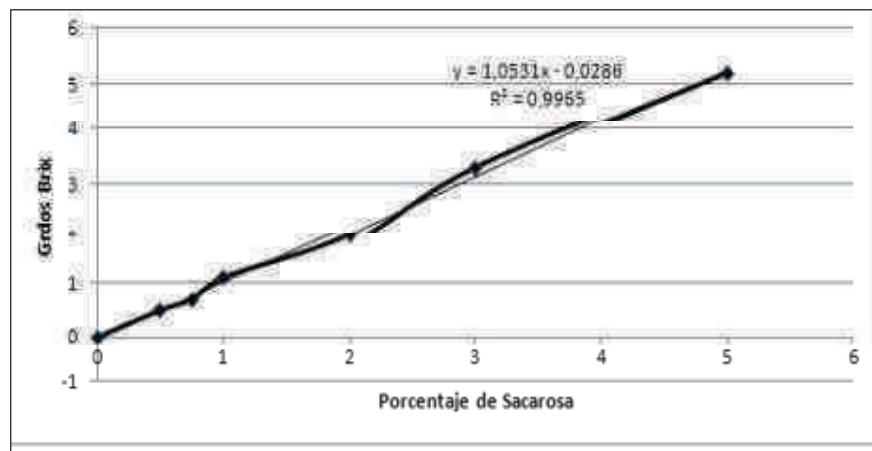
En el caso del fruto de lulo, el pigmento que se degrada es la clorofila y el pigmento que se sintetiza y aumenta en concentración es el caroteno, responsable del color amarillo-naranja del fruto; el azúcar es la molécula que aumenta en la medida que madura el fruto, y se comprueba con el análisis químico presentado para determinar el contenido de azúcar en frutos de lulo en tres momentos de maduración<sup>8</sup>, ver *tabla 4.3* y *Figura 4.3*

**Tabla 4.3.** Contenido de sacarosa en los estados de maduración del lulo

Muestra	Lectura refract	Conc. Diluida g sac./100 ml	Peso muest en 50 ml	Concentración G sac/g luloBH	Concentración G sac/g lulo bs	% sac BH	% sac BS
Verde	0,6	0,577	0,29	0,06	0,613	5,77	61,26
Pintón	0,9	0,863	0,43	0,09	0,644	8,63	64,43
Maduro	1,1	1,054	0,53	0,11	0,690	10,54	69,04

---

<sup>8</sup> El material obtenido se aforó hasta 50 mL en un matraz volumétrico y se realizó la medición de los sólidos disueltos en grados Brix con la ayuda de un refractómetro. El grado Brix es la medida de una sustancia soluble seca en un líquido que arroja un valor aproximado del contenido de azúcar; y se expresa en grado brix, <sup>o</sup>Brix. A través de esta medida se puede obtener indirectamente un valor objetivo de madurez de la fruto



**Figura 4. 3** Curva de calibración de sacarosa

Realizando la triangulación se puede afirmar que los datos obtenidos mediante la aplicación de los métodos son coherentes con los datos obtenidos del análisis químico y con los elementos teóricos de la fisiología vegetal propia de la maduración de los frutos. En conclusión los resultados muestran que evidentemente hay degradación de clorofila, aumento de carotenos y glucosa al avanzar el proceso de maduración.

La actividad fisiológica de maduración varía entre los frutos y está regulada por diversos mecanismos, hormonas y condiciones climáticas (Joaquín & Talon, 2001).

#### 4.1.3 DE LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DEL FRUTO.

La medición de pixeles de los radios de cada fruto de lulo en el análisis de las imágenes obtenidas con los radios promedios muestran que los frutos al avanzar la maduración disminuyen de tamaño. La *figura 4.4* muestra la variación del radio de un lulo (*lulo 2*) en las 96 tomas diarias durante los 25 días de seguimiento al proceso de maduración. En la figura puede verse en líneas cortas de color azul la variación de los radios de las imágenes del fruto durante los 25 días; es notoria la disminución rápida de tamaño de los radios durante los 4 primeros días del seguimiento que puede verse en la caída de la curva

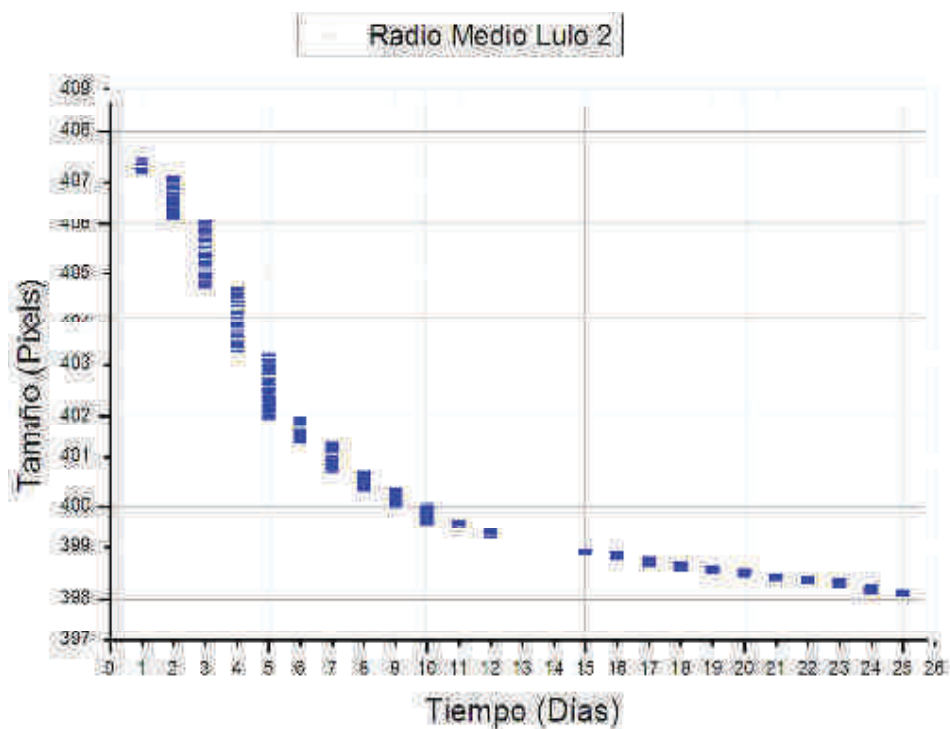


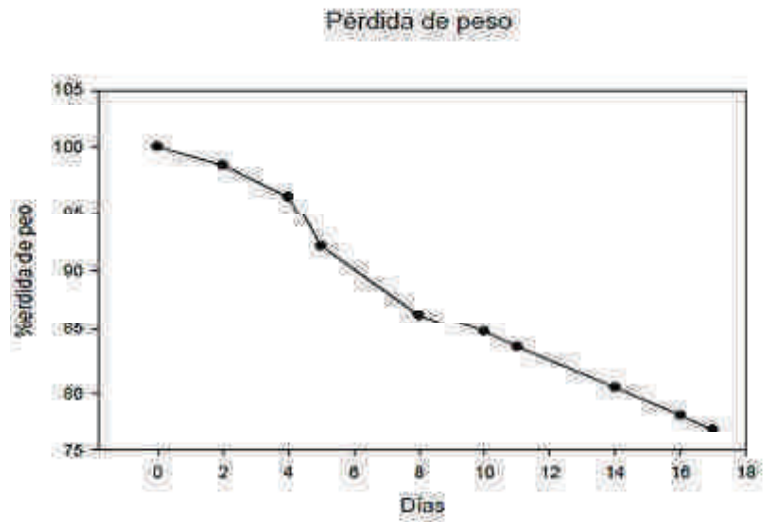
Figura 4.4 Variación del radio en fruto en las 96 tomas diarias durante los 25 días

Al respecto, la fisiología vegetal explica que los frutos al culminar su maduración empiezan a desencadenar procesos de senescencia que aumentan su actividad enzimática, lo que implica aumentar su tasa respiratoria. Dicha situación contribuye a la pérdida de peso del fruto debida a la oxidación de la glucosa con la liberación de CO<sub>2</sub>; pérdida de peso que afecta el tamaño del fruto por un lado; por otro, la pérdida rápida de agua debida a la retiro del fruto de la planta que contribuye también a la disminución del tamaño.

Para confrontar tales resultados y acontecimientos se determina el porcentaje de humedad en los tres estadios de maduración del fruto, como puede verse en *la tabla 4.4*. Encontrándose que hay mayor cantidad de agua en los frutos verdes que en los maduros; al aplicar los principios físicos de la densidad del agua, puede relacionarse pérdida de tamaño con pérdida de peso; lo cual puede confrontarse con la curva que muestra la *figura 4.5*.

**Tabla 4.4.** Porcentajes de Humedad y materia seca en diferentes estados de maduración del lulo

<b>Muestra</b>	<b>Peso agua (g)</b>	<b>% Humedad</b>	<b>% promedio</b>	<b>% materia seca</b>
Verde	9,0689	90,56		
Verde	9,0728	90,60	90,58	9,42
Pintón	8,6959	86,87		
Pintón	8,6566	86,33	86,60	13,40
Maduro	8,5374	84,54		
Maduro	8,5516	84,92	84,73	15,27



**Figura 4.5** Curva que relaciona la pérdida de peso del lulo en el transcurso de los días

Fuente: (Agudelo & Alarcon S., 2009)

Como puede verse en las figuras anteriores la pérdida de tamaño del fruto es mayor y rápida en los primeros días; luego se observa que la pérdida es lenta.

En tal sentido, y triangulando la información, figuras y tablas puede decirse que los resultados obtenidos en la aplicación de las técnicas de visión por computador y el procesamiento de imágenes son coherentes



## 5 CONCLUSIONES

Según el análisis de imágenes realizado al seguimiento del proceso de maduración del fruto de *Solanum sp* y la validación de los resultados se puede concluir que:

1. La validación muestra que evidentemente los acontecimientos encontrados en el análisis de imágenes en cuanto al cambio de color y del tamaño del fruto son cambios fisiológicos naturales que se reflejan como consecuencia de cambios bioquímicos internos dados en la maduración.
2. La desviación estándar muestral permitió estimar que el fruto de lulo en el proceso de maduración afecta su forma reflejada en el tamaño.
3. La triangulación permitió explicar que los cambios en cuanto a color, tamaño y forma acontecen de manera rápida los primeros cinco días dados por los procesos metabólicos internos propios de la maduración.
4. Del estudio se puede deducir la importancia que tiene la utilización de los métodos de visión de computador y análisis de imágenes en la valoración del estado de madurez de un fruto, por cuanto permite conocer el momento crucial entre el fin de la madurez y el inicio de la senescencia del fruto. Información necesaria para evitar fracasos de frutos y deterioro del producto; datos que puede utilizar el cosechador o comercializador para salir ofertar el producto en el momento adecuado.

5. La aplicación de los métodos y de las técnicas de análisis de imágenes es una forma de producir conocimiento a través de imágenes y aportar al conocimiento científico.
6. El montaje experimental para la captura de imágenes cada 15 minutos fue importante y decisiva para que se pudiesen notar cambios significativos en cuanto a color, tamaño, forma entre otras.
7. Los frutos al crecer y madurar sufren cambios físicos y químicos que se reflejan en sus características físicas y propiedades químicas; esos cambios son el resultado de procesos bioquímicos que acontecen en las células de los tejidos del fruto en el proceso de maduración; y son los responsables del sabor, color, olor, y textura; que determinan sus propiedades organolépticas importantes para la selección de los frutos para cosechar, vender, consumir, fermentar, elaborar conservas, entre otras.
8. El aporte de este estudio, desde el campo de la Ingeniería Física es importante por cuanto contribuye a brindar información para la solución de problemas relacionados con fenómenos de la naturaleza. Los datos pueden utilizarse para estudios que pretendan realizar reconocimiento de patrones gráficos y aplicar técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Oscar, P. A. (Año 2009). <http://www.alanrevista.org>. (S. L. Nutrición, Productor, & Sociedad Latinoamericana de Nutrición) Recuperado el 06 de 02 de 2012, de [http://www.alanrevista.org/ediciones/2009-1/chemical\\_characterization\\_antioxidant\\_volatiles\\_constituents\\_naranjilla\\_solanum\\_quitoense\\_costa\\_rica.asp](http://www.alanrevista.org/ediciones/2009-1/chemical_characterization_antioxidant_volatiles_constituents_naranjilla_solanum_quitoense_costa_rica.asp)
- ACOSTA, Ó. P. (marzo de 2009). Caracterización química, propiedades antioxidantes y constituyentes volátiles de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). *ALAN*, vol.59(1), p.88-94.
- Agudelo, M. A., & Alarcon S., D. C. (2009). *Monitoreo de la actividad enzimática de la xilanasa en el "lulillo" a Través de métodos bioquímicos comparados con imágenes de resonancia Magnética*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV*. Sebastopol: O'Reilly.
- De la Escalera, H. A. (2001). *Visión por Computador, fundamentos y métodos*. Madrid: Prentice Hall.
- Fory, P. A. (2006). *Caracterización y Análisis Molecular de la Diversidad Genética de la Colección Colombia de Lulo*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Gil, R. J. (2008). *Estado actual de la representación y análisis de la textura en imágenes*. Habana: CENATAV.
- Joaquín, A., & Talon, M. (2001). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Barcelona: McGraw-hill Interamericana.
- Marina, C. d. (2002). Estudio de una oferta de pulpa de lulo. *VITAE. Revista de la facultad de química farmacéutica, volumen 9* ( número 2), ISSN 0121-4004 Volumen 9 número 2, año 2002.
- Mariño, M. (2006). Desde el análisis de contenido hacia el análisis del discurso: la necesidad de la triangulación metodológica. *Congreso IBERCOM*. Sevilla.

- Maya Naranjo, C. (2001). *Desarrollo de un algoritmo para la caracterización y clasificación de granos de café empleando técnicas de visión artificial*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- MENDOZA, A. C., & ALARCÓN SIERRA, D. C. (2009). *Monitoreo de la actividad enzimática de la xilanasa en el "lulillo" a través de métodos bioquímicos comparados con imágenes de resonancia magnética (IRM)*. Pontificia Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Molleda, M. J. (2008). *Técnicas de visión por computador para reconstrucción en tiempo real de la forma 3D de productos laminados*. Gijón: Universidad de Oviedo.
- Mosquera M, J. C., Sepúlveda G, A., & Isaza B, C. A. (2007). Procesamiento de imágenes ópticas de frutos café en cereza por medio de filtros acusto-ópticos. (U. d. Norte, Ed.) *Ingeniería y desarrollo*(021), 11.
- Pastrana, M. E. (2000). El Manejo Post-Cosecha del Lulo (*Solanum quitoense*). En SENA, *Serie de paquetes de capacitación sobre manejo post-cosecha de frutas y hortalizas*. Armenia: SENA.
- Pierce, W. E. (4 de 09 de 2005). *Wikipedia*. Recuperado el 26 de 02 de 2012, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:HSV\\_cone.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:HSV_cone.jpg)
- Smith, A. R. (1978). Color Gamut Transform Pairs. *Computer Graphics* 12, 12-19.
- Suarez, B. A. (2009). *Análisis de métodos de procesamiento imágenes estereoscópicas forestales*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Tayrona. (s.f.). <http://tayrona.org>. Recuperado el 25 de Febrero de 2012, de [http://tayrona.org/colombia\\_parques](http://tayrona.org/colombia_parques):  
<http://tayrona.org/colombia%20parques/jardin%20botanico%20bogota/solanum.quitoense.lulo.1.jpg>