

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	CODIGO: AAAr113
	<b>PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO</b>	VERSION:1
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	PAGINA: 1 de 7

**FECHA** miércoles, 5 de julio de 2017

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
BIBLIOTECA  
Ciudad

<b>SEDE/SECCIONAL/EXTENSIÓN</b>	Sede Fusagasugá
<b>DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Electrónica

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>NO. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
BUITRAGO TRIANA	MIGUEL ANGEL	1069746424

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	CODIGO: AAAr113
	<b>PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO</b>	VERSION:1
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	PAGINA: 2 de 7

Director(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
ROA GUERRERO	EDGAR EDUARDO

TÍTULO DEL DOCUMENTO
DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA CLASIFICACIÓN DE HOJAS DE TABACO DURANTE EL PROCESO DE CURADO MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.

SUBTÍTULO
(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO ELECTRONICO

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS (Opcional)
29/06/2017	68

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS: (Usar como mínimo 6 descriptores)	
ESPAÑOL	INGLES
1.PROCESAMIENTO	PROSECUTION
2.IMAGENES	IMAGES
3.MATLAB	MATLAB
4.DIGITAL	DIGITAL
5.TABACO	TOBACCO
6.CURADO	CURED

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	CODIGO: AAAr113
	<b>PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO</b>	VERSION:1
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	PAGINA: 3 de 7

**RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLES: (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres):**

Hoy día en la mayoría de procesos agrícolas se hace necesario realizar un seguimiento constante a las variables que se presentan dentro de su proceso de producción. En el caso particular del cultivo de tabaco se cultivan alrededor de 13451 hectáreas semestralmente de las cuales se generan 26332 toneladas de tabaco, por ende es importante que sus hojas se encuentren en un nivel adecuado de maduración para poder realizar la cosecha de las mismas con la menor pérdida posible, una vez hecho esto, se procede con el proceso de curado con el fin de secar la hoja y continuar con la elaboración de un producto final.

El propósito de este trabajo es desarrollar una herramienta computacional capaz de clasificar las hojas de tabaco luego del proceso de curado, con el fin de identificar las características presentes para exportación de tabaco, a través de técnicas de procesamiento de imágenes. Este sistema constará de una cámara, una estructura para la adquisición de imágenes y un computador para realizar el debido procesamiento, lo cual contribuye al crecimiento de la producción, mejorando la calidad de cosechado de hojas de las hojas, mitigando los errores de selección por efectos visuales por parte del técnico y aumentando las ganancias para el agricultor.

**AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN**

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un alianza, son:

Marque con una "x":

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	CODIGO: AAAr113
	<b>PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO</b>	VERSION:1
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	PAGINA: 4 de 7

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)		SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la Biblioteca.	X		
2. La consulta física o electrónica según corresponda.	X		
3. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.			X
4. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.			X
5. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X		
6. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X		

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	CODIGO: AAAr113
	<b>PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO</b>	VERSION:1
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	PAGINA: 5 de 7

Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):


**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI  NO** . En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	CODIGO: AAAr113
	<b>PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO</b>	VERSION:1
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	PAGINA: 6 de 7

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional, cuyo texto completo se puede consultar en [biblioteca.unicundi.edu.co](http://biblioteca.unicundi.edu.co)

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons : Atribución- No comercial- Compartir Igual.

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	CODIGO: AAAr113
	<b>PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO</b>	VERSION:1
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	PAGINA: 7 de 7



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo incluida su Extensión (Ej. Título Trabajo de Grado o Documento.pdf)	Tipo de documento (e.j. Texto, imagen, video, etc.)
1.Proyecto Tabaco1.1.pdf	Texto

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA
BUITRAGO TRIANA MIGUEL ANGEL	



DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA  
CLASIFICACIÓN DE HOJAS DE TABACO DURANTE EL PROCESO DE  
CURADO MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

MIGUEL ANGEL BUITRAGO TRIANA

Universidad De Cundinamarca  
Ingeniería Electrónica  
Facultad De Ingeniería  
Fusagasugá  
2017





# DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA CLASIFICACIÓN DE HOJAS DE TABACO DURANTE EL PROCESO DE CURADO MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

MIGUEL ANGEL BUITRAGO TRIANA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

DIRECTOR:

MsC. Edgar Eduardo Roa Guerrero

Línea de Investigación:

Software, sistemas emergentes y nuevas tecnologías

Universidad De Cundinamarca  
Ingeniería Electrónica  
Facultad De Ingeniería  
Fusagasugá  
2017

## Dedicatoria

*Le dedico este triunfo a papa Dios y a mama maria que me ayudaron a salir adelante, a mi familia que siempre estuvo hay para apoyarme cuando más lo necesitaba a ti madre en especial porque siempre dejaste tus cosas de lado por brindarme un mejor futuro , darme fuerza y no dejarme caer, en especial tu madre mía que no te importo dejar tus comodidades por ayudarme a salir a ver tu hijo profesional lo logramos, a ti hija mía ya que mi carrera me ayudara a darte una mejor calidad de vida, por tu comprensión y amor que en momentos no pude estar con tigo por querer un furo para ti y siempre me recibes con esa sonrisa y abrazo que me llenan de amor por ti , a mis amigos, compañeros, profesores, a mi novia que me ayudo cuando necesite de ella, a mi gran amigo Luis molina que sin su ayuda y esfuerzo nunca dejo de luchar porque que este proyecto saliera adelante, a las personas que no se dieron cuenta pero que de una u otra forma ayudaron a que este sueño o meta se cumpliera.*

*Gracias.*

## Agradecimientos

*En primer lugar, a Dios y la virgen maría quienes me han guiado y me han dado fuerzas para culminar mi carrera profesional, que han puesto en mi camino a grandes personas, docentes y amigos.*

*A mi familia que con gran esfuerzo y dedicación pudimos sacar mi carrera profesional adelante, con dificultades, alegrías y con un empeño inmenso.*

*A mi gran amigo y colaborador Luis molina santana quien fue un compañero dedicado y gracias a su apoyo directa e indirectamente pudimos sacar este proyecto adelante.*

*A ti mi princesa que con este triunfo logrado mejorar tu calidad de vida te amo hija mía y aunque no podemos estar juntos cada momento compartido son únicos e inigualables.*

*A ti amor que ayudaste de manera indirecta con comprensión y amor, y muchas veces de manera directa con tiempo que no compartimos pero entendías que era por mi futuro.*

*Al ingeniero Edgar roa quien a pesar de los problemas de logística que no tuvimos en cuenta siempre nos apoyó con su ánimo, alegría y sobre todo con su conocimiento se logró la meta a alcanzar.*

*A mi amigo camilo prieto que con sus consejos y su amistad me enseñó a ver el futuro más allá de lo que se pueda imaginar.*

## Resumen

Hoy día en la mayoría de procesos agrícolas se hace necesario realizar un seguimiento constante a las variables que se presentan dentro de su proceso de producción. En el caso particular del cultivo de tabaco se cultivan alrededor de 13451 hectáreas semestralmente de las cuales se generan 26332 toneladas de tabaco, por ende es importante que sus hojas se encuentren en un nivel adecuado de maduración para poder realizar la cosecha de las mismas con la menor pérdida posible, una vez hecho esto, se procede con el proceso de curado con el fin de secar la hoja y continuar con la elaboración de un producto final.

El propósito de este trabajo es desarrollar una herramienta computacional capaz de clasificar las hojas de tabaco luego del proceso de curado, con el fin de identificar las características presentes para exportación de tabaco, a través de técnicas de procesamiento de imágenes. Este sistema constará de una cámara, una estructura para la adquisición de imágenes y un computador para realizar el debido procesamiento, lo cual contribuye al crecimiento de la producción, mejorando la calidad de cosechado de hojas de las hojas, mitigando los errores de selección por efectos visuales por parte del técnico y aumentando las ganancias para el agricultor.

Finalmente, el desarrollo del proyecto permitirá a los programas de ingeniería electrónica y de agronomía contar con una herramienta computacional programable, capaz de identificar y clasificar las hojas de tabaco en condiciones óptimas para exportación, y proporcionará a los productores un soporte tecnológico para la identificación de las hojas de tabaco tipo exportación disminuyendo los errores producidos por la inexperiencia o cansancio de los operarios.

# CONTENIDO

Resumen .....	12
Introducción .....	18
1. Planteamiento del problema.....	20
2. Objetivos.....	21
2.1 General.....	21
2.2 Específicos.....	21
3. Justificación .....	22
4. Alcances y limitaciones.....	23
4.1 Alcances.....	23
4.2 Limitaciones .....	23
5. Marco Teórico.....	24
5.1 Estado del Arte .....	24
5.2 Fundamentos Teóricos .....	29
5.2.1 Imágenes digitales.....	29
5.2.2 Pixel.....	30
5.2.3 Resolución de imagen.....	31
5.2.4 Profundidad de color.....	31
5.2.5 Modos de color.....	32
5.2.6 Formato de imágenes.....	34
5.2.7 Procesamiento de imágenes.....	36
5.2.8 Segmentación de Imágenes .....	37
5.2.9 Método Fisher.....	37
5.2.10 Distancia Euclidiana.....	38
5.2.11 Tabaco y su industria .....	38
6. Metodología .....	43
6.1 Metodología de procesamiento digital de imágenes.....	43
6.1.1 Diseño de la estructura de visión artificial.....	44
6.1.2 Captura y Transmisión de Imágenes .....	45
6.1.3 Fuentes de Iluminación.....	46
6.1.4 Algoritmo de procesamiento digital de imágenes.....	46
6.1.5 Desarrollo interfaz gráfica.....	52
6.2 Implementación.....	56

7.	Análisis de resultados. ....	58
7.1	Captura y transmisión de imágenes. ....	58
7.2	Proceso de segmentación de las hojas.....	59
7.3	Método para la clasificación de las hojas .....	60
7.4	Validación de la herramienta computacional. ....	62
8.	Conclusiones .....	68
9.	Referencias.....	70
	Anexos.....	73

# Índice de Figuras

Pág.

Figura 1 – Áreas de Producción en Colombia (Fedetabaco, 2016) .....	19
Figura 2 – Estado de crecimiento de 3 hojas. (tomado de (Fang, Xingyu, Pujuan, Chengda, & Zhai, 2015). .....	24
<i>Figura 3 – Diagrama de flujo del sistema. Tomado de (Anant &amp; Manpreet, 2013)</i>	25
Figura 4 – Segmentación de hoja. Tomado de (Shen, Wu, Chen, & Wei, 2008) .	26
Figura 5 – Clasificación de la hoja. Tomado de (Olfa, Itheri, Nozha, & Ezzeddine, 2013).....	27
Figura 6 – Modelo de horno de curado por convección forzada. Tomado de (Cerquera Peña, Ruiz Osorio, & Pastrana Bonilla, 2010) .....	28
Figura 7 – Clasificación de enfermedades prematuras. Tomado de (Kiran R, Ujwalla, & Kamal O, 2014) .....	29
Figura 8 – Imagen digital. Tomado de (mcpro, 2016).....	30
Figura 9 – Pixel. Tomado de (INTEF, 2015) .....	30
Figura 10 – Resolución de imagen Tomado de (mcpro, 2016).....	31
Figura 11 – Modo monocromático. Tomado de (INTEF, 2015).....	32
Figura 12 – Modo escala de grises Tomado de (INTEF, 2015) .....	32
Figura 13 – Modo color indexado Tomado de (INTEF, 2015).....	33
Figura 14 – Modo RGB Tomado de (INTEF, 2015) .....	33
Figura 15 – Modo HSB Tomado de (Auregoméz, 2017).....	34
Figura 16 – Procesamiento digital de imágenes. Cefalograma en el que se han reforzado las componentes de Fourier de alta frecuencia. (Tomado de (Biblioteca digital ILCE, s.f.)) (A) Imagen original y (B) imagen procesada. ....	36
Figura 17 – Segmentación de una flor. Autor. ....	37
Figura 19 – Diagrama de la metodología por procesamiento digital de imágenes. Autor .....	43
Figura 21 – Segmentación de un objeto (A) Imagen original (B) Imagen segmentada Tomado de (Los porqués de la naturaleza, 2017) .....	48
Figura 22 – Diagrama de flujo secuencia de la lógica para la distancia euclidiana. Autor. ....	50
Figura 23 – Diagrama de flujo del algoritmo para determinar el estado de maduración. Autor.....	51
Figura 24 – (A) Interfaz gráfica de la herramienta. Autor .....	52
Figura 25 – (B) Interfaz gráfica de la herramienta. Autor .....	53
Figura 26 – (C) Interfaz gráfica de la herramienta Autor.....	53
Figura 27 – (D) Interfaz gráfica de la herramienta Autor .....	54
Figura 28 – (E) Interfaz gráfica de la herramienta Autor .....	54
Figura 29 – Interfaz propia de IP Webcam en el ordenador Autor. ....	55
Figura 30 – Interfaz propia de IP Webcam en el celular Autor.....	55
Figura 31 – Estructura física del sistema de visión artificial. Autor. ....	56
Figura 32 – Ubicación de la iluminación en la estructura física del sistema de visión artificial Autor. ....	56

Figura 33 – Ubicación de la hoja al interior de la estructura del sistema de visión artificial. Autor. ....	57
Figura 34 – Tapizado al interior de la estructura del sistema de visión artificial Autor .....	57
Figura 35 – Captura realizada por DroidCam Autor .....	58
Figura 36 – Captura realizada por IP Webcam Autor. ....	59
Figura 377 – Segmentación por umbralización por histograma, (A) Imagen original, (B) Segmentación Autor.....	59
Figura 38 – Segmentación por descriptores morfológicos, (A) Imagen original, (B) Segmentación Autor.....	60
Figura 39 – Segmentación método Fisher, (A) Imagen original, (B) Segmentación Autor. ....	60
Figura 40 – Clasificación de la hoja de tabaco por rango, (A) Imagen original, (B) Imagen clasificada Autor .....	61
Figura 41 – Clasificación de la hoja por distancia euclidiana, (A) Imagen original, (B) Imagen clasificada Autor .....	61
Figura 43 – Seguimiento de la herramienta con respecto al experto 2. Autor.....	64
Figura 44 – Coeficiente de Determinación respecto al experto 1 Autor. ....	65
Figura 45 – Coeficiente de Determinación respecto al experto 2 Autor. ....	65
Figura 47 – Hoja de tabaco Autor.....	73
Figura 48 – Hoja de tabaco. Autor.....	73
Figura 49 – Toma de muestra. Autor.....	74
Figura 50 – Imagen identificada clase 1. Autor.....	74
Figura 51 – Imagen identificada clase 2. Autor.....	75
Figura 52 – Imagen identificada clase 3. Autor.....	75
Figura 53 – Imagen identificada clase 4. Autor.....	75



## Índice de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Clases de tabaco. (Tabacopedia, 2015) .....	40
Tabla 2 Características de las diferentes clases de tabaco. (Tabacopedia, 2015) 41	41
Tabla 3 Materiales y tamaño del sistema de visión artificial. Autor .....	44
Tabla 4 Características de la cámara Autor .....	46
Tabla 5 Comparación de lenguaje de programación. Tomado de (GUTIERREZ SUCLLA, 2007) .....	48
Tabla 6 Clasificación de las hojas Autor .....	49
Tabla 8 Validación de los datos entre los expertos y la herramienta Autor .....	62
Tabla 9 Validación de los datos entre los expertos y la herramienta Autor .....	63
Tabla 10 Cuantificación de las clases Autor. ....	63
Tabla 11 Coeficientes de Determinación Autor. ....	66
Tabla 12 Comparación de diferentes resultados. Autor .....	67

# Introducción

La planta del tabaco pertenece a la familia de las solanáceas y al género *Nicotiana*, esta planta ha mantenido siempre una estrecha relación con el desarrollo de la humanidad y se sabe que por lo menos se cosechaban dos especies diferentes de tabaco en el Nuevo Continente, la *Nicotiana Rústica* en América del Norte, un tabaco cuya hoja tenía un alto contenido de nicotina y por ser muy amarga era fumada en pipa, y la *Nicotiana Tabacum* en América Central y del Sur, era mucho más suave (Tabacopedia, 2015). Hoy en día en Colombia, la cadena del tabaco está compuesta por dos eslabones, el primero está relacionado con el sector primario en el cual se trabajan las hojas de tabaco rubio y negro, mientras que en el segundo eslabón, se elaboran todos los productos en base en las hojas de tabaco, como los cigarrillos, los cigarros<sup>1</sup>, puros, y el tabaco.

En el año 2003 en Colombia se cultivaron 13.451 hectáreas con tabaco ocupando el 0,35% del total de la superficie cultivada en Colombia. Se obtuvieron 26.332 toneladas, de las cuales cerca del 51% correspondió a los distintos tipos de tabaco rubio y el 49% restante al tabaco negro. Colombia posee todas las características idóneas para desarrollar una industria del Tabaco (Productos de Colombia, 2016). Gracias a que se cuenta con una riqueza climática que permite el cultivo de diferentes variedades de tabaco en casi todo el territorio nacional. Las zonas tabacaleras están en los departamentos que tienen climas cálidos, como los son Santander, Norte de Santander, Huila, Sucre, Bolívar y Boyacá, logrando para el 2016 una producción como se ve muestra en la figura 1 (Fedetabaco, 2016).

Existen diferentes tipos de tabaco, y se clasifican principalmente según su proceso de curado; en este caso, se hará hincapié en el proceso de curado al aire (Air cured), donde las hojas de tabaco "*Burley*" serán el objeto de estudio. Al culminar el proceso de curado al aire, entran los técnicos u operarios para validar la finalización de dicho proceso, donde se ve la importancia de una buena selección, ya que, a partir de esta, se puede determinar la calidad de la hoja, por lo cual, en muchas ocasiones, esta persona encargada puede cometer errores de identificación, debido a que la forma en que se hace es manual y sujeta a la experiencia del encargado.

Con lo dicho anteriormente, se identificó la necesidad de implementar una herramienta computacional que permita mitigar, estos errores de clasificación por parte del técnico, aprovechando las diferentes técnicas de procesamiento de

---

<sup>1</sup> El cigarro está envuelto en la misma hoja de tabaco, mientras que el cigarrillo está envuelto en papel.

imágenes, utilizando un software especializado en el manejo de operaciones matriciales, como lo es MatLab.

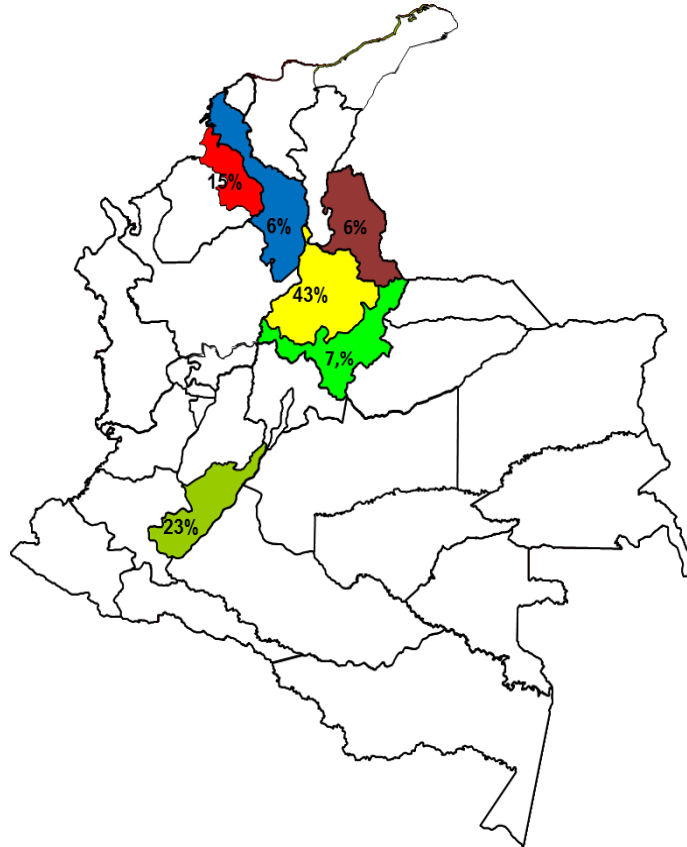


Figura 1 – Áreas de Producción en Colombia  
(Fedetabaco, 2016)

# 1. Planteamiento del problema.

El tabaco es una planta de tipo industrial cultivado en un gran número de países, aumentando su consumo cada día, es de aclarar que la cosecha se realiza bajo una gran diversidad de condiciones, respecto a climas y suelos, obteniendo así tipos distintos de hojas y con fines diversos (Pinto Salvatierra), este tipo de cultivo es intensivo en mano de obra, ya que requiere aproximadamente de 2.200 horas de trabajo por hectárea (InfoAgro, s.f.), más que cualquier otro tipo de cultivo desde su proceso de germinación hasta empacado.

El proceso para la exportación de las hojas de tabaco se basa en dos etapas; la primera consiste en cosechar la planta de tabaco mediante el proceso de deshojar, donde se quitan dos o tres hojas al tiempo a medida que vayan madurando a través de la experticia del operario, esta práctica trae consigo una serie de problemas como pérdida en las hojas que no estén un estado óptimo de maduración. Por otra parte, en la segunda etapa se desarrolla el proceso de curado mediante el cual la hoja es llevada a un sitio donde se evapora la mayor cantidad de agua presente en la hoja, aproximadamente del 75 al 80 por ciento, una vez hecho esto la hoja debe tomar un color amarillento dorado, indicando que se encuentra lista para procesar. Por otra parte, el tiempo de curado puede variar según factores como la clase de hoja, el método empleado para madurar la hoja, la forma de cosechar y principalmente las condiciones atmosféricas que se presenten (Pinto Salvatierra). Debido a todas estas variables se presentan inconvenientes en el proceso, así mismo, si la hoja no es retirada de la etapa de curado en su momento adecuado se puede llegar a quemar, dejándola sin uso práctico o por el contrario, si es retirada del proceso antes de tiempo, la hoja no será apta para la producción del producto final, ocasionando grandes pérdidas a los productores.

El aporte de este trabajo se centra en realizar la identificación y clasificación de las hojas de tabaco luego del proceso de curado a partir de imágenes en el espacio de color RGB, mediante técnicas de visión artificial. Además, se pretende definir un estándar de análisis, caracterización y evaluación de los parámetros de maduración y la subsiguiente comparación con las medidas obtenidas por técnicos expertos, para proporcionar una identificación más acertada basada en medidas reales.

Dicho lo anterior, el problema que se pretende resolver con el desarrollo de la herramienta computacional es: ¿Cómo reducir los errores subjetivos por parte del agrónomo experto en la identificación de los estados de maduración óptimos en hojas de tabaco durante el proceso de curado mediante técnicas de visión artificial?

## 2. Objetivos

### 2.1 General.

Desarrollar una herramienta computacional para la identificación del estado de maduración de hojas de tabaco durante el proceso de curado mediante el procesamiento de imágenes.

### 2.2 Específicos.

- Definir una metodología para la adquisición y pre-procesado de imágenes
- Establecer una técnica para segmentar la imagen y extraer las características morfológicas de las hojas de tabaco.
- Identificar y clasificar las hojas de tabaco a partir de sus características morfológicas y de los diferentes estados de maduración en el proceso de curado.
- Evaluar y comparar los resultados obtenidos en la identificación y clasificación del estado de maduración de hojas de tabaco con respecto a los resultados por parte de un experto.

### **3. Justificación**

En la actualidad las técnicas de visión por computador han permitido solucionar problemas en diversas aplicaciones como en los campos de arroz, maíz, uva, entre otros, a través de la detección de diferentes tipos de enfermedades. Sin embargo, es de resaltar que en el campo tabacalero no se han implementado sistemas que tecnifiquen métodos tradicionales en los cultivos y se continua realizando de forma manual mediante la inspección visual, incluyendo errores subjetivos en el proceso por parte de los expertos en el tema, conllevando a la disminución de la calidad de las hojas de tabaco y a pérdidas económicas en el proceso.

Por lo anterior se pretende desarrollar una herramienta computacional que identifique y clasifique las hojas de tabaco durante el proceso de curado, con lo cual se espera que la herramienta permita el soporte tecnológico en el proceso de exportación de tabaco para los productores en Colombia. De esta manera se reducen en un alto porcentaje los errores producidos a través de los procedimientos totalmente manuales, así mismo por tratarse de un método automático, reduce el tiempo del procedimiento agilizando los procesos de producción.

La realización de este proyecto favorece los procesos de exportación de la industria tabacalera en Colombia, usando un sistema cuantitativo basado en medidas reales tomadas a partir de las características principales de la hoja. La herramienta que se desarrollará, permitirá hacer un análisis en menos tiempo y disminuye los errores subjetivos producidos por la medición manual por parte del técnico experto, además beneficiará a todas las empresas productoras de tabaco con la herramienta.

## 4. Alcances y limitaciones.

### 4.1 Alcances.

Con el desarrollo de esta herramienta se pretende identificar el estado de maduración de la hoja de tabaco durante el proceso de curado al aire sin depender de las variaciones por fatiga ocular por parte del operario o técnico experto. Se pretende que el diseño e implementación de la herramienta, soporte la investigación científica en áreas de la ingeniería electrónica y agronómica.

Además, se espera proponer un margen para la caracterización del estado de maduración de la hoja, por medio del procesamiento digital de imágenes.

### 4.2 Limitaciones

La rapidez de los resultados del proyecto estará limitada por las características técnicas de los equipos utilizados, en el pre-procesamiento y procesamiento de las imágenes.

La calidad de las imágenes dependerá de la cámara a utilizar, y así mismo el algoritmo a desarrollar estará limitado a parámetros de luz, enfoque y resolución de la misma.

Las imágenes serán obtenidas en fincas productoras de tabaco en los departamentos del Tolima y Huila.

El tipo de hoja a identificar, es el tabaco "*Burley*", ya que es el que tiene mayor presencia en estos departamentos.

## 5. Marco Teórico.

### 5.1 Estado del Arte

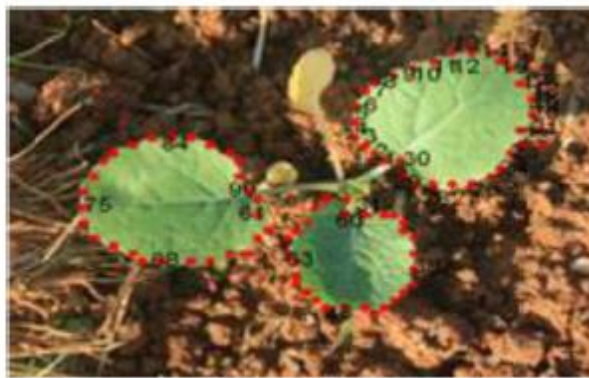
Para este proyecto se realiza una búsqueda del estado del arte en donde se relacionan trabajos y/o artículos en los que se haya realizado procesamiento de imágenes aplicado a cultivos, en especial al tabaco.

- **Automatic identification of two growth stages for rapeseed plant: Three leaf and Four Leaf Stage.**

Con el fin de realizar un seguimiento no destructivo al crecimiento del cultivo y obtener información sobre su condición o estado se implementan técnicas de vigilancia digital.

Se determina que el método satisface las necesidades del agricultor con respecto a la información que el sistema le proporciona, ya que con imágenes digitales se puede evidenciar la etapa de crecimiento en la que se encuentra la planta de colza, si es en tres o cuatro hojas. Se comparan los resultados con otros métodos tradicionales con diferentes algoritmos, y se dice q reduce el impacto sobre las plantas de colza.

El modelo es calibrado con diferentes muestras introducidas previamente al sistema y este identifica de forma clara diversos tipos de planta y distinguirlos de otras que no sean las requeridas para la observación (esto no se demuestra en el documento, pero si se menciona), como se evidencia en la figura 2.

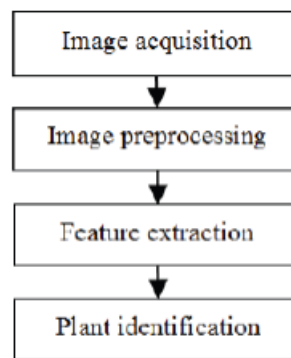


*Figura 2 – Estado de crecimiento de 3 hojas.  
(tomado de (Fang, Xingyu, Pujan, Chengda, & Zhai, 2015).*



- **A review on plant recognition and classification techniques using leaf images.**

Para este artículo, lo que pretenden los autores es recopilar una serie de información en cuanto a varios tipos de sistemas de identificación de plantas, además de que aún existen muchos enfoques que podrían ser investigados para desarrollar identificación de sistemas. Un determinado método puede dar buen rendimiento en muestras específicas de hojas, pero no garantiza que tenga buenos resultados para otras plantas. A veces se encuentra que dos o más plantas tienen hojas con la misma o similar forma, pero de diferentes colores. En estos casos, las características del color no pueden ser descuidadas. Una típica imagen basada en identificación de sistemas de plantas se muestra en la figura 3.



*Figura 3 – Diagrama de flujo del sistema.  
Tomado de (Anant & Manpreet, 2013)*

Se recopila información de diferentes autores, debido a varios problemas en los sistemas de reconocimiento de las especies de plantas, para lo cual se presentan diferentes técnicas o métodos que pueden ser enfocadas en áreas como las características morfológicas, también mejorar el sistema mediante técnicas como el procesamiento de imágenes, extracción de características, todo para el reconocimiento de especies de plantas (Anant & Manpreet, 2013).

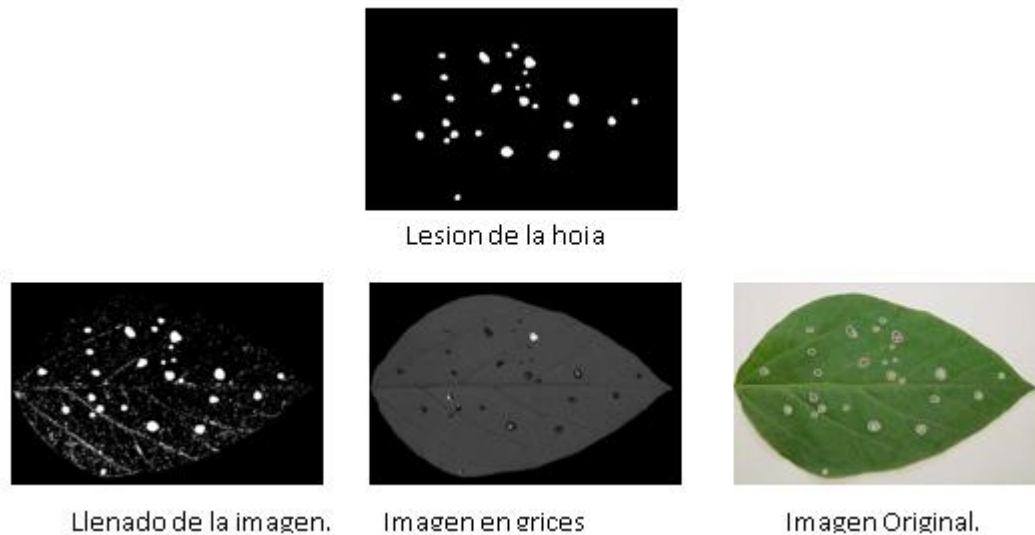
- **Recognition of the Part of Growth of Flue-Cured Tobacco Leaves Based on Support Vector Machine.**

Este artículo tiene como fin hacer un dictamen sobre el secado de las hojas del tabaco para esto se utiliza un algoritmo llamado SVM el cual por medio de matrices y el método de procesamiento de imágenes clasifica el estado de maduración de las hojas y calcula por medio de las tablas que rigen el mercado

si es apto para su venta o por el contrario es desechado, tuvo como resultado que este sistema tiene un 95% de exactitud que el de un experto de tabaco (Han, 2008).

- **Grading Method of Leaf Spot Disease Based on Image Processing.**

En este artículo se trata de identificar algunas enfermedades causadas en las hojas de las plantas, empleando el sistema de procesamiento de imágenes por medio del método OTSU, un sistema de color (HSI) donde H es el componente escogido como sitio de enfermedad, se determinaba mediante la segmentación de la imagen, utilizando el operador sobel el cual identifica bordes en la imagen y de determina las diferencia entre colores de la misma, por resultado se obtuvo que el éxito del método se determina en la calidad de segmentación que se le haga a la hoja (Shen, Wu, Chen, & Wei, 2008).



*Figura 4 – Segmentación de hoja.  
Tomado de (Shen, Wu, Chen, & Wei, 2008)*

- **Shape based leaf image retrieval.**

Se elabora un sistema de identificación de formas y clasificación de plantas medicinales, mediante el histograma (ACH) y las curvas (CCD) de la imagen, ya que si se aplica a la imagen en primera instancia el histograma disminuye en gran parte la búsqueda y su posterior clasificación, luego de esto se comparaba con las curvas características de cada imagen y esta daba como resultado su clasificación y forma, a pesar que mejora el rendimiento en su búsqueda también cabe decir que es más compleja ya que intervienen las series de Fourier. Pero

se tiene como resultado un buen rendimiento del sistema ya que se fijan en las variaciones locales con el histograma y las invariancias normalizadas e identificadas en la curva (Z, Z, & D, 2003).

- **Advanced tree species identification using multiple leaf parts image queries.**

En este artículo los autores tratan de identificar la clase de hoja mediante una parte de ella esto, quiere decir que se basan más en la botánica del sistema y no de la imagen global, para obtener el mismo resultado, esto lo hacen mediante dos pasos principales: el primer paso consiste en extraer partes de la hoja directamente de la imagen, esta tarea se realiza utilizando el contorno del logaritmo que se basa en el contorno y ancho de la imagen, en el segundo paso se toma cada parte es comparar con la base de datos alguna semejanza y posteriormente dar la imagen global de la hoja.

Se tiene como buen resultado ya que al hacer una comparación con botánicos experimentados tiende a dar una efectividad del 97% como se evidencia en la figura 5.

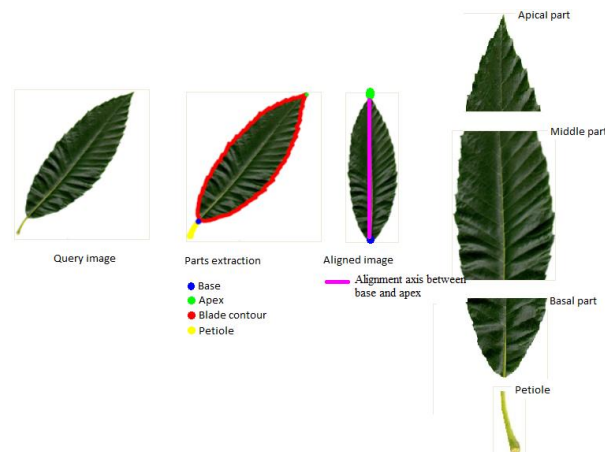


Figura 5 – Clasificación de la hoja.  
Tomado de (Olf, Itheri, Nozha, & Ezzeddine, 2013)

- **Investigation on Image Processing Techniques for Diagnosing Paddy Diseases**

El cultivo de arroz a nivel mundial tiene una gran cantidad de enfermedades en este artículo se trata de implementar un sistema de identificación de plagas en el cultivo, por medio del procesamiento de imágenes, el cual cumple con la siguiente metodología: adquisición de la imagen, convertir la imagen de componentes RGB

a imagen en escala de grises, se aplica un umbral local y el método Otsu. El algoritmo por lo general suele sacar ruidos por utilizar la región de llenado, por lo tanto, la caracterización de la imagen consta de: el tipo de lesión, el color de frontera, color de sitio y el color global de la hoja. Como resultados en la aplicación de este método se tiene como un 97% de exactitud identificando la enfermedad en la planta (Kurniawati, Abdullah, Abdullah, & Abdullah, 2009).

- **Evaluación del horno de curado de tabaco por convección forzada USCO-MADR**

Teniendo como base la infraestructura existente de un horno tradicional de curado de tabaco, se rediseño e implementó en él un sistema de intercambio de calor por convección forzada que funciona con cisco de café como combustible. Este horno de curado de tabaco por convección forzada USCO-MADR fue evaluado durante el periodo de cosecha, lográndose un manejo controlado de las variables de temperatura y humedad relativa dentro de él durante las tres etapas del curado de la hoja de tabaco; el equipo utilizado tuvo un excelente desempeño al emplear cisco de café como combustible con los siguientes consumos durante el proceso de curado: en la fase de “*amarillamiento*”, 8,92 kilogramos por hora; en la de “*secado de paño y fijación de color*”, 17,75 kilogramos por hora; y en la de “*secado de vena*”, 19,29 kilogramos por hora; el análisis comparativo de los costos operativos del horno evaluado, con los ajustes propuestos a éste, permiten presentarlo a la cadena de tabaco como una alternativa promisoría. Como se muestra en la figura 6 el esquema del horno de curado por convección forzada.

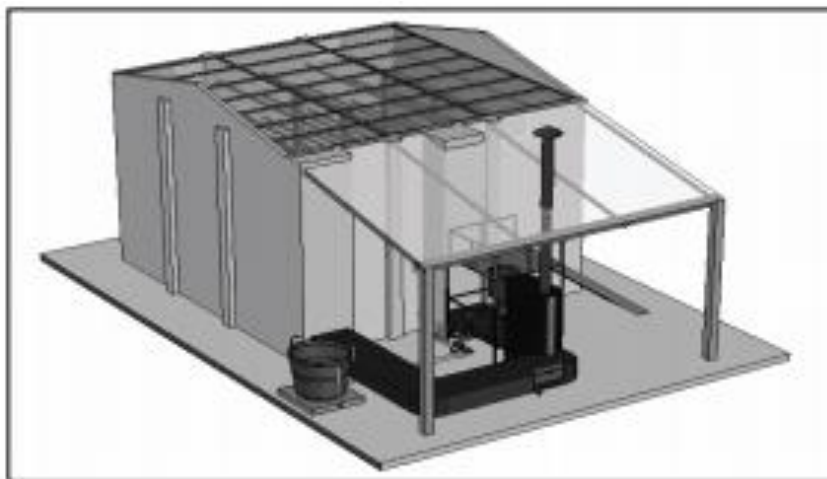


Figura 6 – Modelo de horno de curado por convección forzada.  
Tomado de (Cerquera Peña, Ruiz Osorio, & Pastrana Bonilla, 2010)

- **Unhealthy Region of Citrus Leaf Detection Using Image Processing Techniques.**

En el presente artículo analiza el procesamiento de imágenes utilizando técnicas en la detección precoz de enfermedades de las plantas, mediante el análisis de las hojas, para este proceso se lleva a cabo unas tareas específicas la cuales son: la imagen es capturada y luego procesada para determinar el estado de la planta, el marco del modelo que se propone en este artículo se divide en cuatro partes: pre proceso de la imagen incluyendo RGB y el paso a diferentes espacios de color, mejora de la imagen, segmentación de la región de interés utilizando K Mean la agrupación para uso estadístico para determinar el defecto y zona de gravedad en las hojas, extracción de caracterización y clasificación, en la extracción de características de textura se utiliza estadística GLCM y función de color por medio de los valores medios. Finalmente, la clasificación se obtiene utilizando SVM (Kiran R, Ujwalla, & Kamal O, 2014).

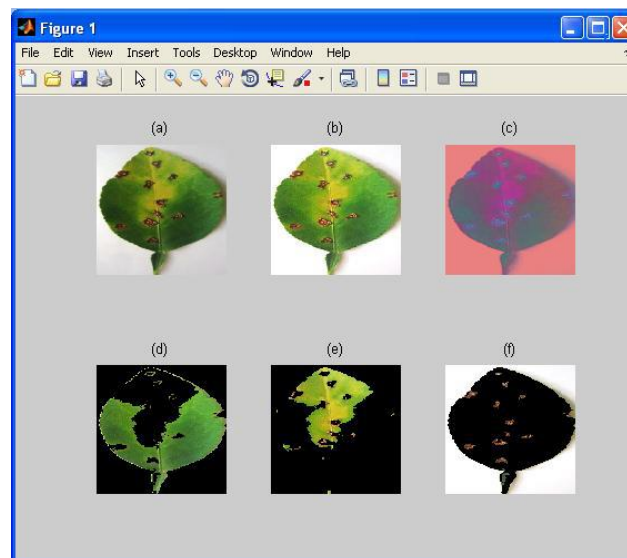
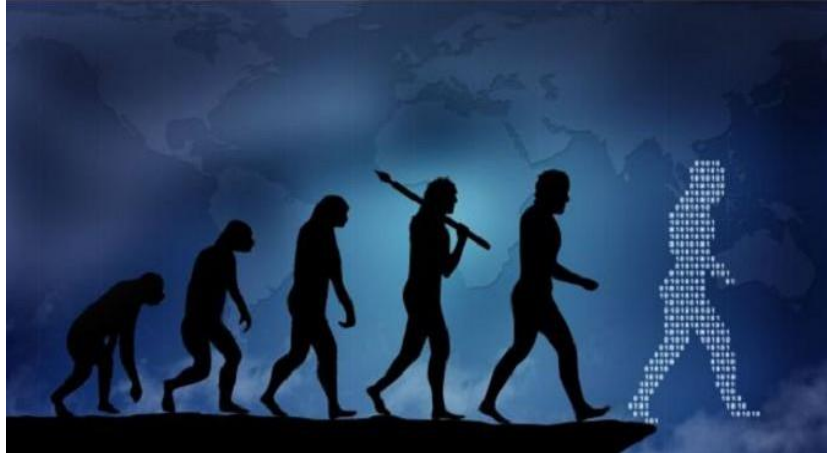


Figura 7 – Clasificación de enfermedades prematuras.  
Tomado de (Kiran R, Ujwalla, & Kamal O, 2014)

## 5.2 Fundamentos Teóricos

### 5.2.1 Imágenes digitales.

Las imágenes digitales al pasar de los años se han convertido más comunes en la vida cotidiana ya que guarda en una representación bidimensional de una imagen a partir de una matriz numérica como se muestra en la figura 8.

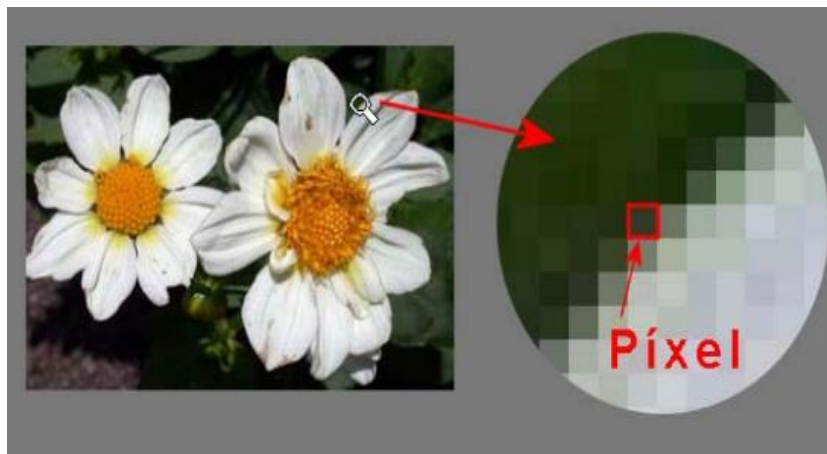


*Figura 8 – Imagen digital.  
Tomado de (mcpro, 2016).*

### **5.2.2 Pixel.**

El pixel es la unidad más pequeña y diminuta de una imagen digital y está presente en un inmensurable número para formar una imagen completa. Cada pixel es una unidad homogénea de color que en suma y con una importante variación de colores dan como resultado una imagen más o menos compleja. Pueden contar con tres o cuatro elementos de color a elegir: rojo, verde y azul, amarillo (ABC, 2016).

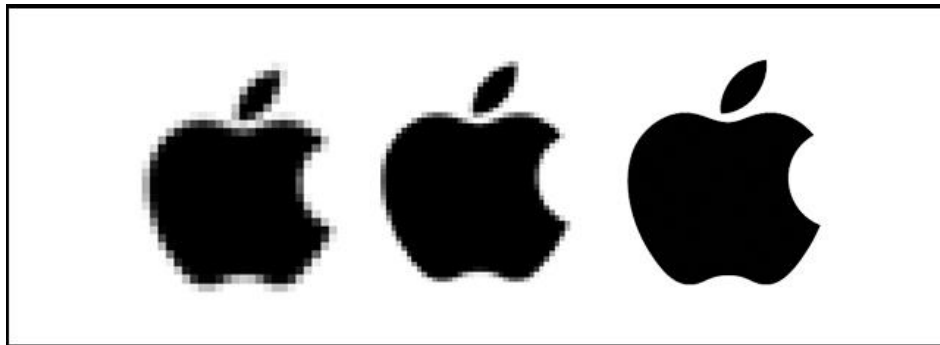
Si aplicamos el zoom sobre ella observaremos que está formada por una parrilla de puntos o píxeles. Las cámaras digitales y los escáneres capturan las imágenes en forma de cuadrícula de píxeles como se muestra en la figura 9.



*Figura 9 – Pixel.  
Tomado de (INTEF, 2015)*

### 5.2.3 Resolución de imagen.

Es el grado de detalle o calidad de una imagen digital ya sea escaneada, fotografiada o impresa. Este valor se expresa en ppp (píxeles por pulgada) o en inglés dpi (dots per inch). Cuantos más píxeles contenga una imagen por pulgada lineal, mayor calidad tendrá. La resolución de un monitor se refiere al número de píxeles por pulgada que es capaz de mostrar. La resolución de una pantalla de ordenador PC es de 72 ppp. En una impresora se habla del número de puntos por pulgada que puede imprimir: 600, 1200, etc. Algunos escáneres suelen producir imágenes con una resolución por defecto de 200 PPP. Las cámaras digitales prestan una calidad que se expresa en Megapíxeles. Así por ejemplo una cámara de 8 MP es aquella capaz de tomar una fotografía con 8 millones de píxeles, un ejemplo claro se muestra en la figura 9 donde la misma imagen se muestra a diferentes pixeles (INTEF, 2015).



*Figura 10 – Resolución de imagen  
Tomado de (mcpro, 2016).*

### 5.2.4 Profundidad de color.

La profundidad de color se refiere al número de bits necesarios para codificar y guardar la información de color de cada píxel en una imagen. Un bit es una posición de memoria que puede tener el valor 0 ó 1. Cuanto mayor sea la profundidad de color en bits, la imagen dispondrá de una paleta de colores más amplia. Se utiliza 1-bit para imágenes en blanco/negro, sin grises (0=color negro, 1= color blanco), 2-bits = 4 colores (00=color negro, 01=color X, 10=color Y, 11=color blanco), 3-bits = 8 colores, 8-bits = 256 colores, 24- bits = 16.7 millones de colores (INTEF, 2015).

### 5.2.5 Modos de color.

Llamamos modo de color al sistema de coordenadas que nos permiten describir el color de cada píxel utilizando valores numéricos.

Los modos de color más utilizados son:

- Modo monocromático. Se corresponde con una profundidad de color de 1 bit. La imagen está formada por píxeles blancos o píxeles negros puros, como se observa en la figura 11



*Figura 11 – Modo monocromático.  
Tomado de (INTEF, 2015)*

- Modo Escala de Grises. Maneja el canal negro y permite 256 tonos de gris entre el blanco y negro puros, como se evidencia en la figura 12.



*Figura 12 – Modo escala de grises  
Tomado de (INTEF, 2015)*

- Modo Color indexado. Utiliza un canal de color indexado de 8 bits pudiendo obtener con ello hasta un máximo de 256 colores (2<sup>8</sup>), ver figura 13.





*Figura 13 – Modo color indexado  
Tomado de (INTEF, 2015)*

- Modo RGB. Cada color se forma por combinación de tres canales. Cada canal se corresponde con un color primario: Red (rojo), Green (verde), y Blue (azul). Asigna un valor de intensidad a cada color que oscila entre 0 y 255. De la combinación surgen hasta 16,7 millones de colores. Ejemplo: El valor R:255, G:0, B:0 representa al color rojo puro, (figura 14).



*Figura 14 – Modo RGB  
Tomado de (INTEF, 2015)*

- Modo HSB. Cada color surge de los valores de estos tres parámetros: Hue (Tono) que es el valor del color: rojo, azul, verde, etc. En GIMP se expresa en grados y oscila entre 0 y 360. Saturation (Saturación) que se refiere a la pureza del color y va del 0% al 100%. Brightness (Brillo) referencia la intensidad de luz del color, es decir, la cantidad de negro o blanco que contiene estando su valor entre 0 (negro) y 100 (blanco). Ejemplo: El color rojo puro tiene un código RGB como (255,0,0) y también un código HSB (0,100,100). En la mayoría de programas de tratamiento de imágenes se puede elegir un color introduciendo su código RGB –es la opción más frecuente- o alternativamente su código HSB. En ambos casos la imagen maneja una paleta de colores de 24 bits. (INTEF, 2015).

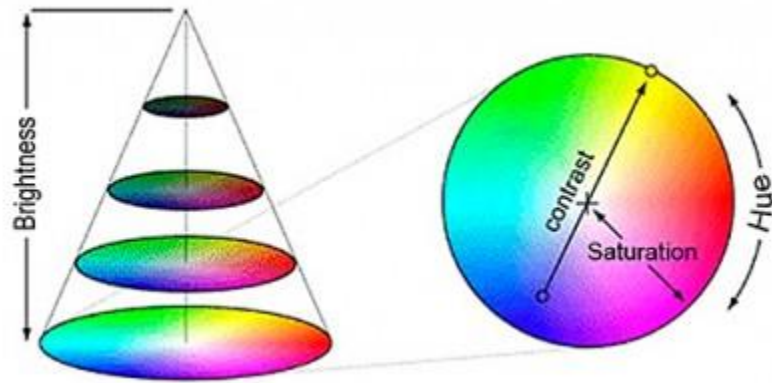


Figura 15 – Modo HSB  
Tomado de (Auregoméz, 2017)

- Modo CMYK. Cada color se forma por combinación de cuatro canales. Cada canal se corresponde con un color primario de impresión: Cyan (Ciano), Magent (Magenta), Yellow (Amarillo) y Black (Negro). Cada canal puede tener como valor entre 0 y 255. Se trata de imágenes con una profundidad de color de 32 bits (INTEF, 2015).

### 5.2.6 Formato de imágenes.

Las imágenes digitales se pueden guardar en distintos formatos. Cada uno se corresponde con una extensión específica del archivo que lo contiene. Los más utilizados en la actualidad son: BMP, GIF, JPG, TIF y PNG.

- BMP (Bitmap = Mapa de bits)
  - Ha sido muy utilizado porque fue desarrollado para aplicaciones Windows.
  - La imagen se forma mediante una parrilla de píxeles.
  - El formato BMP no sufre pérdidas de calidad y por tanto resulta adecuado para guardar imágenes que se desean manipular posteriormente.
  - Ventaja: Guarda gran cantidad de información de la imagen.
  - Inconveniente: El archivo tiene un tamaño muy grande.
- GIF (Graphics Interchange Format = Formato de Intercambio Gráfico).
  - Ha sido diseñado específicamente para comprimir imágenes digitales.

- Reduce la paleta de colores a 256 colores como máximo (profundidad de color de 8 bits).
  - Admite gamas de menor número de colores y esto permite optimizar el tamaño del archivo que contiene la imagen.
  - Ventaja: Es un formato idóneo para publicar dibujos en la web.
  - Inconveniente: No es recomendable para fotografías de cierta calidad ni originales ya que el color real o verdadero utiliza una paleta de más de 256 colores.
- **JPG-JPEG (Joint Photographic Experts Group = Grupo de Expertos Fotográficos Unidos).**
    - A diferencia del formato GIF, admite una paleta de hasta 16 millones de colores.
    - Es el formato más común junto con el GIF para publicar imágenes en la web.
    - La compresión JPEG puede suponer cierta pérdida de calidad en la imagen. En la mayoría de los casos esta pérdida se puede asumir porque permite reducir el tamaño del archivo y su visualización es aceptable. Es recomendable utilizar una calidad del 60-90 % del original.
    - Cada vez que se modifica y guarda un archivo JPEG, se puede perder algo de su calidad si se define cierto factor de compresión.
    - Las cámaras digitales suelen almacenar directamente las imágenes en formato JPEG con máxima calidad y sin compresión.
    - Ventaja: Es ideal para publicar fotografías en la web siempre y cuando se configuren adecuadamente dimensiones y compresión.
    - Inconveniente: Si se define un factor de compresión se pierde calidad. Por este motivo no es recomendable para archivar originales.
- **TIF-TIFF (Tagged Image File Format = Formato de Archivo de Imagen Etiquetada).**
    - Almacena imágenes de una calidad excelente.
    - Utiliza cualquier profundidad de color de 1 a 32 bits.
    - Es el formato ideal para editar o imprimir una imagen.
    - Ventaja: Es ideal para archivar archivos originales.
    - Inconveniente: Produce archivos muy grandes.

- PNG (Portable Network Graphic = Gráfico portable para la red).
  - Es un formato de reciente difusión alternativo al GIF.
  - Tiene una tasa de compresión superior al formato GIF (+10%)
  - Admite la posibilidad de emplear un número de colores superior a los 256 que impone el GIF.
  - Debido a su reciente aparición sólo es soportado en navegadores modernos como IE 4 o superior (INTEF, 2015).

### 5.2.7 Procesamiento de imágenes.

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar.

El procesamiento digital de imágenes se efectúa dividiendo la imagen en un arreglo rectangular de elementos. Cada elemento de la imagen así dividida se conoce con el nombre de pixel. El siguiente paso es asignar un valor numérico a la luminosidad promedio de cada pixel. Así, los valores de la luminosidad de cada pixel, con sus coordenadas que indican su posición, definen completamente la imagen.

Luego se alteran los valores de la luminosidad de los pixeles mediante las operaciones o transformaciones matemáticas necesarias, a fin de hacer que resalten los detalles de la imagen que sean convenientes, como se ve en la figura 16.

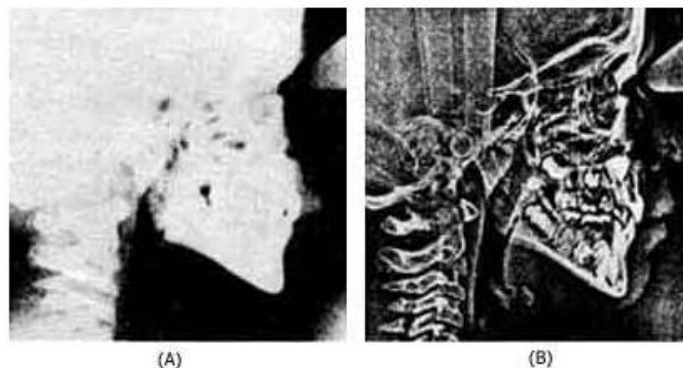


Figura 16– Procesamiento digital de imágenes. Cefalograma en el que se han reforzado las componentes de Fourier de alta frecuencia. (Tomado de (Biblioteca digital ILCE, s.f.)) (A) Imagen original y (B) imagen procesada.

## 5.2.8 Segmentación de Imágenes

El primer paso en cualquier proceso de análisis de imagen es la segmentación. Mediante la segmentación vamos a dividir la imagen en las partes u objetos que la forman. El nivel al que se realiza esta subdivisión depende de la aplicación en particular, es decir, la segmentación terminara cuando se hayan detectado todos los objetos de interés para la aplicación. En general, la segmentación automática es una de las tareas más complicadas dentro del procesado de imagen. La segmentación va a dar lugar en última instancia al éxito o fallo el proceso de análisis. En la mayor parte de los casos, una buena segmentación dará lugar a una solución correcta, por lo que, se debe poner todo el esfuerzo posible en la etapa de segmentación. Los algoritmos de segmentación de imagen generalmente se basan en dos propiedades básicas de los niveles de gris de la imagen: discontinuidad y similitud. Dentro de la primera categoría se intenta dividir la imagen basándonos en los cambios bruscos en el nivel de gris. Las áreas de interés en esta categoría son la detección de puntos, de líneas y de bordes en la imagen. Las áreas dentro de la segunda categoría están basadas en las técnicas de umbrales, crecimiento de regiones, y técnicas de división y fusión (Martín, 2004).



Figura 17 – Segmentación de una flor.  
Autor.

## 5.2.9 Método Fisher.

El método de la diferencia significativa mínima de Fisher, es utilizado para crear intervalos de confianza, para todas las diferencias entre las parejas de las medias de los niveles de los factores, mientras se controla la tasa de error individual en función de un nivel de significancia que especifique.

El método LSD de Fisher, entonces, utiliza la tasa de error individual y el número de comparaciones para calcular el nivel de confianza simultáneo para todos los niveles

de confianza. Este nivel de confianza simultáneo es la probabilidad de que todos los intervalos de confianza contengan la diferencia verdadera. Es importante considerar la tasa de error por familia al realizar múltiples comparaciones, porque las posibilidades de cometer un error de tipo I para una serie de comparaciones son mayores que el nivel de significancia para cualquier comparación individual (Minitab, 2016).

### 5.2.10 Distancia Euclidiana.

La distancia euclidiana es una función usada en diversos contextos para calcular la distancia entre dos puntos, primero en el plano y luego en el espacio. También sirve para definir la distancia entre dos puntos en otros tipos de espacios de tres o más dimensiones. Y para hallar la longitud de un segmento definido por dos puntos de una recta, del plano o de espacios de mayor dimensión.

En el plano cartesiano sean los puntos  $A = (X_A; Y_A)$  y  $B = (X_B; Y_B)$  se define la distancia euclidiana entre dichos puntos como se ve en la ecuación 1.

$$d(A, B) = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (1)$$

En el espacio, sean los puntos  $A = (X_A; Y_A; Z_A)$  y  $B = (X_B; Y_B; Z_B)$  se define la distancia euclidiana mediante la expresión:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad (2)$$

Y de manera más general en un espacio de  $N$  dimensiones la distancia euclidiana entre dos puntos  $A = (a_1; a_2; \dots; a_n)$  y  $B = (b_1; b_2; \dots; b_n)$  se ajusta a:

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (b_i - a_i)^2} = \sqrt{(b_1 - a_1)^2 + (b_2 - a_2)^2 + \dots + (b_N - a_N)^2} \quad (3)$$

De manera general la métrica euclidiana entre dos puntos se define como: la longitud del segmento de recta que une a dichos puntos (EcuRed, s.f.).

### 5.2.11 Tabaco y su industria

El tabaco pertenece a la especie botánica *Nicotiana tabacum*, perteneciente a la familia de las *Solanáceas*. Se cree que esta especie es un anfidiplóide, es decir, un híbrido natural, originado entre otras dos especies del mismo género: *Nicotiana tomentosiformis* y *N. sylvestris*.

El híbrido entre ambas especies sería estéril y para reproducirse habría sido necesaria la duplicación de sus cromosomas. Esto pudo ocurrir de modo espontáneo en la naturaleza.

La planta de tabaco llegó a Europa desde América, al igual que la patata o el maíz. Tras ser condenada por la Inquisición, se puso de moda en el siglo XVI, primero como planta ornamental y después por el uso medicinal y lúdico de sus hojas secas (InfoAgro, s.f.).

La agroindustria del tabaco es una de las más importantes en cuanto a los cultivos no destinados a la producción de alimentos, representa un considerable porcentaje del PIB nacional y da empleo a una importante porción de la población en distintas regiones del país. A nivel mundial, el tabaco es en muchos casos, según el país en que se cultive, un producto con alta rentabilidad con respecto al suelo de cultivo, pues su valor es más alto que el de muchos otros productos agrícolas. A lo largo de la historia el sector se ha visto afectado debido a la disminución del consumo del tabaco y de los cigarrillos, especialmente.

El tabaco es un producto agroindustrial y no diversifica mucho en los productos derivados; las empresas productoras y procesadoras del tabaco elaboran, principalmente, cigarrillos y picadura de tabaco (Peña Severiche & Rivera Rodríguez, 2011).

Existe una gran diferencia a la hora de definir los tipos de tabaco existentes. Por poner un ejemplo, diremos que una misma semilla de Virginia, sembrada en Carolina del Norte, no dará como resultado, una planta con las mismas características que otra sembrada en Bogotá, ya que el tipo de suelo, clima, etc. son distintos.

Nosotros clasificaremos inicialmente los tipos de tabaco, basándonos en los cuatro principales procesos de curado de las hojas, que es, en definitiva, lo que hace que éstas, adquieran unas determinadas características.

**Curado al aire (Air cured):** Burley, Maryland y tabacos negros.

**Curado al fuego (Fire cured):** Kentucky, tabaco de pipa, tabaco de mascar.

**Curado al sol (Sun cured):** Orientales y semi-orientales.

**Curado en atmósfera artificial, con aire caliente (Flue cured):** Virginia

Estas características se muestran en la tabla 1, la cual permite al lector hacer una idea más clara de la clasificación en los diferentes tipos de tabaco que existen tanto en color, características.





VARIEDAD	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<b>VIRGINIA</b>	<i>Llamados oficialmente por los especialistas de tabacos “flue cured”, son colgados en grandes secaderos en los que por medio de aire caliente se obtiene el punto deseado. En general, estos tabacos presentan un buen aspecto y su color es principalmente amarillo. No tienen un aroma muy acusado y son de lenta combustión.</i>	
<b>KENTUCKY</b>	<i>Son tratados encima de fuegos lentos. Lo que oficialmente se han identificado como tabacos curados al fuego. Tienen un color que varía de marrón a marrón oscuro. Muy característico es su olor a ahumado. Su combustión es lenta y tienen un sabor aromático y completo. En general, los tabacos Kentucky son algo más fuertes.</i>	
<b>BURLEY</b>	<i>Son los curados al aire, son expuestos para secarse durante unas semanas al aire exterior en secaderos abiertos. Son de color marrón y se consumen relativamente rápido. Se caracterizan por un aroma típico de chocolate. Muchas veces, el productor acentúa esta característica “tostando” el Burley, un proceso durante el cual se somete al tabaco a cierta temperatura elevada. Los tabacos Burley suelen ser muy sabrosos.</i>	
<b>ORIENTALES</b>	<i>También llamados tabacos curados al sol, se secan al aire libre. Tienen un carácter marcadamente exótico. Son muy aromáticos, calidad que se observa en su sabor, dándole un sorprendente y delicioso efecto, al mezclarlo en pequeñas cantidades. En general, los tabacos orientales son de color amarillo verdoso y su combustión es de una rapidez moderada, puesto que la hoja es un tanto gruesa.</i>	

Tabla 1 Clases de tabaco.  
(Tabacopedia, 2015)

En la tabla 2 se hace en detalle las características principales de los diferentes tipos de tabaco.



<b>GUÍA DE MEZCLAS</b>				
<b>CUALIDADES</b>	<b>KENTUCKY</b>	<b>BURLEY</b>	<b>VIRGINIA</b>	<b>ORIENTALES</b>
<b>CURADOS</b>	<i>Fuego</i>	<i>Aire</i>	<i>Aire caliente</i>	<i>Sol</i>
<b>COLOR</b>	<i>Marrón +</i>	<i>Marrón</i>	<i>Amarillo</i>	<i>Amarillo verdoso</i>
<b>OLOR</b>	<i>Ahumado</i>	<i>Chocolate</i>	<i>Suave</i>	<i>Muy aromático</i>
<b>COMBUSTIÓN</b>	<i>Lenta</i>	<i>Rápida</i>	<i>Lenta</i>	<i>Media</i>
<b>CARACTERÍSTICA</b>	<i>Fuerte</i>	<i>Sabroso</i>	<i>Aromático</i>	<i>Exótico</i>
<b>SABOR</b>	<i>Aromático</i>	<i>Pleno</i>	<i>Ligero aroma</i>	<i>Muy aromático</i>

*Tabla 2 Características de las diferentes clases de tabaco.  
(Tabacopedia, 2015)*

Ahora se tratará más sobre la variedad de tabaco a estudiar en este caso el tabaco “*Burley*”. El tabaco *Burley*, es un tabaco curado al aire exterior, dentro de secaderos abiertos por sus laterales, sin que el sol incida directamente sobre la hoja de tabaco. Su coloración es marrón y presenta una combustión rápida, además se caracteriza por un aroma típico a chocolate. Muchas veces, el productor acentúa esta característica tostando el tabaco en un proceso en el que se le somete a una elevada temperatura. Por otra parte, existen dos formas de cosechar la planta de tabaco “*Burley*”, una de ellas es cortando la mata entera y la segunda es hacerlo hoja por hoja y se cuelga en alto para secar la hoja de tabaco como se muestra en la figura 18, y para que fermente en secaderos abiertos, estos procesos duran de uno a dos meses.



*Figura 18 – Proceso de curado.  
Tomado de (Tabacopedia, 2015).*

La planta es originaria del estado de Kentucky en los Estados Unidos, es considerada como una mutación natural del tabaco Virginia. Las plantas de tabaco

son de color verde claro, los tallos algo más claros, tiene grandes hojas de tabaco, y las plantas de tabaco son generalmente más altas que las del tabaco Virginia. Una planta de tabaco típica contendrá de 20 a 30 hojas de tabaco. Es la segunda variedad de tabaco más cultivada en el mundo.

El tabaco Burley se produce en muchos países, pero los principales productores son Estados Unidos, Italia, Tailandia, Malawi, Brasil y México. Constituye el 10% de la producción mundial de tabaco. En comparación con el tabaco Virginia, es menos resistente a las plagas, tiene mucho más cuerpo y aroma, y un contenido en nicotina y azúcares más bajo.

Es el tabaco más utilizado para realizar mezclas aromáticas porque retiene mejor los aromas que otros tipos. Está presente en las mezclas de sabor americano, holandés y danés. Su contenido de nicotina varía del 1,5% al 4,5% y su sabor no es dulce, conteniendo una cantidad baja de azúcares naturales que van del 1,6% al 4,8% (Tabacopedia, 2015).

## 6. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo, se implementa una metodología en la que se muestra el diseño de la estructura de visión artificial, la implementación y resultados de la herramienta computacional.

### 6.1 Metodología de procesamiento digital de imágenes.

Se presenta una metodología rápida y sencilla, diseñando un sistema de visión artificial, seleccionando una cámara que presente mejor las características de requerimientos para el sistema.

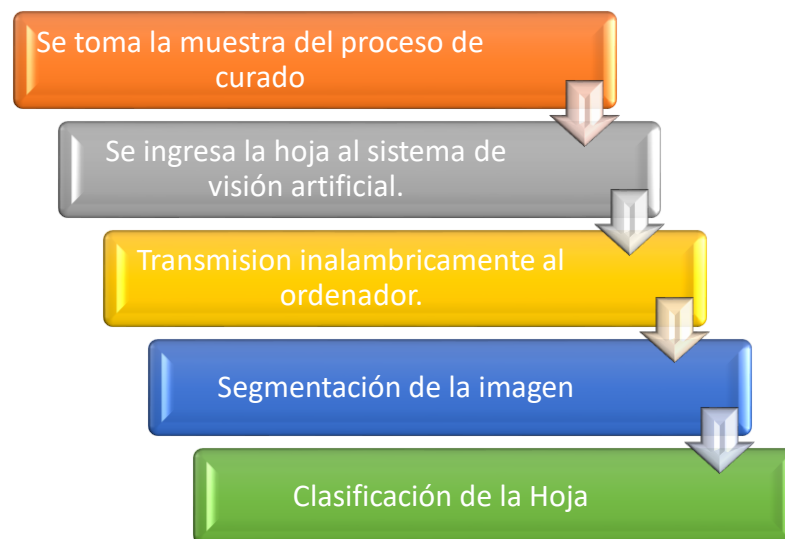


Figura 19 – Diagrama de la metodología por procesamiento digital de imágenes.  
Autor

Se procede con la identificación de los requerimientos del sistema, iniciando con las dimensiones promedio de la hoja de tabaco “Burley”, uno de ellos es que se garantice una iluminación constante sin sombras dentro de la herramienta, para ello se idea la manera de colocar la hoja sobre una superficie que no refleje la luz dentro del sistema, ni genere brillo al momento de tomar la imagen, utilizando un vidrio antirreflejo que se ubica en la parte superior del sistema. Por otra parte, se decidió trabajar con acrílico ya que se pretende que el sistema sea liviano y fácil de transportar, en la tabla 3 se muestran los materiales y dimensiones con los que se realizan el sistema de visión artificial.

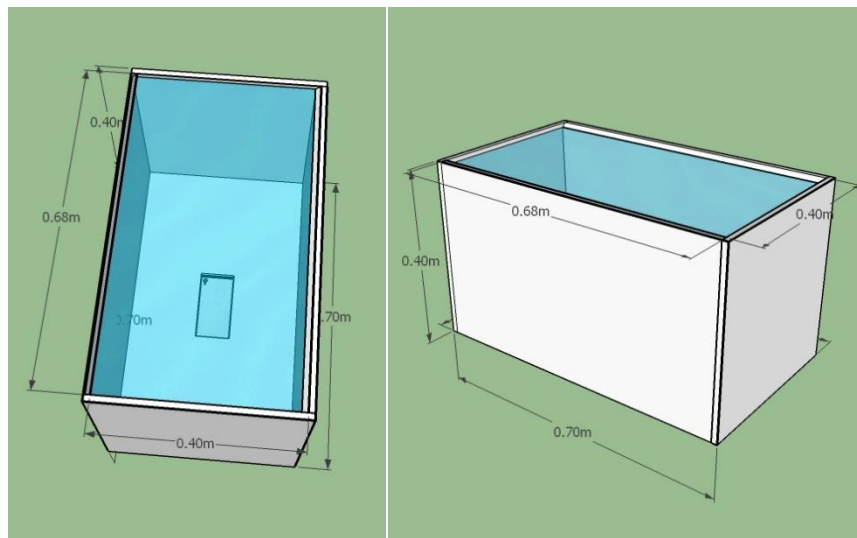
Al interior del sistema, se ubica la iluminación debajo de una lámina en acrílico blanco sobre el cual reposa la cámara al fondo del sistema, además para contribuir con la atenuación del brillo, se tapizan el interior de la estructura con fomi blanco.

Material	Tamaño
<b>Estructura del sistema de visión artificial en acrílico negro</b>	Caja 40 cm de ancho 70 cm de largo 40 cm de alto
<b>Vidrio antirreflejo</b>	29.9 cm de ancho 59.9 cm de largo
<b>Fomi blanco</b>	2 Pliegos
<b>Luces</b>	4 lámparas LED de 9W

Tabla 3 Materiales y tamaño del sistema de visión artificial.  
Autor

### 6.1.1 Diseño de la estructura de visión artificial.

El diseño preliminar de la estructura se realiza utilizando el software SketchUp, donde se muestra a detalle la forma de la estructura en 3D, y su interior, además de que las medidas seleccionadas para el tamaño de la caja.



(A)

(B)

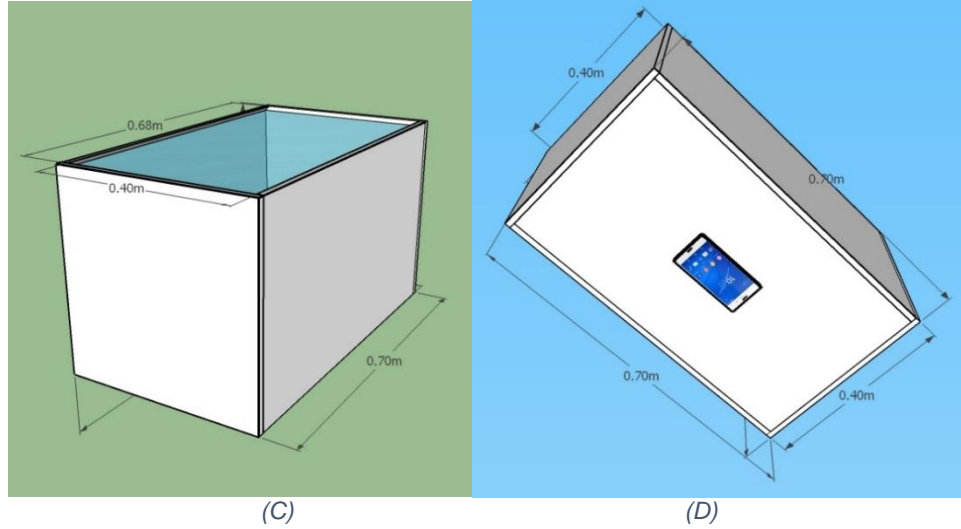


Figura 20 – Modelado 3D estructura de visión artificial, (A) Vista superior, (B) Vista lateral  
 (C) Vista lateral, (D) Vista inferior  
 Autor

En el modelado 3D, se puede ver las medidas de la estructura, así como la posición de la cámara, y el cristal donde reposara la hoja de tabaco.

Como una hoja de tabaco “*Burley*” tiene medidas aproximadas de 30 cm de ancha por 60 cm de larga, cuando ya se encuentra seca, es la razón de las medidas de la caja, además para tener una buena captura de la hoja completa, la distancia necesaria de la cámara con respecto a la hoja se establece a 35 cm, en los 5 cm restantes, se ubica la iluminación de la estructura, la cual es instalada al fondo ya que si se coloca a la misma altura que la hoja, se evidencian modificaciones del color de esta, y afectaría el sistema.

### 6.1.2 Captura y Transmisión de Imágenes

La captura de imágenes se realiza con un Smartphone, el cual se presentan las características en la tabla 4, se hace de esta manera, debido a que se conecta el computador con el teléfono por WiFi, así, se transmiten las imágenes inalámbricamente.

En el teléfono se utiliza la aplicación “*IP Webcam*”, el cual convierte el celular en una cámara en red con múltiples opciones de visualización, funciona en cualquier plataforma con navegador web. Emite a través de una red WiFi sin conexión a internet (IP Webcam, 2016).

En este proyecto se utilizó la cámara del dispositivo móvil huawei P8 lite como se había mencionado anteriormente ya que posee una cámara de 136 MPX con flash LED, en nuestro caso es posible utilizar cámaras que superen 1MPX ya que en

nuestro proyecto lo que nos permiten la calidad y la resolución de la imagen es la aplicación ip webcam que con su interfaz gráfica podemos modificar las resoluciones que el dispositivo o en este caso cámara nos permita.

Ítem	Descripción
Cámara	Celular Huawei P8 Lite
Resolución de la cámara trasera	Hasta 13 megapíxeles
Conexión	Por WiFi a través de la aplicación IP Webcam

*Tabla 4 Características de la cámara*  
*Autor*

La resolución escogida es de 1280x720 pixeles, es decir 1 megapíxel, ya que da una buena calidad de imagen y se procesa de manera rápida. Finalmente, la cámara se ubica en el fondo de la caja, sobre una lámina de acrílico blanco, a 35 cm de distancia de la hoja de tabaco, con el fin de abarcar toda la hoja de tabaco

### 6.1.3 Fuentes de Iluminación.

La iluminación se ubica en el fondo de la caja en los laterales, se emplean tres lámparas led de 9W, esta ubicación se escoge debido a que si se pone la luz a la misma altura que la hoja de tabaco, afecta la percepción del color a través de la cámara, dañando la medida, y afectando la identificación de su estado de maduración.

Además de que se tapiza el fondo de la caja, con fomi, para aumentar la luz que arrojan las tiras de led, también se utiliza un segundo vidrio antirreflejo inmediatamente sobre las luces, el cual mejora el brillo al interior de la caja, y para finalizar, sobre este vidrio, reposa una lámina en acrílico, que ayuda a volver uniforme la iluminación.

### 6.1.4 Algoritmo de procesamiento digital de imágenes.

El algoritmo, se realiza con el software Matlab, en un computador Toshiba de procesador ICore 5 de 1.80 GHz, memoria RAM de 6GB y sistema operativo de 64 bits, en la figura 17, se observa la secuencia del algoritmo. Una de las principales razones de escoger Matlab, es debido a que es un programa especializado en las operaciones matriciales, lo cual es conveniente, debido a que una imagen es una matriz, con valores que van de 0 hasta 255, representando a cada número un valor diferente para cada color y presenta los toolboxes necesarios para dicho proceso.

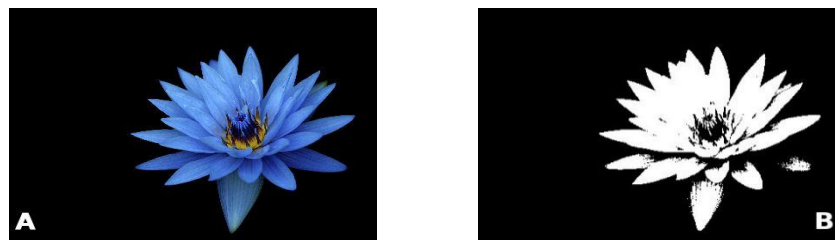
En la actualidad hay distintos tipos de lenguajes de programación, con diferentes plataformas las cuales contienen ventajas y desventajas según consideración del programador en la tabla 1, se mostrara algunas de las diferencias que tienen, uno de ellos es la programación en lenguaje Android el cual maneja distintas plataformas para su programación las cuales son Objective-C lenguaje de IOS, Java lenguaje para Android y .Net lenguaje para Windows phone, otra forma de programación es Matlab ya que es una herramienta que mediante su software matemático ofrece un desarrollo integrado, el cual contiene un lenguaje de programación propio lenguaje M. por último el lenguaje octave el cual es un programa multiplicador ya que se puede utilizar en Windows, Linux y macos entre otros, su lenguaje de programación básico, para generar las aplicaciones en octave es necesario tener instalado Scilab que es un programa desarrollador de aplicaciones de control de sistemas y procesamiento de señales de forma matemáticas.

NOMBRES DE SOFTWARE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>APLICACIONES MOVILES</p>	<p>Máximo rendimiento en dispositivos.</p> <p>Se incrementa la experiencia del usuario.</p> <p>Disponibilidad en App store.</p> <p>Notificaciones disponibles</p> <p>Actualizaciones constantes.</p>	<p>Distintas funcionalidades en cada plataforma.</p> <p>Las aplicaciones en algunos casos son más costosas como las nativas.</p> <p>Código personalizado y exclusivo.</p>
<p>MATLAB</p>	<p>Los programas son rápidos en ejecución y de alta precisión.</p> <p>Amplio soporte matemático y precisión en los cálculos matemáticos.</p> <p>Amplio soporte de funciones ya desarrolladas.</p> <p>Integración con dispositivos hardware.</p> <p>Fácil de adquirir y es compatible con otros programadores.</p>	<p>Gestión oscura de la memoria.</p> <p>Problemas eventuales de velocidad.</p> <p>Distribución de ejecutables</p> <p>La herramienta de debugging y profiling no suelen ser fáciles de utilizar para algunos usuarios.</p>

OCTAVE	<p>Software libre.</p> <p>Contiene unas poderosas herramientas para graficar.</p> <p>Creación en el sistema de funciones propias del usuario.</p>	<p>Ambiente poco amistoso con el programador</p> <p>Se debe instalar paquetes para realizar acciones complementarias con el sistema.</p> <p>Puede generar conflictos con las últimas versiones de Windows 8.</p> <p>Requiere mayor espacio en disco para su almacenamiento.</p> <p>Requiere un lenguaje de programación avanzado.</p>
--------	---	---

*Tabla 5 Comparación de lenguaje de programación.  
Tomado de (GUTIERREZ SUCLLA, 2007)*

Para el desarrollo del algoritmo, se implementa una base de datos con 68 hojas de tabaco “*Burley*”, con el fin de diferenciar lo que es el fondo de la imagen, con respecto al objeto (Hoja de tabaco), para lo cual se utiliza el método de Fisher, que permite la identificación del objeto, arrojando como resultado una imagen en blanco y negro, como se ve en la figura 21.



*Figura 21 – Segmentación de un objeto (A) Imagen original (B) Imagen segmentada  
Tomado de (Los porqués de la naturaleza, 2017)*

Una vez segmentada la imagen, se procede con la identificación, del estado de madurez en la que, a partir de dos nuevas bases de datos, donde se toman muestras de pixeles diferenciando hojas de buena calidad y de mala calidad.

El método que se empleó para la identificación del estado de maduración, es la distancia euclidiana, la cual consiste en evaluar puntos de dos diferentes grupos de datos, y al aplicar la ecuación 1, se determina un valor con respecto a la parte madura de la hoja, luego se repite el proceso, pero ahora con la parte de baja calidad, dando como resultado dos grupos de datos diferentes.



Se marca de color verde la parte de buena calidad de la hoja, mientras que en rojo la parte que carece de calidad, se utiliza la imagen segmentada para saber la posición del pixel en la matiz que se va a trabajar, es decir si es blanco se efectúa una comparación entre los dos grupos de datos obtenidos, mientras que, de ser negro, no hay nada que comparar; se identifica que valor es más grande con respecto al otro, si es mayor el valor del pixel de buena calidad, tomara un color verde, mientras que si es mayor el valor que corresponde a una baja calidad, tomara un color rojo, al final se suma la cantidad de pixeles verdes y rojos, para determinar un porcentaje de cada color, con el cual se puede clasificar la calidad de la hoja en general, lo cual se describe en la figura 22, en la tabla 5 se ve la clasificación del estado de maduración por color de las hojas.

<b>Clase</b>	<b>Verde</b>	<b>Rojo</b>	<b>Mercado</b>
<b>1</b>	75.01% - 100%	0% - 24.99%	Exportación, Tabaco Fino
<b>2</b>	51.01% - 75%	25% - 50.99%	Cigarrillos nacionales, de mediana calidad
<b>3</b>	28.01% - 51%	51% - 74.99%	Relleno y/o cigarrillo artesanal
<b>4</b>	0% - 28%	75% - 100%	Tabaco Quemado

*Tabla 6 Clasificación de las hojas*  
*Autor*

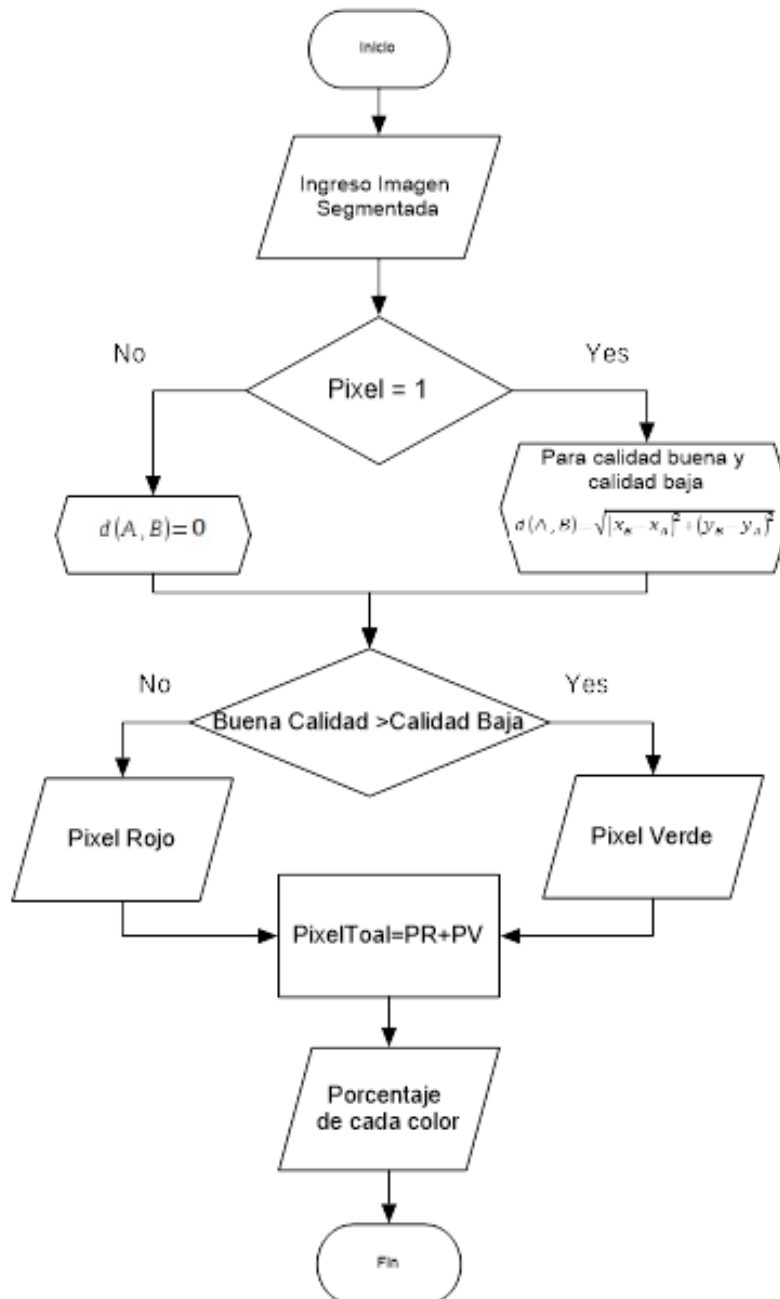


Figura 22 – Diagrama de flujo secuencia de la lógica para la distancia euclidiana.  
 Autor.

En la figura 23 se muestra el diagrama general de todo el sistema, en el que se especifica de manera específica la metodología implementada del algoritmo.

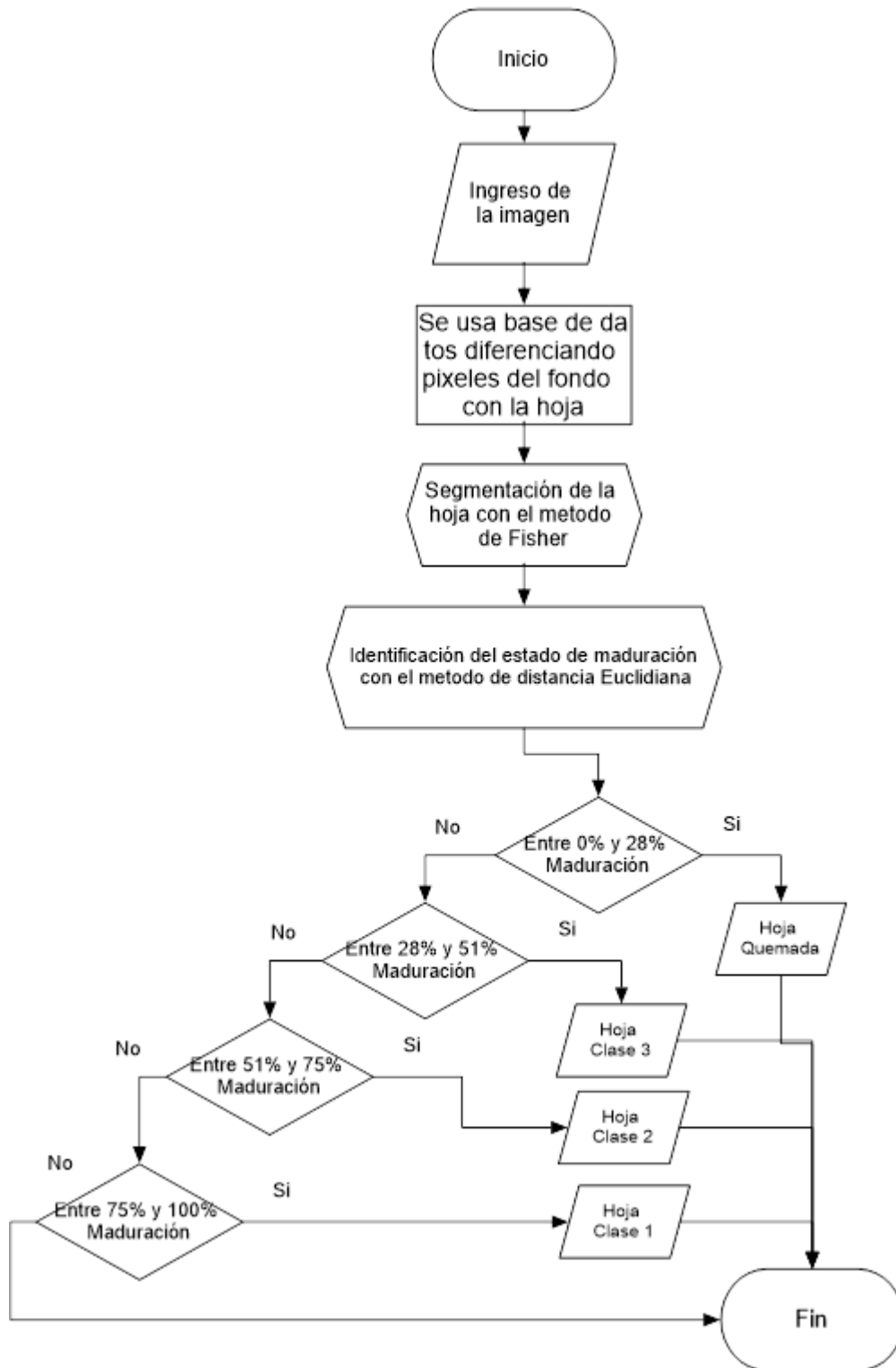


Figura 23 – Diagrama de flujo del algoritmo para determinar el estado de maduración.  
Autor.

### 6.1.5 Desarrollo interfaz gráfica.

Para un uso más práctico del algoritmo, se desarrolla una interfaz gráfica con la herramienta GUI<sup>2</sup>, la cual es muy sencilla y práctica, además de que tiene la posibilidad de ejecutarse en cualquier computador, es decir que, no hay la necesidad de que el ordenador a utilizar, tenga instalado el software Matlab.



Figura 24 – (A) Interfaz gráfica de la herramienta.  
Autor

En la figura 25, se puede observar, que al presionar el botón “Cargar Imagen”, permite realizar una búsqueda en las carpetas del computador, para agregar la imagen tomada por la cámara, mientras que al presionar el botón “Procesar imagen”, muestra la hoja de tabaco con las partes marcadas de verde lo que esta con buena calidad y de rojo lo que tiene baja calidad.

En la figura 26, se ve una ventana emergente que indica el porcentaje de pixeles verdes y el porcentaje de pixeles rojos, con los cuales se determina la clase a la que pertenece la hoja.

<sup>2</sup> Interfaces gráficas de usuario (por sus siglas en ingles) de Matlab, permiten un control sencillo de las aplicaciones de software, lo cual elimina la necesidad de aprender un lenguaje y escribir comandos a fin de ejecutar una aplicación.



Figura 25 – (B) Interfaz gráfica de la herramienta.  
Autor

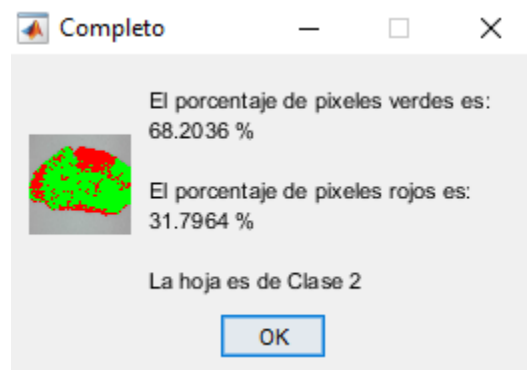


Figura 26 – (C) Interfaz gráfica de la herramienta.  
Autor.

Para la conexión de la cámara, se presiona en el botón “*Tomar Imagen*”, el cual abre el navegador por defecto del computador, junto a una ventana emergente con las indicaciones de como conectar la cámara, tal y como se ve en la figura 27 y 28.

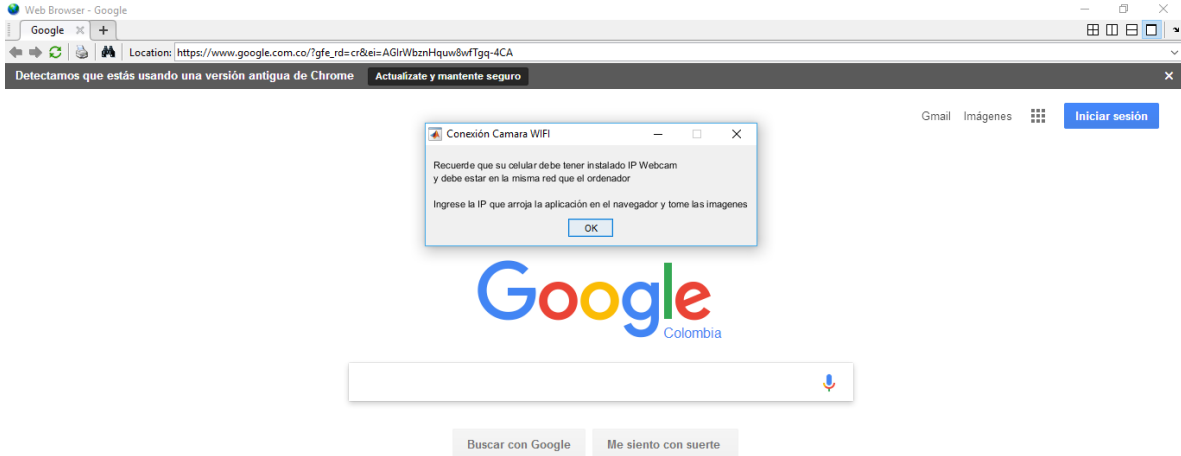


Figura 27 – (D) Interfaz gráfica de la herramienta Autor

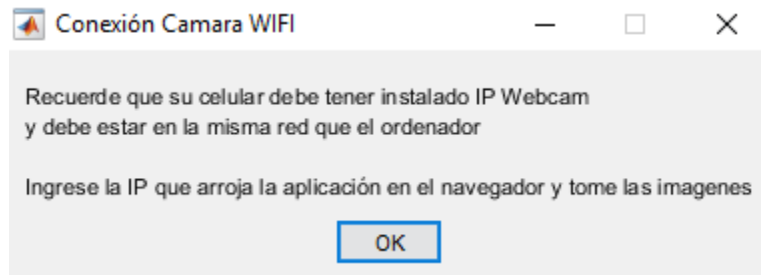


Figura 28 – (E) Interfaz gráfica de la herramienta Autor

La forma de tomar las imágenes, como lo indica la figura 28, es que la cámara wifi debe estar en red con el computador, y el celular necesita la aplicación “*IP Webcam*”, para que funcione la conexión. En la figura 29, se puede ver como es la interfaz de la aplicación en el ordenador, donde se configuran los parámetros de la cámara, para este caso se escogió una resolución de 1200x720 para la toma de imágenes.

La ip que se debe ingresar en el navegador, es arrojada por la aplicación en el teléfono, en la figura 30, se puede ver esta interfaz propia de IP Webcam, además de la dirección y la validación de que debe estar en red para la correcta comunicación.

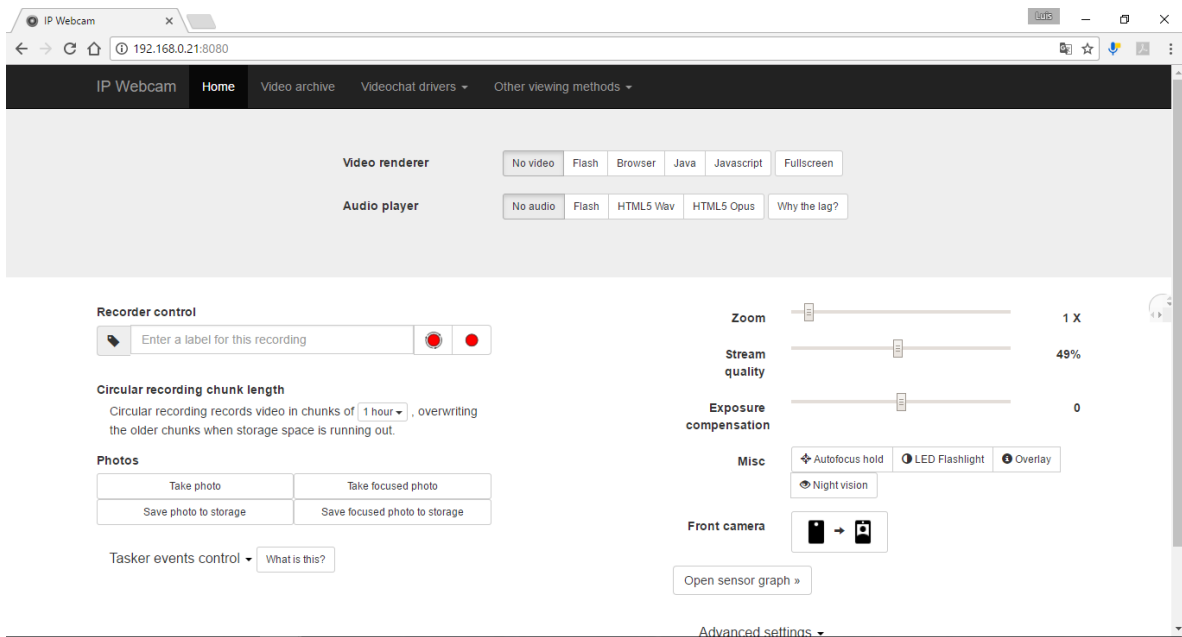


Figura 29 – Interfaz propia de IP Webcam en el ordenador  
Autor.

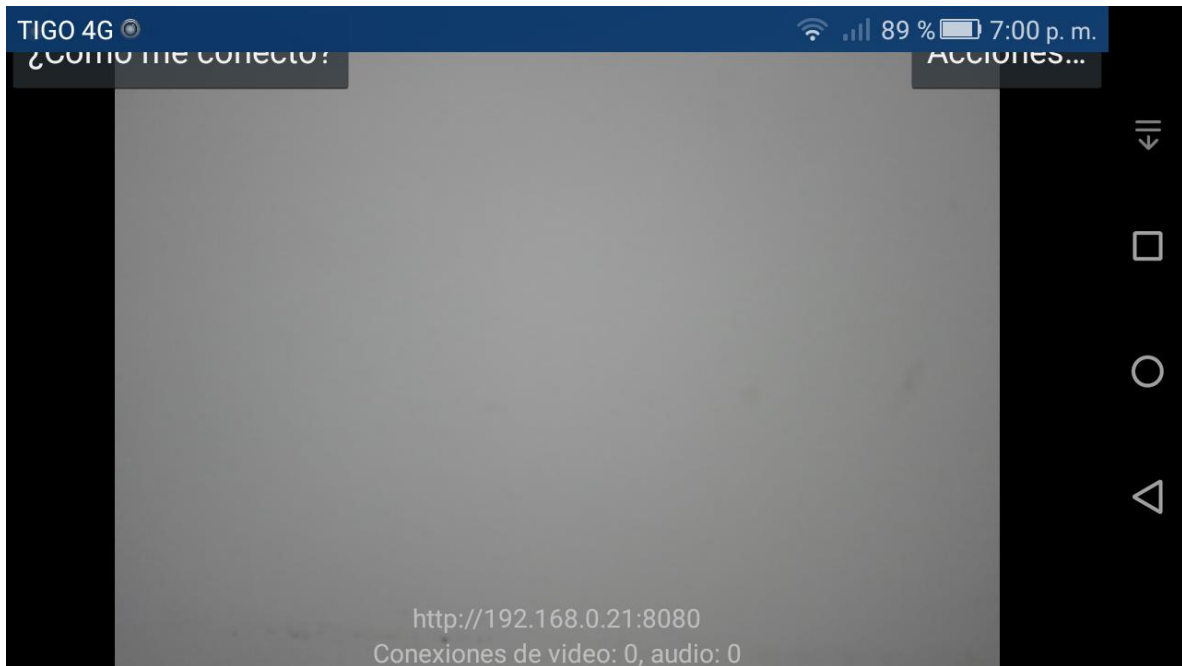


Figura 30 – Interfaz propia de IP Webcam en el celular  
Autor.

## 6.2 Implementación.

La estructura del sistema de visión artificial se construyó en acrílico negro, con las características descritas anteriormente y se puede evidenciar en la figura 31, además la posición de la iluminación y de la hoja se ven en las figuras 32 y 33 respectivamente, y como se mencionó previamente, se tapiza en fomi blanco el interior de la caja, para mitigar el brillo que producen la iluminación, figura 34.



*Figura 31 – Estructura física del sistema de visión artificial.  
Autor.*



*Figura 32 – Ubicación de la iluminación en la estructura física del sistema de visión artificial  
Autor.*





*Figura 33 – Ubicación de la hoja al interior de la estructura del sistema de visión artificial.  
Autor.*



*Figura 34 – Tapizado al interior de la estructura del sistema de visión artificial  
Autor*

Se realiza una captura de 68 imágenes de diferentes hojas de tabaco “*Burley*”, en las cuales, se contó con la ayuda de dos técnicos en la cosecha de tabaco, para determinar la calidad de las hojas, donde cada uno, identifico a que clase pertenecía cada hoja, para lo cual, la herramienta desarrollada realiza el mismo procedimiento.

## 7. Análisis de resultados.

### 7.1 Captura y transmisión de imágenes.

Capturar la imagen es muy importante, ya que de este proceso depende la fiabilidad del proyecto, para este trabajo se utiliza la cámara de un dispositivo Android especificado en la tabla 4.

Inicialmente se configura el dispositivo para la captura de la imagen, con la aplicación DroidCam<sup>3</sup> ya que tiene un enlace de fácil uso con el software Matlab, por medio de una red inalámbrica, como se muestra en la figura 35, pero esto generó un problema con la calidad de la imagen ya que DroidCam baja la resolución de la misma a 480X720 lo cual le genera inconvenientes al sistema con la detección y clasificación de la imagen.



*Figura 35 – Captura realizada por DroidCam  
Autor*

Dicho lo anterior se realizan pruebas con una nueva aplicación “IP Webcam” la cual tiene una conexión inalámbricamente entre el dispositivo Android y el computador, además de que posee un amplio rango de resoluciones, permite realizar enfoque en la imagen, mejorando la calidad de imagen.

---

<sup>3</sup> Aplicación que permite visualizar la cámara de un dispositivo Android, en cualquier ordenador.



Figura 36 – Captura realizada por IP Webcam  
Autor.

En la figura 36 se evidencia que la captura es de mejor calidad, además de que se realiza con una resolución de 1200x180, es por esto que se escoge esta aplicación para la captura de imagen.

## 7.2 Proceso de segmentación de las hojas

Para la segmentación de la imagen se utilizaron varios métodos, uno de ellos era por medio de umbralización por histograma, arrojando como resultado la figura 37.

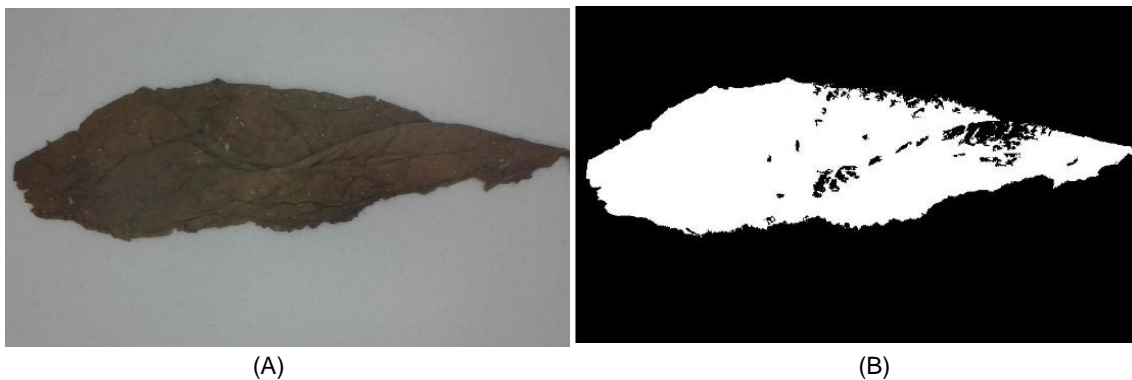


Figura 377 – Segmentación por umbralización por histograma, (A) Imagen original, (B) Segmentación  
Autor.

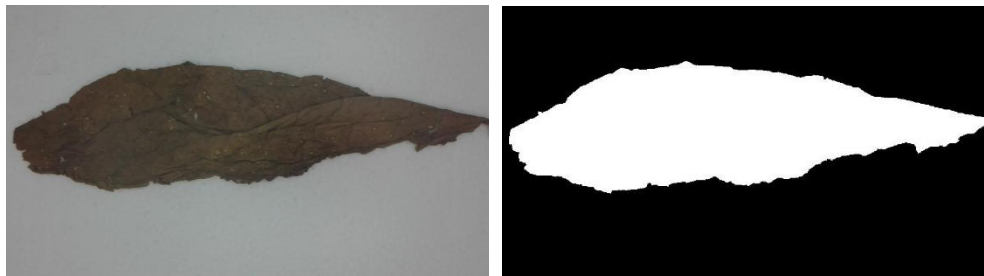
El inconveniente de este método, es que se debe establecer un rango analizando el histograma de la imagen en escala de grises, resulta bastante complejo encontrar un valor adecuado que funcione para cada una de las imágenes tomadas, ya que no todas las hojas presentan la misma configuración, también se prueba con el método de descriptores morfológicos, como se ve en la figura 38.



(A) (B)  
*Figura 38 – Segmentación por descriptores morfológicos, (A) Imagen original, (B) Segmentación Autor*

Utilizar este tipo de segmentación, genera mucho ruido, como se ve en la figura 38(B), estos objetos de menor tamaño identificados en la imagen, pueden generar errores al momento de clasificar las hojas, y aunque se pueden eliminar mediante una secuencia de código, también necesitaría de un valor estándar para cada imagen, igual que el método de umbralización.

Por último, se implementa el método de Fisher, que consiste en generar una base de datos de un porcentaje de las imágenes, para determinar dos clases, el fondo de la imagen, y el objeto a segmentar, en la figura 39, se observa la implementación de esta técnica.



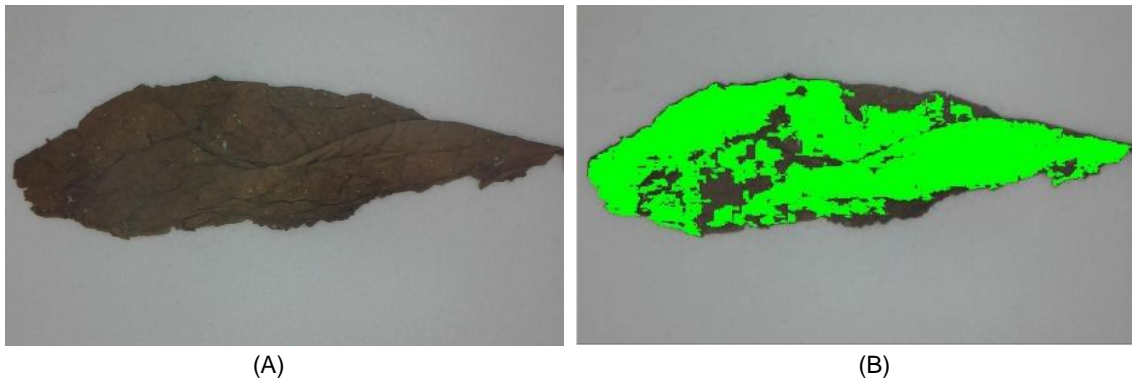
(A) (B)  
*Figura 39 – Segmentación método Fisher, (A) Imagen original, (B) Segmentación Autor.*

Este método logra una segmentación adecuada, sin generar ningún tipo de ruido en la imagen además de que, al utilizar una base de datos, se genera un punto de referencia estándar para segmentar correctamente cada imagen, por lo cual se escoge este método.

### **7.3 Método para la clasificación de las hojas**

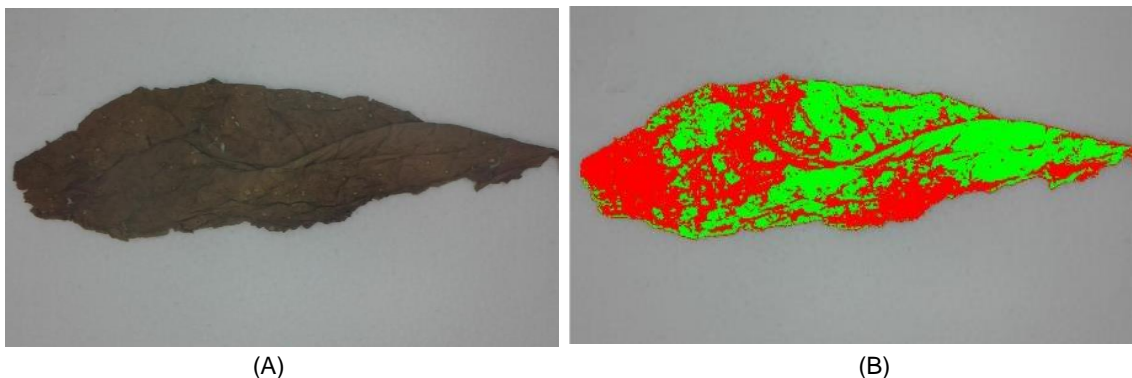
Para la clasificación de las hojas, se tiene en cuenta la segmentación de las mismas, teniendo en cuenta lo anterior, se implementan dos técnicas diferentes, la primera

es utilizar un método por rangos, en el que se establece el valor de color según la información de los técnicos, como se ve en la figura 40, la imagen es clasificada, pero sombreando únicamente una sección de la hoja, identificando lo que esta con buena calidad, ignorando lo demás, es decir que no se tienen en cuenta lo valores que están fuera de este rango.



*Figura 40 – Clasificación de la hoja de tabaco por rango, (A) Imagen original, (B) Imagen clasificada*  
Autor

Para la segunda técnica se utiliza el método de distancia euclidiana, que se refiere a tener una base de datos por cada clase a identificar, para este caso, se requieren analizar la buena calidad y la baja calidad de la hoja.



*Figura 41 – Clasificación de la hoja por distancia euclidiana, (A) Imagen original, (B) Imagen clasificada*  
Autor

En la figura 41, se puede observar que esta técnica, identifica lo que es de buena calidad en color verde, mientras que la baja calidad se marca en rojo, logrando la inclusión de cada valor de pixel en la hoja de tabaco, permitiendo la clasificación de la hoja según la tabla 5, es por esta razón que se decide utilizar esta técnica para la clasificación.

#### 7.4 Validación de la herramienta computacional.

A continuación, se presentan en las tablas 6 y 7 la clasificación por parte los expertos, comparada con la clasificación que arroja la herramienta.

N° Hoja	Clasificación			N° Hoja	Clasificación		
	Experto 1	Experto 2	Herramienta		Experto 1	Experto 2	Herramienta
1	3	3	3	18	3	3	4
2	4	4	4	19	3	3	4
3	4	4	3	20	3	3	3
4	4	4	3	21	2	1	2
5	4	3	4	22	2	2	2
6	3	4	3	23	3	2	4
7	4	4	3	24	3	3	4
8	4	3	4	25	3	3	3
9	3	4	3	26	3	2	3
10	4	4	4	27	3	3	3
11	4	4	4	28	3	2	4
12	4	4	4	29	3	3	4
13	3	3	3	30	2	3	2
14	3	2	3	31	4	3	3
15	2	2	2	32	2	3	2
16	3	3	3	33	3	2	4
17	3	3	3	34	3	2	3

Tabla 7 Validación de los datos entre los expertos y la herramienta  
Autor

N° Hoja	Clasificación			N° Hoja	Clasificación		
	Experto 1	Experto 2	Herramienta		Experto 1	Experto 2	Herramienta
35	2	1	2	52	2	2	2
36	2	3	2	53	3	2	4
37	1	2	1	54	2	2	2
38	4	3	4	55	3	3	3
39	2	2	2	56	3	3	3
40	3	3	4	57	2	2	2
41	3	2	3	58	2	2	2
42	2	2	2	59	3	3	3
43	2	2	2	60	3	3	3
44	1	3	3	61	2	2	2
45	2	2	2	62	2	2	2

46	4	4	4	63	2	2	2
47	3	2	3	64	3	3	3
48	3	3	3	65	2	2	4
49	3	2	3	66	2	2	2
50	2	3	2	67	2	2	2
51	2	3	2	68	2	2	2

Tabla 8 Validación de los datos entre los expertos y la herramienta  
Autor

Acto seguido se procede a analizar la cantidad de hojas que pertenece cada clase, según los expertos y la herramienta, como se ve en la tabla 8.

CLASES	EXPERTO 1	EXPERTO 2	HERRAMIENTA
Clase 1	2	2	1
Clase 2	24	28	23
Clase 3	31	28	26
Clase 4	11	10	18

Tabla 9 Cuantificación de las clases  
Autor.

Para comprobar la efectividad de la herramienta computacional con respecto a los datos del técnico y teniendo en cuenta la tabla 8, se realiza un gráfico para analizar este proceso para cada experto respectivamente.

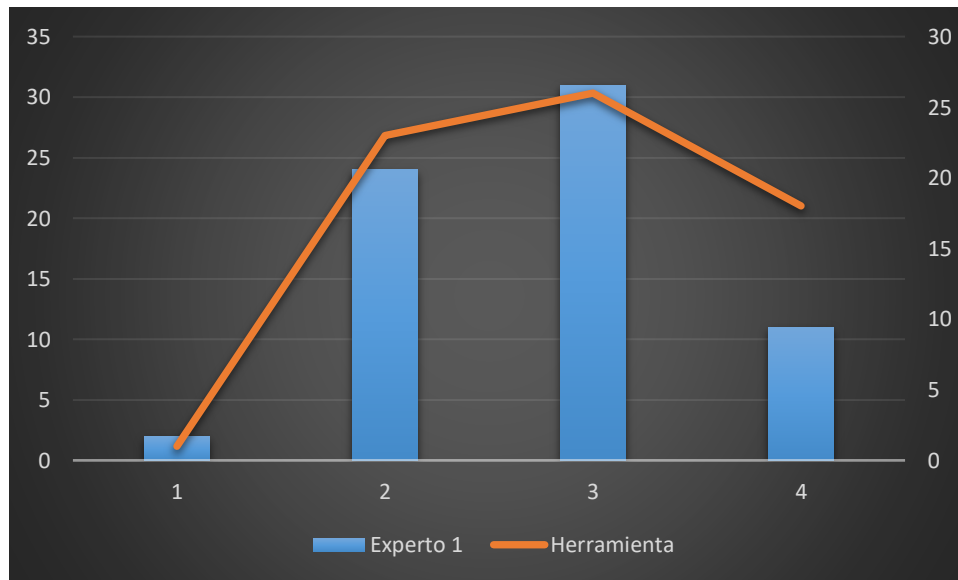


Figura 42 – Seguimiento de la herramienta con respecto al experto 1.  
Autor.

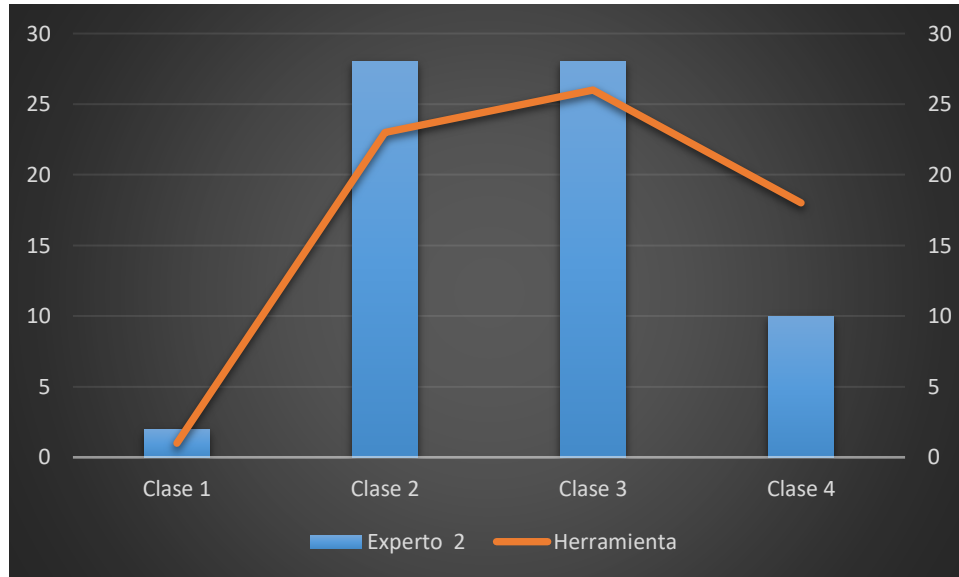


Figura 43 – Seguimiento de la herramienta con respecto al experto 2.  
Autor.

Al analizar las figuras 42 y 43, se puede decir que la herramienta clasifica de una manera más detallada pixel por pixel por el contrario, el experto se puede decir que tiene una visión más superficial de la hoja.

Con los datos de la tabla 8, se realiza ahora el índice de coeficiente de determinación<sup>4</sup>, el cual indica que la herramienta tiene un 85% de efectividad con respecto a la opinión del experto, tal y como se muestra en la figura 43.

---

<sup>4</sup> El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados.



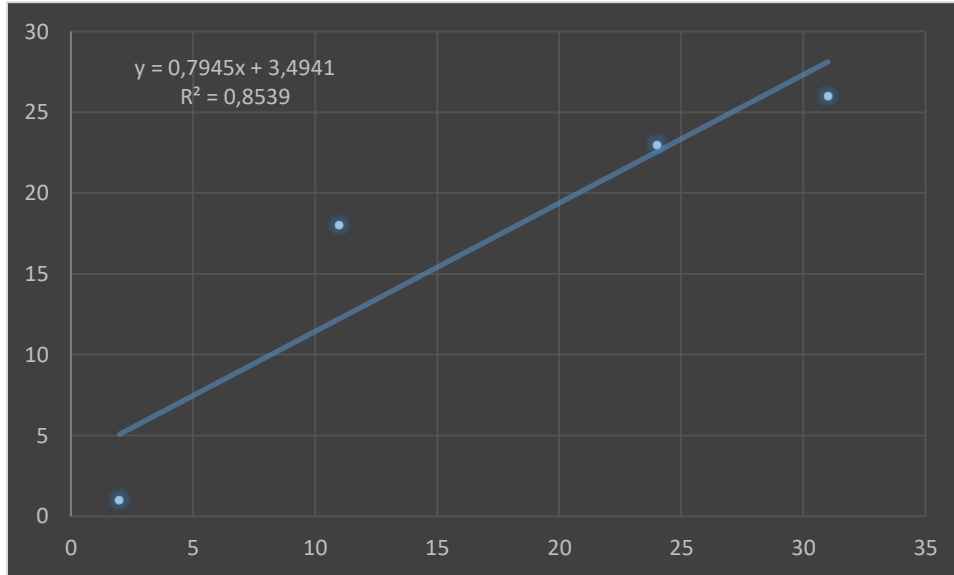


Figura 44 – Coeficiente de Determinación respecto al experto 1  
 Autor.

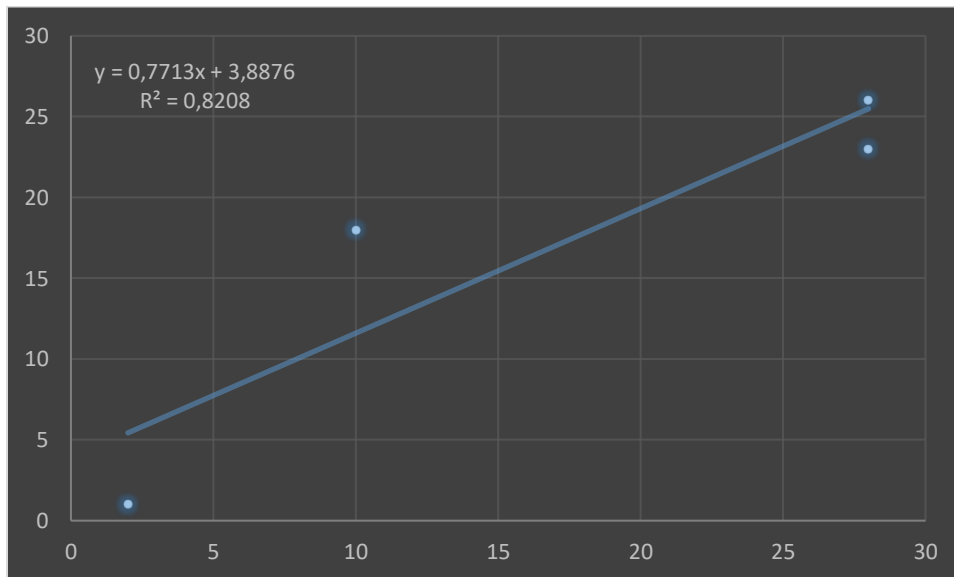


Figura 45 – Coeficiente de Determinación respecto al experto 2  
 Autor.

En la tabla 9, se presenta el coeficiente de determinación de cada experto con respecto a la herramienta, permitiendo analizar que, en promedio, la herramienta presenta un 83,73% de eficiencia.

Experto	Coefficiente
<b>1</b>	85,39 %
<b>2</b>	82,08 %
<b>Promedio</b>	83,73 %

Tabla 10 Coeficientes de Determinación  
Autor.

En el gráfico de la figura 46, se observa el análisis de la clasificación para 29 hojas de las 68 de tabaco "Burley" aleatorias, en donde se muestra la clasificación que aporta cada técnico y la que arroja la herramienta.

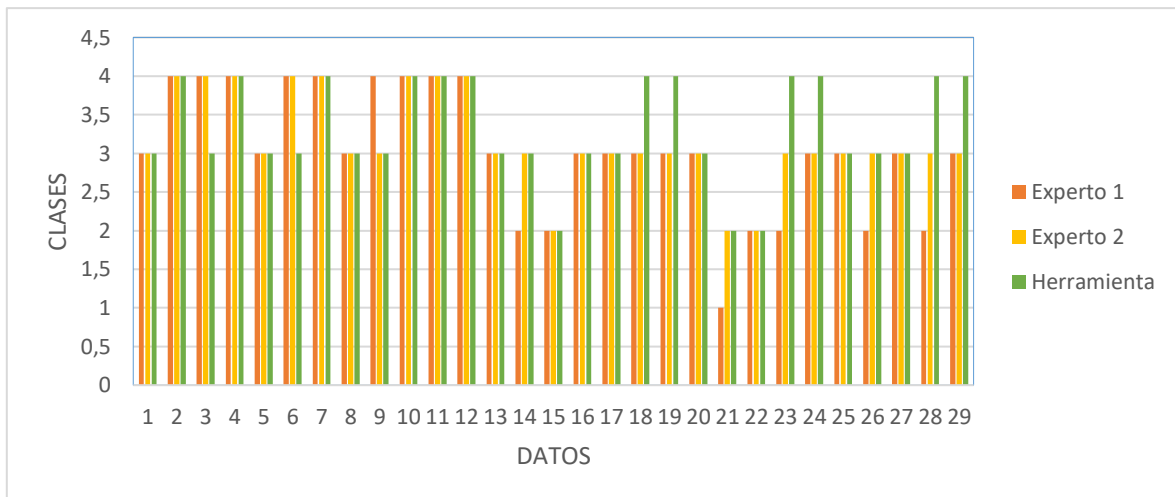


Figura 46 – Validación de la herramienta  
Autor

## 7.5 Análisis comparativo con técnicas semiautomáticas.

En la tabla 11 se realiza un análisis comparativo entre el método utilizado con respecto a las investigaciones realizadas años atrás.

Titulo Trabajo	Autor(es)	Método Utilizado	Proyecto Desarrollado	Resultados
<b>Classification and Quality Evaluation of Tobacco Leaves Based on Image Processing and Fuzzy Comprehensive Evaluation (Zhang &amp; Xinhong, 2011).</b>	Fan Zhang, Xinhong Zhang.	Redes Neuronales	Clasificación de las hojas de tabaco en el curado a vapor.	Precisión del 94% para hojas escogidas y 72% para hojas tomadas aleatoriamente
<b>A transformation technique from RGB signals to the Munsell system for colour analysis of tobacco leaves (Zhanga, y otros, 1998)</b>	Zhanga, J; Sokhansanja, S ; Wub, S; Fangb, R; Yanga, W; Wintera, P;	Sistema de color Munsell	Se simula la visión de color humano con el método Munsell numéricamente.	El método desarrollado podría simular la visión de color humano.
<b>Image segmentation based on transmission characteristics of flue-cured tobacco leaves (Wenjie, Liyuan , He; Shengxiang, Xu; Jie, Chen; Zhaohui, Wu &amp; Zhaohui, 2006)</b>	Wenjie, Ma; Liyuan , He; Shengxiang, Xu; Jie, Chen; Zhaohui, Wu	Segmentación por color	A partir del análisis de una matriz 3x3 en las hojas en el proceso de curado, comparado con segmentación por método estadístico	La segmentación es mayor por análisis RGB que con el método estadístico.
<b>Development of a virtual expert for colour classification of tobacco leaves. Validation against human experts (Ruiz Altisent, Barreiro, &amp; Garcia, 1998)</b>	Ruiz Altisent, M; Barreiro, P; Garcia, M	Experto Virtual	Realizan una comparación virtual del color de la hoja de tabaco, contra la opinión de cuatro expertos.	El experto virtual obtiene el 74% de certeza, mientras que los expertos están entre el 66% y 84%
<b>Desarrollo de una herramienta computacional para clasificación de hojas de tabaco durante el proceso de curado mediante procesamiento digital de imágenes</b>	Buitrago Triana, M.	Clasificación de color por distancia euclidiana	Usando procesamiento digital de imágenes, se aplica el proceso de distancia euclidiana para clasificar las hojas de tabaco en el proceso del curado.	La herramienta obtiene un 84.36% de eficiencia, comparado con los resultados de los expertos que fue del 83.73%

Tabla 11 Comparación de diferentes resultados.  
Autor

## 8. Conclusiones

Con este proyecto, se logró obtener una herramienta computacional, que permita identificar y clasificar el estado de maduración de las hojas de tabaco “*Burley*” durante el proceso de curado, mediante el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes.

Se evidencia que, al momento de aplicar una resolución para la toma de las imágenes, debe ser la adecuada ya que, si es una resolución más grande, la matriz que compone la imagen será de mayor tamaño, lo que implica que el computador necesite de mayor procesador para realizar la operación, lo cual se ve afectado el sistema en el tiempo de respuesta.

Se pudo observar que en el momento de hacer la iluminación es muy importante ya que este puede generar sombras o exceso de iluminación y de esta manera deteriora la calidad de la imagen, por lo tanto, se debe tener en cuenta todos los factores, como luz ambiente, dimensiones de la estructura del sistema de visión artificial, como la iluminación a utilizar.

En el momento de elegir el material de la caja se utilizó un acrílico calibre 3 ya que presenta mayor tolerancia a la temperatura, pero cuando se llevó al campo de prueba se generaron inconvenientes como elongación y despegue del material, esto genero un costo adicional ya que no se sobredimensionó el material.

A la hora de la clasificación se debe tener en cuenta la toma de los puntos para las bases de datos, ya que en el momento de la segmentación y clasificación dentro del algoritmo puede generar errores de porcentajes y eficiencia de la herramienta computacional. Los resultados obtenidos evidencian que la técnica de segmentación permitió generar un punto de referencia para realizar este proceso, que funciona para las 68 hojas de muestra, comprobando que el método de Fisher es el adecuado, por otro lado, la distancia euclidiana fue la mejor opción para la clasificación en este proyecto, debido a que, funciona de manera similar al proceso de segmentación, con base de datos, lo cual da mayor fiabilidad al método implementado.

Al validar la herramienta computacional utilizando el método de detección del coeficiente de determinación, con respecto a los datos entregados por parte de los expertos, en cuanto a la clasificación de las hojas, se evidencia el 16,26% de



margen de error, dando como resultado una eficiencia del 83,73% en promedio del sistema de visión artificial.

Debido a que Matlab es un software especializado en operaciones matriciales, posee muchas herramientas para el uso de estas, que facilitan la implementación de algoritmos basados en matrices, además de que tiene la capacidad de permitir que dichos algoritmos puedan funcionar en cualquier computador independientemente de que tengan instalado Matlab.

## 9. Referencias

- ABC, D. (Mayo de 2016). *Definición ABC*. Obtenido de <http://www.definicionabc.com/tecnologia/pixel.php>
- Anant, B., & Manpreet, K. (2013). A Review On Plant Recognition and Clasification Techniques Using Leaf Images. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4(2), 86-91. Recuperado el 2016, de <http://www.ijettjournal.org/volume-4/issue-2/IJETT-V4I2P203.pdf>
- Auregoméz. (2017). *Auregoméz fotografía*. Obtenido de <http://www.auregomez.com/tutoriales/modelos-espacios-y-perfiles-de-color/>
- Biblioteca digital ILCE*. (s.f.). Obtenido de [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec\\_9.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec_9.htm)
- Cerquera Peña, N. E., Ruiz Osorio, Y., & Pastrana Bonilla, E. (20 de Abril de 2010). Evaluación del horno de curado de tabaco por convección forzada USCO - MADR. *SciELO Colombia - INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 30 No. 1*, 91-96. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a16.pdf>
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed Conocimiento con Todos y Para Todos*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Distancia\\_eucl%C3%ADdea](https://www.ecured.cu/Distancia_eucl%C3%ADdea)
- Fang, Y., Xingyu, W., Pujuan, S., Chengda, L., & Zhai, R. (Julio de 2015). Automatic identification of two growth stages for rapeseed plant: Three leaf and Four Leaf Stage. *IEEE Xplore Digital Library*, 148-153. Recuperado el 2016, de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7248125&tag=1>
- Fedetabaco. (2016). *Fedetabaco - Fondo Nacional de Tabaco*. Obtenido de <http://www.fedetabacofondo.org.co/home/areas-de-produccion/>
- GUTIERREZ SUCLLA, A. (2007). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/261176770/MATLAB-Ventajas-y-Desventajas>
- Han, L. (2008). Recognition of the Part of Growth of Flue-Cured Tobacco Leaves Based on Support Vector Machine. *IEEE Xplore Digital Library*, 3624-3627.
- InfoAgro. (s.f.). *Info Agro*. Recuperado el 2016, de <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/tabaco.htm>
- INTEF. (Agosto de 2015). *Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado de España*. Obtenido de <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/107/cd/imagen/pdf/imagen01.pdf>

- IP Webcam. (Agosto de 2016). *Google Play*. Obtenido de [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pas.webcam&hl=es\\_419](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pas.webcam&hl=es_419)
- Kiran R, G., Ujwalla, G., & Kamal O, H. (2014). Unhealthy Region of Citrus Leaf Detection Using Image Processing Techniques. *IEEE Xplore Digital Library*, 1-6.
- Kurniawati, N. N., Abdullah, S. N., Abdullah, S., & Abdullah, S. (2009). Investigation on Image Processing Techniques for Diagnosing Paddy Diseases. *IEEE Xplore Digital Library*, 272-277.
- Los porqués de la naturaleza. (15 de Febrero de 2017). *Los porqués de la naturaleza*. Obtenido de <http://losporquesdelanaturaleza.com/software-matematico-y-procesado-de-imagenes/>
- Martín, M. (Mayo de 2004). *Laboratory of Mathematics in Imaging*. Obtenido de <http://lmi.bwh.harvard.edu/papers/pdfs/2003/martin-fernandezCOURSE03b.pdf>
- mcpro. (03 de Septiembre de 2016). *mcpro*. Obtenido de <http://www.muycomputerpro.com/2016/09/03/las-empresas-tradicionales-se-deben-transformar-en-digitales-para-sobrevivir>
- Minitab. (2016). *Soporte de Minitab 17*. Obtenido de <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/multiple-comparisons/what-is-fisher-s-isd-method/>
- Olfa, M., Itheri, Y., Nozha, B., & Ezzeddine, Z. (2013). Advanced tree species identification using multiple leaf parts image queries. *IEEE Xplore Digital Library*, 3967-3971.
- Peña Severiche, L., & Rivera Rodríguez, H. (2011). *Universidad del Rosario*. Recuperado el Mayo de 2016, de [http://www.urosario.edu.co/urosario\\_files/e0/e0a8583b-83c2-494a-b25e-387fc49a24a2.pdf](http://www.urosario.edu.co/urosario_files/e0/e0a8583b-83c2-494a-b25e-387fc49a24a2.pdf)
- Pinto Salvatierra, R. (s.f.). *Sistema de información agrícola nacional*. Obtenido de <http://sian.inia.gob.ve/repositorio/folletosvenezolanos/141-150/150%20el%20cultivo%20del%20tabaco.pdf>
- Productos de Colombia. (2016). *Productos de Colombia*. Obtenido de <http://www.productosdecolombia.com/main/Colombia/Tabaco.asp>
- Ruiz Altisent, M., Barreiro, P., & Garcia, M. (1998). *Shs doc net*. Obtenido de Shs doc net: <http://docnet.ish-lyon.cnrs.fr/search/publi.62253.1667>
- Shen, W., Wu, Y., Chen, Z., & Wei, H. (2008). Grading Method of Leaf Spot Disease Based on Image Processing. *IEEE Xplore Digital Library*, 3624-3627.
- Tabacopedia. (2015). *Tabacopedia*. Obtenido de <https://tabacopedia.com/es/tematicas/historia-del-tabaco/>



Wenjie, M., Liyuan, H., Shengxiang, X., Jie, C., & Zhaohui, W. (2006). *NKI*. Obtenido de NKI: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-NYGU200607027.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NYGU200607027.htm)

Z, W., Z, C., & D, F. (2003). Shape based leaf image retrieval. *IEEE Xplore Digital Library*, 34-43.

Zhang, F., & Xinhong, Z. (5 de Febrero de 2011). *National Center for Biotechnology Information*. Obtenido de National Center for Biotechnology Information: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3231645/>

Zhanga, J., Sokhansanja, S., Wub, S., Fangb, R., Yanga, W., & Wintera, P. (Enero de 1998). *Science Direct*. Obtenido de Science Direct: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169997000410>



## Anexos

Se realiza una visita a un cultivo ubicado en el Espinal, Tolima donde se toma las muestras de las hojas de tabaco de tipo “Burley”, en donde se establecen las clasificaciones de calidad en torno a la opinión de los expertos presentes en el lugar.



*Figura 47 – Hoja de tabaco  
Autor.*

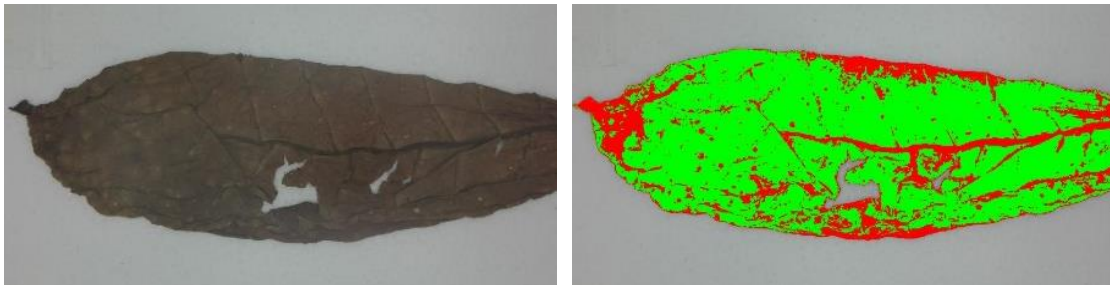


*Figura 48 – Hoja de tabaco.  
Autor.*

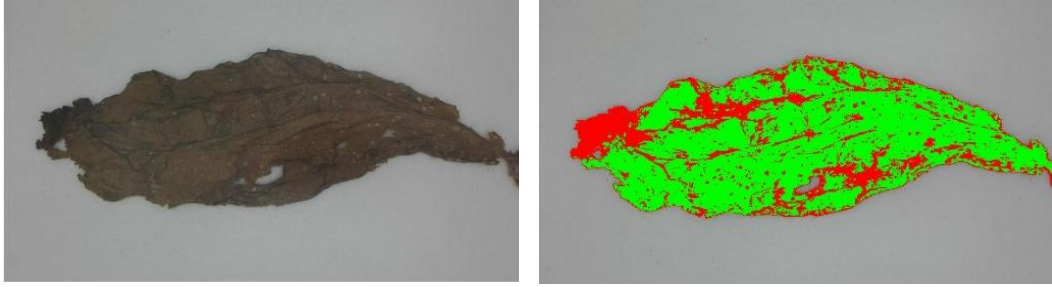


*Figura 49 – Toma de muestra.  
Autor.*

Se muestran algunas imágenes de las 68 pruebas realizadas.



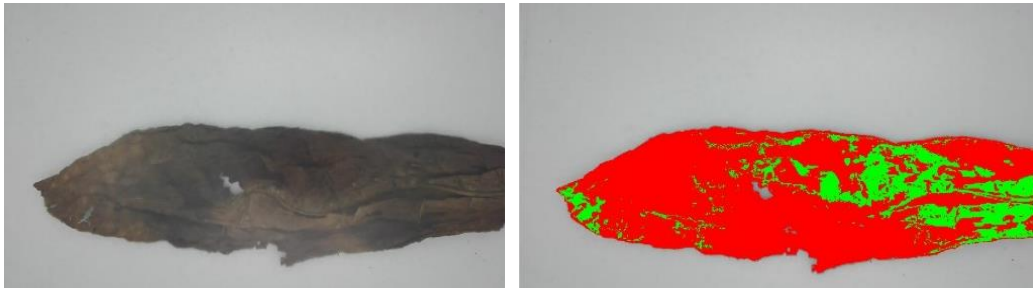
*Figura 50 – Imagen identificada clase 1.  
Autor.*



*Figura 51 – Imagen identificada clase 2.  
Autor*



*Figura 52 – Imagen identificada clase 3.  
Autor*



*Figura 53 – Imagen identificada clase 4.  
Autor*