

IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ SOFTWARE PARA LA
CARACTERIZACIÓN DE ORQUÍDEAS MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS
BASADOS EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.



Hugo Fernando Delgado Cristancho
Edwin Forero Gamba

*Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga
2010*

IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ SOFTWARE PARA LA
CARACTERIZACIÓN DE ORQUÍDEAS MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS
BASADOS EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.

Hugo Fernando Delgado Cristancho
Edwin Forero Gamba

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Director

Msc. Jaime Guillermo Barrero Pérez.

Codirector

PhD. Arturo Plata Gómez

*Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga
2010*

A la memoria de mi abuela María del Rosario Márquez

Hugo

A la memoria de mi hermano Gustavo Forero Gamba

Edwin

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está dedicado primero a Dios, por estar en nuestro corazón y estar en cada paso que damos, a nuestras familias por su cariño y comprensión durante toda la carrera, a nuestros amigos José, Oscar, Diana y Jorge quienes nos acompañaron durante todo el proceso de aprendizaje. Debemos agradecer de manera especial y sincera a nuestro Director Jaime Barrero, al Codirector Arturo Plata y al orquideólogo Jesús Orlando Rincón por la colaboración, apoyo y conocimiento durante el desarrollo de la tesis.

Los Autores

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	1
1. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FLOR EN LA ORQUÍDEA CATLEYA MENDELII.	4
1.1 ORQUÍDEAS CATLEYS MENDELII.	6
1.2 SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD	7
1.2.1 FORMA.....	7
1.2.1.1 Pétalos.	8
1.2.1.2 Sépalos.	9
1.2.1.3 Labelo.	10
1.2.2 COLOR.....	11
1.3 PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS FLORES.	14
1.4 CULTIVO Y COMERCIALIZACIÓN DE LA ORQUÍDEA CATLEYA MENDELII.	15
2. VISIÓN ARTIFICIAL EN LA CARACTERIZACIÓN DE ORQUÍDEAS CATLEYA MENDELLI.	18
2.1 INSPECCIÓN VISUAL PARA CARACTERIZAR ORQUÍDEAS CATLEYA MENDELII.....	19
2.1.1 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.	20
3. ETAPAS BÁSICAS DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL	21
3.1 ILUMINACIÓN.	21
3.1.1 ILUMINACIÓN DEL ENTORNO.	21
3.1.1.1 Reflexión.	22
3.1.2 TIPOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN.	22
3.1.2.1 Iluminación Direccional.	23
3.1.2.2 Iluminación Difusa.	24
3.1.2.3 Iluminación Contraluz.....	25
3.1.2.4 Iluminación Estructurada.....	25
3.2 TIPO DE ILUMINACIÓN IMPLEMENTADO EN EL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.	26
3.2.1 ILUMINACIÓN DE DÍA NUBLADO.	26
3.2.2 FUENTES LUMINOSAS.	27

3.2.2.1 Fuente de luz seleccionada.....	28
3.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN IMPLEMENTADO.....	29
3.4 ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES.....	30
3.4.1 CAPTURA DE IMÁGENES CON CÁMARA DIGITAL.....	31
3.4.1.1 Sensores de imagen.....	31
3.5 DIGITALIZACIÓN.....	33
3.5.1 RESOLUCIÓN ESPACIAL DE IMÁGENES.....	34
3.6 CÁMARA DIGITAL KODAK <i>EASYSHARE</i> C140.....	35
3.7 CARACTERIZACIÓN Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE LA CÁMARA DIGITAL.....	36
4. ADECUACIÓN Y PROCESADO DE LAS IMÁGENES ADQUIRIDAS.....	40
4.1 PRE-PROCESADO.....	40
4.1.1 REPRESENTACIÓN DE IMÁGENES CON NIVELES DE GRIS.....	40
4.2 SEGMENTACIÓN.....	42
4.2.1 ESPACIO DE COLOR RGB.....	43
4.2.2 ESPACIO DE COLOR YCbCr.....	45
4.2.3 CONVERSIÓN DE RGB A YCbCr.....	46
4.2.4 SEGMENTACIÓN DEL COLOR DE LA FLOR.....	47
4.2.4.1 Segmentación por Umbral o Umbralización.....	49
4.2.5 SEGMENTACIÓN DE LA FORMA DE LA FLOR.....	54
4.2.5.1 Segmentación basada en operaciones morfológicas.....	55
4.3 DETECCIÓN DE IMPERFECCIONES EN LA FLOR.....	61
4.3.1 IMPERFECCIONES CLARAS (TRANSPARENCIA EN LA FLOR).....	62
4.3.2 IMPERFECCIONES OSCURAS.....	63
5. RESULTADOS.....	66
5.1 PRUEBA ADICIONAL DE LA INTERFAZ GRAFICA.....	80
5.1.1 PRUEBA CON ROTACIÓN DE 180° A LA IMAGEN.....	80
5.1.2 PRUEBA CON ROTACIÓN DE 90° A LA IMAGEN.....	83
5.1.3 PRUEBA DEL ÁREA CON FIGURA GEOMÉTRICA CONOCIDA.....	86
6. CONCLUSIONES.....	89
7. RECOMENDACIONES.....	91

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 93

ANEXOS..... 97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Categoría taxonómica de la orquídea <i>catleya mendelii</i>	5
Figura 2. Flor de la orquídea <i>catleya mendelii</i>	6
Figura 3. Identificación de las partes de la flor.	8
Figura 4. Pétalos de la <i>catleya mendelii</i>	9
Figura 5. Sépalos de la <i>catleya mendelii</i>	10
Figura 6. Labelo de la <i>catleya mendelii</i>	11
Figura 7. Colores característicos de la <i>catleya mendelii</i>	12
Figura 8. Imágenes comparativas, (a) Flor de la <i>catleya mendelii</i> , (b) Flor de la <i>catleya trianae</i> o triana, (c) Flor de la <i>catleya quadricolor</i>	13
Figura 9. Representatividad del cultivo.	15
Figura 10. Reproducción <i>In vitro</i> de la <i>catleya mendelii</i>	16
Figura 11. Diagrama general en del sistema de visión implementado.	20
Figura 12. (a) Reflexión Especular, (b) Reflexión Difusa.....	22
Figura 13. Iluminación frontal direccional.	23
Figura 14. Iluminación direccional de ángulo bajo.	24
Figura 15. Iluminación Frontal Difusa.....	24
Figura 16. Iluminación contraluz o colimada.	25
Figura 17. Iluminación estructurada.	26
Figura 18. Iluminación de día nublado.	27
Figura 19. Prototipo del sistema de iluminación. (a) Base, (b) Cúpula, (c) sistema con iluminación encendida.	30
Figura 20. Matriz de un sensor CCD.	32
Figura 21. Matriz de un sensor CMOS.	32
Figura 22. Ejemplo de adquisición de una imagen digital.	33
Figura 23. Cámara digital <i>Kodak EasyShare C140</i>	35
Figura 24. Configuración alcance focal (a) primer plano (b) Automático.....	37

Figura 25. Balance de blancos (a) Automático, (b) Luz natural.....	38
Figura 26. Toma de imágenes.	39
Figura 27. (a) Imagen en RGB sin pre-procesar, (b) Imagen en blanco y negro (binaria).....	41
Figura 28. Resultado del pre-procesado de la imagen.....	42
Figura 29. Cubo RGB.....	44
Figura 30. Cubo de Color YCbCr.	45
Figura 31. (a) Imagen en formato de color RGB, (b) Imagen en formato de color YCbCr.	47
Figura 32. (a) Imagen original, (b) Componente Y, (c) Componente Cb, (d) Componente Cr.....	48
Figura 33. (a) Histograma del componente Y, (b) Histograma del componente Cb, (c) Histograma del componente Cr.	48
Figura 34. (a) Imagen original, (b) Segmentación de la región amarilla, (c) Región amarilla segmentada del resto de la flor, (d) Segmentación de la región violeta, (e) Región violeta segmentada del resto de la flor.	50
Figura 35. Flor con el color violeta muy tenue.....	51
Figura 36. (a) Imagen original, (b) Segmentación de la región violeta incompleta, (c) Región violeta incompleta segmentada del resto de la flor.	52
Figura 37. Aplicación de apertura a una imagen.....	53
Figura 38. (a) Imagen original, (b) Región violeta segmentada antes de la apertura, (c) Región violeta segmentada después de la apertura.	54
Figura 39. (a) Imagen original, (b) Imagen binarizada, (c) Imagen adelgazada, (d) Imagen después de la apertura.....	56
Figura 40. (a) Imagen original, (b) Región de los pétalos segmentada, (c) Pétalos segmentados del resto de la flor.	57
Figura 41. (a) Imagen original, (b) Región del labelo segmentada, (c) Labelo segmentado del resto de la flor.	58
Figura 42. (a) Imagen original, (b) Región de los sépalos segmentada, (c) Sépalos segmentados del resto de la flor.	59

Figura 43. (a) Áreas de los sépalos, (b) Puntos medios de los sépalos, (c) Unión de puntos (triángulo), (d) Centroide de la figura.....	60
Figura 44. (a)Imagen RGB de entrada, (b) Canal B de la entrada, (c) Segmentación de la imperfección, (d) Imperfección resaltada.....	63
Figura 45. (a) Imagen RGB de entrada, (b) Canal azul (Blue) de la entrada, (c) Segmentación de la imperfección, (d) imperfección resaltada.....	64
Figura 46. Imagen RGB de entrada con imperfección oscura.....	65
Figura 47. Sistema usuario maquina.....	66
Figura 48. Interfaz grafica opción “ADQUISICION” → “Abrir Imagen”.....	67
Figura 49. Ventana Interfaz grafica opción “Abrir” y “Cargar” la imagen.	68
Figura 50. Interfaz grafica opción “PREPROCESAMIENTO” → “Filtrar”.	68
Figura 51. Ventana Interfaz grafica opción “Filtrar”.....	69
Figura 52. Interfaz grafica opción “TRANSFORMACIONES”.....	69
Figura 53. Ventana Interfaz grafica opción “TRANSFORMACIONES”→ “RGB to Gray”.....	70
Figura 54. Ventana Interfaz grafica opción “TRANSFORMACIONES”→ “RGB to YCbCr”.....	70
Figura 55. Interfaz grafica opción “HISTOGRAMA” → “Generar Histograma”.....	71
Figura 56. Ventana Interfaz grafica “HISTOGRAMA”.....	72
Figura 57. Interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Contorno Mejorado”.....	72
Figura 58. Ventana Interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Contorno Mejorado”.....	73
Figura 59. Ventana interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Color”→ “Amarillo”.....	74
Figura 60. Ventana interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Color”→ “Violeta”.....	74
Figura 61. Interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Forma”.....	75
Figura 62. Interfaz grafica, separación de pétalos del resto de la flor.....	76

Figura 63. Interfaz grafica, separación de sépalos del resto de la flor.	77
Figura 64. Ángulo de separación entre sépalos.	77
Figura 65. Interfaz grafica, separación de labelo del resto de la flor.	78
Figura 66. Interfaz grafica opción "IMPERFECCIONES".	78
Figura 67. Imperfecciones de la flor (a) Claras, (b) Oscuras.	79
Figura 68. Imagen rotada 180°	80
Figura 69. Segmentación de colores, (a) amarillo, (b) Violeta.	81
Figura 70. Segmentación de la forma, (a) Pétalos, (b) Labelo, (c) Sépalos.	82
Figura 71. Ángulo de separación entre sépalos en la imagen girada 180°.	83
Figura 72. Imagen rotada 90°	84
Figura 73. Segmentación de colores, (a) amarillo, (b) Violeta.	84
Figura 74. Segmentación de la forma, (a) Pétalos, (b) Labelo, (c) Sépalos.	85
Figura 75. Ángulo de separación entre sépalos en la imagen girada 90°.	86
Figura 76. Cuadrados originales de lado 4 cm.	87
Figura 77. Cuadrados obtenidos después de aplicarles el algoritmo.	87

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de caracterización.....	13
Tabla 2. Especificaciones de la cámara digital <i>Kodak EasyShare C140</i>	35
Tabla 3. Parámetros de adecuación de la cámara fotográfica.	38

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. DIAGRAMAS DE FLUJO	97
ANEXO B. ELABORACIÓN DE GUI's MEDIANTE LA HERRAMIENTA.....	102
ANEXO C. VISIÓN HUMANA Y VISIÓN ARTIFICIAL.....	109

RESUMEN

TITULO:

IMPLEMENTACION DE UNA INTERFAZ SOFTWARE PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ORQUÍDEAS CATLEYA MENDELII MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS BASADOS EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES. ¹

AUTORES: Hugo Fernando Delgado Cristancho y Edwin Forero Gamba.²

PALABRAS CLAVES: Orquídea, Catleya Mendelii, Pre-procesamiento, Segmentación, Visión Artificial, Procesamiento Digital de Imágenes, Interfaz Grafica.

CONTENIDO:

En este trabajo se implementa una interfaz grafica como herramienta de la visión artificial que mediante algoritmos del procesamiento digital de imágenes ayude a extraer las principales características de la orquídea catleya mendelii. La interfaz grafica fue desarrollada en la versión 7.4 de MATLAB, gracias a la herramienta GUIDE.

La interfaz trabaja con imágenes pertenecientes a una base de datos que fue creada con anterioridad y que para su recopilación se utilizo la cámara Kodak EasyShare C140. Fue necesario implementar un ambiente controlado para la etapa de adquisición de las imágenes que contrastara perfectamente con el sistema de iluminación escogido (iluminación de día nublado) y que mediante los LED's de luz blanca resaltaran las regiones importantes de la flor. El primer paso del procesamiento de las imágenes es quitar cualquier tipo de imperfección del fondo de la fotografía, para poder extraer con mayor facilidad las regiones de interés, procedimiento que se lleva a cabo en los canales del formato de colores YCbCr. También se trabaja con los canales del formato RGB, para determinar si se presentan imperfecciones en la superficie de la flor, y seguidamente se utilizan operaciones de morfología matemática para extraer las diferentes partes pertenecientes a la flor (pétalos, sépalos y labelo).

Finalmente se incluirá en la interfaz un proceso de morfología matemática mediante el cual se puede analizar la distribución de los sépalos. Estos procedimientos acá nombrados se aplicaran a cincuenta imágenes pertenecientes a cincuenta flores diferentes.

¹ Proyecto de Grado.

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Msc. Jaime Guillermo Barrero Pérez. Codirector PhD. Arturo Plata Gómez.

ABSTRACT

TITLE:

IMPLEMENTATION OF A SOFTWARE INTERFACE FOR THE CHARACTERIZATION OF MENDELII CATLEY ORCHIDS USING ALGORITHMS BASED ON DIGITAL IMAGE PROCESSING.³

AUTHORS: Hugo Fernando Delgado Cristancho and Edwin Forero Gamba.⁴

KEY WORDS: Orchid, Catley Mendelii, Pre-processing, Segmentation, Artificial Vision, Digital Image Processing, Graphical Interface.

CONTENT:

This paper implements a graphical interface as a tool of artificial vision using algorithms based on digital image processing which help to extract the main features of catley mendelii orchid. This graphical interface was developed on MATLAB[®] version 7.4, thanks to GUI tool.

The interface works with images from a database that was created earlier and which was compiled using a Kodak EasyShare C140 digital camera. It was necessary to implement a controlled environment for the acquisition stage of the images, that matched perfectly with the chosen lighting system (cloudy day illumination) and which through white light LED's will highlight the main regions of the flower. The first step of image processing is to remove any imperfection of the photo's background, in order to extract more easily the interest regions; this procedure will take place at the YCbCr color format channels. It also works with RGB format color channels, to determine if there are imperfections on the flower's surface, then using mathematical morphological operations the interface extracts the parts belonging to the flower (the petals, the sepals and the lib).

Finally, the interface will include a morphological process whereby it can analyze the sepals' distribution. This procedures named in here will be apply to fifty images belonging to fifty different flowers.

³ Degree project.

⁴ Physics-Mechanical Engineering Faculty. Electric, Electronic and Telecommunications School. Director Msc. Jaime Guillermo Barrero Pérez. Co director PhD. Arturo Plata Gómez.

INTRODUCCION

El sector Orquicultor ha crecido progresivamente en Colombia durante el transcurso de la última década, lo que significa que también han aumentado los empleos en esta área, donde el cultivo de orquídeas se ha abierto un espacio y forjado una gran reputación respecto a grandes países productores de flores.

Este reconocimiento se debe gran parte a la competitividad presente en el sector Orquicultor, que está basada en el cuidado, preservación y reproducción de especies nativas de las orquídeas pues hasta hace algunos años estaba prohibida su comercialización por estar dentro de las especies en vía de extinción.

Esta reproducción además de ayudar a la preservación de las especies aumenta la calidad de las flores teniendo un control sobre la reproducción manual de las especies. Una de estas especies es la orquídea *catleya mendelii*, esta orquídea es nativa del área Santandereana, pero aun así no muy conocida por la población y por tanto no fácil de identificar. Es por ello que se ha desarrollado un sistema de visión artificial que pueda tener una aproximación para identificar las características más distintivas de la *catleya mendelii*.

En forma general lo que pretende un sistema de visión artificial es capturar la información visual del entorno físico para extraer características relevantes visuales, utilizando procedimientos automáticos. Consecuentemente con esto y dado que la imagen se forma a partir de la luz que reflejan los objetos, la única posibilidad de obtener una imagen con características constantes en la que se resalten los aspectos de interés y se atenúen los menos importantes, permitiendo o facilitando la resolución del problema, es controlando las condiciones de

iluminación. Hay que tener en cuenta que el problema de iluminación no resulta trivial y su coste supone una parte importante del total del proyecto.

En este documento se evidencia el desarrollo de un sistema de visión artificial, cimentado en algoritmos que se basan en el procesamiento digital de imágenes con el cual se logran identificar las características más representativas de la flor de la *catleya mendelii*, todo esto gracias a la ayuda de instituciones como ORQUISANDER, que facilitaron la información específica para el desarrollo del presente trabajo y cumplimiento de los objetivos propuestos.

El trabajo inicia con un primer capítulo donde se nombran de manera general los parámetros de calidad requeridos para lograr identificar las particularidades propias de la flor de la orquídea *catleya mendelii*. Se nombran además las características que debe cumplir una flor para su vasta reproducción y posterior exportación.

Consecutivamente en el segundo capítulo se describe de manera general la utilización de los sistemas de visión artificial y del prototipo implementado para la etapa de adquisición de las imágenes, el cual se diseñó para trabajar en un ambiente controlado.

En el tercer capítulo se discuten los diferentes tipos de iluminación y fuentes luminosas que se pueden emplear dentro de una etapa de adquisición de las imágenes, de igual forma se menciona la mejor opción que se utilizó en el desarrollo de este trabajo. Se especifican también las características principales que posee el sensor utilizado y se da una explicación precisa de la forma en que fue configurado para capturar las imágenes, en este caso se trata de una cámara fotográfica *Kodak EasyShare C140*.

El cuarto capítulo abarca lo concerniente al pre-procesamiento y a la segmentación aplicada a las imágenes, para la extracción de características que ayuden en la identificación de la flor de esta especie de orquídeas, entre los que se encuentran los colores y formas de pétalos, sépalos y labelo.

Enseguida, en el quinto capítulo se presentan los resultados que obtiene la interfaz grafica para un lote de cincuenta flores con características diferentes, resultados que según un experto son próximos a la caracterización y posterior identificación de estas flores.

Por último se presentan las conclusiones del trabajo y las recomendaciones que pueden contribuir a trabajos futuros relacionados con procesamiento digital de imágenes, que se desarrollen como éste en el entorno de computo MATLAB[®] de Mathworks[™], es por ello que además se incluye un anexo con los diagramas de flujo que representan los scripts implementados para el funcionamiento de la interfaz software.

1. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FLOR EN LA ORQUÍDEA CATLEYA MENDELII.

“Las orquídeas han sido una de las plantas más admiradas y apreciadas desde hace muchos siglos por diferentes civilizaciones. Algunas orquídeas son especies terrestres, es decir, son naturales del suelo, pero las más comunes viven en las ramas de los árboles y reciben el nombre de epifitas”. [19]

“Hay orquídeas tan pequeñas que necesitan ser apreciadas con cristal de aumento, mientras que otras alcanzan unos 18 centímetros de ancho. Hay especies con un solo brote, es decir que tienen una sola hoja, y otras con docenas de brotes en forma de racimos, unas viven a cientos de metros sobre el nivel del mar, y otras en zonas pantanosas. Emanan diversas fragancias, pero algunas son inodoras o producen malos olores para el ser humano, para atraer los polinizadores de acuerdo a la estructura de la flor. En su evolución han adaptado su hábitat a prácticamente cualquier lugar del mundo y cualquier clima, encontrándose en los desiertos o en pantanos, cerca del mar o a cuatro mil metros de altitud. La mayoría, no obstante se da en clima tropical”. [19]

En relación al cultivo, existen tres géneros de orquídeas que son las más adecuadas para el comercio:

- **La Cattleya:** Sólo se puede encontrar en el continente americano (norte, centro, sur). Sus flores son grandes, de color rojo y sus matices, en donde el pétalo labial (labelo) es de color más intenso en su interior, además su forma, aunque semejante a otras orquídeas tiende a dar la forma tubular parecida a un saco. Sus sépalos son de igual tono que los pétalos restantes. [8]

- **La *Cybidium*:** Esta se puede encontrar de preferencia en países tropicales, cálidos del continente Africano y Asiático, como la India y Malasia, aunque también se ha encontrado en Australia. [8]
- **La vainilla:** Esta variedad de orquídea se puede encontrar en el continente Americano (norte, centro) y Europa. Sus flores son verdosas y su fruto es muy fragante y se emplea para aromatizar bebidas o postres. [8]

El presente trabajo se centrara en el género de orquídeas catleya, y de la especie mendelii cultivada en el área de Santander. Para hacer un breve reconocimiento en el mundo vegetal en que se encuentra la orquídea catleya mendelii, se presenta el esquema de la figura 1 de la categoría taxonómica de la orquídea.

Figura 1. Categoría taxonómica de la orquídea catleya mendelii.



Fuente: Autores.

1.1 ORQUÍDEAS CATLEYAS MENDELI.

La *Catleya mendelii* es nativa de Colombia específicamente de la región Santandereana, donde crece a una altitud entre 762 y 1700 metros sobre el nivel del mar en la Cordillera Oriental de los andes. Se informó que las plantas importadas a Europa a finales de 1800 proceden de una zona que se extiende entre Pamplona y Bucaramanga, con frecuencia cada vez mayor, expuestas en precipicios y rocas desnudas. [8]

El tiempo en que presenta mayor floración la *catleya mendelii*, es de aproximadamente tres meses y la época del año en que florece, es desde principios del mes de marzo hasta finales del mes de mayo. Algo importante a tener en cuenta es que la planta florece una vez cada año.

La *catleya mendelii* es una flor medianamente conocida a nivel internacional y muy poco a nivel nacional, debido a esto la información que se maneja en Colombia y en especial en el área santandereana con respecto a estas plantas es muy limitada, ya que son muy pocos los que dedican su tiempo a la investigación y cultivo de esta especie.

Figura 2. Flor de la orquídea *catleya mendelii*.



Fuente: Autores.

1.2 SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD

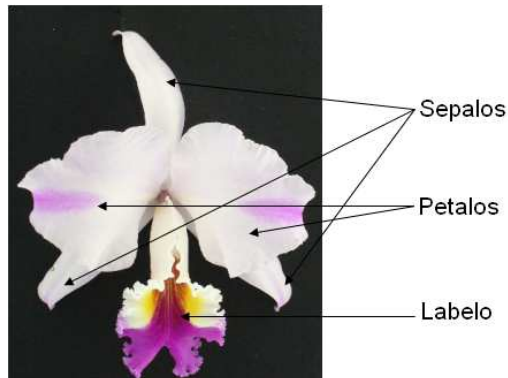
Los parámetros a considerar dentro de una caracterización de orquídeas catleya mendelii están representados por la naturaleza de la forma y color de la flor.

Consecuentemente se podría decir que una flor es más valiosa que otra por las características raras en cuanto a su color. Pero muchas veces lo que para algunas personas es bonito o hermoso para otras podría no ser muy gustoso. Con lo cual pensar en hacer una clasificación desde el ámbito comercial sería inapropiado.

“La belleza de las flores contrasta con su simplicidad, la flor de la orquídea catleya mendelii es hermafrodita, zigomorfa, (con un solo plano de simetría) trímeras (3 sépalos y 3 pétalos) y una columna central que sustenta los sépalos y el pistilo. Los dos pétalos son similares, pero el pétalo inferior o el labelo, se ha transformado en la estructura más llamativa de la flor, con sus propios colores, y su forma”. [20]

1.2.1 Forma. La flor de la orquídea catleya mendelii se puede distinguir principalmente por sus características florales, entre las que destacan las siguientes: tres sépalos y tres pétalos de los cuales uno está transformado y tiene nombre de labelo.

Figura 3. Identificación de las partes de la flor.

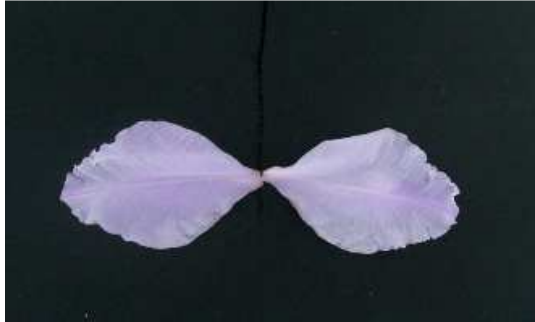


Fuente: Autores.

Por tanto lo que se determinó para darle una aplicación al procesamiento digital de imágenes es extraer las características más distintivas de la flor *catleya mendelii*, dentro de estas características esta la forma, el estado de la flor y el color, representados así:

1.2.1.1 Pétalos. Como se puede leer en la sección 1.1 y apreciar en la figura 3, la flor consta de 2 pétalos que deben estar totalmente abiertos y ubicados en forma horizontal con respecto a la orientación de su tercer pétalo labial o labelo. En comparación con otras catleyas, como la *catleya trianae*, los pétalos de la *mendelii* son un tanto más largos y más anchos dando una vistosidad de mayor apertura en la flor. En la figura 4 se puede observar esta descripción.

Figura 4. Pétalos de la catleya mendelii.



Fuente: Autores.

Por lo general los pétalos de la flor de la catleya mendelii tienen una forma característica elipsoide no regular y alargada en sus extremos con una terminación en punta, poseen además un tenue rizado o encaje en sus bordes. Sin embargo así como existen flores donde se pueden encontrar estas características hay otras flores de la misma especie en las cuales se observan pétalos totalmente retorcidos.

Con base en lo anterior la caracterización que se realiza en el presente trabajo solo esta aplicada a flores con pétalos totalmente definidos y sin mayores torceduras en su forma.

1.2.1.2 Sépalos. La flor de la mendelii tiene tres sépalos, entre los cuales hay un sépalo dorsal y dos laterales, que nacen en la columna de la flor, separados uniformemente en un ángulo aproximado de 120° , su forma es alargada y con terminación en punta. La figura 3 muestra la distribución de los sépalos de una orquídea catleya mendelii.

Figura 5. Sépalos de la *Catleya Mendelii*.

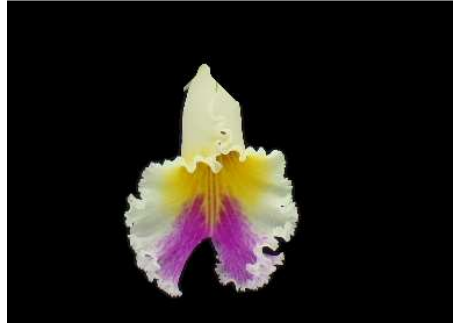


Fuente: Autores.

“Los sépalos forman el círculo más exterior en la flor de una orquídea y sirven de cáliz, siendo ellos los que se exhiben en un botón floral. Éstos suelen ser completamente distintos a los pétalos en lo que a forma y tamaño se refiere, ya que el área de los sépalos siempre es menor comparada con el área de los pétalos. Los sépalos son similares entre sí, lo diferente entre ellos es la orientación en la flor”. [21]

1.2.1.3 Labelo. “Sin duda el labelo es el elemento más llamativo de la flor de una orquídea. En él parecería que la naturaleza ha dado rienda suelta a su imaginación y creatividad, pues es tal la cantidad de formas y colores que no tienen par en el reino vegetal”. [21]

Figura 6. Labelo de la catleya mendelii.



Fuente: Autores.

El labelo de la catleya mendelii es único e inigualable, esto gracias al intenso rizado o encaje que posee, su forma tubular y poco alargada hacen que el área del labelo sea algunas veces mayor en comparación con la de cada una de los pétalos.

Lo que se busca en el labelo de la flor para que sea de mayor atractivo al público es que el diseño rizado de su borde tenga una forma circular.

1.2.2 Color. Entre la población de orquídeas que fueron objeto de estudio para este trabajo, se evidenció que el color característico de los pétalos y sépalos de la flor se encuentra entre tonalidades blancas. No obstante durante el análisis e identificación de esta característica, se encontró que algunos híbridos adquieren tonalidades suaves del color violeta, también se pudo observar que hay ciertas rarezas apreciables en los pétalos y sépalos como por ejemplo la figura 3, que acoge en sus pétalos un área de color violeta parecido a una pincelada, algo que para criterio de muchos es considerado singular e invaluable.

Sin embargo y acorde con los objetivos propuestos para el desarrollo de este proyecto, el parámetro establecido para caracterizar el color de los pétalos y sépalos es la tonalidad blanca y sus matices, ya que estos colores son los más

comunes en las flores de esta orquídea. La figura 7 muestra estas tonalidades en sus pétalos y sépalos.

Figura 7. Colores característicos de la *catleya mendelii*.



Fuente: Autores.

En cuanto a la parte más llamativa de la flor (labelo), se puede resaltar que sus colores característicos son el amarillo en tonalidades pálidas o intensas, el violeta de igual manera y el blanco toma la misma intensidad de los pétalos y sépalos. El color amarillo se extiende desde el interior hasta la terminación de su cavidad tubular, donde se encuentra y algunas veces se mezcla con el color violeta, el cual en la mayoría de los casos adopta una forma de falda abierta que se extiende hasta el borde rizado del labelo.

A diferencia de otras orquídeas el color violeta del labelo de la *mendelii* solo se limita a tener la forma antes de descrita, ya que en otras *catleyas* como la *trianae* el violeta se extiende alrededor de todo el labelo y en casos como la *catleya quadricolor* el violeta toma forma de cola de flecha. La figura 8, muestra fotografías comparativas entre estas tres especies, donde se pueden observar los detalles del color del labelo.

Figura 8. Imágenes comparativas, (a) Flor de la *catleya mendelii*, (b) Flor de la *catleya trianae* o *triana*, (c) Flor de la *catleya quadricolor*.



Fuente: Autores.

Es claramente visible que no solo hay diferencias en su color sino también en la forma de los pétalos, sépalos y labelo.

En la tabla 1 aparecen los principales parámetros de calidad que debe poseer una flor de la orquídea *catleya mendelii* para su reproducción y posterior exportación.

Tabla 1. Parámetros de caracterización.

PARTES DE LA FLOR		CARACTERÍSTICAS
PÉTALOS	FORMA	Elipsoide no regular. Rizado suave en sus bordes. Terminación en punta.
	COLOR	Blanco y sus matices.
SÉPALOS	FORMA	Alargada con terminación en punta. Distribución uniforme de aproximadamente 120°.
	COLOR	Similar al color de los pétalos
LABELO	FORMA	Tubular y poco alargado. Rizado fino e intenso en la terminación del borde.
	COLOR	Amarillo extendido a lo largo de su cavidad tubular.

		<p>Violeta, en forma de falda abierta, que se extiende hasta el borde del labelo.</p> <p>Blanco, recubre toda el área exterior tubular y parte del círculo frontal del labelo</p>
--	--	---

Fuente: Autores.

1.3 PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS FLORES.

Las flores utilizadas en la etapa de adquisición de las imágenes, fueron seleccionadas con base en el conocimiento de un experto (Orlando Rincón)⁵ en orquídeas (Orquideólogo), en especial las catleyas mendelii, perteneciente a ORQUISANDER⁶ organización dedicada al estudio, cultivo, reproducción en masa y posterior exportación de plantas.

La definición de la población objetivo se tomo con base en los siguientes criterios:

- **Altura del cultivo:** La catleya mendelii se encuentra ubicada en toda el área de la región santandereana en un rango entre 720 y 1700 metros sobre el nivel del mar. El estudio en el cual se basa el presente trabajo tomó lugar en la finca del señor Orlando Rincón ubicada en la vereda guamo grande a unos 1200 metros sobre el nivel del mar, en el municipio de Piedecuesta Santander.
- **Representatividad del cultivo:** El cultivo de estas flores está distribuido en tres invernaderos donde además de la catleya mendelii, se pueden encontrar otras especies de catleya como la *trianae* y la *quadricolor* .

⁵ Presidente de la asociación Orquisander.

⁶ Asociación orquideológica del gran Santander.

Figura 9. Representatividad del cultivo.



Fuente: Autores.

- **Número de plantas:** Este ítem es muy relativo ya que no se puede encontrar de una sola vez la cantidad de plantas requeridas para una caracterización, pues no todas las plantas florecen al mismo tiempo y la floración tiene un tiempo de vida media de tres meses, motivo por el cual fue necesario realizar diferentes tomas de imágenes. De acuerdo con lo anterior se seleccionaron 50 flores para su posterior análisis.
- **Edad:** las flores seleccionadas se encuentran en un periodo de edad que oscila entre uno y dos meses.

1.4 CULTIVO Y COMERCIALIZACIÓN DE LA ORQUÍDEA CATLEYA MENDELII.

La comercialización de especies nativas como la catleya mendelii, está legalmente prohibida, ya que hace poco más de 40 años estas especies se encontraban en vía de extinción, debido a la extracción y destrucción de sus hábitats naturales. Sin embargo en el transcurso de las últimas cuatro décadas algunos géneros de la familia de las orquídeas son objeto de cultivos importantes, se trata, no obstante de cultivos muy especializados.

Estos cultivos son posibles en todas partes y están especialmente desarrollados desde la mitad del siglo pasado porque muchos híbridos interespecíficos e intergenéricos fueron creados y comercializados con éxito por sus obtentores. [3]

Consecuentemente la reproducción artificial de esta y otras especies de catleya, ha permitido que se incremente en gran número la cantidad de orquídeas que anualmente se exportan y comercializan fuera del territorio nacional, adicional a esto ha disminuido el interés por sonsacar las especies nativas de sus hábitats naturales.

El comercio lícito de estas especies puede llevarse a cabo únicamente por entidades certificadas y registradas ante el ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Actualmente la exportación de ejemplares es realizada por parte de las entidades registradas ante el ministerio de medio ambiente, las cuales cuentan con amplia experiencia en la generación, desarrollo y mantenimiento de la especie en condiciones de laboratorio. [3] La figura 10 muestra un ejemplar de una planta reproducida artificialmente.

Figura 10. Reproducción In vitro de la catleya mendelii.



Fuente: Autores.

Con base en lo anterior, y después de consultar con varias personas que se dedican a la comercialización de esta especie, se puede afirmar que en Colombia no se cuenta con una norma que establezca los parámetros requeridos para la identificación, control de calidad y posterior exportación de esta especie de flores, es por ello que esta parte del trabajo se enfoca en nombrar las principales particularidades propias de la flor y con las cuales se espera tener un acercamiento apropiado a su identificación.

2. VISIÓN ARTIFICIAL EN LA CARACTERIZACIÓN DE ORQUÍDEAS CATLEYA MENDELLI.

Los sistemas de visión artificial se han convertido, en una herramienta excepcional, esto se ve reflejado en las diferentes áreas en las que se ha incursionado y desarrollado aplicaciones, tales como el área industrial, robótica, aeroespacial, seguridad y biomédica. Dentro de estas áreas se encuentran diferentes trabajos que se han desarrollado e implementado para cumplir con tareas de inspección visual como la caracterización, control de calidad, posicionado de piezas, reconocimiento, inspección, detección de fallas entre otros oficios que se le han otorgado a los sistemas de visión artificial.

Cuando se habla de visión artificial, se relaciona directamente con uno de los sentidos más importantes del ser humano, la visión. Este sentido es el encargado de captar la mayor parte de la información procesada por el cerebro, gracias al sistema visual los seres vivos tienen comprensión y conocimiento del medio ambiente donde se encuentran. Pero ver no solamente es registrar un patrón de luminancias y representarlo como un mapa de niveles de grises o colores, ver significa procesar e interpretar las imágenes que llegan a los ojos para representarlas a través de sus rasgos más fundamentales. [4]

Por esta razón la visión en conjunto con el cerebro del ser humano, pueden describir automáticamente una textura en detalle, un borde, un color, una representación bidimensional de una tridimensional, ya que son capaces de diferenciar entre imágenes de diferentes personas, firmas, colores, y a través de ellos, se puede diagnosticar enfermedades partiendo de radiografías, entre otras funciones. [5]

Surge entonces la pregunta ¿Cual es la importancia de los sistemas de visión artificial? Hay muchas respuestas a esta pregunta, una de ellas es que se utiliza para mejorar el contenido visual e interpretación humana. No está de más

reconocer, que a la fecha los sistemas de visión artificial, a veces no son la mejor solución a un problema, en muchas ocasiones el problema es tan complejo que la solución humana es lo mejor.

Los sistemas de visión artificial tienen diversas aplicaciones a nivel industrial, seguridad, control de calidad, automatización de procesos, obtención de información cuantitativa y cualitativa entre otros. En el presente trabajo, el sector al que se incursiono fue el sector floricultor, específicamente el cultivo de orquídeas *catleya mendelii*, orquídea nativa del área Santandereana.

En forma general lo que se busca con un sistema de visión artificial es extraer la mayor información posible a partir de imágenes, este proceso está centrado en obtener una imagen de calidad donde no se altere las condiciones reales agregando errores considerables al sistema. El tipo de información que se desee extraer depende del trabajo específico que se esté implementando, para este caso, la caracterización de *orquídeas catleya mendelii*.

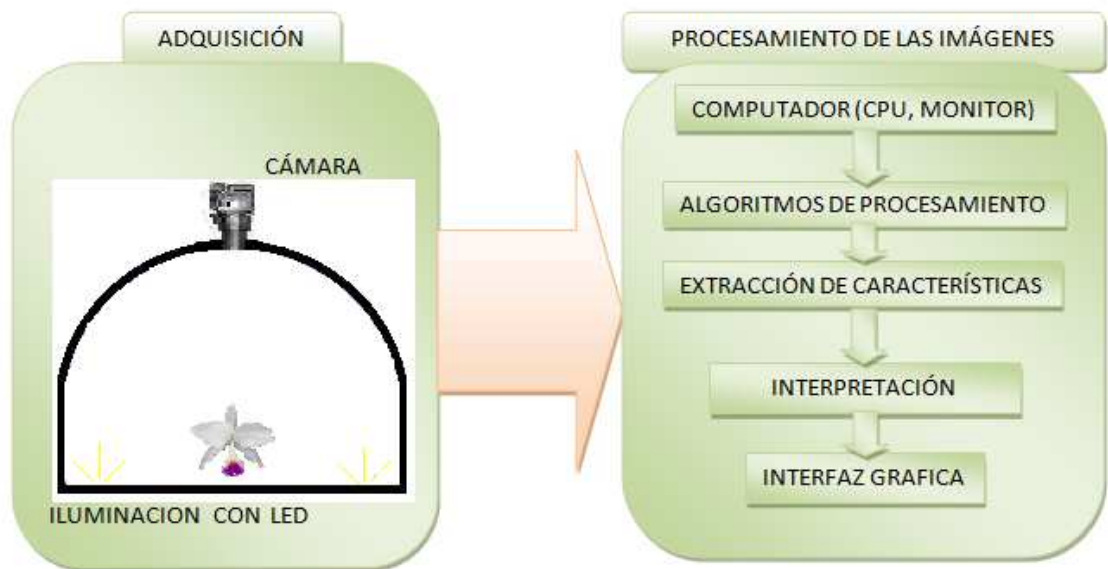
2.1 INSPECCIÓN VISUAL PARA CARACTERIZAR ORQUÍDEAS CATLEYA MENDELII.

Los sistemas de visión artificial son una técnica, que se basa generalmente en adquirir imágenes en dos dimensiones, para luego ser procesadas con herramientas computacionales mediante las cuales se pueden obtener o medir parámetros de interés. Consecuentemente, puede decirse que la combinación de la tecnología de las cámaras de video y cámaras fotográficas mas el desarrollo de sistemas computacionales, conforman una herramienta equivalente a la visión humana.

2.1.1 Aplicación del sistema de visión artificial. El sistema de visión artificial implementado, se divide en dos etapas, una etapa de adquisición y otra de procesamiento computacional. Dentro de los elementos utilizados para la etapa de adquisición se encuentran el sistema de iluminación y una cámara fotográfica digital. En la segunda etapa el elemento utilizado es un computador (CPU, monitor) y algoritmos para la extracción de características.

Las imágenes son almacenadas por una tarjeta SD (*Secure Digital*) adjunta a la cámara, las cuales extraen la vista superior de las flores tomadas individualmente sobre un fondo negro iluminado con luz difusa, donde se utilizan LED's de luz blanca como fuente luminosa. Luego las imágenes son llevadas al computador para realizar un pre-procesamiento y aplicar algoritmos que extraigan los detalles con más relevancia. La Figura 11 muestra un diagrama general de las etapas que conforman el sistema de visión artificial propuesto.

Figura 11. Diagrama general en del sistema de visión implementado.



Fuente autores.

3. ETAPAS BÁSICAS DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

3.1 ILUMINACIÓN.

La iluminación de una escena es uno de los puntos sensibles y de mayor importancia en un sistema de visión. Las fuentes luminosas se deben escoger en función de la aplicación que se desea realizar, una fuente mal escogida puede traer consigo un sin número de anomalías difíciles de eliminar en etapas posteriores, como son el caso de las sombras, las reflexiones y el bajo contraste. Es esta la razón de gran importancia, de saber elegir el tipo de iluminación que se va a utilizar cuando se esté implementando un sistema de visión artificial.

3.1.1 Iluminación del Entorno. Cuando se quiere reducir trabajo y tiempo de ejecución en el desarrollo de un sistema de visión artificial, hay que recurrir a métodos que faciliten procesos posteriores, uno de estos métodos es un adecuado sistema de iluminación en la etapa de adquisición de las imágenes. Este método es de gran relevancia, pues facilita el desarrollo de la siguiente fase, que se enfoca en la segmentación de las imágenes, evitando introducir errores, eliminando ruido por iluminación indeseada y ser más exactos en la medición y toma de decisiones.

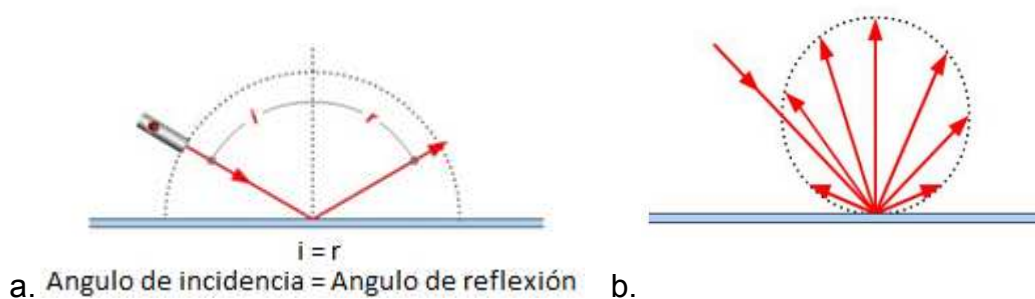
Por tanto, tener un sistema de iluminación adecuado, implica tener conocimiento de aspectos importantes de la luz visible y conocer los fenómenos que se presentan a su alrededor. Al aprovechar estos fenómenos e implementarlos en un sistema de iluminación, lo que se busca es mejorar el aspecto y resaltar detalles importantes de los objetos, dentro de los fenómenos ópticos que tienen incidencia en los sistemas de iluminación artificial está la reflexión.

3.1.1.1 Reflexión. La reflexión de la luz hace posible, que se puedan percibir muchos de los objetos a nuestro alrededor. La reflexión luminosa es un fenómeno en virtud del cual la luz al incidir sobre la superficie de los cuerpos cambia de dirección, invirtiéndose el sentido de su propagación, en cierto modo se podría comparar con el rebote que sufre una bola de billar cuando es lanzada contra una de las bandas de la mesa.

De acuerdo con las características de la superficie reflectora, la reflexión luminosa puede ser especular o difusa. La reflexión especular tiene lugar cuando la superficie es perfectamente lisa, un espejo o una lámina metálica pulimentada reflejan ordenadamente un haz de rayos conservando la forma del haz.

Por otro lado, la reflexión difusa se da sobre los cuerpos de superficies más o menos rugosas, en ellas un haz paralelo al reflejarse, se dispersa orientando los rayos en direcciones diferentes. Ésta es la razón por la que un espejo es capaz de reflejar la imagen de otro objeto en tanto que una piedra, por ejemplo, sólo refleja su propia imagen. En la figura 12 se muestra una ilustración de la reflexión especular y la reflexión difusa para un mejor entendimiento.

Figura 12. (a) Reflexión Especular, (b) Reflexión Difusa.



Fuentes: Cátedra: Visión Artificial.

3.1.2 Tipos básicos de iluminación. En la práctica existen diferentes tipos de iluminación utilizadas en la etapa de adquisición de imágenes, el tipo de

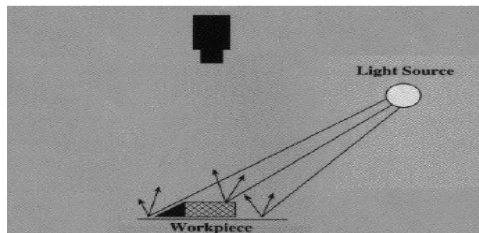
iluminación depende del trabajo y proceso que se esté realizando y de las características de interés. También es bueno mencionar que la iluminación en las aplicaciones de visión artificial, como todas las tecnologías involucradas, depende del continuo avance tecnológico para perfeccionar los sistemas que mejoran la calidad de los productos fabricados en la actualidad.

A continuación se mencionan algunos de los tipos de iluminación existentes, incluido el sistema de iluminación implementado en el prototipo.

3.1.2.1 Iluminación Direccional. Tiene Orientación del foco hacia el objeto, se utiliza en localización y reconocimiento de piezas e inspección de superficies, una de sus aplicaciones es el seguimiento de cordones de soldadura. Dentro del grupo de iluminación direccional están:

- **Frontal Direccional:** En la iluminación frontal direccional, el ángulo entre los rayos incidentes y la superficie es de 30° , lo que reduce un poco el contraste pero incrementa la cantidad de información obtenible de las superficies planas, crea sombras y no refleja hacia la cámara; una ventaja es su fácil implementación y su utilización como fuente luminosa, una desventaja es que crea sombras no deseadas. [2]

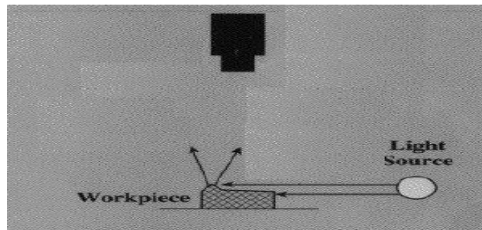
Figura 13. Iluminación frontal direccional.



Fuente: Cátedra: Visión Artificial.

- **De Ángulo Bajo:** Incide en el mismo plano que la pieza, y se implementa para resaltar defectos, pero es considerada como un tipo de iluminación irregular.

Figura 14. Iluminación direccional de ángulo bajo.

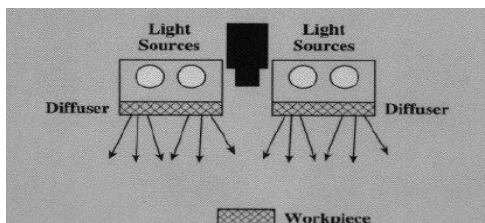


Fuente: Cátedra: Visión Artificial.

3.1.2.2 Iluminación Difusa. Este tipo de iluminación es similar al tipo anterior, pues tiene orientación del foco pero no predomina un solo sentido, se utiliza para el análisis de objetos con superficies suaves y superficies continuas como cartulina y papel aluminio.

- **Iluminación Frontal Difusa:** Este sistema es fácil de implementar y reduce los destellos, pero los bordes tienen bajo contraste, es utilizado para iluminación superior en general. [7]

Figura 15. Iluminación Frontal Difusa.

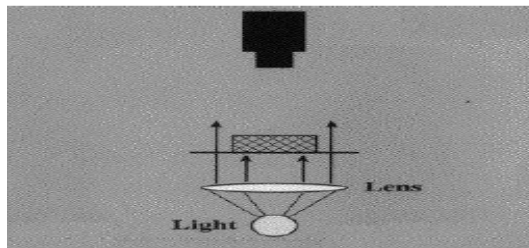


Fuente: Cátedra: Visión Artificial.

3.1.2.3 Iluminación Contraluz. En este tipo de sistema de iluminación, hay orientación del foco y se ubica por detrás del objeto hacia la cámara, se emplea para obtener imágenes en dos niveles de grises en donde se debe localizar el objeto y hacer un análisis dimensional.

- **Contraluz Direccional (Colimada):** En la iluminación contraluz direccional, un colimador hace que todos los rayos de luz se propaguen en direcciones paralelas. Aplicaciones típicas incluyen la medición de las dimensiones exteriores, la ubicación de los puntos de sujeción (perforaciones para tornillos) y la medición de la opacidad de materiales traslúcidos o de su espesor. [2]

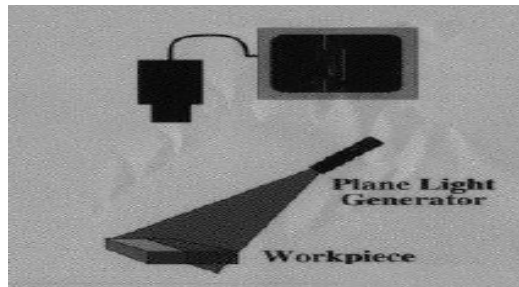
Figura 16. Iluminación contraluz o colimada.



Fuente: Cátedra: Visión Artificial.

3.1.2.4 Iluminación Estructurada. En este tipo de iluminación se da orientación del foco en dirección al objeto, este se genera mediante diodos láseres generadores de líneas, rejillas, círculos o cualquier otro patrón. Se utiliza para Detección e información tridimensional, para obtener detalles topológicos de las superficies, también se emplea para medición dimensional e inspección de superficies.

Figura 17. Iluminación estructurada.



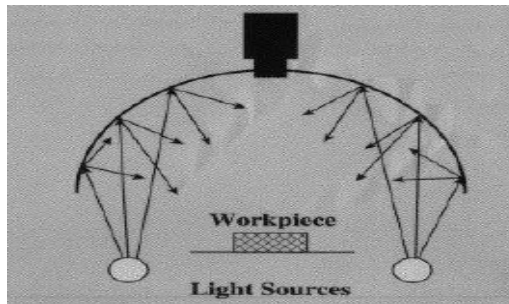
Fuente: Cátedra: Visión Artificial.

3.2 TIPO DE ILUMINACIÓN IMPLEMENTADO EN EL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

Una iluminación adecuada puede ser la diferencia entre una aplicación que funciona y una que no, además el sistema de iluminación debe ser preferiblemente uniforme y no variable en el tiempo y en lo posible que el consumo de energía sea bajo. Estas consideraciones se tuvieron en cuenta para seleccionar el tipo de iluminación empleado en la etapa de adquisición, y tener las condiciones de un ambiente controlado, minimizando introducir errores, por estas razones se ha elegido el tipo de día nublado.

3.2.1 Iluminación de día nublado. Este tipo de iluminación, elimina destellos y sombras porque irradia en todas las direcciones. Consiste en rodear el objeto con la fuente luminosa. Es más costosa y más complicada de implementar pero es eficiente para el trabajo que se desarrolló. [2]

Figura 18. Iluminación de día nublado.



Fuente: Cátedra: Visión Artificial.

3.2.2 Fuentes luminosas. Anteriormente, se presentaron las distintas formas de iluminar un objeto, teniendo en cuenta las técnicas de iluminación existentes para las diferentes aplicaciones. A continuación, el enfoque estará puesto en los dispositivos comerciales que se utilizan en la actualidad. Las fuentes de luz se deben escoger en función de la aplicación que se desea realizar, una fuente mal escogida puede traer consigo un sin número de anomalías difíciles de eliminar como son el caso de las sombras, las reflexiones y el bajo contraste. Es por ello que el conocimiento del tipo de iluminación a utilizar se debe tener en cuenta a la hora de implementar un sistema de visión artificial.

- **Iluminación solar.** (Luz de día): Este escenario no es el mejor cuando de visión artificial se habla, pero es el tipo de luz deseado si no fuera por su dependencia directa de los cambios climáticos y de la hora en que se van a hacer las tomas (día, noche). [7]
- **Iluminación por fibra óptica.** La iluminación por fibra óptica, es actualmente, la que puede proporcionar la luz más intensa de todos los tipos de iluminación que se utilizan en visión artificial. La idea básica, es conducir la luz procedente de una bombilla halógena, o de xenón, que se encuentra en una fuente de iluminación, a través de un haz de fibras ópticas que termina en un adaptador específico para cada tipo de

aplicación. Una de las ventajas de la fibra óptica es que proporciona luz fría, y por tanto es ideal en aplicaciones donde los sistemas que puedan emitir calor sean un inconveniente.

- **Lámpara fluorescente.** Su iluminación es bastante homogénea aunque presenta las dificultades de ser consumidoras y disipadoras de calor. No presentan tiempos de vida largo aunque si son económicas. En aplicaciones de visión no pueden utilizarse fluorescentes estándar debido a su efecto de parpadeo, que dependiendo de la velocidad a la que la cámara funcione, puede verse reflejado en la intensidad de la imagen capturada. [2]
- **Láser.** La iluminación mediante láser o luz estructurada se utiliza normalmente para resaltar o determinar la tercera dimensión de un objeto. El método utilizado es colocar la fuente de luz láser en un ángulo conocido con respecto al objeto a iluminar y con respecto a la cámara. Viendo la distorsión de la luz puede interpretarse la profundidad de los objetos a medir. Se postula como una fuente de luz casi perfecta aunque su inconveniente principal es el “*speckle*” o distribución no uniforme. [2]

3.2.2.1 Fuente de luz seleccionada. Un sistema de iluminación debe ser preferiblemente uniforme y no variable en el tiempo y en lo posible que el consumo de energía se bajo. Al igual que en la elección del tipo de iluminación, se tuvieron en cuenta estas consideraciones y haciendo una comparación con cada uno de los sistemas de iluminación se eligió la fuente de luz de LED's blanca, porque es económica, tiene mayor eficiencia energética, mayor resistencia a las vibraciones, menor disipación de energía y porque es de fácil implementación en el sistema de iluminación ya que el área que ocupa es reducido.

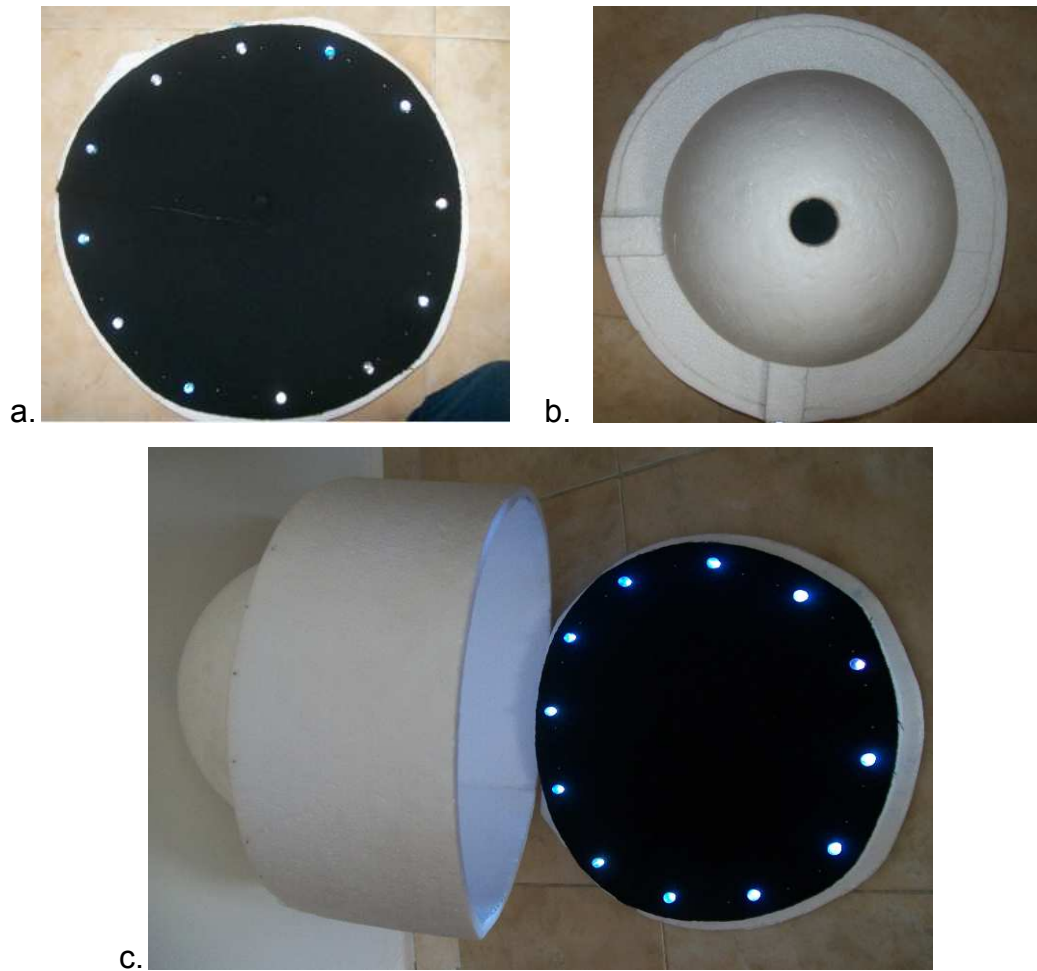
- **Iluminación por *LED's (Light Emitting Diode)* de luz blanca.** La luz emitida por este tipo de fuente presenta como ventaja fundamental que tiene naturaleza monocromática, estos dispositivos presentan una larga vida útil, alto rendimiento y requieren de una fuente de alimentación de muy baja potencia, además presentan un costo excesivamente bajo. Sus principales desventajas son que emiten poca intensidad pero esto se puede corregir disponiendo de un mayor número de *LED's*. [7]

3.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN IMPLEMENTADO.

Conociendo los parámetros que se han elegido para implementar el sistema de iluminación como son, el tipo de iluminación de día nublado y el tipo de fuente luminosa, *LED's* de luz blanca, se implementa el sistema y se pone a consideración el color del fondo de la imagen, este es un parámetro de gran importancia porque debe relacionarse con la tonalidad del objeto al que se le está fotografiando. Para obtener un alto contraste en la imagen entre el fondo y la orquídea, se consideró y aprobó un fondo negro, debido a que en escala de grises, los pétalos y los sépalos de la orquídea presentan tonos con valores muy claros.

Este prototipo se conoce como domo, está compuesto de dos piezas la base y la tapa que se puede llamar cúpula. El material de la base es icopor, tiene un radio de 30 cm, y sobre la base se encaja la cúpula, en la parte superior de la base se colocó una tela de color negro y los *LED's* que son el tipo de iluminación se ubican equidistantemente sobre la tela negra. El material de la cúpula, al igual que la base es de icopor y en la parte superior tiene un orificio en donde encaja el ocular de la cámara fotográfica. En la figura 19 se muestra el prototipo de iluminación implementado.

Figura 19. Prototipo del sistema de iluminación. (a) Base, (b) Cúpula, (c) sistema con iluminación encendida.



Fuente: Autores.

3.4 ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES.

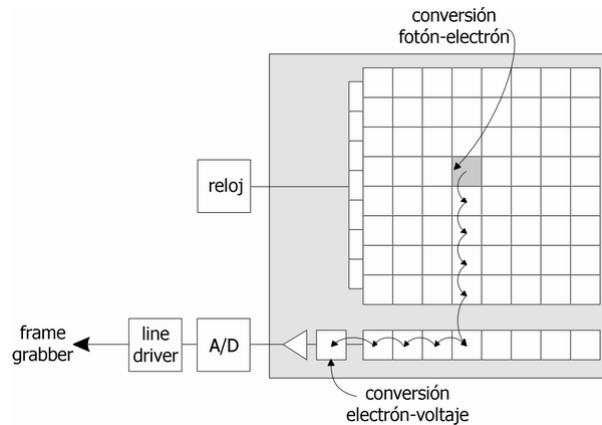
En la sección anterior se definió el sistema de iluminación a implementar, el siguiente paso es la captura de las imágenes, donde se tiene en cuenta el sensor de imagen, el cual es el encargado de capturar las características del objeto, es decir la imagen de la flor de las orquídeas.

3.4.1 Captura de imágenes con cámara digital. Se denomina cámara digital a aquella que no disponen de película tradicional, sino que captura la luz por medio de una serie de sensores ópticos. La luz que refleja un objeto cualquiera llega a la cámara y traspasa las lentes, en un camino que le lleva a dar con el elemento sensible a la luz es decir el sensor. Este es un dispositivo semiconductor sensible a la luz, que incorpora un circuito integrado de silicón.

La cámara dispone de una serie de mecanismos para controlar la luz que entra en ella, estos mecanismos son imprescindibles para lograr una imagen adecuada. Uno de los mecanismos es el diafragma, el cual se ubica delante del sensor y controla la cantidad de luz que llega a él en el momento adecuado. Una vez la cámara ha procesado la imagen, procede a almacenarla en la memoria, para luego transmitir las imágenes al ordenador. A continuación se hará una descripción de los sensores de imágenes utilizados en las cámaras digitales.

3.4.1.1 Sensores de imagen. Los sensores de imagen son componentes sensibles a la luz que modifican su señal eléctrica en función de la intensidad luminosa que perciben. Existen dos tipos de sensores, el *CCD (charge coupled devices)* donde se integra en un mismo *chip* los elementos fotosensibles y el conjunto de puertas lógicas y circuitería de control asociada, la figura 19 muestra la forma típica de un sensor *CCD*.

Figura 20. Matriz de un sensor CCD.

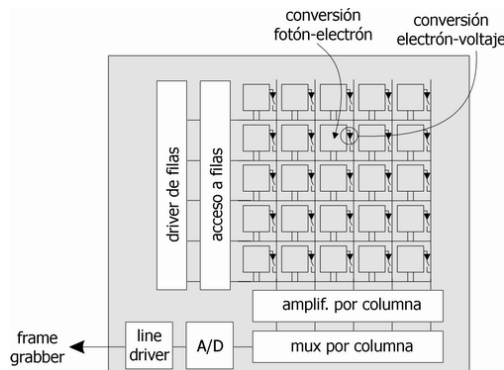


Fuente: <http://tiny.cc/0tj7y>

Este sensor convierte las cargas de las celdas de la matriz en voltajes y entrega una señal analógica en la salida, que será posteriormente digitalizada por la cámara. En los sensores *CCD*, se hace una lectura de cada uno de los valores correspondientes a cada una de las celdas. Entonces, es esta información la que un convertidor analógico-digital traduce en forma de datos. [3]

La otra clase de sensores son los *CMOS* (*complementary metal oxide semiconductor*).

Figura 21. Matriz de un sensor CMOS.



Fuente: <http://tiny.cc/0tj7y>

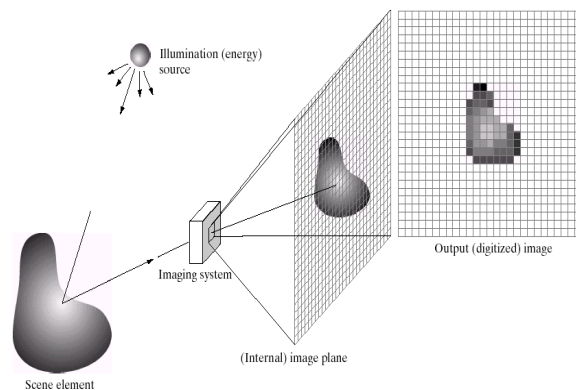
En este sensor cada celda es independiente. La diferencia principal es que aquí la digitalización de los píxeles se realiza internamente en unos transistores que lleva cada celda, por lo que todo el trabajo se lleva a cabo dentro del sensor y no se hace necesario un *chip* externo encargado de esta función. [3]

3.5 DIGITALIZACIÓN.

Una imagen natural capturada con una cámara analógica presenta una variación de sombras y tonos continuos. Las imágenes con estas características se les denominan imágenes analógicas. El proceso para que una imagen analógica pueda ser manipulada usando un ordenador, es convertir la imagen a un formato adecuado, el cual es la imagen digital correspondiente.

Este proceso de transformar una imagen analógica a otra digital se llama digitalización y es el primer paso en cualquier aplicación de procesamiento digital de imágenes. La digitalización implica procesos de muestreo y cuantización de la imagen. [1] En la figura 22 se ilustra un ejemplo del proceso de adquisición de una imagen digitalizada.

Figura 22. Ejemplo de adquisición de una imagen digital.



Fuente: R. C. GONZÁLEZ Digital Image Processing. [1]

Matemáticamente una imagen puede ser definida como una función bidimensional $f(x,y)$, donde x y y son coordenadas espaciales, el valor de f en (x,y) , es la intensidad o brillo en el punto (x,y) , de esta manera la digitalización de las coordenadas espaciales (x,y) , se denomina muestreo de la imagen y la digitalización de su amplitud se conoce como cuantización. El resultado del proceso de muestrear y cuantizar una imagen $f(x,y)$, es una matriz de números reales que tiene M filas y N columnas, donde los valores de (x,y) , ahora son cantidades discretas y enteras, la imagen digital completa se representa en la siguiente ecuación:

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

Donde el término de la izquierda representa lo que comúnmente se denomina una imagen digital y en la derecha aparece cada uno de los elementos de la imagen, los cuales se conocen como píxeles. [1]

En una imagen digital no se requiere un valor especial de M y N, salvo que sean enteros positivos y en el caso del número de niveles de gris, éste es usualmente una potencia entera de 2, para facilitar el almacenamiento de las imágenes, ya que los ordenadores utilizan el byte como unidad mínima de memoria directamente direccionable, esta potencia de 2 es usualmente 8 bits, es decir, 256 diferentes niveles de gris pero algunas aplicaciones especializadas utilizan 12 y 16 bits.

3.5.1 Resolución espacial de imágenes. Básicamente, la resolución espacial es el grado de detalle discernible en una imagen. La resolución de fotografías realizadas por las cámaras se mide en mega píxeles, es decir, puntos por pulgada que el sensor es capaz de capturar. Esta medida se obtiene de multiplicar el

número de filas por el de columnas, por ejemplo, en una fotografía de 1800 x 1200 correspondería a 2.160.000 píxeles (o 2,2 Mega píxeles).

3.6 CÁMARA DIGITAL KODAK *EASYSHARE C140*.

Hay que tener en cuenta que la fotografía digital no siempre debe buscar la mayor resolución y la nitidez posibles, sino solo los valores suficientes para producir una buena imagen en un dispositivo de salida adecuado. Con la cámara digital *KODAK EASYSHARE C140*, se adquieren imágenes de gran calidad, es asequible y fácil de utilizar. Este es un modelo compacto, que reúne las especificaciones necesarias para hacer una toma de imágenes con calidad, y que resalta características en las imágenes con gran nitidez. [6]

Figura 23. Cámara digital *Kodak EasyShare C140*



Fuente: www.kodak.com/go/c140support.

Tabla 2. Especificaciones de la cámara digital *Kodak EasyShare C140*.

IMAGEN	
Tipo sensor	CCD con <i>array</i> RGB
Megapixels	8.3 (8.2 efectivos)
Resolución Max	3264 x 2448
Otras Resoluciones	3264 x 2176, 3264 x 1836, 2592 x 1944, 2048 x 1536, 1800 x 1200, 1920

Ratio de la imagen w:h	4:3, 3:2, 16:9
Sensibilidad ISO	Auto: 80-240, Manual: 80, 100, 200, 400, 800, 1000
ÓPTICA	
Zoom Óptico / Digital	3 x / 5 x
Distancia focal	36 - 108 mm (equiv 35mm)
Velocidad del obturador	4 – 1/1400 seg.
Alcance focal	Automático: 0,6 m hasta el infinito, Gran angular (primer plano): de 0,13 m a 0,7 m, Paisaje: 10 m hasta el infinito
Almacenamiento	16 MB de memoria interna* disponible, ranura de ampliación para tarjetas SD/SDHC
Alimentación	Pilas AA
Formato de imagen	Compresión JPEG

Fuente: www.kodak.com/go/c140support.

3.7 CARACTERIZACIÓN Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE LA CÁMARA DIGITAL.

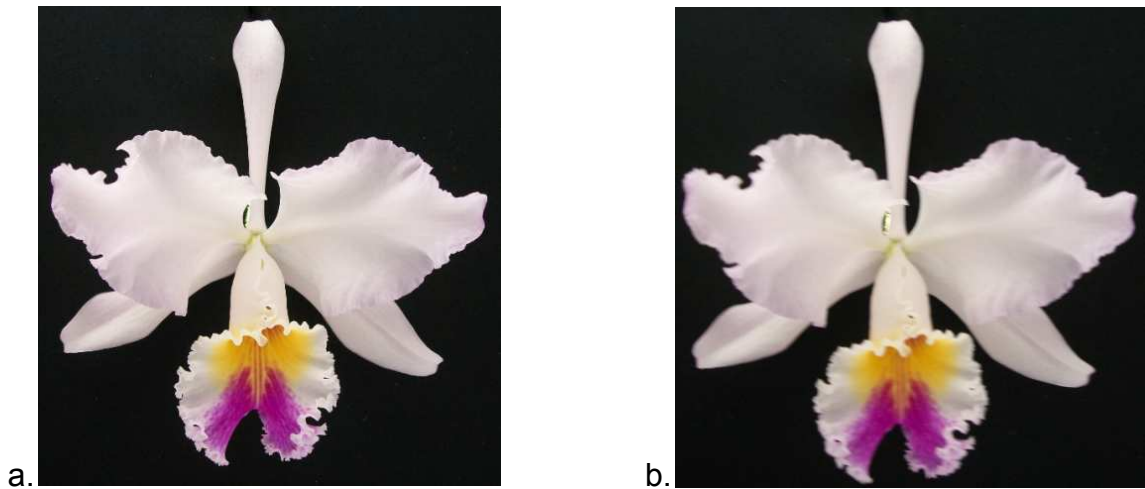
Uno de los aspectos importantes cuando se está trabajando con sistemas de visión artificial es que en la etapa de adquisición se cuente con el mejor control sobre el entorno y en conjunto con la selección adecuada de los parámetros de la cámara digital.

Los parámetros de selección que tienen un efecto significativo en las imágenes son los siguientes:

- **Alcance focal:** Se eligió, la opción primer plano porque es para escenas a corta distancia, en la opción automático presenta desenfoque de la imagen, y la opción paisaje es usada para escenas a distancias más largas donde

también presenta desenfoque en la imagen. En la figura 24 se puede apreciar la diferencia entre la configuración primer plano y automático.

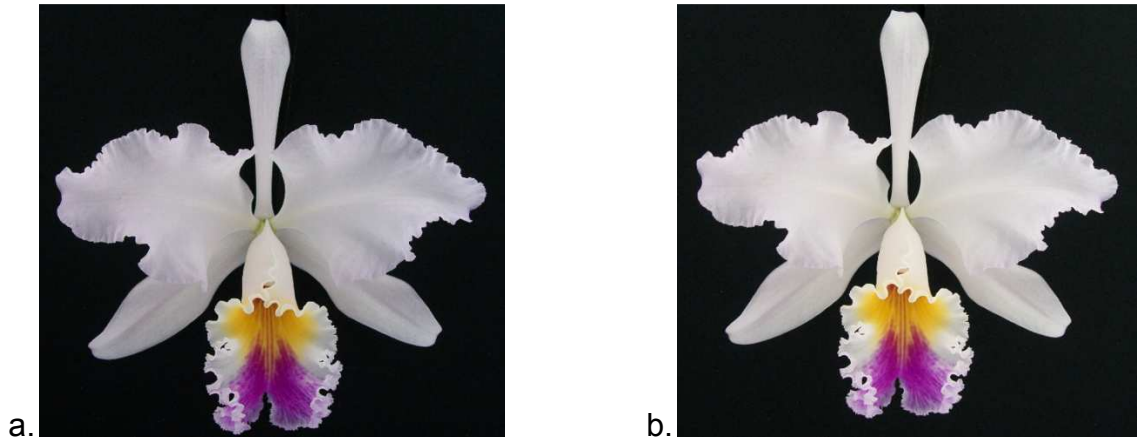
Figura 24. Configuración alcance focal (a) primer plano (b) Automático



Fuente: Autores.

- **Balance de blancos:** Este parámetro va muy ligado a las condiciones de iluminación, tiene varias opciones para seleccionar, entre ellas automático, luz natural, tungsteno, fluorescente, y sombras, el que más calidad de imagen brinda es el de luz natural.

Figura 25. Balance de blancos (a) Automático, (b) Luz natural



Fuente: Autores.

La selección de los otros parámetros se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3. Parámetros de adecuación de la cámara fotográfica.

Especificación de cámara	Selección de Parámetro
Tamaño de la foto	1,2 MP (1.280 × 960): 4:3
Exposición de tiempo prolongado	Ninguna
Modo de color	Alto
Balance de blancos	Luz natural
Medición de la exposición	Compensación en el centro
Zona de enfoque automático	Centrado
Velocidad de ISO	Automático
Nitidez	Normal
Modo de enfoque	Primer plano
Flash	Desactivado
Compensación de la exposición	0 EV

Fuente: Autores.

Luego de definir los parámetros de la cámara digital, con los cuales se pueda adquirir imágenes con calidad, que realcen detalles en cuanto a forma y color, el paso a seguir es la toma de imágenes de las flores con las cuales se va a trabajar.

En la figuras 26 (a), (b), (c) y (d) se puede apreciar algunas de las imágenes que se obtuvieron en la etapa de adquisición.

Figura 26. Toma de imágenes.



Fuente: Autores.

4. ADECUACIÓN Y PROCESADO DE LAS IMÁGENES ADQUIRIDAS

4.1 PRE-PROCESADO.

Cuando se adquiere una imagen mediante cualquier sistema de captura, por lo general ésta no es directamente utilizable por el sistema de visión. La aparición de variaciones en intensidad debidas al ruido, por deficiencias en la iluminación, o la obtención de imágenes de bajo contraste, hace necesario un pre-procesamiento de la imagen con el objetivo fundamental de corregir estos problemas, además de aplicar aquellas transformaciones a la imagen que acentúen las características que se deseen extraer de las mismas, de manera que se facilite las operaciones de las etapas posteriores. A este campo pertenecen las técnicas de transformaciones geométricas y las basadas en el histograma, el filtrado espacial y el filtrado frecuencial. [15] [16]

Aunque existen líneas de investigación abiertas, no es el campo más activo en ese sentido, y las técnicas existentes son bastante útiles para la mayoría de las aplicaciones.

Algunas de las técnicas más habituales son:

- **Conversión de los niveles de gris:** su objetivo es la mejora de la calidad de la imagen.
- **Transformaciones geométricas:** cuyos objetivos son la corrección de la perspectiva y la reconstrucción tridimensional de los objetos de la escena.

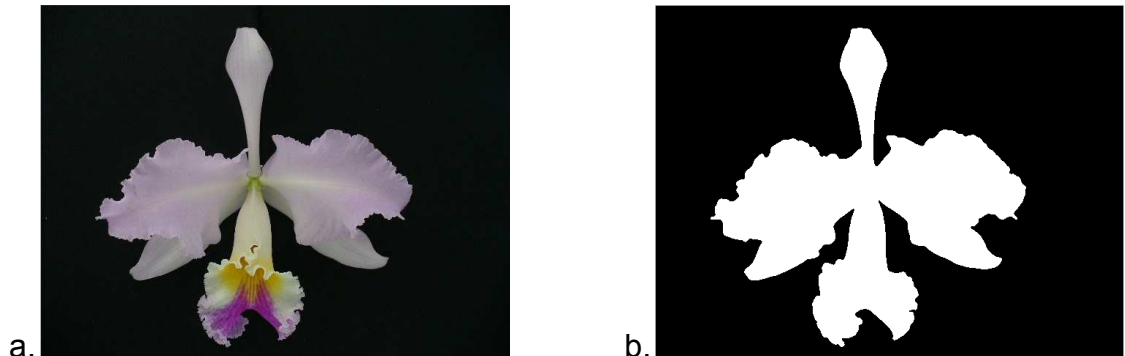
4.1.1 Representación de Imágenes con Niveles de Gris. Utiliza como característica solamente la luminancia de cada píxel, útil si distintos objetos se corresponden con niveles de gris diferentes.

- Técnicas de operaciones puntuales (Umbralización).
- Técnicas de clasificación basada en amplitud. (Imagen binaria)

En el caso ideal en que el objeto posea un rango estrecho de niveles de gris frente a un fondo uniforme, se puede establecer un nivel de gris intermedio (umbral) para separar objeto y fondo. Para separar por umbral, es útil recurrir al histograma. [17]

La mejora o realce de las imágenes, consiste en eliminar toda clase de ruido que contenga la imagen para evitar percances de cualquier tipo en el momento de la segmentación, para ello se trabaja con el formato de colores RGB y con la respectiva imagen en blanco y negro como se muestra a continuación en la figura 27.

Figura 27. (a) Imagen en RGB sin pre-procesar, (b) Imagen en blanco y negro (binaria).



Fuente: Autores.

Aunque no se note la figura 27 (a), contiene varias imperfecciones en su fondo lo que se convierte un problema a la hora de aplicar en ella cualquier tipo de segmentación. Para eliminar dichas imperfecciones lo que se hace es una multiplicación punto a punto entre (a) y (b) lo cual da como resultado la figura 28, donde se puede apreciar un fondo totalmente uniforme y una flor mas resaltada en

sus colores, esto con el propósito de facilitar el siguiente paso que es la segmentación.

Figura 28. Resultado del pre-procesado de la imagen.



Fuente: Autores.

4.2 SEGMENTACIÓN.

El primer paso en la adecuación y el procesado de las imágenes es la segmentación, definida como *“la extracción de un objeto de interés de una imagen arbitraria”* (Duda y Hart, 1973). González y Woods la definen como *“la subdivisión de una imagen en sus partes constituyentes”* (González y Woods, 2002). [9] Los métodos para llevar a cabo las segmentaciones varían ampliamente, dependiendo de la aplicación específica, tipo de imagen y otros factores como el ruido. [10] Esta etapa es de vital importancia en el posterior desarrollo de la interfaz software, ya que las regiones de interés necesarias para continuar con el buen funcionamiento del sistema son escogidas en esta parte del trabajo.

Con base en lo anterior, esta parte del trabajo está enfocada a la segmentación de áreas y colores de la flor de la orquídea catleya mendelli, sin importar el resto de la imagen (fondo), esto es llevado a cabo mediante un método de segmentación,

la Umbralización, que consiste en escoger un valor o valores de intensidad en la fotografía (en escala de grises), y definirlo como un límite o un intervalo, de tal forma que los valores que no estén dentro de ese rango sean tomados como cero '0' y aquellos que si pertenezcan a este rango sean tomados como '1', esto último con el fin de separar las regiones de mayor interés en la fotografía.

La extracción adecuada de los colores de interés de la imagen, depende en gran parte del sistema de colores en los cuales se trabaja, es decir, en donde se puedan observar características de la fotografía que no se pueden observar con otros sistemas, para ello se han escogido dos sistemas en particular, el sistema de colores primarios RGB y el sistema YCbCr que se presentan a continuación.

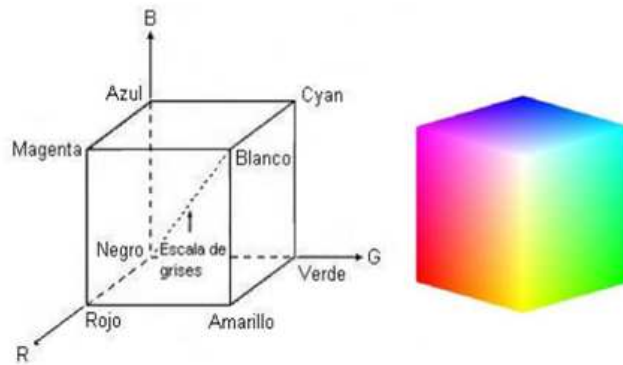
4.2.1 Espacio de Color RGB. Representa una composición del color en términos de los colores primarios con los que se forma (rojo, verde y azul). Está basado en la síntesis aditiva, es decir la mezcla por adición de los tres colores luz primarios.

La intensidad de cada componente se mide en el rango 0 a 255.

- Rojo: (255, 0, 0)
- Verde: (0, 255, 0)
- Azul: (0, 0, 255)

El conjunto de todos los colores se representa en un cubo, donde cada color es un punto en la superficie o interior de este cubo. La escala de grises se presenta en la diagonal blanco-negro de la figura 29. [11]

Figura 29. Cubo RGB.



Fuente: R.C. González y Woods, Digital Image Processing. [14]

RGB es conocido como un espacio de color aditivo (colores primarios) porque cuando la luz de dos diferentes frecuencias viaja junta, desde el punto de vista del observador, estos colores son sumados para crear nuevos tipos de colores.

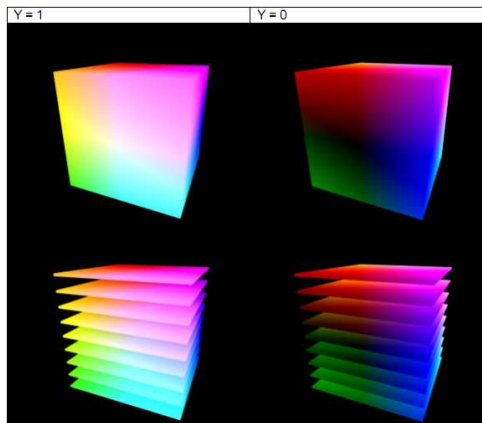
El espacio RGB es el espacio de color más extendido y el que utilizan la gran mayoría de cámaras de video y fotográficas para construir una imagen de color. Y de ahí, su importancia en visión artificial ya que trabajar con el mismo espacio de color con el que trabaja la cámara con la que se capturan las imágenes permite evitar la alteración de las propiedades del color durante el proceso de segmentación, propia de los errores de conversión y transformación, y por otro lado conseguir una mayor velocidad de segmentación por ahorro de esas operaciones de conversión y redondeo. [12]

Con base en lo anterior, las fotografías fueron tomadas en este espacio de color, pero no significa que sea el apropiado para extraer las características de un color específico requerido, sin embargo hay otros sistemas que se adecuan mejor al análisis del color que es preciso segmentar en el presente trabajo.

4.2.2 Espacio de Color YCbCr. YCbCr es un espacio de color utilizado en sistemas de fotografía y video digital. Define el color en términos de un componente de luminancia y dos de crominancia.

‘Y’ representa la luminancia (*luma*) y se encuentra en el rango de 0 a 255. Cb y Cr representan la crominancia (*chroma*), los colores azul y rojo respectivamente. Se encuentran en el rango -128 a 127 signado ó 0 a 255 no signado. [11]

Figura 30. Cubo de Color YCbCr.



Fuente: VisiónAIBO. [11]

La sensación de luminosidad viene dada por el brillo de un objeto y por su opacidad, pudiendo producir dos objetos con tonalidades y prismas diferentes la misma sensación lumínica. La señal de luminancia es la cuantificación de esa sensación de brillo. Para mantener la compatibilidad entre las imágenes en blanco y negro y las imágenes en color, los sistemas de televisión (*PAL*⁷, *NTSC*⁸, *SECAM*⁹) transmiten tres informaciones: la luminancia y dos señales diferencia de color. De esta manera, los antiguos modelos en blanco y negro pueden obviar la

⁷ “*PAL= phase alternating line*”

⁸ “*NTSC = National Television System Committee*”

⁹ “*SECAM=Séquentiel Couleur à Mémoire*”

información relativa al color, y reproducir solamente la luminancia, es decir, el brillo de cada píxel aplicado a una imagen en escala de grises. Y las televisiones en color obtienen la información de las tres componentes RGB a partir de una matriz que relaciona cada componente con una de las señales de diferente color. [13]

Este espacio de color es ventajoso en cuanto a la segmentación de una de las regiones de interés que se necesita separar del resto de la imagen, ya que la intensidad del gris que lo representa es diferente en comparación a las demás tonalidades, es por esto que se ha elegido el espacio de colores YCbCr para separar las regiones de interés (colores amarillo y violeta) del resto de la imagen (fondo).

4.2.3 Conversión de RGB a YCbCr. Los datos de entrada RGB pasan a través de una matriz de multiplicadores en donde los canales intermedios Y, Cb, y Cr, emergen en su salida. Las palabras Cb y Cr se introducen en los filtros diezmadores de media banda, por lo cual su tasa de datos resultante se divide en dos. Como el canal de tipo de datos Y no tiene por qué reducirse, simplemente pasa a través de un retraso programable que se adapta a la latencia de los filtros de media banda.

El modelo de color YCbCr (Luminancia, Crominancia azul, Crominancia Roja) representa una división entre la luminosidad o cantidad de luz percibida (Y) y la información sobre el color (Cb, Cr). La conversión de RGB a YCbCr es:

La componente de luminancia viene dada por

$$Y = 16 + (65.481xR + 128.553xG + 24.966xB)$$

La componente Cb de crominancia está dada por

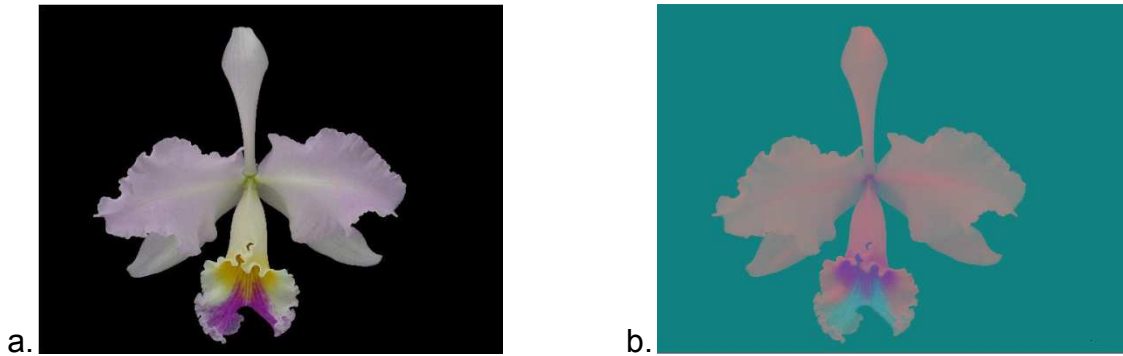
$$Cb = 128 + (-37.797xR - 74.203xG + 112.0xB)$$

Finalmente la componente Cr de crominancia está dada por

$$Cr = 128 + (112.0 \times R - 93.786 \times G + 18.214 \times B)$$

La figura 31 muestra una imagen en formato de colores RGB después del pre-procesado y su respectiva conversión al formato de colores $YCbCr$.

Figura 31. (a) Imagen en formato de color RGB, (b) Imagen en formato de color $YCbCr$.

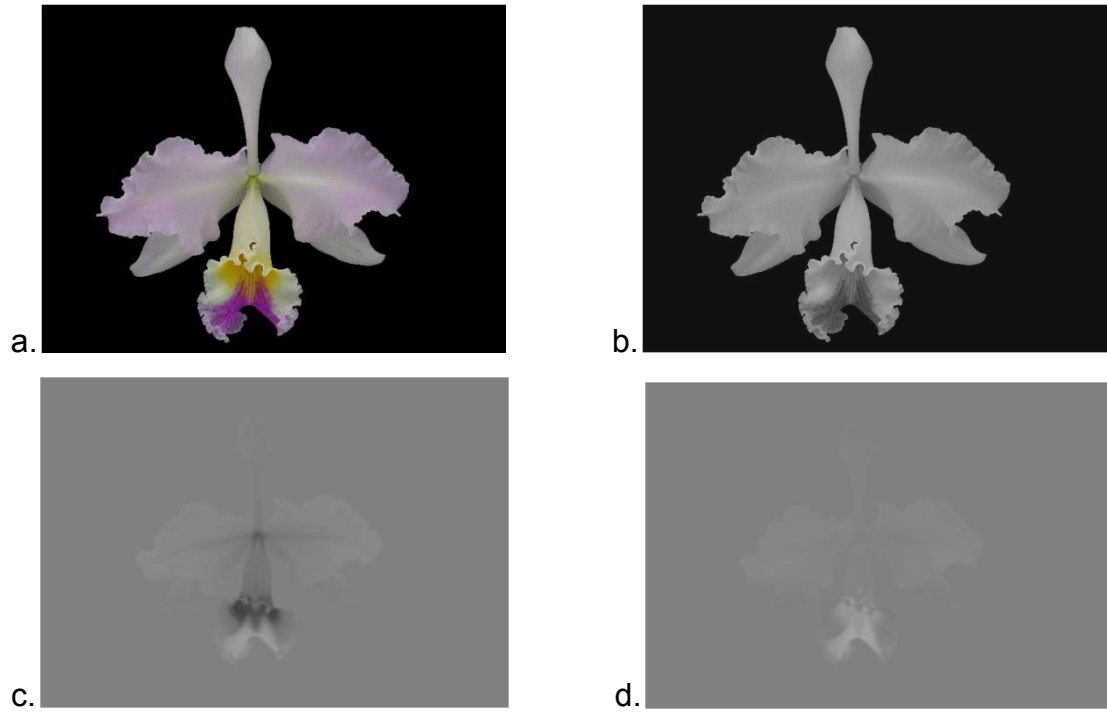


Fuente: Autores.

4.2.4 Segmentación del color de la flor. Para segmentar los colores de la flor, fue necesario analizar cada una de las componentes de los formatos de colores con los cuales se está trabajando, donde se llegó a la conclusión que las componentes R, G y B no muestran con claridad las regiones de interés que se quieren segmentar, acorde con esto se utilizan las componentes del formato $YCbCr$.

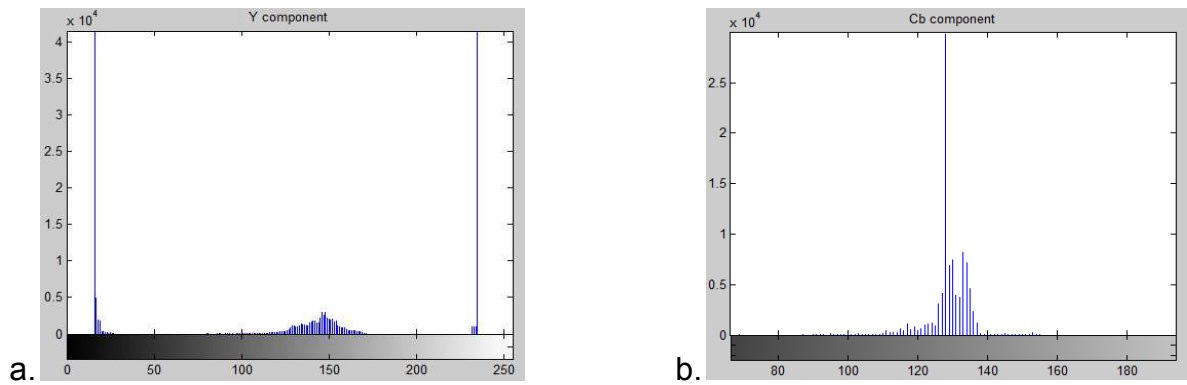
Una vez que se tiene la transformación al formato de color $YCbCr$, se procede a observar los histogramas de cada una de sus componentes (Y , Cb , Cr) para mirar en cuál de ellas se realizará la segmentación. En la figura 32 se muestran cada una de las componentes de este formato de color, y en la figura 33 sus respectivos histogramas hechos para la figura 31 (a).

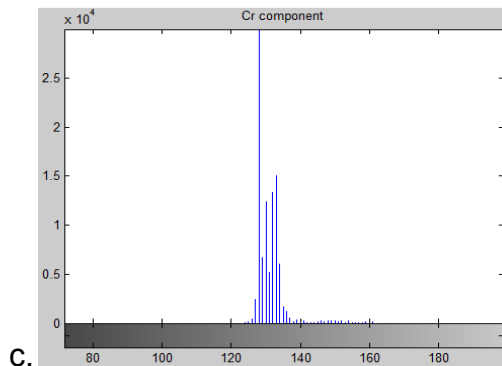
Figura 32. (a) Imagen original, (b) Componente Y, (c) Componente Cb, (d) Componente Cr.



Fuente: Autores.

Figura 33. (a) Histograma del componente Y, (b) Histograma del componente Cb, (c) Histograma del componente Cr.





Fuente: Autores.

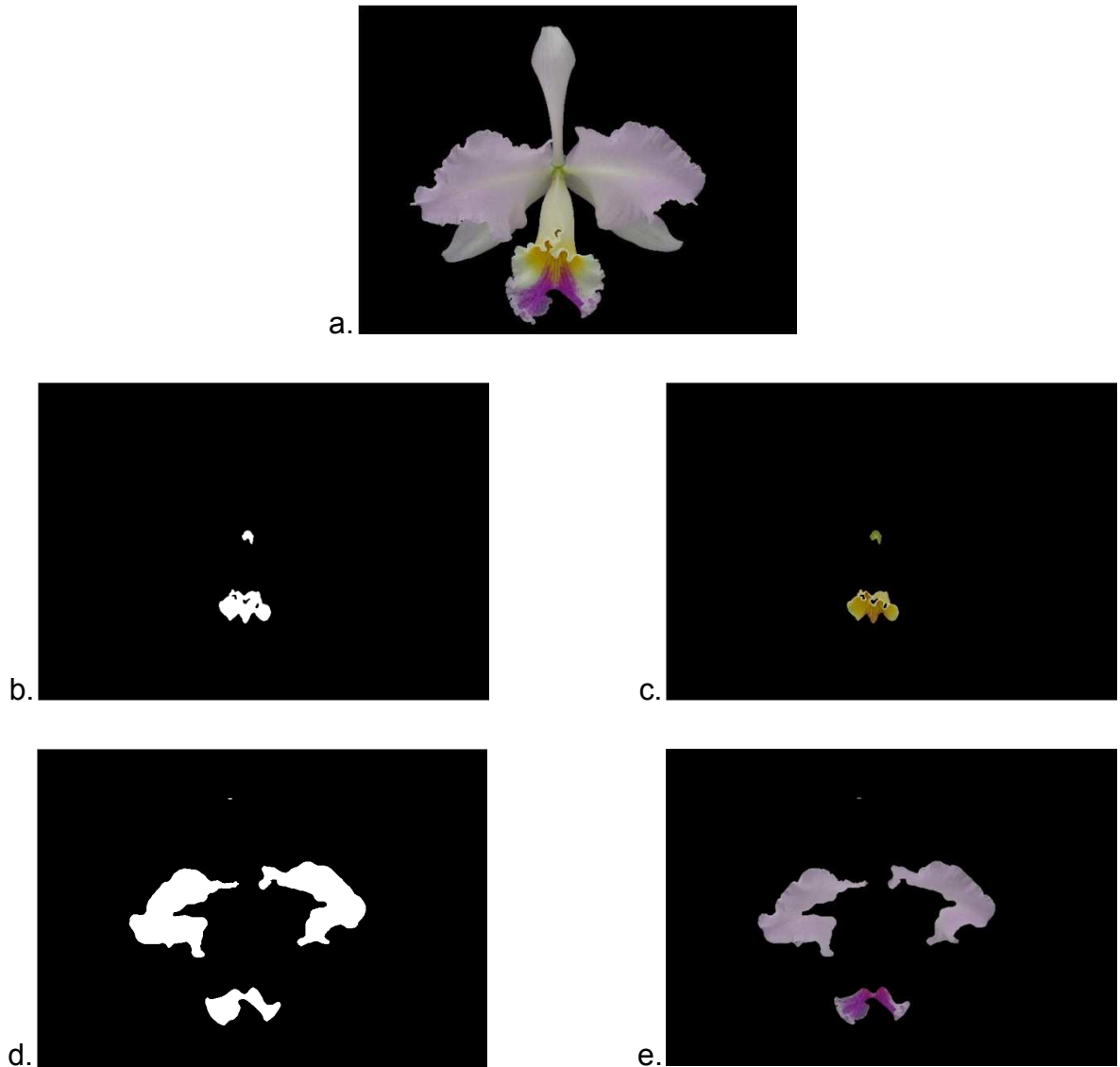
Al tener los resultados de los histogramas presentes en la figura 33 (b) se pueden apreciar pequeñas zonas separadas, con las cuales es posible trabajar. Esto con el fin de facilitar la segmentación por umbral o umbralización. Esta componente entonces se escoge para segmentar los colores amarillo y violeta de la flor.

4.2.4.1 Segmentación por Umbral o Umbralización. Como ya se había hablado de la segmentación por umbral anteriormente, esta se puede efectuar de forma más cómoda al observar los histogramas de la figura 33, estableciendo un intervalo de valores $[\alpha, \beta]$, donde los pixeles que se ubican dentro de este rango pertenezcan a la región o regiones de interés deseadas y a los cuales se les da un valor de '1' (blanco), de igual manera al resto de pixeles, es decir, aquellos que se encuentran por fuera de la región de interés se les asigna un valor de '0' (negro) para resaltar la región que se desea ver. Sabiendo esto se procede a establecer el valor o intervalo de valores con cuales se trabajará.

Las pruebas en los histogramas se realizaron sobre una gran variedad de flores de la misma especie (50 *Catleyas Mendelii*), para establecer el rango de valores en los cuales la intensidad de gris que representa el color amarillo y violeta se encontraba, teniendo como resultado estadístico un intervalo $C_b \geq 40 \ \& \ C_b \leq 104$, para el color amarillo y otro intervalo $C_b \geq 132 \ \& \ C_b \leq 170$ para el color

violeta. Realizando esta umbralización para la imagen presentada en la figura 33 (b), se tienen los siguientes resultados mostrados en la figura 34.

Figura 34. (a) Imagen original, (b) Segmentación de la región amarilla, (c) Región amarilla segmentada del resto de la flor, (d) Segmentación de la región violeta, (e) Región violeta segmentada del resto de la flor.



Fuente: Autores.

Una vez hecho esto, se puede apreciar que la segmentación es satisfactoria en cuanto a los intervalos escogidos para seleccionar los colores, sin embargo se debe tener mucho cuidado al momento de seleccionarlos, es decir, es de vital importancia realizar pruebas sobre la mayor cantidad de flores posibles para tener un valor o valores promedio con los que se pueda trabajar y no exponerse a tener otros colores después de la segmentación, esto se hace en vista de que todas las flores poseen tonalidades diferentes tanto en sus colores amarillos como violetas. Para ello, se utilizó un comando en matlab llamado *'impixel'* que al aplicarlo sobre la región deseada devuelve los valores de intensidad de gris sobre los cuales se desea o no trabajar, de esta manera se hace menos difícil encontrar el área sobre la cual se debe establecer el rango de valores.

No obstante, se ha encontrado que para un número muy limitado de flores (2 flores) no es tan satisfactorio este rango de valores como se pensaba en principio, ya que el color violeta que estas muestran es muy tenue y por ello su intensidad de gris es confundida con el tono blanco del resto de la flor, esto no quiere decir que no se detecte el color, por el contrario si es detectado pero a la hora de mostrarlo es muy reducido el espacio en el que se puede ver, la figura 35 ilustra un ejemplar de dichas flores.

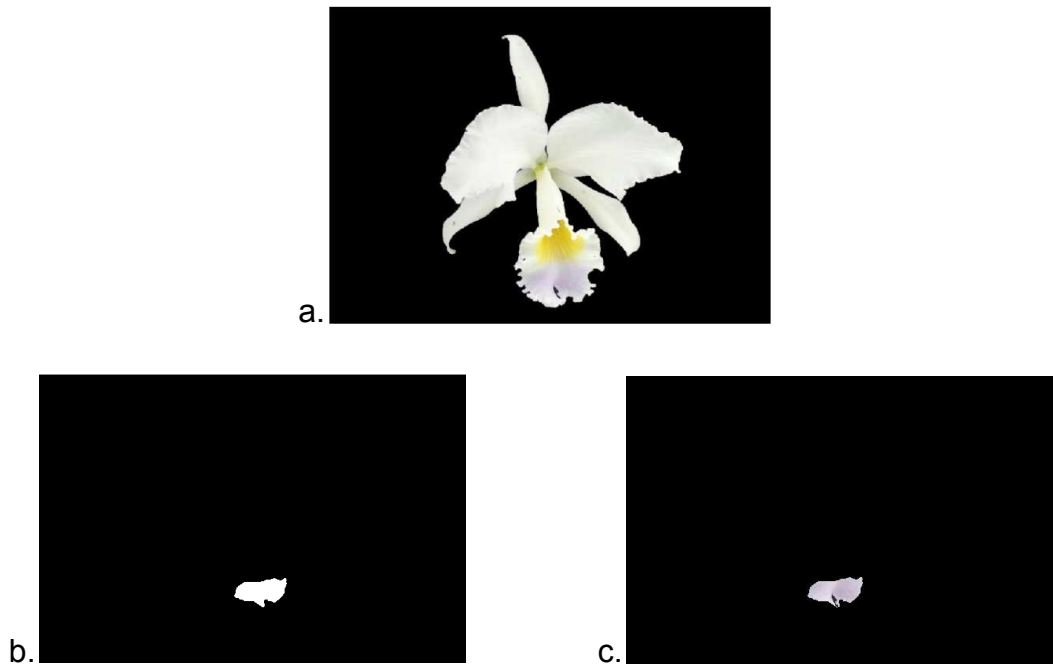
Figura 35. Flor con el color violeta muy tenue.



Fuente: Autores.

Como se puede apreciar en la figura 35, el color violeta es poco visible y la segmentación se dificulta un poco, a continuación en la figura 36 se observa la segmentación de la región de interés que en este caso es la del color violeta.

Figura 36. (a) Imagen original, (b) Segmentación de la región violeta incompleta, (c) Región violeta incompleta segmentada del resto de la flor.



Fuente: Autores.

Aunque no es tan pequeña la región que en la figura 36 (a) aparece, si hay una gran diferencia en cuanto al área que abarca el color violeta, es decir, en cuanto a lo que se puede apreciar en comparación con el área que se ve en la figura 35.

Ya que lo que se busca es tener un área un poco más grande entonces una solución planteada a dicho inconveniente es emplear otro método de segmentación que incorpora operadores de morfología matemática, es decir, es necesario aplicarle una apertura a la imagen.

En las aplicaciones prácticas del procesamiento digital de imágenes, los operadores de morfología matemática como la erosión y dilatación son usados a menudo en la mayoría de varias combinaciones, entre estas la apertura y la cerradura de imágenes.

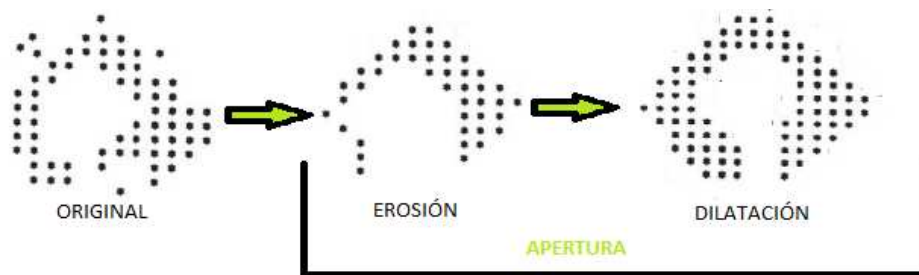
La apertura morfológica de A por B denotada como ' $A \circ B$ ' es simplemente la erosión de A por B seguida de la dilatación del resultado de esta operación por B , se puede representar matemáticamente como:

$$A \circ B = (A \square B) \oplus B$$

Para tener una idea más clara de lo que incluye el proceso de apertura, se define entonces la dilatación como la adición de píxeles (imágenes binarias) al entorno de objetos presentes en la imagen y la erosión definida como la eliminación de píxeles (imágenes binarias) al entorno de objetos presentes en la imagen.

La figura 37 muestra claramente que al momento de aplicar la técnica de apertura a una imagen se pierden áreas pequeñas y aisladas, regiones débilmente conectadas por uno o dos píxeles se pierden también, esto debido al trabajo de la erosión, pero también es visible el intento por volver a su dimensión inicial gracias al trabajo de la dilatación.

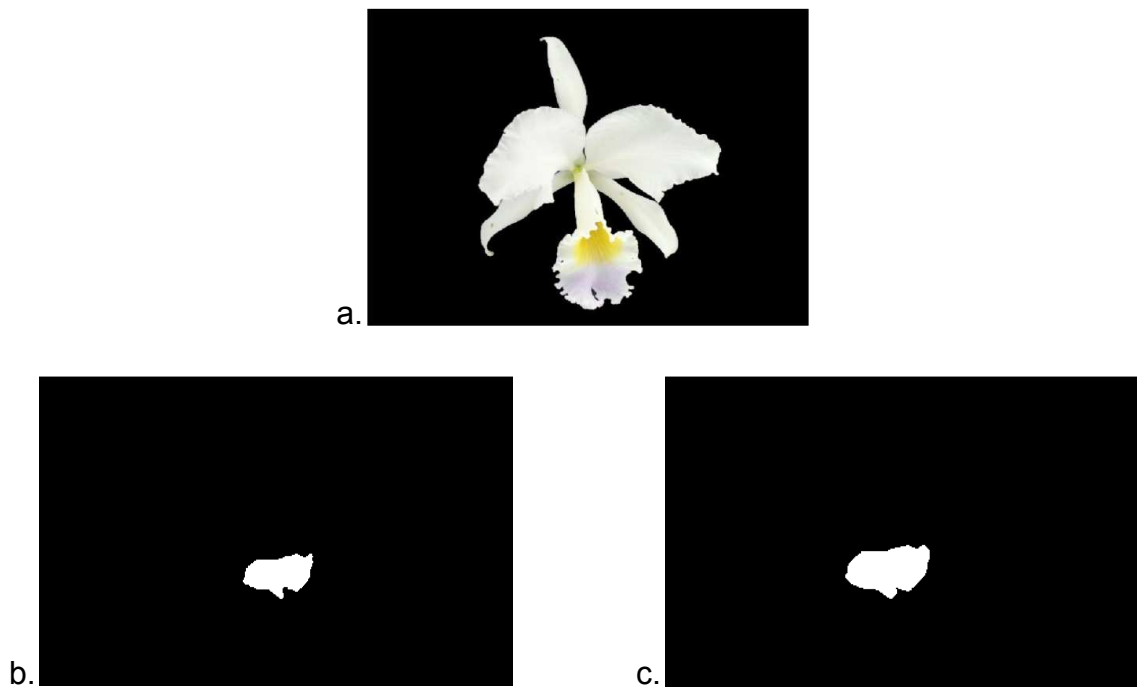
Figura 37. Aplicación de apertura a una imagen.



Fuente: Autores.

Gracias a la técnica de apertura se logra incrementar un poco más el área de la región de interés necesaria para la segmentación del color violeta como se puede apreciar a continuación en la figura 38 (b).

Figura 38. (a) Imagen original, (b) Región violeta segmentada antes de la apertura, (c) Región violeta segmentada después de la apertura.



Fuente: Autores.

Aunque no se soluciona completamente este pequeño inconveniente, si se observa que es una aproximación bastante cercana a lo que representa el área de la región de interés.

4.2.5 Segmentación de la forma de la flor. Como se estableció en el primer capítulo la flor está compuesta por dos pétalos, tres sépalos (un sépalo dorsal y dos laterales) y el pétalo inferior o labelo. Esta parte del capítulo está orientada a

mostrar cada una de las partes de la flor gracias a un buen proceso de segmentación.

Una vez claro lo que se quiere y tiene que hacer, se procede a ajustar las imágenes, a realizar en ellas lo necesario para extraer por aparte cada uno de sus miembros, sin embargo este proceso fue más difícil de lo que en principio se pensaba, ya que en las imágenes aparece un problema de contraste bastante pronunciado.

En un apartado del primer capítulo se habla de los colores característicos de cada una de las partes de la flor, donde se da a conocer que los pétalos y sépalos por lo general tienen la misma tonalidad de blanco, lo cual hace que los cruces entre estas dos partes de la flor sea casi inapreciable, es decir, no se hacen visibles ciertos bordes de la flor.

Agregado a lo anterior y al momento de segmentar la forma de la flor, esta pérdida de bordes por así decirlo, representa el problema de contraste del cual se hablaba, lo cual hizo mucho más interesante el desarrollo de esta parte.

A continuación se muestra la segmentación de la forma de las diferentes partes de la flor y las imágenes que corroboran lo establecido en el anterior párrafo.

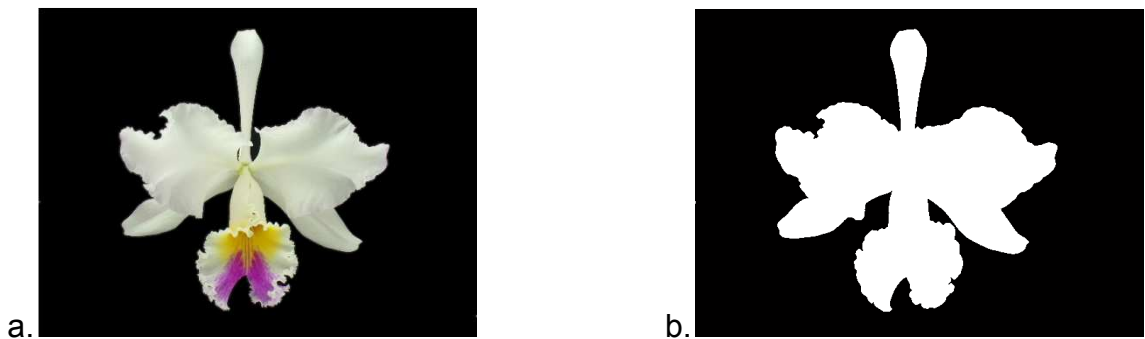
4.2.5.1 Segmentación basada en operaciones morfológicas. La morfología matemática es una herramienta muy utilizada en el procesamiento de imágenes. Las operaciones morfológicas pueden simplificar los datos de una imagen, preservar las características esenciales y eliminar aspectos irrelevantes.

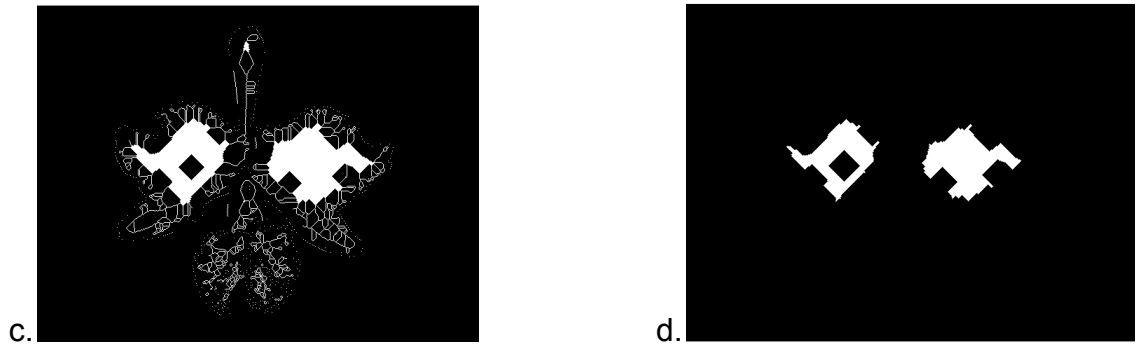
Teniendo en cuenta que la identificación y descomposición de objetos, la extracción de rasgos, la localización de defectos e incluso los defectos en líneas de ensamblaje están sumamente relacionados con las formas, es obvio el papel de la morfología matemática. [17]

La morfología matemática es una herramienta para extraer componentes de una imagen que sean útiles en la representación y descripción de la forma de una región, tales como contornos, esqueletos y cerco convexo. También son de interés las técnicas morfológicas para el pre o post-procesado, tales como el filtrado morfológico. [17]

Para la obtención de las partes de la flor se implementaron dos operaciones morfológicas llamadas adelgazamiento y apertura, aplicadas a las imágenes en este orden, de esta última se hizo mención en la segmentación del color. El adelgazamiento o "*thinning*" es un tipo de operación morfológica, consistente en obtener la línea media o eje de un objeto. Este tipo de procedimiento reduce los objetos a un conjunto de líneas sin perderse la conectividad del objeto original. Resulta de gran utilidad su aplicación al estudio de longitudes y orientaciones de estructuras alargadas, por ejemplo: dendritas neuronales, micro-fisuras en rocas, etc. [17] La figura 39 muestra las operaciones morfológicas realizadas a la flor.

Figura 39. (a) Imagen original, (b) Imagen binarizada, (c) Imagen adelgazada, (d) Imagen después de la apertura.

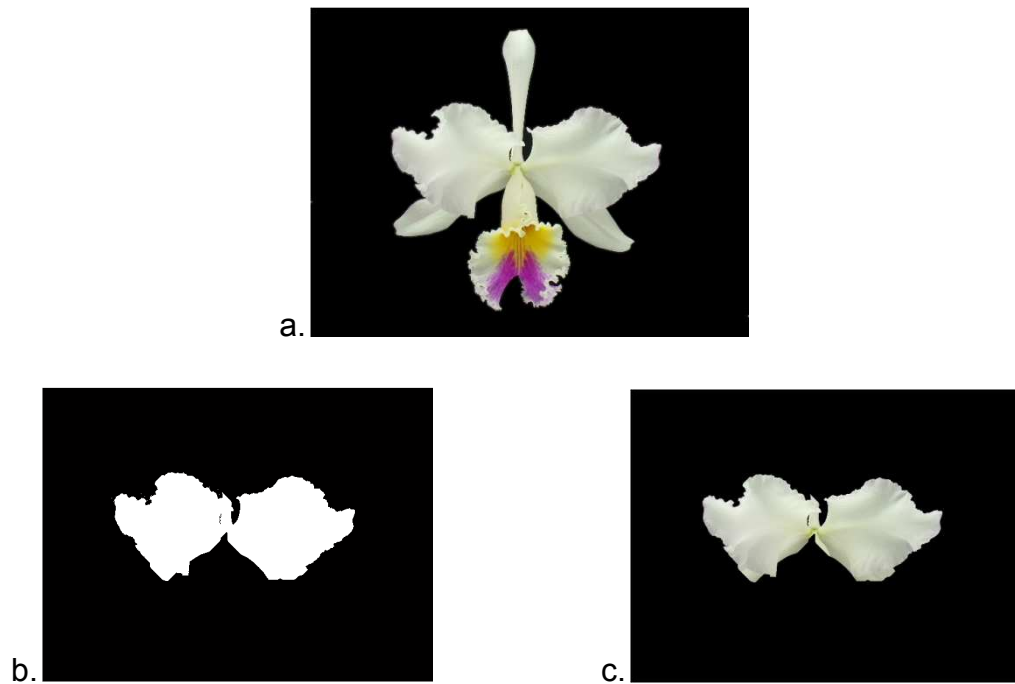




Fuente: Autores.

La figura 40, muestra la obtención de los pétalos de la flor, después de haber aplicado las operaciones morfológicas antes nombradas.

Figura 40. (a) Imagen original, (b) Región de los pétalos segmentada, (c) Pétalos segmentados del resto de la flor.

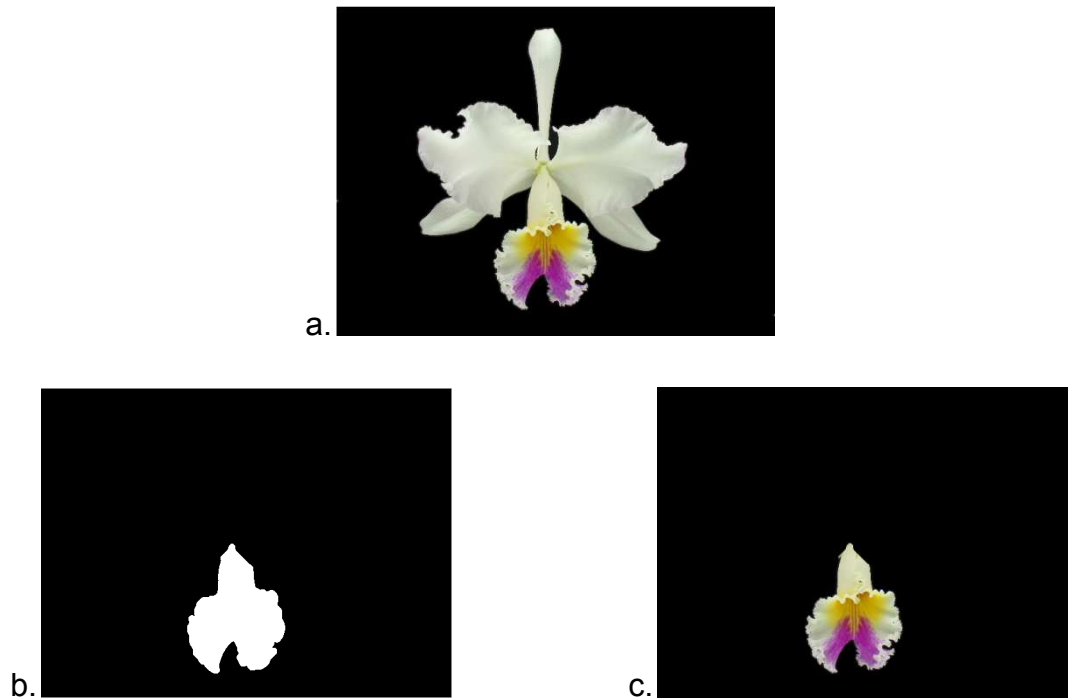


Fuente: Autores.

Como se había predicho, hay contornos de la flor que se pierden debido al bajo contraste y esto se hace visible en la figura 40 (c) en la cual se puede ver parte de los sépalos y hasta del labelo, sin embargo es un acercamiento bastante acertado en cuanto a la forma de los pétalos se refiere.

Los pétalos de la flor en este caso constituyen un 57,41% del tamaño de la flor, pues su área representada en píxeles es de 43412, mientras que el área total de la flor es de 75623. Seguidamente, en la figura 41 se segmenta la forma del labelo.

Figura 41. (a) Imagen original, (b) Región del labelo segmentada, (c) Labelo segmentado del resto de la flor.



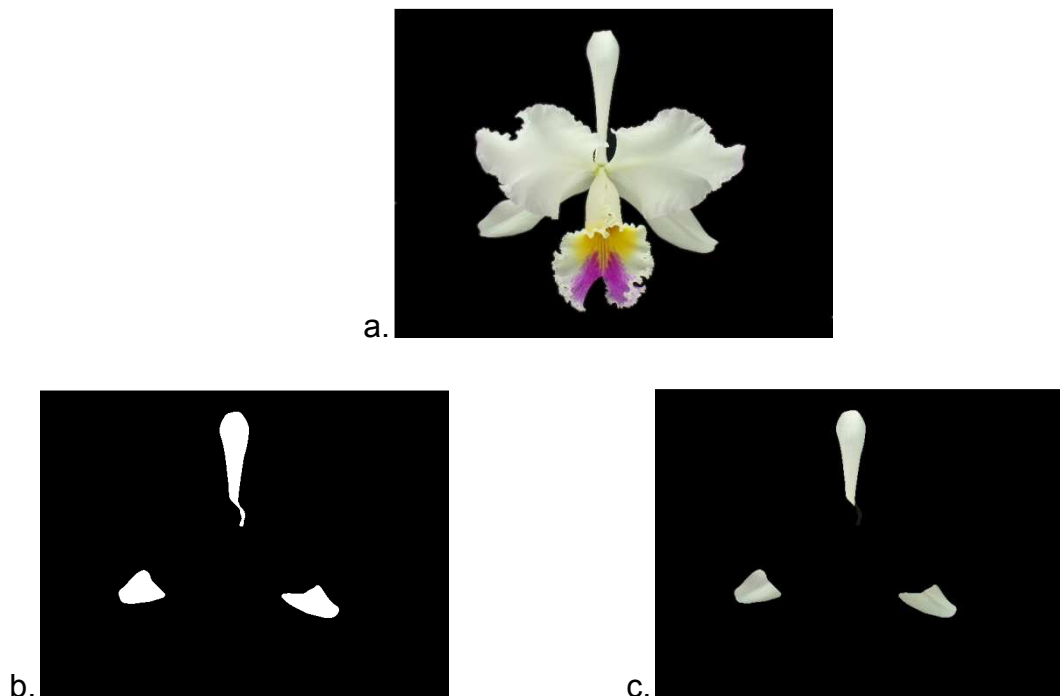
Fuente: Autores.

En la figura 41 (b), es posible ver que una pequeña parte del labelo está perdida y que aparece en la figura 40 (c), a pesar de esto se puede apreciar un gran porcentaje de la forma total del labelo lo cual es satisfactorio. El labelo para este

caso, constituye un 23.88% del tamaño total de la flor pues posee una área de 18060 representada en píxeles.

En cuanto a la segmentación de los sépalos se tratará no de avistar su forma, ya que no es completamente visible debido a la naturaleza de la flor, porque los pétalos en la mayoría de las flores tapan un porcentaje alto del tamaño real del sépalo, para ello en cambio se tratará de establecer una segmentación que permita determinar la orientación de estos mediante el ángulo de separación de 120° entre sépalos aproximadamente. La figura 42 da una muestra de la segmentación del área de los sépalos, que como se indicó es solo una parte de ellos.

Figura 42. (a) Imagen original, (b) Región de los sépalos segmentada, (c) Sépalos segmentados del resto de la flor.

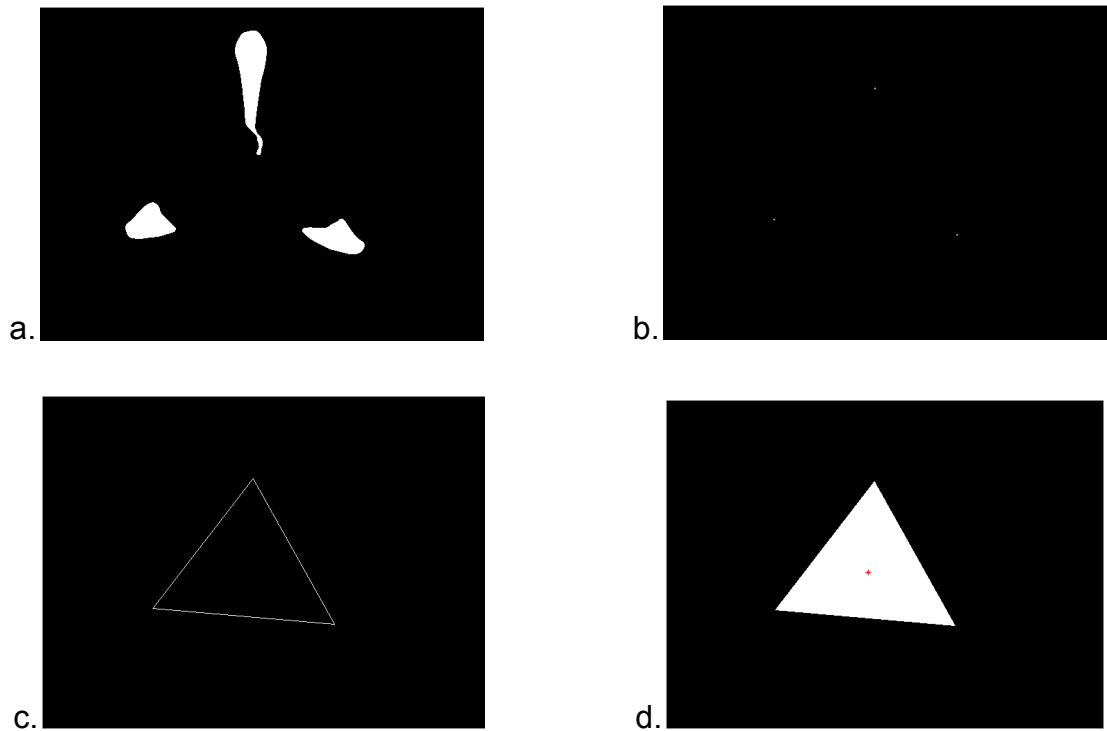


Fuente: Autores.

Como se dijo con anterioridad, solo se puede ver una porción de cada sépalo que representa el 18,71% del área total de la flor, por lo que es necesario concentrarse en la orientación de estos.

Para la orientación es necesario encontrar los puntos medios de cada sépalo mediante un encogimiento de las áreas de ellos, y a partir de los puntos encontrados trazar líneas formando un triángulo, al cual se le ubicará su centroide y con la ayuda de las pendientes se establecerán los ángulos de separación. La figura 43 muestra este proceso.

Figura 43. (a) Áreas de los sépalos, (b) Puntos medios de los sépalos, (c) Unión de puntos (triángulo), (d) Centroide de la figura.



Fuente: Autores.

De acuerdo con el procedimiento anterior y habiéndose realizado para la mayoría de imágenes que cumplen estas características de orientación, se puede establecer que los ángulos de separación entre los sépalos oscilan en un rango entre $110^\circ < \phi < 130^\circ$, lo cual es congruente con lo que se mencionó en la tabla 1, dónde el ángulo de distribución posee un valor de 120° aproximadamente.

4.3 DETECCIÓN DE IMPERFECCIONES EN LA FLOR.

En las orquídeas *catleya mendelli*, la calidad de las flores depende casi en su totalidad de la planta, pues es esta la que proporciona los colores, el tamaño y por ende la salud de la flor, en consecuencia a esto, la flor es quien muestra las enfermedades y debilidades de la planta misma. Esta parte del trabajo va enfocada al estudio de imperfecciones y/o defectos que se puedan apreciar de forma clara en ella.

Dependiendo de la clase de imperfección o irregularidad que sea visible en la flor se puede decir si es o no apta para la reproducción y posterior exportación, se puede también desechar esta idea o bien se puede clasificar dentro de otro grupo de flores que son aquellas comercializadas dentro del área nacional.

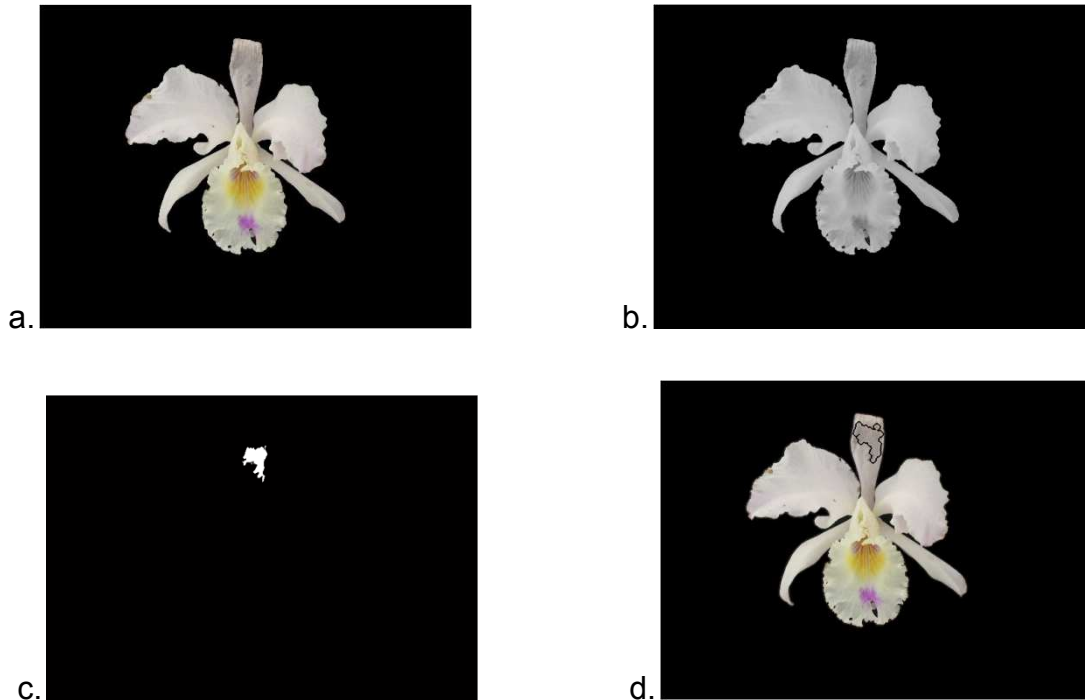
Lo anterior no quiere decir que los defectos aquí estudiados sean siempre culpa de la planta, es bueno aclarar que como toda planta comercial, la *catleya mendelli* tiene sus enemigos naturales o plagas que pueden dañar la flor de una manera bastante visible y sin que aún estas alcancen su primer mes de madurez, que es la edad en la cual la flor muestra su mayor belleza y esplendor, es por esto que a continuación se darán a conocer algunos de estos defectos.

4.3.1 Imperfecciones claras (transparencia en la flor). Este tipo de imperfección se puede ver en las flores porque sus pétalos o sépalos asumen una textura bastante parecida al papel calcante, dicha textura es causada por hongos, exceso de humedad o exceso de calor en su entorno, exceso de abono o bien por una pequeña araña que prefiere tejer sus redes en la flor y que es bastante perjudicial para el crecimiento de esta. Al tratarse de hongos y/o animales es posible que aún después de un meticuloso cuidado con la salud de la planta esté apta para la reproducción (será visible en una nueva floración), de otro modo se etiquetará como una flor no apta para propósitos de reproducción y posterior exportación o de comercialización nacional.

Sin embargo, este tipo de imperfección aparece también en un periodo de edad de la flor (entre dos y dos meses y medio) donde ya ha cumplido su etapa de floración y procede a marchitarse, es por ello que la etapa de adquisición de las imágenes cumple un papel muy importante en este ítem.

Según este comportamiento en cuanto al color y en el estudio de diferentes flores que contenían la misma clase de imperfección (2 flores), se llegó a la determinación que el rango de valores en el histograma del canal B (*blue*) que representa esta imperfección se encuentra entre ' $B \geq 110 \ \& \ B \leq 154$ ', de esta manera es muy factible encontrar dicha imperfección en las flores y seleccionar aquellas plantas aptas para la reproducción y posterior exportación. La figura 44 muestra cómo se resalta esta imperfección.

Figura 44. (a)Imagen RGB de entrada, (b) Canal B de la entrada, (c) Segmentación de la imperfección, (d) Imperfección resaltada.



Fuente: Autores.

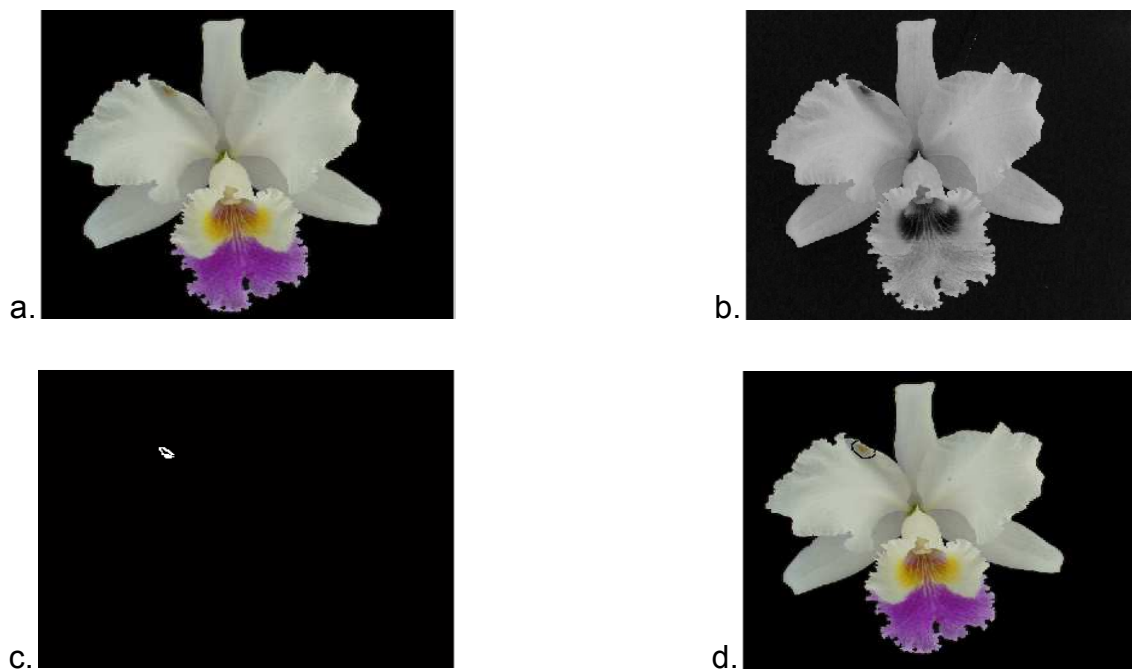
4.3.2 Imperfecciones Oscuras. Este nuevo tipo de imperfección se caracteriza por su color marrón oscuro y se puede encontrar de diferentes formas en la flor, una de ellas son los lunares oscuros sobre sépalos y pétalos, ya sea en gran cantidad y pequeños (pecas) o en menor cantidad y grandes. Otra forma de encontrar esta imperfección es alrededor de pétalos y labelo que se extiende como una línea marrón no uniforme sobre el borde de estos mismos.

Esta clase de imperfección es producida generalmente por insectos o de igual manera que la anterior imperfección también puede ser causada por excesos de humedad, calor y abonos, también es provocada por golpes en la flor (no es muy común), o por la edad de la misma, ya que como en las imperfecciones claras,

aparecen también en su ciclo final de floración donde tiende a marchitarse y por ende aparecen estas manchas o lunares.

Estas manchas o lunares que aparecen en la flor son un tanto determinantes en el momento de escoger una planta para la reproducción y posterior exportación, ya que al tratarse de abonos, es mejor esperar a que la planta mejore su calidad, es decir, mejore su salud. La figura 45 muestra un ejemplo de dichas imperfecciones.

Figura 45. (a) Imagen RGB de entrada, (b) Canal azul (Blue) de la entrada, (c) Segmentación de la imperfección, (d) imperfección resaltada



Fuente: Autores.

Para detectar este tipo de imperfección fue necesario revisar los dos formatos de color en los cuales se ha trabajado (*RGB* y *YCbCr*), durante la revisión se encontró que ninguno de los canales del formato *YCbCr* brinda el contraste necesario para poder diferenciar la imperfección del resto de la flor. Con base en lo anterior se utilizó el formato de colores *RGB*, en cuyo caso también fueron

analizadas sus tres componentes y donde se encontró que el canal azul (*Blue*) muestra un buen contraste entre la imperfección y la flor, lo cual hace más factible su identificación. La figura 46 muestra otra flor con este tipo de imperfección.

Figura 46. Imagen RGB de entrada con imperfección oscura.



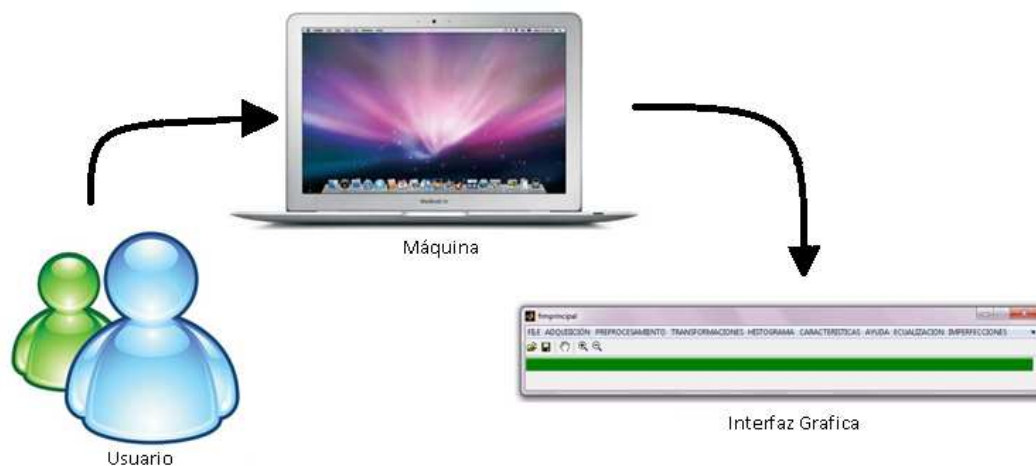
Fuente: Autores.

5. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos se presentan en la interfaz grafica que se creó usando la herramienta “*Guide*” que proporciona el programa de cálculo MATLAB ®. Este sistema usuario maquina, brinda un entorno de manejo sencillo, sin necesidad de que el usuario conozca en detalle toda la teoría relacionada con esta técnica.

De manera general la interfaz grafica, es una ventana de un sistema informático, que posibilita a una persona interactuar con él, su principal uso, consiste en proporcionar un entorno visual sencillo para permitir la comunicación con el sistema operativo de una máquina o computador. En la figura 47 se puede apreciar el sistema de interacción usuario-maquina.

Figura 47. Sistema usuario maquina.



Fuente: Autores.

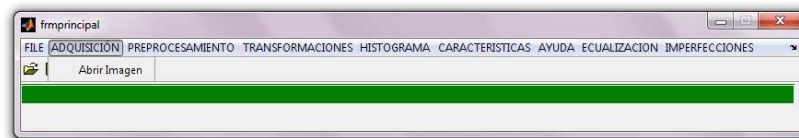
La herramienta consiste en un área de trabajo con una barra en la que se encuentra dispuesta una buena cantidad de botones. En la parte superior se tiene la barra de título del programa, que indica el nombre de la ventana desplegable del archivo con el que se está trabajando.

La Barra de menús está compuesta por botones, que al dar “click”, despliegan una o varias funciones donde pone a disposición del usuario diversas opciones. A continuación se presenta el paso a paso, de cómo funciona la interfaz grafica y de cuáles son las funciones que se exhiben en la barra del menú. Para hacerlo más ilustrativo, se hará con un ejemplo particular, en el cual se caracteriza una imagen de las que se obtuvieron en la etapa de adquisición.

Como primera medida se carga la interfaz grafica, simplemente ejecutado en la ventana de comandos (“*command Window*”), la función principal “*frmprincipal*”, para ello se debe haber guardado con anterioridad la carpeta que contiene los archivos con los códigos (*scripts*) implementados para el desarrollo del proyecto.

Una vez cargada la función principal aparecerá una ventana como la que se muestra en la figura 48, donde se visualiza la barra del menú adquisición y la opción “abrir Imagen” que es utilizada para cargar las imágenes que se van a procesar.

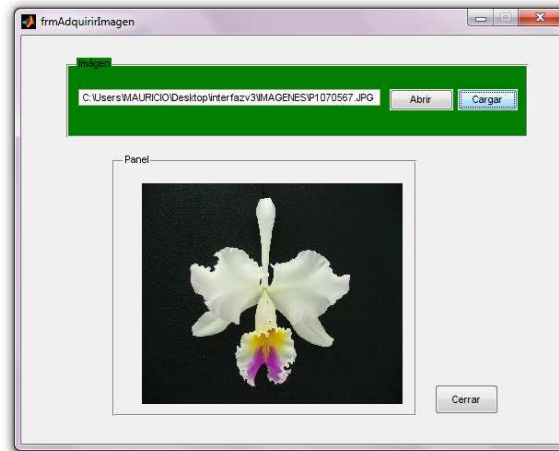
Figura 48. Interfaz grafica opción “ADQUISICION” → “Abrir Imagen”.



Fuente: Autores.

Una vez se da “click” en esta opción se despliega una nueva ventana (figura 49), donde aparece el navegador “Abrir”, el cual direccionará la ruta en la que se encuentra la carpeta que contiene la imágenes a cargar.

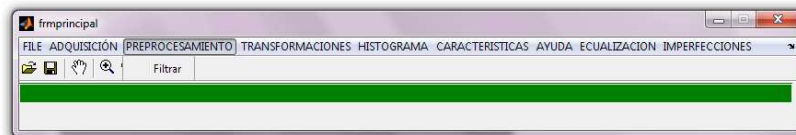
Figura 49. Ventana Interfaz grafica opción “Abrir” y “Cargar” la imagen.



Fuente: Autores.

Luego de cargar la imagen, el paso a seguir es pre-procesarla para eliminar cualquier tipo de imperfección que pueda tener el fondo la imagen. En la figura 50, aparece la opción para abrir la ventana que se muestra en la figura 51.

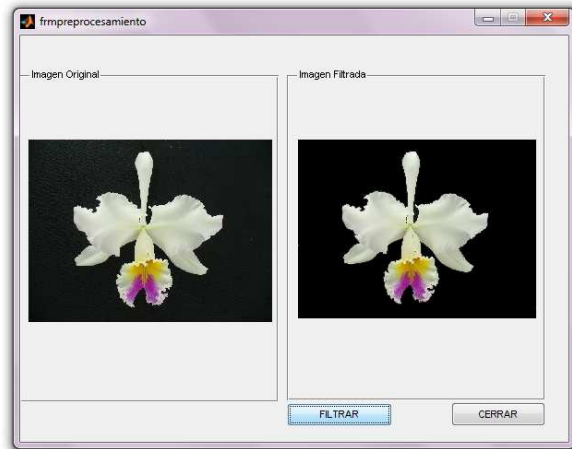
Figura 50. Interfaz grafica opción “PREPROCESAMIENTO” → “Filtrar”.



Fuente: Autores.

Básicamente lo que se pretende con el filtrado es eliminar el ruido indeseado que aparece en el fondo de la imagen. En la figura 51 en la parte derecha aparece la imagen original, en ella se puede apreciar el recorte de la tela por donde se hace pasar el tallo de la flor, mientras que en la parte izquierda se observa la imagen filtrada con un fondo negro totalmente uniforme.

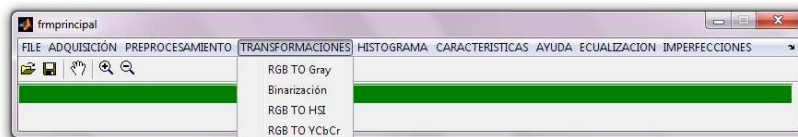
Figura 51. Ventana Interfaz grafica opción “Filtrar”.



Fuente: Autores.

Otra opción presente en la ventana principal de la interfaz grafica, es la opción de “Transformaciones” que se utilizo para hacer el análisis de las imágenes. Esta opción se carga como se observa en la ventana de la figura 52.

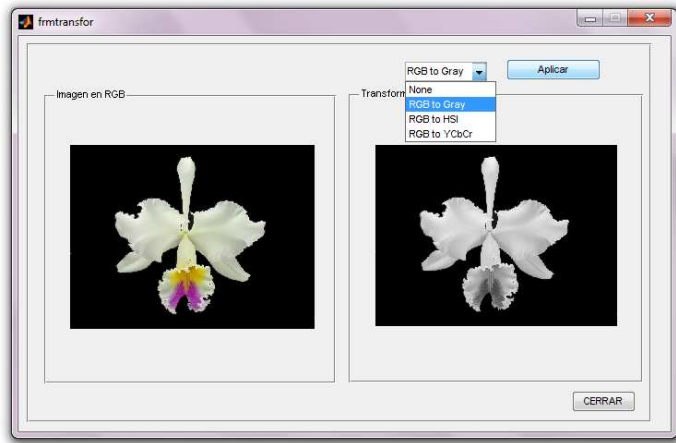
Figura 52. Interfaz grafica opción “TRANSFORMACIONES”.



Fuente: Autores.

Si se da “click” sobre alguna de las opciones “*RGB to Gray*”, o “*RGB to YCbCr*” se despliega una nueva ventana como la que aparece en la figura 53 donde ya se ha elegido la opción “*RGB to Gray*”.

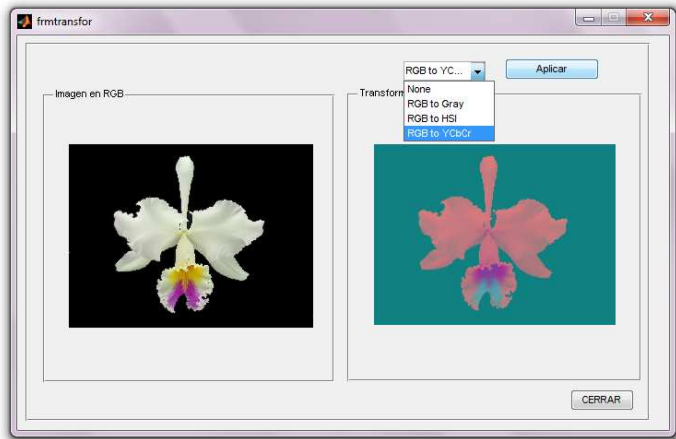
Figura 53. Ventana Interfaz grafica opción “TRANSFORMACIONES” → “RGB to Gray”.



Fuente: Autores.

Otra transformación que se utilizo en el desarrollo del programa es la “RGB to YCbCr” que aparece en la figura 54.

Figura 54. Ventana Interfaz grafica opción “TRANSFORMACIONES” → “RGB to YCbCr”.

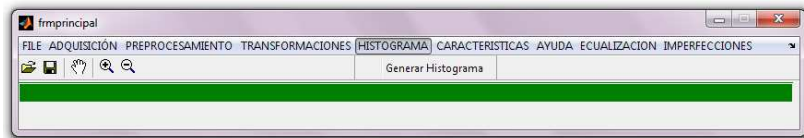


Fuente: Autores.

Esta transformación se utilizó para extraer el color amarillo y violeta de la flor de la orquídea, ya que en cada una de sus componentes se puede apreciar con más detalle las diferentes tonalidades que contiene la imagen.

Una herramienta de gran utilidad en el proceso de segmentación es el histograma, el cual se puede generar en la interfaz gráfica en la opción "HISTOGRAMA" → "Generar Histograma" como se observa en la figura 55, luego se desplegará una ventana como la que se muestra en la figura 56.

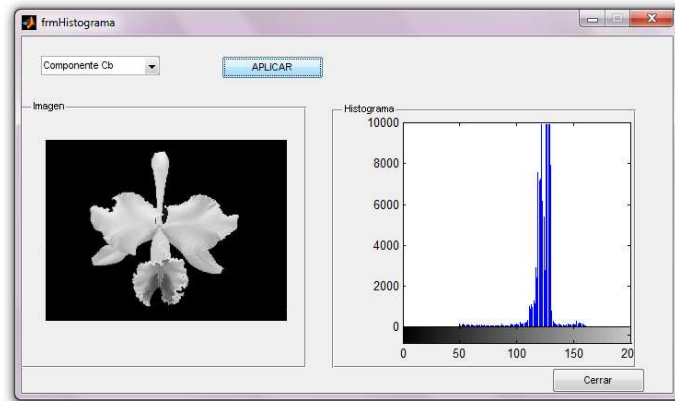
Figura 55. Interfaz gráfica opción "HISTOGRAMA" → "Generar Histograma".



Fuente: Autores.

En la ventana desplegada hay varias opciones en donde se puede generar el histograma pues aquí se encuentran contenidos los canales del formato de color $YCbCr$ (Y , Cb , Cr), esto claro está, una vez se haya hecho la respectiva transformación.

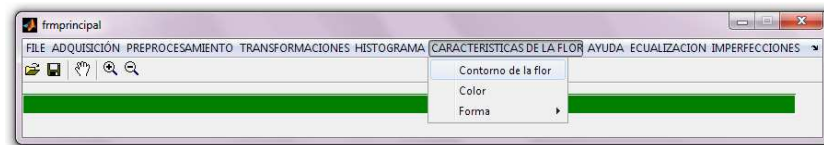
Figura 56. Ventana Interfaz grafica "HISTOGRAMA".



Fuente: Autores.

El siguiente paso en la demostración de la interfaz grafica es la opción "CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR" como se muestra en la figura 57, en esta aparecen tres opciones más, entre las que se puede encontrar "contorno de la flor", que al dar "click" se despliega una ventana como la que aparece en la figura 58.

Figura 57. Interfaz grafica opción "CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR" → "Contorno Mejorado".

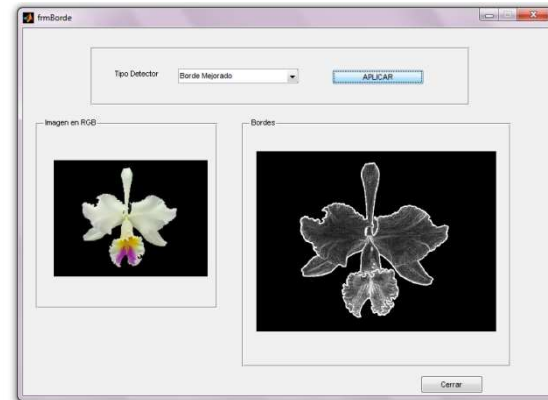


Fuente: Autores.

En esta opción se resaltan con más detalle los bordes de la flor, aunque aún existe el inconveniente del contraste entre los pétalos y los sépalos laterales, ya que estos toman tonalidades similares.

Se creó esta función porque es el paso a seguir en la segmentación y posterior separación de las partes de la flor, como son los pétalos el labelo y los sépalos.

Figura 58. Ventana Interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Contorno Mejorado”.



Fuente: Autores.

La opción “características de la flor” → “color” despliega una nueva ventana como la que se muestra en la figura 59, donde aparece la imagen de la flor en la parte izquierda, y dependiendo del color que se desee segmentar, aparecerá la imagen de dicha segmentación en la parte derecha, adicional a esto en la parte inferior derecha se puede ver el porcentaje que representa el color segmentado del total de la flor. La figura 60 muestra un ejemplo, en donde se seleccionó la opción “amarillo”, la cual representa un 6.8 % del área total de la flor.

Figura 59. Ventana interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Color” → “Amarillo”.



Fuente: Autores.

En la figura 60 al igual que en el ejemplo anterior, se muestra la segmentación del color violeta el cual representa un 4.78 % del área total de la flor.

Figura 60. Ventana interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Color” → “Violeta”.

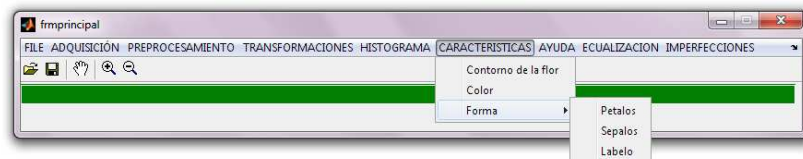


Fuente: Autores.

Cabe resaltar que la mayoría de imágenes segmentadas en cuanto a su color presentan un porcentaje para cada uno de los colores (amarillo y violeta) no superior a 15%.

En cuanto a la segmentación de la forma, la interfaz software despliega dentro de su opción “características de la flor”, la opción valga la redundancia forma, dentro la cual están contenidos los pétalos, sépalos y labelo. La figura 61 hace alusión a estas opciones.

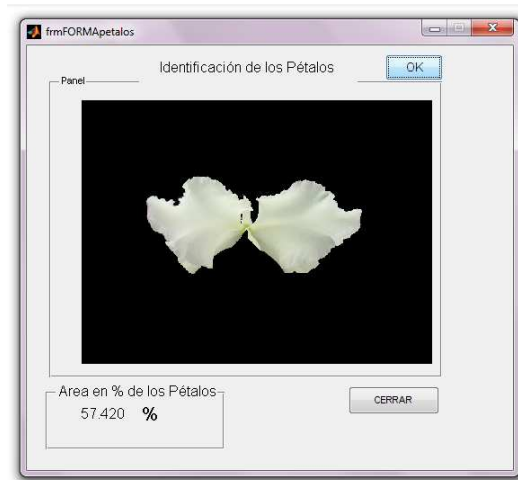
Figura 61. Interfaz grafica opción “CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR” → “Forma”.



Fuente: Autores.

Seguidamente de la anterior figura se ha escogido la opción pétalos, la cual consiste en separar esta parte del resto de la flor, este procedimiento acarreó una serie de dificultades con respecto a su programación, debido a la perdida de contraste que existe en los cruces entre pétalos y sépalos laterales, dificultad que se nombra en el capítulo cuarto. En la figura 62 se puede evidenciar que hay partes pertenecientes a los sépalos, cuando solo deberían aparecer los pétalos.

Figura 62. Interfaz grafica, separación de pétalos del resto de la flor.

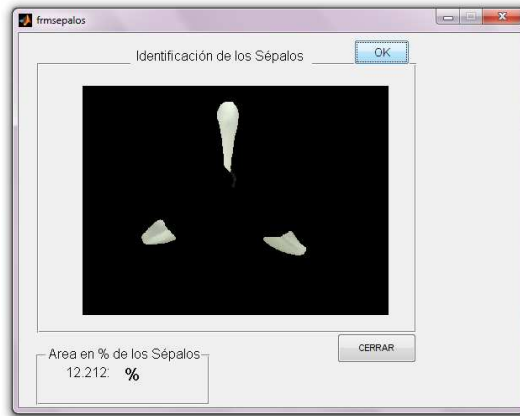


Fuente: Autores.

Al igual que con la segmentación de los colores, en esta parte se calcula el porcentaje de área que representa cada una de las partes con respecto al total de la flor, prueba de ello es el porcentaje que aparece en la parte inferior de las figuras 63 y 64.

Los sépalos de la flor aparecen como segunda opción y al separarlos del resto de la flor, se puede apreciar claramente en la figura 63 que solo es visible la parte que no está cubierta por los pétalos como se había previsto en el capítulo cuarto.

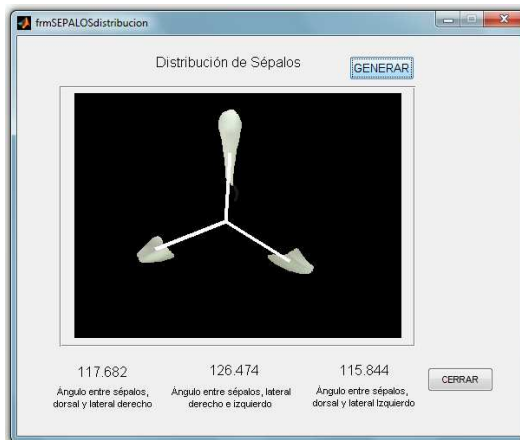
Figura 63. Interfaz grafica, separación de sépalos del resto de la flor.



Fuente: Autores.

Como no es visible la totalidad de los sépalos, se procede a analizar la separación que hay entre ellos, pues ya se había mencionado que el ángulo de separación entre dos sépalos oscila entre 110 y 130 grados. La figura 64 muestra el ángulo que existe entre los sépalos.

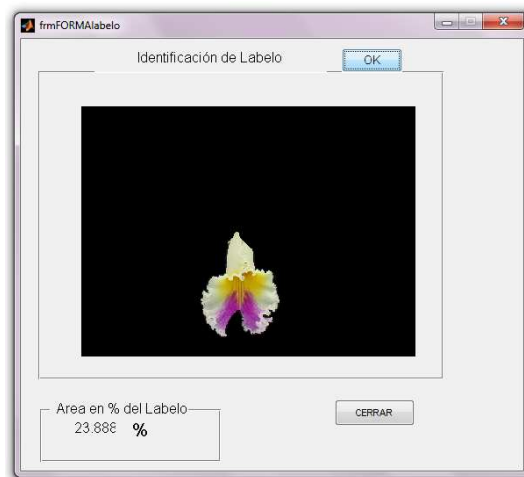
Figura 64. Ángulo de separación entre sépalos.



Fuente: Autores.

La tercera opción es el labelo, el cual se puede apreciar en su mayoría, dejando ver sus colores (amarillo y violeta), el rizado fino que posee y su cavidad tubular.

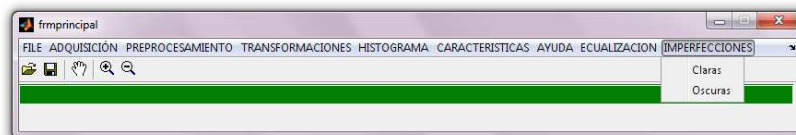
Figura 65. Interfaz grafica, separación de labelo del resto de la flor.



Fuente: Autores.

Otra de las opciones que podemos encontrar en el menú de la interfaz grafica es la de "IMPERFECCIONES", la cual está conformada por las imperfecciones oscuras y las imperfecciones claras. En la figura 66 se aprecia esta opción.

Figura 66. Interfaz grafica opción "IMPERFECCIONES".

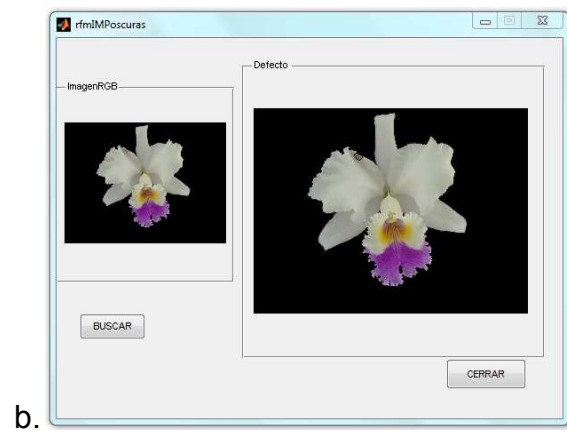
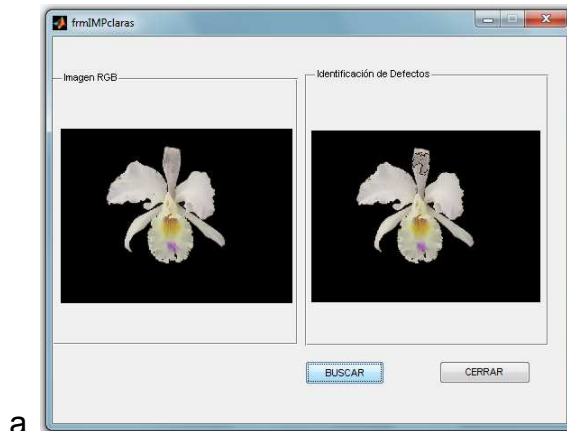


Fuente: Autores.

Para analizar esta opción se cargará otra imagen de una orquídea diferente, que contenga cualquiera de estas imperfecciones, ya que la imagen con la cual se está

probando la interfaz no posee imperfecciones en la superficie de la flor. La figura 67 muestra los dos tipos de imperfecciones identificados en flores que los contengan.

Figura 67. Imperfecciones de la flor (a) Claras, (b) Oscuras.



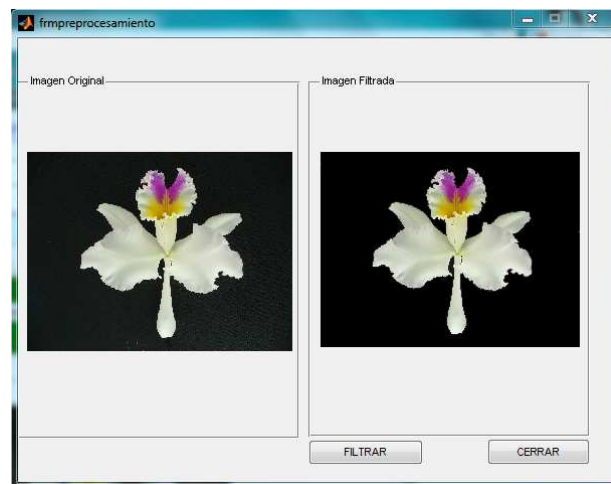
Fuente: Autores.

5.1 PRUEBA ADICIONAL DE LA INTERFAZ GRAFICA.

Esta prueba consiste en hacer una rotación a las imágenes para determinar si los algoritmos funcionan. En este caso se coge la imagen con la cual se han venido realizando los ensayos hasta ahora, pero se hará rotándola en su eje 90° y 180° , de tal manera que no importe en qué dirección sea tomada la foto.

5.1.1 Prueba con rotación de 180° a la imagen. La figura 68 muestra la imagen rotada 180 grados en su eje y su respectivo pre-procesamiento.

Figura 68. Imagen rotada 180° .



Fuente: Autores.

El pre-procesamiento es satisfactorio pues se puede apreciar un fondo negro totalmente uniforme. A continuación en la figura 69 se realiza la prueba de la segmentación en los colores amarillo y violeta de la flor.

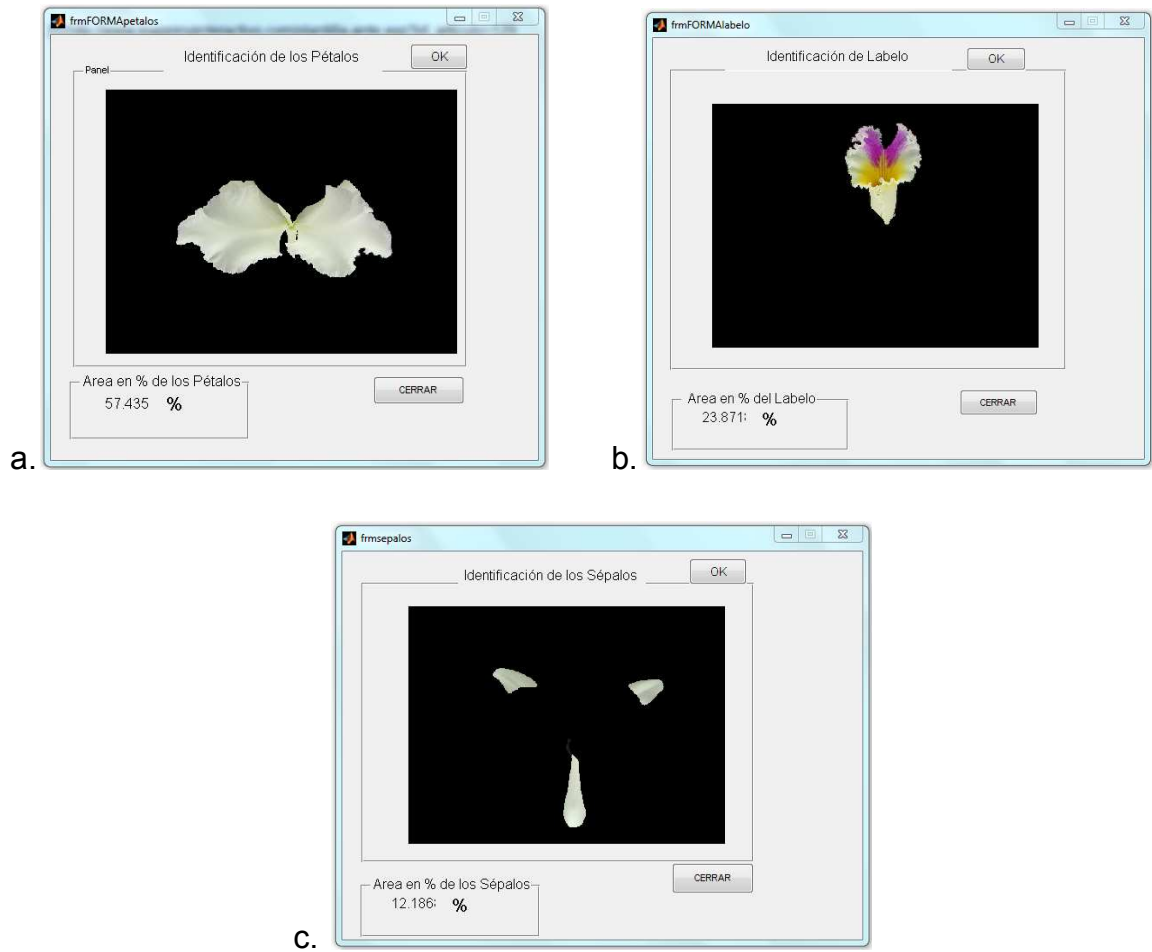
Figura 69. Segmentación de colores, (a) amarillo, (b) Violeta.



Fuente: Autores.

Puede apreciarse en la figura 69 que la segmentación de los dos colores es bastante satisfactoria y que tienen el mismo porcentaje de representación en cuanto al porcentaje total de la flor. Seguidamente la figura 70 muestra la segmentación de cada una de las partes de la flor.

Figura 70. Segmentación de la forma, (a) Pétalos, (b) Labelo, (c) Sépalos.



Fuente: Autores.

La separación de cada una de las partes de la flor se cumple, al igual que la segmentación de los colores, para lo cual se realiza la prueba de la separación entre ángulos y se muestra en la figura 71.

Figura 71. Ángulo de separación entre sépalos en la imagen girada 180°.



Fuente: Autores.

Como se puede ver en la figura 71, los ángulos de separación oscilan entre 110 y 130 grados lo cual es satisfactorio.

5.1.2 Prueba con rotación de 90° a la imagen. La figura 72 muestra la imagen rotada 90 grados en su eje y su respectivo pre-procesamiento.

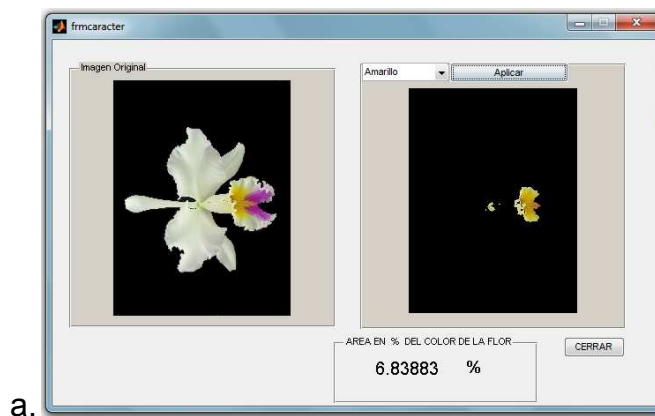
Figura 72. Imagen rotada 90°.

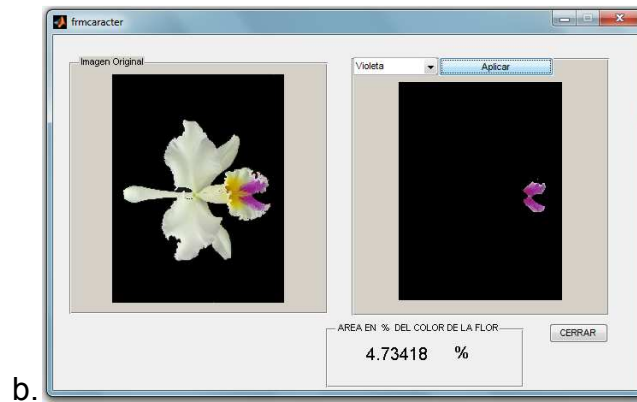


Fuente: Autores.

Al igual que en la rotación de 180 grados, en la figura 72 se observa un pre-procesamiento satisfactorio, pues su fondo posee un color negro totalmente uniforme y libre de imperfecciones.

Figura 73. Segmentación de colores, (a) amarillo, (b) Violeta.

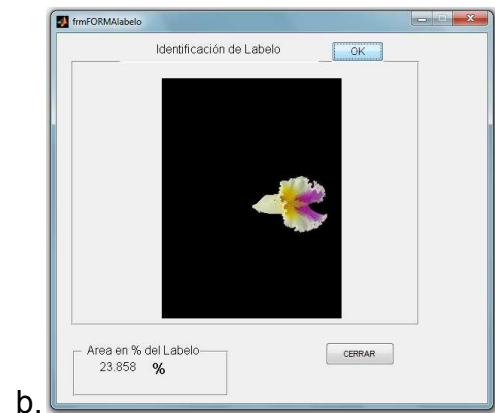


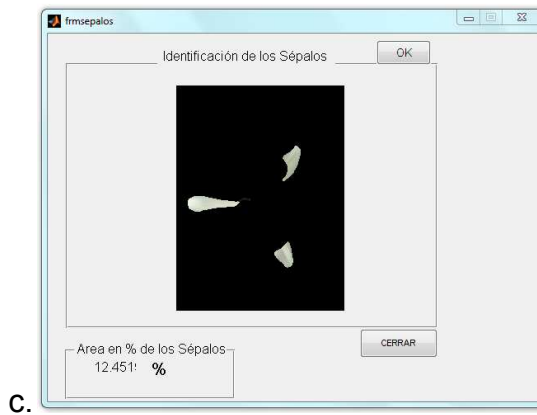


Fuente: Autores.

Como se puede ver en la figura 73, la segmentación de colores sigue siendo satisfactoria sin importar en qué dirección se encuentre la imagen adquirida.

Figura 74. Segmentación de la forma, (a) Pétalos, (b) Labelo, (c) Sépalos.

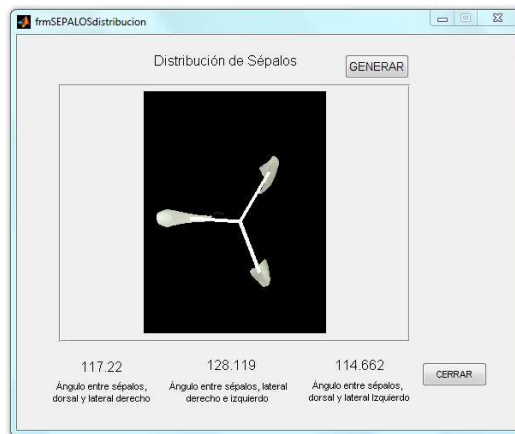




Fuente: Autores.

Una vez más el algoritmo cumple a cabalidad con lo que se ha especificado, dejando ver que sin importar la posición de la imagen, extrae las características sobre las cuales se está trabajando como los ángulos de separación que existen entre los sépalos de la flor.

Figura 75. Ángulo de separación entre sépalos en la imagen girada 90°.

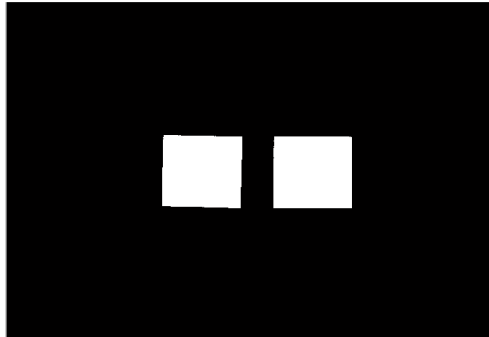


Fuente: Autores.

5.1.3 Prueba del área con figura geométrica conocida. Para comprobar la objetividad del área que representan los pétalos, sépalos y labelo de la flor, se

prueba con el área de una figura geométrica conocida, en este caso dos cuadrados de lado 4 centímetros, a los cuales se les halla el área en pixeles.

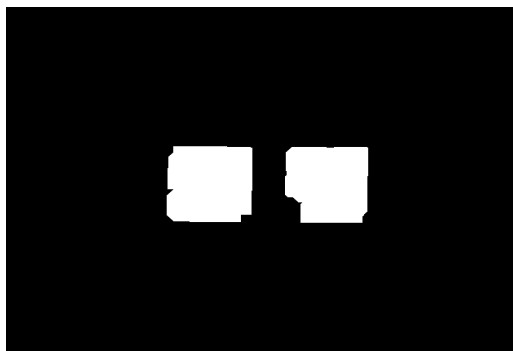
Figura 76. Cuadrados originales de lado 4 cm.



Fuente: Autores.

El área que estos dos cuadrados representan en pixeles es de 82217. Posteriormente se les aplica el algoritmo utilizado para extraer las partes de la flor, para comprobar que nuevamente se obtienen cuadrados parecidos a los originales y de igual tamaño.

Figura 77. Cuadrados obtenidos después de aplicarles el algoritmo.



Fuente: Autores.

Aunque se puede apreciar en la figura 77 que partes de los cuadrados se pierden, el área que estos nuevos cuadrados representan en píxeles es de 81003 lo que significa que el algoritmo implementado posee un margen de error del 1.48% con respecto a la imagen original, lo cual indica que el algoritmo es aceptable.

6. CONCLUSIONES.

El procesamiento digital de imágenes en este trabajo está enfocado a establecer las características propias de la flor en la orquídea *Catleya Mendelii* que ayuden a la identificación de la misma, ofreciendo una alternativa que permitirá a personas con poco conocimiento acerca de esta especie de orquídea, realizar un diagnóstico objetivo de sus características.

En la interfaz gráfica se muestran los porcentajes de las áreas con respecto a las segmentaciones, que constituye las características de color del labelo de la orquídea, estos porcentajes varían dependiendo de la flor ya que en la mayoría de los casos no tiene la misma distribución de color. En cuanto a la forma, se extrae las tres partes de la flor (pétalos, sépalos y labelo) y se muestra el porcentaje del área de cada uno de ellos con respecto a la totalidad de la flor. De los sépalos se puede decir que el área apreciable es aquella que no está cubierta por los pétalos.

En la etapa de adquisición, es de vital importancia elegir un fondo adecuado que contraste con los colores de la flor, pues esto proporciona un mayor realce a la calidad de la imagen y por ende la extracción de las regiones de interés del resto del fondo de la fotografía.

La importancia que representa la etapa de adquisición de las imágenes, está directamente relacionada con el sistema de iluminación implementado pues es este último el encargado de facilitar el procesamiento digital de las imágenes obtenidas. Gracias al buen funcionamiento que brinda el sistema de iluminación a esta etapa, se puede concluir que se hace casi innecesaria una etapa de pre-procesado, pues como se evidenció en el cuarto capítulo es muy poco el ruido que hay en las imágenes, lo que hace un sistema más efectivo y reductor de costos computacionales.

La implementación de un sistema de visión artificial basado en algoritmos propios del procesamiento digital de imágenes, que permitiese resaltar las características de una flor representativa de la región santandereana brinda sistemas más efectivos de selección, ofreciendo un buen soporte a los menos expertos en el tema.

La interfaz software establecida, es capaz de reconocer imperfecciones que aparecen en la superficie de la flor creadas por hongos, insectos, excesos de humedad, calor y abonos, tales como las imperfecciones claras y oscuras. Todo esto gracias a la correcta segmentación hecha para el color que representa dichas imperfecciones.

No se trabajó con el sistema de colores HSI como se había propuesto en el plan del proyecto, debido a que en sus componentes no se pudo apreciar claramente la región o regiones de interés que son necesarias en la segmentación de este caso.

7. RECOMENDACIONES.

Se recomienda aumentar la base de datos de imágenes sobre las cuales se va a trabajar ya que como se mencionó en el capítulo uno, las catleyas mendelii florecen una vez cada año.

Crear una interfaz gráfica más robusta, que pueda trabajar de manera optima sobre imágenes de flores adquiridas en un ambiente no controlado, es decir, que no importe ni el fondo ni la orientación de la flor.

Trabajar sobre parámetros ampliamente conocidos y puntuales, sin extenderse sobre particularidades que pueda tener cierta flor, pues lo que se busca es identificar las características más comunes que se puedan encontrar en ellas.

Buscar otros lugares donde se cultive esta especie de orquídeas para crear una base de datos más amplia y de ser posible implementar una red neuronal, con la cual se haga más factible la identificación de cualquier flor de esta especie.

Para este tipo de proyecto, que usa imágenes digitales, se debe utilizar cámaras con mejor resolución porque esto facilitaría aún más el análisis característico de las flores.

Se recomienda un desarrollo científico donde se pueda encontrar la manera de reproducir esta especie de orquídeas de manera masiva y no una sola vez cada año, lo cual incrementaría el comercio de este tipo de flores.

Al ser MATLAB un software costoso, se recomienda independizar la interfaz software, de manera que los orquicultores y personas afines a esta especialidad puedan acceder más fácilmente a un recurso de este tipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GONZÁLEZ R. C. y WOODS R. E. Digital Image Processing. 2th edition, New Jersey, EUA, Prentice-Hall, 2002.

- [2] CÁTEDRA: VISIÓN ARTIFICIAL. Universidad Nacional de Quilmes. Departamento de ciencia y tecnología. Ingeniería en Automatización y control industrial. Argentina. Agosto de 2005. [en línea] Disponible en: <http://tiny.cc/i0z1f> [Fecha de consulta: 15 de Julio de 2010].

- [3] NAKAMURA J. Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras, Boca Raton, London, New York, Singapore, Taylor & Francis Group, 2006.

- [4] CÁTEDRA: VISIÓN ARTIFICIAL. Iluminación para las aplicaciones de Visión Artificial. Disponible en: <http://tinyurl.com/28poahk>. [Fecha de consulta: 1 de Julio de 2010].

- [5] SANCHEZ, Hugo y MORALES G., Ana. Sistemas de visión artificial para la inspección, selección y control de calidad de fresas. Trabajo de grado. Facultad de ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Colombia, Bucaramanga 2009.

- [6] KODAK *EASYSHARE* C140, Digital Camera, Eastman Kodak Company, 2008. Guía de usuario.

- [7] PLATERO, C. Apuntes de Visión Artificial. Servidor de páginas web del Dpto. de Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad

Politécnica de Madrid, España. [en línea] Disponible en:
<http://www.elai.upm.es/> [Fecha de consulta: 01 de Agosto de 2010].

- [8] ORCHIDS LIMITED CATALOG [en línea] Disponible en:
<http://www.orchidweb.com/> [Fecha de consulta: 01 de Julio de 2010].

- [9] MOJÓN, J. V. Segmentación Robusta de Imágenes en RM Central. Tesis doctoral. Departamento de Física aplicada. Universidad Politécnica de Valencia. España, Valencia 2006.

- [10] COTO, E. Métodos de Segmentación de Imágenes Médicas. Laboratorio de Computación gráfica. Facultad de Ciencias, Escuela de Computación. Universidad Central de Venezuela. Venezuela, Caracas 2003.

- [11] ESPAÑOL. Sistemas de Visión. Material de Curso de robótica. [En línea] Disponible en: <http://tiny.cc/jfosu>. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2010].

- [12] GIL VÁZQUEZ, P. y TORRES MEDINA, F. y ORTIZ ZAMORA, F. Detección de objetos por segmentación multinivel combinada de espacios de color. Universidad de Alicante. Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. España, 2004.

- [13] Consulta en Línea, disponible en: <http://es.wikipedia.org>

- [14] GONZÁLEZ, R. C. y WOODS, R. E. S.L. Eddins. Digital Image Processing Using MATLAB (Hardcover).

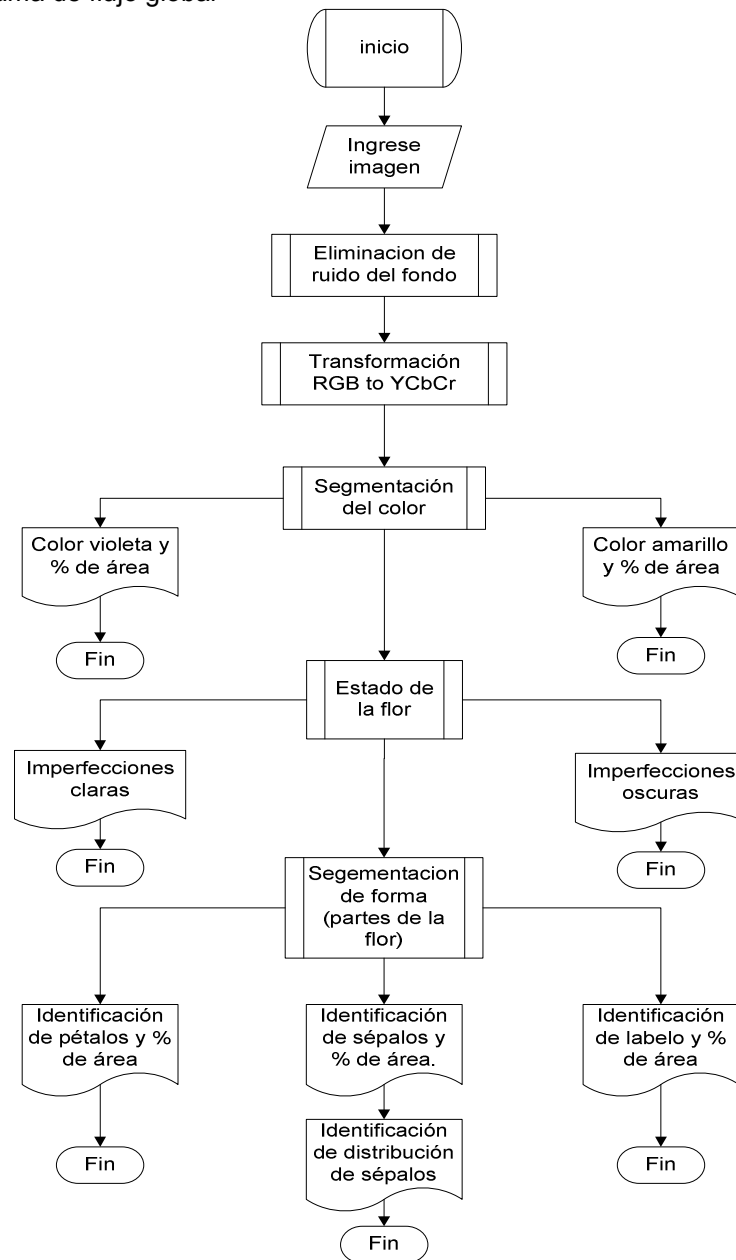
- [15] ÁNGULO LÓPEZ, J. y SIERRA, J. Segmentación de imágenes en color utilizando histogramas bi-variables en espacios de color polares luminancia/saturación/matiz. Centre de Morphologie Mathematique, Ecole des Mines de Paris. Tesis Doctoral. [En línea] Disponible en: http://cmm.ensmp.fr/~angulo/publicat/AnguloSerra_CyS_05.pdf. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2010].
- [16] SHENG, Y. y WANG, W. Design and Implementation of Compression Algorithm Comparator for Digital Image Processing 95ase don Component. School of Information Science and Engineering, Central South University, ChangSha, China.
- [17] KEDDY, W. A. y AGATHOKLIS, P. "DEDIP: A user-friendly environment for digital image processing algorithm development". Department of Electrical and Computer Engineering. University of Victoria.
- [18] MARTÍNEZ MARÍN, R. Generación Automática de una Malla Triangular. Universidad Politécnica de Madrid. [En línea] Disponible en: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=129. [Fecha de consulta: 28 de julio de 2010].
- [19] Consulta en línea, disponible en: <http://www.grancanariaweb.com/edgar/orquidea/historia.htm>. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2010].
- [20] Consulta en línea, disponible en: <http://www.altomayoperu.com/orquideas.htm>. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2010].

[21] TEODOSIO, S. "Las Flores de las Orquídeas, Breve descripción de sus partes". Grupo Orquideófilo Canarias (G. O. C). [En Línea] Disponible en: <http://www.lanzarote.net/ogro/gocarticulofloresSergio.htm>. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2010].

ANEXO A. DIAGRAMAS DE FLUJO

A.1. DIAGRAMA DE FLUJO GLOBAL.

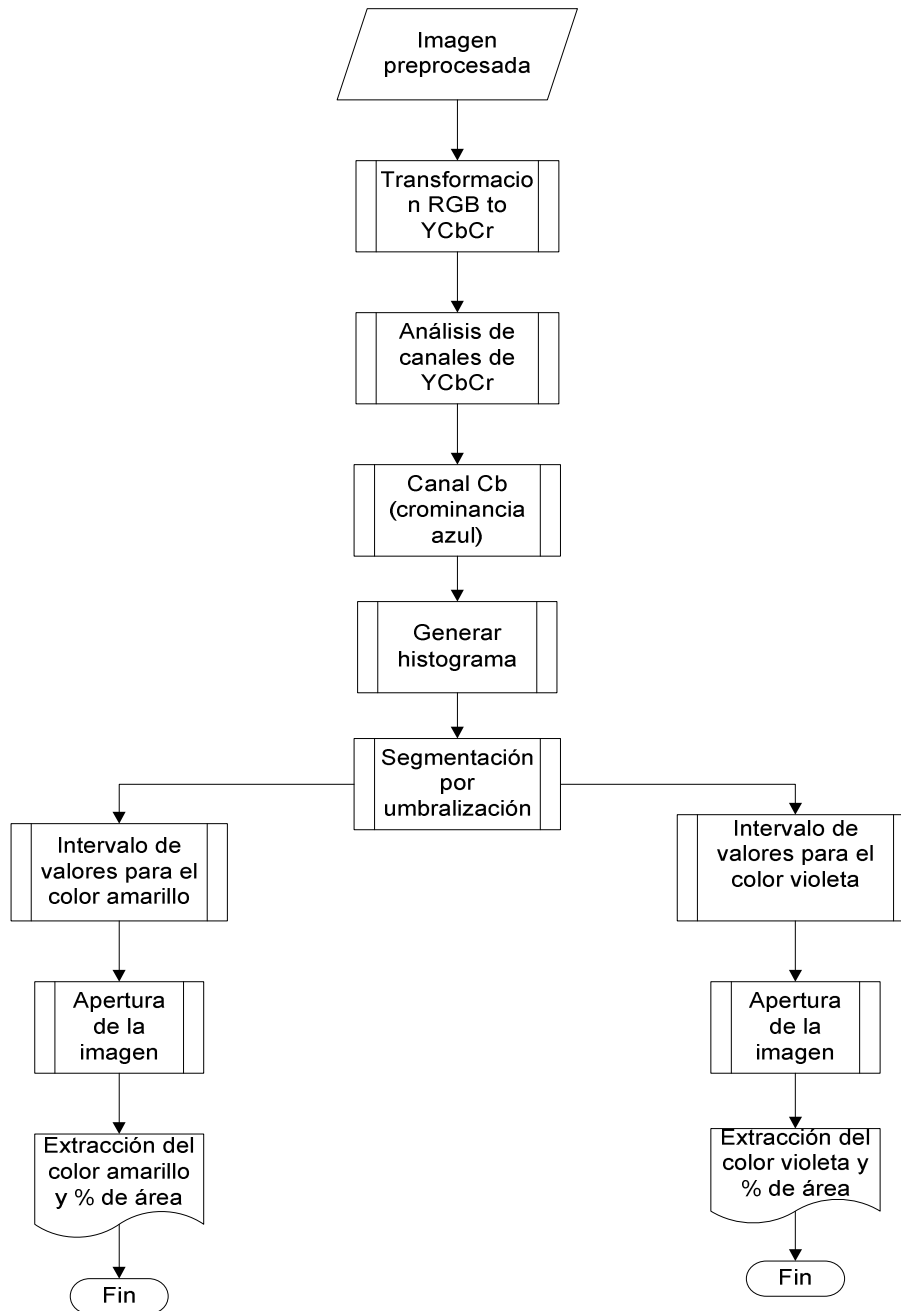
Figura A.1. Diagrama de flujo global



Fuente: Autores

A.2. DIAGRAMA DE FLUJO EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE COLOR.

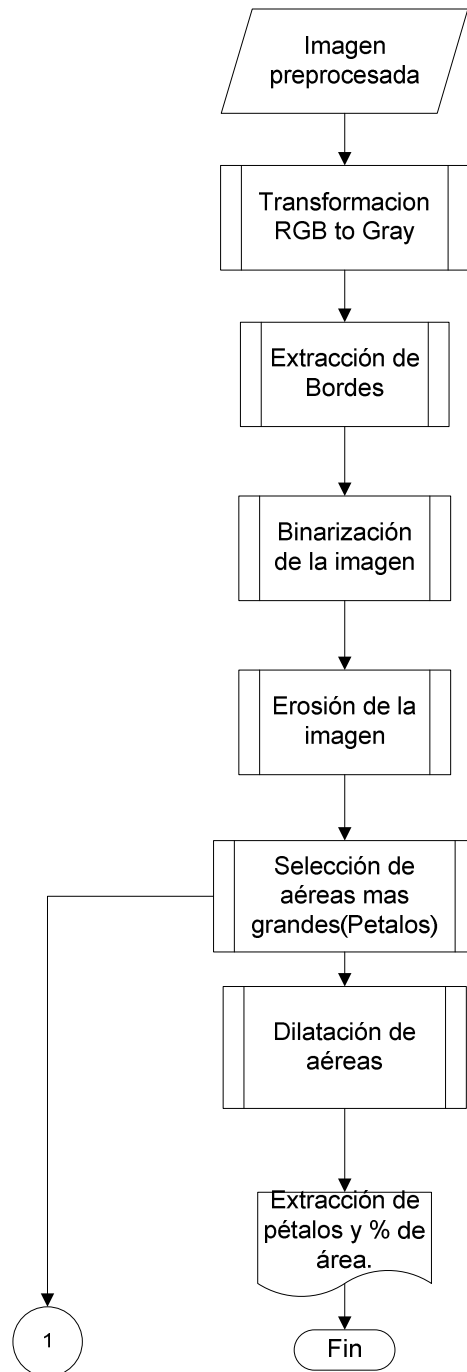
Figura A.2. Diagrama de flujo para la extracción de características de color.

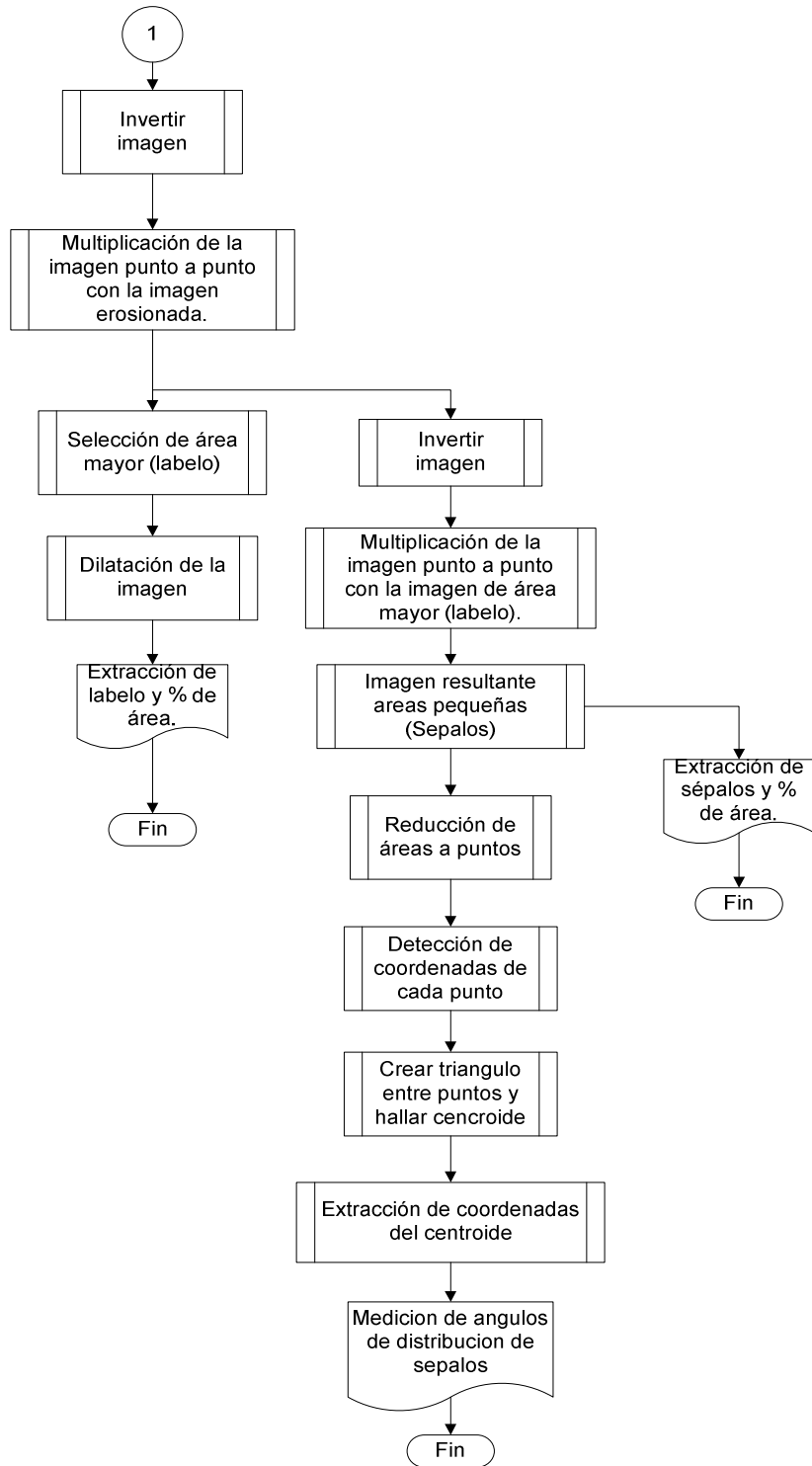


Fuente: Autores

A.3. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE LA FLOR.

Figura A.3. Diagrama de flujo para la identificación de las partes de la flor.

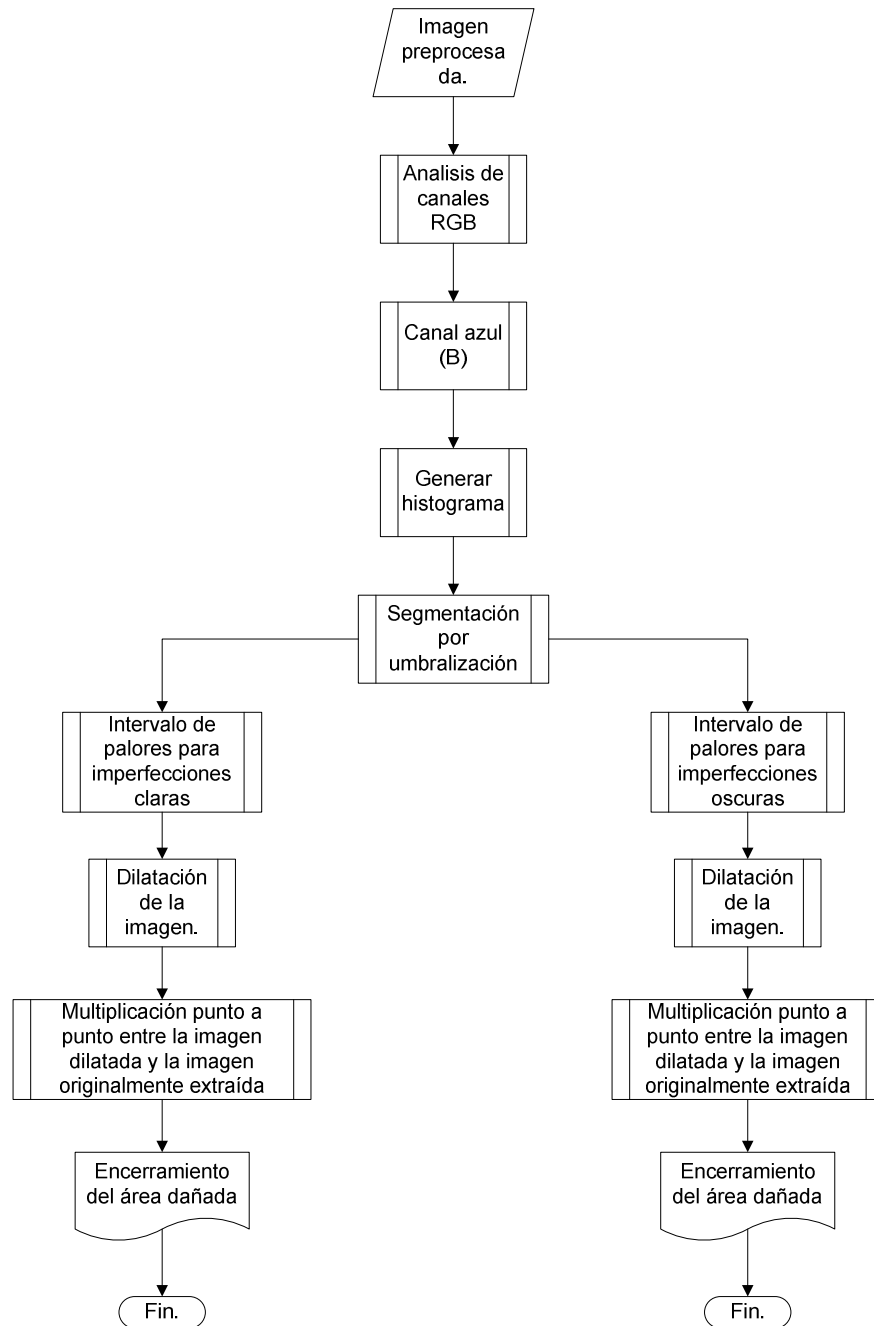




Fuente: Autores

A.4. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LA FLOR.

Figura A.4. Diagrama de flujo para la identificación de las imperfecciones de la flor.



Fuente: Autores.

ANEXO B. ELABORACIÓN DE GUI's MEDIANTE LA HERRAMIENTA GUIDE.

GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*) es un juego de herramientas que se extiende por completo el soporte de MATLAB, diseñadas para crear GUI's (*Graphical User Interfaces*) fácil y rápidamente dando auxiliando en el diseño y presentación de los controles de la interfaz, reduciendo la labor al grado de seleccionar, tirar, arrastrar y personalizar propiedades.

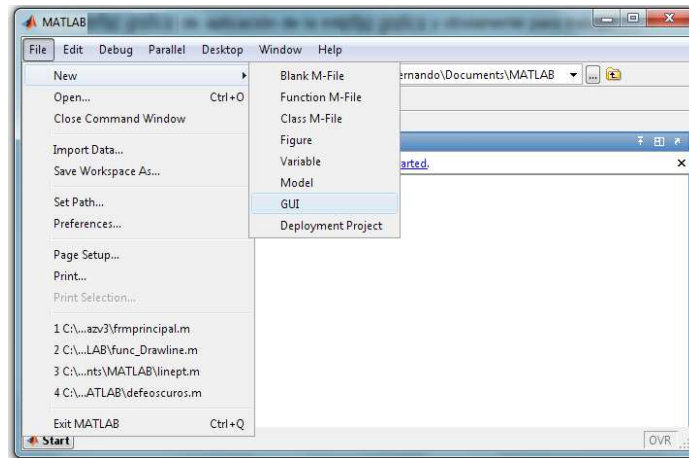
Una vez que los controles están en posición se editan las funciones de llamada (*Callbacks*) de cada uno de ellos, escribiendo el código de MATLAB que se ejecutará cuando el control sea utilizado. Siempre será difícil diseñar GUI's, pero no debería ser difícil implementarlas. GUIDE está diseñado para hacer menos tedioso el proceso de aplicación de la interfaz grafica y obviamente para trabajar como herramienta de trazado de GUI's, entre sus poderosos componentes esta el editor de propiedades (*property editor*), este se encuentra disponible cualquier momento que se esté lidiando con los controles de MATLAB, el editor de propiedades por separado se puede concebir como una herramienta de trazado, y asistente de codificación (revisión de nombres y valores de propiedades). Cuando se fusiona con el panel de control, el editor de menú, y herramienta de alineación, resulta una combinación que brinda inigualable control de los gráficos en MATLAB.

A la herramienta GUIDE se accede de varias maneras, la primera de ellas es tecleando `guide` en la ventana de comando.

```
>> guide
```

Otra manera de entrar a GUIDE es través del archivo, opción nuevo y por último el GUI, como se muestra en la figura B.1.

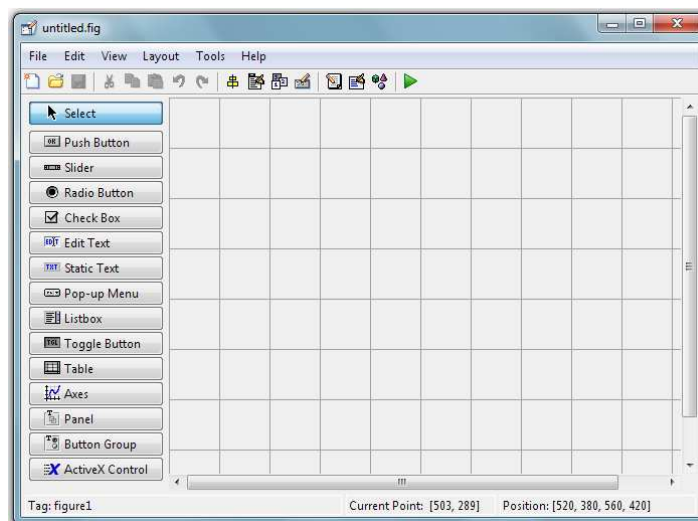
Figura B.1. Crear una nueva GUI.



Fuente: Autores.

Una vez hecho lo anterior MATLAB nos mostrará un área de diseño similar a la de la figura B.2. En la parte superior se encuentran los menús y opciones de GUIDE, en la parte izquierda se aprecian los diferentes controles y en la parte central el área de diseño donde pondremos los controles a usar.

Figura B.2. Ventana principal de GUIDE.








Fuente: Autores.

Las Componentes principales de GUIDE son:

Barra de Menús: Aquí se encuentran las funciones elementales de edición de GUI's.

Paleta de Componentes: Aquí se encuentran los 'uicontrols', estos componentes permite seleccionar los controles (objetos) que son los que se encuentran en la parte izquierda de la figura B.2.

La Barra de Herramientas: En ella se encuentran los siguientes botones.

- **Botón de ejecución** (*Run button*): Al presionarse de crea la figura de la interfaz diseñada en el layout área. 
- **Alineación de Componentes** (*Alignment tool*): esta opción permite alinear los componentes que se encuentra en el área de trabajo (layout área) de manera personalizada. 
- **Propiedades del Inspector** (*Property Inspector*): Con esta opción se asignan y modifican las propiedades de cada objeto en forma personalizada. 
- **Navegador de Objetos** (*Object Browser*): Muestra todos los objetos que se encuentra en la figura (en forma de árbol) y a través de este se pueden seleccionar los objetos. 
- **Editor de Menús** (*Menú Editor*): El redactor de Menú crea menús de ventana y menús de contexto. 

La Interfaz de Grafica de Usuario (GUI) se crea en una ventana de figura que consta de los siguientes componentes:

- Menú de interfaz con el usuario.
- Dispositivo de control de interfaz con el usuario.
- Ejes para exhibir graficas o imágenes.

B.1 MENÚ DE INTERFAZ CON EL USUARIO.

El menú de interfaz con el usuario es un menú o un grupo de menús que se encuentran en la parte superior de una ventana. Con una GUI, el flujo de cómputo está controlado por las acciones en la interfaz, mientras que en un guión el flujo de comandos está predeterminado. Los comandos para crear una interfaz con el usuario se escriben en un guión, la interfaz invoca el guión que se ejecute, mientras la interfaz del usuario permanece en la pantalla aunque no se haya completado la ejecución del guión.

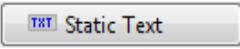
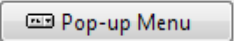

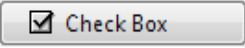
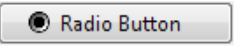
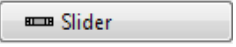
Básicamente solo se necesita entender cinco comandos para poder describir una GUI: *uimenu*, *uicontrol*, *get*, *set* y *axes*. No obstante, lo que hace relativamente complicados a estos comandos es el gran número de formas de uso que tienen. Es imposible describir todos los tipos de situaciones, pues requiere demasiado espacio y sería muy laborioso leerlo. Por tanto, solo se tratará de explicar los elementos básicos de una GUI. Los lectores que deseen información más detallada sobre los comandos consultar MATLAB: *building a graphical user interface*.

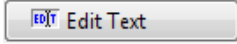
B.2 CONTROLES DE LA INTERFAZ DE GUIDE.



Los controles de la interfaz con el usuario en MATLAB se especifican con la orden *uicontrol*. Estos controles tienen mucho en común con los menús de la interfaz con el usuario, pero los primeros tienen varios estilos.

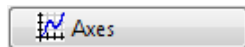
Hay muchas otras propiedades que pueden incluirse en los comandos de *uicontrol*, aunque al programar conviene minimizar el número de propiedades a fin de simplificar el guión. Si el lector desea saber más acerca de las propiedades adicionales, debe indagar utilizando el comando *get*.

En los controles de la interfaz se encuentran:

- **Texto estático:** Un *static text* puede exhibir símbolos, mensajes o incluso valores numéricos de una GUI, y puede colocarse en un lugar deseado. El texto estático no tiene cadenas de invocación. 
- **Menú desplegable:** Los pop-up menús difieren de los menús de interfaz con el usuario en que pueden aparecer en cualquier punto de la ventana de figura, mientras que los menús de interfaz con el usuario solo se localizan en la parte superior. 
- **Los Push button:** Generan una acción cuando se da click con el puntero del ratón sobre ellos. Cuando se da click en un push button, aparece presionado, cuando se suelta el botón del ratón, el botón aparece levantado; y su rutina de llamada se ejecuta. 
- **Casilla de verificación:** Las casillas de verificación están diseñadas para realizar operaciones de encendido/apagado. La casilla activa o desactiva la aparición de los ejes. 
- **Botón de radio:** Cuando solo se usa un botón de radio, no existe diferencia funcional alguna con respecto a una casilla de verificación. Por otro lado, los botones de radio en grupo son mutuamente exclusivos (es decir, si un botón esta encendido, todos los demás botones se apagan), mientras que las casillas de verificación son independientes entre sí. 
- **Barra deslizador:** Los *sliders* aceptan datos de entrada numéricos con un rango específico. Los usuarios mueven la barra dejando presionado el botón del mouse y arrastrándola. La posición de la barra indica un valor numérico. 
- **Texto editable:** El dispositivo de texto editable permite al usuario teclear una cadena de entrada. Se pueden escribir varios valores numéricos en

forma de vector o matriz como cadena mediante el mismo dispositivo; esta cadena se convertirá posteriormente en valores numéricos con el comando `str2num`. 

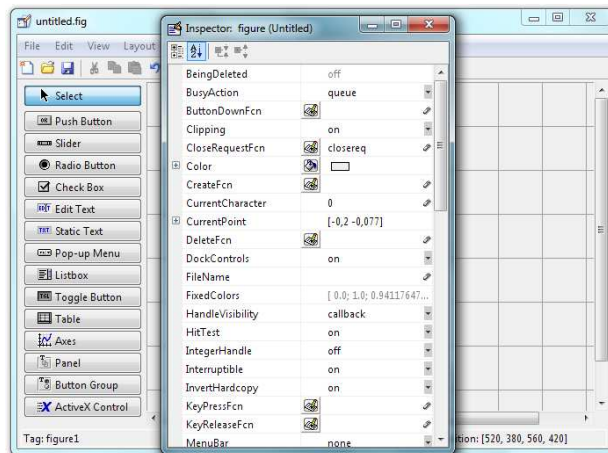
- **Botón de palanca:** El *toggle button* genera una acción que indica un estado binario (on off). Cuando se da click en un *toggle button*, aparece presionado y permanece así hasta que se suelte el botón del *mouse*, y en ese momento ejecuta la llamada. 
- **Cajas de lista:** El componente *List Box* muestra una lista de artículos y permite a usuarios seleccionar unos o más artículos. 
- **Múltiples ejes:** El comando *axes* abre un eje en un punto especificado dentro de una ventana de figura. Aunque se puedan abrir varios ejes en una ventana con *axes*, primero consideramos únicamente uno.



B.3 INSPECTOR DE PROPIEDADES.

El inspector de propiedades (*Property Inspector*) está compuesta de la siguiente forma como se muestra en la figura A.3.

Figura B.3. Inspector de Propiedades.



Fuente: Autores.

El inspector de propiedades sirve entre otras muchas cosas para cambiar las diferentes funciones que se pueden aplicar a una interfaz, entre ellos el color, tipo de letra, también para activar o desactivar funciones y además para agregar textos que en él se pueden encontrar.

ANEXO C. VISIÓN HUMANA Y VISIÓN ARTIFICIAL

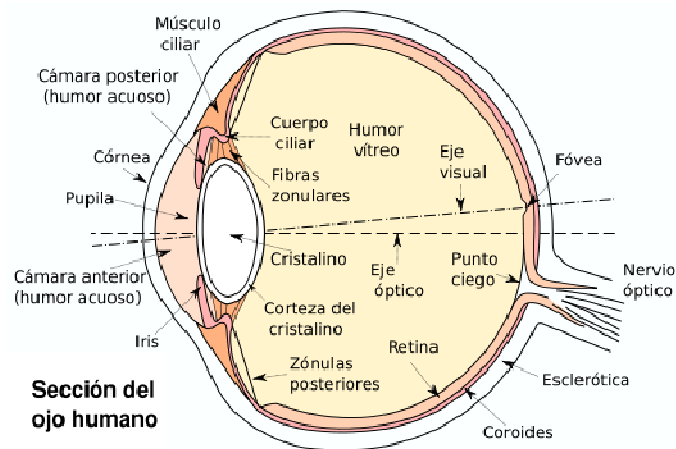
C.1 VISIÓN HUMANA

Uno de los sentidos más importantes de los seres humanos es la visión. Ésta es empleada para obtener la información visual del entorno físico. Según Aristóteles, “Visión es saber que hay y donde mediante la vista”. De hecho, se calcula que más de 70% de las tareas del cerebro son empleadas en el análisis de la información visual. El refrán popular de “Una imagen vale más que mil palabras” tiene mucho que ver con los aspectos cognitivos de la especie humana.

Mientras, para el oído se tiene alrededor de treinta mil terminaciones nerviosas, en la vista hay más de dos millones. La radiación exterior recibida por el ojo debe ser transformada en señales que sean procesadas por el cerebro por tanto el ojo es el elemento transductor mientras que el cerebro es el que procesa dicha información.

C.1.1 Fisiología del sentido visual. El ojo tiene una forma, aproximadamente, esférica de unos 2.5 cm de diámetro. El ojo está formado por una óptica y una zona sensorial. La óptica está constituida por la córnea, el iris o pupila y el cristalino. La cornea es un material transparente y funciona como lente fija. La pupila regula la cantidad de luz que entra en el interior y el cristalino hace las veces de lente variable, permitiendo el enfoque dependiendo de la distancia de los objetos. Los músculos que sujetan al cristalino provocan su deformación, cuya consecuencia es el enfoque del campo visual. La misión de la óptica del ojo es conducir la radiación electromagnética, del espectro visible, hacia la retina.

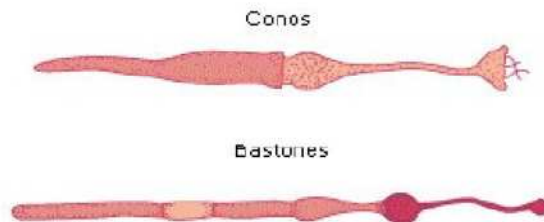
Figura C.1 Sección del ojo humano.



Fuente: <http://tiny.cc/jfmkdj>

La retina se encuentra en la parte posterior del glóbulo ocular y es donde se ubican las células fotosensibles: los conos y los bastones.

Figura C.2 Células fotosensibles



Fuente: <http://tiny.cc/ek335>

En la retina se puede distinguir dos partes: la fóvea y la mácula. La fóvea es la parte central de la retina, de menor tamaño y donde se encuentran los conos. Es en esta zona donde se tiene mayor sensibilidad a la longitud de la onda electromagnética, con un ángulo visual de dos grados. La apertura corresponde, aproximadamente, con el ancho del pulgar extendido el brazo. La fóvea es tan pequeña que es necesario mover el ojo para enfocar dos puntos tan próximos

como los del signo de puntuación (:). Esta información visual transmitida al cerebro se llama visión fovea. La mácula es de mayor extensión, la agudeza visual es menor y está definida por los bastones. Esta zona se encarga de la visión periférica.

La percepción del color de una imagen la realizan los conos. Son unos seis millones y cada cono tiene conexión a varias neuronas. Basándose en la información aportada por los conos, el cerebro construye la sensación de color. Por el contrario, los bastones son más de 100 millones y son capaces de detectar la intensidad lumínica. Varios bastones están asociados a una única neurona.

Figura C.3 Distribuciones de conos y bastones en la retina

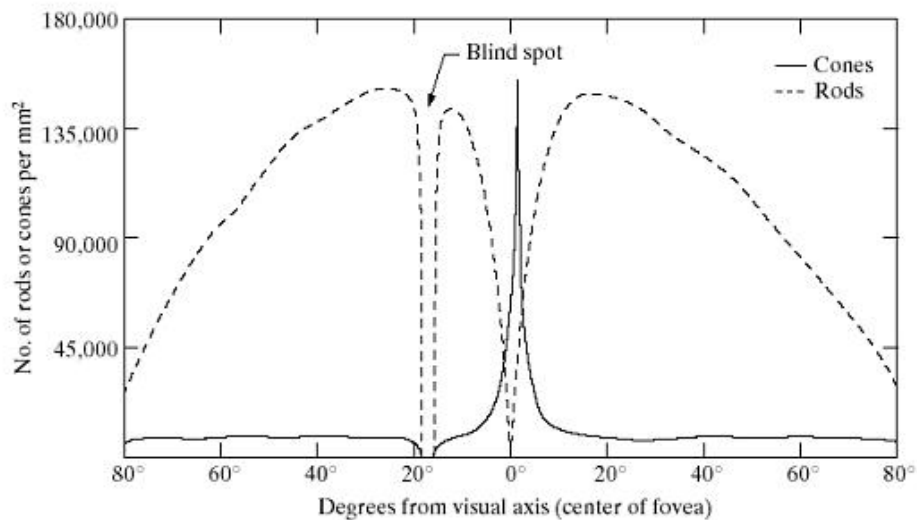


FIGURE 2.2
Distribution of rods and cones in the retina.

Fuente: Procesamiento Digital de Imágenes, José Ramón Mejía Vilet.

Mientras la visión fovea tiene mayor agudeza, más resolución y percibe los colores, la visión periférica le da al cerebro más información espacial que la fóvea y destaca los contrastes. De este hecho se destaca que en la oscuridad, la visión periférica es más adecuada que intentando centrar la visión sobre el objeto.

La sensibilidad a la intensidad en el ser humano es alta siempre que los elementos que se comparen sean pocos. Cuando el número de intensidades involucradas simultáneamente es superior a unos 24 tonos se pierde la mayor parte de esta sensibilidad. Esto explica que, en la mayoría de los casos prácticos, sea suficiente el uso de 32 ó 64 niveles de intensidad para representar una imagen.

El color es una característica del sistema de percepción humana y está relacionado con las sensaciones recibidas por el ojo en el espectro visible. El color es la respuesta del sistema visual humano ante las variaciones de las longitudes de onda del espectro electromagnético visible. Estudios fisiológicos han revelado que existen tres tipos de conos, denominados tipos S, M y L. Los S son más sensibles a las ondas cortas (azules – 450nm), los M a las medias (verde – 540 nm) y los L a las de longitudes largas (rojo - 650 nm). Este hecho ha dado base a la teoría del triestímulo, de manera que el color se puede representar en una base de tres componentes fundamentales: rojo, verde y azul (RGB – Red, Green, Blue). Ya se menciona el funcionamiento del sentido de la vista y también se menciona que la luz es uno de los elementos esenciales en la formación de las imágenes por tanto se hará una breve descripción de la naturaleza de la luz.

C.2 LA NATURALEZA DE LA LUZ

En general, desde el punto de vista del procesamiento digital de imágenes, basta considerar la luz como una onda. Según el modelo ondulatorio las características de un rayo de luz vienen completamente determinadas por dos propiedades: su amplitud y su longitud de onda. Sin embargo, el modelo ondulatorio no es el que mejor explica los fenómenos observados respecto a la luz.

Hacia 1900 se comprobó un fenómeno denominado efecto fotoeléctrico, que proporcionó evidencias experimentales de que la luz tenía carácter

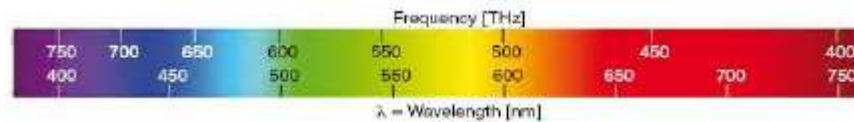
corpúscular en su interacción con la materia. Esto llevó al replanteamiento de la naturaleza de la luz y a una nueva teoría llamada “teoría onda-corpúsculo”. Esta teoría considera la luz formada por unas partículas, los fotones, cada una de las cuales tiene asociada una ecuación de onda. Así, cuando la luz interactúa con la materia, como en el efecto fotoeléctrico, se invoca a un modelo corpúscular para explicar tal interacción, mientras que para explicar fenómenos relativos a su propagación, se recurre a un modelo ondulatorio. Así, los fenómenos de propagación de la luz encuentran su mejor explicación dentro de la teoría ondulatoria, mientras que la acción mutua entre luz y materia, en los procesos de absorción y emisión, es un fenómeno corpúscular. Este modelo dual, onda-corpúsculo, permite explicar la totalidad de los fenómenos observados hasta la fecha.

C.2.1 La luz como onda electromagnética. Algunos tipos de energía requieren de un medio conductor para propagarse. Como así sucede con la energía eléctrica o mecánica. Pero hay otros tipos de fuentes energéticas que no necesitan de un soporte conductor, éste el caso de la luz.

Las radiaciones electromagnéticas se propagan en forma de dos ondas vectoriales mutuamente acopladas y perpendiculares entre sí; una onda para el campo eléctrico y otra para el campo magnético. Según la teoría ondulatoria, la luz se propaga en forma de onda que viaja en el espacio libre con una velocidad constante $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

El espectro visible es una porción muy pequeña del conjunto de ondas electromagnéticas que tiene la peculiaridad de ser captada por los ojos y procesada en el cerebro. El ojo humano es capaz de distinguir radiaciones de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm a los 780 nm, cuyas frecuencias oscilan entre los $3.2 \cdot 10^{14}$ Hz y los $7.7 \cdot 10^{14}$ Hz¹. El sentido de la vista transforma las diferentes amplitudes y frecuencias del espectro visible en sensaciones conocidas como brillo y color respectivamente.

Figura C.4 espectro visible



Autores: Fuente: <http://tiny.cc/ek335>

Fue Newton quien observó cómo la luz blanca, la procedente de la luz solar, se podía descomponer en una serie de haces luminosos de colores cuando atravesaba un prisma óptico. Newton, con este experimento, halló el espectro de la luz diurna mediante el fenómeno conocido como dispersión de la luz o dispersión cromática, cuya explicación física escapaba de su teoría corpuscular.

C.3 VISIÓN ARTIFICIAL.

El hombre con el tiempo ha creado artefactos tratando de imitar en varias áreas a la naturaleza, para el área de la visión también se cumple esta sentencia, por ejemplo las cámaras de vídeo con sus ópticas hacen las veces del globo ocular, mientras el computador realizará las tareas de procesamiento, emulando el comportamiento del cerebro.

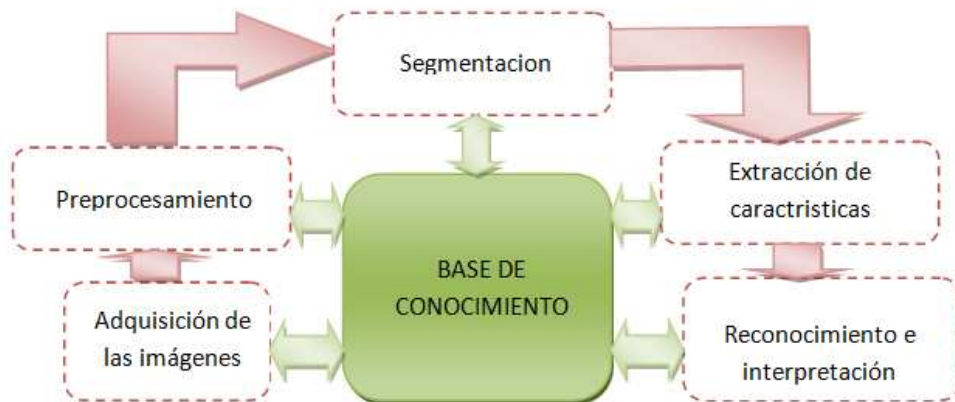
El término visión artificial dentro del campo de la Inteligencia Artificial puede considerarse como el conjunto de todas aquellas técnicas y modelos que nos permitan el procesamiento, análisis y explicación de cualquier tipo de información obtenida a través de imágenes digitales.

Desde sus inicios, los desarrollos de la visión por computadora han estado inspirados en el estudio del sistema visual humano, el cual sugiere la existencia de diferentes tipos de tratamiento de la información visual dependiendo de metas u objetivos específicos, es decir, la información percibida es procesada en distintas formas con base en las características particulares de la tarea a realizar; así como

en psicología se estudian y desarrollan teorías sobre la percepción visual, la visión por computadora propone varias técnicas y teorías que permiten obtener una representación del mundo a partir del análisis de imágenes obtenidas desde cámaras de video y fotográficas.

C.3.1 Etapas de un sistema de visión artificial. En forma general los sistemas de visión artificial lo conforman las etapas que se observan en la figura C.5, teniendo como base el conocimiento de cada una de estas.

Figura C.5. Etapas básicas de un sistema de visión artificial.



Fuente: Autores.

Cada uno de estos elementos o etapas es requerida pero puede que en la implementación de algún sistema no sea necesaria alguna, aun así se hará una breve descripción de cada una de ellas y de algunos elementos que van dentro de ellas.

C.3.1.1 Adquisición. La primera etapa es la construcción del sistema de formación de las imágenes. Su objetivo es realzar, mediante técnicas fotográficas (iluminación, óptica, cámaras, filtros, pantallas), las características visuales de los

objetos (formas, texturas, colores, sombras). El éxito de muchas aplicaciones depende de un buen diseño en esta primera etapa.

C.3.1.2 Preprocesamiento. Una vez adquirida la imagen se pasará a la etapa de preprocesado. El objetivo es mejorar la calidad informativa de la imagen adquirida. Se incluyen operaciones para la eliminación de ruido, atenuando las imperfecciones en la etapa de adquisición, esto para mejorar el contraste y optimizar la distribución de la intensidad también para realzar algunas características de la imagen, como bordes o áreas.

C.3.1.3 Segmentación. Segmentación es la fase donde de la imagen se extraen áreas de interés. Existen varias técnicas como la umbralización, crecimiento de regiones, uso del color o de movimiento.

C.3.1.4 Extracción de características. Una vez dividida la imagen en zonas con características de más alto nivel se pasará a su extracción de las características. Básicamente son de tipo morfológico, tales como área, perímetro, excentricidad, momentos de inercia, esqueletos, pero también se puede emplear características basadas en la textura o en el color.

C.3.1.5 Reconocimiento e interpretación. Con las características analizadas de cada región se debe de clasificar e interpretar. Por tanto, se diseñarán clasificadores que le dé a cada área segmentada una etiqueta de alto nivel. Existe un elenco de técnicas de clasificación, como redes neuronales, sistemas expertos, lógica borrosa, clasificadores estadísticos.

C.4 DISCIPLINAS RELACIONADAS CON LA VISIÓN ARTIFICIAL.

Un proyecto de Visión Artificial suele ser de tipo multidisciplinar. La ejecución de las distintas etapas, mencionadas en el apartado anterior, requiere del manejo de las siguientes técnicas:

C.4.1 Fotografía y Óptica. Crear el ambiente de iluminación adecuada en la adquisición de las imágenes, muchas veces requiere del uso de técnicas profesionales de fotografía y vídeo. La selección de la óptica y de la cámara, el uso de filtros y polarizadores, las técnicas de iluminación con pantallas y la elección de los tipos de focos son algunas habilidades que se pueden seleccionar.

C.4.2 Procesamiento Digital de las Imágenes. Hace referencia a los algoritmos de computación que convierte la imagen digital adquirida en otra de mayor relevancia. Es un elemento esencial y no hay separación entre el procesamiento de imágenes y la Visión Artificial.

C.4.3 Reconocimiento de Patrones. Disciplina, dentro de la Inteligencia Artificial, dedicada a la clasificación de las señales y a la búsqueda de patrones existentes dentro de éstas. Se encuentran incluidas las técnicas de clasificadores estadísticos, Redes Neuronales, Sistemas Expertos.

C.4.4 Computación Gráfica. Presenta el problema inverso de la Visión Artificial. Si en Visión se desea extraer las características físicas de las imágenes, la Computación Gráfica se dedica a la presentación visual de los modelos geométricos. Cada vez más, la Visión Artificial emplea la Computación Gráfica para representar las conclusiones extraídas del análisis de las imágenes adquiridas.

