

MEDICIÓN AUTOMÁTICA DE ÁREAS FOLIARES

MARISOL FLOREZ MALAGÓN

PASTOR CAMPOS ALDANA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2006

MEDICIÓN AUTOMÁTICA DE ÁREAS FOLIARES

**MARISOL FLOREZ MALAGÓN
PASTOR CAMPOS ALDANA**

**Proyecto de Grado para optar al Título de
Ingeniero Electrónico**

Director

Dr. Rodrigo Correa Cely

Codirector

M.Sc. Jaime Guillermo Barrero Pérez

Asesor

M.Sc. Nelson Rodríguez

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2006

DEDICATORIA

De pastor:

A mi madre, Lucila Aldana que ha sido mi apoyo constante
e incondicional durante estos largos años.

A mi padre, Pastor Campos por sus consejos y su espera.

A mi pueblito viejo de calles tranquilas y acogedoras.

A mis hermanas: Anna por su paciencia y apoyo.

A mi hermana Yorley por su tesón y lucha.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero candidato Valdomiro Vega por su apoyo inconstante y sus enseñanzas precisas y certeras.

A mi novia Mafe que me ha apoyado durante este logro en mi vida.

Al Biólogo Iván Camargo por su amabilidad y apoyo.

LOGROS

Una vez culminado el presente trabajo de grado, se destacan los siguientes logros:

- La medición del área de las hojas se hace en forma rápida, solo se necesita escanear las hojas de la planta o fotografiarlas.
- El método propuesto se puede clasificar como directo siendo de bajo costo comparado con los escáneres manuales y el planímetro óptico; es práctico, facilita el seguimiento a las plantas y asegura una toma de datos y su procesamiento en corto tiempo.
- Se llevó a cabo un trabajo interdisciplinario con la escuela de Biología para dar solución al problema del seguimiento que se hace a las hojas de las plantas en crecimiento.

RESUMEN

TITULO:

MEDICIÓN AUTOMÁTICA DE ÁREAS FOLIARES*

AUTORES:

MARISOL FLÓREZ MALAGÓN**

PASTOR CAMPOS ALDANA**

PALABRAS CLAVE: Área foliar, LAI (índice de área foliar), IMAQ Vision para LabVIEW, escáner, método directo, método indirecto, extracción de un plano simple de color, umbralización, medición, *BIOLEAF METER*.

DESCRIPCIÓN:

En este proyecto se diseñó e implementó un algoritmo en LabVIEW que calcula el área foliar de plantas para dar una solución al problema del seguimiento que se hace a las hojas de las plantas en crecimiento.

Las imágenes de las hojas de las plantas se digitalizaron capturándolas con un escáner (ColorPage-Vivid III V2 de Genius). El área de la hoja se mide con una interfaz denominada *BIOLEAF METER* a través de un tratamiento digital de imágenes. Esta interfaz se elaboró bajo el entorno de LabVIEW con Instrumentos Virtuales (VIs) de IMAQ Vision para LabVIEW, con ella se extrae un plano de color a la imagen a medir para llevarla a una escala de grises apropiada para umbralizar, luego se remueven partículas aisladas en el fondo y se mide el área. Esta medición se hace de manera automática.

Inicialmente se describe la importancia del área foliar, en especial el LAI (Leaf Area Index) para el seguimiento de las plantas en crecimiento.

En el capítulo 2 se resaltan los conceptos básicos de la imagen digital: resolución, profundidad de color, planos de color.

El diagrama de flujo del algoritmo elaborado junto con la descripción de los métodos tradicionales indirectos para estimar el área de la hoja se describen en el capítulo 3. Además se explica el método directo propuesto por los autores para medir el área de las hojas. En el capítulo 4 se describen los resultados obtenidos en la medición de hojas de cacao con los métodos indirectos (tradicionales) y el método directo propuesto con el escáner y con la cámara digital.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Ingeniería Electrónica
MPE Jaime Barrero Pérez

SUMMARY

TITLE: AUTOMATIC MEASUREMENT ON LEAF AREAS.*

AUTHOR:

MARISOL FLÓREZ MALAGÓN.**

PASTOR CAMPOS ALDANA.**

KEYWORDS: leaf area, direct method, indirect method, LAI (Leaf Area index), IMAQ Vision for LabVIEW, scanner, extract a single color plane, threshold, measurement, *BIOLEAF METER*.

DESCRIPTION:

In this project an algorithm was design and implemented in LabVIEW. It calculates plant leaf area in order to monitor plant leaves growth.

Leaves images were digitalized capturing them with a scanner (ColorPage-Vivid III V2 Genius). The leaf area is measured with an interface called BIOLEAF METER through an image digital treatment. This interface was elaborated under a LabVIEW environment with Virtual Instruments (VIs) of IMAQ Vision to LabVIEW, which extracts a single plane of color to the measured image to be taken on a grayscale appropriated to get a threshold, then isolated particles in the bottom are removed and the area is measured. This measurement is done in an automatic way.

Chapter 1 describes the importance of leaf area and specially the LAI (Leaf Area Index) to monitor the plants growth.

Chapter 2 explains basic concepts on digital image, resolution, color depth, color plane.

Chapter 3 describes how the algorithm's flux diagram along with the description of traditional indirect techniques was made to estimate leaf area. A direct method proposed by the authors in order to measure leaf area is also described here.

Chapter 4 describes the results of area measures of Cacao leaves with indirect (traditional) techniques and the proposed method (direct) with scanner and digital camera.

* Degree Work

** Physics and Mechanics Engineering College, Electronic Engineering
MPE Jaime Barrero Pérez

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TABLA DE CONTENIDO	5
INTRODUCCIÓN	1
1 OBJETIVOS.....	5
1.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.3 EL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, LAI (Leaf Area Index)	5
1.4 LA HOJA	6
1.4.1.1 LÁMINA O LIMBO	7
1.4.1.2 HOJAS SIMPLES.....	8
1.4.1.3 HOJA COMPUESTA	9
1.4.2 SELECCIÓN DEL ÁREA DE LA HOJA A MEDIR	10
1.4.2.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL ÁREA DE LA HOJA.....	11
1.4.2.2 MÉTODOS INDIRECTOS	11
1.4.2.3 MÉTODOS DIRECTOS.....	12
2 LA IMAGEN DIGITAL	14
2.1 MARCO TEÓRICO	14
2.2 DEFINICIÓN DE UNA IMAGEN DIGITAL.....	14
2.2.1 PROPIEDADES DE UNA IMAGEN DIGITALIZADA.....	15
2.2.1.1 RESOLUCIÓN DE UNA IMAGEN	15

2.2.1.2	DEFINICIÓN DE UNA IMAGEN	16
2.2.1.3	NÚMERO DE PLANOS.....	16
2.3	TIPOS DE IMAGEN	17
2.3.1	IMAGENES EN ESCALA DE GRISES.....	19
2.3.2	IMAGENES EN COLOR.....	19
2.3.3	IMAGENES COMPLEJAS.....	20
2.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS ARCHIVOS DE IMAGEN.....	20
2.5	DISPOSITIVOS DIGITALIZADORES DE IMÁGENES.....	21
2.5.1	LA CÁMARA DIGITAL.....	22
2.5.2	TARJETAS DIGITALIZADORAS.....	22
2.5.3	EL ESCÁNER.....	22
2.5.3.1	Principio de funcionamiento	23
2.5.3.2	Los tipos de escáneres	24
2.5.3.3	TIPOS DE RESOLUCIÓN.....	25
2.5.4	VELOCIDAD.....	25
3	DISEÑO DEL ALGORITMO.....	27
3.1	DIAGRAMA DE FLUJO.....	27
3.2	ALGORITMO EN IMAQ VISION	27
3.2.1	PARTE I DEL ALGORITMO EN IMAQ Vision	28
3.2.1.1	CARGAR UN ARCHIVO Y EXTRAER UN PLANO	28
3.2.1.2	UMBRALIZAR	30
3.2.1.3	ANÁLISIS MORFOLÓGICO.....	31

3.2.1.4	CALIBRACIÓN Y CORRECCIÓN	32
3.2.2	PARTE I DEL ALGORITMO EN LabVIEW	34
3.2.2.1	CARGAR UN ARCHIVO, EXTRAER UN PLANO Y UMBRALIZAR	34
3.2.3	PARTE II DEL ALGORITMO EN LabVIEW	35
3.2.3.1	MORFOLOGÍA Y CALIBRACIÓN	35
3.2.4	PARTE III DEL ALGORITMO EN LabVIEW	37
3.3	DIAGRAMA DE BLOQUES PRINCIPAL DENTRO DE UNA ESTRUCTURA SECUENCIAL	38
3.3.1	Estructura secuencial principal	38
3.3.2	Estructura secuencial secundaria	38
3.4	INTERFAZ DE PRESENTACIÓN	39
3.4.1	PANEL FRONTAL	40
3.4.1.1	Iconos Principales de LabVIEW	40
3.4.1.2	Iconos de la Interfaz	41
4	MÉTODOS Y RESULTADOS	46
4.1	ÁREA OBTENIDA CON EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO	46
4.2	ÁREA OBTENIDA CON EL MÉTODO DIRECTO	47
4.2.1	MÉTODO DIRECTO UTILIZANDO EL ESCÁNER	47
4.2.2	MÉTODO DIRECTO UTILIZANDO LA CÁMARA	47
4.3	RESULTADOS	48
4.3.1	MÉTODO INDIRECTO: GRAVIMÉTRICO	48

4.3.2	MÉTODO DIRECTO: EL ESCÁNER	49
4.3.3	MÉTODO DIRECTO: LA CÁMARA DIGITAL	50
4.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
4.5	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO DIRECTO E INDIRECTO..	52
4.6	ELECCIÓN DEL MEJOR PLANO PARA UMBRALIZAR.....	53
4.6.1	ANÁLISIS DE ERRORES EN LA EXTRACCIÓN DE LOS PLANOS	58
5	PARTE EXPERIMENTAL	60
5.1	INTRODUCCIÓN A IMAQ Vision Builder	60
6	CONCLUSIONES	65
7	RECOMENDACIONES.....	67
8	REFERENCIAS	68

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ESCÁNER	73
ANEXO B. CONSTRUCCIÓN EXTERNA DE UN VI DE IMAQ VISION	74
ANEXO C. CONSTRUCCIÓN INTERNA DE UN VI DE IMAQ VISION	77
ANEXO D. DIAGRAMA DE BLOQUES DENTRO DE UNA ESTRUCTURA SECUENCIAL.....	79
ANEXO E. LIBRERIAS DE IMAQ VISION PARA LabVIEW	86

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla1. Bytes por píxel, [IMAQ 02]	18
Tabla 2. Peso de las hojas de cacao	48
Tabla 3. Área de las hojas de Cacao	49
Tabla 4. Área de las hojas de Cacao con el Escáner.	50
Tabla 5. Área de la hoja con la Cámara Digital.....	50
Tabla 6. Porcentaje de Error Respecto al Escáner	51
Tabla 7 Elección del mejor plano para umbralizar	54
Tabla 8 Extracción del plano de 8 bits por defecto.	57
Tabla 9. Umbralización en IMAQ Vision con la extracción del plano Blue	58
Tabla 10. Umbralización en BIOLEAF METER extrayendo el plano de 8 bits por defecto	58
Tabla 11. Análisis de error respecto al plano Hue	58
Tabla 12. Análisis de error respecto al plano Hue con una imagen en 8 bits	59
Tabla 13. Análisis de error respecto a la extracción del plano Blue en IMAQ Vision	59
Tabla 14. Análisis de error respecto a la extracción del plano de 8 bits en BIOLEAF METER	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. La hoja	6
Figura 2. Hojas Simples	8
Figura 3. Hojas Compuestas.....	9
Figura 4. Hoja de Cacao	10
Figura 5. Referencia Espacial del Píxel (0,0)	15
Figura 6.Principio de funcionamiento de un escáner plano	23
Figura 7 Diagrama de Flujo	27
Figura 8. Cargar un archivo	28
Figura 9. Ventana Principal.....	29
Figura 10. Extraer un Plano del Color.....	30
Figura 11. Umbralización Manual	31
Figura 12. Morfología en IMAQ Vision	31
Figura 13. Calibración y Corrección.....	33
Figura 14. Medición del área con IMAQ Visión.....	33
Figura 15. Diagrama de Bloques en LabVIEW	34
Figura 16. Diagrama de Bloque en LabVIEW	36
Figura 17. Diagrama de Bloques Parte III.....	37
Figura 18. Crear una imagen	38
Figura 19. Extraer un plano de color.....	39
Figura 20. Interfaz de Presentación.....	39
Figura 21. Botones Principales	40
Figura 22. Accesos directos de la Interfaz	42
Figura 23. Accesos directos de la Interfaz.....	44
Figura 24.Comparación de áreas Escáner Vs Gravimetría.....	51
Figura 25. Comparación de áreas Escáner Vs Cámara.....	52
Figura 26. Hoja de cacao con discos	53
Figura 27. Extracción de planos.....	54
Figura 28. Extracción de planos.....	55

Figura 29. Extracción de planos.....	56
Figura 30. Extracción de planos: Intensity y Green	57
Figura 31. Image Browser.....	61
Figura 32. Thumbnail/Full-Size View Toggle	62
Figura 33. Umbralización de una imagen	63
Figura 34. Crear una imagen	79
Figura 35. Extraer un plano de color.....	80
Figura 36. Umbralizar una Imagen.....	80
Figura 37 . Remover partículas.....	81
Figura 38. Remover Bordos.....	81
Figura 39 . Calibración de la Imagen	82
Figura 40 . Hallar áreas en la Imagen.....	82
Figura 41. Retardo.....	83
Figura 42. . Contador de Pasos	83
Figura 43 . Cerrar la Imagen y depositarla.....	84
Figura 44. . Contador de Pasos	84
Figura 45 . Cerrar la Imagen.....	85

INTRODUCCIÓN

El índice de área foliar (LAI, Leaf Area Index) [Ackley, 1958], “es el cubrimiento no uniforme del área total de un terreno por hojas por unidad de área superficial”. Este parámetro es importante especialmente en eco-fisiología vegetal, a la hora de medir el intercambio de gases y el flujo energético en el dosel foliar y el crecimiento de las plantas en función de la Biomasa. Cualquier cambio en el LAI (sequía, tormentas, desfoliación, heladas, manejos agronómicos) es acompañado por modificaciones en el estándar de productividad. Los procesos basados en simulación de ecosistemas son requeridos para análisis cuantitativos de productividad y es ahí donde el LAI es importante. Sin embargo la determinación del área de las hojas se hace, la mayor de las veces, por métodos indirectos lo que conlleva un procesamiento dispendioso e inexacto.

En estudios eco-fisiológicos o morfoanatómicos es de especial interés el estudio y seguimiento del crecimiento de las plantas a través del índice de área foliar. Este índice es importante en estudios de nutrición y crecimiento vegetal, a la vez que determina la acumulación de materia seca, el metabolismo de carbohidratos y el rendimiento y calidad de la cosecha.

En la actualidad para hacer este seguimiento se corta la hoja de la planta a monitorear y por un método manual, indirecto, se estima de manera poco exacta, el área de la hoja. Por lo anterior, es importante contar con un método de medición directo, fiable y preciso para determinar el índice de área foliar.

En 1992 se desarrolló en la Universidad de Brasilia, en Brasil, un software utilizando MatLab® que permitía medir el área de una hoja. Por esa época, se propuso en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado de Barquisimeto,

Venezuela, un método para hacer la estimación del área foliar a partir de ecuaciones de regresión calculadas de acuerdo a la relación existente entre las dimensiones lineales de la hoja y su área correspondiente. Desde entonces han surgido medidores electrónicos integrados precisos y de fácil manejo, adaptados a diversos tipos de mediciones, de entornos y de presupuestos.

Esta propuesta de proyecto de grado ha sido concebida junto con la escuela de Biología para dar una solución al problema del seguimiento que se hace a las hojas de las plantas en crecimiento. Este proceso es muy dispendioso e inexacto cuando se requiere llevar un control en numerosas plantas y en regiones apartadas. Es debido a esto que se propone la medición del área foliar, en forma automática, ya sea escaneando las hojas de la planta o cortando las hojas. Este método directo propuesto es de bajo costo comparado con los escáneres manuales y el planímetro óptico [Barthlott 90], es práctico, facilita el seguimiento a las plantas y asegura una toma de datos y su procesamiento en corto tiempo.

Entre las técnicas de medición del crecimiento foliar usadas actualmente por la escuela de Biología podemos citar entre otros al método del planímetro, al método gravimétrico y al de regresiones de área longitudinal, estos métodos son indirectos.

El método gravimétrico se basa en la comparación del peso del papel recortado del dibujo al trazo de la hoja (fotocopias de las hojas usadas), con el peso de áreas conocidas en el mismo papel. De esta manera se obtiene una medida del área, [LAL, K y M. SUBBA RAO, 1951], siendo esta técnica muy laboriosa cuando se utiliza para un gran número de hojas. Ahora bien, el planímetro ofrece una técnica de menor consumo de tiempo, pero poco precisa, ya que se utiliza plantillas con polígonos de área conocida para sobreponer la hoja y contar el número de figuras abarcadas. Este método genera errores de redondeo ya que los

contornos son cubiertos parcialmente por los polígonos. Cuando las plantas son individualizables, las medidas lineales de la hoja (largo y ancho) pueden utilizarse en relaciones funcionales. Por ejemplo, en el caso de hojas grandes como las de banano, caña de azúcar o maíz es posible determinar el área a partir del producto del largo por el ancho [ASCENCIO, 1985], a este método de las dimensiones lineales se ajusta una ecuación de regresión, tal como la recta, para estimar el área.

Los métodos directos son precisos y de fácil utilización a la hora de estimar el área de las hojas pero requieren de onerosas sumas de dinero para adquirirlos. Con el método de la medición automática del área foliar se busca reducir costos, y tiempo, aumentando la precisión en la toma de datos y su procesamiento.

La automatización de procesos es realizada por medio de software especializado, entre estos tenemos a LabVIEW. LabVIEW es un entorno de programación gráfica, destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC.

El software que se elaboró es un instrumento virtual, basado en instrumentos virtuales (VIs, Virtual Instrumens) de IMAQ Vision para LabVIEW. IMAQ Vision es una librería de VIs que se usa en el desarrollo máquinas de visión para inspeccionar procesos de automatización industrial y aplicaciones científicas de imágenes [IMAQ 00].

La organización de este documento se presenta a continuación. En el capítulo 1 describe el concepto del índice foliar, generalidades de la hoja y los métodos de medición del área de la hoja: Directo e indirecto.

En el capítulo 2 retomamos el concepto de imagen digital sus principales propiedades, las clases de imágenes y los dispositivos digitalizadores de imágenes.

En el capítulo 3 se empieza con el diagrama de flujo de algoritmo diseñado, se describe la elaboración de un algoritmo en IMAQ Vision y su correspondiente en LabVIEW.

Se describe la obtención del área de la hoja con el método gravimétrico y los resultados del área calculada con el método directo con su análisis correspondiente, en el capítulo 4.

1 OBJETIVOS

Proponer un método directo alternativo a los actualmente utilizados para medir el área de una hoja utilizando un escáner plano.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un algoritmo en LabVIEW que calcule el área foliar en plantas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Digitalizar la imagen de una hoja utilizando un escáner (ColorPage Vivid III V2 de Genius) para aplicar procesamiento digital de imágenes.
- Elaborar un algoritmo en LabVIEW comparando sus resultados con los obtenidos por métodos indirectos utilizados tradicionalmente.
- Elaborar una guía de usuario de la Herramienta IMAQ Vision que permita al estudiante familiarizarse con sus funciones principales y su uso.

1.3 EI ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, LAI (Leaf Area Index)

Desde las recientes reseñas [Norman 05], se han publicado artículos y críticas sobre el LAI en donde se comparan los tiempos de medición y procesamiento de datos de los métodos directos e indirectos y en donde se mejoran los métodos de medición.

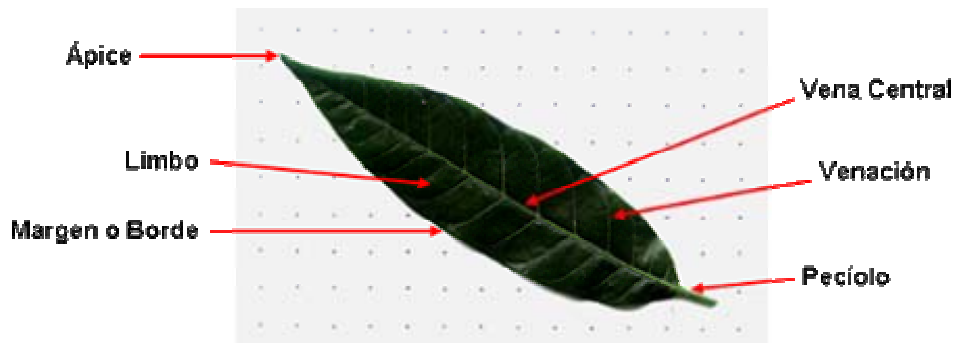
Es de aclarar, el Índice del Área Foliar (LAI) indica la relación entre el área foliar total y el área de suelo cubierta por las plantas, o sea la densidad del follaje. Este índice (LAI) describe las dimensiones del sistema asimilador de una comunidad vegetal o planta, siendo por lo tanto el principal factor a determinar en la productividad de un cultivo. Por ejemplo, un valor de $LAI = 4$, indicaría que sobre $1m^2$ de suelo hay $4m^2$ de hojas. Es una forma de expresar la densidad de hojas presente en el árbol.

A pesar de eso, surgen nuevos tópicos como análisis de producción, de errores, calibración, estrategias de muestreo, y escalamiento que requieren de métodos de procesamiento y medición cada vez más efectivos.

Uno de los tópicos más importantes para medir el rendimiento de una planta y de un cultivo a considerar es la producción fotosintética, la cual es el resultado de la actividad de la superficie foliar. Es así como una de las mejores medidas del capital productivo de la planta es el área de las hojas, [Crozier 06].

1.4 LA HOJA

Figura 1. La hoja



La hoja es un órgano que brota lateralmente del tallo o de las ramas de crecimiento limitado y de forma laminar. Una de sus funciones principales es

sintetizar alimentos, [Crozier 06]. Así mismo, la captación de energía luminosa, asimilar CO₂ atmosférico, regular la pérdida de agua por transpiración y sintetizar componentes mediante la fotosíntesis,[Koslowski 02].

Las partes principales de una hoja son: limbo, ápice, vena central, venación, pecíolo y margen. El ápice es el extremo superior de la hoja y el margen es su borde. Así mismo la venación o nervadura es el conjunto y disposición de los nervios de una hoja y la vena central es su nervio central,[Botanico 03]. El pecíolo o pedúnculo foliar, es el filamento, en general delgado y de color verde, que une el limbo al tallo. Sus tejidos vasculares, que comunican la hoja con el tallo, permiten la llegada del agua y los minerales absorbidos por la raíz. Tiene además la capacidad de orientar a la hoja en la dirección de la luz solar, [Natura 02].

En el común de las hojas se distinguen dos partes básicas: un tallo llamado pecíolo y una porción ensanchada y plana llamada limbo, [Natura 02]. Para el desarrollo de este proyecto de grado se tuvo en cuenta el limbo.

1.4.1.1 LÁMINA O LIMBO

El limbo o lámina, es la parte generalmente laminar plana, verde y ancha de la hoja; la cara superior se llama haz y la inferior, envés; el haz suele ser de color oscuro y el envés algo más claro. La base del limbo se agranda a veces para albergar la yema, siempre presente en la axila de la hoja (yema axilar). El limbo está surcado por una serie de líneas o cordones, perfectamente visibles al trasluz y salientes por el envés, llamadas nervaciones, nervaduras o nervios [Dickison 00]. Son hacecillos de conductos vasculares que son prolongación y ramificación de los del pecíolo, cuya misión es aportar la savia bruta y retirar la elaborada. En muchas hojas el nervio principal es central y finaliza en la punta del limbo (el

ápice); del nervio principal suelen partir otros nervios, a los que se denomina secundarios.

El aspecto de la lámina foliar depende de su forma, del grado de división de la misma, del dibujo del margen y del tipo de venación.

Las hojas pueden ser simples, cuando el pecíolo sostiene un único limbo, o compuestas, cuando el pecíolo sostiene uno o más limbos que reciben el nombre de folíolos,[Encarta 05].

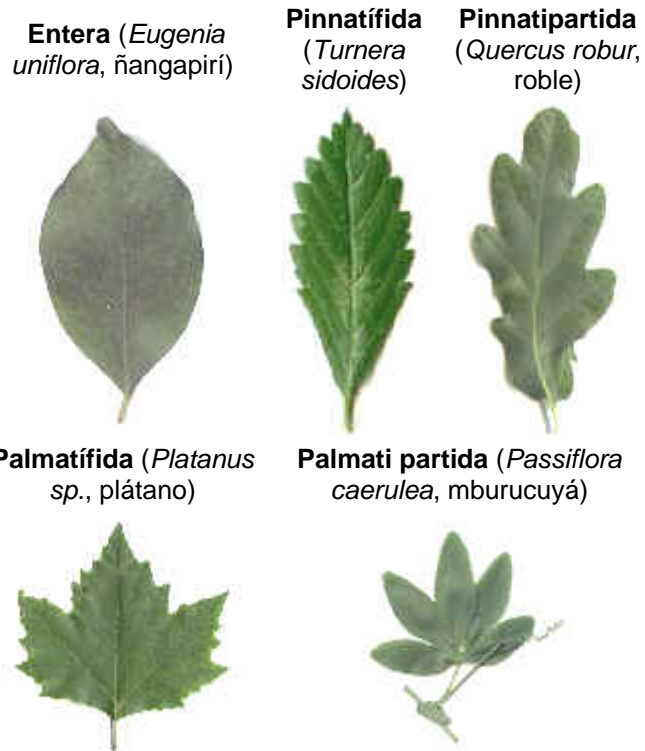
1.4.1.2 HOJAS SIMPLES

Cuando la hoja es simple, consta de una sola lámina foliar. Ésta puede ser:

- Entera
- Hendida (fida o lobada), la incisión es menor que el 50%.
- Partida, cuando la incisión es mayor que el 50%.
- Sectada, cuando la incisión llega casi hasta el nervio o hasta el nervio mismo, con porciones de base ancha, no articuladas sobre la vena (*Myriophyllum, Dahlia, Petroselinum, Foeniculum*).

A continuación se muestran ejemplos de hojas simples:

Figura 2. Hojas Simples



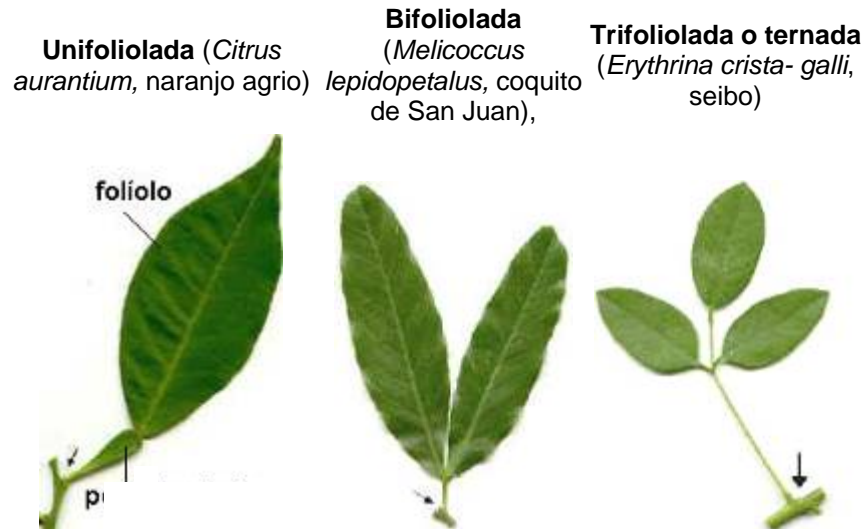
1.4.1.3 HOJA COMPUESTA

La lámina foliar está dividida en varias subunidades llamadas folíolos, articuladas sobre el raquis de una hoja o sobre las divisiones del mismo. Se entiende por raquis a la continuación del pecíolo a partir de los folíolos basales. Según el número de folíolos la hoja puede ser:

- Unifoliada
- Bifoliada
- Trifoliada

Figura 3. Hojas Compuestas

Organización de la lámina foliar



1.4.2 SELECCIÓN DEL ÁREA DE LA HOJA A MEDIR

Cuando se quiere determinar el área de una hoja, se toma la imagen del limbo. Si es una hoja simple se corta el pecíolo y se procede a tomar la imagen del limbo y si es una hoja compuesta se separan los limbos del pecíolo. La siguiente gráfica ilustra una hoja preparada para ser medida:

Figura 4. Hoja de Cacao



1.4.2.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL ÁREA DE LA HOJA

Actualmente se emplean dos métodos de medición: directos e indirectos. Entre los más usados de los primeros son: el gravimétrico y el de regresiones de área longitudinal. Entre los últimos está el escáner manual y el planímetro óptico.

1.4.2.2 MÉTODOS INDIRECTOS

Los métodos indirectos son aquellos en los que el área a medir se compara con áreas conocidas y se da una estimación.

Para la obtención de estas mediciones se debe recurrir a las relaciones entre una o más medidas lineales tomadas sobre la planta y su área real, para deducir fórmulas, gráficos o tablas a partir de ellas.

Un método de regresión lineal propuesto para la estimación del área foliar (AF) [Murthy 97] en un cultivo de frijón, surge a partir del ajuste de una relación lineal: $Y = b * X$ a una muestra de hojas, donde Y es el AF de la hoja; b es un coeficiente de corrección y X es el producto del largo por el ancho de cada una de las hojas.

Hay estudios para especies como pepino, cebolla, zapallo, tomate, pimiento, poroto y otras, en los que se desarrollan modelos para estimar área foliar con base en dos o más dimensiones de la hoja. Por ejemplo, tenemos un estudio realizado en hojas de brócoli [M.I. Stoppani, 2004], en donde se halla el AF, comparando las hojas con figuras de áreas conocidas utilizan varias medidas longitudinales a través de la hoja para luego compararlas con áreas de figuras geométricas de superficie conocida. Se midieron los siguientes parámetros:

- Largo de hoja: longitud desde el ápice hasta la última bráctea desarrollada del limbo.
- Ancho en la mitad del largo: distancia entre los puntos extremos de un segmento trazado perpendicularmente al largo de la hoja, en su punto medio, desde un borde al opuesto.
- Ancho máximo: distancia máxima entre los bordes del limbo, medida sobre un segmento trazado perpendicularmente al largo de la hoja. Se realizó la regresión de la superficie real en las siguientes variables: largo de hoja (L), ancho en la mitad del largo (AML), ancho máximo (AMAX), largo por ancho en la mitad del largo (LAML), largo por ancho máximo (LAMAX), el cuadrado del largo de hoja (L2), el cuadrado del ancho en mitad de hoja (AML2), y el cuadrado del ancho máximo (AMAX2) por el procedimiento “Stepwise”, [SAS Institute Inc., 1989].

Es así como el método de regresión lineal se aplica rigurosamente para hallar áreas por comparación.

1.4.2.3 MÉTODOS DIRECTOS

Los métodos directos son aquellos que se utilizan directamente sobre el objeto para medir una región de interés, tal como escáneres manuales con software especializado y planímetros ópticos.

El escáner de mano es un dispositivo, elimina gran parte de los mecanismos que encarecen a los dispositivos de sobremesa, como el de tracción, siendo el usuario quien mueve el escáner sobre la imagen o documento a digitalizar. Resultan

especialmente eficaces para escanear rápidamente fotos de libros encuadernados, artículos periodísticos, facturas y toda clase de pequeñas imágenes. Tiene inconvenientes por sus pequeñas dimensiones, por lo general 10 Cms, su baja velocidad y la poca fiabilidad del proceso, ya que depende de la habilidad y el pulso del usuario. Además requiere de Software especializado lo que encarece drásticamente su uso.

El método directo que se aplicó en este trabajo de grado fue a través de un escáner plano y un software que automatiza la medición del área de la hoja, (Capítulo 4).

2 LA IMAGEN DIGITAL

2.1 MARCO TEÓRICO

La utilización de imágenes digitales para el diseño del algoritmo pasa necesariamente por la obtención de las mismas, el almacenamiento en un formato gráfico adecuado y su tratamiento.

Una vez se obtienen los archivos se almacenan en un formato que mantenga la calidad original de la imagen, es decir, evitando pérdidas. Este formato puede ser: *.bmp, *.jpg, *.gif, *.tiff, *.png.

La obtención de las imágenes puede realizarse por diferentes medios, siendo los más comunes: la cámara digital, el escáner y las tarjetas digitalizadoras.

2.2 DEFINICIÓN DE UNA IMAGEN DIGITAL

Una imagen es un arreglo bidimensional de valores representativos de intensidades de luz. Para el fin de procesamiento de imágenes, el término imagen se refiere a imagen digital. Una imagen está en función de la intensidad de luz, así:

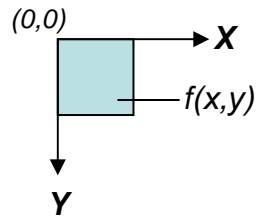
$$f(x, y)$$

Donde f es el brillo del punto (x, y) , y X e Y representan las coordenadas espaciales de un elemento de imagen (abreviadamente, píxel).

Por convención, la referencia espacial del píxel con coordenadas $(0,0)$ es localizada arriba, en la esquina izquierda de la imagen. Obsérvese en la figura 1-1

que el valor de x incrementa moviéndose de izquierda a derecha, y el valor de y incrementa de arriba abajo.

Figura 5. Referencia Espacial del Píxel (0,0)



[IMAQ 02]

En un procesamiento digital de imagen, un sensor de imagen convierte una imagen en un número discreto de píxeles. El sensor de imagen asigna a cada píxel una localización numérica y un nivel de gris o un valor de color que especifica el brillo o color del píxel, [IMAQ 02].

2.2.1 PROPIEDADES DE UNA IMAGEN DIGITALIZADA

Una imagen digitalizada tiene tres propiedades básicas: resolución, definición, y número de planos.

2.2.1.1 RESOLUCIÓN DE UNA IMAGEN

La resolución espacial de una imagen es el número de columnas y filas de píxeles. Una imagen compuesta de m columnas y n filas tiene una resolución de $m \times n$. Esta imagen tiene m píxeles a lo largo de su eje horizontal y n píxeles a largo de su eje vertical. La resolución se refiere a la cantidad de puntos por pulgada (ppp, o dpi en inglés) que puede leer el dispositivo para formar la imagen. Entre más

puntos por pulgada más detalles se pueden captar y la calidad del archivo escaneado es mejor. Al escanear una imagen es: a menor resolución, más rápida es la digitalización, más veloz la edición fotográfica y menor el espacio ocupado en el disco duro.

2.2.1.2 DEFINICIÓN DE UNA IMAGEN

La definición de una imagen indica el número de matices que se pueden ver en la imagen. El **bit depth** (Profundidad de color) en una imagen es el número de bits usados para codificar el valor de un píxel. Dado un **bit depth** n , la imagen tiene una definición de imagen de 2^n , lo que significa que un píxel puede tener 2^n diferentes valores. Comúnmente, IMAQ Vision solo soporta un rango de -32,768 a 32,767 para imágenes de 16 bits.[IMAQ 02]

IMAQ Vision puede procesar imágenes de 8 bits, 10 bits, 12 bits, 14 bits, 16 bits, punto flotante, o codificación en color.

IMAQ Vision no soporta directamente otros tipos de codificaciones de imagen, particularmente imágenes codificadas en 1 bit, 2 bit, o 4 bit. En esos casos IMAQ Vision automáticamente transforma la imagen en una imagen de 8 bits (el mínimo **bit depth** para IMAQ Vision) cuando abrimos el archivo de la imagen, [IMAQ 02].

2.2.1.3 NÚMERO DE PLANOS

El número de planos en una imagen corresponde al número de arreglos de píxeles que componen la imagen. Una imagen en escala de grises o en pseudo-color esta compuesta de un plano, mientras una imagen en color-verdadero esta compuesta

por tres planos: el componente rojo, azul y verde. Para trabajar con imágenes a color se utilizan los planos: RGB, HSL, HSV y HSI.

En este proyecto se trabajó con RGB y HSL por la cantidad de matices que se pueden obtener de las imágenes al extraer planos de ellas mismas, proporcionando niveles óptimos de grises para su umbralización y su tratamiento.

En las imágenes de color-verdadero, la intensidad de los componentes del color de un píxel se codifica en tres diferentes valores. El color de una imagen es la combinación de tres arreglos de píxeles correspondientes al componente del rojo, verde, y azul en una imagen RGB. Las imágenes HSL se definen por su matiz, saturación, y valores de luminancia.

Se recomienda escanear las hojas a una profundidad de 24 bits en RGB, ya que la gama de colores y tonalidades de la imagen capturada es bastante amplia comparada con la de 8 bits o en escala de grises. Una imagen RGB de 24 bits asigna 16.000.000 de tonos por píxel y una imagen en escala de grises asigna 256 tonos por píxel.







2.3 TIPOS DE IMAGEN

Las librerías de IMAQ Vision pueden manipular tres tipos de imágenes: escala de grises, color e imágenes complejas. A pesar de IMAQ Vision soporta dichos tipos de imágenes, ciertas operaciones en tipos de imágenes específicas no son posibles (por ejemplo, aplicar una operación lógica AND a una imagen compleja).

La tabla 1, muestra cuantos Bytes por píxel usa una imagen en escala de grises, color o compleja. Para una resolución espacial idéntica, una imagen en color ocupa cuatro veces la memoria espacial de una imagen de 8 bits en escala de

grises, y una imagen compleja ocupa ocho veces la memoria de una imagen en escala de grises,[IMAQ 02].

Tabla1. Bytes por píxel, [IMAQ 02]

Tipo de Imagen	Número de Bytes por Píxel
<p>8-bit (Sin signo) Escala de grises para Enteros</p> <p>(1 byte o 8-bits)</p>	 <p>8-bits para la escala de grises</p>
<p>16-bit (Con signo) Escala de grises para Enteros</p> <p>(2 byte o 16-bits)</p>	 <p>16-bits para la escala de grises</p>
<p>32-bits Escala de grises para Punto Flotante</p> <p>(4 bytes o 32-bits)</p>	 <p>32-bits para la escala de grises en punto flotante</p>
<p>Color RGB</p> <p>(4 bytes o 32-bits)</p>	 <p>8-bits para el valor de alfa. (no usado) 8- bits para el Rojo 8-bits para el Verde 8-bits para el Azul</p>
<p>HSL Color</p> <p>(4 bytes o 32-bits)</p>	 <p>8 bits no usado 8-bits para la Tonalidad 8-bits para la Saturación 8-bits para la Luminancia</p>
<p>Compleja</p> <p>(8 bytes o 64-bits)</p>	 <p>32-bits en punto flotante para la Parte Real 32-bits en punto flotante para la Parte Imaginaria</p>

2.3.1 IMAGENES EN ESCALA DE GRISES

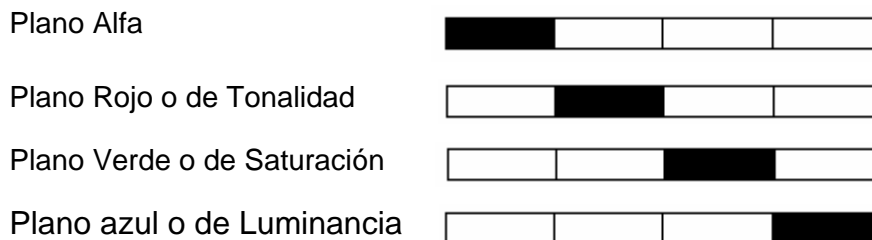
Una imagen en escala de grises esta compuesta de un plano sencillo de píxeles. Cada píxel es codificado usando un solo número. Este número puede ser usado:

- Un entero de 8 bits sin signo se representa en la escala de grises con valores entre 0 y 255.
- Un entero de 16 bits con signo se representa en la escala de grises con valores entre -32768 y +32767.
- Un número simple en punto flotante (codificado usando 4 bytes) se representa con precisión en la escala de grises con valores entre $-\infty$ y ∞ , [IMAQ 02].

2.3.2 IMAGENES EN COLOR

Una imagen en color es codificada en la memoria como una imagen generalmente RGB o HSL. Los píxeles de una imagen en color están compuestos de cuatro valores. Las imágenes en RGB almacenan la información del color usando 8 bits para los planos del rojo, verde y azul. Las imágenes HSL almacenan la información del color usando 8 bits para la tonalidad, saturación y luminancia. Esta representación es conocida como codificación de 32 bits.

Tabla 2. Codificación de los planos de color en 32 bits



[IMAQ 02]

2.3.3 IMAGENES COMPLEJAS

Una imagen compleja contiene la información en frecuencia de imagen en escala de grises. Crea una imagen compleja aplicando la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a una imagen en escala de grises. Una vez se transforme la imagen en escala de grises a una compleja, se pueden realizar operaciones en el dominio de la frecuencia sobre ella.

Cada píxel en una imagen compleja es codificado en dos valores precisos en punto flotante, los cuales representan los componentes: real e imaginario de un píxel complejo. Se pueden extraer los siguientes cuatro componentes de una imagen compleja: la parte real, la parte imaginaria, la magnitud y la fase, [IMAQ 02].

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ARCHIVOS DE IMAGEN

El archivo de una imagen esta compuesta de una cabecera seguida por valores de píxeles. Dependiendo del formato del archivo, la cabecera contiene información de la imagen sobre la resolución horizontal y vertical, la definición del píxel y la paleta original. Los archivos de una imagen pueden almacenar sobre calibración, patrones de plantillas y superposiciones. Los siguientes son los formatos de imágenes más comunes:

- Mapa de Bits (BMP, Bitmap)
- Formato de archivo de imagen etiquetada (TIFF, Tagged image file format)
- Gráficos de red portátil (PNG, Portable network graphics) –ofrece la capacidad de almacenar información sobre calibración espacial, patrones de plantillas y superposiciones.

- Formato JPEG (Joint Photographic Experts Group, grupo fotográfico de expertos conjuntos).
- Formato de archivo de imagen interna de la National Instruments (AIPD) – usado para guardar imágenes en punto flotante, complejas e imágenes HSL.

El formato estándar para imágenes en escala de grises a 8 bits es: BMP, TIFF, JPEG y AIPD.

El formato estándar para imágenes en escala de grises a 16 bits es: PNG y AIPD.

El formato estándar para imágenes de RGB es: BMP, TIFF, PNG, JPEG Y AIPD.

El formato estándar para imágenes complejas es: PNG y AIPD, [IMAQ 02].

En este proyecto se recomienda trabajar con BMP y JPEG porque son los formatos estándar con los que se archivan imágenes capturadas con el escáner. Con el formato *.bmp se guarda la imagen sin compresión alguna. El archivo es de tamaño grande en comparación al formato *.jpg estándar que tiene el 20% del tamaño del anterior.

2.5 DISPOSITIVOS DIGITALIZADORES DE IMÁGENES.

Entre estos dispositivos encontramos principalmente los siguientes: la cámara digital, las tarjetas digitalizadoras y el escáner.

2.5.1 LA CÁMARA DIGITAL

La cámara digital es un dispositivo de entrada en un computador. La fotografía es una opción versátil y práctica para convertir en imágenes elementos del mundo real con gran calidad. Sus archivos son pequeños y su manipulación se hace en cualquier programa de edición. Sin embargo, a la hora de capturar imágenes para mediciones se debe tener en cuenta las condiciones de iluminación y los efectos en los bordes que se generan por sombras; esto puede ocasionar pequeños aumentos aparentes en las medidas y complicaciones a la hora de calibrar con plantillas de áreas conocidas.

2.5.2 TARJETAS DIGITALIZADORAS

Esta herramienta digitalizadora permite emular una pizarra electrónica, convierte una serie de coordenadas espaciales en un código binario que es interpretado por un software especializado reproduciendo las imágenes impresas en la tarjeta. Este dispositivo es usado por sistemas de seguridad donde se requiere autenticar firmas personales, huellas digitales y todo lo relacionado con sistemas de identificación.

A continuación se dan unos conceptos generales sobre medio digitalizador de imágenes escogido para este proyecto de grado, el escáner plano. Tales como: principio de funcionamiento, resolución, y velocidad, [Enter 05].

2.5.3 EL ESCÁNER.

Este dispositivo, transforma un documento físico (un escrito, una fotografía, una hoja) en una imagen digital que se puede visualizar en un computador y archivar. Una vez capturada una imagen se puede manipular en un programa de edición de

imágenes, se puede tratar como cualquier otro archivo gráfico que exista en el. Cada escáner trae un software que permite al usuario hacer los cambios que desee y se consiguen a precios bajos comparativamente con los otros dispositivos digitalizadores.

2.5.3.1 Principio de funcionamiento

Los escáneres, funcionan utilizando el principio básico de la transferencia de la luz. Se coloca en la superficie de cristal del escáner, la imagen a digitalizar, enfrentada al bloque lector y al cabezal lector compuesto por el CCD (Charge Coupled Device, Dispositivo de Cargas (eléctricas) Acopladas), el sistema de iluminación y un conjunto de lentes se desplazan barriendo la imagen.

La luz reflejada, se convierte en energía eléctrica por los sensores, y la velocidad del movimiento del cabezal lector es la que proporciona una mayor resolución. Cuanto menor sea la velocidad del lector, más información se extraerá de la imagen digitalizada. A continuación se muestra el funcionamiento de un escáner plano, Figura 6.

Figura 6. Principio de funcionamiento de un escáner plano



[Fotonostra 02]

2.5.3.2 Los tipos de escáneres

De mano: resultan eficaces para escanear rápidamente fotos de libros encuadernados, facturas y toda clase de pequeñas imágenes. Son económicos, pero tienen un inconveniente debido a su baja velocidad y la poca fiabilidad en el proceso, por que depende de la habilidad manual del usuario para realizar una captura exitosa.

De sobremesa o planos: son los de uso más extendido, tienen un formato estándar de 21,6 Cms por 29,7 Cms, ver Anexo A. Su característica principal es que poseen una superficie de vidrio sobre la que se sitúa el elemento a escanear.

Escáner de Tambor o de rodillo: se basan en un sistema muy similar al de los aparatos de fax: un rodillo de goma motorizado arrastra al documento, haciéndola pasar por una rendija donde está situado el elemento capturador de imagen. Son los que más fielmente reproduce original, ya que producen digitalizaciones de gran resolución y calidad. Tienen una gran desventaja y es que solo aceptan hojas sueltas.

Las medidas del escáner utilizado se clasifican entre las de un escáner de cama plana. Tiene una área de lectura de 21,6 x 29,7 Cms.

Es de aclarar que hay otros conceptos generales sobre el medio digitalizador de imágenes escogido para este proyecto de grado, el escáner, que merecen atención; tal como: los tipos de resolución y la velocidad, [Enter 05].

2.5.3.3 TIPOS DE RESOLUCIÓN

Hay dos tipos de resolución que se deben tener en cuenta cuando se requiera gran calidad en las imágenes escaneadas, estas son: óptica o de hardware, digital o de software y a veces llamada de interpolación.

Resolución Óptica o de Hardware

Es la que logra el equipo mediante la capacidad del sensor (el dispositivo que convierte los colores del original en las señales eléctricas que forman la imagen digital). Esta es la resolución importante y real.

Resolución Digital o de Software

Es el método por el cual, el escáner aporta una mayor resolución de la que es capaz ópticamente. Se puede definir, también, como la repetición de los píxeles que el escáner capta de forma óptica. Utiliza software de digitalización para multiplicar artificialmente la cantidad de puntos que se lee mediante el proceso de captura.

El escáner utilizado en la captura de imágenes de hojas para el presente trabajo de grado, posee una resolución real de escaneado de 850 x 1169 ppp.

2.5.4 VELOCIDAD

Es el tiempo que toma el escáner para leer completamente una imagen y transferirla al computador. El tiempo que tarda en enviar los datos depende del tipo de puerto que utilicen para conectar los dos equipos. [Enter 06]

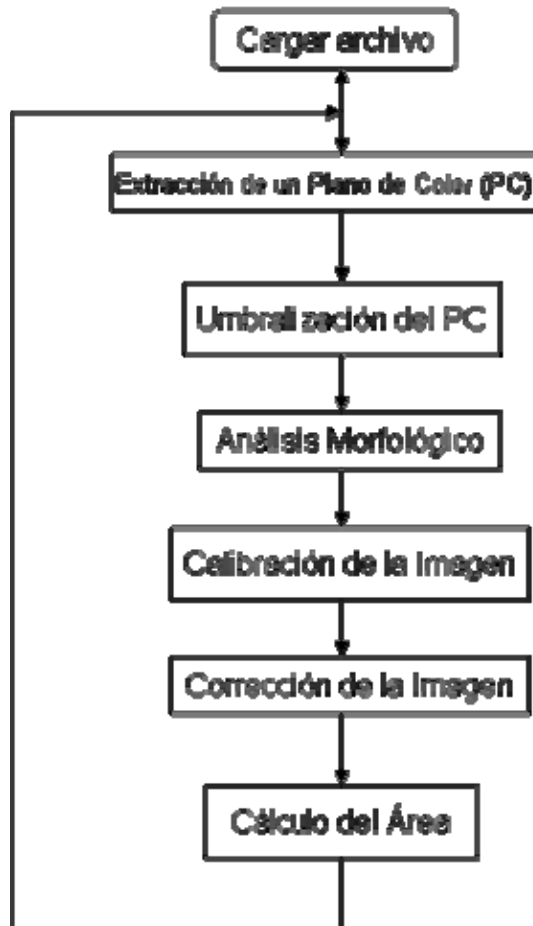
El escáner utilizado para este proyecto, ColorPage Vivid III V2 de Genius, se comunica por medio del puerto paralelo con el computador, obteniéndose una velocidad de captura de aprox. 50 Seg. por página.

3 DISEÑO DEL ALGORITMO

A continuación se describe el algoritmo y el proceso que utiliza IMAQ Vision para hallar el área de la hoja o de cualquier objeto de forma regular e irregular.

3.1 DIAGRAMA DE FLUJO

Figura 7 Diagrama de Flujo



Fuente: los autores.

3.2 ALGORITMO EN IMAQ VISION

En este proyecto utilizamos las herramientas de IMAQ Vision para diseñar y probar una aplicación específica con las funciones de procesamiento de imágenes y su automatización en LabVIEW.

El algoritmo es grabado en el Script de IMAQ Vision a manera de guión, se registra cada paso del procesamiento de la imagen. Una vez terminada la caracterización de las instrucciones se prueba en las imágenes escaneadas y archivadas previamente para depurar la aplicación que es objeto de estudio.

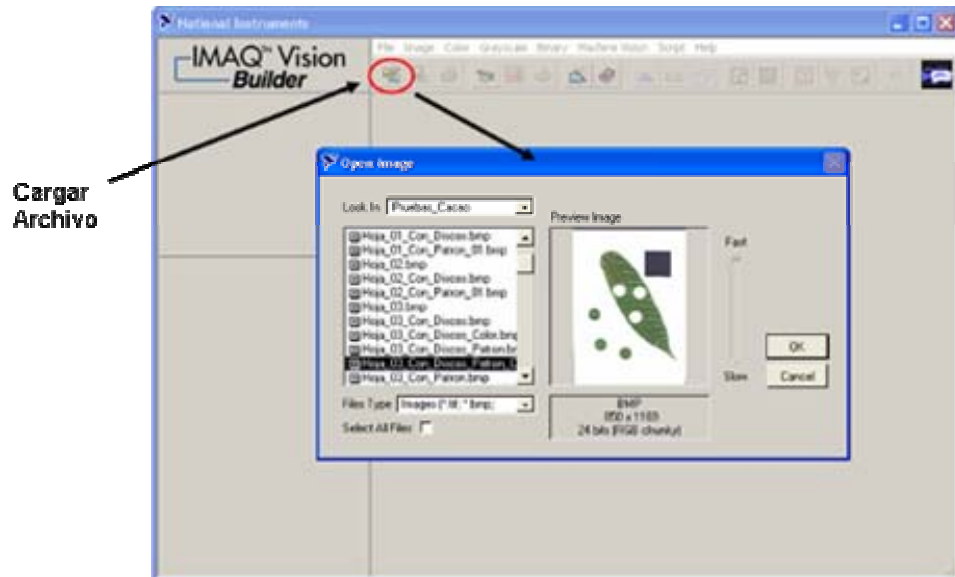
A continuación se describen los pasos del Diagrama de Flujo del algoritmo caracterizado en el Script de IMAQ Vision con su correspondiente automatización en LabVIEW. La descripción se hace en tres partes principales para facilitar su seguimiento.

3.2.1 PARTE I DEL ALGORITMO EN IMAQ Vision

3.2.1.1 CARGAR UN ARCHIVO Y EXTRAER UN PLANO

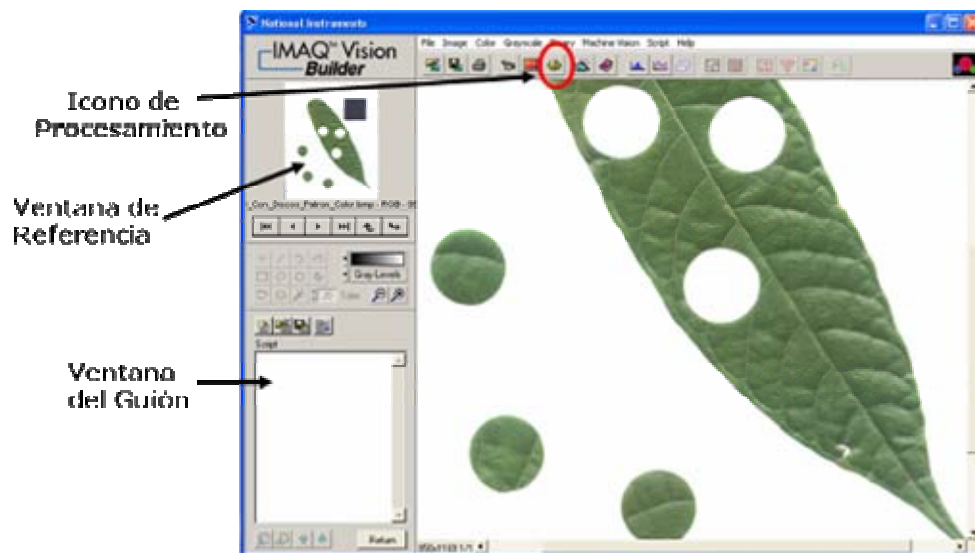
En IMAQ Vision se carga un archivo en el botón abrir imagen (***Open Image***) que esta en la pantalla de entrada. Cuando se abre la ventana, se busca la ruta a la carpeta que contiene los archivos de las imágenes en formato *.bmp o *.jpg, figura 8. Si se seleccionan todas las imágenes, se visualizan en la pantalla principal a manera de mosaico.

Figura 8. Cargar un archivo



Una vez se tiene la imagen en la ventana principal se inicia su procesamiento en icono señalado en la figura 9. Se despliega el **Script** (Guión) y la imagen se muestra en la ventana de referencia.

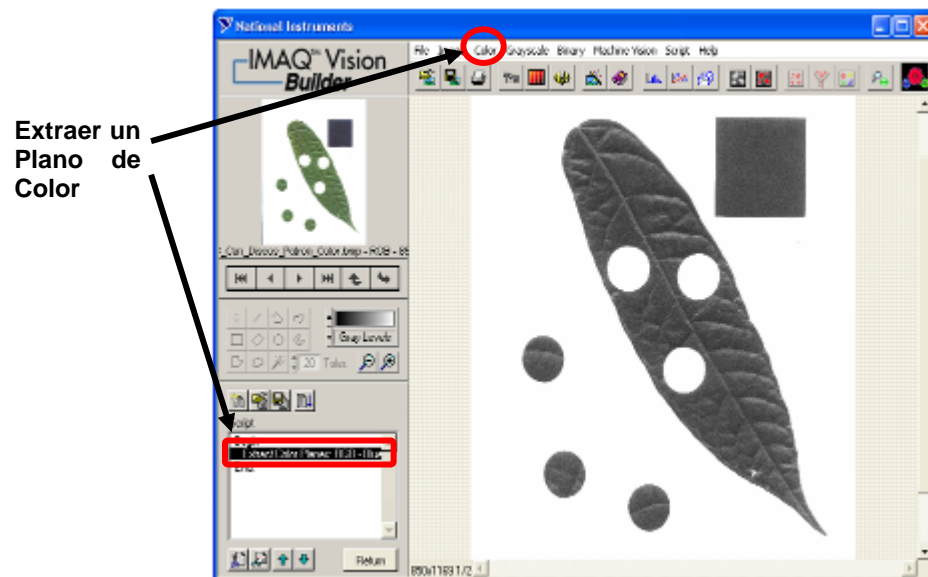
Figura 9. Ventana Principal



El paso siguiente es seleccionar **Color»Extract Color Planes**, para extraer un

plano del color a la imagen e iniciar el instructivo en el guión. Se escoge un plano de los 8 (plano azul, plano rojo, plano verde, plano de tonalidad, plano de saturación, plano de luminancia, plano de valores, plano de intensidad). Se recomienda la extracción del plano Azul porque ofrece un mejor contraste a las imágenes, es decir, a las imágenes en color verde las convierte a una escala de grises de tonos oscuros en 8 bits para mayor resalte al umbralizar y no perder información, Figura 10.

Figura 10. Extraer un Plano del Color.

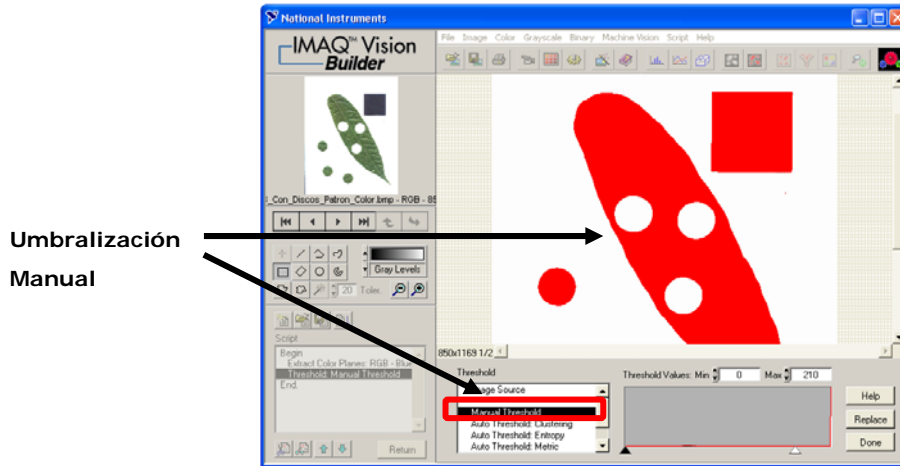


3.2.1.2 UMBRALIZAR

Con la umbralización se convierte una imagen en escala de grises a binaria. En el paso anterior se obtuvo la imagen en escala de grises y ahora, en **Grayscale** se selecciona la opción: **Threshold** para binarizar la imagen manualmente con los cursores dentro de un rango apropiado, entre 0 y 255. De tal manera que los bordes de la imagen se resalten finamente en Rojo, evitando el traslape del fondo. Si se desea volver al paso en el **Script** para editarlo, se da

Click dos veces en el paso registrado, figura 11.

Figura 11. Umbralización Manual

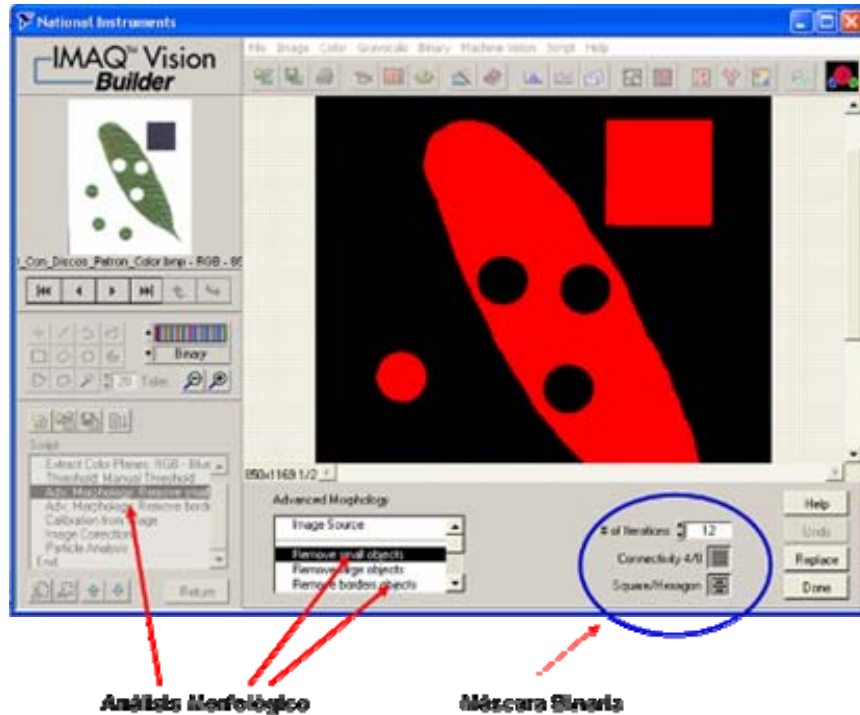


3.2.1.3 ANÁLISIS MORFOLÓGICO

En este paso se remueven partículas no deseadas en la imagen umbralizada con una máscara binaria de remoción de píxeles que se basa en las vecindades a estos, los valores de sus vecindades y la forma del marco de píxeles. En el menú **Binary**, se selecciona **Advanced Morphology**, una vez en la ventana se escoge la opción: **Remove small objects** con un número de iteraciones apropiado para remover impurezas, este método de remoción se basa en el concepto **structuring element**. Se puede modificar la Conectividad (**Connectivity**) a los bordes de la imagen para remover los píxeles adyacentes a la misma partícula, agregados durante la umbralización. Así mismo, se varía la **Square/ Hexagon** (forma de las tramas de los píxeles) para uniformizar los **Píxel Frame** que se alteran con los cambios de intensidad de las vecindades.

Figura 12, se muestra el análisis morfológico en IMAQ Vision:

Figura 12. Morfología en IMAQ Vision



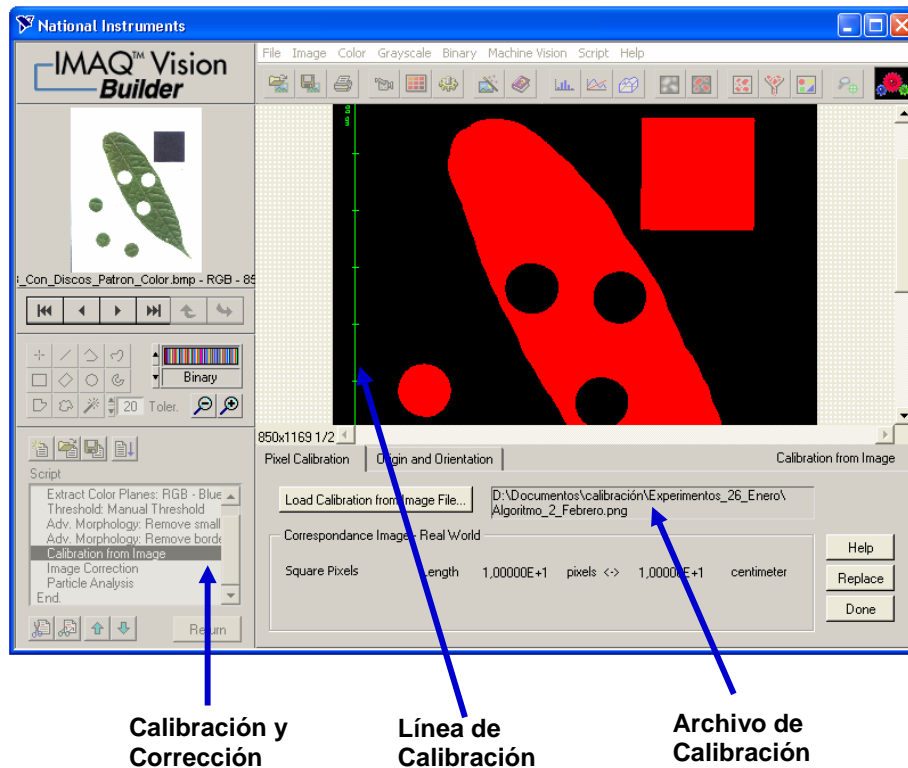
3.2.1.4 CALIBRACIÓN Y CORRECCIÓN

Una imagen es calibrada con una plantilla de puntos previamente diseñada, la cual se guarda con el tipo de formato de las imágenes a estudiar. La calibración se hace en el menú **Image**. Ahora se selecciona dicho menú y elegimos **Grid Calibration** ejecutando los seis pasos indicados. Una vez IMAQ Visión aprende la calibración se guarda en formato *.png y se carga en **Calibration from Image** para tener el algoritmo calibrado. Por último se corrige la imagen con **Image Correction**, el cual tiene dos algoritmos de interpolación: Bi-lineal y de Orden cero. Estos pasos se graban en el Script, ver figura 13.

Además de **Grid Calibration** existe la **Simple Calibration** que se hace de manera forzada al introducir las medidas en unidades del mundo-real para una determinada cantidad de píxeles. Por ejemplo, si el escáner tiene 21,6 Cms. en el

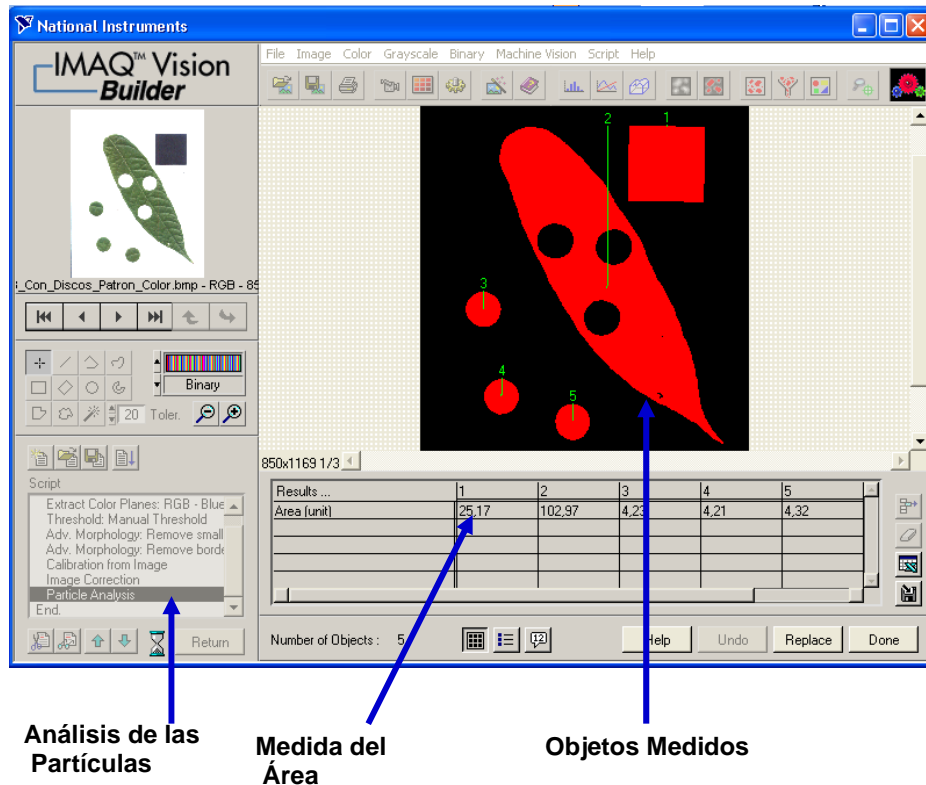
eje X que corresponden a 850 píxeles en la imagen. Esta equivalencia se introduce en **Pixel Calibration** de la opción mencionada.

Figura 13. Calibración y Corrección.



En este último paso del **Script** en IMAQ Vision se realiza el análisis de las partículas que se encuentran binarizadas (en Rojo), es decir, se hacen una serie de mediciones sobre las imágenes, tal como: hallar el área, el perímetro, el área de los huecos, el centro de masa, momentos de Inercia, la longitud del segmento más largo y otras. En el menú **Binary** del panel de entrada se selecciona **Particle Analysis** para entrar a la ventana de mediciones, se puede escoger una de las 47 opciones de medición que se pueden hacer sobre la imagen, Figura 14.

Figura 14. Medición del área con IMAQ Visión.



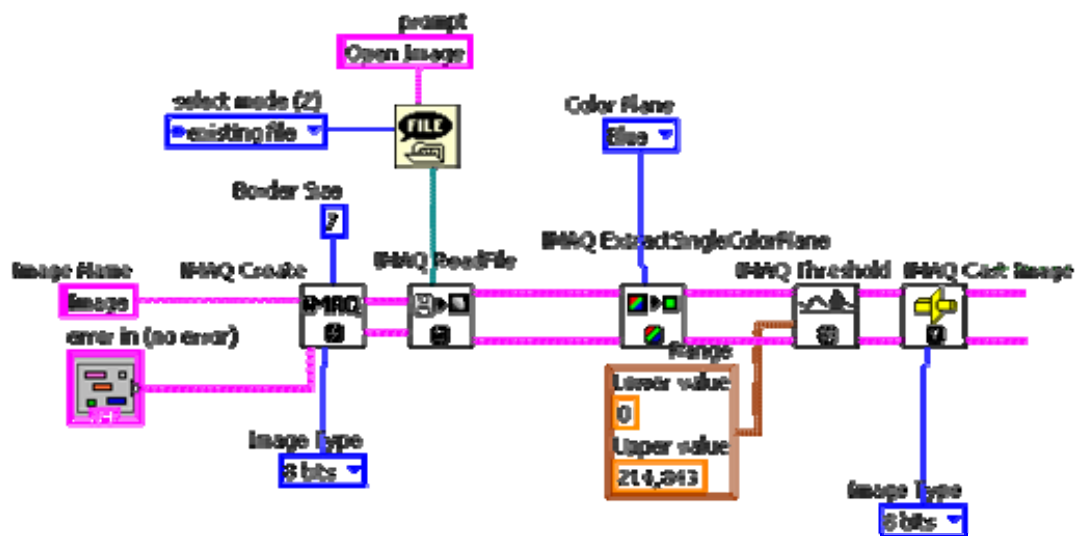
3.2.2 PARTE I DEL ALGORITMO EN LabVIEW

3.2.2.1 CARGAR UN ARCHIVO, EXTRAER UN PLANO Y UMBRALIZAR

En esta parte se describe el diseño del algoritmo en IMAQ Vision para LabVIEW, la cual es una librería de VIs que se usa para desarrollar aplicaciones científicas. Cuenta con tres principales paletas de funciones: utilidades de Vision, procesamiento de imágenes y máquinas de visión, ver Anexo E.

En esta primera parte, se usan VIs para crear, leer, extraer un plano simple del color, umbralizar y acomodar una imagen, Figura 15

Figura 15. Diagrama de Bloques en LabVIEW



El cuadro de dialogo **File**, resaltado en amarillo, pertenece a una librería de LabVIEW y se usa para especificar la ruta hasta los archivos de las imágenes. Una vez allí, **IMAQ Create**, crea una imagen temporal con su nombre, tipo y tamaño de bordes. Esta imagen sirve de referencia para los pasos siguientes del procesamiento. Luego, **IMAQ ReadFile** carga el archivo y lo lee para que se le pueda extraer un plano de color a la imagen de referencia.

Hasta aquí se tiene una imagen en escala de grises, lista para ser umbralizada por una ventana con un rango definido por el usuario. Por último es acomodada la imagen por **IMAQ Cast Image** en el tipo de imagen resultante de la binarización, una imagen en 8 bits especificado por el indicador **Image Type**.

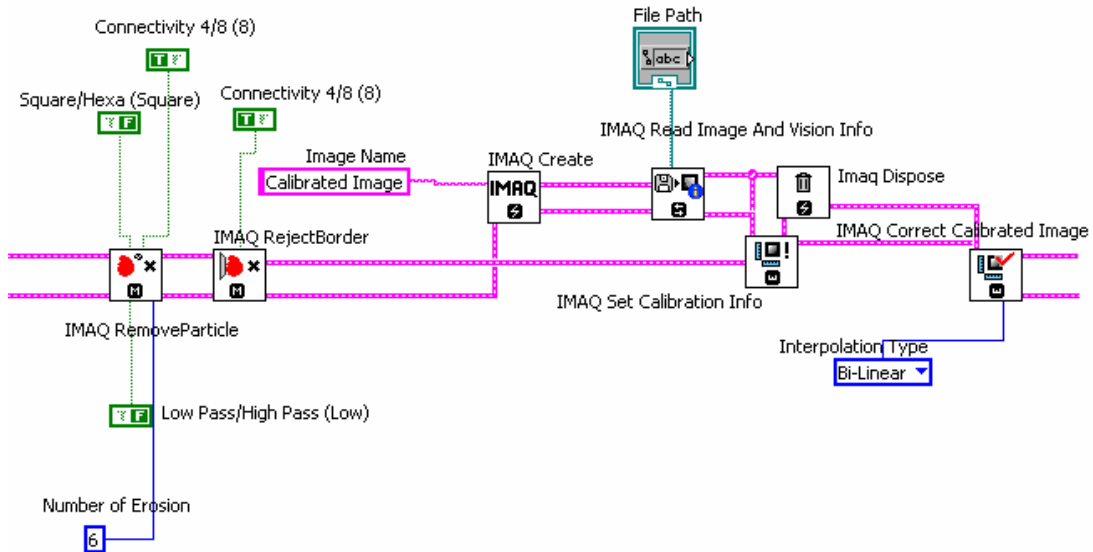
3.2.3 PARTE II DEL ALGORITMO EN LabVIEW

3.2.3.1 MORFOLOGÍA Y CALIBRACIÓN

En esta segunda parte se utilizan VIs de la librería de morfología que forman parte de las funciones de procesamiento de imagen y de VIs de administración de

imágenes que hacen parte de las funciones de utilidades de visión, figura 16.

Figura 16. Diagrama de Bloque en LabVIEW



En el anterior diagrama de Bloques se continúa la primera parte. Una vez se binariza la imagen se procede a remover partículas con **IMAQ RemoveParticle**, este VI mantiene o elimina píxeles que están adyacente o alejados de la imagen, haciendo uso de la conectividad de matrices cuadradas, hexagonales o en forma de cruz en los bordes de la imagen.

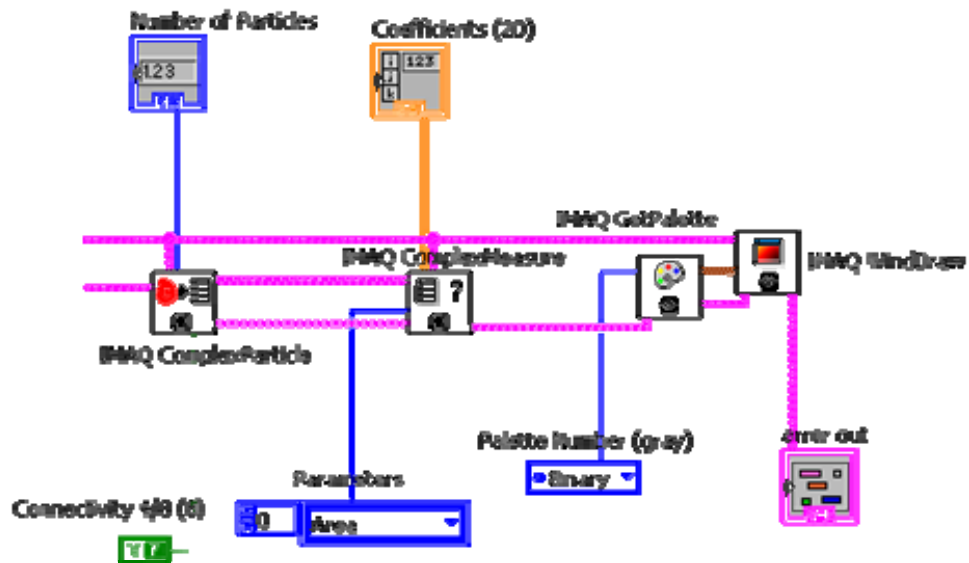
Luego, **IMAQ Create** crea una imagen de referencia con una imagen calibrada para que sea tomada como fuente por **IMAQ Read And Vision Info** y la interprete junto con la calibración aprendida. **IMAQ Set Calibration Info**, fija la calibración en las imágenes nuevas y las envía a corregir o sino las deposita en **IMAQ Dispose**, esto sucede cuando no son del mismo tamaño, abortando la ejecución. Si la imagen es enviada a corregir, se le aplica el método de interpolación Bi-lineal o de orden cero. En la salida de **IMAQ Correct Calibrated Image** se obtiene una imagen corregida del tamaño de la fuente.

3.2.4 PARTE III DEL ALGORITMO EN LabVIEW

En esta última parte del diagrama de bloques en LabVIEW, se trata el cálculo del área de un objeto de forma regular e irregular.

Una vez se tiene la imagen corregida, **IMAQ ComplexParticle** detecta las partículas y envía este número para que **IMAQ ComplexMeasure** haga las cuantificaciones de píxeles en cada partícula y determine una serie de parámetros en cada una de ellas, tal como: el área, perímetro, número de huecos, área total de las partículas, entre otros. Con el control, Coefficients (2D), se puede escoger el parámetro medido a visualizar, figura 17.

Figura 17. Diagrama de Bloques Parte III.



Cuando se han seleccionado los diversos parámetros a medir, se selecciona una paleta de color, **IMAQ GetPalette**, para la pantalla, por defecto está la binaria por el nivel de grises en el que se encuentra la imagen, ya que la imagen a desplegar

es binaria, permite ver el nivel de grises obtenido. La salida de **IMAQ GetPalette** se conecta directamente a **WindDraw** que es el que permite ver la imagen en una ventana tan pronto cuando termina la ejecución. A esta ventana se le puede agregar barras de desplazamiento con **IMAQ WindSize**.

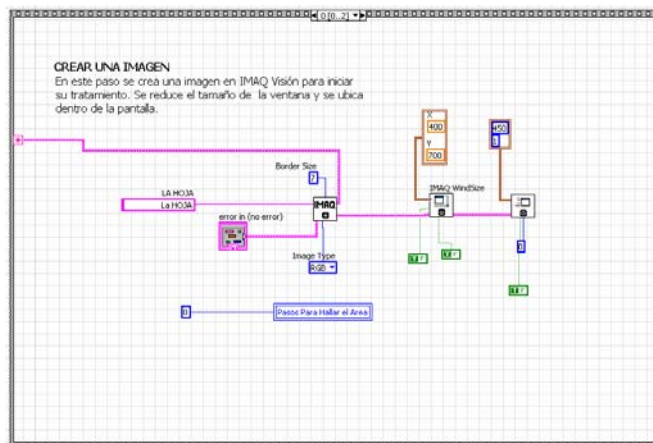
Una vez se termina de diseñar el algoritmo en LabVIEW se le pueden realizar modificaciones a través de estructuras secuenciales, de contadores, de un **While** y a los vectores de visualización para que la interfaz de presentación sea amigable con el usuario, Anexo D.

3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES PRINCIPAL DENTRO DE UNA ESTRUCTURA SECUENCIAL

A continuación se muestra el ordenamiento del diagrama de bloques dentro de una estructura secuencial principal que contiene un **IMAQ Create**, el cual crea la imagen en LabVIEW y su ubicación en la pantalla del computador, figura 18.

3.3.1 Estructura secuencial principal

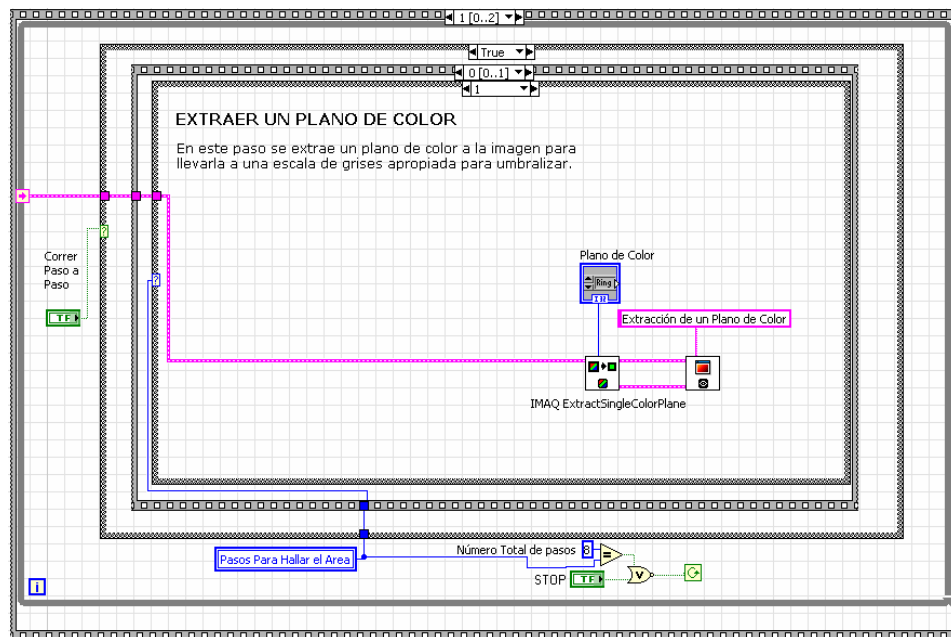
Figura 18. Crear una imagen



3.3.2 Estructura secuencial secundaria

Dentro de esta estructura secundaria se encuentra un **While** que hace posible la ejecución continua del algoritmo cada vez que se aumenta el contador, **Pasos para hallar el área** y contiene dos sub-estructuras secuenciales, figura 19, ver anexo D.

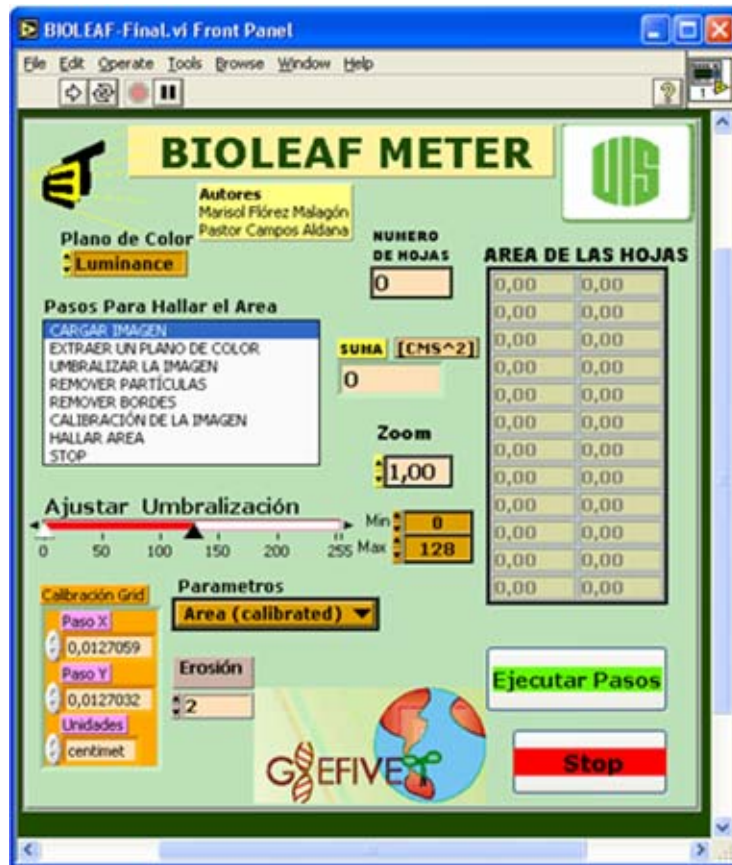
Figura 19. Extraer un plano de color



3.4 INTERFAZ DE PRESENTACIÓN

La interfaz que se diseñó se hizo pensando en un manejo versátil de sus controles y vectores de visualización por parte del usuario, figura 20.

Figura 20. Interfaz de Presentación.



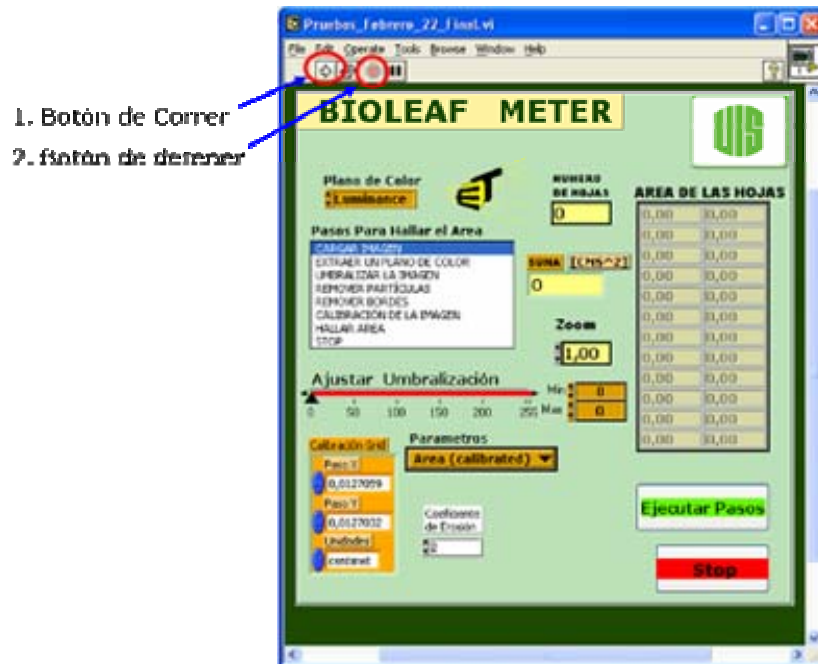
3.4.1 PANEL FRONTAL

En esta plantilla de visualización se tienen controles de diversos colores para un manejo amigable. Se explican a continuación para su correcta manipulación y la obtención de áreas con gran precisión.

3.4.1.1 Iconos Principales de LabVIEW

Los iconos principales en el panel frontal de LabVIEW son **Run**, **Run Continuously**, **Abort Execution** y **Pause**. Estos botones permiten acceder al programa y lo detienen.

Figura 21. Botones Principales



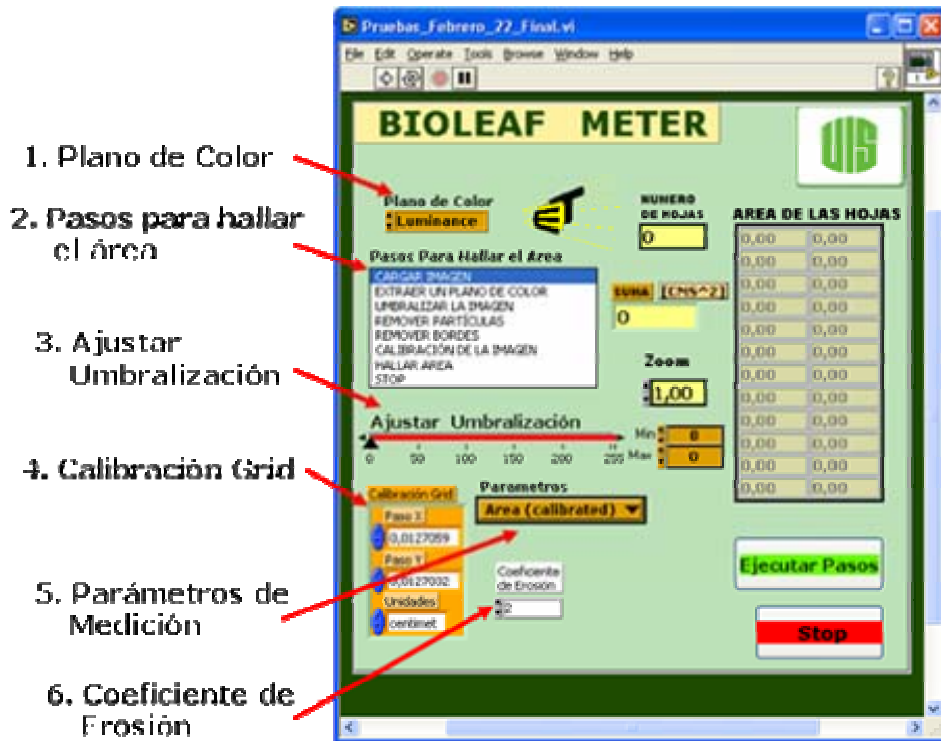
1. Botón de Correr
2. Botón de detener

En la figura 21 se indican los dos botones principales para ejecutar un programa en LabVIEW: **Run** y **Abort Execution**. Run se utiliza para ejecutar el programa y **Abort Execution** se usa para interrumpir la ejecución del programa, no se debe usar regularmente porque estas interrupciones hacen inestable la interfaz por la acumulación de datos en los **clusters**. Al lado de estos accesos se ubican: **Run Continuously** que se usa para correr el programa continuamente y **Pause** que se utiliza para pausar la ejecución.

3.4.1.2 Iconos de la Interfaz

A continuación se explica el significado e indicaciones para una correcta utilización de cada uno de los iconos que conforman la interfaz BIOLEAF METER.

Figura 22. Accesos directos de la Interfaz



En la figura 22 se ilustran algunos de los iconos que llevan a cabo tareas específicas, tal como:

1. Plano de color.

Este icono indica el plano que se escoge para extraerlo de una imagen RGB o HSL, a procesar. Al extraer un plano de color, sea rojo, verde, azul, matiz, luminancia, saturación, intensidad y valor; se obtiene una imagen en escala de grises de 8 bits. Se debe buscar el plano adecuado a cada tipo de verde de las hojas. Por ejemplo en una imagen con hojas de verde oscuro, se recomienda extraer el plano de luminancia en donde se obtiene una imagen de colores oscuros, tonalidades de grises oscuros y fondo claro (grises claros).

2. Pasos para hallar el área.

Este cuadro de texto registra los pasos que se ejecutan durante el programa. Estos pasos se ejecutan uno tras de otro al procesar una imagen y se pueden interrumpir cuando se requiera, con el botón **Stop**. En el orden que aparecen, de arriba hacia abajo, son: cargar imagen, extraer un plano de color, umbralizar imagen, remover partículas, remover bordes, calibración de la imagen, hallar el área y stop. Cada vez que se ejecuta un paso con el botón **Ejecutar Pasos**, este se resalta en azul.

3. Ajustar umbralización

Este icono es un control deslizante que varia en un rango de 0 a 255 y tiene una ventana de visualización en donde se registra la variación del control deslizante. Se usa para ajustar el nivel de umbralización de una imagen (imagen en rojo). Al iniciar el programa, el control y la ventana de visualización están en cero. Se recomienda al usuario establecer inicialmente, el cursor blanco en cero y el negro, alrededor de 130.

4. Calibración **Grid**.

En este icono se ajustan los pasos de calibración de la plantilla que por defecto tiene el programa. Se puede ajustar el paso en el eje X y el paso en el eje Y, con su correspondencia en unidades del mundo real. Para el escáner utilizado el cálculo de los pasos es el siguiente:

$$\text{Paso en el eje X} = \frac{\text{unidades del mundo - real}}{\text{resolución del escáner en el eje x}} = \frac{21,6 \text{ Cms}}{1700 \text{ píxeles}} = 0,0127059 \text{ Cms}$$
$$\text{Paso en el eje Y} = \frac{\text{unidades del mundo - real}}{\text{resolución del escáner en el eje y}} = \frac{29,7 \text{ Cms}}{2338 \text{ píxeles}} = 0,0127032 \text{ Cms} \quad \text{Ecu. 1}$$

El cálculo de los pasos se puede modificar siguiendo la ecuación 1.

5. Parámetros

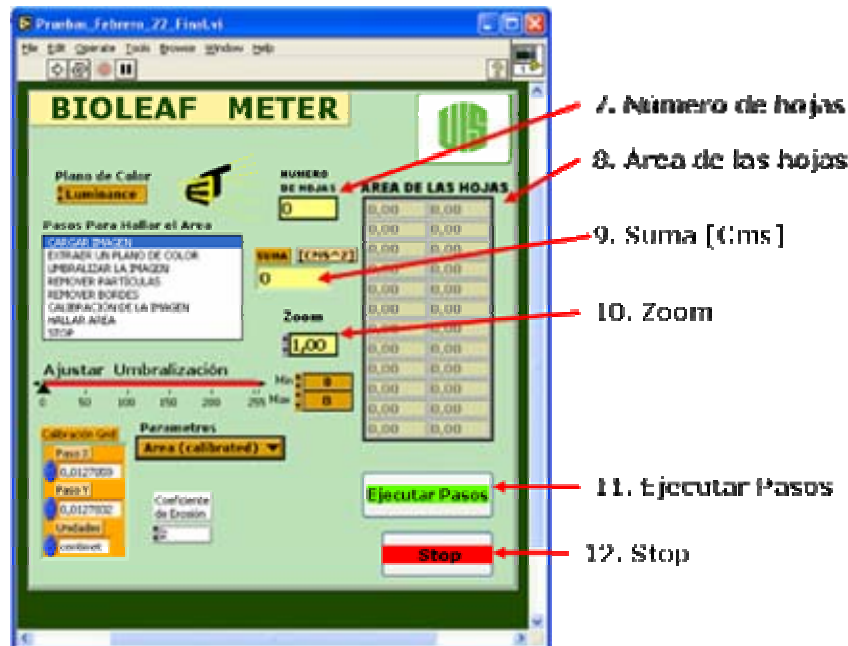
En esta ventana se visualiza el parámetro que se quiere analizar, en este caso el área de la hoja. Se puede escoger otros parámetros tal como: huecos, número de huecos, área escaneada, entre otros.

6. Coeficiente de Erosión

Este coeficiente se usa para remover las partículas no deseadas en la imagen. El programa hace un barrido sobre la imagen cada vez que se incrementa el coeficiente buscando partículas aisladas en el fondo para su remoción.

En la figura 23 se muestran los iconos restantes que hacen parte de la plantilla de presentación.

Figura 23. Accesos directos de la Interfaz.



7. Número de hojas

Indica el número de objetos o de hojas presentes en la imagen.

8. Área de las hojas

Esta ventana es un arreglo en 2-D que permite almacenar temporalmente los datos de los objetos escaneados. Aquí se muestra el área de cada hoja.

9. Suma [CMS^2]

En esta ventana se visualiza la suma total de las hojas escaneadas.

10. **Zoom**

Esta opción permite al usuario ver el tamaño completo de la hoja. Por defecto debe ubicarse en valores negativos. Para el caso de las imágenes tratadas en el proyecto se utiliza un **Zoom** de: - 4.

11. Ejecutar Pasos

Este botón permite ejecutar el programa paso a paso, según se indica en la ventana de texto (icono 2) y se usa después de que el botón de correr de la ventana principal de LabVIEW está en rojo. Cuando se está ejecutando el programa aparece un nombre sobre el que dice: **Procesando.**

12. **Stop**

Este icono permite detener el proceso en cualquier paso de la ejecución del programa.

4 MÉTODOS Y RESULTADOS

En este capítulo se usó el algoritmo directo con el escáner para medir el área de figuras conocidas (círculos, triángulos, cuadrados) y compararla con el método indirecto, el gravímetro. Se eligió un patrón cuadrado de color negro de 25 Cms. para ser tomado como referencia en las imágenes de las hojas de cacao escaneadas y fotografiadas.

4.1 ÁREA OBTENIDA CON EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO

El método gravimétrico se basa en la comparación del peso del papel recortado del dibujo al trazo de la hoja (fotocopias de las hojas usadas), con el peso de áreas conocidas en el mismo papel. De esta manera se obtiene una medida del área, [Lal y Subba Rao, 1951].

Para tomar las mediciones del área de la hoja de cacao con el método gravimétrico se procede de la siguiente manera:

1. Se cortan las hojas de cacao.
2. Se sacan tres (3) muestras circulares a cada hoja con un cortador.
3. Las hojas se someten a un secado de 48 horas para uniformizar la superficie y evitar alteraciones en el pesado por la cantidad de asimilados presentes.
4. Pesar las hojas secas con sus discos en una balanza electrónica de precisión para obtener el peso total de la hoja. En este caso la balanza usada tiene una sensibilidad de 0,001 *grs.*

5. Pesar los discos de cada hoja por separado para obtener un peso promedio de estos. Esto se hace porque en cada disco varía el peso debido a la cantidad de asimilados
6. Aplicar el método matemático de regla de tres simple para hallar el área de las hojas teniendo un área conocida de un disco como patrón, así:

Pt = Peso Total de la hoja completa.

Ppd = Peso promedio de los discos.

Ad patrón = Área conocida de un disco, tomado como patrón.

$$\text{Área de la hoja completa} = \frac{Pt * Ad \text{ patrón}}{Ppd} \text{ [unidades Ad] } \quad \text{Ecuación 2}$$

4.2 ÁREA OBTENIDA CON EL MÉTODO DIRECTO

Este método directo se diseñó con software de IMAQ Vision, se automatizó con LabVIEW y se implementó con el escáner (ColorPage Vivid III V2 de Genius) y una cámara digital.

4.2.1 MÉTODO DIRECTO UTILIZANDO EL ESCÁNER

Para medir el área de las hojas utilizando el escáner se procede de la siguiente manera:

1. Se corta la hoja de la planta sin el pecíolo.
2. Se escanea la hoja sin que toque los bordes del escáner.
3. Se archiva la imagen capturada.
4. Se mide el área de la hoja con el algoritmo diseñado.

4.2.2 MÉTODO DIRECTO UTILIZANDO LA CÁMARA

El área de las hojas se mide de la siguiente forma:

1. Se corta la hoja de la planta sin el pecíolo.
2. Se toma la foto a la hoja sobre una superficie rectangular (en este caso de 50×35 Cms) previamente diseñada de color blanco y bajo iluminación de la luz del día y a una distancia de trabajo de 40 Cms.
3. Se baja el archivo de la imagen de la hoja digitalizada.
4. Se mide el área de la hoja con el algoritmo diseñado.

4.3 RESULTADOS

Se escogieron aleatoriamente cinco (5) hojas de Cacao para tomar las medidas de su área con los métodos: indirecto y directo. A continuación se muestran estas mediciones.

4.3.1 MÉTODO INDIRECTO: GRAVIMÉTRICO

En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos aplicando los cinco (5) primeros pasos del método gravimétrico.

Tabla 3. Peso de las hojas de cacao

PESO DE HOJAS DE CACAO en grs.					
	Disco 1	Disco 2	Disco 3	Promedio	Peso Total
Hoja 1	0,029	0,0394	0,0352	0,03453	2,63
Hoja 2	0,022	0,0218	0,0212	0,02167	0,71
Hoja 3	0,0188	0,019	0,0188	0,01887	0,58
Hoja 4	0,0253	0,0268	0,025	0,02570	0,92
Hoja 5	0,0266	0,0272	0,0268	0,02687	0,99

El área conocida del disco patrón es: $Ad_{patrón} = 4,285 \text{ Cm}^2$. Para hallar el área de la hoja 1, se aplica la *Ecu. 3.1*. Este es un ejemplo:

$$Pt = 2,63 \text{ grs.}$$

$$Ppd = 0,03453 \text{ grs.}$$

$$Ad_{patrón} = 4,285 \text{ grs.}$$

$$Area \text{ de la hoja completa} = \left(\frac{2,63 * 4,285}{0,03453} \right) = 326,338 \text{ Cm}^2$$

Las restantes áreas se muestran en la tabla 3.

Tabla 4. Área de las hojas de Cacao

Área Por Gravimetría	
Hoja 1	326,338
Hoja 2	140,416
Hoja 3	131,730
Hoja 4	153,393
Hoja 5	157,896

4.3.2 MÉTODO DIRECTO: EL ESCÁNER

En la tabla 4, se muestran los resultados obtenidos con el algoritmo diseñado en IMAQ Vision para LabVIEW, utilizando el escáner.

Tabla 5. Área de las hojas de Cacao con el Escáner.

Escáner	ÁREA DE HOJAS DE CACAO en Cms ² Escáner				
	Disco 1	Disco 2	Disco 3	Promedio	Área Total
Hoja 1	4,36	4,36	4,4	4,3733	302,31
Hoja 2	4,38	4,36	4,32	4,3533	130,8
Hoja 3	4,29	4,31	4,4	4,3333	116,89
Hoja 4	4,25	4,4	4,33	4,3267	143,94
Hoja 5	4,37	4,36	4,41	4,3800	146,81

4.3.3 MÉTODO DIRECTO: LA CÁMARA DIGITAL

Los resultados obtenidos con el algoritmo diseñado en IMAQ Vision Builder de LabVIEW, utilizando la cámara, se muestran en la tabla 5.

Tabla 6. Área de la hoja con la Cámara Digital.

FOTOS	Área de la Hoja de Cacao en Cm ² Fotografía				
	Disco 1	Disco 2	Disco 3	Promedio	Área Total
Hoja 1	4,67	4,73	4,68	4,693	311,15
Hoja 2	4,7	4,6	4,68	4,660	141,47
Hoja 3	4,62	4,37	4,19	4,393	122,47
Hoja 4	4,53	4,5	4,36	4,463	150,83
Hoja 5	4,69	4,7	4,43	4,607	153,63

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las tablas anteriores se observan variaciones en las distintas medidas del área de las hojas de cacao. A continuación se cuantifica esas diferencias para tener una magnitud del error con el método indirecto y los directos.

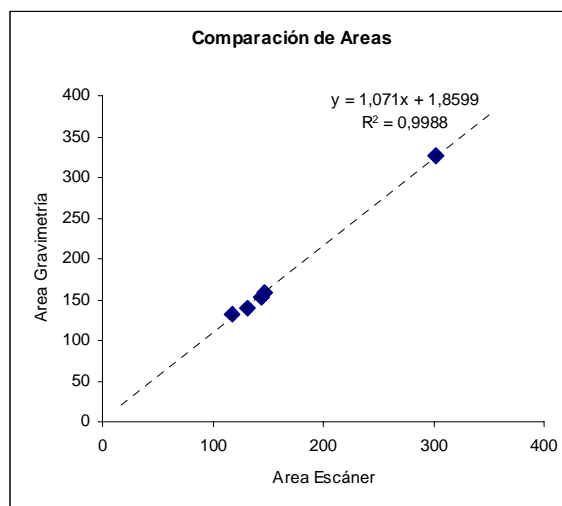
En la tabla 6, se ilustra error del método gravimétrico y de la cámara respecto al escáner.

Tabla 7. Porcentaje de Error Respecto al Escáner

PORCENTAJE DE ERROR CON RESPECTO AL ESCÁNER (%)		
	Método Indirecto	Método Directo
	Gravimétrico	Cámara
Hoja 1	7,95%	2,92%
Hoja 2	7,35%	8,16%
Hoja 3	12,70%	4,77%
Hoja 4	6,57%	4,79%
Hoja 5	7,55%	4,65%

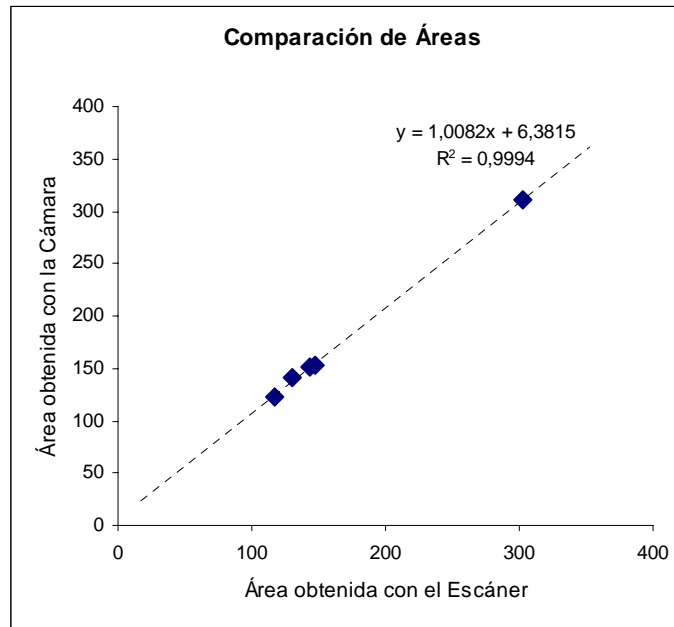
En la siguiente gráfica, figura 24, se ilustra el comportamiento de las mediciones del área de la hoja con el Escáner comparada con la del método gravimétrico. Los datos aparecen en forma de puntos al lado de una línea trazada a 45° que representa una correlación positiva perfecta. Para la gráfica, se halló una correlación de 0,9968 con respecto a la línea central. Esto nos da una idea de la precisión del método directo.

Figura 24. Comparación de áreas Escáner Vs Gravimetría



La Figura 25, muestra la dispersión de los datos del área del escáner respecto a la de la cámara. Se ajusta una recta a estos de datos, cuya ecuación es: $Y = 1,0082 * X + 6,3815$ y el factor de correlación es: 0,9994.

Figura 25. Comparación de áreas Escáner Vs Cámara



Para corroborar la efectividad de la cámara, por su versatilidad con respecto al escáner, se compararon las mediciones de ésta con la gravimetría.

4.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO DIRECTO E INDIRECTO

Es importante resaltar la variación de la medición del área de la hoja utilizando el método gravimétrico respecto al método utilizando el escáner.

Método Gravimétrico	Método utilizando el escáner
Necesita sacar bocados (muestras circulares)	No necesita
Necesita tiempo de secado 48 horas	No necesita
Necesita una balanza electrónica calibrada	No necesita
Se calcula el área mediante el promedio del área de varias hojas aplicando regla tres.	El área se calcula directamente sobre la hoja escaneada.

Cabe resaltar la facilidad y la forma práctica que ofrece el método directo propuesto (escáner), respecto al indirecto gravimétrico.

La correlación obtenida del escáner respecto a la gravimetría y a la cámara es cercana a uno, lo que indica una gran precisión.

4.6 ELECCIÓN DEL MEJOR PLANO PARA UMBRALIZAR.

Se toma como referencia un archivo de una hoja de cacao, el cual se muestra a continuación:

Figura 26. Hoja de cacao con discos



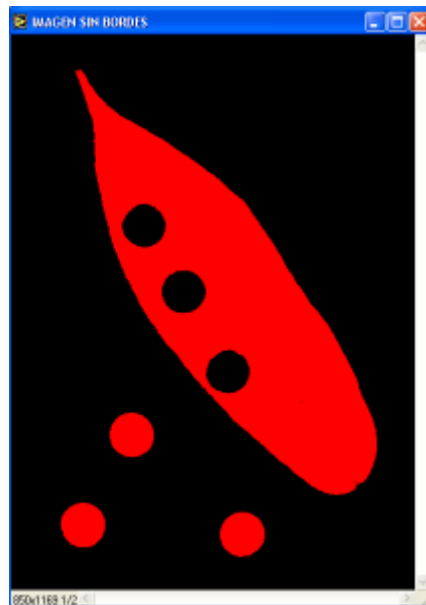
Con la figura 26, se prueban los 8 planos de color a extraer de una imagen para saber con cual se obtiene la mejor imagen en escala de grises para una umbralización correcta, esto es, sin desbordar el contorno de la hoja umbralizada.

Tabla 8 Elección del mejor plano para umbralizar

Planos Extraídos	Áreas (cms ²)				Rango Umbralización
	Hoja	Disco 1	Disco 2	Disco 3	
Hue	133,24	4,42	4,47	4,46	10 - 170
Blue	131,4	4,31	4,34	4,34	0 - 170
Red	128,5	4,19	4,29	4,26	0 - 170
Saturación	132,37	4,36	4,38	10 - 170	
Luminance	124,83	4,01	4,22	4,14	10 - 170
Value	113,33	3,52	3,88	3,62	10 - 170
Intensity	129	4,19	4,28	4,25	10 - 170
Green	113,36	3,52	3,88	3,62	10 - 170

A continuación se muestra por pares la umbralización obtenida con cada plano extraído de la tabla 7.

Figura 27. Extracción de planos



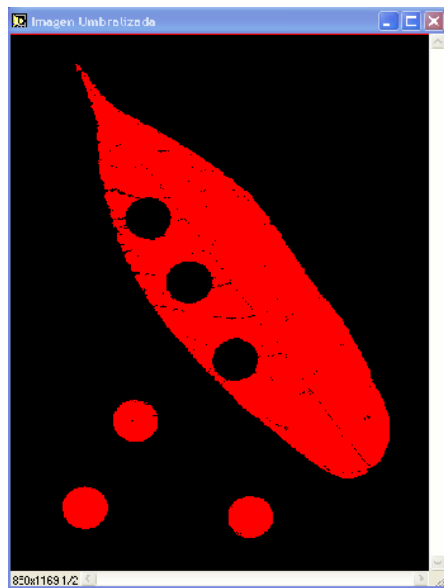
Extracción plano Hue



Extracción plano Blue

En la figura 27 se muestra la extracción del plano Blue, observándose fisuras que omiten píxeles a binarizar y por lo tanto, una menor área.

Figura 28. Extracción de planos



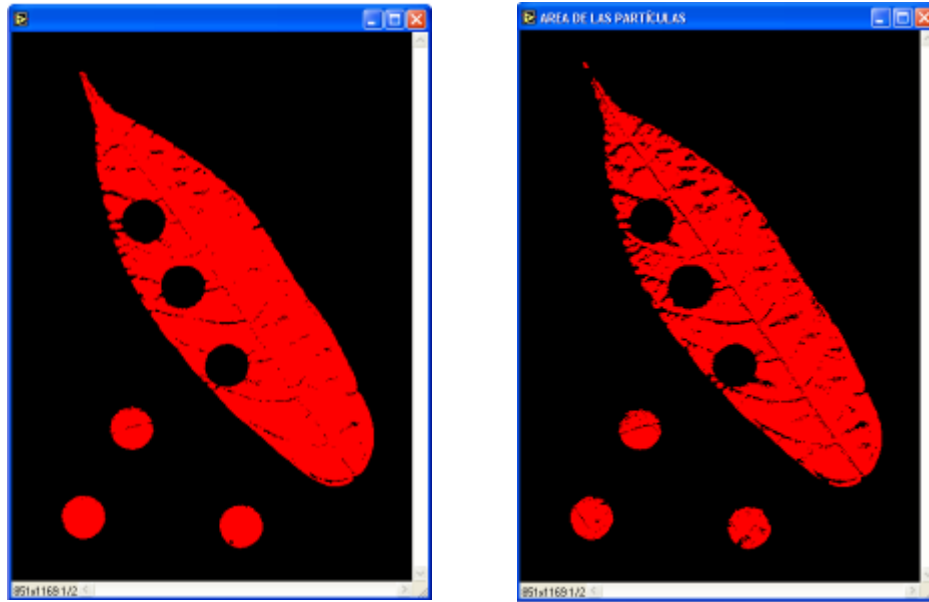
Extracción plano Red



Extracción plano Saturación

En la figura 28 se observan fisuras en la extracción del plano Red, lo que conlleva a una pérdida de área por ausencia de píxeles.

Figura 29. Extracción de planos

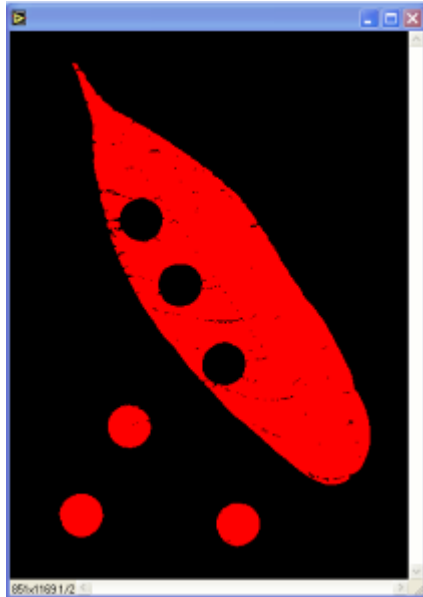


Extracción plano Luminance

Extracción plano Value

En la figura 29, se observan fisuras en los resultados finales de las figuras umbralizadas, lo que representa una pérdida de área final por omisión de píxeles debido a que estos planos extraídos resaltan los tonos claros en la escala de grises de la imagen tratada. Las áreas están registradas en la tabla

Figura 30. Extracción de planos: *Intensity* y *Green*



Extracción del plano *Intensity*



Extracción del plano *Green*

La figura 30 muestra las umbralizaciones con más pérdidas de píxeles debido a que estos planos introducen tonos claros en la imagen en escala de grises.

Si se fija **BIOLEAF METER** en una extracción por defecto de 8 bits, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 9 Extracción del plano de 8 bits por defecto.

Planos Extraídos	Áreas (cms ²)				Rango Umbralización
	Hoja	Disco 1	Disco 2	Disco 3	
8 bits	129,17	4,2	4,3	4,27	10 - 170
8 bits	131,63	4,32	4,36	4,35	0 - 170

Lo que representa una menor área debido a pérdida de píxeles por tonos de grises claros.

Haciendo una correcta umbralización en IMAQ Vision, se obtiene:

Tabla 10. Umbralización en IMAQ Vision con la extracción del plano **Blue**.

Planos Extraídos	Áreas (cms ²)				Rango Umbralización
	Hoja	Disco 1	Disco 2	Disco 3	
Blue	132,08	4,34	4,37	4,37	0 – 195

Si se fija **BIOLEAF METER** en la extracción por defecto del plano de 8 bits, se obtiene:

Tabla 11. Umbralización en **BIOLEAF METER** extrayendo el plano de 8 bits por defecto

Planos Extraídos	Áreas (cms ²)				Rango Umbralización
	Hoja	Disco 1	Disco 2	Disco 3	
8 bits	131,63	4,32	4,36	4,35	0 – 195

4.6.1 ANÁLISIS DE ERRORES EN LA EXTRACCIÓN DE LOS PLANOS

A continuación se analiza el porcentaje de error encontrado con respecto a la imagen de umbralización óptima, en este caso fue la imagen tratada con el plano **Hue**.

Tabla 12. Análisis de error respecto al plano Hue

Planos Extraídos	Análisis de error respecto al plano Hue			
	Hoja	Disco 1	Disco 2	Disco 3
Blue	1,38	2,49	2,91	2,69
Red	3,56	5,20	4,03	4,48
Saturación	0,65	1,36	2,01	1,79
Luminance	6,31	9,28	5,59	7,17
Value	14,94	20,36	13,20	18,83
Intensity	3,18	5,20	4,25	4,71
Green	14,92	20,36	13,20	18,83

En la tabla 11, el segundo mejor plano extraído es la *Saturación* y el tercero el *Blue*; con errores del 0,65% y 1,38%, respectivamente.

Tabla 13. Análisis de error respecto al plano Hue con una imagen en 8 bits

Planos Extraídos	Hoja	Disco 1	Disco 2	Disco 3
8 bits	3,05	4,98	3,80	4,26
8 bits	3,05	4,98	3,80	4,26

Para la tabla 12, se fija en IMAQ Create una imagen en 8 bits, para obtener de entrada una imagen en escala de grises. El error que se obtuvo es del 3,05% para ambos rangos de umbralización.

Tabla 14. Análisis de error respecto a la extracción del plano Blue en IMAQ Vision

Planos Extraídos	Hoja	Disco 1	Disco 2	Disco 3
Blue	0,87	1,81	2,24	2,02

En la tabla 13, se observa el error respecto a una correcta umbralización en IMAQ Vision, el error es de 0,87%. Es de aclarar que con IMAQ Vision se hacen los análisis de imágenes de referencia por lo que se puede decir que esta es una umbralización correcta y se puede tomar como referencia. Además el rango de umbralización aumenta hasta 195.

Tabla 15. Análisis de error respecto a la extracción del plano de 8 bits en BIOLEAF METER

Planos Extraídos	Hoja	Disco 1	Disco 2	Disco 3
8 bits	1,21	2,26	2,46	2,47

En la tabla 14, se muestra el error obtenido con *BIOLEAF METER* respecto al plano *Hue*.

5 PARTE EXPERIMENTAL

En esta sección se explica una breve introducción al diseño de algoritmo en IMAQ Vision Builder y su automatización en LabVIEW.

5.1 INTRODUCCIÓN A IMAQ Vision

Esta sección describe la terminología específica para la comprensión del software que se utiliza para elaborar algoritmos. La mejor manera de aprender como trabaja IMAQ Vision y lo que se puede lograr cuando se usa.

IMAQ Vision es un paquete de software para aplicaciones con prototipos de visión, aprendizaje y probado de máquinas de visión y trabajo con funciones de procesamiento de imágenes.

Se inicia con un corto ejemplo, se carga la imagen en IMAQ Vision y se realiza una función de procesamiento de imagen, *una umbralización*. Umbralizando objetos aislados tal que se conserven los que interesen y se remuevan los que no. La umbralización convierte una imagen en escala de grises, con valores de píxel en un rango de de 0 a 255, en una imagen binarizada los valores de píxel son de 0 ó 1.

Siguiendo estos pasos se inicia en IMAQ Vision :

1. Iniciar IMAQ Vision desde el menú inicio: (`Inicio>Programas>National Instruments IMAQ Vision`).
2. Cargue las imágenes, seleccione el botón `open Image` de la ventana de bienvenida.

3. Navegando en: `archivos de programa\National Instruments\IMAQ Vision\Examples\Metal` ó la ruta en donde se encuentren las imágenes, revise la opción `select All Files`. IMAQ Vision hace la presentación previa de las imágenes en la ventana `Preview Image` y despliega la información sobre el tipo de archivo y la profundidad de la imagen.

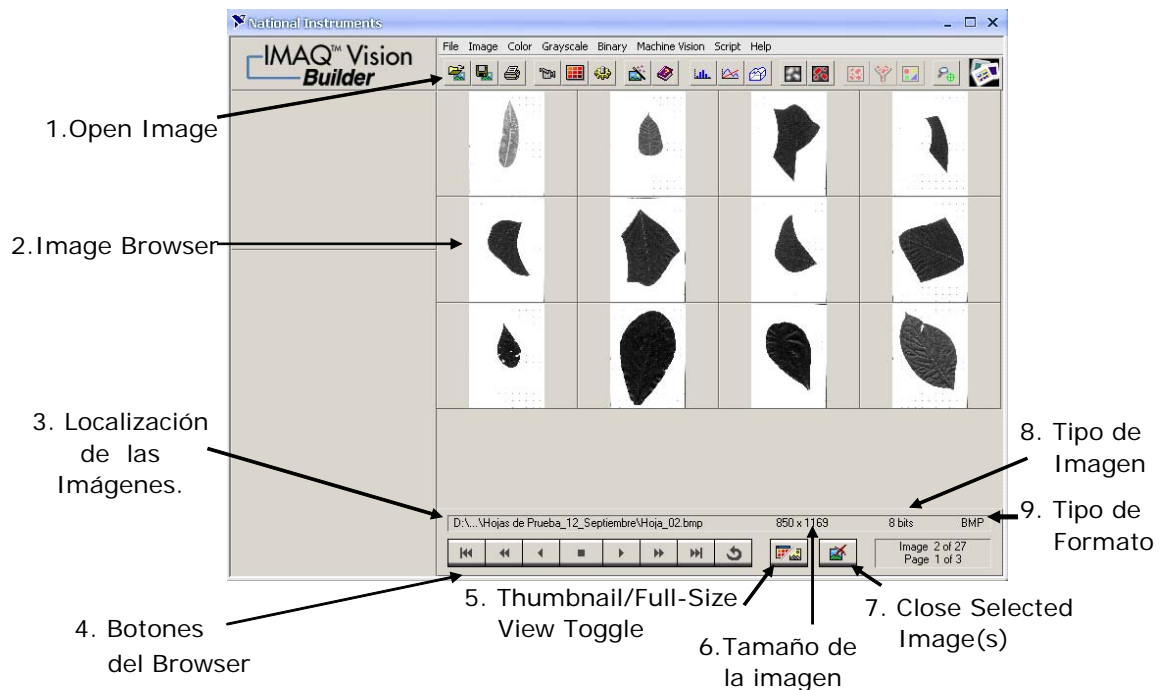
4. Hacer Click en `OK`.

IMAQ Vision carga los archivos de las imágenes dentro de `Image Browser`, como se muestra en la **Figura 1**. `Image Browser` provee información sobre la imagen seleccionada, tal como el tamaño de la imagen y el tipo.

Nota: Las imágenes que aparecen en el Browser son archivos de Hojas escaneadas usados para determinar áreas de prueba dentro del proyecto.

Se pueden ver nuevas imágenes en una visualización pequeña, como se muestra en la **Figura 6**, o en una visualización completa, la cual muestra una visualización completa de una imagen seleccionada.

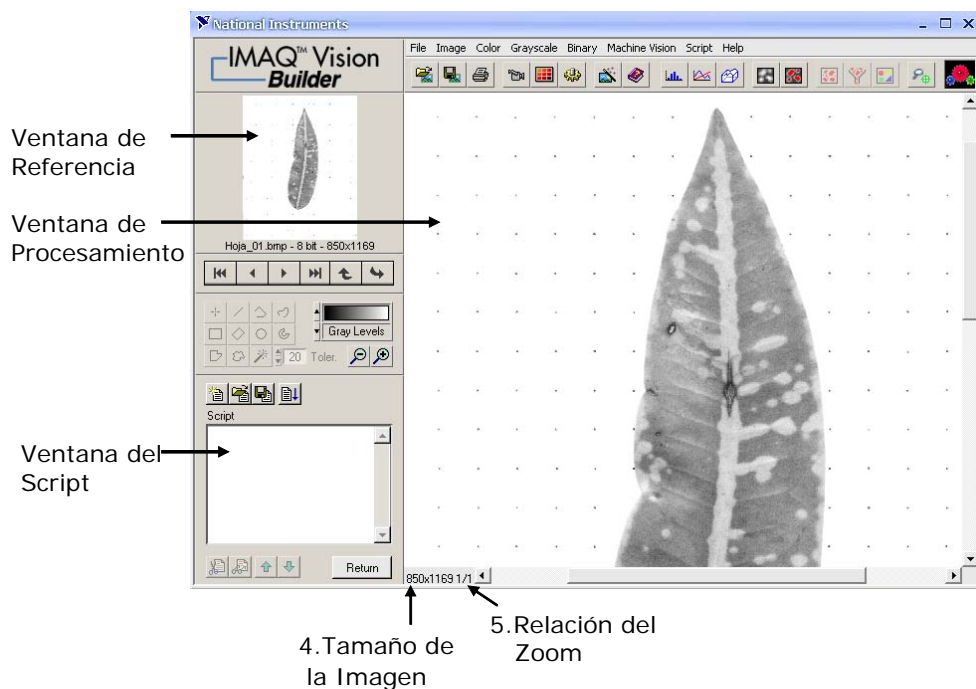
Figura 31. Image Browser





5. Haciendo Clic en el botón **Thumbnail/Full-Size View Toggle** se visualiza la primera imagen en la pantalla completa.
6. Para iniciar el procesamiento, se hace doble-click en la imagen **Hoja_01.bmp**. IMAQ Vision carga la imagen dentro de la ventana de procesamiento, como se muestra en la **Figura 7**.
7. Observar en la ventana de Referencia la imagen original que se manipula en la ventana de Procesamiento. Así mismo, la ventana del Script, el tamaño de la imagen y la relación de Zoom en la ventana de IMAQ Vision.

Figura 32. Thumbnail/Full-Size View Toggle



8. Seleccionar **Grayscale»Threshold**. La ventana con el parámetro Umbralización (**Threshold**) aparece en la parte baja de la esquina izquierda de la ventana de IMAQ Vision, como se muestra en la **Figura 8**. El parámetro de umbralización despliega en la ventana un Histograma que cuenta el número total de píxeles en cada valor de la escala de grises y lo

gráfica. En la gráfica, se puede distinguir si la imagen contiene distintas regiones de ciertos valores de grises, y se pueden seleccionar regiones de píxeles en la imagen. Por ejemplo, si el fondo de una imagen es negro y se quiere removerlo, se puede seleccionar un rango de valores cercanos a 255 (blanco).

La ventana de Procesamiento despliega una previsualización de la operación de umbralización usando el juego corriente de parámetros. Los píxeles de color rojo tienen intensidades que caen dentro del rango de umbralización. El operador de umbralización fija sus valores a 1. Los píxeles de color en gris tienen valores fuera del rango de umbralización. El operador de umbralización fija sus valores a 0.

9. Desde la ventana del parámetro de umbralización, se sitúa específicamente lo que mejor trabaja para su aplicación. Para umbralizar esta imagen, se fija el **Min** valor en 0 y el **Máx.** valor en 143 para la selección de todos los objetos.

Nota: Se puede necesitar, para manipular los parámetros varias veces, encontrar los valores que trabajan mejor. Mejor que introducir números en los campos de **Min.** y **Máx.**, se puede seleccionar el rango usando los punteros del histograma. Ajustando los punteros hasta que todos los objetos seleccionados estén en rojo. El puntero negro marca el mínimo valor, y el puntero blanco marca el máximo valor.

Figura 33. Umbralización de una imagen

6 CONCLUSIONES

- El área foliar es un parámetro muy importante en la evaluación del crecimiento de las hojas de las plantas y la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones hace un aporte de bajo costo en Hardware y Software para solucionar el problema que tenía la escuela de Biología con el seguimiento de las plantas en crecimiento.
- En el desarrollo de este trabajo se muestra que el método directo propuesto por los autores utiliza tratamiento digital de imágenes esta es una gran ventaja sobre los otros métodos indirectos, por que se trata la hoja directamente y así el calculo del área foliar se hace más exacto
- En este trabajo de grado se implementa un algoritmo en LabVIEW, que permite calcular el área foliar y a su vez se puede determinar el área de figuras geométricas que tengan forma regular e irregular.
- El extraer un plano de color RGB o HSL apropiado a una imagen, permite obtener una nueva en escala de grises lo suficientemente definida para evitar perdidas de píxeles al umbralizar.
- El escáner es un dispositivo electrónico que nos permite digitalizar una imagen bajo condiciones controladas de iluminación y calibración a pesar de su tamaño y las limitaciones de operación en trabajo de campo.
- La cámara digital es muy práctica a la hora de almacenar imágenes, de transportarla y de trabajar en campo. Sin embargo la captura de imágenes requiere cuidados con la iluminación y con la distancia de trabajo.

- El escáner está en desventaja respecto a la cámara digital, pero el volumen de imágenes y objetos no digitalizados es muy alto en todos los ámbitos. Además de la disponibilidad, su fácil manejo y bajo costo; este dispositivo tiene un uso significativo cuando se toma imágenes de la superficie de los objetos, revelando detalles morfológicos sin condiciones especiales de iluminación.
- La correlación cercana a uno, obtenida en las pruebas con las hojas de cacao indica que hay gran precisión en la medición del área de las hojas con el método directo propuesto.
- El error del método gravimétrico al medir el área de las hojas de cacao con respecto al escáner se sitúa entre un 6,57% y un 12,70%.
- El error del método directo a la hora de medir el área de la hoja de cacao con la cámara respecto al escáner se sitúa entre un 2,92% y un 8,16%.

7 RECOMENDACIONES

- Verificar la precisión y exactitud de la interfaz BIOLEAF METER confrontando sus mediciones con un método directo de software especializado tal como el planímetro óptico.
- Extraer el plano de color **Hue, saturación** y **blue** en las imágenes a tratar debido a que con ellos se obtienen imágenes uniformes en la escala de grises de tonalidad oscura, evitándose pérdidas al umbralizar por presencia de tonos claros y por la aparición de aliasing en los bordes de la imagen por rangos altos de umbralización.
- Se recomienda el formato de archivo *.jpg para guardar las imágenes capturadas con el escáner y ahorrar espacio.

8 REFERENCIAS

[Ackley, 1958] Ackley, W.B.; Crandall, P.C. and Rusell, T.S. The use of linear measurements in estimating leaf areas. Amer. Soc. Hort. Sci. 72:327-330, 1958.

[ASCENCIO, 1985] Ascencio Julio. Determinación del área foliar en plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y batata (*Ipomoea batatas* (L.) Poir.), utilizando dimensiones lineales y de peso seco de las hojas. Torrealba, Maracaibo, Venezuela, 1985.

[LAL, K y M. SUBBA RAO, 1951] LAL Joseph, A rapid method of leaf area determination. Nature, pag. 167:172, England, 1951.

[Barthlott 90] Barthlott W., Scanning electron microscopy of the epidermal surface in plants. In "Scanning Electron Microscopy in Taxonomy and Functional Morphology" (D. Claugher, Ed.) pp. 69-83. Systematics Association Special Volume No. 41, Clarendon Press, Oxford, 1990.

[SANOJA B., M.J., 1983] Estimación de área foliar de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en las localidades de Mariara, Estado Carabobo y Tucutunemo, Estado Aragua. U.C.V. Facultad de Agronomía. Tesis de grado, 1983.

[M.I.Stoppani, 2004] M.I. Stoppani, N. Francescangeli, H. Martí. Evaluación del tamaño del contenedor para la producción de Brócoli (*Brassica oleracea* L. var italica) organopónico sobre Lombricompost. Agrícola vergel: Fruticultura, horticultura, citricultura, vid, arroz. ISSN 0211-2728, Año 23, N°. 272, Págs. 417-420, Madrid, 2004.

[Naesset 05] Erick Naesset, Ole Martin Bollandas, and Terje Gobakken. Comparing regresión methods in estimation of biophysical properties of forest stands from two different inventories using laser scanner data. Remote Sensing of Environment, 94(4):541-553, 2005

[Natura 02] Botánica, Organografía, Las hojas 1ª parte, Dirección en Internet: http://natureduca.iespana.es/botan_hojas.htm

[Botanico 03] Diccionario de Botánica, Dirección de Internet: <http://www.gestialba.com/public/botanico/botancastn01.htm>

[Encarta 05] Microsoft Student 2006 DVD, Microsoft Corporation©®, 1993-2005, Reservados todos los derechos.

[Murthy 97] S. Murthy, R. Akkiraju, J. Raclin, and F. Wu. Agent-based cooperative scheduling. In AAAI97 Workshop on Constraints and Agents. Pages 112--117, 1997. Available in: <http://citeseer.ist.psu.edu/172254.html>

[IMAQ 00] IMAQ Vision for LabVIEW, User Manual, pag 1, National Instruments Corporation, October 2000 Edition, USA.

[Dale 92] Dale, J. E., How do leaves grow? BioScience 42, pag. 323-332. 1992.

[Koslowski 02] Koslowski, T. T., Growth and Development of Trees. Vol. I Seed Germination Ontogeny, and Shoot Growth. Academic Press, New York, London, 1971.

[SAS Institute Inc., 1989] Sas Institute Inc. 1989. SAS/IML Software: usage and reference, Version 6, First Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc. 501 p.

[Norman 05] Campbell's Rule for Estimating Entropy Changes in Gas-Producing and Gas-Consuming Reactions and Related Generalizations about Entropies and Enthalpies / Norman C. Craig, Journal of chemical education, *ISSN 0021-9584*, Vol. 80, N° 12, 2003 , Pags. 1432-1436, American Chemical Society, United States, 2003.

[Crozier 06] Crozier, A., and Hillman, J.R., The Biosynthesis and Metabolism of Plant Hormones, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1984.

[Dickison 00] William C. Dickison, Integrative Plant Anatomy, Academic Press, Elsevier, USA, 2000.

[National Instruments] National Instruments, LabVIEW 6.1, United States, 1999, 2000.

[GONZÁLEZ R., WOODS R., 1992] González Rafael, Woods Richard, Tratamiento digital de imágenes, Capítulo. 7, Edit. Addison-Wesley Iberoamericana, S. A., 1996.

[Enter 05] Mauricio Jaramillo M., Consejos para sacarle jugo a su escáner, Revista Enter Edición 68, Casa Editorial El Tiempo, Abril, 2004.

[Enter 06] Mauricio Jaramillo M., Cómo editar imágenes digitales, Revista Enter Edición 55, Casa Editorial El Tiempo, Marzo 2003.

[IMAQ 02] IMAQ Vision Concepts Manual, Chapter 1 Digital Images, National Instruments Corporation, 2000.

[Fotonostra 02] El Escáner, Principio de Funcionamiento de un Escáner, dirección de Internet: <http://www.fotonostra.com>

ANEXOS

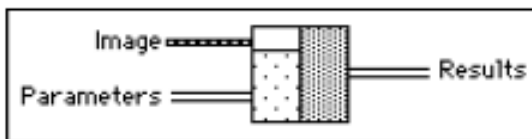
ANEXO A. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ESCÁNER

General	
Tamaño	423 x 260 x 110 mm
Peso	2,2 Kg.
Temperatura de funcionamiento	de 10 a 40° C
Área de digitalización:	216 mm x 297 mm
Método de digitalización:	Una sola pasada
Modo de digitalización:	Color a 36 bits o 48 bits Escala de grises a 12 bits Blanco o negro a 1 bit
Resolución:	600 x 1.200 puntos por pulgada ópticos (19.200 interpolados)
TWAIN	Compatible con la norma TWAIN
Conexión:	Puerto paralelo mejorado (EPP)
Garantía:	1 año desde la fecha de compra
Tipo de lámpara:	De cátodo frío
Transformador:	De CC 24 voltios y 550 mA
Consumo eléctrico:	En funcionamiento – máximo 13,2 vatios En espera – 6 vatios
CEM:	Clase B de la FCC

ANEXO B. CONSTRUCCIÓN EXTERNA DE UN VI DE IMAQ VISION

Dependiendo del tipo de función los VI se diseñan con diferentes combinaciones de entradas y salidas. Se pueden flexibilizar para acomodar las imágenes. Los VIs de IMAQ Visión para LabVIEW están estructurados externamente de la siguiente manera:

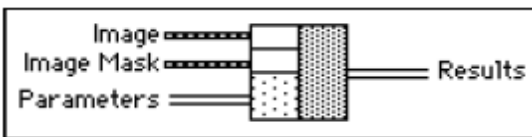
Figura 1 C.



En la anterior figura se muestra varios conectores de cuadro usado por IMAQ Vision. Estos conectores se aplican para entrar datos al VI y de ninguna manera modifican el tamaño o el contenido de la imagen.

Si se quiere introducir una **Image Mask**, para indicar que el procesamiento o el análisis depende de los contenidos de otra imagen. Se hace de la siguiente manera:

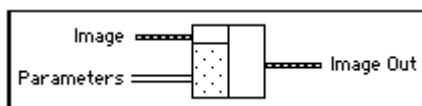
Figura 2-C.



Solo los píxeles en una imagen que está siendo procesada corresponden a los píxeles de una **Image Mask** que no son cero. Si el píxel tiene un valor de cero, no es cargado. La imagen tiene que ser en 8 bits.

El siguiente gráfico se muestra un conector que realiza una operación de relleno en una imagen:

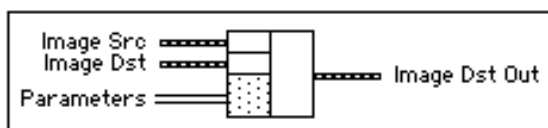
Figura 3-C



Ejemplos de este tipo de operación incluyen lectura de archivos, adquisición de imágenes de un dispositivo de IMAQ Vision, transformación de un arreglo de 2-D en una imagen. Este tipo de VIs puede modificar el tamaño de una imagen.

Los siguiente conectores de cuadro se aplican a un VI para que procesen una imagen:

Imagen 4-C



Este conector es el más común de IMAQ Vision. la entrada **Image Src** recibe la imagen a procesar e **Image Dst** recibe cualquier otra imagen o la misma entrada, dependiendo de la finalidad. Si se conectan dos imagenes diferentes a las entradas como se muestra en la imagen 4-C, la imagen original, **Image Src** no se modifica. Si las dos entradas reciben la misma imagen o si no se conecta Image Dst, la imagen procesada reemplaza a la imagen original como se muestra en la Imagen 5-C.

Imagen 5-C

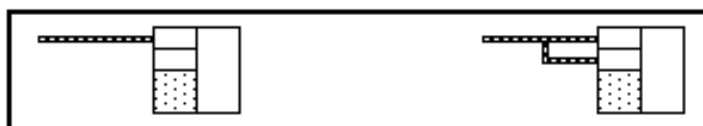
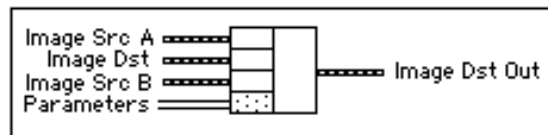


Image Dst, es la imagen que recibe el procesamiento de resultados y puede ser del mismo tamaño o de diferente tamaño al de la fuente.

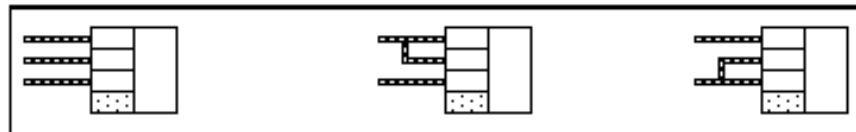
El siguiente conector de cuadro se aplica para VIs que realizan operaciones lógicas o aritméticas entre dos imágenes fuente A y B:

Imagen 6-C



Existen dos imágenes fuentes para la imagen destino, **Image Dst**. Los resultados de las operaciones realizadas entre ellas se almacenan en **Image Dst** o en alguna de las imágenes fuente, **Image Src A** o **B**. Estas conexiones se indican a continuación:

Imagen 7-C



En el cuadro de la izquierda, Imagen 7-C, las tres imágenes son todas diferentes. El resultado de las operaciones se almacena en **Image Dst**.

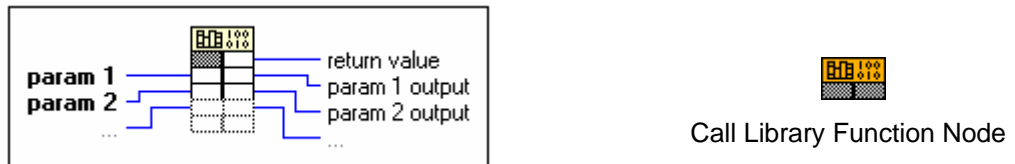
Para el cuadro central, la **Image Src A** se conecta a **Image Dst** con lo cual se sobre escriben sus datos.

Por último, en el cuadro de la derecha. **Image Src B** recibe los resultados de las operaciones y es sobrescrito.

ANEXO C.CONSTRUCCIÓN INTERNA DE UN VI DE IMAQ VISION

Cada VI de IMAQ Vision internamente está construido en base a un **Call Library Function Node**, librería de función de nodo. Este bloque llama directamente a un **DLL** (Dynamic Link Library) o a una librería de función de nodo compartida.

Imagen 1-D



En la imagen 1-D se muestra una **Call Library Function Node**. Esta librería de nodo soporta un gran número de tipos de datos y convenciones de llamadas.

Call Library Function Node consiste en un par de terminales principales de entrada y de salida. Se pueden usar uno o ambos terminales. Return value, retorna valores al nodo. Los pares adicionales corresponden a los parámetros de la lista de funciones llamadas de arriba hacia abajo. Se pasa un valor de una función cableandola a la terminal izquierda y se leen los valores de los parámetros despues de que la función llamada se cablea a la terminal derecha.

Haciendo Click derecho en el nodo y seleccionando **Configure** del menú, se despliega el cuadro de dialogo Call Library Function, con el cual se especifica la librería, el nombre de la función, convenciones de llamadas, parámetros,y se devuelve un valor al nodo. Cuando se da Click en el boton Ok, el nodo automaticamente se redimensiona para tener el número correcto de terminales y se configuran los tipos de datos.

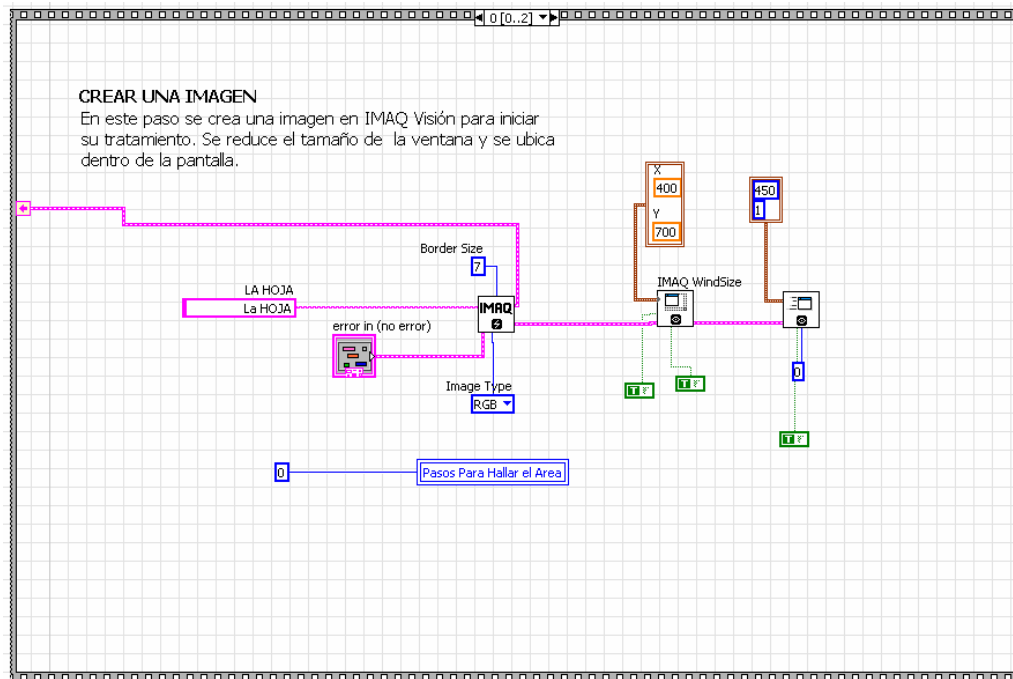
Si se requiere más información acerca de la configuración de Call Library Function Node ver el Capítulo 2, Shared Libraries (DLLs) del manual Using External Code in LabVIEW.

ANEXO D. DIAGRAMA DE BLOQUES DENTRO DE UNA ESTRUCTURA SECUENCIAL

A continuación se muestra el ordenamiento del diagrama de bloques dentro de una estructura secuencial principal que contiene un **IMAQ Create**, el cual crea la imagen en LabVIEW y su ubicación en la pantalla del computador, figura 34.

D 1. Estructura secuencial principal

Figura 34. Crear una imagen



Dentro de esta estructura secundaria se encuentra un **While** que hace posible la ejecución continua del algoritmo cada vez que se aumenta el contador, **Pasos para hallar el área** y contiene dos sub-estructuras secuenciales, figura 35

Figura 35. Extraer un plano de color

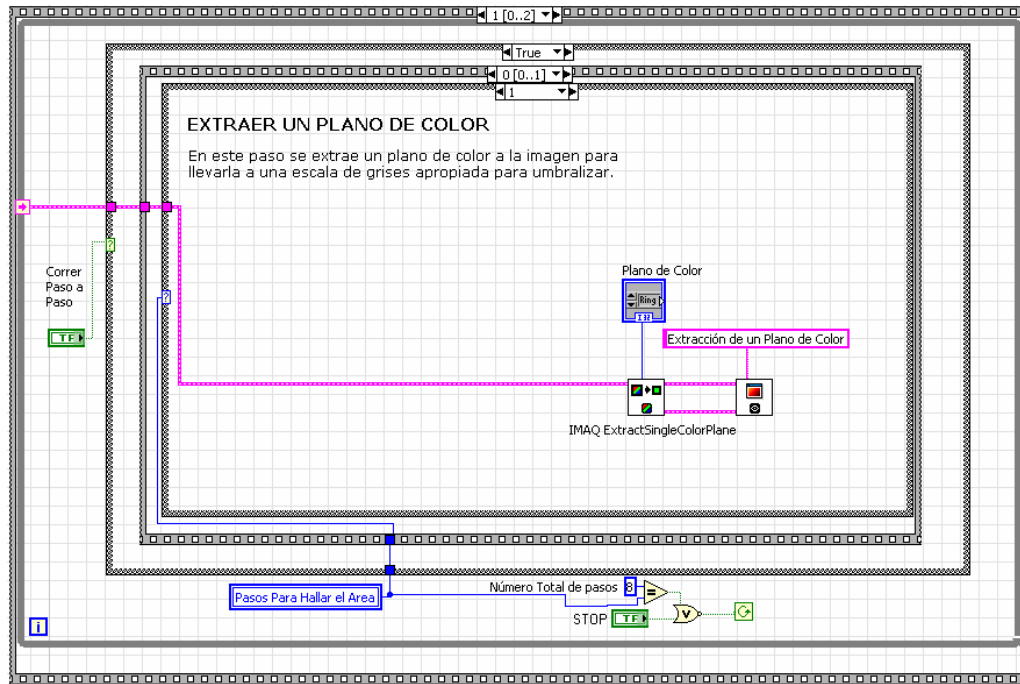


Figura 36. Umbralizar una Imagen

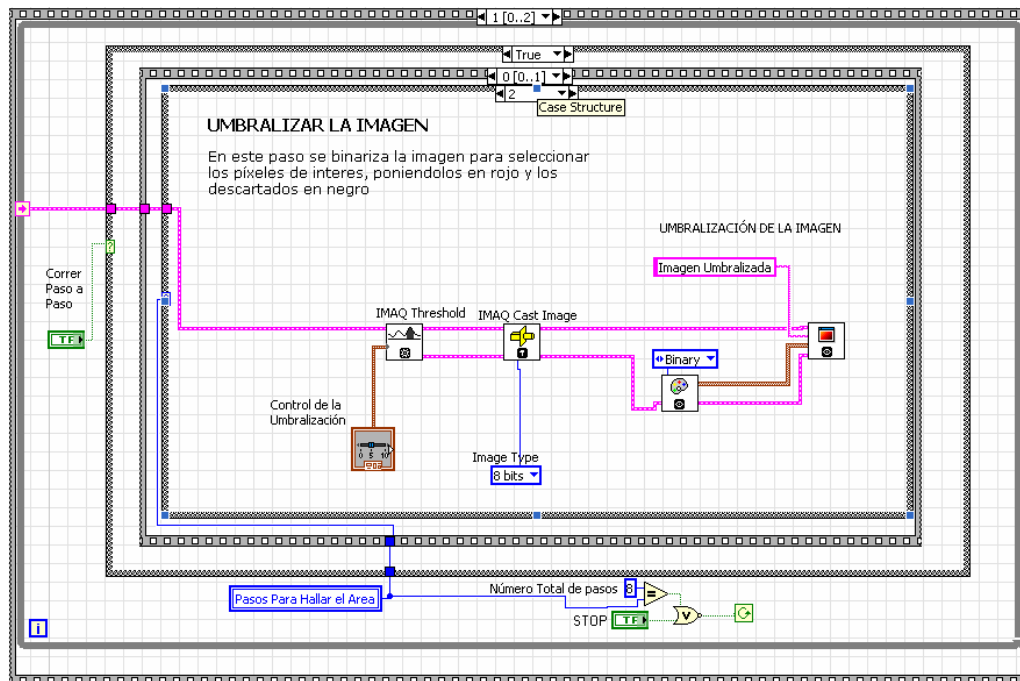


Figura 37 . Remover partículas

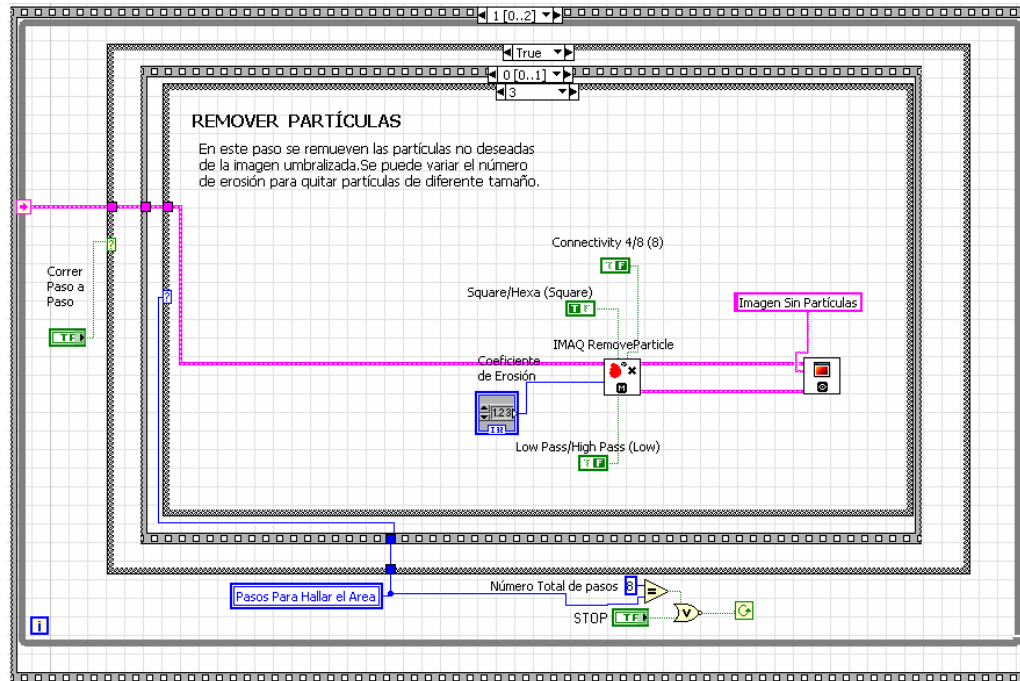


Figura 38. Remover Bordes

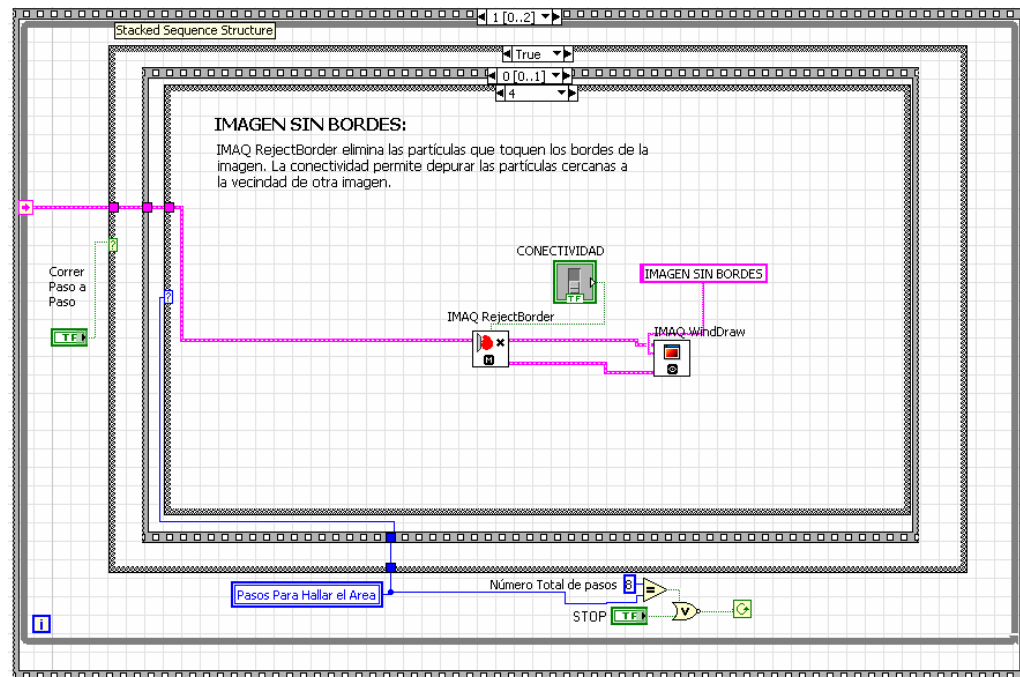


Figura 39 . Calibración de la Imagen

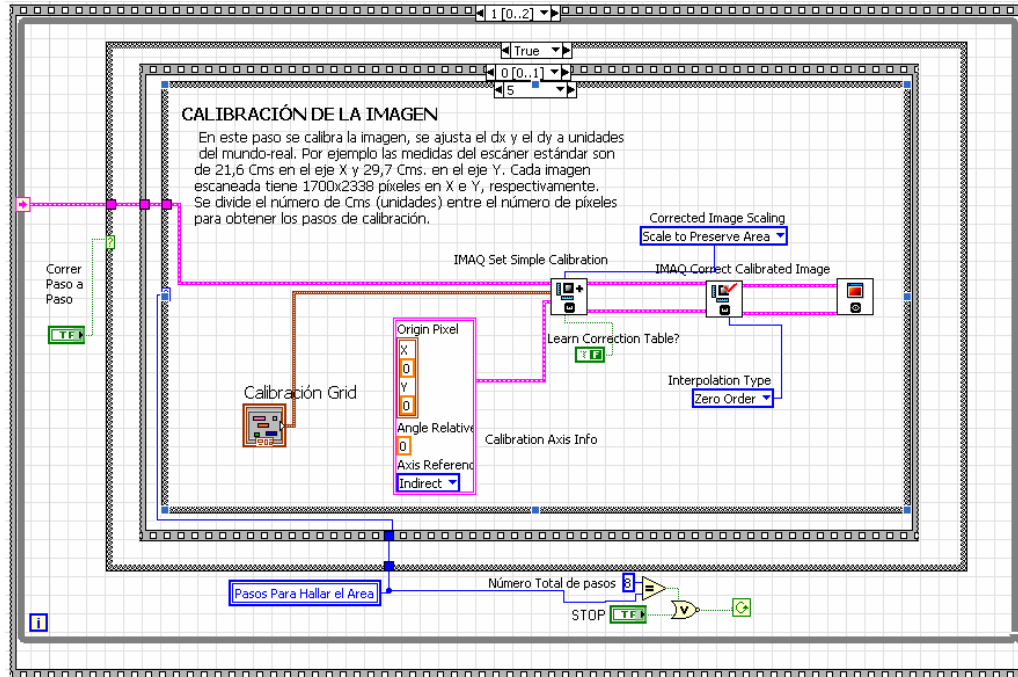


Figura 40 . Hallar áreas en la Imagen

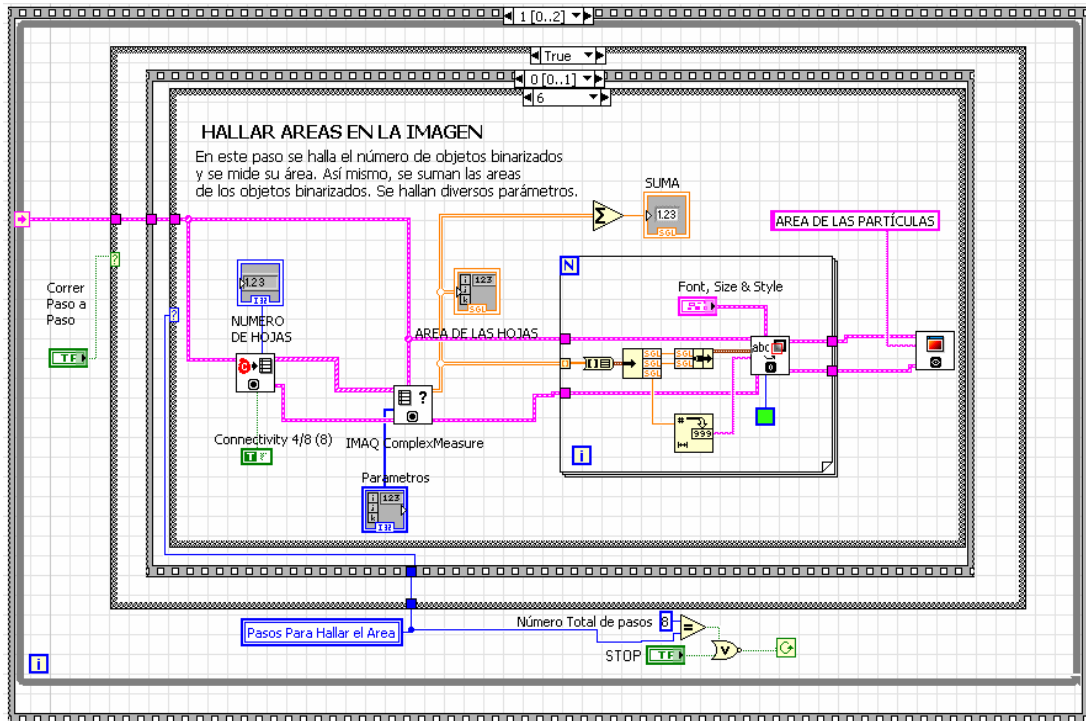


Figura 41. Retardo

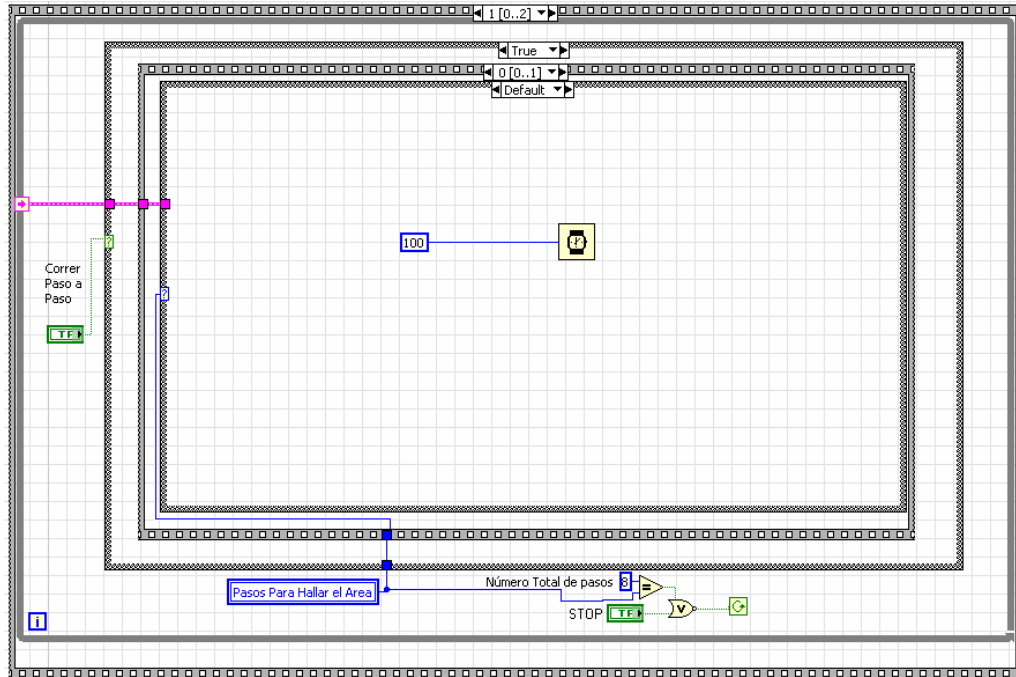


Figura 42. . Contador de Pasos

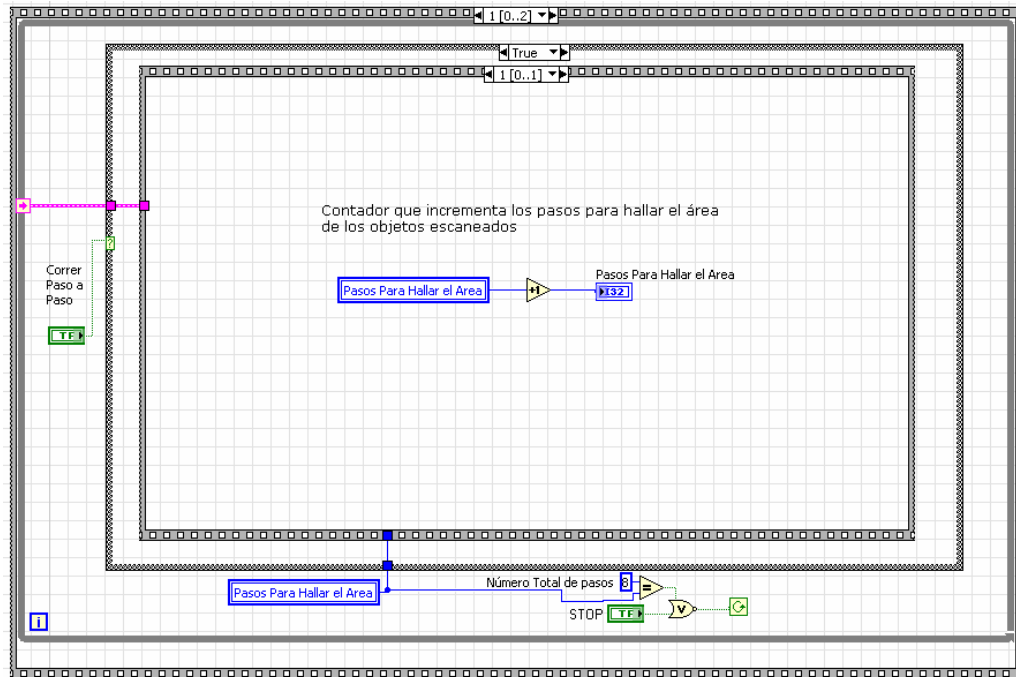


Figura 43 . Cerrar la Imagen y depositarla

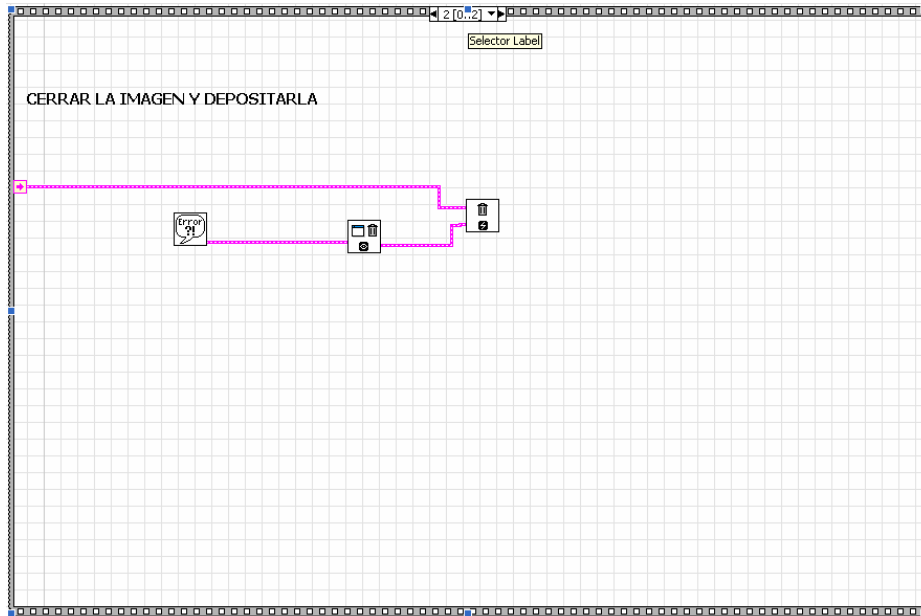


Figura 44. . Contador de Pasos

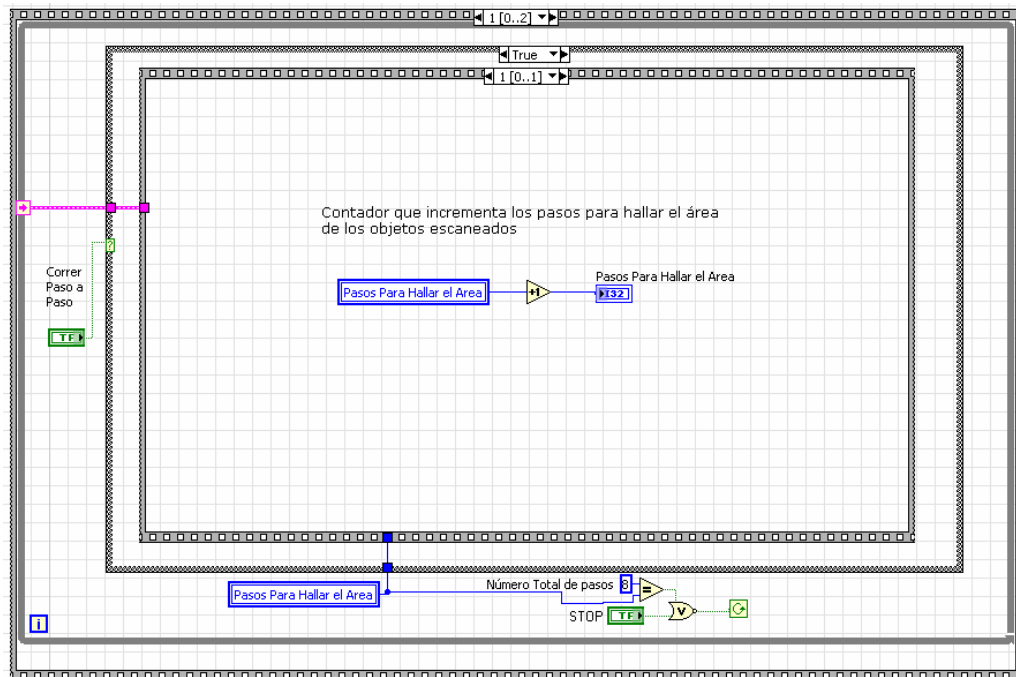
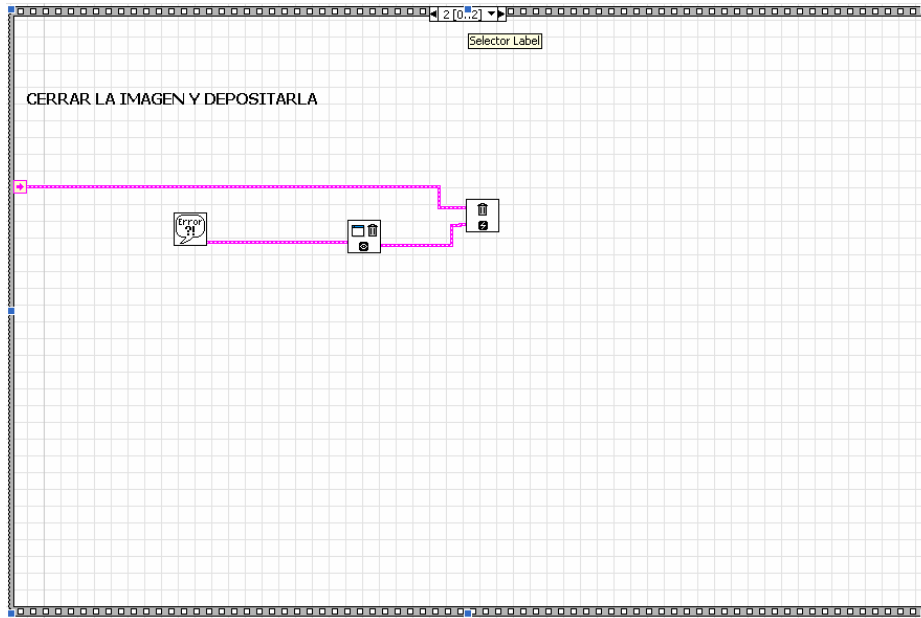


Figura 45 . Cerrar la Imagen



ANEXO E. LIBRERIAS DE IMAQ VISION PARA LabVIEW

IMAQ Vision esta organizado en tres librerías principales de VI (Virtual Instruments,VI): Utilidades de Vision, Procesamiento de imágenes y Máquinas de visión. A continuación se muestran las herramientas que se utilizaron en el desarrollo del algoritmo.

E.1. Funciones de Utilidades de Vision

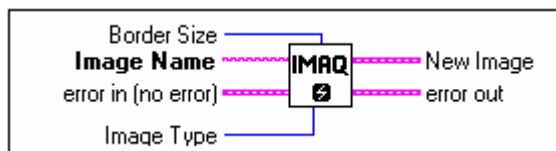


Este icono contiene librerías de Instrumentos Virtuales (VIs, Virtual Instruments) que permiten crear y manipular imágenes en IMAQ Vision. Los VIs de cada librería aparecen en este capítulo en el orden que aparecen en el diagrama de bloques del algoritmo en LabVIEW®. Cada librería contiene VIs que se utilizan para el desarrollo del algoritmo, los cuales se describen a continuación:

E.1.1. Librería Image Management

VI IMAQ Create

El siguiente VI se encuentra en **Vision Utilities»Image Management**:



IMAQ Create (Creador IMAQ)

Este VI se usa para crear la estructura de una imagen y es un referente para las imágenes que se quieran usar en una aplicación. Asigna un nombre único a las imágenes que se crean. También especifica el tipo de imagen, tal como: 8 bits, 16 bits, punto flotante, compleja, RGB y HSL.

Cuando se crea una imagen, IMAQ Vision crea una estructura interna de la imagen para retener las propiedades de la imagen, tal como: su nombre y tamaño de bordes. Sin embargo, a su vez, no hay memoria asignada para almacenar la imagen pixelada.

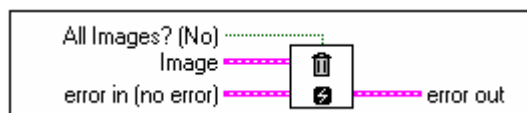
Estos VIs de IMAQ Vision asignan automáticamente la cantidad apropiada de memoria cuando el tamaño de la imagen es modificado. Por ejemplo, un VI que adquiere o remuestrea una imagen alterando el tamaño, a pesar de que asigna el espacio apropiado de memoria para los píxeles. La salida de IMAQ Create es una referencia para la estructura de la imagen. La imagen de referencia es de alguna forma un cluster de LabVIEW. Esta referencia sirve como entrada para todas las funciones subsecuentes de IMAQ Vision.

Los VIs pertenecientes a la librería de IMAQ Vision requieren la entrada de una o más imágenes de referencia. Los VIs que procesan los contenidos de las imágenes requieren una referencia como imagen fuente y otra como imagen destino.

Se pueden crear múltiples imágenes ejecutando **IMAQ Create** tantas veces como se quiera, pero cada imagen que se crea requiere un nombre único. Se determina el número de imágenes requeridas a través de un análisis previo de la aplicación.

VI **IMAQ Dispose**

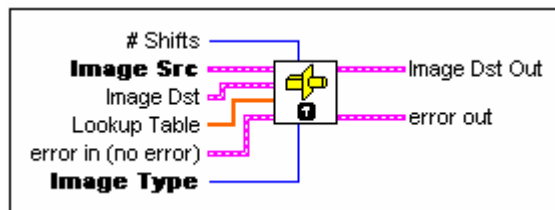
El siguiente VI destruye una imagen y libera el espacio ocupado en la memoria.



IMAQ Dispose
(Depositar una imagen)

Al terminar una aplicación, se deshace de las imágenes creadas usando el VI IMAQ Dispose. Se requiere para cada imagen creada en una aplicación para liberar la memoria asignada por IMAQ Create. Se ejecuta IMAQ Dispose solo cuando la imagen no es necesaria en la aplicación. Se usa IMAQ Dispose para cada llamada a IMAQ Create o para una sola llamada a todas las imágenes creadas con IMAQ Create.

VI IMAQ Cast Image



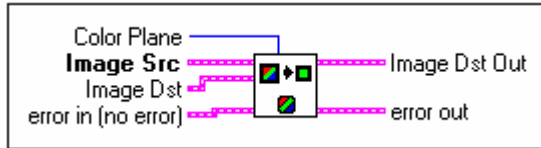
IMAQ Cast Image
(Acomodar una Imagen)

Se usa para convertir el tipo de imagen corriente a un tipo de imagen especificado por **Image Type**. Si se especifica una tabla de mejoras, **IMAQ Cast Image** convierte la imagen usando dicha tabla. Si se convierte una imagen de 16 bits a una imagen en 8 bits, el VI ejecuta esta conversión desplazando los valores de los píxeles de 16 bits a la derecha del número especificado, corriendo las operaciones y truncándolas al llegar a un valor de 8 bits.

E.1.2. Librería Color Utilities

Este grupo de VIs accesan a los datos de las imágenes en color. Se extraen planos de diferentes colores de una imagen, reemplazan los planos de una imagen en color con nuevos datos, convierten una imagen en color en un arreglo de 2D, leen y fijan valores de píxeles en una imagen en color, y convierten valores de píxeles de un color en otro.

IMAQ ExtractSingleColorPlane



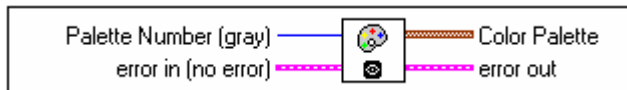
IMAQ ExtractSingleColorPlane
(Extracción de un Plano Simple)

Este VI se usa para extraer un plano simple de una imagen en color. Se puede extraer el plano Rojo, Verde, Azul, Tonalidad, Luminancia, Valor e Intensidad.

E.1.3. Librería Display

Este grupo de VIs es usado para exhibir imágenes en una ventana externa, cerrar ventanas, configurar y usar un explorador de imágenes en una ventana externa.

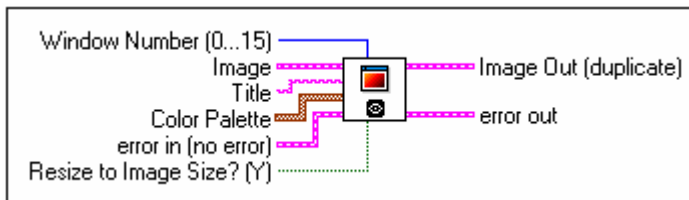
VI IMAQ GetPalette



IMAQ GetPalette
(Seleccionador de Paletas)

Selecciona una paleta de exhibición. Hay cinco paletas predefinidas disponibles. Para activar una paleta de color se escoge un código para el Número de la Paleta y se conecta la salida de la Paleta de Color con la entrada de la Paleta de Color de IMAQ WindDraw.

VI IMAQ WindDraw

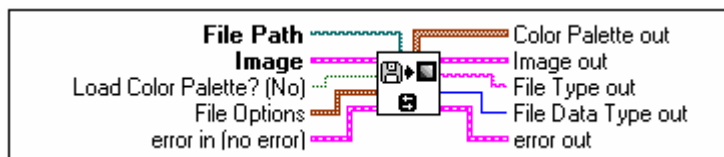


IMAQ WindDraw
(Imagen en Ventana)

E.1.4. Librería Administrador de Archivos

Este grupo de VIs lee imágenes de archivos, escribe imágenes en diferentes formatos de archivos, y dan información sobre la imagen contenida en un archivo.

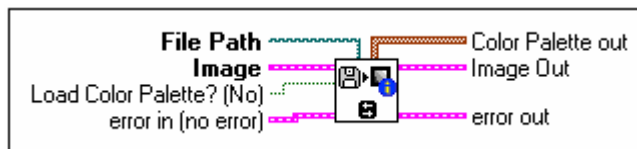
VI IMAQ ReadFile



IMAQ ReadFile
(Lector de archivos)

Este VI se encuentra en **vision Utilities»Files** y se usa para abrir y leer datos de un archivo almacenado en el computador en una imagen de referencia. Se puede leer archivos almacenados en el formato estándar (BMP, TIFF, JPG, PNG y AIPD) o en un formato especificado por el usuario. En cualquier caso, el software automáticamente convierte los píxeles que lee en el tipo de imagen admitida.

VI IMAQ Read Image And Vision Info



IMAQ Read Image And Vision Info
(Leer imagen e información de Vision)

Este VI se encuentra en: **vision Utilities»Files**. Se usa para abrir el archivo de una imagen que contenga información adicional, tal como: información de calibración, información de juegos de patrones de plantillas e información de superposición que es removida de una imagen cuando cambia el tamaño de la imagen o la orientación.

E.2. Funciones de Procesamiento de Imagen

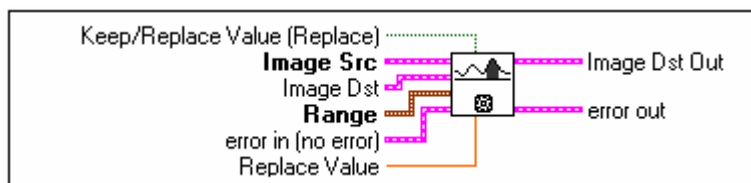


Las funciones de estas librerías de VIs usan funciones de Procesamiento de Imagen para analizar, filtrar, y procesar imágenes en IMAQ Vision.

E.2.1. Librería de Procesamiento

A esta librería pertenece un grupo de VIs que procesan imágenes en escala de grises y binarias. Esta subpaleta se usa para convertir una imagen en escala de grises en una imagen binaria empleando diferentes técnicas de Umbralización. También se usan estos VIs para transformar imágenes usando tablas predefinidas o personalizadas, para cambiar la información del contraste en una imagen e invertir los valores en una imagen.

VI IMAQ Threshold



IMAQ Threshold
(Umbralización)

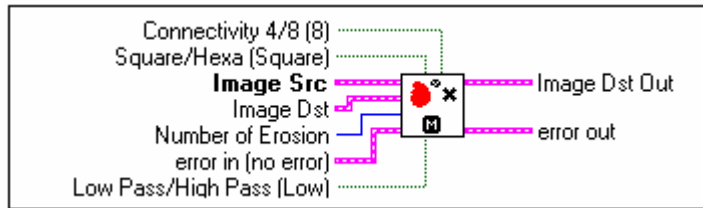
Aplica una Umbralización a una imagen.

E.2.2. Librería de Morfología

Este grupo de VIs realiza operaciones morfológicas en una imagen. Algunos de esos VIs realizan operaciones básicas de de Morfología, tal como, dilatación y erosión, en imágenes en escala de grises y binarias. Otros VIs mejoran la calidad de las imágenes binarizadas, rellenando huecos en partículas, removiendo partículas que tocan los bordes, removiendo pequeñas partículas y removiendo partículas no deseadas basándose en la forma y las características de la

partícula. Otro juego de VIs de esta subpaleta, separa las partículas que se tocan, encontrando el esqueleto de las partículas y detectando partículas circulares.

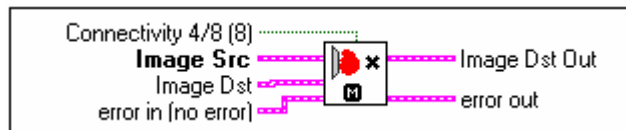
IMAQ RemoveParticle



IMAQ RemoveParticle
(Remover Partículas)

Elimina o mantiene partículas resistentes a un número específico de erosión 3×3 . Las partículas que se mantienen son exactamente las mismas que las encontradas en la imagen original. Esta última puede ser una imagen binaria de 8 bits.

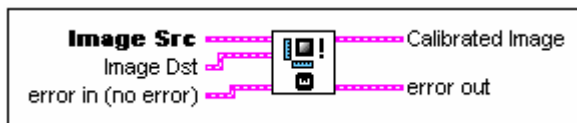
IMAQ RejectBorder



IMAQ RejectBorder
(Elimina Bordes)

Este VI elimina partículas que tocan el borde de la imagen. La imagen fuente debe ser una imagen binaria de 8 bits.

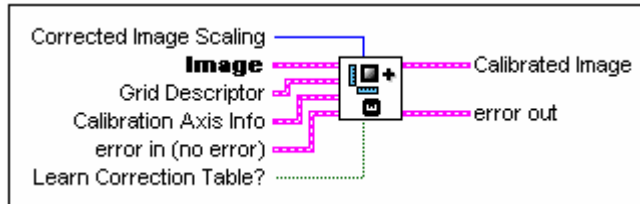
IMAQ Set Calibration Info



IMAQ Set Calibration Info
(Fija Información de Calibración)

Este VI fija la información de una imagen calibrada para una no calibrada. Ambas imágenes deben ser del mismo tamaño.

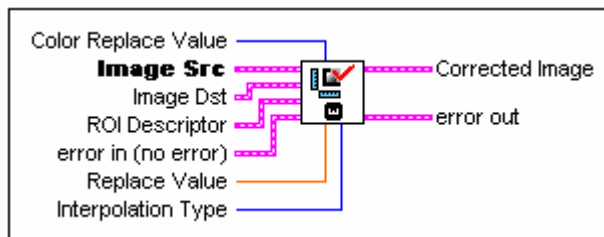
IMAQ Set Simple Calibration



IMAQ Set Simple Calibration
(Fija una Calibración Simple)

Fija una calibración simple para una imagen o reinicia un sistema de coordenadas del mundo-real en una imagen calibrada. Cuando se usa para reiniciar un sistema de coordenadas, si la tabla de corrección es todavía requerida, la tabla puede ser reaprendida. Cuando el Ángulo Relativo a la Horizontal se fija a cero, no se necesita hacer corrección.

IMAQ Correct Calibrated Image



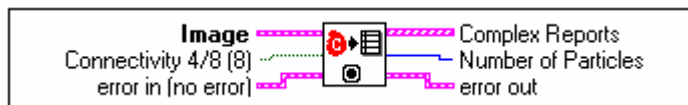
IMAQ Correct Calibrated Image
(Corrección de una Imagen Calibrada)

Este VI corrige una imagen calibrada aplicando una calibración para crear una imagen corregida espacialmente. Utiliza dos métodos de interpolación para obtener una imagen corregida: bilineal y de orden cero.

E.2.4. Librería de Análisis

Este grupo de VIs analiza el contenido de las imágenes en escala de grises y binarias. Se usan para computar la información de histogramas y de estadísticas de una imagen en escala de grises, recuperando información estadística de un perfil dimensional de los píxeles a través de la imagen, y detectando y midiendo las partículas en las imágenes binarias.

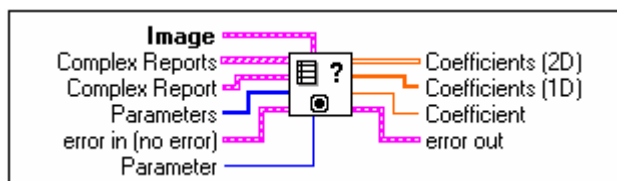
IMAQ ComplexParticle



IMAQ ComplexParticle (Partícula Compleja)

Este VI detecta y mide partículas. Devuelve un juego de mediciones hechas en las partículas de una imagen binaria. Complex Reports es un arreglo que devuelve un juego de mediciones de las partículas detectadas. Esta caja contiene información sobre: área (en píxeles), área (en unidades de calibración), perímetro, número de huecos, área de los huecos (en píxeles), perímetro de los huecos, etc.

IMAQ ComplexMeasure



IMAQ ComplexMeasure (Mediciones Complejas)

Calcula el coeficiente de todas las partículas detectadas. Este VI devuelve un arreglo de coeficientes en los cuales las mediciones están basadas en los resultados enviados por **IMAQ ComplexParticle**.