

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 9

Código de la dependencia.

FECHA	24 de julio del 2020
--------------	----------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Sede Fusagasugá
------------------------	-----------------

TIPO DE DOCUMENTO	Otro Auxiliar de investigación
--------------------------	-----------------------------------

FACULTAD	Ingeniería
-----------------	------------

NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
---	----------

PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Electrónica
---------------------------	------------------------

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Peñuela González	Faryd Alejandro	1069758941

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 9

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Mujica Rodríguez	Leonardo
Criollo Velásquez	Edgar Hernando

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Implementación de un sistema capaz de calcular el área foliar de una planta de gulupa a partir de imágenes que representen dos dimensiones de la planta mediante técnicas de procesamiento de imágenes

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

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Electrónico

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
23/07/2020	136

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1.Gulupa	Gulupa
2.Nitrógeno	Nitrogen
3.Python	Python
4.Procesamiento de imágenes	Image processing
5.Agricultura de precisión	Precision farming
6.OpenCv	OpenCv

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 9

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Algunos productores de gulupa pertenecientes a la zona rural del municipio de Pasca Cundinamarca, manifiestan insatisfacción con los resultados generados por sus cultivos de gulupa. Lo anterior se genera debido a la falta de precisión en la aplicación de nutrientes; principalmente el nitrógeno, sobre el cultivo. Adherido a lo anterior, la aplicación desmedida de este elemento, conlleva a problemas económicos y ambientales, afectando el cultivo significativamente. Por otro lado, el estado de nitrógeno de una planta, puede ser estimado observando el crecimiento de la misma antes y después de un proceso de aplicación de dicho elemento.

El objetivo de este proyecto es implementar un sistema que sea capaz de calcular el área foliar de una planta de gulupa, con el fin de ayudar al productor a obtener dicho parámetro. Este parámetro puede ser usado por el productor, para que evidencie el crecimiento de sus plantas luego de una aplicación de nitrógeno, con el fin de estimar el estado de dicho elemento por planta.

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizó una metodología para la adquisición de imágenes, en la cuál se utilizó una estructura de contraste y una cámara multispectral. Esta metodología permite la fácil identificación por parte de un algoritmo de procesamiento de imágenes posteriormente implementado. El algoritmo mencionado anteriormente se dividió en dos etapas. En la primera etapa, se calculó el área en píxeles de una figura de contraste empleada en el proceso de adquisición de imágenes, además, el área de dos dimensiones de una planta en píxeles. La segunda etapa, calcula el área foliar real de las dos dimensiones ingresadas de la planta, en metros cuadrados.

Los resultados obtenidos evidencian un área foliar frontal del cultivo promedio de $5.2m^2$ y un área foliar lateral del cultivo promedio de $3.7m^2$.

Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda realizar una estructura de contraste de fácil movilidad. Adherido a lo anterior, se debe cambiar el cuadro de contraste a un color negro mate con superficie lisa.

Por otro lado, se puede evidenciar que el sistema es capaz de calcular el área foliar de una planta de gulupa, a partir de dos imágenes referentes a dos dimensiones de la planta, el calculo de dicho parámetro, está sujeto a un porcentaje de precisión del sistema entre el 87.16% y el 93.79%.

Some gulupa producers belonging to the rural area of the municipality of Pasca Cundinamarca, express dissatisfaction with the results generated by their gulupa crops. This is generated due to the lack of precision in the application of nutrients; mainly nitrogen, on the crop. Adhered to the above, the excessive application of this element, leads to economic and environmental problems, affecting the crop significantly. On the other hand, the nitrogen status of a plant can be estimated by observing its growth before and after an application process of said element.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 4 de 9

The objective of this project is to implement a system that is capable of calculating the leaf area of a gulupa plant, in order to help the producer obtain this parameter. This parameter can be used by the producer, to show the growth of their plants after a nitrogen application, in order to estimate the state of said element per plant.

For the development of this project, a methodology for image acquisition was used, in which a contrast structure and a multispectral camera were used. This methodology allowed easy identification by a subsequently implemented image processing algorithm. The algorithm mentioned above was divided into two stages. In the first stage, the area in pixels of a contrasting figure used in the image acquisition process was calculated, in addition, the area of two dimensions of a plant in pixels. The second stage calculates the real leaf area of the two dimensions entered into the plant, in square meters.

The results obtained show a frontal leaf area of the average culture of $5.2m^2$ and a lateral leaf area of the average culture of $3.7m^2$.

Taking into account the above, it is recommended to make an easy mobility contrast structure. Adhered to the above, the contrast box should be changed to a matte black color with a smooth surface.

On the other hand, it can be seen that the system is capable of calculating the leaf area of a gulupa plant, from two images referring to two dimensions of the plant, the calculation of said parameter is subject to a precision percentage of the system between 87.16% and 93.79%.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

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

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

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 9

2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

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

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

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



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 9

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

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

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ NO _X_.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

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

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

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

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

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 7 de 9

contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

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

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

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

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

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



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



Nota:

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

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



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 8 de 9

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CAPAZ DE CALCULAR EL ÁREA FOLIAR DE UNA PLANTA DE GULÚPA, A PARTIR DE IMÁGENES QUE REPRESENTEN DOS DIMENSIONES DE LA PLANTA, MEDIANTE TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	PDF
2.	
3.	
4.	

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

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Faryd Alejandro Peñuela González	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 9 de 9

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CAPAZ DE
CALCULAR EL ÁREA FOLIAR DE UNA PLANTA DE
GULÚPA, A PARTIR DE IMÁGENES QUE
REPRESENTEN DOS DIMENSIONES DE LA PLANTA,
MEDIANTE TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE
IMÁGENES**

FARYD ALEJANDRO PEÑUELA GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FUSAGASUGÁ.**

2020

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CAPAZ DE
CALCULAR EL ÁREA FOLIAR DE UNA PLANTA DE
GULÚPA, A PARTIR DE IMÁGENES QUE
REPRESENTEN DOS DIMENSIONES DE LA PLANTA,
MEDIANTE TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE
IMÁGENES**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
ingeniero electrónico

Autor:
FARYD ALEJANDRO PEÑUELA GONZÁLEZ

Director:
Msc. LEONARDO RODRÍGUEZ MUJICA
Ingeniero Electrónico

Codirector:
Msc. EDGAR CRIOLLO VELÁSQUEZ
Ingeniero Electrónico

Línea investigación:
Gestión tecnológica aplicada a los sectores agropecuarios,
agroindustriales y agroambientales, software, sistemas
emergentes y nuevas tecnologías.

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FUSAGASUGÁ.
2020**

Dedicatoria

*Primeramente a Dios,
por ser el puente hacia mis metas,
también a mis padres por su dedicación y apoyo*

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por todas las bendiciones brindadas.

A mis padres por todo el tiempo brindado, por su apoyo incondicional en los momentos necesarios, por el conocimiento aportado, por los consejos transmitidos y por todo su esfuerzo y dedicación. Es gracias a ustedes que pude llegar a donde estoy.

A mi hermano por ser un motivo para ser mejor cada día, por mostrarme otra perspectiva de la vida, por tantas risas y alegrías brindadas, por enseñarme cada día una cosa nueva.

Al resto de familiares que aportaron de una u otra forma al desarrollo de esta etapa de mi vida.

Agradezco a los docentes de la Universidad de Cundinamarca por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de esta profesión, de manera especial, al ingeniero Leonardo Rodríguez, tutor de nuestro proyecto de investigación, quien aportó con su conocimiento y paciencia para el desarrollo de este.

A mis compañeros de la Universidad de Cundinamarca, que aportaron de una u otra forma en todo mi proceso educativo, de manera especial, a Kevin Tausa, por ser un apoyo incondicional en cada incógnita o problema presentado, por ser una motivación a ser mejor de lo que soy.

A mi compañero de proyecto y amigo Santiago Trujillo, por dejarme ayudarlo con la mayor parte de su proyecto de grado, por las risas y el conocimiento aportado.

A mis amigos, en especial, a la Banda del lobo, por tantos momentos agradables vividos, por las risas, por los juegos, por los trabajos realizados, los consejos aportados y demás. Ustedes hicieron esta experiencia una de las mejores etapas de mi vida. Alpha siempre los llevará en su memoria y en su corazón.

Resumen

Algunos productores de gulupa pertenecientes a la zona rural del municipio de Pasca Cundinamarca, manifiestan insatisfacción con los resultados generados por sus cultivos de gulupa. Lo anterior se genera debido a la falta de precisión en la aplicación de nutrientes; principalmente el nitrógeno, sobre el cultivo. Adherido a lo anterior, la aplicación desmedida de este elemento, conlleva a problemas económicos y ambientales, afectando el cultivo significativamente. Por otro lado, el estado de nitrógeno de una planta, puede ser estimado observando el crecimiento de la misma antes y después de un proceso de aplicación de dicho elemento.

El objetivo de este proyecto es implementar un sistema que sea capaz de calcular el área foliar de una planta de gulupa, con el fin de ayudar al productor a obtener dicho parámetro. Este parámetro puede ser usado por el productor, para que evidencie el crecimiento de sus plantas luego de una aplicación de nitrógeno, con el fin de estimar el estado de dicho elemento por planta.

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizó una metodología para la adquisición de imágenes, en la cuál se utilizó una estructura de contraste y una cámara multiespectral. Esta metodología permite la fácil identificación por parte de un algoritmo de procesamiento de imágenes posteriormente implementado. El algoritmo mencionado anteriormente se dividió en dos etapas. En la primera etapa, se calculó el área en píxeles de una figura de contraste empleada en el proceso de adquisición de imágenes, además, el área de dos dimensiones de una planta en píxeles. La segunda etapa, calcula el área foliar real de las dos dimensiones ingresadas de la planta, en metros cuadrados.

Los resultados obtenidos evidencian un área foliar frontal del cultivo promedio de $5,2 m^2$ y un área foliar lateral del cultivo promedio de $3,7 m^2$.

Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda realizar una estructura de contraste de fácil movilidad. Adherido a lo anterior, se debe cambiar el cuadro de contraste a un color negro mate con superficie lisa. Por otro lado, se puede evidenciar que el sistema es capaz de calcular el área foliar de una planta de gulupa, a partir de dos imágenes referentes a dos dimensiones de la planta, el calculo de dicho parámetro, está sujeto a

un porcentaje de precisión del sistema entre el 87.16 % y el 93.79 %.

Abstract

Some gulupa producers belonging to the rural area of the municipality of Pasca Cundinamarca, express dissatisfaction with the results generated by their gulupa crops. This is generated due to the lack of precision in the application of nutrients; mainly nitrogen, on the crop. Adhered to the above, the excessive application of this element, leads to economic and environmental problems, affecting the crop significantly. On the other hand, the nitrogen status of a plant can be estimated by observing its growth before and after an application process of said element.

The objective of this project is to implement a system that is capable of calculating the leaf area of a gulupa plant, in order to help the producer obtain this parameter. This parameter can be used by the producer, to show the growth of their plants after a nitrogen application, in order to estimate the state of said element per plant.

For the development of this project, a methodology for image acquisition was used, in which a contrast structure and a multispectral camera were used. This methodology allowed easy identification by a subsequently implemented image processing algorithm. The algorithm mentioned above was divided into two stages. In the first stage, the area in pixels of a contrasting figure used in the image acquisition process was calculated, in addition, the area of two dimensions of a plant in pixels. The second stage calculates the real leaf area of the two dimensions entered into the plant, in square meters.

The results obtained show a frontal leaf area of the average culture of $5,2 m^2$ and a lateral leaf area of the average culture of $3,7 m^2$.

Taking into account the above, it is recommended to make an easy mobility contrast structure. Adhered to the above, the contrast box should be changed to a matte black color with a smooth surface. On the other hand, it can be seen that the system is capable of calculating the leaf area of a gulupa plant, from two images referring to two dimensions of the plant, the calculation of said parameter is subject to a precision percentage of the system between 87,16 % and 93,79 %.

Índice general

Resumen	3
Abstract	5
1. Contexto	16
1.1. Introducción	16
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Justificación	2
1.3.1. Alcances y limitaciones	4
2. Objetivos	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. Marco de referencia	6
3.1. Estado del arte	6
3.2. Marco teórico	20
3.2.1. Agricultura convencional	20
3.2.2. Agricultura de precisión	21
3.2.3. Aspectos generales de la gulupa	23
3.2.4. Clasificación de las plantas	25
3.2.5. Nutrición del cultivo	25
3.2.6. Nitrógeno en cultivos	26
3.2.7. Cámara multiespectral	27
4. Metodología	28
4.1. Adquisición de las imágenes	28
4.1.1. Espacio de adquisición de imágenes.	28
4.1.2. Herramientas y condiciones	30
4.1.3. Método para la adquisición de imágenes.	30
4.1.4. Captura de las imágenes.	35

4.2. Procesamiento de las imágenes	38
4.2.1. Herramientas para el desarrollo	38
4.2.2. Funcionamiento del algoritmo	40
4.2.3. Primera etapa: área en píxeles de la planta y el cuadro de contraste	43
4.2.4. Segunda etapa: cálculo del área foliar de cada lado ingresado de la planta	66
5. Plan de trabajo y análisis de resultados	72
5.1. Plan de trabajo	72
5.2. Resultados	73
5.2.1. Resultados del proceso de adquisición	73
5.2.2. Resultados del procesamiento de las imágenes	74
5.2.3. Resultados de la primera etapa del algoritmo	76
5.2.4. Resultados de segunda etapa del algoritmo	85
5.3. Conclusiones	89
6. Presupuesto	90
Bibliografía	94

Índice de figuras

3.1. Conteo de cuadrícula. Fuente [16]	8
3.2. Sumatoria de la hoja. Fuente [16]	9
3.3. Sistema de adquisición. Fuente [16]	10
3.4. Etapas del procesamiento para hallar el área. Fuente [16]	11
3.5. Clasificación de las hojas trabajadas. Fuente [16]	12
3.6. Mapa de índice de expresión vegetativa. Fuente [5]	14
3.7. Diseño de la estructura. Fuente [5]	14
3.8. Ubicación vertical de la estructura. Fuente [5]	15
3.9. Ubicación horizontal de la estructura. Fuente [5]	15
3.10. Diseño de la estructura. Fuente [5]	16
3.11. Ejemplo de agricultura convencional. Fuente [22]	21
3.12. Ilustración agricultura de precisión. Fuente [25]	23
3.13. Usos comunes de la gulupa. Fuente [30]	24
4.1. Distancia entre plantas.	29
4.2. Plano del fondo de la estructura. Fuente: Autor	31
4.3. Plano lateral de la estructura. Fuente: Autor	31
4.4. Plano completo de la estructura planteada	32
4.5. Imagen de la estructura. Fuente: Autor	33
4.6. Cámara multiespectral Parrot Sequoia+. Fuente: [42]	34
4.7. Ubicación lateral de la estructura en la planta. Fuente: Autor	36
4.8. Ubicación frontal de la estructura en la planta. Fuente: Autor	36
4.9. Planta sin la estructura de fondo. Fuente: Autor	37
4.10. Planta segmentada sin la estructura de fondo. Fuente: Autor	37
4.11. Planta con la estructura de fondo. Fuente: Autor	38
4.12. Planta segmentada con la estructura de fondo. Fuente: Autor	38
4.13. Cuadro Original vs Cuadro Editado. Fuente: Autor	40
4.14. Imagen mostrada por <i>cv2.imread</i> . Fuente: Autor	44
4.15. Imagen frontal con nueva cantidad de píxeles. Fuente: Autor	45
4.16. Imagen lateral con nueva cantidad de píxeles. Fuente: Autor	45
4.17. Imagen frontal en escala de grises. Fuente: Autor	46

4.18. Imagen lateral en escala de grises. Fuente: Autor	46
4.19. Aplicación del umbral a la imagen frontal redimensionada. Fuente: Autor	48
4.20. Aplicación del umbral a la imagen lateral redimensionada. Fuente: Autor	48
4.21. Resultado de invertir la imagen frontal. Fuente: Autor	49
4.22. Resultado de invertir la imagen lateral. Fuente: Autor	49
4.23. Mejoras del análisis morfológico en imagen frontal. Fuente: Autor . . .	50
4.24. Mejoras del análisis morfológico en imagen vertical. Fuente: Autor . . .	50
4.25. Resultado filtro de media en imagen frontal. Fuente: Autor	50
4.26. Resultado filtro de media en imagen vertical. Fuente: Autor	50
4.27. Imagen frontal invertida segmentada. Fuente: Autor	52
4.28. Imagen lateral invertida segmentada. Fuente: Autor	52
4.29. Imagen frontal resultado de transformaciones morfológicas. Fuente: Autor	54
4.30. Imagen frontal resultado de transformaciones morfológicas. Fuente: Autor	54
4.31. Imagen frontal inicial. Fuente: Autor	57
4.32. Imagen frontal con el cuadro de contraste segmentado. Fuente: Autor . .	58
4.33. Imagen lateral inicial. Fuente: Autor	58
4.34. Imagen frontal con el cuadro de contraste segmentado. Fuente: Autor . .	59
4.35. Imagen segmentada sin el condicional que filtra los valores del cuadro. Fuente: Autor	62
4.36. Imagen frontal de la planta segmentada Fuente: Autor	62
4.37. Imagen lateral de la planta segmentada Fuente: Autor	62
4.38. Cuadro creado de 200 <i>pixeles</i> × 200 <i>pixeles</i> . Fuente: Autor	64
4.39. Cuadro creado de 100 <i>pixeles</i> × 100 <i>pixeles</i> . Fuente: Autor	64
4.40. Cuadro creado de 70 <i>pixeles</i> × 70 <i>pixeles</i> . Fuente: Autor	64
4.41. Cuadro creado de 50 <i>pixeles</i> × 50 <i>pixeles</i> . Fuente: Autor	64
4.42. Resolución de imagen para la primera planta. Fuente: Autor	67
5.1. Imagen de la estructura. Fuente: Autor	74
5.2. Planta segmentada sin la estructura de fondo. Fuente: Autor	75
5.3. Planta segmentada con la estructura de fondo. Fuente: Autor	75
5.4. Cuadro Original y Cuadro con valores ideales. Fuente: Autor	75
5.5. Imagen frontal de la primera planta. Fuente: Autor	76
5.6. Imagen lateral de la primera planta. Fuente: Autor	76
5.7. Imagen frontal de la planta 2 redimensionada. Fuente: Autor	77
5.8. Imagen lateral de la planta 2 redimensionada. Fuente: Autor	77
5.9. Imagen frontal de la planta 2 en escala de grises. Fuente: Autor	77
5.10. Imagen lateral de la planta 2 en escala de grises. Fuente: Autor	77
5.11. Imagen frontal luego de la aplicación del umbral sobre la planta 2. Fuente: Autor	78
5.12. Imagen lateral luego de la aplicación del umbral sobre la planta 2. Fuente: Autor	78

5.13. Imagen frontal umbralizada invertida de la planta 2. Fuente: Autor . . .	78
5.14. Imagen lateral umbralizada invertida de la planta 2. Fuente: Autor . . .	78
5.15. Cuadros de contraste de la imagen frontal en la planta 2. Antes y después de la aplicación del método de clausura. Fuente: Autor	79
5.16. Imagen frontal invertida de la planta 2 filtrada. Fuente: Autor	79
5.17. Imagen lateral invertida de la planta 2 filtrada. Fuente: Autor	79
5.18. Imagen frontal de la planta 2 con el cuadro segmentado. Fuente: Autor	80
5.19. Imagen lateral de la planta 2 con el cuadro segmentado. Fuente: Autor	80
5.20. Imagen frontal de la planta 2 segmentada con el método clausura. Fuente: Autor	81
5.21. Imagen lateral de la planta 2 segmentada con el método clausura. Fuente: Autor	81
5.22. Imagen lateral del cuadro en la planta 5 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor	82
5.23. Imagen frontal del cuadro en la planta 8 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor	82
5.24. Imagen frontal del cuadro en la planta 9 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor	82
5.25. Imagen lateral del cuadro en la planta 10 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor	82
5.26. Imagen frontal invertida de la planta 2 filtrada. Fuente: Autor	84
5.27. Imagen lateral invertida de la planta 2 filtrada. Fuente: Autor	84
6.1. Imagen frontal de la planta 1 redimensionada. Fuente: Autor	95
6.2. Imagen lateral de la planta 1 redimensionada. Fuente: Autor	95
6.3. Imagen frontal del cuadro en la planta 1 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor	96
6.4. Imagen lateral del cuadro en la planta 1 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor	96
6.5. Imagen frontal de la planta 1 segmentada. Fuente: Autor	96
6.6. Imagen lateral de la planta 1 segmentada. Fuente: Autor	96
6.7. Imagen frontal de la planta 2 redimensionada. Fuente: Autor	97
6.8. Imagen lateral de la planta 2 redimensionada. Fuente: Autor	97
6.9. Imagen frontal del cuadro en la planta 2 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor	97
6.10. Imagen lateral del cuadro en la planta 2 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor	97
6.11. Imagen frontal de la planta 2 segmentada. Fuente: Autor	98
6.12. Imagen lateral de la planta 2 segmentada. Fuente: Autor	98
6.13. Imagen frontal de la planta 3 redimensionada. Fuente: Autor	98
6.14. Imagen lateral de la planta 3 redimensionada. Fuente: Autor	98

6.15. Imagen frontal del cuadro en la planta 3 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	99
6.16. Imagen lateral del cuadro en la planta 3 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	99
6.17. Imagen frontal de la planta 3 segmentada. Fuente: Autor	99
6.18. Imagen lateral de la planta 3 segmentada. Fuente: Autor	99
6.19. Imagen frontal de la planta 4 redimensionada. Fuente: Autor	100
6.20. Imagen lateral de la planta 4 redimensionada. Fuente: Autor	100
6.21. Imagen frontal del cuadro en la planta 4 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	100
6.22. Imagen lateral del cuadro en la planta 4 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	100
6.23. Imagen frontal de la planta 4 segmentada. Fuente: Autor	101
6.24. Imagen lateral de la planta 4 segmentada. Fuente: Autor	101
6.25. Imagen frontal de la planta 5 redimensionada. Fuente: Autor	101
6.26. Imagen lateral de la planta 5 redimensionada. Fuente: Autor	101
6.27. Imagen frontal del cuadro en la planta 5 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	102
6.28. Imagen lateral del cuadro en la planta 5 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	102
6.29. Imagen frontal de la planta 5 segmentada. Fuente: Autor	102
6.30. Imagen lateral de la planta 5 segmentada. Fuente: Autor	102
6.31. Imagen frontal de la planta 6 redimensionada. Fuente: Autor	103
6.32. Imagen lateral de la planta 6 redimensionada. Fuente: Autor	103
6.33. Imagen frontal del cuadro en la planta 6 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	103
6.34. Imagen lateral del cuadro en la planta 6 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	103
6.35. Imagen frontal de la planta 6 segmentada. Fuente: Autor	104
6.36. Imagen lateral de la planta 6 segmentada. Fuente: Autor	104
6.37. Imagen frontal de la planta 7 redimensionada. Fuente: Autor	104
6.38. Imagen lateral de la planta 7 redimensionada. Fuente: Autor	104
6.39. Imagen frontal del cuadro en la planta 7 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	105
6.40. Imagen lateral del cuadro en la planta 7 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	105
6.41. Imagen frontal de la planta 7 segmentada. Fuente: Autor	105
6.42. Imagen lateral de la planta 7 segmentada. Fuente: Autor	105
6.43. Imagen frontal de la planta 8 redimensionada. Fuente: Autor	106
6.44. Imagen lateral de la planta 8 redimensionada. Fuente: Autor	106

6.45. Imagen frontal del cuadro en la planta 8 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	106
6.46. Imagen lateral del cuadro en la planta 8 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	106
6.47. Imagen frontal de la planta 8 segmentada. Fuente: Autor	107
6.48. Imagen lateral de la planta 8 segmentada. Fuente: Autor	107
6.49. Imagen frontal de la planta 9 redimensionada. Fuente: Autor	107
6.50. Imagen lateral de la planta 9 redimensionada. Fuente: Autor	107
6.51. Imagen frontal del cuadro en la planta 9 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	108
6.52. Imagen lateral del cuadro en la planta 9 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	108
6.53. Imagen frontal de la planta 9 segmentada. Fuente: Autor	108
6.54. Imagen lateral de la planta 9 segmentada. Fuente: Autor	108
6.55. Imagen frontal de la planta 10 redimensionada. Fuente: Autor	109
6.56. Imagen lateral de la planta 10 redimensionada. Fuente: Autor	109
6.57. Imagen frontal del cuadro en la planta 10 invertido, segmentado y filtra-	
do. Fuente: Autor	109
6.58. Imagen lateral del cuadro en la planta 10 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	109
6.59. Imagen frontal de la planta 10 segmentada. Fuente: Autor	110
6.60. Imagen lateral de la planta 10 segmentada. Fuente: Autor	110
6.61. Imagen frontal de la planta 11 redimensionada. Fuente: Autor	110
6.62. Imagen lateral de la planta 11 redimensionada. Fuente: Autor	110
6.63. Imagen frontal del cuadro en la planta 11 invertido, segmentado y filtra-	
do. Fuente: Autor	111
6.64. Imagen lateral del cuadro en la planta 11 invertido, segmentado y filtrado.	
Fuente: Autor	111
6.65. Imagen frontal de la planta 11 segmentada. Fuente: Autor	111
6.66. Imagen lateral de la planta 11 segmentada. Fuente: Autor	111
6.67. Fruto atacado por insecto. Fuente: Autor	116
6.68. Fruto de de una planta de gulupa. Fuente: Autor	117
6.69. Imagen en campo 1. Fuente: Autor	117
6.70. Imagen en campo 2. Fuente: Autor	118
6.71. Imagen en campo 3. Fuente: Autor	118
6.72. Imagen en campo 4. Fuente: Autor	119
6.73. Imagen en campo 5. Fuente: Autor	119

Lista de algoritmos

1. Importación de bibliotecas	39
2. Formato para ejecutar el programa y asignar las imágenes. Fuente: Autor	40
3. Impresión de los valores retornados de área foliar de las imágenes frontal y lateral. Fuente: Autor	41
4. Función principal	41
5. Función para la redimensión de la imagen	44
6. Función para convertir a gris las imágenes	45
7. Función para segmentar el cuadro de contraste	47
8. Segmentación por umbralización	51
9. Aplicación de operadores morfológicos	53
10. Aplicación de operadores morfológicos	55
11. Método 1 para hallar el área del cuadrado	56
12. Método 2 para hallar el área del cuadrado	56
13. Cálculo del área foliar de la planta	60
14. Función principal manteniendo habilitada únicamente la función cua- dro() . Fuente: Autor	65
15. Área del cuadrado ingresado en píxeles. Fuente: Autor	65
16. Función calc() , encargada del cálculo del área foliar. Fuente: autor.	70
17. Impresión del área foliar calculada de las imágenes de la primera planta. Fuente: Autor	86
18. Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 1. Fuente: Autor	96
19. Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 2. Fuente: Autor	98
20. Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 3. Fuente: Autor	99
21. Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 4. Fuente: Autor	101
22. Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 5. Fuente: Autor	102

23.	Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 6. Fuente: Autor	104
24.	Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 7. Fuente: Autor	105
25.	Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 8. Fuente: Autor	107
26.	Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 9. Fuente: Autor	108
27.	Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 10. Fuente: Autor	110
28.	Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 11. Fuente: Autor	111

Índice de tablas

4.1. Áreas en píxeles	63
4.2. Precisión del algoritmo	66
4.3. Resultados del área foliar de cada una de las imágenes ingresadas	69
5.1. Área del cuadrado en píxeles de todas las plantas	83
5.2. Precisión del algoritmo	83
5.3. Área de la planta en píxeles	85
5.4. Resultados del área foliar de cada una de las imágenes ingresadas	86
5.5. Comparación del método LAGB con el planteado en este trabajo	88
6.1. Presupuesto	90

Capítulo 1

Contexto

1.1. Introducción

En la actualidad, la agricultura de precisión es un punto de referencia fuerte de calidad en la industria agronómica. Esta agricultura se destaca por su exactitud referente a la toma y procesamiento de datos y su cantidad de variables posibles para operar.

La adquisición de datos y la disponibilidad instantánea de tomar una decisión automáticamente basada en aquellos datos, ha permitido posicionar la agricultura de precisión como una de las técnicas más utilizadas hoy en día para el desarrollo de la agricultura.

Esta tecnología contiene herramientas claves dentro de sus procesos, tales como el GPS, cámaras multiespectrales, sensores, y otros dispositivos electrónicos, generalmente usados como medios para recopilar datos en tiempo real sobre lo que sucede en un cultivo.

Sumado a lo anterior, se encuentra la nutrición del cultivo, la cual, requiere una adquisición de datos con la mayor precisión posible, debido a que el manejo de un cultivo tiene como parte esencial un diagnóstico confiable del estado nutricional [1]. Cabe mencionar que, el exceso o la deficiencia de nutrientes son causas comunes de pérdida de rendimiento y daños severos [2].

Los nutrientes que controlan la producción, el crecimiento y la posibilidad de la planta, se dividen en macronutrientes y micronutrientes.

El nitrógeno (N) es, después de la temperatura y del agua, el tercer factor limitante de la producción agrícola [3], además, es el elemento de menor complejidad para observar mediante el uso de una cámara.

El estado instantáneo de nitrógeno de una planta se puede observar por el color de su hoja o por el área que presenta la misma. Con estos datos, se puede estimar si hay

saturación o una deficiencia de dicho macroelemento en la planta [4].

La agricultura de precisión, es útil para la solución del problema planteado, puesto que, permite obtener datos periódicos sobre el estado del nitrógeno en la planta, utilizando una cámara multispectral y un algoritmo de procesamiento de imágenes [2].

El investigador principal del proyecto “Cuantificación de maleza en cultivos de hortalizas por medio de procesamiento de imágenes digitales multispectrales”, perteneciente al grupo de investigación GITEINCO - GIGAT, en la convocatoria de proyectos de investigación conjuntos entre la Universidad de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, inicia una convocatoria interna en la Universidad de Cundinamarca, en búsqueda de auxiliares de investigación, con el fin de contribuir al estudio de la implementación de la agricultura de precisión en los cultivos de gulupa.

El presente trabajo se realizó con el interés de aportar información al proyecto en mencionado anteriormente, diseñando una nueva técnica para el cálculo del área foliar de una planta de gulupa. Esta herramienta, podría ser útil para la estimación del estado de nitrógeno, observando el tamaño de la planta, antes y después de una aplicación del macronutriente; conociendo el estado nutricional inicial de la planta y analizando el crecimiento adquirido por cada aplicación. De esta manera, se podría reducir la aplicación desmedida de nitrógeno en los cultivos de gulupa.

Vía a la vereda Lázaro Fonte, en el municipio de Pasca, Cundinamarca, se encontró un cultivo que presentaba variedad de deficiencias nutricionales y plagas, siendo este, un candidato óptimo para el desarrollo del proyecto.

Para obtener las fotografías, se implementó el método de adquisición de imágenes encontrado en [5], utilizando una herramienta física de contraste para separar cada planta del resto del cultivo, lo anterior, con el fin de facilitar el procesamiento de las imágenes adquiridas.

Posteriormente, se procedió a diseñar un algoritmo capaz de separar digitalmente la planta del resto del cultivo, con el fin de obtener el área foliar en píxeles de la parte frontal y lateral de la misma. Luego, se implementó un algoritmo que, utilizando el área foliar en píxeles de la planta, calcula el área foliar real de cada lado expuesto en las imágenes de la misma.

El contenido de este documento está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 1 se podrá encontrar contenido específico referente al problema principal y su respectiva solución, Además, se exponen los motivos que llevaron al desarrollo de este proyecto en la justificación, unido a sus alcances y limitaciones.

En el capítulo 2, se exponen los objetivos planteados que permitirán llegar a la solución del problema.

Posteriormente, en el capítulo 3, se evidencia una discusión bibliográfica, nombrada “marco referencial”, en donde se ubica el estado del arte, el cual, muestra los resultados de una consulta bibliográfica que propone distintas prácticas y métodos de otros autores, utilizados en este proyecto para alcanzar los objetivos planteados. Además, se encuentra el marco teórico, cuyo fin es exponer los conceptos claves para el entendimiento del texto, buscando, solventar dudas sobre temas previamente no tratados por el lector.

El siguiente capítulo, expone la metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto. Allí se mostrará detalladamente que se realizó en dicho proyecto y cómo se realizó. El desarrollo de este proyecto se encuentra organizado de forma que sea evidente la solución de los objetivos planteados ordenadamente. Este segmento se divide en 3 partes, se evidencia como primer sub-segmento, los métodos, herramientas y características necesarias para la adquisición de las imágenes. Así mismo, la elaboración paso a paso de las tomas necesarias para dar continuidad al segundo sub-segmento del trabajo. Posteriormente, se encuentra la descripción del proceso de elaboración del software, capaz de calcular el área foliar de la planta en píxeles, utilizando diversos métodos de procesamiento de imágenes. Al final de este capítulo, se muestra la implementación de un algoritmo para calcular el área foliar de los lados ingresados de la planta a partir de el cálculo de área foliar entregado por el software anteriormente mencionado.

El quinto capítulo de este trabajo, expone el análisis de resultados, comparado con el plan de trabajo, en donde se muestra la cantidad de objetivos cumplidos respecto a los planteados. Además, se comenta de manera detallada los resultados obtenidos del desarrollo de este proyecto. Sumado a lo anterior, se pueden encontrar las conclusiones a las que se llegó luego de la ejecución de este proyecto.

En el sexto capítulo se encuentra el presupuesto necesario para la ejecución de este proyecto.

Por último, se encuentran las referencias, en donde se muestra todo el material bibliográfico en el que se apoya el desarrollo de este proyecto.

1.2. Planteamiento del problema

Los métodos de fertilización actuales influyen directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas en un cultivo de gulupa. La efectividad de dichos métodos, depende de la correcta aplicación de los nutrientes requeridos por dichas plantas. Esta efectividad, se puede deducir de un análisis del crecimiento y desarrollo de cada una de las plantas en general. Así mismo, el crecimiento y desarrollo de una planta puede verse reflejado en los cambios de área foliar de la misma, calculando el área foliar de la planta en un instante previo a la aplicación de los nutrientes y tiempo después de haber realizado dicha aplicación.

Actualmente, obtener el área foliar para una planta de gulupa, resulta un proceso complejo debido a las dimensiones de la planta en etapas avanzadas y a la estructura necesaria para sostener las plantas del cultivo, dado sus características de trepadora.

Por otro lado, los métodos actuales generalmente usados para calcular el área foliar de una planta en general, son métodos destructivos, los cuales, consisten en intervenir físicamente la planta, extrayendo su material biológico para hacer un cálculo por separado de las hojas, los tallos y otros elementos de la planta. Para un método no destructivo, podrían considerarse herramientas de medición de longitudes; como la cinta métrica. El problema de este método se encuentra en la complejidad de la medida para un ser humano, puesto que, la planta presenta figuras irregulares, sumado a lo anterior, la precisión del cálculo no es alta, puesto que, las coordenadas de inicio y fin para las medidas son valores subjetivos, escogidas por la persona encargada de la medición.

Por otra parte, el cálculo incorrecto del área foliar de una planta, podría traer consecuencias al ser implementado en los procesos de fertilización del cultivo, dado que, si el cálculo del área foliar de la planta es erróneo, los datos del crecimiento de dicha planta también serán desacertados, por ende, el cálculo de la cantidad de fertilizante necesario por la planta, no será correcto.

Partiendo de lo anterior, surge la necesidad de sistema capaz de calcular el área foliar de una planta de gulupa usando dos dimensiones que la representen, el cual, no presente métodos invasivos, posea una alta precisión del cálculo y se adapte a las condiciones estructurales del cultivo, como apoyo para un productor que desee implementar un proceso de fertilización de un cultivo de gulupa que dependa del análisis del crecimiento y desarrollo de la planta luego de la fertilización.

1.3. Justificación

Los motivos que llevaron a la implementación de un sistema capaz de calcular el área foliar de las plantas de gulupa se enfocan en satisfacer la necesidad de un productor, el cual, requería conocer el área foliar de sus plantas de gulupa, para evidenciar el crecimiento de la planta luego de implementar un método específico de fertilización de nitrógeno. Este sistema, sirve como complemento para el proceso de nutrición en los cultivos, entregando un parámetro fundamental; como lo es el área foliar de la planta, para conocerla efectividad de la aplicación. Por otro lado, el sistema contribuye al análisis que pueda realizar el productor sobre las aplicaciones de nutrientes en sus plantas, tomando como referencia el área foliar real calculado por el sistema, dado que, si el área foliar de la planta cambia luego de una aplicación, es evidente la influencia de la fertilización en la planta. Así mismo, si el área foliar de la planta disminuye sin alguna aplicación del nutriente, se pueden evidenciar la influencia de la falta de fertilización en la planta.

Con base en lo anterior, se pretende, implementar un sistema que calcule el área foliar real de cada lado capturado por imágenes de una planta de gulupa, utilizando métodos de procesamiento de imágenes, los cuales, permitan entregar un dato acertado al productor sobre el tamaño en metros cuadrados de los lados de las plantas. Lo anterior, sumado a un plan de fertilización de nitrógeno, podría ayudar a indicarle al productor que plantas necesitan realmente el nutriente, y cuáles tienen exceso de este, utilizando los valores de área de las plantas y analizando el crecimiento de las mismas comparando los datos de área previos y posteriores a la fertilización.

Beneficios tecnológicos

Se genera un impacto positivo en la comunidad agricultora del municipio de Pasca, Cundinamarca, respecto a la utilidad de la tecnología en la agricultura, al mismo tiempo, se genera conciencia acerca del crecimiento productivo que se puede generar al implementar de forma eficaz la agricultura de precisión. Partiendo de lo anterior, se fomenta la posibilidad de generar diferentes soluciones tecnológicas a problemas presentados en el sector agrícola, utilizando cámaras multiespectrales o desarrollando diferentes software.

Beneficios institucionales

El desarrollo del proyecto le da a la Universidad de Cundinamarca la posibilidad de contar con un sistema capaz de calcular el área foliar de una planta de gulupa, el cual, puede ser usado en próximos proyectos referentes a la detección de dichas cualidades en los cultivos de gulupa. Por otro lado, llevar a cabo la ejecución de dicho análisis en el sector rural, genera un concepto académico y social positivo, referente a la educación suministrada dirigida al desarrollo social con un enfoque rural, por parte de la

Universidad de Cundinamarca.

Beneficio social

El software permite conocer al agricultor el tamaño real de las plantas, con el fin de que al comparar imágenes previas y posteriores a la fertilización, pueda estimar una cantidad aproximada de urea para aplicar sobre las plantas del cultivo, logrando así un aumento de la producción y/o disminución de costos de producción, lo anterior generando un impacto económico positivo en el agricultor de gulupa promedio. También, se incentiva a los productores del sector a llevar a cabo aplicaciones de nutrientes óptimas, con el fin de obtener los mismos impactos previamente mencionados, al mismo tiempo, adquiriendo conocimiento referente a la tecnificación de sus diferentes cultivos en curso.

1.3.1. Alcances y limitaciones

Alcances

El presente proyecto expone un software capaz de medir el área foliar de una planta de gulupa, usando para ello una cámara multiespectral, sumada a una estructura de contraste y un algoritmo de procesamiento de imágenes, permitiendo al agricultor saber las dimensiones de cada una de sus plantas. El proyecto plantea la base para el desarrollo de un complemento del software dirigido a la implementación de máquinas de aprendizaje, con el fin de transformar la estimación del estado de nitrógeno en un proceso automático, utilizando simplemente imágenes y el algoritmo de aprendizaje de máquina, además, agregando los datos de aplicación de nitrógeno previa y tiempo entre tomas fotográficas, se puede generar información referente al crecimiento de la planta y el cambio de nitrógeno en la misma.

Limitaciones

Se encuentra como primera limitación la falta de información referente a los análisis de laboratorio de suelos y análisis foliares provenientes del cultivo dónde se trabaja. Lo anterior, trae como consecuencia la ausencia de un resultado cuantitativo de la cantidad de nitrógeno en la planta.

Por otro lado, el cálculo del estado de nitrógeno en una planta, depende de dos tomas fotográficas y una aplicación de nitrógeno a la misma; la primer toma se debe obtener en un momento previo a la aplicación del nitrógeno y la segunda, posteriormente a la aplicación de dicho macroelemento. Lo anterior con el fin de conocer el incremento de área foliar de una toma respecto a la otra luego de una aplicación de nitrógeno.

Otra de las limitaciones del proyecto se presenta por la infraestructura del cultivo, el cual, mantiene una lona a través de todo el surco sobre la parte superior de la planta. Lo anterior, ocasiona que se evite el uso de drones para realizar la adquisición de imágenes en el cultivo. Cabe resaltar que la literatura existente para el cálculo de área foliar en los cultivos de gulupa se limita a capturas de imágenes desde las alturas, haciendo uso de vehículos aéreos no tripulados para dicho procedimiento.

La condición del terreno es causal de otra limitación, puesto que, para tomar las fotografías se necesita de una distancia fija de la cámara respecto a la planta, así mismo, una altura de la cámara respecto al suelo equivalente a la mitad de la altura total de la estructura de contraste. Sumado a lo anterior, la cámara debe apuntar al centro de dicha estructura. Dichas condiciones no son logradas, debido a que, el cultivo se encuentra sobre un terreno con ángulos de inclinación variables, dificultando la ubicación correcta de la cámara para adquirir las imágenes.

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo general

Implementar un sistema capaz de calcular el área foliar de una planta de gulupa, a partir de imágenes que representen dos dimensiones de la planta, mediante técnicas de procesamiento de imágenes.

2.2. Objetivos específicos

- Diseñar una metodología de adquisición de imágenes, capaz de facilitar la identificación de la planta en la imagen para un algoritmo de procesamiento de imágenes que permita calcular el área foliar de la planta en píxeles.
- Diseñar un algoritmo de procesamiento de imágenes, que sea capaz de distinguir y separar la planta de gulupa y el cuadro de contraste del resto de la imagen, utilizando las imágenes adquiridas en la metodología de adquisición, con el fin de obtener el área foliar en píxeles de cada lado de la planta.
- Aplicar un algoritmo capaz de calcular el área foliar real en las proyecciones frontal y lateral de la planta de gulupa, a partir del área en píxeles entregada por el algoritmo de segmentación.

Capítulo 3

Marco de referencia

3.1. Estado del arte

En la agricultura convencional, la nutrición y fertilización de una planta en general, son algunos de los aspectos más importantes a tener en cuenta para desarrollo del cultivo de la gulupa, ya que de estos dos, depende la productividad, la calidad del fruto y los costos de producción, como dice el autor [6].

“Todas las plantas en su ciclo vegetativo requieren de elementos nutritivos para un desarrollo favorable y una buena producción, algunos de estos elementos se encuentran en el suelo accesible para las raíces, mientras que otros deben ser proporcionados”, comenta: [7], haciendo referencia a la importancia de los nutrientes durante el ciclo vegetativo de las plantas para obtener un buen desarrollo y producción, por otro lado, expone que no todos los nutrientes son de fácil acceso para las plantas, dependiendo así de la aplicación de aquellos por el productor; tal es el caso del nitrógeno, el cuál es aplicado generalmente con la urea.

“Tanto los macro elementos como los microelementos son importantes y necesarios para las plantas-[7]. Del anterior autor, se puede extraer que para un óptimo desarrollo de la planta, se requieren diferentes nutrientes, clasificados como en macroelementos y microelementos, también conocidos como macronutrientes y micronutrientes.

Los micronutrientes han generado interés en algunos asesores y productores, puesto que, existen registros de nuevos casos en los que dichos elementos permiten el desarrollo óptimo de los cultivos y mejoran la calidad y el rendimiento de los productos obtenidos. Los microelementos con respuestas positivas a la aplicación más frecuentes son el Zinc (zn) y el boro (B) [8].

Por otro lado, están los macronutrientes, que son elementos imprescindibles en cantida-

des abundantes para que la supervivencia y el crecimiento de las plantas sea efectiva [9]. Los macroelementos de este grupo, se pueden dividir entre elementos primarios, como el nitrógeno(N), fósforo (P) y potasio (K), y elementos secundarios, como el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y el azufre(S) [10].

El macroelemento involucrado principalmente en el desarrollo de este trabajo es el nitrógeno, del cuál, se puede decir, es un elemento que en las plantas tiene una influencia que relaciona directamente al área foliar de la planta. A medida que aumenta el área foliar, se genera un incremento de contenido de nitrógeno en la hoja. [11]. Cabe resaltar que el nitrógeno se comporta de manera similar en todas las plantas.

Este macronutriente se considera el nutriente más limitante del crecimiento y ha sido señalado como el elemento de mayor extracción por parte de las pasifloráceas [12]. Dicho elemento es una parte fundamental para el desarrollo de este proyecto, puesto que, la estimación del estado actual del elemento sobre la planta, permitirá un desarrollo favorable de la misma.

En la actualidad, se utilizan diferentes métodos de análisis mineral para evaluar el estado de nutrición en las plantas, ofreciendo un diagnóstico completo de las deficiencias y excesos de los nutrientes además de otra información, con el fin de proponer y corregir distintos programas de fertilización. [13].

Generalmente, este tipo de pruebas exige un costo alto, además del tiempo que implica la ejecución de las mismas. Sumado a lo previamente expuesto, requiere del uso de un equipo de laboratorio sofisticado. Agregado a esto, se limita a un estado histórico de la condición durante un periodo específico de el estado nutrimental de la planta. Como algunos ejemplos, se encuentran los siguientes: Los métodos de cenizas, consistentes en la destrucción de la fracción orgánica y la digestión en húmedo, son un tipo de pruebas empleadas en diversos laboratorios para el análisis mineral de tejido vegetal [14]. Por otro lado, últimamente, se ha incursionado en emplear el extracto de jugo celular como una prueba rápida de campo. Este extracto es usado para dar una recomendación de aplicación de nitrógeno en cereales [15].

Con base en lo anteriormente descrito, se evidencia que los métodos de análisis de nitrógeno actuales son costosos o de complejo acceso. Para ello se piensa ejecutar este proyecto, utilizando imágenes multiespectrales se pueden reducir la cantidad de envíos de material a laboratorio, por ende, reduciendo los costos totales de producción. Para esto, se ve involucrada la agricultura de precisión, aplicada en los cultivos de “*Pasi-florácea*”.

Se encontraron diferentes métodos de aplicación de la agricultura de precisión en la familia de las pasifloráceas, dónde se evidencia un método de procesamiento de imágenes en el trabajo [16]. En este método, se utiliza el procesamiento de imágenes para encontrar el área foliar de una planta. En el proceso utiliza métodos de segmentación

aplicado en hojas de 4 diferentes frutales, además, análisis en espacios de color y filtrado de la imagen. Para este trabajo, el autor implementó dos métodos convencionales de medida sumado al método de la herramienta computacional con el fin de validar los resultados de este último. El primer método convencional llevado a cabo fue el método gráfico nombrado “conteo de cuadrícula”, el cuál fue escogido por su sencillez y economía al emplearlo. Este método, basa su funcionamiento en calcar sobre una hoja de papel milimetrado una hoja aplanada, comenta el autor. A este diseño se le realiza posteriormente un conteo de cuadrículas tomando en cuenta que cada 100 cuadros se igualan a 1 cm^2 se marcan de a $\frac{1}{4}$ cada uno de los 4 cuadros internos del cuadro más grande; se marcan solamente los cuadros que quedan en la parte interna a la silueta de la hoja. Luego se cuentan los cuadros que quedan en el borde, como se muestra en la Figura 3.2.

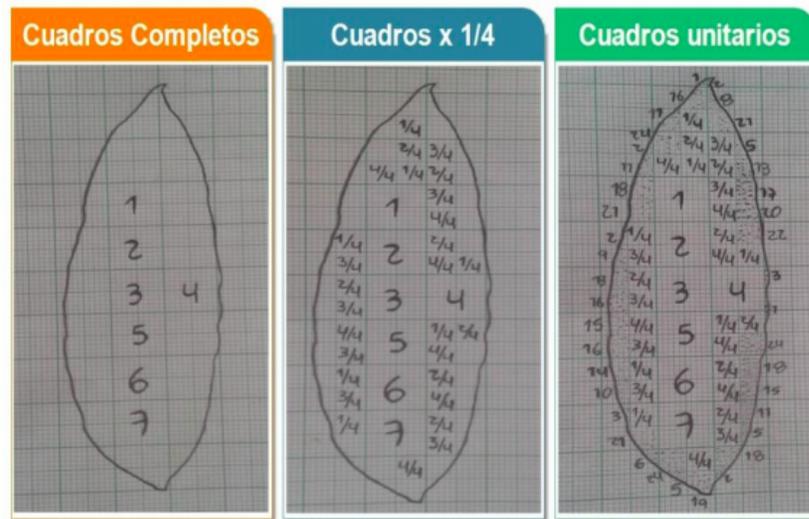


Figura 3.1: Conteo de cuadrícula. Fuente [16]

Después de tener todos los cuadros marcados son sumados, como se muestra en la Figura 3.2

El segundo método utilizado en este proyecto es el de la balanza analítica, el cual requiere de una balanza analítica como su nombre lo indica. Para este procedimiento, recortan un cuadrado de 2 cm^2 de la hoja, y se pesa la sección recortada y el restante por aparte. El área total de la hoja individual se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$A = \frac{P \times Ar}{Pr} \quad (3.1)$$

Dónde:

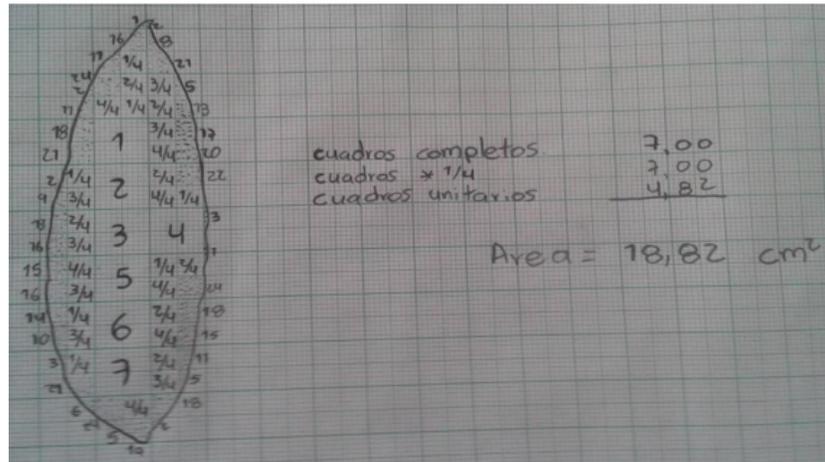


Figura 3.2: Sumatoria de la hoja. Fuente [16]

- A: Área total de la hoja
- P: Peso de la hoja
- Ar: área del recuadro en cm cuadrados
- Pr: Peso del recuadro

Los dos métodos anteriores, no tienen suficiente relevancia en el desarrollo de este proyecto, debido que, las dos pruebas se limitan a los cálculos de área en hojas individualmente, mientras que, el proyecto necesita capturar el área que ocupa la canopia de la planta desde diferentes ángulos de captura. Por otro lado, el método que logró ser útil para el desarrollo del trabajo, es el método implementando el procesamiento de imágenes. Este método emplea un modelo de ciclo de vida en cascada, el cual consta de 5 parámetros. El primer parámetro es la definición de criterios y restricciones del sistemas. En dónde se establecieron las dimensiones promedio de las hojas que iban a ser medidas, luego, el tipo de vidrio que se iba a utilizar para la estructura. Más tarde se definieron los materiales del sistema de adquisición. entre otros detalles. En este parámetro se escogieron también un sistema de iluminación y el hardware de captura del sistema. El segundo parámetro fue el diseño del sistema de visión artificial, en donde comentan que se realizaron los planos en el software "solid-edge", ubicando la tapa, la caja base y amortiguador. Más tarde se implementó un sistema físico, en donde se incluyó la cámara, la cual, se fijó a la estructura ya creada, como se muestra en la Figura 3.3.

El cuarto parámetro, y el más relevante en el desarrollo de este proyecto es la implementación de algoritmos para el procesamiento de imágenes, en dónde el autor expone que dichos algoritmos fueron realizados en el software Matlab, y describen características internas del sistema procesador.



Figura 3.3: Sistema de adquisición. Fuente [16]

La Figura 3.4, muestra todas las etapas de procesamiento que emplearon para hallar el área de la hoja correctamente.

De las etapas anteriores, serán útiles para el proyecto la lectura de la imagen, El ciclo de componentes, en donde se podrán agregar transformaciones a diferentes espacios de color, además, trabajarlas por separado como realiza el autor su diseño. La unión de componentes luego de ser trabajadas es una etapa interesante a la hora de descartar objetos específicos con colores distintivos. Por otro lado, se encuentra la conversión a escala de grises, factor importante para proceder a la segmentación, la cual, es uno de los pasos fundamentales en el desarrollo de un proyecto aplicando procesamiento de imágenes. El proceso de segmentación generalmente se usa convirtiendo la imagen en escala de grises a una imagen binaria, en donde se encuentran dos tonalidades, blanco o negro, representados por los valores lógicos 0 y 1. La segmentación tiene la función de separar un área de interés específica de la imagen, dándole uno de los valores binarios a lo que representa el área de interés y luego, asignándole el otro valor lógico al resto de la imagen. Siguiendo a esto, se puede contemplar la inversión de los valores lógicos en el proyecto. Aunque no se especifica, esta etapa debió ser utilizada para cambiar el color blanco por el negro y viceversa, con el fin de hacer un realce en la silueta de la hoja, haciendo más fácil su interpretación. Por último, se encuentra una etapa de eliminación morfológica, en donde se encuentran objetos muy pequeños, inferiores a 500 píxeles y se eliminan, todo para tener una imagen uniforme y darle la forma buena forma a la hoja segmentada, para al final, realizar el conteo de píxeles y establecer el área foliar de la hoja. Después de lo anterior, el autor expone el proceso a seguir ilustrado en la Figura 3.5.

El proceso de la Figura 3.5, parte con la imagen que entrega la segmentación en el pro-



Figura 3.4: Etapas del procesamiento para hallar el área. Fuente 16

ceso anterior, a la cuál le aplica una etapa de dilatación para hallar el área y perímetro de la hoja. Este proceso puede ser implementado en el proyecto de este trabajo, debido a que existe una correlación de parámetros que ofrecen información de la planta su canopia. Posteriormente, utiliza condicionales **If**, los cuales, respecto al valor de los datos interceptados anteriormente, dictan un conclusión respecto al nombre de la hoja ingre-



Figura 3.5: Clasificación de las hojas trabajadas. Fuente [16]

sada, basándose en las cualidades diferenciales de cada una de las hojas seleccionadas. En definitiva, un proceso innecesario para el desarrollo de este trabajo.

El quinto parámetro encontrado en el trabajo de [16], se encuentran las pruebas de funcionamiento. En esta fase, se realizaron ajustes en el tamaño de las hojas, luz del sistema y resolución de las imágenes (con el fin de evitar la saturación; aspecto importante para el proceso a desarrollar en este trabajo). Además se incluyen otros procesos propios de dicho proyecto, que no influyen en el desarrollo del proyecto a ejecutar.

Como conclusión, el autor comenta que la herramienta tuvo índices de correlación entre (92.2% y el 99.97%) para los cuatro tipos diferentes de plantas. Su validación fue realizada con técnicos expertos de la universidad donde fue radicado el proyecto. Por otro lado, el sistema se limita a ser un sistema portátil, pero no portable debido a su peso y sus dimensiones. Los filtros dependen críticamente del proceso al que se le va a aplicar. En el caso del anterior proyecto, los filtros deterioraban la calidad del diagnóstico.

Teniendo claro el planteamiento para la ejecución de la fase de procesamiento de imágenes, era necesario buscar como establecer el sistema de adquisición propio para el desarrollo del trabajo. Ligado a esto, se encontró el artículo [5], en el cuál, el objetivo de estudio, según los autores es mejorar el manejo actual del cultivo de vid en su viñedo, debido a la creciente oferta de los productos vitivinícolas por la competencia internacional. Para ello buscan orientar el manejo hacia las ayudas tecnológicas de la actualidad. Esta modernización permitiría cambios para mejorar la administración de viñedos, gestión de sistemas y principalmente aumentar los rendimientos, mejorar la calidad de la uva, por ende, del vino y acelerar la producción. Los autores encontraron que el cultivo, el clima, el suelo y el sistema de producción influyen en el vigor de la vid y su productividad al afectar las características del follaje con respecto a la cantidad de brotes por planta, la cantidad de hojas por vid y el índice de área foliar. Para los autores, las hojas son un elemento importante a la hora de tomar decisiones en el cultivo, pues estas afectan directamente la producción de este. Para intentar darle un mejor manejo, decidieron implementar imágenes digitales con una cámara comercial, utilizando dos métodos diferentes para la adquisición de propiedades foliares. Así, con los datos obtenidos, ejecutar diferentes técnicas para la mejora de su productividad. Los métodos utilizados fueron el método de brillo del área de la hoja (LAGB) y el sistema de cuantificación del área de la hoja fotogramétrica (PLAQS). En un mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), encontraron 3 puntos de vigor de la vid, como se evidencia en la Figura 3.6, los cuales catalogaron como bajo, medio y alto, de los cuales tomaron imágenes verticales y horizontales a cada planta.

El método LAGB se basa en la obtención de espacios de luz y brillo de la hoja con imágenes horizontales y verticales, según los autores. Para lo anterior usaron una cámara digital Epson PC5000 de 2 megapíxeles, sumado a un lente con apertura de 43 mm. La cámara fue conectada a una estructura móvil a 60 cm de altura mayor a la planta desde el suelo, 2.60 m desde el suelo. Luego, utilizan una lámina de fibra de vidrio blanca, de

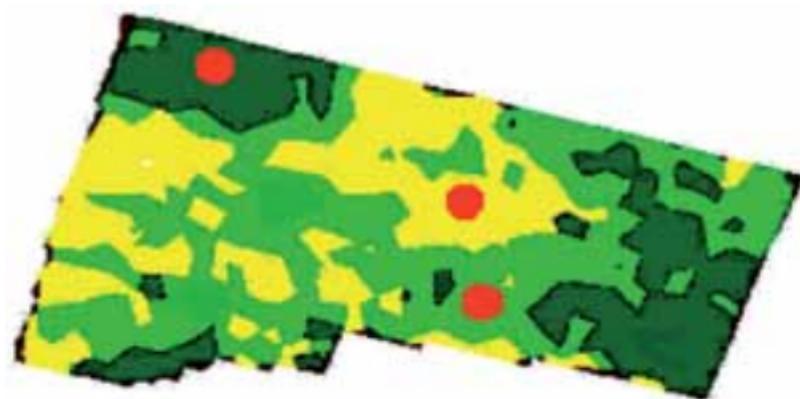


Figura 3.6: Mapa de índice de expresión vegetativa. Fuente [5]

3x2 m. En la estructura, el lente de la cámara debe apuntar perpendicularmente a la lámina de fibra de vidrio. La estructura completa se puede evidenciar en la Figura 3.7.



Figura 3.7: Diseño de la estructura. Fuente [5]

Para la imagen vertical, ubicaron la fibra detrás de la planta mirándola de pie, como

se puede apreciar en la Figura 3.8.

Por otro lado, para la toma horizontal, la ubicación de la lámina fue apoyada sobre el suelo, con el lado más extenso paralelo al surco y la cámara apuntando hacia la planta desde la parte superior de la misma, como se evidencia en la Imagen 3.9.



Figura 3.8: Ubicación vertical de la estructura. Fuente [5]

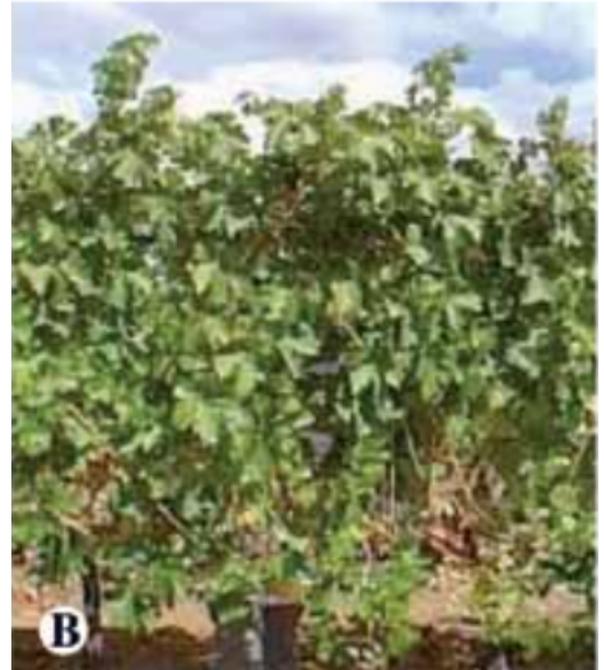


Figura 3.9: Ubicación horizontal de la estructura. Fuente [5]

Mediante el software Arc View Gis en su versión 3.2., las hojas fueron separadas del fondo de lámina, umbralizando con un valor dado, con el fin de que sean distinguidas el área de interés (las hojas) del resto de la imagen. Posteriormente, los autores exponen un polígono de hojas, de las cuales se puede relacionar la cantidad de píxeles con la cantidad de área foliar de la planta, como se puede evidenciar en la Figura 3.10.

Lo anterior, dándole un valor por cm a cada píxel de la imagen. Al final mediante la extensión Xtools forma una cuadrícula que otorga el mismo tamaño de la imagen con 1 y 0; donde el 1 es el material aislado y 0 la superficie o fondo. Este paso, es similar a lo visto en el artículo [16], relacionado con la segmentación. Con los pasos anteriores, los autores logran obtener el área foliar de la planta por el método LAGB. Para el proyecto en desarrollo, es de mucha utilidad este tipo de técnicas de adquisición sobre la planta para detectar el área foliar. Sacando ventaja de que el método anteriormente expuesto no compromete el desarrollo de la planta, siendo este, un método no invasivo a la hora de realizar un análisis; contrario al siguiente método a ver. Luego de poder

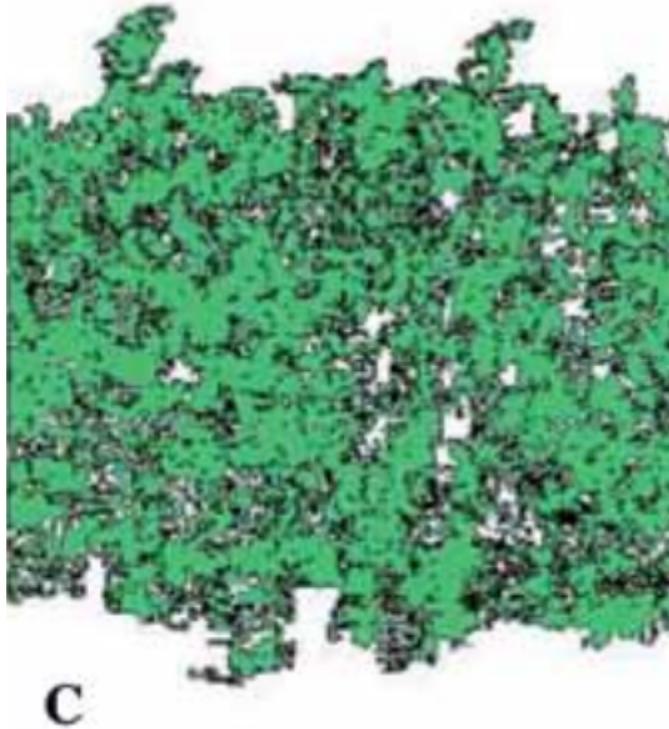


Figura 3.10: Diseño de la estructura. Fuente [5]

poner en práctica el método LAGB, es recomendable buscar una relación directa entre el índice de área foliar y los estados de nitrógeno en la planta. Posteriormente, los autores comentan el segundo método que utilizaron, al cuál se le denomina PLAQS. Este método, contrario al anterior es un método destructivo, quiere decir que requiere la extracción de una parte de la planta; en este caso la hoja para poder ejecutar un análisis. Los autores comentan que inmediatamente después de tomar la imagen por el método anterior, se cosechan cerca de un metro lineal de hojas y se pusieron en bolsas especiales para su transporte a donde se van a tomar las nuevas imágenes en espacios controlados. Se toman imágenes digitales con la misma cámara usada en el método anterior sobre un trípode a una altura fija de 2.4m. Usando el software Photoshop, lograron discriminar algunos colores de las 3 bandas principales, separando las hojas de la superficie para contrastar con el comando “Seleccionar rango de color”, el cuál permite aislar las áreas de una imagen de acuerdo a su canal de color, afirman los autores. Esta opción permite elegir un rango de color disponible para mostrar, los píxeles con colores idénticos a los seleccionados y mostrados. Posteriormente con el comando de “Edición”, se cambian todos los píxeles a negro (follaje) y a blanco (lámina de fibra de vidrio). Luego, se importa a un software llamado idrisis en su versión 3.2., el cual, crea un plano de referencia, definiendo unidades de distancia y tamaño de la imagen.

La función Calculadora del programa es útil para calcular los píxeles en la imagen, tendiendo cada píxel un valor específico de tamaño de hoja en la imagen. Más tarde se usa la función “imagen de carga a calcular” y la opción “como celda” para poder obtener el número de píxeles del follaje.

El método LAGB expresa el área real de la imagen en la siguiente ecuación.

$$IA_r = \frac{(PS^2 \times NP \times 0,0001) \times 100}{TI \times PS} \quad (3.2)$$

Dónde:

IA_r : Área real de la imagen (m^2m^{-1})

PS: Tamaño del píxel(cm)

TI: distancia de la imagen horizontal en píxeles

Con la ecuación anterior, ahora era necesario ubicar un método de aplicación de nitrógeno, que mostrara la relación directa entre el cambio de área foliar respecto a la aplicación del elemento sobre las plantas, en dicha búsqueda, se encontró el artículo [11]. En objetivo de este experimento consistía en hallar una tasa de crecimiento, el área foliar específica y el porcentaje de nitrógeno en las hojas del pasto “mulato”. Partiendo de lo expuesto previamente, se evidencia que entender acerca del proceso de crecimiento natural, es fundamental para poder predecir el potencial y las falencias que presentan y presentarán las plantas, en este caso forrajeras, en una situación de manejo variable. Para extender lo anterior, se encuentran algunos parámetros importantes como el área foliar específica (AFE) y la biomasa foliar, relacionados estrechamente con la tasa de crecimiento del cultivo. La AFE, es la razón entre el área foliar y el peso de la hoja, es decir, la medida de foliosidad de la planta con base en el peso seco, según este artículo. Dicho parámetro es relacionado directamente con el crecimiento de las plantas, favoreciendo cambios en la razón de área foliar y la eficiencia fotosintética en el uso del nitrógeno, cabe resaltar que, el contenido de nitrógeno en las plantas disminuye durante el crecimiento, acumulando materia seca. Respecto a la AFE, el artículo comenta que es un parámetro variable respecto a la intensidad lumínica o época del año. En las especies más demandantes de luz, se encuentran una AFE elevada, anexo a esto, se evidencia nitrógeno altamente concentrado en las hojas, por otro lado, las hojas con menor AFE, tienen relaciones significativas con mayor aceleración en el proceso de muerte celular en las hojas, bajo contenido de humedad, y lo más importante para nuestro proyecto un baja concentración de nitrógeno. El experimento se ejecutó en el INIFAP, en Isla, Veracruz. Se encontró un suelo con textura franco-arenosa, y describen una falencia en materia orgánica, nitrógeno, calcio y potasio, por otra parte, contenidos altos de fósforo y magnesio. Se inició el experimento en condiciones controladas de humedad y sin fertilización. Se evaluaron diferentes estadios de crecimiento durante 7 días por medio de muestreos destructivos. Posteriormente, fueron usados métodos destructivos

para la adquisición de hojas por estadio completo. Hubo cosechas aleatorias, de donde informan por estadio cuatro plantas completas.

Más tarde, se separaron de la planta hojas, tallos, inflorescencias, material muerto aéreo y biomasa subterránea. Se retiraron hacia una estufa de aire forzado para posteriormente ser pesados en una balanza analítica, presentando una aproximación a milésima de gramo.

Lo que se recolectó de biomasa, fue sumado a los muestreos siguientes para obtener un valor de biomasa aérea, radical y acumulación de biomasa total. Por otro lado, los tallos encontrados fueron registrados en las fechas de muestreo destructivos, además, fue determinado el número de hojas presentes respecto a la relación al número de tallos por planta.

El área foliar de cada hoja se calculó con “área meter, Delta-T.Devices”, el cuál, cumple el rol de un integrador de área foliar. Con los datos recopilados anteriormente, se estimó el área foliar de la planta. Luego, según los autores, el AFE se calculó como la biomasa de las hojas por planta y el área foliar. El área foliar específica se obtuvo como la división entre la biomasa de las hojas y el área foliar por planta. El autor expresa que para cada muestra de área foliar, fue determinado el porcentaje de nitrógeno total, usando el método de digestión citado por ellos [17], en su artículo..

Durante el experimento, se pudieron evidenciar las relaciones de pérdida de biomasa por descomposición y senescencia con el incremento de la madurez en la planta. Por ende, la biomasa aérea empezó a decaer después de cierto tiempo, momento en el cual, empezó su emisión de tallos florales. Este puede ser un dato importante, puesto que, se puede aproximar un estadio de crecimiento observando el comportamiento anterior; dato importante a la hora incluir variables de incremento o disminución de nitrógeno en la planta respecto a la madurez de esta. La máxima AFE, respecto a lo mencionado por los autores, se encontró a las cuatro semanas del experimento, encontrando como parámetro importante la mayor concentración de nitrógeno en la hoja. Luego, empezó a disminuir a medida que incrementaba la madurez de la planta y el peso seco de las hojas. La altura de la planta se relacionó positivamente con el contenido de nitrógeno en la hoja, afirmando que, a mayor porcentaje de nitrógeno foliar, mayor es la AFE. Como conclusión, dictan que la producción de biomasa aérea de tallos, de material muerto aéreo y biomasa radical del pasto mulato, están correlacionadas de manera positiva con el incremento en la edad de la planta. Por otro lado, el área foliar específica disminuye a medida que la planta madura; a medida que incrementa dicha área foliar, se incrementa el contenido de nitrógeno en la hoja, el cual también presenta una disminución al aumentar la madurez de la planta, debido a la acumulación de materia seca en el proceso de crecimiento.

Respecto a los antecedentes, el proyecto estaba planteado para solucionarse en tres

fases. La primera era la adquisición de la imagen. En esta fase se buscaría realizar unas tomas en el municipio de Pasca, Cundinamarca, sobre un cultivo de Gulupa. Para dicha adquisición, se encontraron dos métodos posibles: Brecha y brillo de la hoja (LAGB) y Sistema de cuantificación del área de la hoja fotométrica (PLAQS), siendo el último un método destructivo de la planta. Por medio de coordenadas, se ubicarán las plantas que presenten las deficiencias anteriormente mencionadas, para poder diferenciar las plantas que la presenten con las que no. Como se mencionó anteriormente, también existe el método LAGB, el cual, consiste en obtener espacios de luz y brillo de la hoja usando imágenes verticales y horizontales. Para ejecutar las tomas, se consideró el uso de la cámara multispectral Parrot sequoia para facilidad en el procesamiento de la imagen, puesto que, configurando algunos lentes en específico, se puede obtener una imagen pre-segmentada, ayudando un poco al software de procesamiento. Se colocará una lámina de fibra de vidrio blanca de $6,21^2(2,7 \times 2,3_m)$, tomando en consideración el lado más largo para ubicarlo en paralelo con la hilera.

Posteriormente se ubicará esta lámina a un lado de la planta para obtener una imagen vertical. Las imágenes tomadas se ingresarían a un software creado por los encargados del proyecto, el cuál sería capaz de filtrar, segmentar y determinar la cantidad de biomasa presente en la imagen, descartando todo material que no sea foliar. Este software se ejecutaría una biblioteca de visión artificial con lenguaje Python conocida como Open CV. Para la ejecución del método (PLAQS) se debe extraer algunas hojas de la planta para determinar el área de la hoja en la toma. Al ser un método destructivo, se descarta, debido a que no es lo que se busca para el desarrollo de este proyecto.

Para la segunda fase, se pretende tomar algunas muestras de suelo, las cuales, se enviarían posteriormente al laboratorio para determinar las propiedades en ese instante del terreno. Por otro lado, se deben tomar algunas hojas y también enviarlas al laboratorio, para saber el estado de Nitrógeno actual de las mismas. Los datos adquiridos por los exámenes de laboratorio se usarían como referencia para empezar a analizar las tomas de los métodos de adquisición. Antes de cada toma se fertilizaría con diferentes cantidades de nitrógeno la planta, esto con el fin de evidenciar sus cambios en el área foliar respecto a la aplicación del macronutriente. Cada 2 tomas, se enviarán las hojas para análisis de laboratorio, con el fin de aproximar a datos reales las cantidades de nitrógeno detectadas en las hojas. Se realizaría una tasa de variación de crecimiento, la cual evidencie la estrecha relación de la aplicación del macronutriente con el crecimiento del área foliar de la hoja, esto con el fin de añadir parámetros al programa que pretender procesar la imagen haciendo más eficaz su diagnóstico.

3.2. Marco teórico

3.2.1. Agricultura convencional

La agricultura convencional, fue el ejemplo en la agricultura aplicado por el homo-sapiens inicial, hace cerca de 10000 años. Sobre este concepto de agricultura, fue tomada la labranza como un pieza primordial e inevitable en cuanto a la producción de forrajes y granos [18]. El autor de [18], cita a [19], quien encontraba como el rey de las combos tecnológicos, respecto a la producción involucraban las prácticas del rastreo, el arado y la quema de residuos, pulverizando totalmente el suelo. Aún así, sin desconocer la utilidad respecto a la alimentación humana en épocas pasadas, la agricultura convencional es causante del deterioro extremo de suelos, utilizando como medio la erosión de suelos y por el aplicativo de criterios explotacionales, enfocados a la extracción de recursos minerales. El autor describe como una pérdida equivalente a 10 toneladas de suelo a cambio de 1 tonelada de producto en grano [20]. La agricultura tradicional, radica en sugerencias generales para grandes extensiones y en promedios estadísticos. De la misma forma, los trabajos para cantidades de terreno extensas, para suelo o cierta cantidad de especies vegetales, son generalizados dejando de lado las condiciones específicas del cultivo y su entorno. Dichas prácticas, conducen a procesos de uso no efectivo de recursos y degradación del medio ambiente, dejando como consecuencia, la limitación de potencial del cultivo y el aumento de los costos de producción. [21]. La agricultura tradicional, comúnmente conocida como agricultura convencional, era caracterizada por la falta de involucración tecnológica. Por ende, su producción era escasa y limitada hasta para el autoconsumo [22]. Gaston Remmers [23], dice textualmente: “cuando hablo de agricultura tradicional, me refiero a los sistemas de uso de la tierra que han sido desarrollados localmente durante largos años de experiencia empírica y experimentación campesina”. La agricultura tradicional está fija en lo más profundo a la cultura en la que se cultiva. El ser campesino es un estilo de vida. Dicha agricultura se efectúa con base a una acumulación a través de generaciones de conocimiento empírico y otorgado por la experimentación propia de los campesinos. Siendo un concepto muy alejado de nuestra agricultura moderna, expone [23] en su artículo. Actualmente, sigue existiendo dicha práctica, conservando muchas características de la antigüedad. Es una agricultura ejecutada en pequeñas proporciones, manejando las técnicas artesanales antiguas con técnicas rudimentarias actuales. Depende estrictamente de la mano de obra, al mismo tiempo, de la explotación animal en el proceso. Su rendimiento es relativamente bajo, siendo comparado con la agricultura moderna, esta tiene una productividad de la misma forma baja. Como se leía anteriormente, uno de sus enfoques principales es el incentivo al autoconsumo, buscando siempre la satisfacción familiar antes que la producción masiva. Requiere de tiempo intensivo en la práctica. Por otro lado, los conocimientos requeridos han de ser básico para sostener un cultivo en esta modalidad de agricultura [22].



Figura 3.11: Ejemplo de agricultura convencional. Fuente [22]

Aunque, es una agricultura practicada por un porcentaje alto aún del sector rural, es una práctica que no trae muchos beneficios respecto al esfuerzo que requiere ejecutarla. Por tal motivo, se crearon los nuevos caminos hacia la agricultura moderna; involucrar la tecnología con los diferentes procesos agrícolas, aumenta productividad y reduce esfuerzo, siendo esto, el factor más importante a resaltar, cuando se compran estas dos prácticas. Poco a poco, la agricultura convencional tendrá que ser desterrada, y al mismo tiempo, las personas que subsisten de ella, serán conscientes de que el cambio solamente mejorara su estilo de vida.

3.2.2. Agricultura de precisión

El concepto del cual se desprende la agricultura de precisión, se basa en la correcta aplicación de insumos, en tiempo determinado y un lugar específico, regidos por búsqueda de la exactitud. Incluye el uso de las tecnologías de la información, con el fin de realizar un manejo de suelos adecuado. [24]. Tienen un amplio potencial dirigido a mejorar la gestión de la empresarial agropecuaria en aspectos económicos y ambientales; puede mejorar la sostenibilidad y la competitividad de la agricultura colombiana [21]. Otro concepto relacionado con la agricultura de precisión, que parte de una posición similar, la brinda [25]. Dónde describe a la agricultura de precisión como “un conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas, en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola”. Esta optimización es conseguida dependiendo de la necesidad y potencial de cada área de manejo, combinado correctamente con la partición eficiente de recursos. Por otra parte, la agricultura de precisión es entendida como el adoptamiento de prácticas administrativas, las cua-

les, permiten tomar medida a la variabilidad existente. La detección y clasificación automáticas de los trastornos de las plantas, ha recibido considerable atención en las últimas dos décadas. Se han utiliza muchos tipos de tecnologías para recopilar la información necesaria para la automatización, incluida la espectroscopía de impedancia eléctrica, espectroscopía de reflectancia, micro espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier y espectroscopia de fluorescencia de clorofila. Las imágenes digitales, que siempre han estado entre las principales fuentes de datos, se han vuelto cada vez más dominantes a medida que se generalizó el uso de técnicas basadas en el aprendizaje profundo. Una gran parte de los estudios de deficiencias nutricionales encontrados en la literatura emplean imágenes capturadas por satélites o vehículos aéreos no tripulados (UAV) [2]. En la agricultura de precisión, existe un planteamiento, en dónde se implementan nuevas tecnologías como métodos de manejo alternativo, control y monitoreo de los cultivos agrícolas, que se encuentren en etapas de desarrollo diversas, con tendencia a la mejora productiva y a la disminución de costos. El uso de drones, fue propuesto en la explicación a la respuesta espectral de un conjunto en imágenes NIR(infra-rojo cercano)(NIR) [26]

La agricultura de precisión permite solventar las exigencias actuales que presenta la denominada “agricultura moderna”, incluyendo los grandes terrenos comúnmente manejados por esta práctica involucrando sistemas de posicionamiento global(GPS), además,, de diferentes medios electrónicos, todo a través de la obtención de distintos datos en el cultivo [24].

Como fue anteriormente mencionado, la agricultura de precisión es la práctica capaz de satisfacer a la agricultura moderna, con base en, la aplicación de diversos elementos tecnológicos. La agricultura de precisión aplica las tecnologías de la comunicación e información para la recolección de datos de interés para el productor, y buscando ejecutar una acción con base en los datos recopilados.

Es común encontrar en esta tecnología el uso de UAV(vehículos aéreos no tripulados, Cámaras multiespectrales, cámaras hiperespectrales, uso de espacios de color como RGB, cálculos de NDVI, involucrando los lentes de diferencia normalizada. Por otro lado, existe el uso de sensores y actuadores capaces de automatizar todo un sistema haciendo una recopilación periódica de datos, ejecutando una acción, consecuencia a los datos obtenidos [26]. En los cultivos tradicionales, la agricultura de precisión está tomando parte, al ser implementado como soluciones a factores limitantes presentados en esta práctica. Esta tecnología está siendo implementada incorporando nuevas técnicas en el sector productivo, incrementando y manteniendo la productividad de los cultivos. [25].



Figura 3.12: Ilustración agricultura de precisión. Fuente [25]

3.2.3. Aspectos generales de la gulupa

La gulupa es una fruta exótica perteneciente a la familia botánica “*Pasifloraceae*“, gracias a su apariencia, valor nutricional, propiedades medicinales y cualidades exóticas, la gulupa es apetecida en muchos países [27].

El cultivo se cumple con condiciones de adaptación del trópico, entre los 1400 y 2200 m.s.n.m., puesto que, mayor altura, su producción comienza desde los 12 a los 18 meses y la fruta tiene un menor tamaño [28].

La descripción botánica de la planta, en el caso del sistema radicular(raíz), describe un sistema fasciculado, que presenta abundante fibra y de ramaje. La secundan un grupo de raíces a poca profundidad de 40 *cm* a 60 *cm*, con un tallo de estrías presentes, características herbáceas y textura leñosa hacia la base, de hasta de 10 *cm* de diámetro, Por otro lado, la rama alcanza longitudes hasta 50 *m*, de la cual, son desprendida, dos estípulas lineares, un sarcillo y una hoja, cuya funcionalidad es la adherencia de la planta a su respectivo soporte. Las hojas, son glabras semicoriáceas, con nervaduras pronunciadas y de 3 lóbulos(Cuando están jóvenes solamente un lóbulo). Por otra parte, la flor, se encuentra localizada en la base del pedúnculo, el cual, realiza la inserción de la flor con el tallo y logrando alcanzar una longitud de 2 *cm* a 2,5 *cm*. En cuanto al fruto, se describe como una baya con características morfológicas similares a una esfera, midiendo de 5,2 *cm* a 8 *cm*, además, un diámetro de 4,7 *cm* a 7,2 *cm*. A su vez, su cáscara no presenta rugosidad, mantiene una consistencia fuerte, la cual, tiene un espesor cercano a 3 *cm* a 4,5 *mm*. Otro rasgo característico de la fruta es la blancura de

su mesocarpio esponjoso. En cuanto al origen de la gulupa, el autor comenta que esta es tiene origen en el sur de Brasil, el norte de Argentina y Paraguay. Desde mediados del siglo XVIII, la gulupa comúnmente se le da un uso ornamental en restaurantes, jardines botánicos y otras plazas públicas [29]. En la imagen 3.13, se encuentran algunos usos comunes en las gulupa.

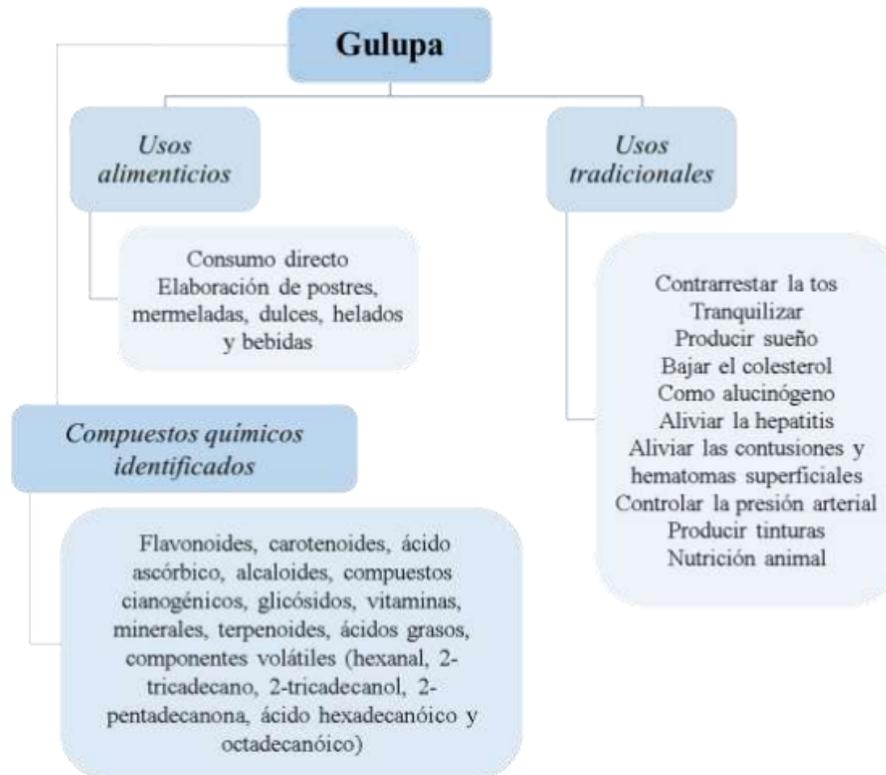


Figura 3.13: Usos comunes de la gulupa. Fuente [30]

La gulupa en Colombia

La gulupa, se ubica en Colombia como la la tercera fruta de mayor exportación, además de ser la segunda pasiflora en serlo. Debido a lo anterior, la gulupa es comúnmente blanco de investigaciones fisiológicas y bioquímica del fruto, buscando un mejor rendimiento en la post-cosecha, cosecha y por último, el cultivo [28]. Colombia cuenta con 170 especies diferentes de pasifloras y es el país con mayor diversidad de estas [29]. La gulupa fue introducida a Colombia en 1950, proveniente de Brasil. Gracias a su sabor neutral y su valor nutricional respecto a los cultivos pertenecientes a su misma familiares, es considerada actualmente una de las mejores pasiflora. Su cultivo en el país se ubica mayoritariamente en la región andina, en zonas próximas a los 1800 *m.snm*, encontrándose

en este rango los departamentos de Antioquia, Cundinamarca Tolima y Risaralda [30].

3.2.4. Clasificación de las plantas

El autor [31]ex pone que el crecimiento en los órganos de las plantas, sigue el rumbo de un proceso fisiológico complejo, el cual tiene dependencia directa con la respiración, la fotosíntesis, la diferenciación, entre otros. sumado a esto, sufre influencia de factores térmicos, lumínicos, poblacionales, referentes a disponibilidad de nutrientes y agua, y calidad del simiente.

Es posible describir el patrón de crecimiento de un organismo mediante la curva sigmoidea. Según el autor [32], existen 3 fases den dicha curva:

- Fase de retardación: Sucede en el momento que las plantas empiezan a reducir la cantidad de masa seca cuando el proceso de germinación ocurre. Mientras el embrión es desarrollado, las reservas de la semilla son agotadas.
- Fase logarítmica: En esta fase, el crecimiento es lineal y se evidencia rápidamente.
- envejecimiento: El ciclo de crecimiento se ve afectado por su contrario, el decrecimiento; al mismo tiempo, la se empieza a secar.

En términos netamente biológicos, la productividad de un cultivo se define desde el comienzo del ciclo de producción. Esta productividad se ve afectada por múltiples factores, tales como el ambiente, el genotipo o sus condiciones de manejo, expresa [33] con base en lo propuesto por el autor [34].

3.2.5. Nutrición del cultivo

En la actividad agrícola, se encuentran factores que limitan la productividad de la misma, entre ellas se encuentran el costo por insumos aplicado en los cultivos, que suplementan su nutrición

Cada planta, necesita individualmente de una adecuada nutrición mineral, con el fin de obtener un crecimiento y desarrollo habitual; para lograr una producción agrícola que asegure los procesos de seguridad alimentaria, es primordial manejar una óptima nutrición. Cada genotipo y especie de planta requiere una nutrición mineral óptima para su normal crecimiento y desarrollo; una adecuada nutrición general es fundamental para alcanzar una producción agrícola que garantice la seguridad alimentaria[35]. La relación entre la concentración de un nutriente en una planta o en una parte de esta y el rendimiento, constituye la base de muchos esquemas para evaluar el estado nutricional del cultivo. Existen diferentes factores que afectan la concentración de nutrientes en la planta, tales como: la edad fisiológica, el órgano muestreado, la posición de la planta, efectos del cultivar, interacciones entre nutrientes, condiciones ambientales, entre

otros [36]

De acuerdo con las investigaciones realizadas, por medio de la técnica del nutriente faltante, en cultivos hidropónicos, existen más de 100 elementos químicos en la naturaleza, pero solamente 17 se consideran como elementos esenciales para el desarrollo de las plantas. Se debe agregar que, de los elementos esenciales, existen algunos que no son considerados minerales, puesto que, estos son adquiridos por la planta desde el agua o el aire. Por otro lado, los nutrientes restantes se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Dentro de los macronutrientes se encuentran el Fósforo (P), Nitrógeno (N), Potasio (K), Azufre (S), Magnesio (Mg), Calcio (Ca). Por otro lado, en los micronutrientes se encuentran el Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), Manganeseo (Mn). Se debe agregar que el agua, fósforo, potasio y el nitrógeno, se consideran como factores limitantes principales en el crecimiento de la planta, el desarrollo de la misma y el rendimiento excelente económicamente hablando de los cultivos [35].

El diagnóstico confiable del estado nutricional de los cultivos es una parte esencial del manejo de una granja, ya que tanto el exceso, como la deficiencia de nutrientes, pueden causar daños severos y pérdida de rendimiento. Como resultado, se evita el desperdicio de recursos financieros y se reducen los impactos ambientales. Actualmente la forma más común de determinar el estado nutricional es visualmente, por medio de guías de colores de plantas, que no permiten evaluaciones cuantitativamente rigurosas [2].

El estereotipo respecto a la suplementación nutricional eficiente, ha conseguido ganar mayor atención con base en la constante inquietud hacia el impacto ambiental y el aumento en los costos de fertilizantes [37].

3.2.6. Nitrógeno en cultivos

El nitrógeno como fertilizante, ha aportado significativamente en el aumento de producción alimentaria. Este macroelemento, es el mineral que mayor absorben las plantas, además, dicho mineral es netamente influyente en los procesos fisiológicos esenciales en el desarrollo y crecimiento de la planta. Por otro lado, el nitrógeno se considera, entre los 17 elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, como el más encontrado en las mismas. Las funciones del nitrógeno son de tipo estructural y osmótica; la estructural tiene relación directa con la síntesis molecular esencial enfocada al crecimiento, tales como, los aminoácidos, los ácidos nucleicos, clorofilas, entre otros. Por otro lado, la osmótica se asocia al efecto del ion de nitrato y al nitrógeno en otras figuras atenuadas del nitrógeno [38].

3.2.7. Cámara multiespectral

La cámara multiespectral es aquella capaz de capturar imágenes utilizando frecuencias de onda distintas. Gracias a esto, las imágenes obtenidas por la cámara multiespectral, no serán limitadas únicamente a visualizar el espectro de luz visible por el órgano visual del ser humano, además, se puede ajustar respecto al tipo de onda, para adquirir diferentes imágenes fuera del espectro. Estas cámaras combinan características de una cámara matricial normal y un espectrógrafo INSPECTO. Estas características son las causantes de la imagen multiespectral final, permitiendo la solución a problemas cromáticos industriales o científicos. Se debe agregar que, este tipo de cámaras son las únicas que permiten ver la luz no visible. Estos dispositivos pueden operar en diferentes espectros, visibles o infrarrojos. Por otro lado, aunque la diversidad de productos es variada, suelen encontrarse generalmente en $(380 - 800 \text{ nm})$ VIS, $(400 - 1,000 \text{ nm})$ VNIR y NIR. El uso de estas cámaras en la agricultura de precisión parte desde la limitante en el ojo humano para distinguir ondas diferentes a las incluidas en las tres bandas (roja, verde y azul), algo que si puede lograrse a través del uso de cámaras multiespectrales.

La orden de estas bandas se hace por medio de longitudes de onda o frecuencia. Para su uso en la agricultura de precisión, es importante mencionar que el espectro que detecta la luz infrarroja próxima es de especial importancia, puesto que, permite descartar masas que indican vegetación y concentraciones de humedad en el terreno, por otro lado, se encuentra el infrarrojo medio, el cual es importante para estimar el contenido de alta humedad en la vegetación y ubicación de focos de alta temperatura. El uso de estas cámaras en los drones ayuda a realizar vuelos por el usuario, con el fin de tomar algunos datos a baja altura, agregado a esto, obtener una resolución espacial menor que la usada actualmente por los satélites. La unión de los drones con las cámaras multiespectrales, permiten contar y supervisar la producción agrícola. Las áreas fumigadas monitoreadas y la temprana detección de patologías y plagas en cultivos, malas hierbas, cambios climáticos extremos, riego inapropiado, y el relevamiento de los diferentes tipos de índices de vegetación. Con estos datos, además, es posibles crear diferentes mapas en los que se muestran las zonas saludables del cultivo las que se deben tratar o las que hay que empezar a prestarle atención. Con posterioridad, la información procesada generalmente sobre plataformas Cloud (nube), puede ser exportada para diversas utilidades, desde manejo adicional de los mapas con software del tipo GIS, hasta generar las prescripciones para aplicación de fertilizantes [\[39\]](#)

Capítulo 4

Metodología

4.1. Adquisición de las imágenes

Como se pudo evidenciar anteriormente, el nitrógeno es el macronutriente más importante de los tres macronutrientes existentes. La biosíntesis nítrica y todas sus consecuencias son un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de la planta y el enfoque del cultivo. El nivel de nitrógeno en la planta se relaciona directamente con su área foliar, su pigmento foliar, su tamaño, entre otras, siendo esto, parte fundamental para el análisis del cultivo.

Como se mencionó en el estado del arte, existen diferentes técnicas para calcular el área foliar de la planta; muchas de ellas dependiendo de un alto costo económico y de tiempo en el proceso, para ello, se decide implementar la agricultura de precisión como método de solución al problema previamente planteado, utilizando para ello el procesamiento de imágenes para su desarrollo.

4.1.1. Espacio de adquisición de imágenes.

La adquisición de imágenes para el proyecto, fue implementada en la finca “La pradera”, ubicada en la vía a la vereda Lázaro Fonte, correspondiente al municipio de Pasca, Cundinamarca.

Para el desarrollo de este procedimiento, estuvieron presentes: el director encargado del proyecto y dos auxiliares de investigación vinculados al mismo. Además, se contó con la asesoría de una ingeniera agrónoma, estudiante de la maestría en ciencias ambientales de la Universidad de Cundinamarca, vinculada al proyecto, para detectar superficialmente, un aproximado del estado actual del cultivo y sus elementos.

La finca está ubicada a una altitud media de 2310 *msnm* y tiene una medida aproxima-

da de 12 fanegadas. En la finca, se encuentra un cultivo de gulupa “*passiflora edulis*”, ocupando una hectárea aproximadamente del terreno con 1250 plantas, además, su distancia entre plantas es de 4 m y entre surcos de 2 m. Se evidencia en las plantas la presencia de la enfermedad denominada mancha de aceite “*Xanthomonea campesstris*”, además de, pudrición radicular, siendo las anteriores, las enfermedades más destacadas; los anteriores datos fueron parte del diagnóstico previo, realizado por la ingeniera agrónoma encargada.

Un fragmento del cultivo puede ser observado en la Figura [4.1](#).



Figura 4.1: Distancia entre plantas.

Entre las plagas principales de este cultivo, se encuentran las Babosas, gusanos cogolleros, Trips, mosca del ovario y araña roja. Por otro lado, en el cultivo se emplean aplicaciones nutricionales periódicas basadas en fórmulas planteadas por agrónomos de la zona; las aplicaciones son foliares y al suelo.

Las plantas del cultivo tenían una edad promedio de 1 año y seis meses. Se debe agregar que, el área foliar de la planta crece a medida que la edad de la misma incrementa [40](#). En vista que, la edad de las plantas en el cultivo era similar, su crecimiento de área foliar tendería a ser igual en el cultivo, por ende, no influiría significativamente en el cálculo del área foliar de la planta. Por otro lado, para estimar el estado del nitrógeno, con base en el crecimiento del área foliar, la edad sería un factor influyente si su variación en el cultivo fuese significativa.

Hay que resaltar, que el cultivo manifiesta un déficit nutricional de nitrógeno detectado

por la ingeniera agrónoma encargada de evidenciar el estado del cultivo, observado por la despigmentación de las hojas en plantas sin presencia de las enfermedades anteriormente mencionadas. Partiendo de lo anterior, se consideró dicho cultivo como un candidato favorable para la ejecución del proyecto.

Como se puede observar en la Figura [4.1](#), el cultivo tiene en la parte superior de cada surco, una extensa lona casi blanca, que la cubre en su totalidad desde una vista vertical superior, la cuál se extiende de principio a fin en cada surco.

4.1.2. Herramientas y condiciones

Para el desarrollo del proyecto, se utilizó una cámara multispectral para poder detectar el estado de nitrógeno mediante la evaluación de área foliar. El análisis por área foliar requiere especificidad a la hora de la medida, debido a que el área es una variable cuantitativa, diferente del color que puede ser cuantitativo como cualitativo. Para dicho análisis, se empleó un sistema de procesamiento de imágenes, el cual, es capaz de calcular el área foliar de la planta mediante un algoritmo que se ejecute al ingresar las imágenes capturadas. Es necesario que la imagen requerida para el procesamiento sea tomada por una cámara multispectral, debido a que, por medio de la combinación de lentes rojo e infrarrojo cercano, se puede obtener el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), siendo una característica extra para incluir en el vector de características para la máquina de soporte vectorial que se utilizará en un futuro.

A lo largo del capítulo, se expondrá el proceso de preparación del entorno para la adquisición de las imágenes, previo al procesamiento de las mismas.

4.1.3. Método para la adquisición de imágenes.

Se empleó un método que evita el problema referente a la diferenciación de objetos y la identificación de características en el proceso de segmentación posterior, encontrado en el artículo [41](#), en el cual, exponen el método de adquisición de imágenes y cálculo de área foliar "LAGB". En la literatura expuesta anteriormente, se expone el uso de dicho método para la detección del índice de área foliar en los cultivos de uva en Chile. El método LAGB, consiste en tomar dos fotografías por planta: una horizontal y una vertical, para posteriormente, en un post-procesamiento, calcular el área de las plantas en cada una de las imágenes y con esos valores obtener el índice de área real de cada una de las dimensiones.

Para obtener las dos tomas, fue necesario implementar un modelo de la estructura de [41](#) con unos ajustes significativos, con el fin de reducir costos de creación y mejorar la precisión de las tomas. La estructura se creó con base en las dimensiones de las plantas del cultivo de gulupa a tratar.

Las plantas medían desde el suelo hasta la lona aproximadamente 2,6 *metros*, y de ancho cerca de 2,2 *metros*. Utilizando estas medidas, se estimó que una medida razonable para la construcción de la estructura era de 2.80 metros de largo, y 2.30 metros de ancho, con el fin de cubrir la planta en su totalidad; el largo, se debe principalmente a que la planta es enredadera y sus guías se extienden paralelamente al surco. Se debe recordar que sobre el surco completo se ubica una lona blanca, lo cual impide que la estructura sea demasiado grande. Se puede evidenciar un plano de la estructura en diferentes proyecciones en las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4.

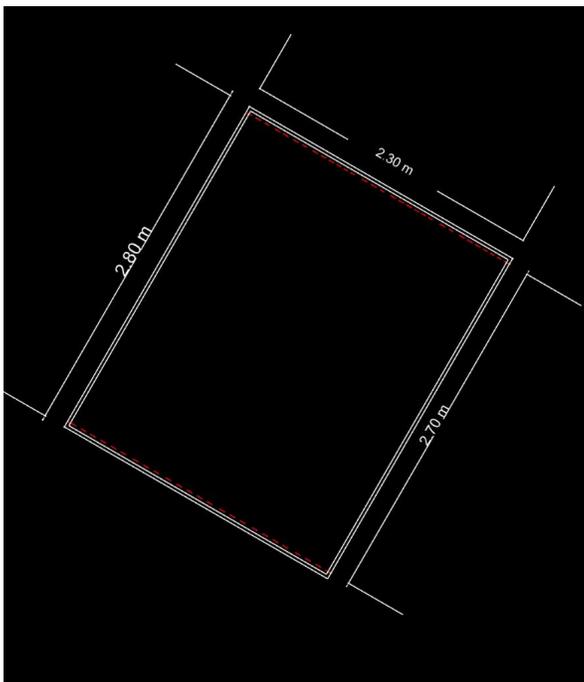


Figura 4.2: Plano del fondo de la estructura.
Fuente: Autor

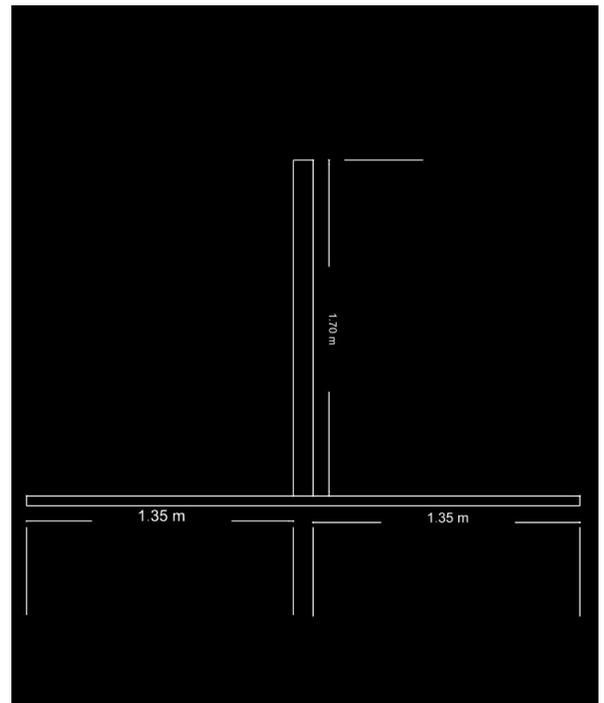


Figura 4.3: Plano lateral de la estructura.
Fuente: Autor

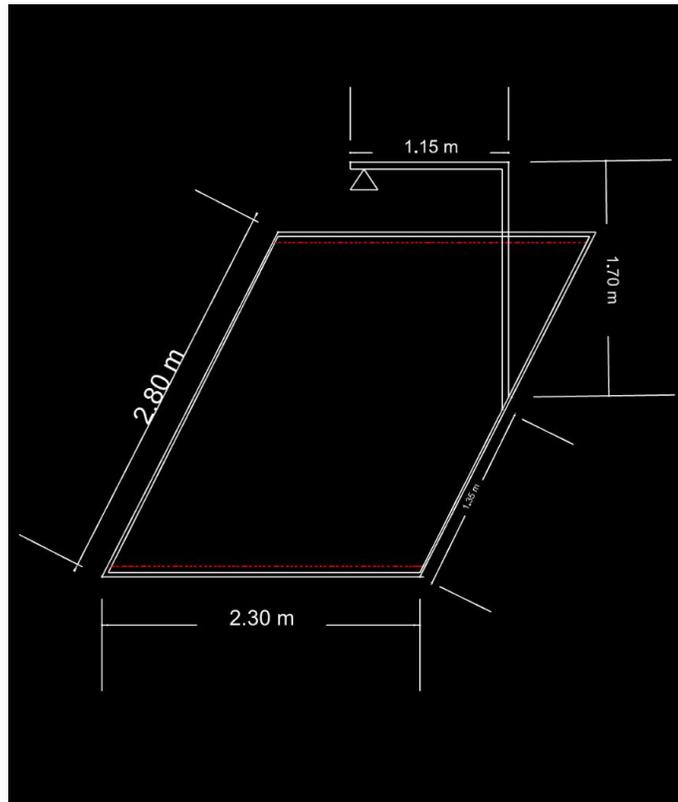


Figura 4.4: Plano completo de la estructura planteada

Se escogieron tubos en PVC, con un radio de media pulgada, pensando en el considerable peso del telón y en la posibilidad de que la estructura tendiera a deformarse. Agregado a esto, los tubos superiores y laterales de la estructura, se separaron en dos partes, dividiendo cada lado en segmentos iguales. En la mitad de los lados laterales, superior e inferior, se implementaron cuatro uniones en forma de “T”, en donde, las dos salidas laterales de dicha unión, conectaban dos tubos de 1,4 m, dirigidos hacia los extremos derecho e izquierdo de la figura. En la entrada restante, se ubicaba un tubo con la mitad de la medida a la altura de su lado paralelo, cada uno apuntando hacia la mitad de la estructura. Los cuatro tubos que se dirigen al centro de la estructura, son conectados por una unión con forma de “+”, generando la estabilidad necesaria para mejorar la versatilidad de la estructura. Para la unión de los 4 extremos de la estructura, fueron utilizadas uniones en forma de “codo”, las cuáles, permitían conservar la forma rectangular de la estructura utilizada en el artículo del cultivo de vid. Las uniones anteriores, se fijaron a uno de los tubos con pegante de PVC para mayor facilidad al armar la estructura entre cada sesión de tomas.

Con la estructura externa culminada, se procede a realizar el fondo; parte fundamental

para el procesamiento de la imagen. Para el fondo fue necesario adquirir 6 metros de tela blanca y luego mandarla a confeccionar con el fin de mantener las medidas para la estructura. En los extremos más largos de la tela, se realizó un doblés, equivalente a $3/4$ de pulgada, con el objetivo de entrelazar los tubos y la tela, templando el fondo y dando mayor facilidad al manejo de la estructura.

Posteriormente, fue agregado un cuadro negro de 20 *cm* de alto, y 20 *cm* de ancho, ubicado en la parte inferior derecha de la estructura, con el fin de escalar la imagen en la etapa de procesamiento. Este cuadro es muy importante, dado que, al tener unas dimensiones conocidas, permite calcular el área de la planta en la imagen, como se mostrará más adelante.

La estructura completa se evidencia en la Figura [4.5](#)



Figura 4.5: Imagen de la estructura. Fuente: Autor

Como se ha venido mencionando, las imágenes fueron adquiridas por los sensores de la cámara multispectral “Parrot sequoia”. Este hardware, que cuenta con 5 lentes diferentes, cuya descripción está explicada en el marco teórico del presente trabajo, es de suma importancia para el desarrollo del proyecto. Figura [4.6](#).

Los lentes de la cámara por separado muestran imágenes bidimensionales de una sola componente, con una resolución de 1.2Mpx, excepto el lente RGB, que crea una imagen con tres componentes (Rojo, verde y azul), con opciones de resolución de 12Mpx y 16Mpx



Figura 4.6: Cámara multispectral Parrot Sequoia+. Fuente: [42](#)

Se buscó utilizar los lentes con mayor funcionalidad respecto al pre-procesado de la imagen.

Usando la teoría expuesta en el estado del arte y probando métodos empíricos de testeo, debido a la insuficiente información que existe de la aplicación de cámaras multispectrales en cultivos de gulupa, se logró evidenciar que de los 5 lentes, el RGB es el mejor para segmentar las imágenes, dado que, entrega muestras en 3 dimensiones, lo cual es favorable para la segmentación, puesto que, otorga características extra para identificar y seleccionar los elementos de la imagen dentro del programa.

Las imágenes del lente verde, son exportadas como imágenes en escala de grises, en las cuales, los píxeles con intensidades cercanas al verde; representado en un vector de tres componentes RGB como: $[0, 255, 0]$; se ven ahora cerca al negro en una sola componente en gris $[0]$, así mismo, píxeles con intensidades cercanas al blanco en las tres componentes $[255, 255, 255]$, tenderán a obtener un valor cercano en la componente gris al blanco $[255]$. El lente infrarrojo cercano, resalta la planta respecto a los otros elementos en la imagen. Al tomar las fotografías, la maleza encontrada al rededor de la planta también era resaltada. Por ende, si se quería incluir al proceso de segmentación en la imagen, el programa iba a detectar formas extra al área de interés, entregando así, un conteo erróneo de píxeles.

El lente rojo, fue una posible opción para ejecutar, dado que, era el lente que mejor separaba los rangos de color de la planta con el resto de la imagen, aún así, el lente

RGB seguía siendo mejor para distinguir y separar diferentes rangos de colores. Por otro lado, al unir de los lentes Infrarrojo cercano y Rojo, se puede generar imagen capaz de representar el índice vegetal de diferencia normalizada, conocida comúnmente por su sigla en inglés como “NDVI”, en tonos no interpretables por el ojo humano, siendo indispensable un algoritmo para extraer dicha información.

Ya que el lente RGB es el más destacado respecto a los otros lentes, en cuanto a cantidad de características por píxel, fue el escogido para realizarlas tomas.

Como se expuso anteriormente en el estado del arte, en el artículo [41] eran realizadas dos tomas fotográficas por cada planta, una era de forma horizontal y otra vertical. La toma vertical requería ubicar la estructura utilizada para separar la planta del entorno, de forma que, la cámara se encontrara en la parte superior de la planta, con el lente a 90 grados respecto al suelo, así mismo, el fondo de la estructura estuviera en la parte inferior de la misma, con el fin de contrastar las hojas respecto al suelo, como se muestra en la Figura [3.8].

Para el desarrollo de este proyecto se modificó esta configuración, debido a que, la lona blanca que se encuentra a lo largo de todo el surco, mencionada anteriormente, no permite la ubicación de una cámara sobre las plantas; en las plantas de vid, mencionadas en el artículo de referencia [41], no existe una infraestructura similar sobre el cultivo que ocasione algún impedimento en dicha toma fotográfica. Cabe mencionar, que la modificación no interviene con los valores calculados de área foliar, puesto que, esta toma se realiza para obtener una segunda dimensión de la planta en una imagen, igual que en la idea original del artículo.

Por otra parte, para la captura de la imagen vertical, es necesario ubicar la estructura de manera que el fondo (tela blanca), quede en la parte posterior de la planta, contraria a la ubicación de la cámara; la cámara debe apuntar perpendicularmente al fondo de la estructura, con el objetivo de ocultar las otras plantas del cultivo y poder segmentar la imagen con menor complejidad. Lo anterior se puede observar en la Figura [4.8].

4.1.4. Captura de las imágenes.

Se realizaron 4 sesiones de tomas fotográficas en total, de las cuales, fueron aprovechadas 2 sesiones de capturas. Cada una de las tomas cuenta con las imágenes de 11 plantas de gulupa diferentes; para un total de 22 imágenes.

Para estas tomas se ubicó la estructura, de tal forma que, el cuadro de contraste quedara expuesto en la imagen y no fuera obstruido por alguna hoja o ramaje de la planta.

Las imágenes adquiridas fueron reorganizadas en la misma carpeta contenedora del algoritmo, con el fin de hacer el procesamiento de imágenes más sencillo.



Figura 4.7: Ubicación lateral de la estructura en la planta. Fuente:Autor



Figura 4.8: Ubicación frontal de la estructura en la planta. Fuente:Autor

En conclusión, la etapa de adquisición entrega una imagen horizontal y una vertical en RGB, la cual contiene un cuadro contrastante indicando valores cercanos al negro, una imagen unidimensional creada por el lente infrarrojo cercano y una imagen unidimensional del lente Rojo. Contienen nombres característicos para su fácil identificación. Las

imágenes entregadas tienen una resolución de 3800×4600 píxeles aproximadamente.

El fin de la estructura, es contrastar el entorno natural de la planta con la misma, todo esto, para facilitar la segmentación que se le hace a la imagen.

La comparación entre las Figuras 4.9 y 5.2 con las Figuras 4.11 y 5.3, dejan en evidencia la importancia de la estructura en la adquisición de imágenes. En la Figura 4.9 y 5.2, se puede ver que al tomar las fotos sin la estructura, se combinaban las hojas de los surcos laterales y traseros con las de la planta de interés al aplicar el algoritmo de segmentación. Por otro lado, sin la estructura es complicado saber el valor de cada centímetro por píxel, dado que, la distancia a la que se toma las fotos es variable, siendo la anterior, una medida indispensable para poder calcular el área foliar de la planta.

Por otra parte, la Figura 5.3, expone la silueta de una sola planta, fácil de identificar. Mostrando la reducción de ruido y objetos no deseados posterior a un procesamiento de la imagen.



Figura 4.9: Planta sin la estructura de fondo. Fuente: Autor



Figura 4.10: Planta segmentada sin la estructura de fondo. Fuente: Autor



Figura 4.11: Planta con la estructura de fondo. Fuente: Autor

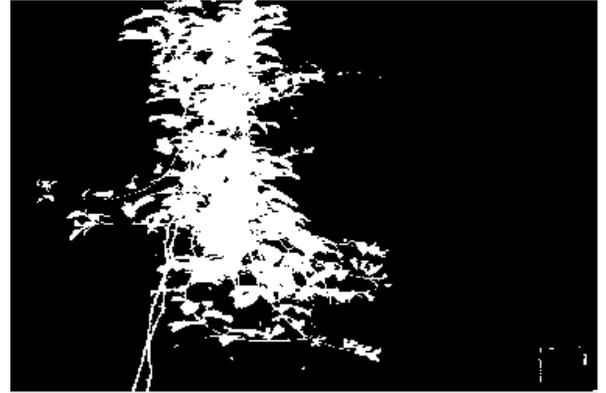


Figura 4.12: Planta segmentada con la estructura de fondo. Fuente: Autor

4.2. Procesamiento de las imágenes

El procesamiento de imágenes es el enfoque principal del trabajo; de aquí deriva todo el análisis que se le pueden hacer a las imágenes de la planta, además, si se aplican correctamente las técnicas procesamiento de imágenes se obtienen como resultados datos precisos.

Para dicho proceso se emplearon diferentes técnicas observadas en [16], como segmentación de la imagen, operaciones morfológicas, binarización, entre otras. Así mismo, se implementaron técnicas aprendidas en la investigación de métodos de procesamiento de imágenes.

4.2.1. Herramientas para el desarrollo

Se utilizó el entorno de desarrollo python en su versión 2.7.1. Este es un software principalmente orientado a objetos, además, con un conjunto amplio de bibliotecas para el procesamiento de imágenes y trabajo con matrices; sin dejar de lado, la efectividad en procesos matemáticos. Aunque su tiempo de ejecución es lento al compararlo con otros entornos de desarrollo reconocidos como C++, su extensa cantidad de bibliotecas y herramientas, lo hacen el candidato indicado para el desarrollo del proyecto. El software mencionado fue ejecutado en un equipo con procesador core i3 y memoria ram de 4GB, con el sistema operativo Ubuntu en su versión 18.04.4 LTS. Por otro lado, fue utilizado el editor de texto plano “Kate” para escribir el código fuente del algoritmo. Este editor se caracteriza por la amigabilidad del interfaz en los archivos con extensión “.py”, pertenecientes a python. En este editor se pueden diferenciar fácilmente bloques de texto que contienen funciones, argumentos, caracteres, valores, etc., dado que, su asignación de colores por caracter o función especial, marca diferencia entre los elementos del

código.

Para el procesamiento de imágenes, se usó la biblioteca de visión artificial libre OPENCV en su versión 4.2.0. aplicada en el lenguaje de Python 2, caracterizado por ser un lenguaje de alto nivel y con la ventaja de ser de código libre. Esta biblioteca permite ejecutar múltiples procesos con imágenes digitales, accediendo, procesando y guardando las imágenes creadas.

Se planteó crear un algoritmo capaz calcular el área foliar de la planta aplicando métodos de procesamiento de imagen.

Dentro de las bibliotecas utilizadas en el programa de python, se encuentra cv2, conocida por permitir el acceso, edición, etc, de imágenes. Esta biblioteca permite aplicar todas las funciones de procesamiento de imágenes necesarias para poder hallar múltiples parámetros, los cuáles, seguidos de una serie de algoritmos, capturarán el área foliar de la planta. Por otro lado, se encuentra la biblioteca numpy y matplotlib, las cuales permiten la implementación de procesos matemáticos en el desarrollo de este programa, de modo que, permite el uso de una lista variable de funciones matemáticas y de graficación, brindando la posibilidad de trabajar de forma efectiva los parámetros estipulados. Las librerías utilizadas se pueden observar en el fragmento de código: [1](#).

```
1
2 import numpy as np
3 from PIL import Image
4 from matplotlib import pyplot as plt
5 import cv2
6 import sys
7 import math
```

Algoritmo 1: Importación de bibliotecas

Pre-procesado de la imagen.

Las imágenes, antes de ser ingresadas al programa, fueron tratadas con el software Adobe Photoshop en su sexta versión, versión portable. Se usó este software, con el fin de cambiar el color del cuadro contrastante de la estructura. Lo anterior se debe a que el cuadro implementado, presentaba rugosidad en su superficie; si la figura reflectante mantiene una superficie rugosa, la intensidad de color variará en ciertos puntos donde se encuentren los picos de las rugosidades, en consecuencia, la cámara detectará intensidades de color distintos en dichos puntos. Con PhotoShop, se establecieron los nuevos valores de los píxeles en la fotografía. Usando la herramienta “Lazo magnético”, se seleccionó el contorno del cuadrado, con el fin de evitar cambiar algún segmento de la imagen por accidente. Posteriormente, se usó la herramienta “Bote de pintura” sobre el área seleccionada, estableciendo sus parámetros de color en RGB, como [41, 41, 41];

valores de color alcanzados por un vinilo de color negro mate; este proceso fue aplicado a las imágenes frontales y a las laterales. A continuación, se exportaron ambas imágenes con un distintivo en el nombre para que, al ingresarlas al software fueran fáciles de seleccionar. El cambio de color se puede evidenciar en la Figura [4.13](#)

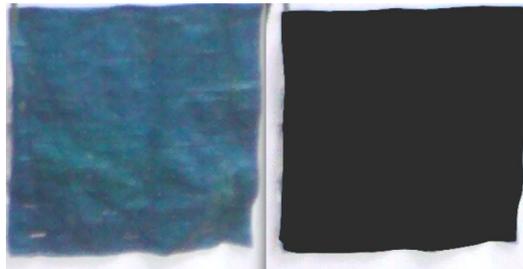


Figura 4.13: Cuadro Original vs Cuadro Editado. Fuente:Autor

4.2.2. Funcionamiento del algoritmo

En cuanto al algoritmo, se puede relacionar con una construcción por bloques. Cada bloque está constituido como mínimo por una función; buscando una fácil interpretación por el lector y establecer estética en el programa. El programa cuenta con múltiples funciones secundarias y una función principal, desde la cual se llaman todas las funciones secundarias intercambiando variables en el proceso.

El programa general recibe dos imágenes asignadas desde la terminal de linux. En dónde, primero se invoca el nombre del programa “python”, posteriormente, seguido de un espacio, se escribe nombre del script que contiene el código fuente “archivo.py” y por último, separados nuevamente por un espacio, el nombre de las dos imágenes de la planta (horizontal y vertical); “1F.jpg” es la imagen frontal y “1V.jpg” es la imagen vertical. Ver [2](#).

```
1  
2 $ python progfunc.py 1F.jpg 1V.jpg
```

Algoritmo 2: Formato para ejecutar el programa y asignar las imágenes. Fuente: Autor

Luego de ejecutarse, el programa debe retornar el valor correspondiente al área foliar real de ambas imágenes ingresadas. Ver [3](#).

Se debe agregar que, para obtener este resultado, las imágenes pasan por diferentes fases de un algoritmo de procesamiento de imágenes, que se explicarán a continuación.

En cuanto al funcionamiento interno del algoritmo, es importante mencionar que, dicho algoritmo tiene dos etapas; la primera etapa es la encargada de calcular el área foliar

```

1
2 $ python progfunc.py 1F.jpg 1V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 6.29 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 1.54 metros cuadrados

```

Algoritmo 3: Impresión de los valores retornados de área foliar de las imágenes frontal y lateral. Fuente: Autor

```

1
2 def main(argv1, argv2):
3
4     imagen1=cv2.imread(sys.argv[1])
5     imagen2=cv2.imread(sys.argv[2])
6
7     Mresize1, Mresize2=resize(imagen1, imagen2)
8     Mgris1, Mgris2=Igrisf(Mresize1, Mresize2)
9
10    Mcuadro1=cuadro(Mresize1)
11    Mcuadro2=cuadro(Mresize2)
12
13    Imaretf1 , Arpla1 = segmf(Mgris1)
14    Imaretf2 , Arpla2 = segmf(Mgris2)
15
16    Ac1= calc(Mcuadro1, Arpla1)
17    Ac2= calc(Mcuadro2, Arpla2)
18
19    return Ac1, Ac2
20
21 A, B = main(sys.argv[1], sys.argv[2])
22 print('El area real de la planta frontal es de {0:.2f} metros
    cuadrados'.format(A))
23 print('El area real de la planta lateral es de {0:.2f} metros
    cuadrados'.format(B))

```

Algoritmo 4: Función principal

y área del cuadro de contraste en píxeles, de los lados ingresados de la planta, por otro lado, la segunda etapa es la encargada de calcular el área foliar real de cada lado ingresado de la planta usando el área en píxeles del cuadro y de la planta. Para ello, el software cuenta con un script compuesto principalmente por la función **main()**, la cual, tiene jerarquía en la ejecución del programa. Dicha función recibe dos argumentos correspondientes a las imágenes nombradas, como se muestra en [\[2\]](#). Al llamar la función desde el contenido principal del script, retornará un vector de tipo Tuple, de 2 posiciones, almacenando los valores referentes al área real en metros cuadrados de la planta desde el ángulo frontal y el lateral.

Para llegar a los resultados expuestos, se implementó dentro de la función **main()**, una serie de funciones utilizadas para diferentes etapas en el procesamiento de imágenes. Mirar el algoritmo [\[4\]](#).

La primera función se llama **main()**. Esta función recibe una imagen de 4608×3456 *pixeles*, la cual, es redimensionada y entregada como una imagen de 720×1080 *Pixeles*. Luego, esta imagen redimensionada es adquirida por la función **Mgris()**, la cual, retorna dicha imagen convertida en una imagen en escala de grises. Paso siguiente, se ejecuta la función **Mcuadro()**, la cual, recibe la imagen redimensionada y entrega el área en píxeles del cuadro de contraste. Por otro lado, a la función **segmf()** se le envía una imagen en escala de grises, para luego, retornar en 2 variables una imagen con la planta segmentada del resto de elementos en la misma y el área en píxeles de dicha imagen. El proceso mencionado anteriormente, pertenece a la primera etapa del algoritmo.

En la segunda etapa, teniendo el área en píxeles de la planta, del cuadro y el área del cuadrado en cm, utilizando la función **calc()**, se procede a implementar el algoritmo que calcula el área foliar real en metros cuadrados de los lados de la planta utilizando conversiones de unidades. Esta función retorna a la función **main()** el área real de la planta desde sus dos proyecciones ingresadas.

Al final, la función **main()** es llamada desde el cuerpo inicial del script, almacenando los valores retornados por **calc()**, luego, estos valores son impresos en consola, como se muestra en [\[3\]](#).

En la sección anterior, fue explicado el funcionamiento del programa en términos de función. Por otro lado, se profundizará en el programa en términos algorítmicos en la siguiente sección.

4.2.3. Primera etapa: área en píxeles de la planta y el cuadro de contraste

Función principal

En el código [4], se encuentra expuesta la función principal del algoritmo llamada **main()**. Esta función, es la encargada de recibir todos las variables retornadas por las funciones secundarias, almacenarlas y operarlas dentro de otra función interna. Es importante mencionar que, la función [4], recibe dos argumentos llamados *argv1* y *argv2*. Estos argumentos contienen los datos enviados por la función **main**, cargada con los parámetros *sys.argv1* y *sys.argv2*, llamada desde el bloque principal de ejecución en el script. *sys.argv[1]* y *sys.argv[2]*, capturan los argumentos escritos después de llamar el nombre del archivo; (*Revisar Algoritmo [2]*); en este caso, serían los nombres de las imágenes frontal y lateral de la planta. Estos nombres son enviados a través de **main()** para ingresar a la función principal.

Por otro lado, dentro de la función **main()**, son entregados los argumentos *sys.argv 1* y *2*, los cuáles, contienen el nombre de las imágenes, como se mencionó anteriormente. Dichos nombres son utilizados en la función propia de *opencv cv2.imread*, encargada de leer la imagen contenida en su primer parámetro; estas imágenes son las ingresadas luego del nombre del programa (*Revisar algoritmo [2]*). De acuerdo a lo anterior, las imágenes quedan cargadas en las variables *imagen1* e *imagen2*.

Es importante mencionar que, se utilizarán las fotos de la planta nombrada como “Primera planta” para explicar a detalle los procesos y resultados de cada función. Aún así, es importante resaltar que este proceso fue aplicado a todas las 11 plantas en estudio, cuyos resultados están expuestos en la sección [6]. En esta sección, se muestran los resultados más importantes de la aplicación de ambas etapas del software a las plantas en cuestión.

Redimensión de la imagen.

En este momento, con los argumentos cargados, el programa mantiene su jerarquía descendente dentro de [4], corriendo la función interna **resize()**.

```

1
2 def resize(rimagen1, rimagen2):
3
4     width = 1080
5     height = 720
6     dim = (width, height)
7     resized1 = cv2.resize(rimagen1, dim)
8     resized2 = cv2.resize(rimagen2, dim)
9     cv2.imshow('rezima1', resized1)
10    cv2.imshow('rezima2', resized2)
11    return (resized1, resized2)

```

Algoritmo 5: Función para la redimensión de la imagen

Esta función [5], es la encargada de ayudar al hardware a soportar el siguiente procesamiento de imágenes. Su objetivo es reajustar la resolución de la imagen, modificando la cantidad de píxeles contenido por la misma. `resize()` recibe los argumentos `rimagen1` y `rimagen2`; contenedores de las imágenes enviadas desde la función `main()`.

Las imágenes transformadas se guardan en las variables `resized1` y `resized2`, las cuales, posteriormente son mostradas con la función `cv2.imshow`, dado que, esta función es capaz de mostrar en pantalla la imagen cargada en su primer argumento. Las imágenes entregadas por `cv2.imshow` pueden ser evidenciadas en la Figura 4.14. Debido a que,



Figura 4.14: Imagen mostrada por `cv2.imread`. Fuente: Autor

la imagen tiene un tamaño que excede las dimensiones de la pantalla, fue necesario crear una ventana con el indicador (`cv2.WINDOW_NORMAL`), ubicada en la parte superior del programa, logrando presentar las imágenes escaladas en función a la pantalla del ordenador, como se puede observar en la figuras 4.15 y 4.16.

Al final, la función `resize()` retorna las imágenes almacenadas en las variables `resized1` y `resized2`, mostradas en las figuras 4.15 y 4.16.

Por otra parte, los valores retornados por la función `resize()` son almacenados en las



Figura 4.15: Imagen frontal con nueva cantidad de píxeles. Fuente: Autor



Figura 4.16: Imagen lateral con nueva cantidad de píxeles. Fuente: Autor

variables asignadas *Mresize1* y *Mresize2*. En este par de variables, se encuentran las imágenes con nuevas dimensiones. Los resultados de cada una de las imágenes redimensionadas de las plantas utilizadas en el proyecto, se pueden encontrar en la sección [6](#).

Conversión a escala de grises

Continuando con el orden descendente de la depuración de funciones interna en la función principal, se encuentra la función **Igris()**. Esta función tiene un comportamiento similar al de **resize()**, dado que, también recibe dos parámetros y entrega la misma cantidad de argumentos. En sus argumentos de entrada, **Igris()** importa las imágenes redimensionadas con componentes RGB y las convierte en imágenes bidimensionales de una sola componente en escala de grises. Esto es posible gracias a la función de opencv *cv2.cvtColor* (*X*, *cv2.COLOR_BGR2GRAY*).

```
1
2 def Igrisf(fimagen1, fimagen2):
3
4     imagris1=cv2.cvtColor(fimagen1, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
5     imagris2=cv2.cvtColor(fimagen2, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
6     return (imagris1, imagris2)
```

Algoritmo 6: Función para convertir a gris las imágenes

Las imágenes convertidas a escala de grises, se almacenan en las variables *imagris1* e *imagris2*, las cuales son retornadas a la función principal, para ser usadas en la función encargada de calcular el área foliar de la planta en píxeles que se verá más adelante. Dichas imágenes se pueden observar en la Figura [4.17](#) y [4.18](#).

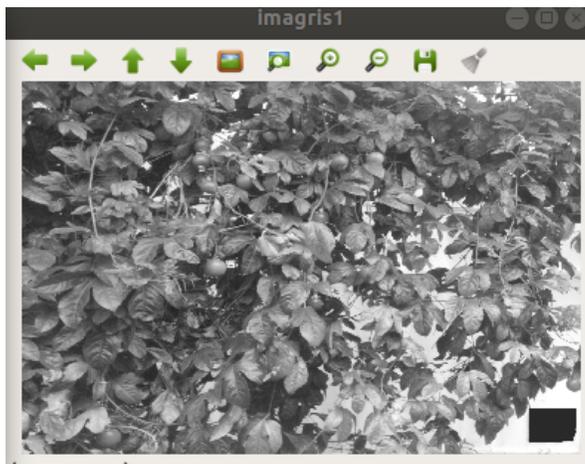


Figura 4.17: Imagen frontal en escala de grises. Fuente: Autor

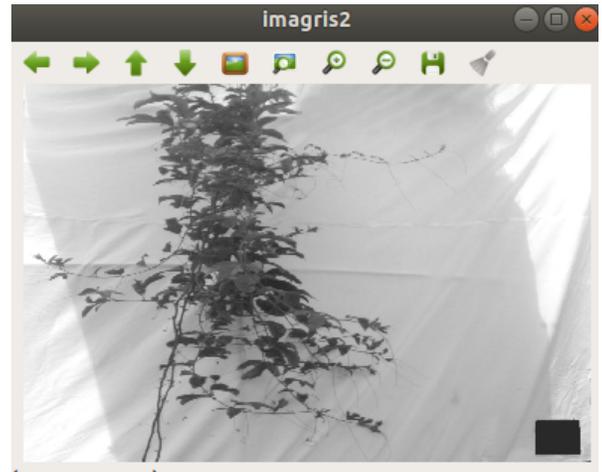


Figura 4.18: Imagen lateral en escala de grises. Fuente: Autor

Mientras tanto, en la función **main()**, **Igris()** asigna los valores retornados dentro de la función a las variables *Mgris1* y *Mgris2*.

Se utiliza el cambio de color debido a que para la segmentación del cuadro de contraste, se requiere una imagen unidimensional en escala de grises. Más adelante se verá reflejado el uso de esta transformación.

Segmentación del cuadro de contraste

Más tarde, se incorpora al desarrollo del trabajo la función **cuadro()**, dicha función, recibe los valores de las variables, *Mresize1* y *Mresize2*, obtenidas en la función **resize()**.

Interno en la función **[7]**, la variable enviada desde la función principal, es almacenada en el argumento de **cuadro()**. La variable recibida por la función es la imagen redimensionada.

La variable que contiene la imagen con tres componentes redimensionada, es pedida por la línea 5 del código anteriormente mostrado **[7]**. Esta línea contiene la función de opencv *cv2.threshold*, la cual, se encarga de aplicar una segmentación por umbralización al primer parámetro ingresado internamente en el argumento de la función. El segundo parámetro encontrado determina el umbral que se desea utilizar; cualquier píxel encontrado en la imagen integrada a la función, mayor al valor del umbral, obtendrá un cambio de valor igual al impuesto en el siguiente parámetro al umbral. El píxel que no cumpla esta condición, se le asignará el valor contrario al asignado en el tercer parámetro. Este valor mencionado puede ser 0 o 255; El parámetro mencionado no puede contener un valor diferente a estos dos, puesto que, son valores lógicos,

```

1
2 def cuadro(fimagenf, frimagenf):
3     """ Filtra la imagen almacenada en la funcion segmf(), la cual,
4     entrega una imagen segmentada, con algunos puntos de ruido"""
5     filC , colC, ch= frimagenf.shape
6     _,th=cv2.threshold(frimagenf, 41,255,cv2.THRESH_BINARY)
7     kernel=np.ones((2,2),np.uint8)
8     imainv = cv2.bitwise_not(th)
9     closing = cv2.morphologyEx(imainv, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)
10    median = cv2.medianBlur(imainv,7)
11    cuared=np.ones([filC,colC],np.uint8)
12    for i in range(filC):
13        for j in range (colC):
14            if median[i ,j,0]==255 and median[i ,j,1]==255 and median[
15            i ,j,2]==255:
16                cuared[i,j]=255;
17            else:
18                cuared[i,j]=0;
19
20    kernelocua = np .ones((9,9), np . uint8 )
21    opencua = cv2.morphologyEx(cuared, cv2.MORPH_OPEN, kernelocua)
22    kernelccua = np.ones((5,5),np.uint8)
23    closingcua = cv2.morphologyEx(opencua,cv2.MORPH_CLOSE, kernelccua)
24    cannycua = cv2.Canny(closingcua, 20, 200)
25    (contor,_)= cv2.findContours(cannycua.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL,
26    cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
27    areacu1=[]
28    for contcua in contor:
29        areacu1.append(cv2.contourArea(contcua))
30    maxarea1 = max(areacu1)
31    cv2.imshow('closingcua',closingcua)
32    return (int(maxarea1))

```

Algoritmo 7: Función para segmentar el cuadro de contraste

dónde, uno representa falso (0) y el otro verdadero(1). Los resultados de las imágenes umbralizadas se reflejan en la Figura [4.19](#) y [4.20](#).

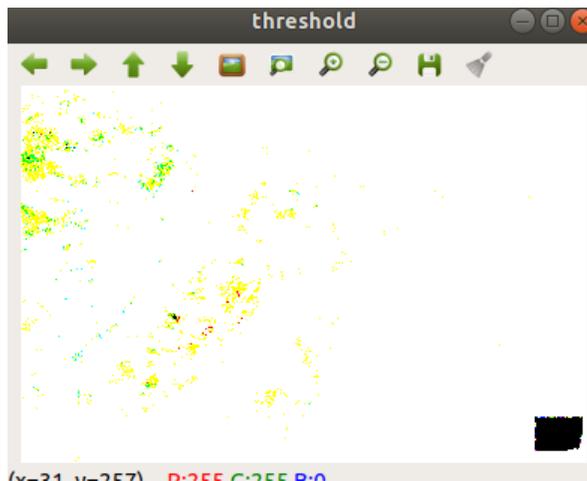


Figura 4.19: Aplicación del umbral a la imagen frontal redimensionada. Fuente: Autor



Figura 4.20: Aplicación del umbral a la imagen lateral redimensionada. Fuente: Autor

Hay que mencionar, que para aplicar operaciones morfológicas, lo recomendable es tener el objeto que se quiere analizar en valores de 255, lo anterior, con el fin de utilizar tal cual la documentación de las funciones, incluida en el programa.

Para obtener el cuadrado en valores de 255, se procedió a utilizar *cv2.bitwise_not*, cuyo objetivo es la transformación de imágenes, aplicando condicionales lógicos, en este caso el "not". Al enviar la variable que contiene el resultado de la umbralización *cv2.bitwise_not*, esta debe evaluar el condicional para cada píxel, cambiando los valores de 0 a 1, de igual manera, los valores de 1 a 0, como se puede observar en la Figura [4.21](#) y [4.22](#). Es válido decir que esta función entrega la negación del primer parámetro ingresado, en este caso, la imagen umbralizada.

Operaciones morfológicas

A continuación, fueron implementadas las transformaciones morfológicas. Estas operaciones son las encargadas de procesar las formas detectadas en la imagen, obteniendo múltiples datos de la misma. Este proceso generalmente requiere el ingreso de imágenes binarias para obtener un correcto desarrollo. Aunque no sea un tipo de filtro, estas transformaciones se pueden utilizar para eliminar ruidos en la imagen o figuras pequeñas no deseadas.

Una de las funciones más útiles referentes al análisis morfológico, es *cv2.morphologyEx*. Esta función es capaz de realizar dilatación, erosión y la combinación de ambas para

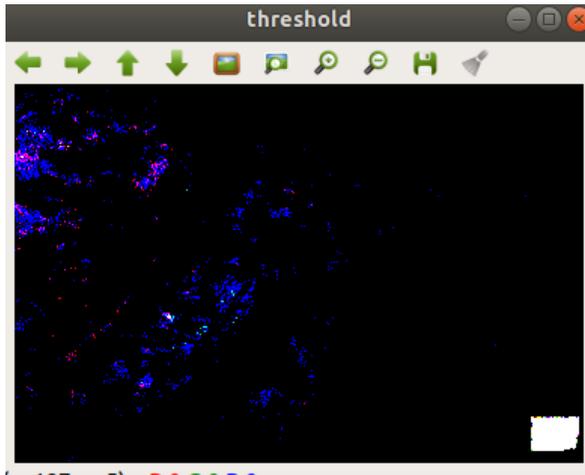


Figura 4.21: Resultado de invertir la imagen frontal. Fuente: Autor

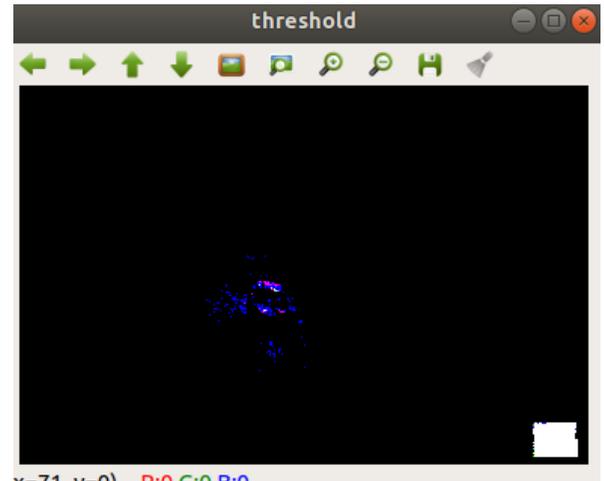


Figura 4.22: Resultado de invertir la imagen lateral. Fuente: Autor

entregar una imagen con características morfológicas diferentes a la imagen cargada; es posible retirar puntos o figuras no deseadas en la imagen, entre otras.

El uso de *cv2.morphologyEx* en el desarrollo de este trabajo, se enfocó primordialmente a la clausura de objetos no deseados, usada en la línea 8 del código [7]. Esta función, recibe como primer parámetro la imagen que se desea alterar. En este caso, dicha imagen es la entregada por la función de negación. El segundo argumento es el método a utilizar; como se va a usar clausura, se ha de instaurar el índice *cv2.MORPH_CLOSE*, aunque si se desea utilizar la apertura, el índice debe llevar *cv2.MORPH_OPEN*. En el último argumento se encuentra el “kernel” de la imagen. Siendo este, un filtro conformado por una ventana o máscara, capaz de recorrer una imagen, al mismo tiempo, sacando un promedio de los valores de píxeles encontrados en la máscara. La variable kernel, expuesta en la línea 6 del código [7], crea una matriz de dos dimensiones, con 2 filas y 2 columnas (valores asignados por el programador). Esta matriz es la recibida por el parámetro asignado para el kernel en *cv2.morphologyEx*. Si el kernel aumenta, la cantidad de datos que se evalúan en la función aumenta. Los resultados de aplicar *cv2.morphologyEx_closing* se evidencian en la comparación de cuadros con “zoom” aumentado, presentada en la Figura 4.23 y 4.24, en dónde, el cuadro de la izquierda de cada comparación es la figura entrante a la función y en la derecha, se encuentra la figura saliente de la misma.



Figura 4.23: Mejoras del análisis morfológico en imagen frontal. Fuente: Autor

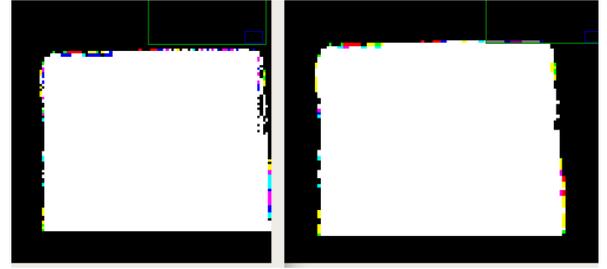


Figura 4.24: Mejoras del análisis morfológico en imagen vertical. Fuente: Autor

Como se puede observar, dicha función retira los minúsculos puntos negros sobrantes de la imagen, y repliega mínimamente los bordes, ayudando a completar la parte restante del cuadrado, perdida en la umbralización.

Para corregir los errores restantes y desaparecer los píxeles sueltos, se ejecuta la función *cv2.medianBlur*, la cual, permite limpiar los pequeños puntos negros y blancos, despegados de la forma principal en la imagen. Además, perfecciona los bordes de la misma, con el fin de desaparecer las formas que no están conectadas entre si o forman un área considerada “ruido” en la imagen. El resultado está representado en la Figura [4.25](#) y [4.26](#).

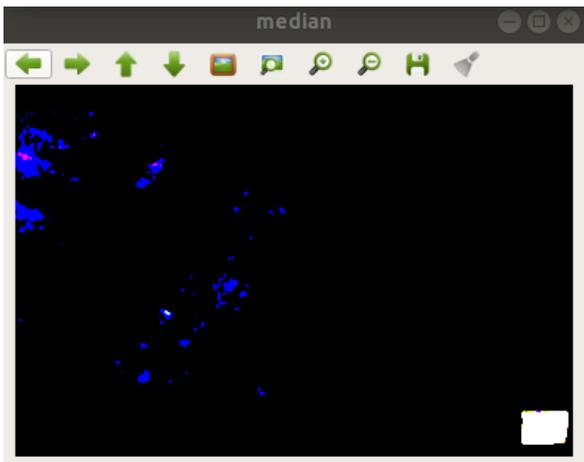


Figura 4.25: Resultado filtro de media en imagen frontal. Fuente: Autor

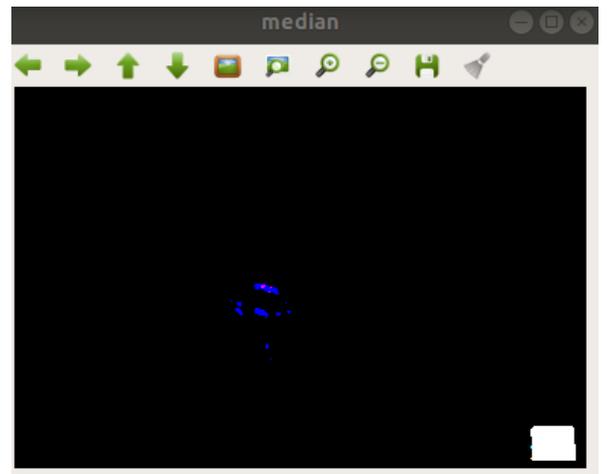


Figura 4.26: Resultado filtro de media en imagen vertical. Fuente: Autor

En seguida, se buscaba eliminar los puntos de colores restantes en las imágenes, con píxeles diferentes al cuadrado blanco mostrado en las figuras [4.25](#) y [4.26](#). Para ello, se implementó un método rudimentario de segmentación, utilizando un umbral por cada componente como parámetros de segmentación.

```

1
2     cuared=np.ones([filC,colC],np.uint8)
3     for i in range(filC):
4         for j in range (colC):
5             if median[i ,j,0]==255 and median[i ,j,1]==255 and median[
i ,j,2]==255:
6                 cuared[i,j]=255;
7             else:
8                 cuared[i,j]=0;

```

Algoritmo 8: Segmentación por umbralización

La segmentación mencionada puede evidenciarse en el fragmento de algoritmo [8](#) extraído de [7](#), mostrado previamente. En dicho fragmento, se observa la creación de una matriz vacía, utilizando la función *np.ones*, la cual, tiene la facultad de entregar una matriz rellena de unos. Las dimensiones de esta matriz son asignadas por los dos primeros parámetros de la misma. En este caso, se puede evidenciar que sus parámetros son *filC* y *Colc*. Estos parámetros, son contenedores de la cantidad de filas y columnas de cada una de las imágenes ingresadas por el segundo argumento de la función *resize()*.

La matriz vacía será la encargada de almacenar los valores de la nueva matriz, la cual, es creada píxel por píxel, usando los parámetros de segmentación. Cada que el condicional cíclico encuentre un valor blanco total, equivalente a 255 en los píxeles R, G y B, sobre la misma posición, agrega un píxel blanco en la matriz vacía en la misma posición donde encontró dicho píxel; de no ser así, se asignará un píxel negro en la misma posición donde no encontró el valor blanco. Los resultados de las imágenes segmentadas se muestran en la Figura [4.27](#) y [4.28](#).

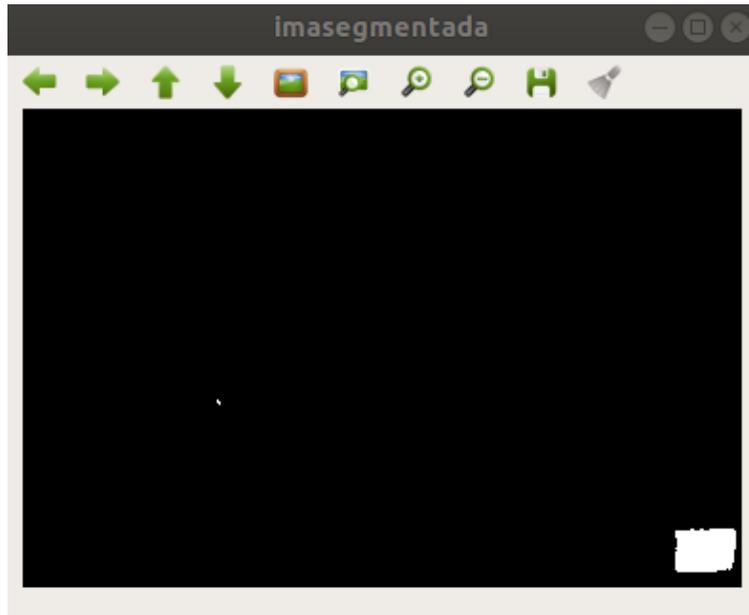


Figura 4.27: Imagen frontal invertida segmentada. Fuente:Autor

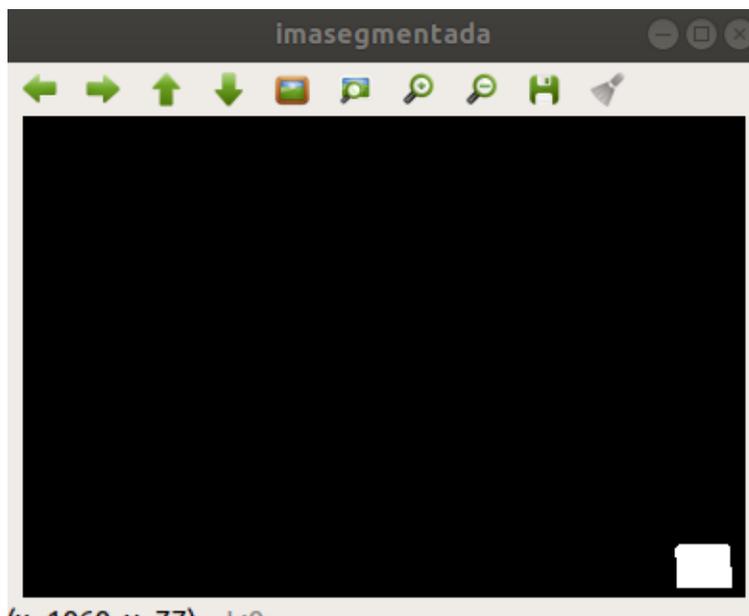


Figura 4.28: Imagen lateral invertida segmentada. Fuente:Autor

Nótese que en la figura [4.27](#) queda una pequeña forma lejana al cuadrado. Esta forma puede generar datos erróneos en los procesos futuros, puesto que, ellos dependen del cuadrado de contraste bien segmentado. Si se mantiene la figurilla extra, puede afectar

la precisión del cálculo referente al cuadro segmentante. Por otro lado, la Figura 4.28 no presenta ninguna otra forma aparte del cuadro.

Partiendo de lo anterior, se presentan dos casos, uno de los casos requiere un filtrado de imagen, cuyo objetivo sea eliminar la figura extra en la imagen. Por otro lado, el caso siguiente, es consecuencia del anterior. Si se aplica un filtro, sobre una imagen en condiciones muy favorables, el filtro terminará deteriorando la imagen de alguna forma. Por ende aplicó una solución para este problema, usando nuevamente los métodos de transformación de contornos.

```
1 kernelocua = np.ones((9,9), np.uint8)
2 opencua = cv2.morphologyEx(cuared, cv2.MORPH_OPEN, kernelocua)
3
4 kernelccua = np.ones((5,5), np.uint8)
5 closingcua = cv2.morphologyEx(opencua, cv2.MORPH_CLOSE,
6 kernelccua)
```

Algoritmo 9: Aplicación de operadores morfológicos

En este segmento del código 9, se puede observar que se aplicó una apertura de objetos en imagen segmentada mostrada en la Figura 4.27 y 4.28; aplicar apertura en una imagen, es igual a aplicar erosión seguida de dilatación. Lo anterior se realizó con el fin de preparar la imagen para pasarla por la función de clausura, puesto que, al aplicarla, aunque borrarán las figuras externas al cuadro de contraste, se va a reducir un poco su área. Al haber aplicado apertura previamente la información que se pierde no es significativa luego de aplicar la clausura. Hay que mencionar, además que, el kernel de la función de clausura es mayor al de la función de apertura. Esto se debe a que la apertura, reduce los objetos con píxeles valorados en 0, sin encontrar ninguno aparte del fondo, no afecta mucho el área del cuadro de contraste. Por otro lado, el ruido se presenta en la imagen segmentada como formas externas con valores de píxeles iguales al cuadro de contraste. Por ende, el kernel de la función de clausura es menor, para que la matriz que rota no sea mayor que el cuadro de contraste, en consecuencia eliminándolo. Los resultados de aplicar esta etapa se evidencian en las figuras 4.27 y 4.28. Estas son las imágenes finales referentes al proceso de segmentación del cuadro de contraste.

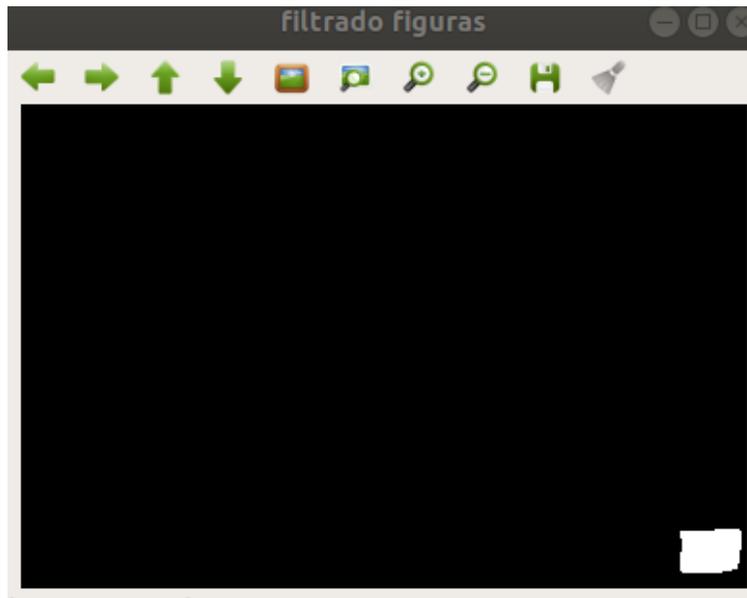


Figura 4.29: Imagen frontal resultado de transformaciones morfológicas. Fuente:Autor



Figura 4.30: Imagen frontal resultado de transformaciones morfológicas. Fuente:Autor

Los resultados de cada una de las imágenes del cuadro invertido, segmentado y posteriormente filtrado de cada una de las plantas utilizadas en el proyecto, se pueden encontrar en la 5.1.1. Hay que mencionar que, se pueden observar a la derecha los cuadros segmentados referentes a las imágenes laterales y a la izquierda, los referentes a

las imágenes frontales de todas las plantas.

Cálculo del área del cuadro en píxeles

Por último, en el código principal de la función [7](#), se busca calcular el área en píxeles que ocupa el cuadro de contraste de la figura. Para ello, se utilizó el operador morfológico ***cv2.Canny***. Esta función se utiliza para detectar los bordes de las figuras existentes en una imagen binaria. La función recibe como primer parámetro la imagen a la cual se le desean detectar los bordes (imagen clausurada almacenada en la variable *closingcua*); como se mencionó anteriormente, dicha imagen debe ser binaria. El segundo y tercer parámetro que reciben son un umbral mínimo y máximo de luminancia utilizados para condicionar la detección de bordes.

```
1
2     cannycua = cv2.Canny(closingcua, 20, 200)
3     (contor,_) = cv2.findContours(cannycua.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL,
4     cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
5
6     areacu1=[]
7     for contcua in contor:
8         areacu1.append(cv2.contourArea(contcua))
9     maxarea1 = max(areacu1)
```

Algoritmo 10: Aplicación de operadores morfológicos

La extracción de los bordes provenientes de *closingcua*, se almacenan en la variable *cannycua*, ubicada en la línea 2 de [10](#). Prosiguiendo con esta etapa, se utiliza la función ***cv2.findContours***, encargada de detectar la cantidad de formas y contornos pertenecientes a la imagen cargada en su primer parámetro. La función realiza este proceso uniendo los puntos cercanos que tengan intensidades de color cercanos o iguales. Además, al encontrar más de una forma, la función almacena por separado cada uno de los valores en una matriz bidimensional, para que el usuario pueda diferenciar y acceder a cada contorno encontrado. A su primer parámetro, ingresa una copia del contorno almacenado en la variable *cannycua*. En su segundo parámetro, se establece que detecte el contorno interno de las figuras encontradas. Además, en el tercer parámetro, se le indica a la función que la aproximación sea a los lados de las figuras y no a sus vértices. Con estos valores es posible calcular el área en píxeles del cuadrado. Se probaron dos métodos diferentes, para el cálculo del área. Aunque los resultados fueron muy parecidos, hubo uno que se acercaba más a la cantidad de píxeles ocupada por el cuadrado en la imagen original. El primer método, expuesto en el algoritmo [11](#), consistía en crear un bucle **for**, inmerso en otro igual, con la finalidad de recorrer la matriz entregada por la función de clausura en [9](#). Al recorrer la matriz, buscaría todos los píxeles con intensidad de color entre 254 y 255; si encontraba un píxel que cumpliera

dicha condición, le asignaría un valor de 255 al píxel en la misma posición de la matriz previamente creada, usada en la línea 3 de [11]. Así mismo, cada vez que se cumpla dicha condición, debe sumar una unidad a la variable T . Por otro lado, si la condición no se cumple, debe asignarle un valor de 0 al píxel ubicado en el vector de unos, en la misma posición al analizado, y también, sumar una unidad a la variable R . Al final, se imprime la cantidad entera almacenada en T , valor que es equivalente a la cantidad de píxeles cambiados en la matriz de unos, valor que es igual a la cantidad de píxeles blancos en la imagen. Es decir, el área total de la figura en la imagen.

```

1
2
3 imarea=np.ones([fil,col],np.uint8)
4     R=0
5     T=0
6     for i in range(Cfil):
7         for j in range(Ccol):
8             if closingcua[i,j]>=254 and closingcua[i,j]<=255:
9                 imarea[i,j]=255
10                T=T+1
11            else:
12                imarea[i,j]=0
13                R=R+1
14    cv2.imshow('area imagen', imarea)
15    print('El area total del cuadro es B',T)
16    print('El area total del cuadro es N',R)

```

Algoritmo 11: Método 1 para hallar el área del cuadrado

El problema del método anterior es que, aunque la segmentación en la mayoría de las imágenes, solamente encontraba una figura, habrían casos en los que se encontraba más de una.

Por ende, al interpretarlo como píxeles blancos, estos eran sumados al área del cuadro de contraste. Aunque la cantidad de píxeles sumados era pequeña, no dejaba de ser un valor incorrecto del cálculo. Por ende, se decidió optar por el método alternativo, descartando el anterior. Para el segundo método se usó la función de la biblioteca *opencv* ***cv2.contourArea***, la cuál extrae el valor de área de un contorno encontrado.

```

1
2     areacu1=[]
3     for contcua in contor:
4         areacu1.append(cv2.contourArea(contcua))
5     maxarea1 = max(areacu1)

```

Algoritmo 12: Método 2 para hallar el área del cuadrado

Como se puede evidenciar en el fragmento del algoritmo [12], el parámetro ingresado en la función *cv2.contourArea* es la variable *contcua*; variable dependiente al estado del condicional dónde se declara.

El funcionamiento de *contcua*, es recorrer todas las posiciones de la matriz en dos dimensiones almacenada en *contor*. La matriz contiene los valores de todas las formas encontradas por la función *cv2.findContours*. Mientras tanto, *contcua* almacena en un vector el contenido de cada una de las posiciones de *contor*, realizando esto hasta almacenar todos los contornos encontrados. El área de las formas encontradas se almacena en un vector vacío creado previamente antes del condicional **for**, mostrado en la línea 2 del algoritmo [12]; los datos se asignan a este vector con la función *area-cu1.append*. Al final, con la función **max()**, se busca el valor máximo de píxeles, asumiendo, con base en las segmentaciones anteriores, que es el valor perteneciente al cuadro contrastante.

Este valor es retornado a la función principal, para poder utilizarlo la siguiente etapa del software.

En las Figuras [4.31], [4.32] y [4.33], [4.34] se evidencia el inicio del proceso de segmentación del cuadro y la segmentación final; de en la parte frontal como en la lateral, de la cuál se extrajeron las áreas del cuadro de contraste en píxeles.

Estas comparaciones, para las imágenes restantes usadas en el proyecto, se pueden observar en la sección [6]

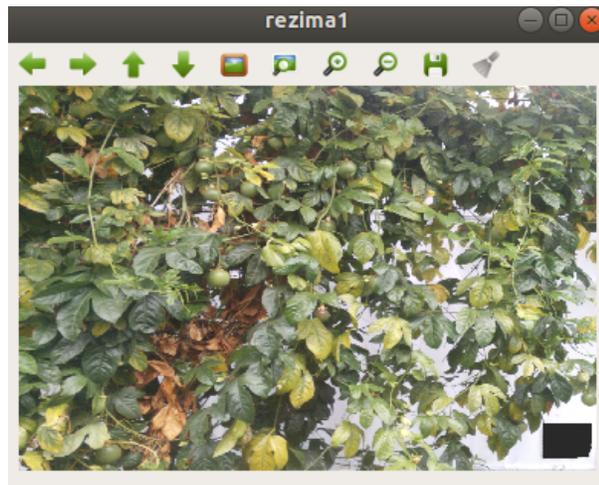


Figura 4.31: Imagen frontal inicial. Fuente: Autor

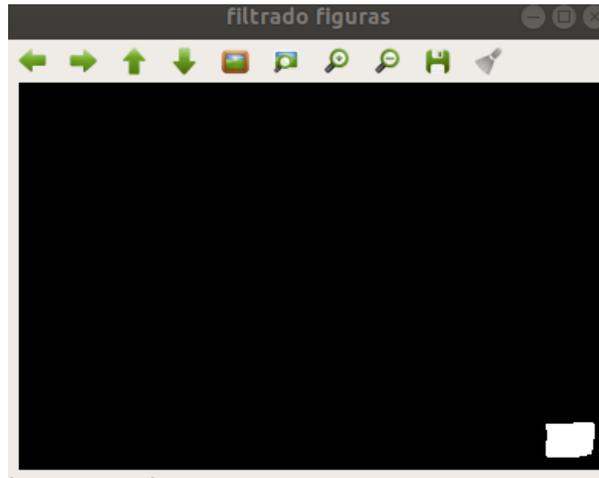


Figura 4.32: Imagen frontal con el cuadro de contraste segmentado. Fuente:Autor

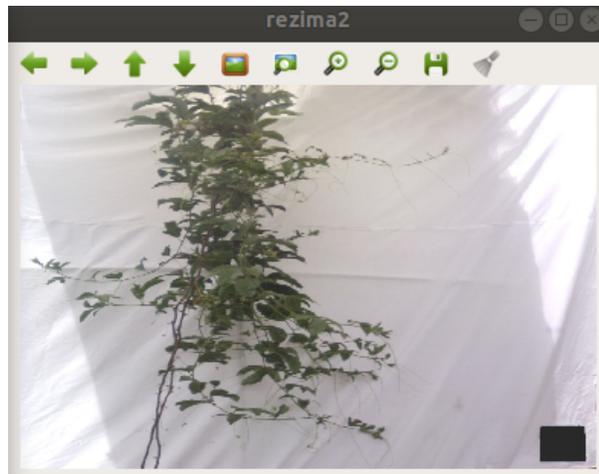


Figura 4.33: Imagen lateral inicial.Fuente:Autor



Figura 4.34: Imagen frontal con el cuadro de contraste segmentado. Fuente:Autor

Llegados a este punto, el programa ya tiene la capacidad de separar el cuadro de contraste al resto de la imagen. Este proceso era indispensable dado que, no se tenía una distancia fija para la toma de las fotografías, debido a la distancia entre plantas y el terreno irregular.

Cálculo del área foliar de la los lados de la planta en píxeles.

Partiendo de lo anterior, el paso a seguir es obtener el tamaño del índice de área foliar en píxeles. Para ello, se puede observar nuevamente la función principal [4]. Allí se puede evidenciar que el valor retornado de la función [7], está almacenado en una variable llamada *Mcuadro1* para la imagen frontal y *Mcuadro2* para la imagen lateral. Por el momento, este dato retornado, no será usado en esta etapa.

Para el cálculo del área foliar en píxeles fue implementada la función **segmf()**. Esta función pide un argumento desde la función **main()** y entrega dos variables a cambio, (*Imaret1* y *Arpla1*) para la imagen frontal e (*Imaret2* y *Arpla2*) para la imagen vertical.

El argumento entrante a la función **segmf()** es la imagen entregada por la función **Igris()**, lo anterior aplica para cada una de las imágenes.

Se puede evidenciar en el algoritmo [13], que se creó un bucle **for** doble con un condicional **if** interno. Hay que mencionar que, antes de los bucles **for**, se crearon las variables *fls* y *cols*, las cuales, almacenan las dimensiones de la imagen contenida en el argumento, es decir, la imagen en gris. Esta asignación se realiza con la función **shape**, encargada de asignar los valores de filas y columnas respectivamente a las variables mencionadas anteriormente. Seguido de esto, se puede observar la creación de dos variables igualadas a 0, en dónde se almacenarán los valores de los contadores ejecutados en el bucle **for**

```

1
2 def segmf(ffimagen):
3     """ Llama el valor almacenado en la funcion Igris. Calcula la
4     cantidad de pixeles con las que cuenta la imagen. Posteriormente,
5     segmenta la imagen, utilizando la umbralizacion como camino; cambia
6     pixel por pixel de la imagen en gris asignandole 0 o 255
7     dependiendo el umbral propuesto. """
8     fils , cols= ffimagen.shape
9     countB=0;
10    countN=0;
11
12    imaseg=np.ones([fils , cols],np.uint8)
13
14    for i in range(fils):
15        for j in range (cols):
16            if ffimagen[i,j]<=41:
17                imaseg[i,j]=0;
18            else:
19                if ffimagen[i,j]>=140 and ffimagen[i,j]<=255:
20                    imaseg[i,j]=0;
21                    countN=countN+1;
22                else:
23                    imaseg[i,j]=255;
24                    countB=countB+1;
25
26    return (imaseg, countB)

```

Algoritmo 13: Cálculo del área foliar de la planta

doble. Luego, se encuentra la variable *imaseg*, contenedora de una matriz con dimensiones idénticas a la imagen en gris obtenida del argumento de la función **segmf**, rellena de unos. Usando la función **np.ones**, se creó dicha matriz. Se identificaron las intensidades de píxeles máximas y mínimas que presentaban el cuadro de contraste y el área foliar. Moviendo el cursor sobre los píxeles considerados de mayor y menor intensidad en el panel que imprime las imágenes en pantalla de la biblioteca OPENCV, seguido de esto, se ubicaron los valores óptimos para la segmentación de la planta. Para segmentar el cuadro, el valor mínimo para retirar es el 41; valor equivalente a la intensidad de píxeles promedio encontrada en el cuadro de contraste. por otra parte, para segmentar la planta, se encontró que los píxeles con intensidad inferior a 140, contienen información de la planta o del cuadro de contraste. y superior, información de la estructura de contraste y el cielo. Con la información anterior es posible detectar el área foliar de la planta en píxeles.

Dentro de la función, se encuentra un ciclo doble del condicional **for**, con otro par de condicionales **if** inmerso en su estructura. El uso del bucle doble, que ocupa desde la línea 10 hasta la 21 en [13], tiene la finalidad de recorrer las posiciones de la imagen en gris de la planta, para que los condicionales internos, puedan analizar dichas posiciones y tomar acciones respecto a su contenido. Si el píxel de la imagen que está siendo analizado tiene una intensidad menor o igual a 41; que es el valor de intensidad máximo que toma un píxel perteneciente a el cuadro de contraste, el valor de la matriz creada previamente en esa posición será 0; De no ser así, debe entrar al siguiente condicional a evaluar los valores de la matriz. El primer condicional se aplicó con el fin de eliminar el cuadro de la imagen. La Figura 4.35 deja en evidencia la necesidad de este ciclo.

Basado en lo anterior, la segmentación debería dejar a la vista solo el área foliar de la planta, sin exponer el cuadro de contraste como se evidencia en la Figura 4.35. Esto es un problema, puesto que, el cuadro también es visible, debido a que tiene un valor inferior a 140, como se expresó anteriormente. Por lo tanto, si se calcula la cantidad de píxeles con el valor representado del material foliar (255), se incluirá en dicha medida la cantidad de píxeles que conforman el cuadrado completo, reduciendo la precisión del cálculo.

Por otro lado, si hubo acceso al segundo condicional, es por que el píxel en esta posición no tiene un valor menor a 41, por ende, no pertenece al cuadro de contraste. Ahora, el condicional analiza si dicho píxel se encuentra entre 140 y 255, para asumir que este píxel pertenece a un objeto externo a la planta. Si se cumple la condición anterior, se sumará una unidad a *countN*, la cuál, es una de las variables previamente creadas para almacenar el valor total de píxeles que no pertenecen a la planta. Si la condición no se cumple, el programa detecta a dicho píxel como parte de la planta, por ende, suma una unidad a la variable *countB*, variable que fue creada para almacenar la cantidad de píxeles que contiene la planta.

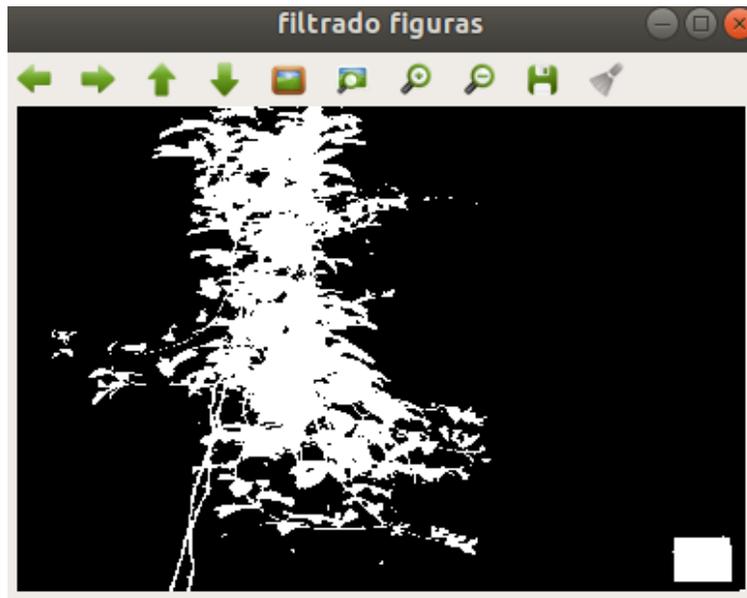


Figura 4.35: Imagen segmentada sin el condicional que filtra los valores del cuadro.
Fuente:Autor

La Figuras [4.36](#) y [4.37](#), muestran las imágenes segmentadas, de las cuales se extrae el área foliar de la planta en píxeles.

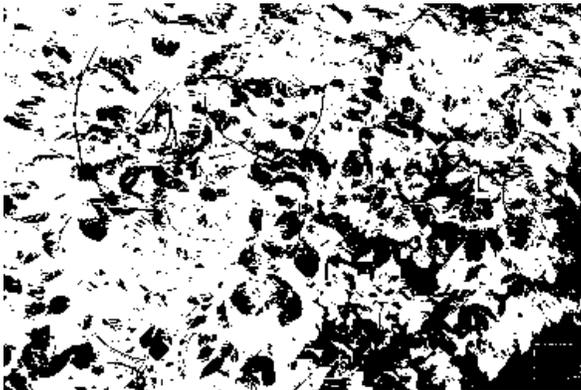


Figura 4.36: Imagen frontal de la planta segmentada Fuente: Autor

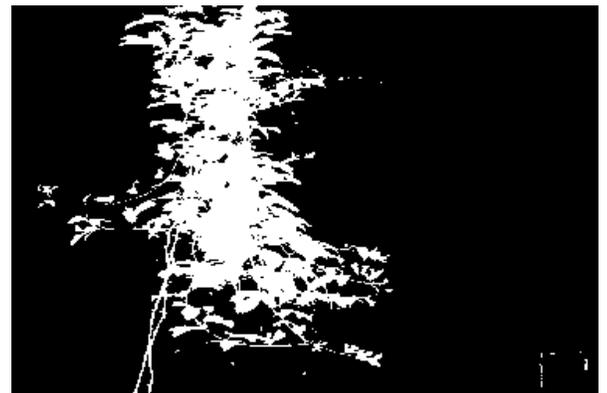


Figura 4.37: Imagen lateral de la planta segmentada Fuente: Autor

Al final, se retorna el valor almacenado en *countB* (valor del área foliar en píxeles de la planta), a la función principal. Los valores del cuadro de contraste y el área foliar de de todas las plantas en píxeles, se exponen en la Tabla [4.1](#)

Los resultados de cada una de las imágenes de la planta segmentada, separada del resto

Tabla 4.1: Áreas en píxeles

Planta	Área del cuadro en Píxeles		Área de la planta en píxeles	
	Frontal	Lateral	Frontal	Lateral
1	5513	5473	505446	123683
2	5685	2969	316125	143091
3	6012	2945	522520	423280
4	6379	3644	483767	342561
5	4180	3157	515218	416190
6	5424	3986	413545	264640
7	6031	3952	509392	277701
8	8142	4155	222648	249501
9	9178	2870	430083	400121
10	8234	3817	331818	315750
11	9196	3149	415917	354250

de elementos en la imagen, para todas las plantas utilizadas en el proyecto, se pueden encontrar en la sección [6](#). Como se mencionó anteriormente, se pueden observar en las imágenes de la derecha la segmentación de las imágenes laterales de las plantas, así mismo, a la izquierda, la segmentación de las imágenes frontales de las mismas.

Prueba de la primera etapa del algoritmo

Para comprobar la precisión del algoritmo capaz de calcular el área del cuadro de contraste y la planta en píxeles, se utilizó nuevamente el software Adobe PhotoShop.

Primero, se crearon cuatro cuadrados en el programa de diferentes tamaños conocidos en unidades de píxeles, como se mostrará más adelante; estos valores se incorporaron utilizando como referencia los valores de área en píxeles del cuadro de contraste para cada una de las plantas. Utilizando la herramienta “Lazo magnético” para seleccionar el cuadrado creado y la herramienta “Bote de pintura” para asignarle un color al área seleccionada, fue pintado el interior de los cuadrados creados con los valores cercanos al negro trabajados en la función `cuadro()`, representados en las componentes RGB como: [41,41,41]. Los cuadros creados se pueden observar en las Figuras [4.38](#), [4.39](#), [4.40](#) y [4.41](#).



Figura 4.38: Cuadro creado de $200 \text{ pixeles} \times 200 \text{ pixeles}$. Fuente: Autor



Figura 4.39: Cuadro creado de $100 \text{ pixeles} \times 100 \text{ pixeles}$. Fuente: Autor



Figura 4.40: Cuadro creado de $70 \text{ pixeles} \times 70 \text{ pixeles}$. Fuente: Autor



Figura 4.41: Cuadro creado de $50 \text{ pixeles} \times 50 \text{ pixeles}$. Fuente: Autor

Se deshabilitaron las funciones internas en **main()** que no tuvieran relación alguna con **cuadro()**, con el fin de examinar solamente el trabajo de dicha función; en cuanto a la función **cuadro()**, se mantuvo intacta internamente. La única diferencia en el código general referente a dicha función, se encuentra en la variable que ingresa a la función, la cual, previamente era *Mresize(imagen redimensionada)*; ver [4]. Ahora, la variable que ingresa a esta función directamente es *Imagen1*. El cambio anterior, se debe a que, la imagen del cuadro ya viene redimensionada a $1080 \text{ pixeles} \times 720 \text{ pixeles}$; por otro lado, el valor de píxeles es conocido solamente con esta resolución. Si la resolución cambiara, también cambiaría la cantidad de píxeles encontrados en el cuadro creado, por ende, no se tendría referencia para comparar los datos de entrada con los de salida. En el Código [14], se puede evidenciar como quedó el algoritmo que permite observar la precisión del cálculo de área del cuadro de contraste y la planta en píxeles.

Cabe resaltar que, la función **main()** ahora recibe solamente 1 argumento en vez de 2, como lo hacía previamente. Esto se debe a que, para evidenciar el funcionamiento del programa se ingresa solamente un cuadro a la vez.

```

1
2 def main(argv1):
3
4     imagen1=cv2.imread(sys.argv[1])
5     Mcuadro1=cuadro(imagen1)
6     print('El area del cuadrado en pixeles es:',int(Mcuadro1))
7
8 main(sys.argv[1])

```

Algoritmo 14: Función principal manteniendo habilitada únicamente la función `cuadro()`. Fuente: Autor

El primer cuadrado de prueba utilizado fue el de $200\text{ px} \times 200\text{ px}$, siendo esto 40000 px totales en el cuadro. Al ingresar dicho cuadro al programa, este retornó que la cantidad de píxeles encontrados en dicha figura fue de 39571. Este resultado se puede observar en la impresión por consola [15](#).

```

1
2 $ python analicua.py 1Cuadro_prueba0.jpg
3 ('El area del cuadrado en pixeles es:', 39571)

```

Algoritmo 15: Área del cuadrado ingresado en píxeles. Fuente: Autor

Conociendo los valores de entrada y de salida de la imagen, se puede calcular el porcentaje de error para este valor. Implementando la teoría de la regla de tres simple, es posible decir que: Si 40000 px es el 100% de los píxeles requeridos, ¿Que porcentaje serían 39571 px ?. El resultado de esta incógnita se evidencia en la ecuación [4.1](#)

$$Precisión = \frac{39571_{px} \times 100\%}{40000_{px}} = 98,92\% \quad (4.1)$$

Lo anterior quiere decir que, para un cuadro de 40000 px , el programa detecta 39571 px , teniendo un porcentaje de eficiencia del $98,92\%$ para este caso.

Para todos los cuadrados, se aplicó el método anteriormente expuesto. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla [4.2](#).

Cabe resaltar que, las cantidades de píxeles de los cuadros de todas las plantas, calculadas por el algoritmo, oscilan entre 1700 px y 9200 px , estos se muestran en la Tabla [4.1](#). Por ende, se puede decir que, la etapa 1 del algoritmo que calcula el área foliar real de la planta, encargada de calcular el área del cuadro de contraste y el área foliar de la planta en píxeles, tiene un porcentaje de precisión aproximado de $87,16\%$ a $93,79\%$. Se puede afirmar lo anterior, porque la distancia a la que se toman las fotografías, no

Tabla 4.2: Precisión del algoritmo

Cuadro	Lados en píxeles	Cantidad de píxeles total del cuadro	Cantidad de píxeles detectados	Porcentaje de precisión
1	200 X 200	40000	39571	98.92 %
2	100 X 100	10000	9379	93.79 %
3	70 X 70	4900	4470	91.22 %
4	50 X 50	2500	2179	87.16 %

permite que el cuadro de contraste se vea más pequeño o más grande de lo expuesto en las imágenes de todas las plantas, mostradas en la sección 6. Lo anterior quiere decir que, es poco probable encontrar valores distantes a los expuestos en la Tabla 4.1.

Hasta aquí, se expuso el desarrollo de la primera etapa del algoritmo, dando solución al segundo objetivo específico planteado referente al diseño de un algoritmo de procesamiento de imágenes, que sea capaz de distinguir y separar la planta de gulupa y el cuadro de contraste del resto de la imagen, con el fin de obtener el área foliar en píxeles de los dos lados expuestos de la planta.

4.2.4. Segunda etapa: cálculo del área foliar de cada lado ingresado de la planta

Proceso matemático

En la etapa anterior, se explicó el paso a paso para hallar el área del cuadro de contraste y el área foliar de la planta en píxeles. Estos dos valores son la base para poder calcular el área real de cada lado ingresado de la planta.

Para el desarrollo de esta segunda etapa, fue necesario calcular la resolución de las imágenes en píxeles por centímetro, a partir de los datos obtenidos en la primera etapa.

Para facilitar el entendimiento del proceso a continuación, hay que mencionar que, la unidad mínima que compone un imagen se llama píxel. Las cámaras digitales, generalmente poseen un sensor, el cual, se divide en forma de rejilla; cada celda de la “rejilla” almacena información de la luz recibida por la misma, a su vez, cada valor capturado por las celdas de dicha rejilla representa un píxel en una imagen digital [43].

“un píxel no tiene un tamaño físico en sí, tan solo es la unidad mínima de una imagen digital”, comenta el autor de [43]. Aún así, lo anterior no impide que una imagen pueda transformarse en analógica.

Es importante entender que para realizar estos cambios de “mundo analógico” a “mundo

digital”, es necesario conocer los píxeles por pulgada “ppm” o píxeles por cm “ppcm” de una imagen, en este caso, se trabajará con la segunda.

Si se tiene una imagen de 93000 *píxeles* y se quiere imprimir en una área de 30 *cm*, la relación entre tamaño y píxeles se puede representar como $3000 \text{ px}/30 \text{ cm} = 100_{\text{px/cm}}$, esto quiere decir que, en cada *cm* estamos ubicando 100 *píxeles* [43]. Este valor es la resolución de la imagen.

Volviendo al desarrollo del algoritmo, hay que tener en cuenta que se tienen los datos del área de una figura digitalizada en píxeles. Lo que se busca, es calcular dicha área en cm^2 . Observando la relación descrita previamente, se puede evidenciar que falta al menos 1 dato para obtener la relación completa; por el momento, solo se tiene el área del cuadro de contraste en píxeles. Entonces, si lo que se busca es el área de la figura en *cm*, el valor que se necesita conseguir es la resolución de la imagen en tamaño real.

Para obtener dicha resolución en una imagen de $1080 \text{ px} \times 720 \text{ px}$, se implementó el software Photoshop. Desde el software se abrió una imagen de las plantas, luego, se utilizó la herramienta “Tamaño de la imagen”. Esta herramienta abre un interfaz, en donde se puede observar la resolución de la imagen. El resultado mostrado con la planta que se ha usado de ejemplo a lo largo del trabajo se puede evidenciar en la figura [4.42].

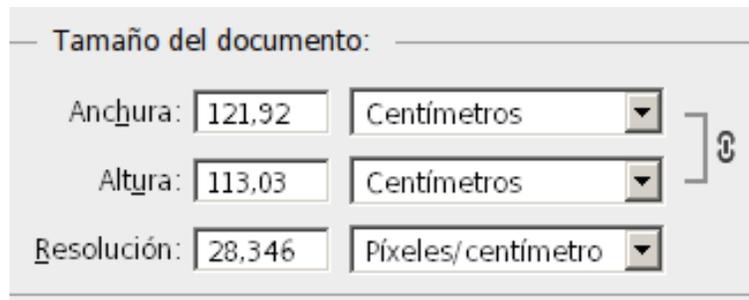


Figura 4.42: Resolución de imagen para la primera planta. Fuente: Autor

Cabe resaltar que, se realizó el mismo procedimiento para todas las imágenes del proyecto expuestas en [6], obteniendo el mismo valor de resolución para todas. Hay que mencionar que, la resolución se presenta como una medida lineal. Por ende, no es posible operarla con la cantidad de píxeles del cuadro, puesto que, dicho valor está representado en unidad de área. Como solución a lo anterior, se planteó sacar la raíz cuadrada a la cantidad de píxeles encontrados, para convertirlo en una medida lineal, aprovechando la simetría del cuadro real. Utilizando el valor de área del cuadrado en píxeles de la imagen de la primera planta frontal, se obtuvo que un lado del cuadrado segmentado en píxeles es equivalente a 74,2495 *px*, ver la ecuación [4.2].

$$A = \sqrt{T} = \sqrt{5513} = 74,2495 \quad (4.2)$$

Donde **A** es un lado del cuadro de contraste en píxeles y **T** el área del cuadro de contraste en píxeles. Teniendo dicho valor y la cantidad de píxeles por centímetro, es posible calcular un lado del cuadro en centímetros reales, como se muestra en la ecuación [4.3](#).

$$B = \frac{A}{Res} = \frac{74,2495 \text{ px}}{28,346_{\text{px/cm}}} = 2,61939 \text{ cm} \quad (4.3)$$

Donde **B** es el valor de un lado del cuadrado en cm, y **Res**, la resolución de la imagen.

Dado que, se necesita saber el área del cuadrado representado en la imagen, además, ya es conocido un lado del cuadrado, se procede a elevar al cuadrado dicho valor, obteniendo el valor del área en cm^2 del cuadrado evidenciado en la imagen frontal de la primera planta. Ver ecuación [4.4](#).

$$C = B^2 = (2,61939 \text{ cm})^2 = 6,861 \text{ cm}^2 \quad (4.4)$$

Donde **C** es el área del cuadrado de contraste de la imagen de la planta en cm^2 . Hay que resaltar que, esta medida es el área del cuadrado en cm **de la imagen** y no del cuadrado real. En cuanto a una imagen digital, se puede ver como una representación a escala de una figura o entorno captada por la cámara. Esto es importante para calcular el área real de un lado de la planta en la imagen, debido que, ya se conoce el valor del cuadro de contraste mostrado en una imagen con definición de $1080 \text{ px} \times 720 \text{ px}$ ($6,861 \text{ cm}^2$), además, el área real del cuadro en cm (400 cm^2). Se debe entender a **C**, como el área de un cuadro a escala del cuadro real. Por ende, se procede a calcular la cantidad de veces a la cual está escalada dicha figura. Esto se realiza en la ecuación [4.5](#).

$$Escala = \frac{A_{cu}}{C} = \frac{400 \text{ cm}^2}{6,861 \text{ cm}^2} = 58,3 \quad (4.5)$$

Donde **Escala** es la cantidad de veces que está reducida el cuadro de la imagen respecto al cuadro real usado y **Acu** el área real del cuadro de contraste. Este parámetro indica la escala general de la imagen, es decir, si el cuadro es, para este caso 58 veces mas pequeño que el cuadro de la imagen original, la planta también se verá 58 veces más pequeña en la imagen respecto a la realidad.

Por otro lado, para hallar el área en cm de la planta, se emplea la regla de 3, mostrado en la ecuación [4.6](#)

$$A_{cm} = \frac{A_{cui} \times A_{pla}}{T} = \frac{400 \text{ cm}^2 \times 505446 \text{ px}}{5513} = 36673 \quad (4.6)$$

Donde **Acm** es el área del cuadrado en cm, **Apla** el área de la planta en píxeles y **Acui**, el área del cuadro escalado. Por último, para obtener el área real de la planta, se divide el área en cm de la planta entre la escala a la cuál está sometida la imagen, Además, este resultado es dividido en 100, para para realizar la conversión de unidades de cm a metros. El resultado de esta operación, se puede evidenciar en la ecuación [4.7](#).

$$Acm = \frac{Acm}{Escala} = \frac{36673 \text{ cm}^2}{58,3} = 6,2903m^2 \quad (4.7)$$

Se debe recordar que, los valores numéricos obtenidos, pertenecen a la primera imagen frontal de las 11 plantas utilizadas en el proyecto. Los valores de la totalidad de las plantas, tanto frontales como laterales, oscilan desde $1,78 \text{ m}^2$ hasta $6,4 \text{ m}^2$. Valores considerados coherentes, basado en que la estructura tiene una medida de $2,4 \text{ m} \times 2,8 \text{ m}$, es decir $6,72 \text{ m}^2$. El área foliar real de cada planta se encuentra en la Tabla [4.3](#).

Tabla 4.3: Resultados del área foliar de cada una de las imágenes ingresadas

Planta	Área frontal real en m^2	Área lateral real en m^2
1	6.29	1.54
2	3.93	1.78
3	6,5	5.27
4	6.02	4.26
5	6.41	5.18
6	5.15	3.29
7	6.34	3.46
8	2.77	3.11
9	5.35	4.98
10	4.12	3.93
11	5.17	4.41

Algoritmo implementando el proceso matemático

La segunda etapa del procesamiento de imágenes concluye con la implementación de un algoritmo capaz de calcular el área foliar real de cada uno de los lados ingresados de la planta en $metros^2$, a partir de los cálculos realizados por el algoritmo en la etapa 1.

Este algoritmo fue agregado al código de la función principal como se muestra en el algoritmo [4](#).

La función encargada de realizar este procedimiento es la función **calc()**. Esta función recibe la variable *Mcuadro*, entregada por la función **cuadro()**, la cual, contiene el

valor de área del cuadro de contraste segmentado, además, recibe la variable $Arpla$), entregada por la función **segmf**, esta variable contiene el valor del área real frontal y lateral de la planta en píxeles.

```
1
2 def calc(acu, apla):
3     print('acu',acu)
4     print('apla',apla)
5     Raizcuad_px=math.sqrt(acu)
6     ladopx2cm=Raizcuadpx/28.346
7     ladoxlado=ladopx2cm**2
8     cuadroveces=400/ladoxlado
9
10    Areaplantacm=((apla*400.0)/acu)/cuadroveces
11    Areaplantam=Areaplantacm/100
12    return Areaplantam
```

Algoritmo 16: Función **calc()**, encargada del cálculo del área foliar. Fuente: autor.

Interno en **calc()**, la función entrega como argumentos los valores de las áreas mencionadas anteriormente. Luego, se pueden evidenciar una serie de variables, las cuales, almacenan los valores de las operaciones realizadas en el proceso matemático de esta sección. El contenido de la función se puede observar en el algoritmo [16](#).

La primera variable es $Raizcuadpx$, la cuál, se encarga de calcular un lado del cuadrado en píxeles, evidenciado en la ecuación [4.2](#). La segunda variable ($ladopx2cm$), ejecuta lo planteado en la ecuación [4.3](#), hallando el valor un lado del cuadrado en centímetros. Posteriormente, se encuentra la variable $ladoxlado$, la cuál, siguiendo lo planteado en la ecuación [4.4](#), calculando el área del cuadrado en la imagen. Luego, se evidencia la variable $cuadroveces$; esta variable calcula la escala a la que están sometidas las medidas del cuadro en la imagen respecto las de la planta real; esta variable obedece a lo expresado en la ecuación [4.5](#).

Por último, se encuentran las variables $Areaplantacm$ y $Areaplantam$, encargadas de calcular el área foliar real de cada lado ingresado de la planta, apoyadas en lo realizado en la ecuación [4.7](#).

Al final, **calc()** retorna a la función principal el valor calculado referente al área de la planta real de cada lado ingresado de la planta. Este valor es almacenado en la función principal [4](#) dentro de las variables $Ac1$ y $Ac2$, las cuales, son retornadas al cuerpo principal del script en las variables A y B . Lo anterior con el fin de ser impresas en la consola, en dónde A es el área real de la planta en la proyección frontal y B es el área real de la planta en la proyección horizontal.

El desarrollo de la segunda etapa del algoritmo y el procesamiento de imágenes, termina

acá, dando solución al tercer objetivo específico planteado referente a la aplicación de un algoritmo de campo, capaz de calcular el área foliar real en las proyecciones frontal y lateral de la planta de gulupa, a partir del área en píxeles entregada por el algoritmo de segmentación.

Capítulo 5

Plan de trabajo y análisis de resultados

5.1. Plan de trabajo

Para el desarrollo de este trabajo, fue implementado el plan de trabajo mostrado en la Tabla ???. Este plan de trabajo evidencia las actividades propuestas, con el fin de cumplir los objetivos planteados.

Actividad	Tiempo de ejecución
Desarrollar el análisis del estado del arte y estado de la técnica en la estimación del estado de nitrógeno en cultivos usando imágenes multiespectrales mediante la evaluación del área foliar de la planta.	1 mes y 2 semanas
Realizar un estudio de campo para identificar las variables del sistema y sus restricciones.	
Establecer las características funcionales para una óptima adquisición de imágenes	
Identificar los componentes necesarios para la puesta en marcha del sistema.	
Evaluar el área foliar de la planta mediante un software de procesamiento de imágenes.	2 meses y 2 semanas
Determinar la metodología de prueba, realización de pruebas de funcionamiento y validación de los resultados obtenidos	1 mes y una semana
Realizar análisis de precisión para determinar la efectividad del sistema en cuanto al cálculo del área foliar usando imágenes de una cámara multiespectral.	1 mes y una semana
Realizar el informe final del proyecto.	1 mes y 3 semanas

5.2. Resultados

Los resultados de esta investigación exponen los hallazgos realizados a partir de los métodos aplicados para el desarrollo de este proyecto, buscando cumplir los objetivos planteados.

5.2.1. Resultados del proceso de adquisición

El desarrollo de esta sección buscaba cumplir con el objetivo referente al diseño de una metodología de adquisición de imágenes, capaz de facilitar la identificación de la planta en la imagen para el algoritmo de procesamiento de imágenes. Como resultado a esta propuesta se obtuvo una estructura de $2,8 \text{ metros} \times 2,4 \text{ metros}$, tomando como referencia la planteada en [5]. Dicha estructura cuenta con algunos cambios adaptados a las características y condiciones propias del cultivo de gulupa en el que se trabajó. La estructura completa se puede evidenciar en la Figura 5.1.

El fondo en tela blanca, tubos cruzados en su parte posterior, los cuales, evitaban la pérdida de forma de la misma. Además, de un cuadro de contraste que permitía obtener un valor conocido al ingresar las fotografías al algoritmo, son los cambios más evidentes al comparar la estructura 5.1 con la del artículo,



Figura 5.1: Imagen de la estructura. Fuente: Autor

El desarrollo de la estructura, ubicación del cuadro de contraste y selección de lentes a utilizar, permitieron que al software ingresara una imagen de la planta diferenciada de las otras plantas en el cultivo, con una medida de referencia conocida; facilitando el cálculo del área en metros de la imagen, y permitiendo reducir el rango de valores para la selección de píxeles útiles en la segmentación. El resultado de la metodología planteada para la adquisición de las imágenes, vista desde lo interpretado por el algoritmo, se puede evidenciar en las Figuras [5.2](#) y [5.3](#).

De la comparación de las Figuras [5.2](#) y [5.3](#), se puede evidenciar la importancia del cuadro de contraste. En la Figura [5.2](#), se observa una imagen con múltiples formas indistinguibles a simple vista. Esta imagen contiene todas las plantas de un sector del cultivo mezcladas entre sí, además, se suman otros objetos difíciles de identificar. Por otro lado, en la Figura [5.3](#), la silueta de la imagen es distinguible, pudiendo afirmar que pertenece a una planta con sus respectivos tallos y hojas expuestos. Se cumplieron con los resultados planteados para esta sección.

5.2.2. Resultados del procesamiento de las imágenes

El procesamiento de las imágenes buscaba solucionar dos objetivos planteados referentes al diseño de un algoritmo que pudiera distinguir y separar la planta de gulupa, apoyado en la estructura y buscando obtener el área del cuadrado y la planta en píxeles. Seguido a esto, se buscaba obtener un complemento a este algoritmo capaz de calcular el valor



Figura 5.2: Planta segmentada sin la estructura de fondo. Fuente: Autor

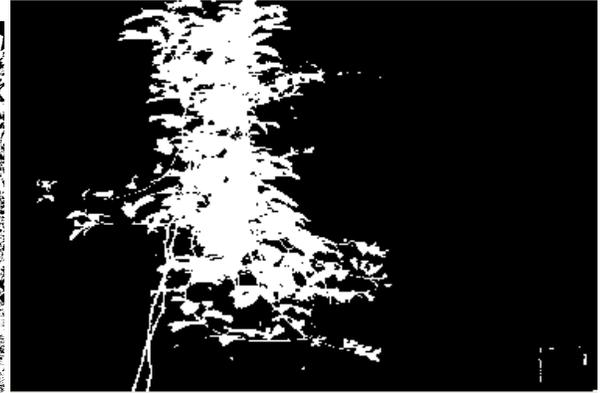


Figura 5.3: Planta segmentada con la estructura de fondo. Fuente: Autor

en píxeles obtenido en metros.

Para llegar a este resultado, se implementaron diversos procesos y etapas, de los cuales se pueden evidenciar los siguientes resultados:

Para el procesado de la imagen, se obtuvo por medio de un software de edición de imágenes, un cuadro de contraste con valores ideales para el proceso de segmentación evidenciado en la Figura [5.4](#).

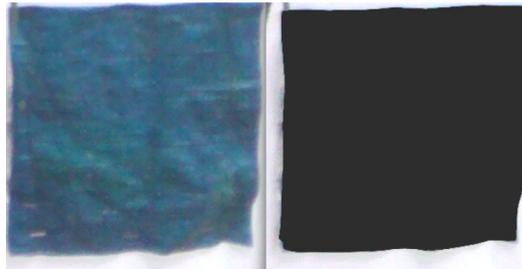


Figura 5.4: Cuadro Original y Cuadro con valores ideales. Fuente: Autor

La intensidad de los píxeles en cada cuadro cambia drásticamente. Por otro lado, se evidencia que la figura conserva intacta su forma. El cuadro original respecto a la luz del sol es capturado por la cámara como si fuera de color azul debido a la reflexión de la luz sobre dicha superficie. El cuadro editado, obedece a los valores cercanos al negro, los cuales, se pueden encontrar en un vinilo de color negro mate, cuyo índice de reflexión de la luz, es relativamente bajo.

Este proceso fue aplicado a cada una de las 22 imágenes capturadas. Todos los cuadros procesados pueden observarse en la sección [6](#).

Seguido a lo anterior, fue implementado un algoritmo, el cual, recibiendo 2 imágenes que representaban dos dimensiones distintas de la planta, entrega el cálculo de área foliar para cada una de las imágenes ingresadas. Las imágenes ingresadas al algoritmo se pueden evidenciar en las Figuras 5.5 y 5.6. Dichas imágenes pertenecen a la planta clasificada como “Primera planta”. Las 11 plantas ingresadas en el algoritmo se pueden observar en la sección 6.



Figura 5.5: Imagen frontal de la primera planta. Fuente: Autor



Figura 5.6: Imagen lateral de la primera planta. Fuente: Autor

5.2.3. Resultados de la primera etapa del algoritmo

La primera etapa del algoritmo, buscaba solucionar específicamente el objetivo referente al diseño de un algoritmo que pudiera distinguir y separar la planta de gulupa, apoyado en la estructura construida, con el fin de obtener el área del cuadrado y la planta en píxeles. Como se mencionó en el método, el algoritmo se dividió en varias funciones. Cada función entrega un resultado concreto, utilizado por la siguiente función en el script. Para evidenciar los resultados se utilizarán las imágenes pertenecientes a las plantas 2, 8 y 11. Escogidas por sus características particulares, evidenciadas en la Tabla 4.3.

La primera función es **resize()**, la cual, se encarga de redimensionar las imágenes de la planta ingresadas. Las imágenes entregadas por la función **resize()** de la segunda planta, se pueden evidenciar en las Figuras 5.7 y 5.8.



Figura 5.7: Imagen frontal de la planta 2 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 5.8: Imagen lateral de la planta 2 redimensionada. Fuente: Autor

Como se puede ver en la figura, la definición de la imagen disminuye considerablemente, debido a la redimensión realizada sobre la imagen.

Las imágenes redimensionadas son ingresadas en la función **Igris**, convirtiendo las imágenes de RGB a escala de grises. Las imágenes entregadas por la función **Igris()** de la segunda planta, se pueden evidenciar en las Figuras [5.9](#) y [5.10](#).



Figura 5.9: Imagen frontal de la planta 2 en escala de grises. Fuente: Autor



Figura 5.10: Imagen lateral de la planta 2 en escala de grises. Fuente: Autor

Estas imágenes solamente tienen un uso, es para segmentar la planta.

Siguiente a esta, pero sin relación, se encuentra la función **cuadro()**. Esta función calcula el área del cuadro de contraste en píxeles. Para lograrlo aplica distintos métodos para lograrlo. El primer método, consiste en seleccionar un umbral para separar el color

del cuadro. Las imágenes entregadas por la aplicación del método mencionado de la segunda planta, se pueden evidenciar en las Figuras 5.11 y 5.12.



Figura 5.11: Imagen frontal luego de la aplicación del umbral sobre la planta 2. Fuente: Autor



Figura 5.12: Imagen lateral luego de la aplicación del umbral sobre la planta 2. Fuente: Autor

De las figuras 5.11 y 5.12 se puede observar que el cuadro de contraste es resaltado, debido a la aplicación del umbral. Como el umbral se asignó para intensidades de píxeles menores a 41, es decir, acercándose al negro, son resaltados todos los píxeles que lo conforman.

Por otro lado, la mayoría en el resto de la imagen, contiene píxeles de intensidad mayor a 41, por ende, intentan acerca el valor de sus píxeles al blanco total. La segmentación por umbralización queda mejor expuesta luego de aplicar el método de inversión de la imagen, evidenciado en las Figuras 5.13 y 5.14.

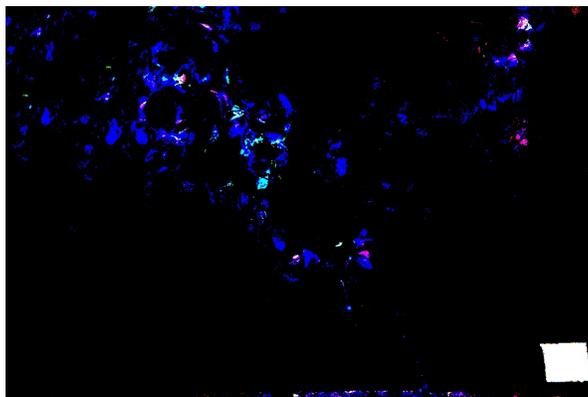


Figura 5.13: Imagen frontal umbralizada invertida de la planta 2. Fuente: Autor

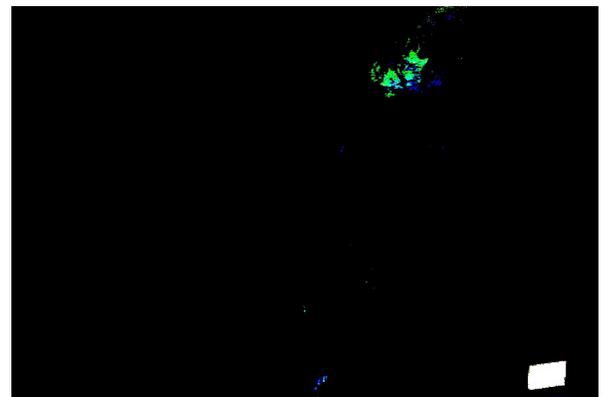


Figura 5.14: Imagen lateral umbralizada invertida de la planta 2. Fuente: Autor

Con la imagen umbralizada invertida, es más claro observar que zonas en la imagen siguen generando objetos no deseados. Cabe recordar, que lo interesante para esta etapa es encontrar el área del cuadro y la planta. El objetivo de este proceso es desaparecer el resto de la imagen e intentar dejar el cuadro libre para calcular el área. Por otro lado, se evidencia que la bibliografía referente al análisis morfológico, trabaja siempre con el cuadro de interés en blanco. de ahí que la imagen fuera invertida.

Posteriormente, es aplicado el método morfológico de clausura, el cual, retira los puntos negros del área de interés (el cuadrado). Para este caso, son los pequeños puntos negros internos, al borde del cuadro de contraste. La aplicación de este método, se puede evidenciar en la Figura [5.15](#).



Figura 5.15: Cuadros de contraste de la imagen frontal en la planta 2. Antes y después de la aplicación del método de clausura. Fuente: Autor

Se puede evidenciar en el resultado anterior que la aplicación de la clausura desapareció algunos píxeles que contrastaban con el fondo del cuadrado, así mismo, arregló algunos bordes del cuadrado.

Volviendo a la imagen completa, es necesario limpiar de la imagen, aquellas figuras diferentes al cuadrado. Para ello, se limpia la imagen con un filtro de media. La aplicación de dicho filtro, puede evidenciarse en las Figuras [5.26](#) y [5.27](#).

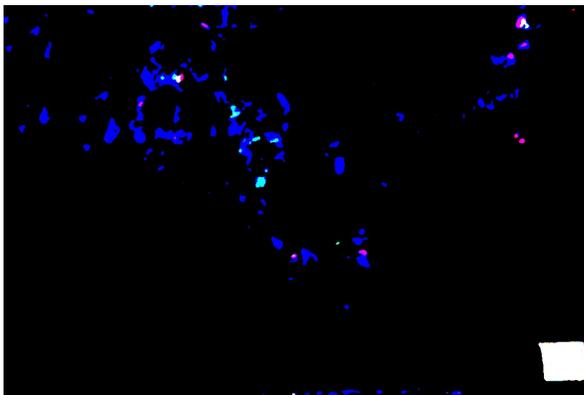


Figura 5.16: Imagen frontal invertida de la planta 2 filtrada. Fuente: Autor

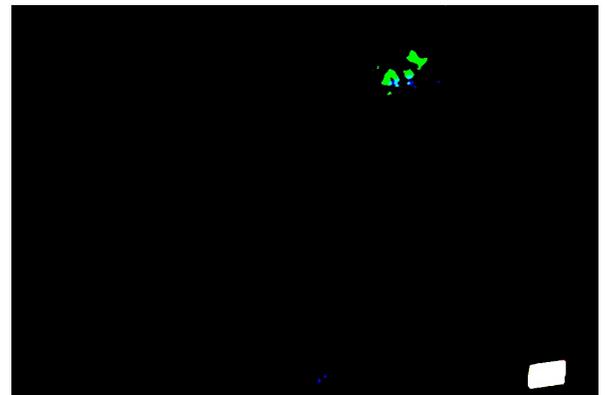


Figura 5.17: Imagen lateral invertida de la planta 2 filtrada. Fuente: Autor

Se puede observar que el filtro limpió algunos grupos de píxeles que formaban figuras con áreas demasiado pequeñas y que no estén conectadas con otra forma dentro de la imagen. Si se observa el objeto verde de la Figura 5.14 y luego el de la Figura 5.27, se puede evidenciar que la imagen filtrada tiene un mínimo de píxeles azules, además, la cantidad de píxeles verdes se reduce aproximadamente en un 20 %.

Con la necesidad de seguir limpiando la imagen, se implementó un proceso rudimentario de segmentación por umbralización. Las imágenes resultantes de dicho proceso se pueden observar en las Figuras 5.20 y 5.21.

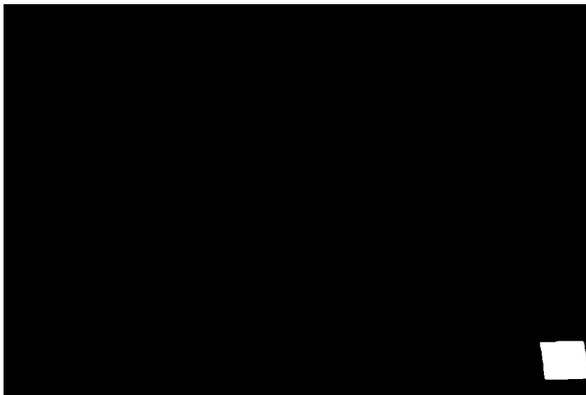


Figura 5.18: Imagen frontal de la planta 2 con el cuadro segmentado. Fuente: Autor

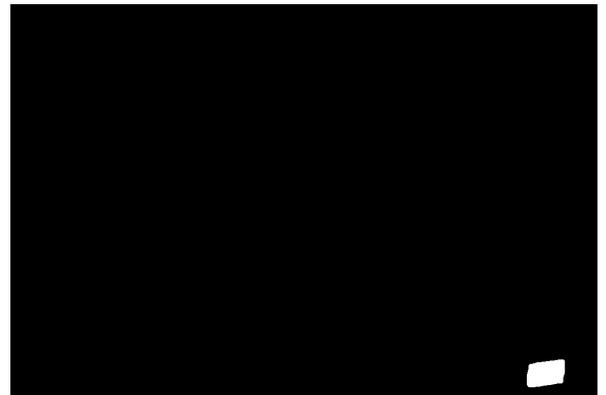


Figura 5.19: Imagen lateral de la planta 2 con el cuadro segmentado. Fuente: Autor

Al aplicar la segmentación, se binarizó la imagen, dejando los píxeles que componen el cuadro de contraste con valores lógicos de (1) y el resto de la imagen con valor de (0). Con lo anterior, se pudo observar que la segmentación en esta imagen dejó sin ruido a la misma, es decir, sin objetos diferentes al objeto de interés. Para asegurarse de la limpieza de la imagen, se aplicó nuevamente el método de clausura, con el fin de cerrar las formas sobrantes en la imagen. El resultado de lo anteriormente mencionado se puede evidenciar en la Figuras 5.20 y 5.21.

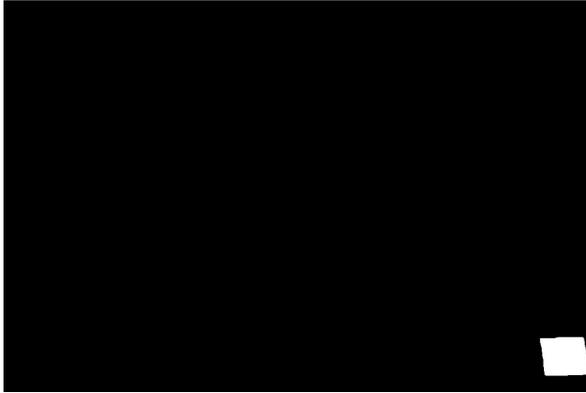


Figura 5.20: Imagen frontal de la planta 2 segmentada con el método clausura. Fuente: Autor

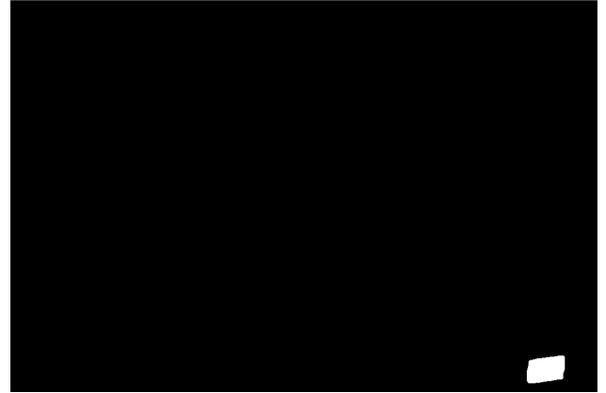


Figura 5.21: Imagen lateral de la planta 2 segmentada con el método clausura. Fuente: Autor

Hay que mencionar que, no pasó igual para todas las imágenes. En el caso de las imágenes de las plantas 5, 8, 9, y 10 se evidenció que los filtros no fueron tan eficientes para quitar todos los cuadros. Las imágenes de estas plantas se pueden observar en las Figuras [6.30](#), [6.47](#), [6.53](#) y [6.60](#).

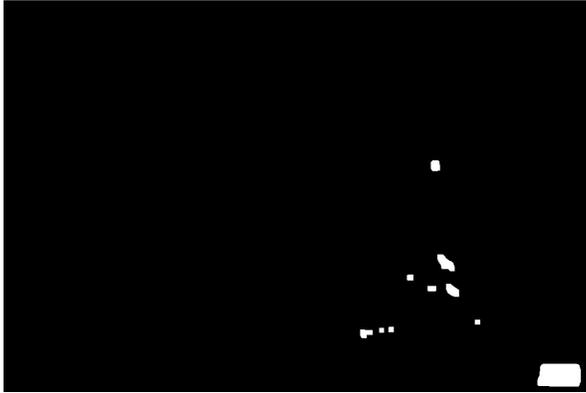


Figura 5.22: Imagen lateral del cuadro en la planta 5 invertido, segmentado y filtrado.
Fuente: Autor

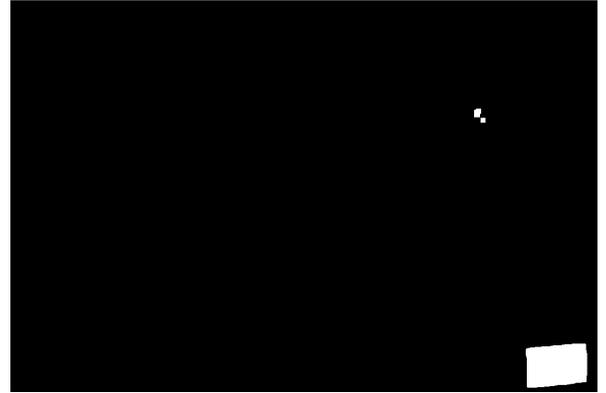


Figura 5.23: Imagen frontal del cuadro en la planta 8 invertido, segmentado y filtrado.
Fuente: Autor

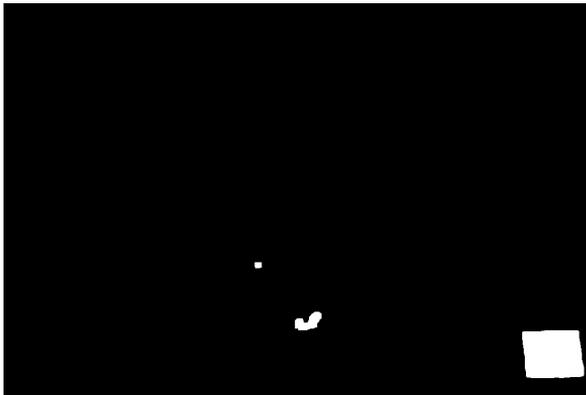


Figura 5.24: Imagen frontal del cuadro en la planta 9 invertido, segmentado y filtrado.
Fuente: Autor

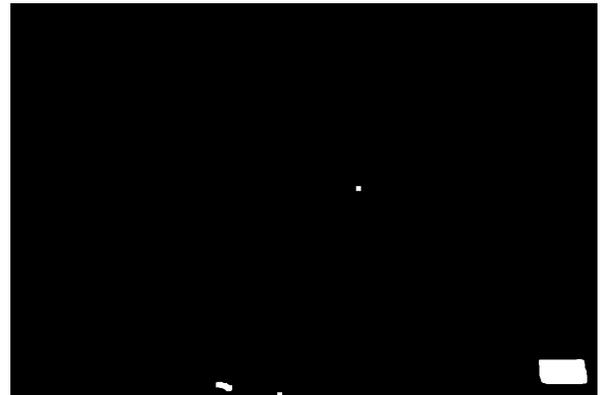


Figura 5.25: Imagen lateral del cuadro en la planta 10 invertido, segmentado y filtrado.
Fuente: Autor

Debido a estos casos, se debió aplicar un bucle que almacenara todas las formas que encontrara en la imagen, para luego, aplicar una función del programa capaz de extraer el dato con mayor valor de los datos almacenados. La figura más grande que va a encontrar dicha función siempre va a ser el cuadrado, puesto que, el resto de figuras han sido reducidas a áreas pequeñas.

Con dicha función, se logró calcular el área del cuadrado en píxeles para cada imagen. Los valores arrojados por el programa de todas las imágenes ingresadas, se pueden evidenciar en la Tabla [5.1](#).

Tabla 5.1: Área del cuadrado en píxeles de todas las plantas

Planta	Área del cuadro en Píxeles	
	Frontal	Lateral
1	5513	5473
2	5685	2969
3	6012	2945
4	6379	3644
5	4180	3157
6	5424	3986
7	6031	3952
8	8142	4155
9	9178	2870
10	8234	3817
11	9196	3149

Podemos ver que el área de los cuadros en píxeles oscilan desde 2817 hasta 9196, para un cuadro cuya medida en cm^2 es de 400. Estas variaciones se deben a la posición y distancia en las que fueron adquiridas las fotos. Del calculo correcto del área del cuadro, depende el resto del algoritmo. Es por eso que se aplicó el método de prueba para la primera etapa del algoritmo. Esta prueba se explica detalladamente al final de la sección 4.2.3. A partir de este proceso se creó la Tabla [5.2](#).

Tabla 5.2: Precisión del algoritmo

Cuadro	Lados en píxeles	Cantidad de píxeles total del cuadro	Cantidad de píxeles detectados	Porcentaje de precisión
1	200 X 200	40000	39571	98.92 %
2	100 X 100	10000	9379	93.79 %
3	70 X 70	4900	4470	91.22 %
4	50 X 50	2500	2179	87.16 %

En dicha tabla se encuentran los porcentajes de precisión del algoritmo, a partir del método mencionado anteriormente. Se puede evidenciar de estos valores que, entre más definición tenga la imagen, mayor precisión tendrá el algoritmo creado. Por otro lado, los valores del área del cuadro en píxeles están entre 2870 y 9196, esto significa que el cálculo del área del cuadrado en píxeles mantiene una precisión aproximada entre 87,16 % y 93,79 %.

Con los cuadrados calculados, restaba calcular el área foliar de la planta en píxeles. Para el desarrollo de este proceso se implementó una segmentación rudimentaria por umbralización. Para realizar dicho proceso, se ubicaron los píxeles menores a 41; suponiendo que la mayoría de ellos eran del cuadro de contraste, y se transformaron en píxeles negros. Gracias a esto, se desaparecía casi en su totalidad el cuadrado de contraste. Posteriormente, se utilizó un condicional, el cual, umbralizó la imagen, separando las plantas del resto de la imagen. Con un contador interno, se iba calculando la cantidad de píxeles que constituían la planta. Las imágenes de la planta 2 segmentada, de la cual, fue calculada el área foliar de los lados de la planta en píxeles, se evidencia, en las Figuras [5.26](#) y [5.27](#).



Figura 5.26: Imagen frontal invertida de la planta 2 filtrada. Fuente: Autor



Figura 5.27: Imagen lateral invertida de la planta 2 filtrada. Fuente: Autor

De las imágenes resultantes a la segmentación de la planta, se puede observar que, la silueta es similar a la forma de la imagen redimensionada. No se evidencian errores marcados en la marcación de dicha silueta. Por otro lado, se alcanza a ver dónde estaba ubicado el cuadro, puesto que, hay algunos píxeles de los bordes que no fueron borrados por la segmentación, aún así, no tienen un área significativa para afectar al programa.

La razón por la cual, no se usó algún filtro para eliminar los píxeles que no se pudieron borrar del cuadro, se encuentra en que, si se aplica un filtro a una imagen con tantos píxeles separados y con áreas pequeñas, se perdería mucha información referente al área foliar de la planta.

Los resultados del cálculo del área foliar en píxeles retornado por el algoritmo, se evidencia en la Tabla [5.3](#)

Tabla 5.3: Área de la planta en píxeles

Planta	Área de la planta en píxeles	
	Frontal	Lateral
1	505446	123683
2	316125	143091
3	522520	423280
4	483767	342561
5	515218	416190
6	413545	264640
7	509392	277701
8	222648	249501
9	430083	400121
10	331818	315750
11	415917	354250

Los valores del área foliar en píxeles de la planta oscilan desde 123683 hasta 522520. Se podría decir que, si 123683 es el valor mínimo de área en los valores, esta pertenece al lado más pequeño de una planta. Pero el área depende del cuadro de contraste también.

Los valores calculados por esta parte del software son enviados a la siguiente función capaz de calcular el área real de la planta.

5.2.4. Resultados de segunda etapa del algoritmo

En esta etapa, se aplicó un algoritmo, capaz de calcular el área foliar real de dos imágenes que representan dos dimensiones de una planta de gulupa a partir del área en píxeles entregada por el algoritmo, dando solución al tercer objetivo general planteado del proyecto.

Para lograrlo, se requería obtener el valor de la resolución de la imagen, obtenido como 28,246 *píxeles/cm* por el software photoshop. Esta resolución se comprobó utilizando el método planteado por [16], haciendo el conteo de cuadrículas que representaban el área foliar del cuadrado dibujado en una hoja de papel, se obtuvo que la cantidad de píxeles por cm es 28,832, el valor varía respecto al primero por la omisión de algunos decimales en el cálculo. Como el primer valor lo genera un software confiable, se optó por utilizar este como el valor de la resolución en la imagen. Se planteó un proceso matemático previamente, para calcular el área de la planta. Lo anterior se encuentra en la sección 4.2.4. Dicho proceso se implementó en el algoritmo, uniendo la etapa que calcula el área del cuadrado y la planta en píxeles y el proceso mencionado previamente, sumado a la etapa de adquisición de imagen. La unión de todas las etapas indican que el sistema

planteado está completo.

El resultado arrojado por el sistema, luego de ingresar las Figuras 5.5 y 5.6, se puede observar en la impresión por consola 17.

```
1
2 $ python progfunc.py 2F.jpg 2V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 3.93 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 1.78 metros cuadrados
```

Algoritmo 17: Impresión del área foliar calculada de las imágenes de la primera planta. Fuente: Autor

El sistema entrega dos áreas diferentes, de las cuales, se puede observar que no exceden las dimensiones del área total de la estructura ($6,72 m^2$). Se aplicó el algoritmo a todas las figuras de la sección 6. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4: Resultados del área foliar de cada una de las imágenes ingresadas

Planta	Área frontal real en en m^2	Área lateral real en m^2
1	6.29	1.54
2	3.93	1.78
3	6,5	5.27
4	6.02	4.26
5	6.41	5.18
6	5.15	3.29
7	6.34	3.46
8	2.77	3.11
9	5.35	4.98
10	4.12	3.93
11	5.17	4.41

Se evidencia en la Tabla 5.4, que ninguno de los valores de área foliar final, exceden las dimensiones de la estructura, siendo lo anterior un indicador de coherencia positivo, referente al cálculo del área por planta.

Por otro lado, se puede observar que el área de las imágenes frontales es mayor al de las imágenes Verticales a excepción de una, evidenciando que el crecimiento en general de las plantas en el cultivo, se orienta hacia las plantas del mismo surco, dado que, las imágenes frontales son tomadas paralelamente al surco dónde se ubica la planta de la imagen.

Las plantas con menor área foliar, como la planta 8, son plantas en las que se muestran posibles síntomas de deficiencias nutricionales o enfermedades. Además, se puede evidenciar, basado en el mismo caso, la escasez de material foliar en la planta. La segunda planta, podría entrar en la misma categoría de la planta anteriormente mencionada. Sus valores de área foliar son relativamente bajos respecto al de las otras plantas.

Otra particularidad encontrada en la Tabla [5.4](#), se presenta en los datos de la planta 1, la diferencia entre el área foliar de la imagen frontal y el área foliar de la imagen lateral de esta planta es alta, respecto a los datos promedio de las demás plantas. Esto apunta a que la planta tiene grandes proporciones observada frontalmente, pero su crecimiento lateral se ve limitado.

Los resultados adquiridos en esta tabla, comparados con los resultados arrojados por la implementación del método LAGB, del artículo [5](#), se evidencian en la Tabla [5.5](#)

Como se pueden evidenciar en la tabla [5.5](#), el método LAGB entrega áreas desde 0,52 a 0,99 *metros*² aproximadamente para cada una de las plantas, valores poco coherentes para una planta de gulupa de 1 año y seis meses de edad. Lo anterior deja en evidencia la poca confiabilidad que genera el método LAGB para las imágenes de las plantas obtenidas.

Tabla 5.5: Comparación del método LAGB con el planteado en este trabajo

Planta	Método LAGB		Método planteado	
	Área de la planta en la imagen frontal	Área de la planta en la imagen lateral	Área de la planta en la imagen frontal real	Área de la planta en la imagen lateral real
1	0.52	0.13	6.29	1.54
2	3.32	0.28	3.93	1.78
3	0.66	0.82	6,5	5.27
4	0.91	0.99	6.02	4.26
5	0.70	0.75	6.41	5.18
6	0.99	0.38	5.15	3.29
7	0.48	0.40	6.34	3.46
8	0.16	0.34	2.77	3.11
9	0.27	0.80	5.35	4.98
10	0.99	0.47	4.12	3.93
11	0.17	0.64	5.17	4.41

5.3. Conclusiones

- Después de realizar el análisis pertinente y la cantidad de pruebas necesarias, así como, la aplicación de diferentes métodos de adquisición de imágenes, se concluye que la metodología planteada para la adquisición de imágenes fue fundamental para el procesamiento de las imágenes, puesto que, dejaba expuesta el área de interés, en este caso la planta, y el cuadro de contraste.
- Se llegó a la conclusión de que, la estructura de contraste debería ser más fácil de transportar, buscando reducir el tiempo entre sesiones para las tomas y aumentando la cantidad de muestras adquiridas por sesión. Una posible solución sería, implementar pliegues retráctiles en las articulaciones centrales de la estructura, para que el despliegue de la misma sea más sencillo. Por otro lado, para elegir el cuadro de contraste óptimo para facilitar el procesado de la imagen, se debe buscar un color sin brillo, como por ejemplo el negro mate, además, cerciorarse que la superficie de dicho cuadro no presente rugosidad ni ondulaciones, dado que, se evidenció influencia de estos parámetros sobre la intensidad de los píxeles de la misma figura.
- Posteriormente al ingreso de varios pares de fotos al programa realizado, analizando los conjuntos de resultados y observando las figuras entregadas por las funciones de análisis morfológico, segmentación umbralizada y conversión a espacios de color. Se concluye que, el sistema diseñado es capaz de ingresar, procesar y analizar las tomas obtenidas por la cámara multiespectral retornando valores coherentes, tomando de referencia el tamaño de la estructura. De igual forma, luego de analizar los resultados arrojados por la primera etapa del algoritmo, encargada de calcular el área en píxeles del cuadro de contraste, se concluye que, el valor obtenido por dicha etapa presenta un porcentaje de precisión de 93.79 % a 87.16 %.
- Respecto a los procesos de segmentación de la planta, observando la implementación de un condicional extra, ubicado antes del condicional que imparte los valores de segmentación en la planta. Se concluye, que si dicho condicional no se implementara, el resultado a la imagen segmentada siempre va a incluir la cantidad de píxeles del cuadro de contraste.

Capítulo 6

Presupuesto

En el proyecto se utilizó una cámara Parrot Sequoia, así mismo, una powerbank para la alimentación de la cámara. Por otro lado, se diseñó una estructura implementada como fondo de contraste, utilizando tubos y tela.

El precio de cada uno de los elementos mencionados, se puede evidenciar en la Tabla 6.1; los valores están dados en pesos colombianos.

El presupuesto fue aportado por el proyecto “Cuantificación de maleza en cultivos de hortalizas por medio de procesamiento de imágenes digitales multiespectrales”, perteneciente a los grupos de investigación GITEINCO; enfocado al procesamiento de imágenes, la electrónica de potencia y el control, y GIGAT; orientado al área de telemática, las telecomunicaciones, la transformación de energías, y la instrumentación, en la convocatoria de proyectos de investigación conjuntos entre la Universidad de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Tabla 6.1: Presupuesto

HERRAMIENTA	COSTO
Camara Parrot Sequoia	15'217.222
Tubería para la estructura	35.000
Telón blanco	34.000
Powerbank RPL-58	95.000
Total	15'381.222

Bibliografía

- [1] Emilian. García y Flego. Fernando. “Agricultura de precisión”. En: *Computers and Electronics in Agriculture* (2014), págs. 1-2.
- [2] Jaime Arnal. Barbedo García. “Detection of nutrition deficiencies in plants using proximal images and machine learning”. En: *ELSEVIER* (2019), pág. 11.
- [3] Martínez Gaspar. Felipe de Jesús y col. “Agricultura de precisión”. En: *Tecnología Agropecuaria* (2014), págs. 1-2.
- [4] Marco. Cabezas y Carlos A Sánchez. “Efecto de las deficiencias nutricionales en la distribución de la materia seca en plantas de vivero de curuba”. En: *Agronomía Colombiana* (2008), págs. 1-5.
- [5] Miguel. Espinoza., Eduardo. Acuña y Juan. Barrera. “Commercial digital camera to estimate postharvest leaf area index in *Vitis vinifera* L. cv. cabernet sauvignon on a vertical.” En: *ChileanJAR* (2010), pág. 491.
- [6] Jiménez. Y, Carranza. C y Rodríguez. M. “Manejo integrado de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims)”. En: *Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas* (2009), págs. 121-158.
- [7] U. *Elementos esenciales para el crecimiento de las plantas*. [urlhttps://www.-ideasbiologicas.com/curiosidades/elementos-esenciales-para-el-crecimiento-de-las-plantas](https://www.-ideasbiologicas.com/curiosidades/elementos-esenciales-para-el-crecimiento-de-las-plantas). 2007.
- [8] Ferraris. Gustavo N. y Couretot. Lucrecia A. *Tecnologías para la aplicación de microelementos en maíz*. Pergamino INTA, 2007.
- [9] Seoáñez Calvo. M. y col. *Contaminación del Suelo: estudios, tratamiento y gestión*. Madrid, España: Mundi-Prensa, 1999.
- [10] Schachtschabel. P. y col. “Lehrbuch der bodenkunde.” En: *Enke* (1992), pág. 491.
- [11] Edmundo García y col. “Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto”. En: *Técnica pecuaria en México* (2004), all.
- [12] Malavolta. E. “Nutrición y fertilización del maracuyá.” En: *Universidad de Sao Paulo* (1994).

- [13] Plank. C.O. “Plant analysis reference procedures for the southern region of the United States.” En: *University of Georgia* (1992).
- [14] HE. Y. K. Terabayashi. S. y Namiki. T. “Comparación de dos pruebas para diagnosticar nitrógeno en sorgo.” En: *Researchgate* (1998), pág. 384.
- [15] King. P. “Quick sap tests: An aid to nitrogen fertiliser strategy in cereals.” En: *aust* (1992), págs. 18-19.
- [16] Agudelo Restrepo. Cristian Manuel. *Diseño e implementación de un sistema para la detección del área foliar en plantas*. Fusagasugá: Universidad de Cundinamarca, 2016.
- [17] Coombs J. y col. *Técnicas de fotosíntesis y bioproduktividad*. México: Esditorial Futura, 1988.
- [18] Agricultura certificada. *Manual de buenas prácticas agrícolas e indicadores de gestión*. México: Agricultura certificada, 2007.
- [19] Pereira. M. H. “Un buen trabajo”. En: *IActas del X congreso de Aapresid* (2002), pág. 1.
- [20] Peiretti. R. *MEl Modelo Agrícola de CAAPAS: Su adopción actual y potencial dentro del sistema agrícola nacional y mundial*. Actas del XII Congreso de Aapresid., 2004.
- [21] Fabio Leiva. “La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista”. En: *ResearchGate* (2003), pág. 8.
- [22] Invernaderos MSC. *Agricultura tradicional y agricultura moderna*. <https://grupomsc.com/blog/medio-ambiente/agricultura-tradicional-agricultura-moderna>.
- [23] Gaston G. A. Remmers. “Agriocultura tradicional y agricultura ecológica: vecinos distantes”. En: *Instituto de sociología y Estudios Campesinos, Universidad de Córdoba* (1993), pág. 1.
- [24] Emiliano. García. y Fernando. Flego. *Agricultura de precisión*. Palermo: Universidad de Palermo, pág. 116.
- [25] Procisur. *Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo, uruguay: Actas del XII Congreso de Aapresid., 2006.
- [26] Alzate V. Diego F. Berrío M. Viviana A. Mosquera T. Jemay. “Uso de drones para el análisis de imagenes multiespectrales en agricultura de precisión”. En: *Limentech* (2015), pág. 13.
- [27] Pedro Andrés Rengifo Mejía Jhon Jaiber Marín Incapié. *Determinación de curvas de extracción en la gulupa (Passiflora Edulis F. Edulis Sims) en el municipio de sonsón, Antioquia*. Inf. téc. Sonsón.

- [28] Sandra Carolina Crespo Cárdenas. *Análisis de aproximación proteómica en fruts de gulupa PASSIFLORAS EDULIS sims sometidos a dos temperaturas poscosecha*. Bogotá: Universidad Nacional, 2013.
- [29] Ocampo Pérez Kris Wyckhuys. Jhon. *Tecnología para el cultivo de la gulupa en Colombia*. Bogotá: UJTL, 2012.
- [30] Rojas B. Laura. y Muños E. Laura. *Gulupa: Características y usos tradicionales*. Leticia, Amazonas: Universidad de la amazonía., 2015.
- [31] MOH'D KHAIR J. EL-SHATNAWI y col. "Management optimization of dual-purpose barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch) for forage and seed yield". En: *Journal of Range Management* 57.2 (2004), págs. 197-202.
- [32] Steward FC. *Analysis of grow. Behavior of plants and their organs*. New York academic press: New York, 1969.
- [33] Di Benedetto. A. y Tognetti. J. *Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos*. Buenos Aires, Argentina: Redalyc.org, 1916.
- [34] Poorter h. y Lambers. H. *Is interspecific variation in relative growth rate positively correlated with biomass allocation to the leaves?* Estados Unidos: The american naturalist, 1991.
- [35] Luz Marina Melgarejo Jaime Barrera Marisol Cruz. *Nutrición mineral*. Bogotá: Universidad Nacional de colombia, 2015.
- [36] Mónica Barbazán. *Agronomía análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes*. Montevideo: Universidad de la republica de Montevideo, 1998.
- [37] W. M. Stewart. *Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes*. Inf. téc.
- [38] J. M. Sánchez Yáñez, R. Farías Rodríguez y J. J. Peña Cabriales R. Cárdenas Navarro. "Los aportes de nitrógeno en la agricultura". En: *Chapingo, serie horticultura* (2004), pág. 6.
- [39] Pam. D. D. y col. "The Role of GIS And Remote Sensing in the Control of Malaria". En: *Online Journal of Health and Allied Sciences* (2017).
- [40] MIGUEL A. COPETE, JOSÉ M. HERRANZ y PABLO. FERRANDIS. "Análisis comparativo del área y morfología foliar en taxones ibéricos amenazados del género *Coincya* (Cruciferae)". En: *Revista chilena de historia natural* (2010), págs. 1-10.
- [41] Miguel. Espinoza L. y Eduardo. Acuña C. Miguel. Barrera B. *Commercial Digital Camera to Estimate Postharvest Leaf Area Index in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon on a Vertical Trellis*. Chilean journal of agricultural research, 2010.
- [42] Parrot. *Cámara multispectral parrot sequoia*. <https://www.parrot.com/soluciones-business/profesional/parrot-sequoia>. 2016.

- [43] Braulio Stars. *Píxeles por pulgada¿De verdad es tan complicado?*. <https://www.theimagen.com/pixeles-por-pulgada-de-verdad-es-tan-complicado/>.

Apéndice 1: Evidencias

resultados de todas las plantas usadas

Primera planta



Figura 6.1: Imagen frontal de la planta 1 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.2: Imagen lateral de la planta 1 redimensionada. Fuente: Autor

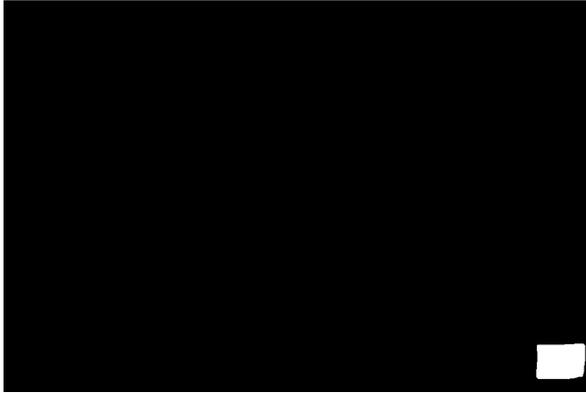


Figura 6.3: Imagen frontal del cuadro en la planta 1 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

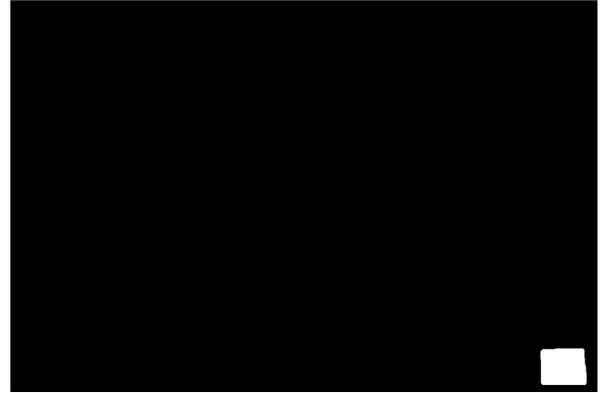


Figura 6.4: Imagen lateral del cuadro en la planta 1 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

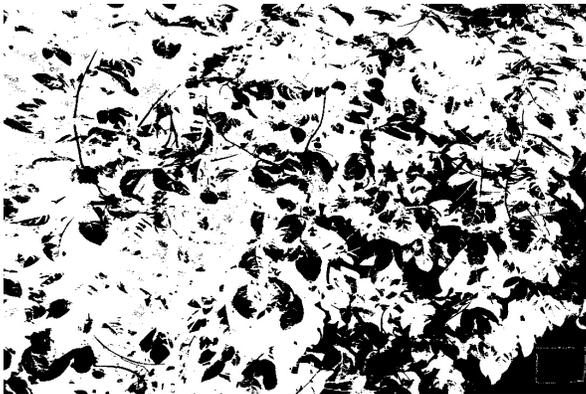


Figura 6.5: Imagen frontal de la planta 1 segmentada. Fuente: Autor

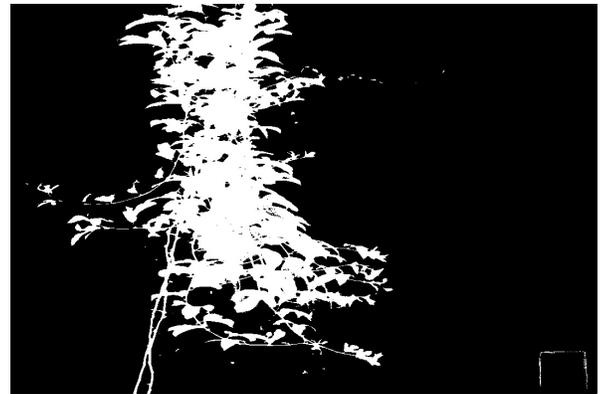


Figura 6.6: Imagen lateral de la planta 1 segmentada. Fuente: Autor

```
1
2 $ python profunc.py 1F.jpg 1V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 6.29 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 1.54 metros cuadrados
```

Algoritmo 18: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 1. Fuente: Autor

Segunda planta



Figura 6.7: Imagen frontal de la planta 2 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.8: Imagen lateral de la planta 2 redimensionada. Fuente: Autor

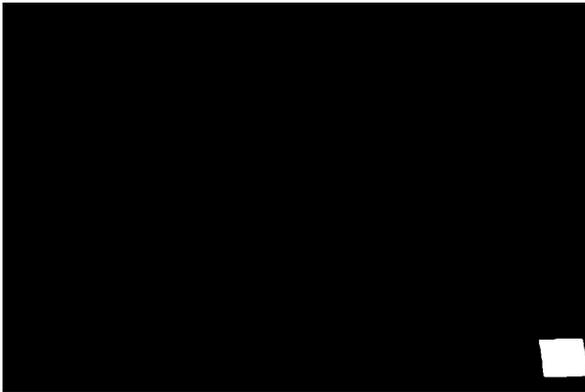


Figura 6.9: Imagen frontal del cuadro en la planta 2 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.10: Imagen lateral del cuadro en la planta 2 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.11: Imagen frontal de la planta 2 segmentada. Fuente: Autor

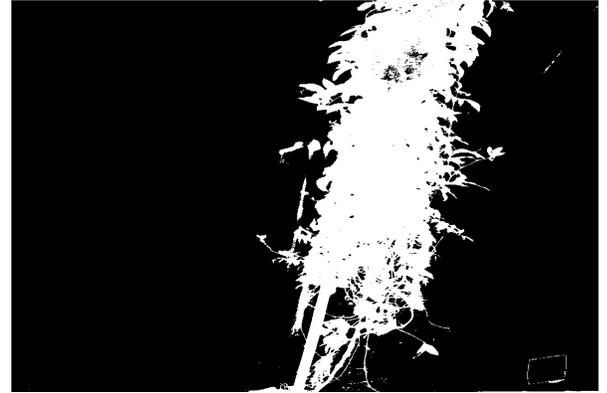


Figura 6.12: Imagen lateral de la planta 2 segmentada. Fuente: Autor

```
1
2 $ python progfunc.py 2F.jpg 2V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 3.93 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 1.78 metros cuadrados
```

Algoritmo 19: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 2. Fuente: Autor

Tercera planta



Figura 6.13: Imagen frontal de la planta 3 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.14: Imagen lateral de la planta 3 redimensionada. Fuente: Autor

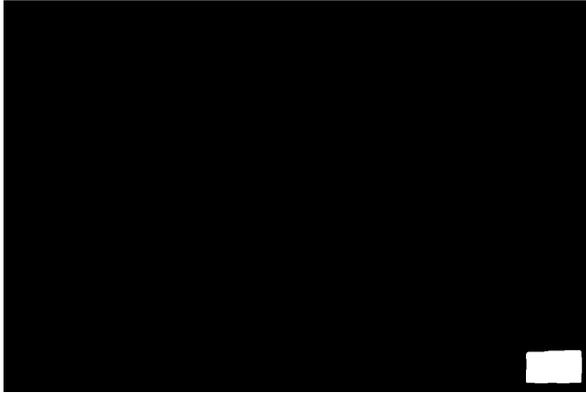


Figura 6.15: Imagen frontal del cuadro en la planta 3 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

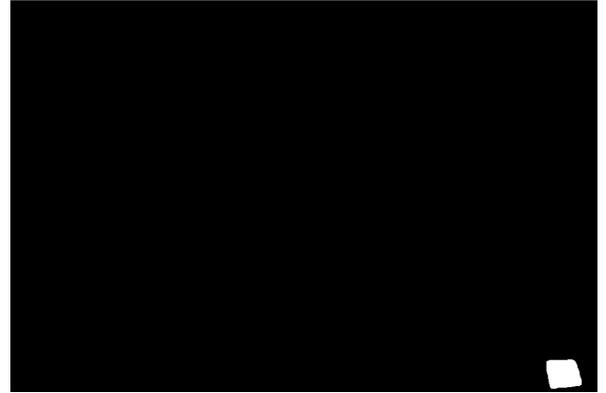


Figura 6.16: Imagen lateral del cuadro en la planta 3 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

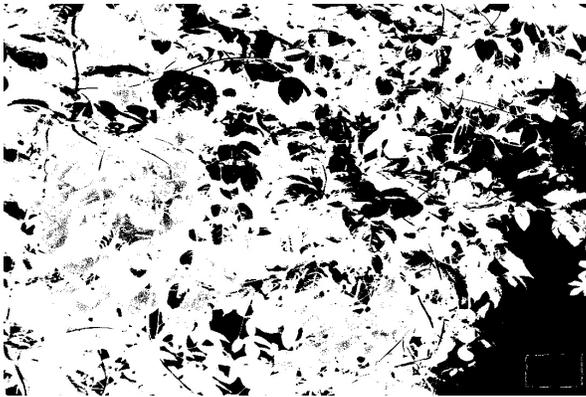


Figura 6.17: Imagen frontal de la planta 3 segmentada. Fuente: Autor

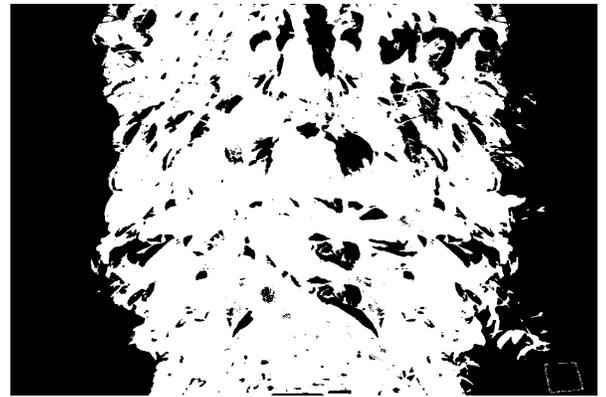


Figura 6.18: Imagen lateral de la planta 3 segmentada. Fuente: Autor

```
1
2 $ python profunc.py 3F.jpg 3V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 6.50 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 5.27 metros cuadrados
```

Algoritmo 20: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 3. Fuente: Autor

Cuarta planta



Figura 6.19: Imagen frontal de la planta 4 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.20: Imagen lateral de la planta 4 redimensionada. Fuente: Autor

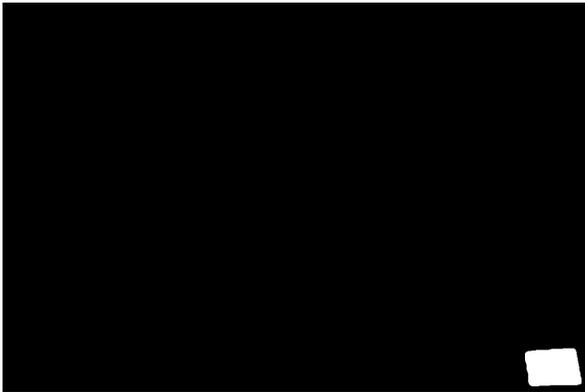


Figura 6.21: Imagen frontal del cuadro en la planta 4 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

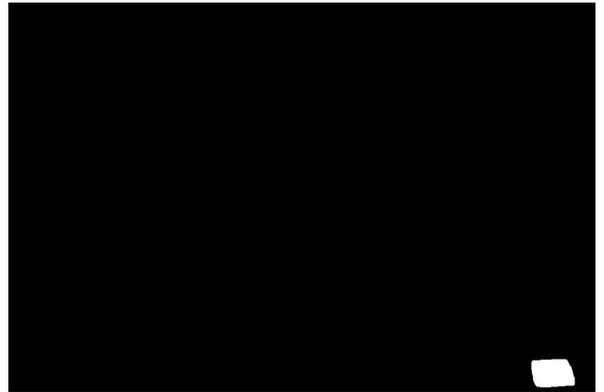


Figura 6.22: Imagen lateral del cuadro en la planta 4 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.23: Imagen frontal de la planta 4 segmentada. Fuente: Autor



Figura 6.24: Imagen lateral de la planta 4 segmentada. Fuente: Autor

```
1  
2 $ python progfunc.py 4F.jpg 4V.jpg  
3  
4 El area real de la planta frontal es de 6.02 metros cuadrados  
5 El area real de la planta lateral es de 4.26 metros cuadrados
```

Algoritmo 21: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 4. Fuente: Autor

Quinta planta



Figura 6.25: Imagen frontal de la planta 5 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.26: Imagen lateral de la planta 5 redimensionada. Fuente: Autor

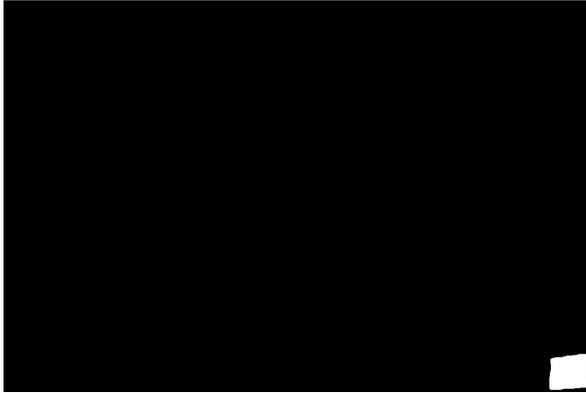


Figura 6.27: Imagen frontal del cuadro en la planta 5 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

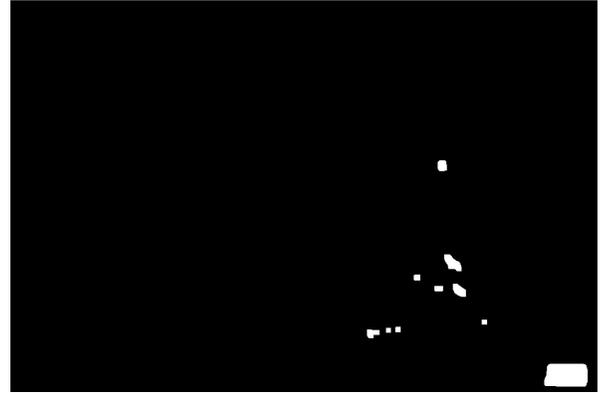


Figura 6.28: Imagen lateral del cuadro en la planta 5 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.29: Imagen frontal de la planta 5 segmentada. Fuente: Autor



Figura 6.30: Imagen lateral de la planta 5 segmentada. Fuente: Autor

```
1
2 $ python profunc.py 5F.jpg 5V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 6.41 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 5.18 metros cuadrados
```

Algoritmo 22: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 5. Fuente: Autor

Sexta planta



Figura 6.31: Imagen frontal de la planta 6 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.32: Imagen lateral de la planta 6 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.33: Imagen frontal del cuadro en la planta 6 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

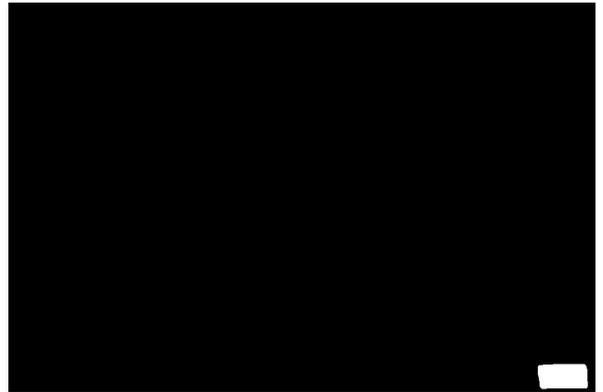


Figura 6.34: Imagen lateral del cuadro en la planta 6 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.35: Imagen frontal de la planta 6 segmentada. Fuente: Autor

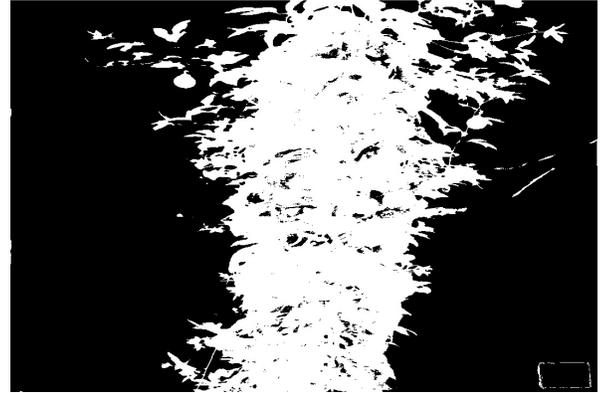


Figura 6.36: Imagen lateral de la planta 6 segmentada. Fuente: Autor

```
1  
2 $ python progfunc.py 6F.jpg 6V.jpg  
3  
4 El area real de la planta frontal es de 5.15 metros cuadrados  
5 El area real de la planta lateral es de 3.29 metros cuadrados
```

Algoritmo 23: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 6. Fuente: Autor

Séptima planta



Figura 6.37: Imagen frontal de la planta 7 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.38: Imagen lateral de la planta 7 redimensionada. Fuente: Autor

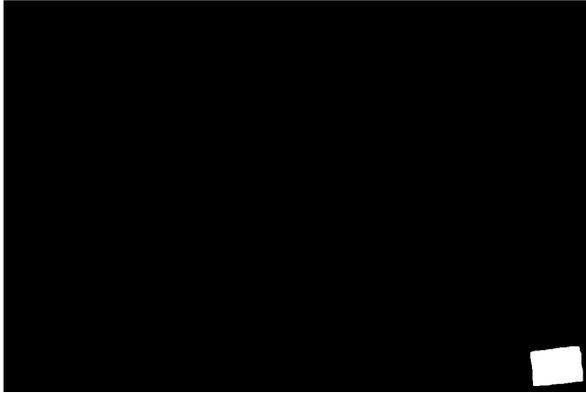


Figura 6.39: Imagen frontal del cuadro en la planta 7 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

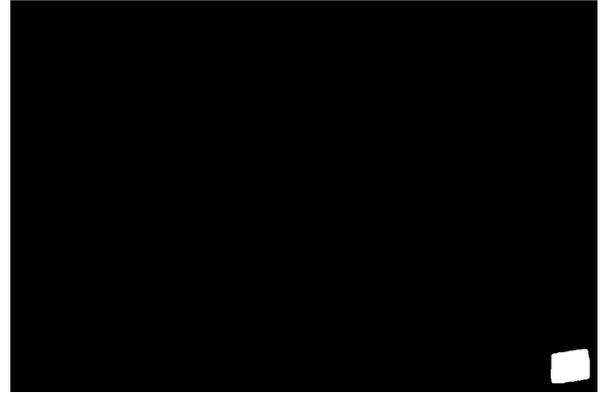


Figura 6.40: Imagen lateral del cuadro en la planta 7 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.41: Imagen frontal de la planta 7 segmentada. Fuente: Autor

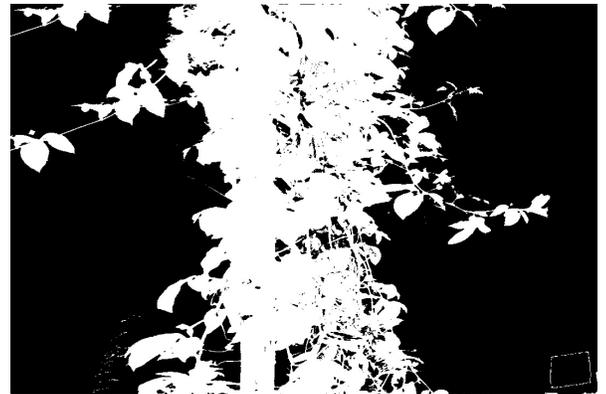


Figura 6.42: Imagen lateral de la planta 7 segmentada. Fuente: Autor

```
1
2 $ python profunc.py 7F.jpg 7V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 6.34 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 3.46 metros cuadrados
```

Algoritmo 24: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 7. Fuente: Autor

Octava planta



Figura 6.43: Imagen frontal de la planta 8 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.44: Imagen lateral de la planta 8 redimensionada. Fuente: Autor

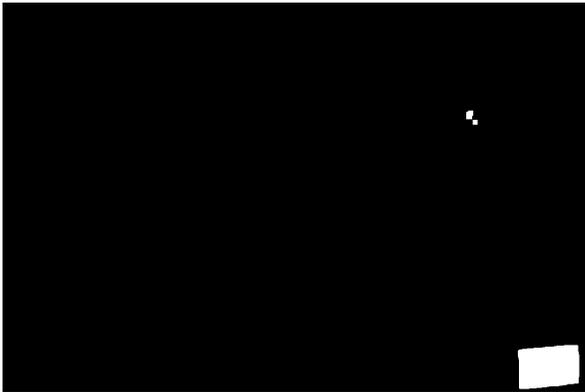


Figura 6.45: Imagen frontal del cuadro en la planta 8 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

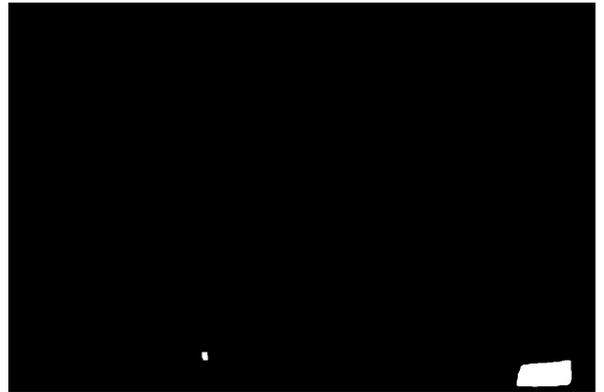


Figura 6.46: Imagen lateral del cuadro en la planta 8 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.47: Imagen frontal de la planta 8 segmentada. Fuente: Autor



Figura 6.48: Imagen lateral de la planta 8 segmentada. Fuente: Autor

```
1  
2 $ python progfunc.py 8F.jpg 8V.jpg  
3  
4 El area real de la planta frontal es de 2.77 metros cuadrados  
5 El area real de la planta lateral es de 3.11 metros cuadrados
```

Algoritmo 25: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 8. Fuente: Autor

Novena planta



Figura 6.49: Imagen frontal de la planta 9 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.50: Imagen lateral de la planta 9 redimensionada. Fuente: Autor

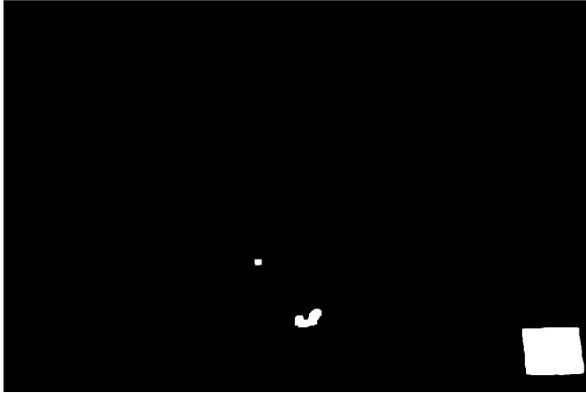


Figura 6.51: Imagen frontal del cuadro en la planta 9 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

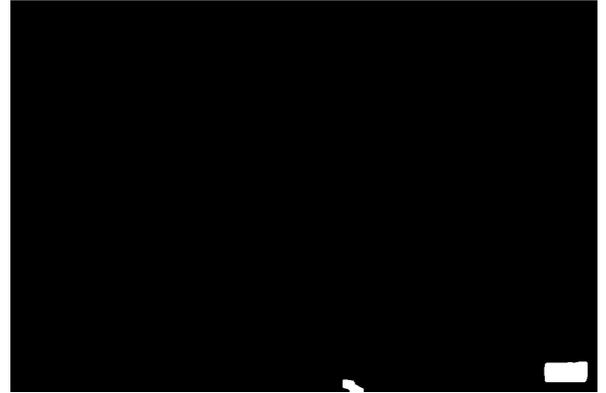


Figura 6.52: Imagen lateral del cuadro en la planta 9 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.53: Imagen frontal de la planta 9 segmentada. Fuente: Autor

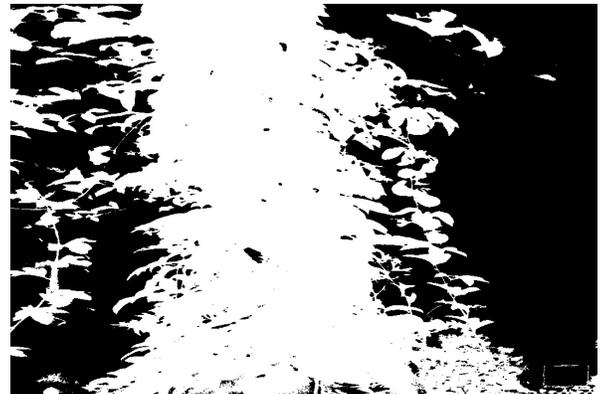


Figura 6.54: Imagen lateral de la planta 9 segmentada. Fuente: Autor

```
1
2 $ python profunc.py 9F.jpg 9V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 5.35 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 4.98 metros cuadrados
```

Algoritmo 26: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 9. Fuente: Autor

Décima planta



Figura 6.55: Imagen frontal de la planta 10 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.56: Imagen lateral de la planta 10 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.57: Imagen frontal del cuadro en la planta 10 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.58: Imagen lateral del cuadro en la planta 10 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor



Figura 6.59: Imagen frontal de la planta 10 segmentada. Fuente: Autor



Figura 6.60: Imagen lateral de la planta 10 segmentada. Fuente: Autor

```
1  
2 $ python progfunc.py 10F.jpg 10V.jpg  
3  
4 El area real de la planta frontal es de 4.13 metros cuadrados  
5 El area real de la planta lateral es de 3.93 metros cuadrados
```

Algoritmo 27: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 10. Fuente: Autor

Onceava planta



Figura 6.61: Imagen frontal de la planta 11 redimensionada. Fuente: Autor



Figura 6.62: Imagen lateral de la planta 11 redimensionada. Fuente: Autor

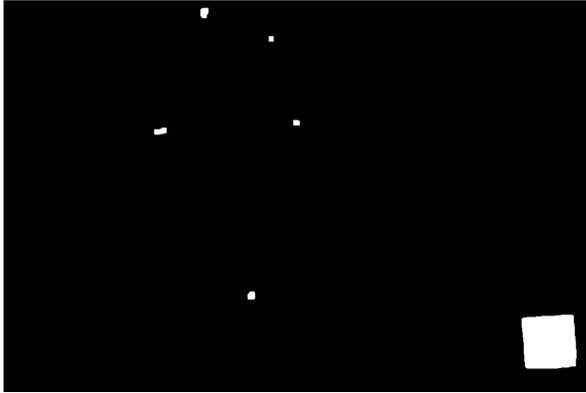


Figura 6.63: Imagen frontal del cuadro en la planta 11 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

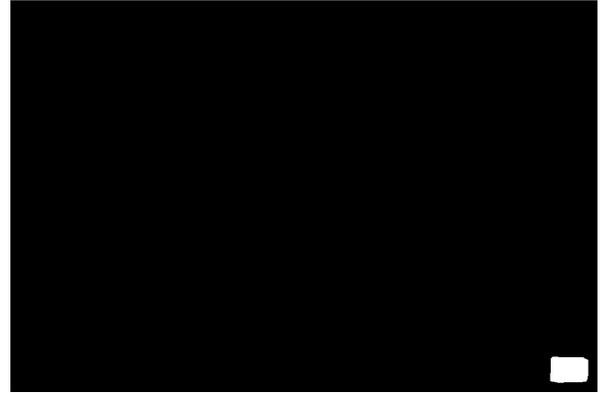


Figura 6.64: Imagen lateral del cuadro en la planta 11 invertido, segmentado y filtrado. Fuente: Autor

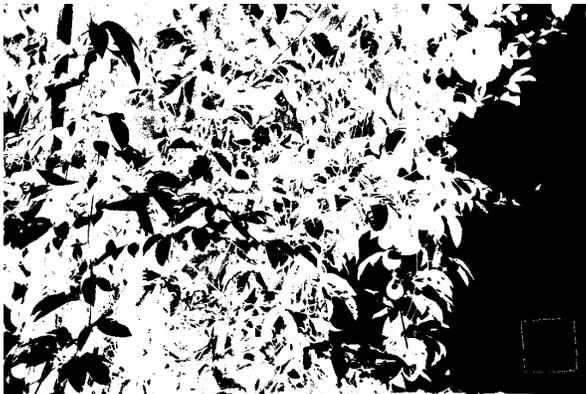


Figura 6.65: Imagen frontal de la planta 11 segmentada. Fuente: Autor

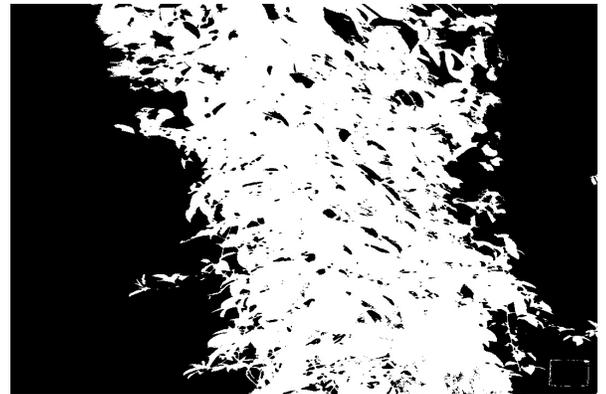


Figura 6.66: Imagen lateral de la planta 11 segmentada. Fuente: Autor

```
1
2 $ python profunc.py 11F.jpg 11V.jpg
3
4 El area real de la planta frontal es de 5.18 metros cuadrados
5 El area real de la planta lateral es de 4.41 metros cuadrados
```

Algoritmo 28: Impresión de los resultados de área foliar de las imágenes frontal y lateral de la planta 11. Fuente: Autor

Código completo

```
1
2 import numpy as np
3 from PIL import Image
4 from matplotlib import pyplot as plt
5 import cv2
6 import sys
7 import math
8
9 """
10 Realizado por: Faryd Alejandro Peñuela González
11 Fecha: 24 de julio del 2020
12 Versión: 1.0.0.
13 Proyecto: IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA CAPAZ DE CALCULAR EL AREA
14           FOLIAR DE UNA PLANTA DE GULUPA, A PARTIR DE IMAGENES QUE
15           REPRESENTEN DOS DIMENSIONES DE LA PLANTA, MEDIANTE TECNICAS DE
16           PROCESAMIENTO DE IMAGENES
17
18
19 Nota: No agregar tildes
20
21 """
22
23 cv2.namedWindow('rezima1',cv2.WINDOW_NORMAL)
24 cv2.namedWindow('rezima2',cv2.WINDOW_NORMAL)
25 #cv2.namedWindow('filtrado figuras',cv2.WINDOW_NORMAL)
26 cv2.namedWindow('segcua',cv2.WINDOW_NORMAL)
27 cv2.namedWindow('imaseg',cv2.WINDOW_NORMAL)
28
29
30 def resize(rimagen1, rimagen2):
31     """ Funcion para redimensionar la imagen a 1080X720 pixeles"""
32     width = 1080
33     height = 720
34     dim = (width, height)
35     resized1 = cv2.resize(rimagen1, dim)
36     cv2.imshow('rezima1',resized1)
37     resized2 = cv2.resize(rimagen2, dim)
38     cv2.imshow('rezima2',resized2)
39     cv2.imwrite('resize.jpg',resized1)
40     cv2.imwrite('resize.jpg',resized2)
41
42     return (resized1, resized2)
43
44
45 def Igrisf(fimagen1, fimagen2):
46     """ funcion para convertir las imagenes redimensionadas en escala
47     de grises"""
48     imagris1=cv2.cvtColor(fimagen1, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
49     imagris2=cv2.cvtColor(fimagen2, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
```

```

44     cv2.imwrite('imagris.jpg',imagris1)
45     return (imagris1, imagris2)
46
47 def segmf(ffimagen):
48
49     """ Llama el valor almacenado en la funcion Igris, calcula la
50     cantidad de pixeles con las que cuenta la imagen. Posteriormente,
51     segmenta la imagen, utilizando la umbralizacion como camino; cambia
52     pixel por pixel de la imagen en gris asignandole 0 o 255
53     dependiendo el umbral propuesto. """
54     fils , cols= ffimagen.shape
55     countB=0;
56     countN=0;
57
58     imaseg=np.ones([fils,cols],np.uint8)
59
60     for i in range(fils):
61         for j in range (cols):
62             if ffimagen[i,j]<=41:
63                 imaseg[i,j]=0;
64             else:
65                 if ffimagen[i,j]>=140 and ffimagen[i,j]<=255:
66                     imaseg[i,j]=0;
67                     countN=countN+1;
68                 else:0
69                     imaseg[i,j]=255;
70                     countB=countB+1;
71     cv2.imwrite('imaseg.jpg',imaseg)
72     cv2.imshow('imaseg',imaseg)
73     print('El area foliar de la planta en pixeles es', countB)
74     return (imaseg, countB)
75
76 def cuadro(frimagenf):
77
78     """ Filtra la imagen almacenada en la funcion segmf(), la cual,
79     entrega una imagen segmentada, con algunos puntos de ruido
80     Distingue el cuadrado de contraste de la imagen y calcula el area
81     correspondiente a dicha figura
82
83     """
84     filC , colC, ch= frimagenf.shape
85
86     _,th=cv2.threshold(frimagenf, 41,255,cv2.THRESH_BINARY)
87     cv2.imwrite('threshold.jpg',th)
88     kernel=np.ones((2,2),np.uint8)
89     imainv=cv2.bitwise_not(th)
90     cv2.imwrite('imainv.jpg',imainv)
91     closing = cv2.morphologyEx(imainv, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)
92     cv2.imwrite('closing1.jpg',closing)

```

```

87     median = cv2.medianBlur(imainv,7)
88     cv2.imwrite('median.jpg',median)
89     cuared=np.ones([filC,colC],np.uint8)
90     for i in range(filC):
91         for j in range (colC):
92             if median[i ,j,0]==255 and median[i ,j,1]==255 and median[
i ,j,2]==255:
93                 cuared[i,j]=255;
94             else:
95                 cuared[i,j]=0;
96     cv2.imwrite('cuared.jpg',cuared)
97     kernelocua = np .ones((9,9), np . uint8 )
98     opencua = cv2.morphologyEx(cuared, cv2.MORPH_OPEN, kernelocua)
99     kernelccua = np.ones((5,5),np.uint8)
100    closingcua = cv2.morphologyEx(opencua,cv2.MORPH_CLOSE, kernelccua)
101    cv2.imwrite('closingcua.jpg',closingcua)
102    cannycua = cv2.Canny(closingcua, 20, 200)
103    (contor,_)= cv2.findContours(cannycua.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL ,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
104    areacu1=[]
105    for contcua in contor:
106        areacu1.append(cv2.contourArea(contcua))
107    maxarea1 = max(areacu1)
108    cv2.imshow('segcua',closingcua)
109    print('area del cuadro en pixeles es:', int(maxarea1))
110    return (int(maxarea1), closingcua)
111
112 def calc(acu, apla):
113     """ Calcula el area foliar de la planta en metros cuadrados
utilizando la resolusion de la imagen y la escalabilidad a la que
se encuentra el cuadrado"""
114     Raiz_cuad_px=math.sqrt(acu)
115     lado_px2cm=Raiz_cuad_px/28.346
116     ladoxlado=lado_px2cm**2
117     cuadro_veces=400/ladoxlado
118
119     Area_planta_cm=((apla*400.0)/acu)/cuadro_veces
120     Area_planta_m=Area_planta_cm/100
121     return Area_planta_m
122
123 def main(argv1, argv2):
124     """ Funcion principal; ejecuta las funciones internas con
propositos unicos"""
125     imagen1=cv2.imread(sys.argv [1])
126     imagen2=cv2.imread(sys.argv [2])
127
128     Mresize1, Mresize2=resize(imagen1, imagen2)
129     Mgris1, Mgris2=Igrisf(Mresize1, Mresize2)
130

```

```
131 Mcuadro1, imacua1=cuadro(Mresize1)
132 #cv2.waitKey(0)
133 Mcuadro2, imacua2=cuadro(Mresize2)
134 cv2.imwrite('cuasegF.jpg',imacua1)
135 cv2.imwrite('cuasegV.jpg',imacua2)
136
137 Imaretf1 , Arpla1 = segmf(Mgris1)
138 Imaretf2 , Arpla2 = segmf(Mgris2)
139
140 cv2.imwrite('plasegF.jpg',Imaretf1)
141 cv2.imwrite('plasegV.jpg',Imaretf2)
142
143 Ac1= calc(Mcuadro1, Arpla1)
144 Ac2= calc(Mcuadro2, Arpla2)
145
146 return Ac1, Ac2
147
148 A, B = main(sys.argv[1], sys.argv[2])
149
150 print('El area real de la planta frontal es de {0:.2f} metros
151 cuadrados'.format(A))
152 print('El area real de la planta lateral es de {0:.2f} metros
153 cuadrados'.format(B))
154 #print (Igrisf._ cv2.imshow('imaseg',imaseg) cv2.imshow('imaseg',
155 imaseg)_doc_)
156 #print (segmf._doc_)
157 #print (filf._doc_)
158
159 cv2.waitKey(0)
```

Imágenes en campo



Figura 6.67: Fruto atacado por insecto. Fuente: Autor



Figura 6.68: Fruto de de una planta de gulupa. Fuente: Autor



Figura 6.69: Imagen en campo 1. Fuente: Autor



Figura 6.70: Imagen en campo 2. Fuente: Autor



Figura 6.71: Imagen en campo 3. Fuente: Autor



Figura 6.72: Imagen en campo 4. Fuente: Autor



Figura 6.73: Imagen en campo 5. Fuente: Autor