	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 8

Código de la dependencia.

FECHA	viernes, 24 de julio de 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
Trujillo Fandiño	Santiago Alejandro	1069757421

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: 2 de 8

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

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Mujica Rodriguez	Leonardo
Criollo Velasquez	Edgar Hernando

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Implementación de un sistema capaz de facilitar la identificación del cambio de color en la hoja de gulupa conforme a la presencia o ausencia de nitrógeno mediante el procesamiento de imágenes RGB.

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 8

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

El cultivo de las pasifloras en Colombia es de gran importancia y representan un importante renglón en el sector frutícola, y, considerando la gran diversidad de especies que presentan, permite suponer que posee grandes posibilidades en el mercado nacional e internacional. El cultivo de gulupa ha crecido en los últimos años, sin embargo aún no hay un estudio exacto que prediga los requerimientos nutricionales para la especie, en consecuencia se emplean fertilizantes de síntesis química u orgánica de manera inadecuada, lo que puede generar intoxicación de las plantas, desperdicio del producto, incremento de costos, pérdida de la cosecha y efectos detrimentales sobre la calidad biológica del suelo\cite{Dia11}.

En la actualidad existe información limitada acerca de técnicas o métodos para el análisis de deficiencia nutricional en cultivos de gulupa. El principal aporte del proyecto, es la investigación, contextualización y estudio de una técnica o método capaz de facilitar la identificación del cambio de color en la hoja de gulupa conforme a la presencia o ausencia de nitrógeno, debido a que este es uno de los macro elementos más importantes en el desarrollo físico de la planta. Las técnicas de procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones surgen como una posible solución para este problema.

El procedimiento llevado a cabo, es la toma de imágenes de hojas del cultivo de gulupa mediante una cámara multispectral Sequoia +, esto se hace de una manera invasiva, es decir, quitando la hoja de la planta para luego mediante un sistema de visión artificial procesar la imagen y extraer las características e información de mayor interés. Como resultado final se obtienen las características deseadas de la hoja.

The cultivation of passionflowers in Colombia is of great importance and represents an important change in the fruit sector, and, representing the great diversity of species they present, allows us to suppose that it has great possibilities in the national and international market. The cultivation of gulupa has grown in recent years, however, there are still no studies of the nutritional requirements for the species, therefore chemical or organic synthetic fertilizers are used improperly, which can lead to plant poisoning, waste of the product, cost increase, crop loss and detrimental effects on the biological quality of the soil\cite{Dia11}.

Currently, there is very little information on techniques or methods for the analysis of nutritional deficiency in gulupa crops. The main contribution of the project is the research, contextualization, and study of a technique or method capable of analyzing the characteristics of the plant's leaf in order to estimate the nitrogen status since it is one of the most important macro elements in the physical development of the plant. Image processing and pattern recognition techniques emerge as a possible solution to this problem.



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 8

The procedure carried out is the taking of images of the leaves of the gulupa culture using a Sequoia + multispectral camera, this is done in an invasive way, that is, quoting the leaf of the plant and then using an artificial vision system to image and extract the characteristics and information of greatest interest. As a final result, the desired characteristics of the sheet were obtained.

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":



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 8

Autorizo (Autorizamos)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
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



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 8

caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

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

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

Información Confidencial:

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

SI __ NO _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.



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 8

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

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

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

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

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en 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.



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 8

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

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Implementación de un sistema capaz de facilitar la identificación del cambio de color en la hoja de gulupa conforme a la presencia o ausencia de nitrógeno mediante el procesamiento de imágenes RGB.	PDF
2.	
3.	
4.	

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

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Trujillo Fandiño Santiago Alejandro	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CAPAZ DE
FACILITAR LA IDENTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE
COLOR EN LA HOJA DE GULUPA CONFORME A LA
PRESENCIA O AUSENCIA DE NITRÓGENO MEDIANTE
EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES RGB.**

SANTIAGO ALEJANDRO TRUJILLO FANDIÑO

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

2020

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CAPAZ DE
FACILITAR LA IDENTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE
COLOR EN LA HOJA DE GULUPA CONFORME A LA
PRESENCIA O AUSENCIA DE NITRÓGENO MEDIANTE
EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES RGB.**

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

Autor:
SANTIGO ALEJANDRO TRUJILLO FANDIÑO

Director:
Msc. LEONARDO RODRÍGUEZ MUJICA
Ingeniero Electrónico

Codirector:
Msc. EDGAR CRIOLLO VELASQUEZ
Ingeniero Electrónico

Línea investigación:
**Gestión tecnológica aplicada a los sectores agropecuarios,
agroindustrial y ambientales, Software, Sistemas emergentes y
nuevas tecnologías**

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FUSAGASUGÁ.
2020

Dedicatoria

A mi familia por ser ellos mi soporte, mi impulso y motivación para siempre cumplir mis proyectos.

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios por darme la existencia y permitirme iniciar y concluir esta etapa tan importante en mi vida.

A mi familia por su apoyo incondicional, su motivación y porque sin ellos nada de esto hubiera podido ser posible.

A Néstor Venegas y María Poveda grandes seres humanos, que me brindaron su ayuda, conocimiento, experiencias y consejos a lo largo de este tiempo.

De igual manera agradecer a mi director Leonardo Rodríguez por su esfuerzo y dedicación, quien con su conocimiento y experiencia me guió durante este proceso investigativo.

A la ingeniera agrónoma Jennifer Villalobos Lozano por su ayuda, conocimientos y experiencia brindada durante este proyecto.

A todos los docentes que durante este tiempo aportaron sus conocimientos y experiencias para mi formación profesional e integral.

A ella, por motivarme, regalarme buenos momentos, brindarme su compañía, consejos, colaboración y apoyo a lo largo de este ciclo.

Por último, a esos grandes amigos que durante esta etapa estuvieron presentes y dispuestos a brindarme su ayuda.

Resumen

El cultivo de las pasifloras en Colombia es de gran importancia y representan un importante renglón en el sector frutícola, y, considerando la gran diversidad de especies que presentan, permite suponer que posee grandes posibilidades en el mercado nacional e internacional. El cultivo de gulupa ha crecido en los últimos años, sin embargo aún no hay un estudio exacto que prediga los requerimientos nutricionales para la especie, en consecuencia se emplean fertilizantes de síntesis química u orgánica de manera inadecuada, lo que puede generar intoxicación de las plantas, desperdicio del producto, incremento de costos, pérdida de la cosecha y efectos detrimentales sobre la calidad biológica del suelo [1].

En la actualidad existe información limitada acerca de técnicas o métodos para el análisis de deficiencia nutricional en cultivos de gulupa. El principal aporte del proyecto, es la investigación, contextualización y estudio de una técnica o método capaz de facilitar la identificación del cambio de color en la hoja de gulupa conforme a la presencia o ausencia de nitrógeno, debido a que este es uno de los macro elementos más importantes en el desarrollo físico de la planta. Las técnicas de procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones surgen como una posible solución para este problema. El procedimiento llevado a cabo, es la toma de imágenes de hojas del cultivo de gulupa mediante una cámara multiespectral Sequoia +, esto se hace de una manera invasiva, es decir, quitando la hoja de la planta para luego mediante un sistema de visión artificial procesar la imagen y extraer las características e información de mayor interés. Como resultado final se obtienen las características deseadas de la hoja.

Abstract

The cultivation of passionflowers in Colombia is of great importance and represents an important change in the fruit sector, and, representing the great diversity of species they present, allows us to suppose that it has great possibilities in the national and international market. The cultivation of gulupa has grown in recent years, however, there are still no studies of the nutritional requirements for the species, therefore chemical or organic synthetic fertilizers are used improperly, which can lead to plant poisoning, waste of the product, cost increase, crop loss and detrimental effects on the biological quality of the soil [1].

Currently, there is very little information on techniques or methods for the analysis of nutritional deficiency in gulupa crops. The main contribution of the project is the research, contextualization, and study of a technique or method capable of analyzing the characteristics of the plant's leaf in order to estimate the nitrogen status since it is one of the most important macro elements in the physical development of the plant. Image processing and pattern recognition techniques emerge as a possible solution to this problem.

The procedure carried out is the taking of images of the leaves of the gulupa culture using a Sequoia + multispectral camera, this is done in an invasive way, that is, quoting the leaf of the plant and then using an artificial vision system to image and extract the characteristics and information of greatest interest. As a final result, the desired characteristics of the sheet were obtained.

Índice general

Dedicatoria	1
Agradecimientos	2
Resumen	3
Abstract	4
1. Contexto	14
1.1. Introducción	14
1.2. Planteamiento del problema	16
1.3. Justificación	17
1.3.1. Beneficios tecnológicos	17
1.3.2. Beneficios institucionales	18
1.3.3. Beneficio social	18
1.4. Alcances y limitaciones	19
1.4.1. Alcances	19
1.4.2. Limitaciones	19
2. Objetivos	20
2.1. Objetivo general	20
2.2. Objetivos específicos	20
3. Marco de referencia	21
3.1. Antecedentes	21
3.2. Fundamentos Teóricos	23
3.2.1. La hoja	23
3.2.2. La gulupa	26
3.2.3. Nutrición y Suelos	27
3.2.4. Nitrógeno en cultivos	28
3.2.5. Agricultura de precisión	29

3.2.6. Imágenes Digitales	29
3.2.7. Clasificación de imágenes digitales	31
3.2.8. Espacios de color	33
3.2.9. Entorno de desarrollo	35
3.2.10. Procesamiento de imágenes	36
3.2.11. Cámara Multiespectral	40
4. Metodología	41
4.1. Materiales y métodos	41
4.1.1. Selección de Características	41
4.2. Diseño Experimental	42
4.3. Método	43
4.3.1. Adquisición de Imágenes	44
4.3.2. Preprocesado de la imagen.	46
4.3.3. Segmentación de la Imagen	49
4.3.4. Representación y descripción	57
4.3.5. Reconocimiento e interpretación	73
4.3.6. Vector de características	75
5. Plan de trabajo y Análisis de resultados	76
5.1. Análisis de resultados	77
5.1.1. Clasificación de las hojas	77
5.1.2. Procesamiento de imágenes	77
5.1.3. Vector de características	88
5.1.4. Análisis de Gráficas	100
5.1.5. Conclusiones	119
6. Presupuesto	120
Bibliografía	123
Apendice	124
Apendice 1	124
Vector de características completo	124
Gráficas vector de características	128
Apendice 2	130
Trabajo de campo	130
Apendice 3	134
Algoritmo completo	134

Índice de figuras

3.1. Partes de la hoja [11]	23
3.2. Hoja según el peciolo [12]	24
3.3. Hoja compuesta y Hoja simple [14]	24
3.4. Clasificación de la hoja según su forma. Fuente [12]	25
3.5. Clasificación de la hoja según su borde [14]	25
3.6. Clasificación de la hoja según sus nervios [13]	26
3.7. Planta de la Gulupa [3]	27
3.8. Imagen Raster [26]	30
3.9. Imagen Binaria [28]	31
3.10. Imagen a escala de grises [28]	31
3.11. Imagen RGB [28]	32
3.12. Imagen indexada [28]	32
3.13. Modelo RGB [30]	33
3.14. Modelo YIQ [30]	33
3.15. Modelo CMYK [33]	34
3.16. Modelo YCbCr [34]	34
3.17. Modelo HSI [30]	35
3.18. Imagen normal, Imagen Erosionada [42]	37
3.19. Imágen dilatada [42]	38
3.20. Imágen Apertura [42]	38
3.21. Imágen Cierre [42]	39
4.1. Finca la pradera. Fuente (Autores)	42
4.2. Planta de Gulupa. Fuente (Autores)	42
4.3. Fruto de la planta de gulupa. Fuente (Autores)	43
4.4. Flor de la Gulupa. Fuente (Autores)	43
4.5. Etapas de Procesamiento de imágenes. Fuente (Autores)	43
4.6. Cámara multispectral [46]	44
4.7. Soporte de madera vista lateral. Fuente (Autores)	44
4.8. Soporte de madera vista frontal. Fuente (Autores)	44
4.9. Cámara multispectral y Power bank en el soporte . Fuente (Autores)	45

4.10. Imagen lente rojo(Red). Fuente (Autores)	45
4.11. Imagen lente verde (Green). Fuente (Autores)	45
4.12. Imagen lente infrarrojo cercano(NIR). Fuente (Autores)	46
4.13. Imagen lente RGB (RGB). Fuente (Autores)	46
4.14. Imagen lente red edge (REG). Fuente (Autores)	46
4.15. Fondo para la toma de fotos. Fuente (Autores)	46
4.16. Imagen RGB. Fuente (Autores)	48
4.17. Imagen BGR. Fuente (Autores)	48
4.18. Imagen Umbralizada . Fuente (Autores)	49
4.19. Imágen Binaria del cuadrado . Fuente (Autores)	50
4.20. Imágen Erosionada. Fuente (Autores)	51
4.21. Imágen Apertura. Fuente (Autores)	51
4.22. Imágen Binaria de la hoja . Fuente (Autores)	52
4.23. Imagen Erosionada. Fuente (Autores)	54
4.24. Imagen Apertura. Fuente (Autores)	54
4.25. Imágen con cierre . Fuente (Autores)	54
4.26. Imágen BGR. Fuente (Autores)	55
4.27. Imágen segmentada del area afectada de la hoja. Fuente (Autores)	55
4.28. Imágen de la hoja umbralizada . Fuente (Autores)	56
4.29. Imágen de la hoja con filtro de media . Fuente (Autores)	57
4.30. Imágen del borde del cuadrado . Fuente (Autores)	59
4.31. Imágen del borde de la hoja . Fuente (Autores)	63
4.32. Borde de la hoja y del área afectada de la hoja . Fuente (Autores)	67
5.1. Hoja con deficiencia de nitrógeno. Fuente (Autores)	77
5.2. Hoja con suficiencia de nitrógeno. Fuente (Autores)	77
5.3. Imagen lente rojo(Red). Fuente (Autores)	77
5.4. Imagen lente verde (Green). Fuente (Autores)	77
5.5. Imagen lente infrarrojo cercano(NIR). Fuente (Autores)	78
5.6. Imagen lente RGB (RGB). Fuente (Autores)	78
5.7. Imagen lente red edge (REG). Fuente (Autores)	78
5.8. Fondo para la toma de fotos. Fuente (Autores)	78
5.9. Imagen RGB. Fuente (Autores)	79
5.10. Imagen BGR. Fuente (Autores)	79
5.11. Imagen Umbralizada . Fuente (Autores)	79
5.12. Imágen Binaria del cuadrado . Fuente (Autores)	80
5.13. Imágen Binaria de la hoja . Fuente (Autores)	80
5.14. Imagen apertura del cuadrado . Fuente (Autores)	81
5.15. Imagen con cierre de la hoja . Fuente (Autores)	81
5.16. Imagen segmentada del área afectada de la hoja . Fuente (Autores)	82

5.17. Imágen de la hoja segmentada del área afectada umbralizada . Fuente (Autores)	82
5.18. Imágen umbralizada del área afectada con filtro de media . Fuente (Autores)	83
5.19. Imágen del borde del cuadrado . Fuente (Autores)	83
5.20. Imágen del borde de la hoja . Fuente (Autores)	84
5.21. Vector de características ausencia de N sección píxeles	94
5.22. Vector de características ausencia de N sección centímetros	95
5.23. Vector de características ausencia de N sección medidas estadísticas . Fuente (Autores)	96
5.24. Vector de características suficiencia de N sección píxeles . Fuente (Autores)	97
5.25. Vector de características suficiencia de N sección centímetros . Fuente (Autores)	98
5.26. Vector de características suficiencia de N sección medidas estadísticas . Fuente (Autores)	99
5.27. Var G vs Med R. Fuente (Autores)	100
5.28. Ancho px vs Perímetro px. Fuente (Autores)	101
5.29. Perímetro en cm vs Área en cm. Fuente (Autores)	102
5.30. Ancho px vs Largo px. Fuente (Autores)	103
5.31. Px blancos vs Largo px. Fuente (Autores)	104
5.32. Med G vs Var B. Fuente (Autores)	105
5.33. Med B vs Var B. Fuente (Autores)	106
5.34. Des B vs Var G. Fuente (Autores)	107
5.35. Ancho en cm vs PDLHA. Fuente (Autores)	108
5.36. Área en px vs Largo en px. Fuente (Autores)	109
5.37. Perímetro Px vs Largo Px. Fuente (Autores)	110
5.38. Vector de características sección píxeles. Fuente (Autores)	111
5.39. Vector de características sección centímetros. Fuente (Autores)	112
5.40. Vector de características sección medidas estadísticas. Fuente (Autores)	113
5.41. PDLHA vs AADLH. Fuente (Autores)	114
5.42. Área en px vs Px blancos. Fuente (Autores)	115
5.43. Largo cm vs AADLH. Fuente (Autores)	115
5.44. Px blancos segmentados. vs Ancho Px.. Fuente (Autores)	116
5.45. Des B vs Med R.. Fuente (Autores)	117
5.46. Des B vs Var B.. Fuente (Autores)	118
6.1. Vector de características sección píxeles. Fuente (Autores)	128
6.2. Vector de características sección centímetros. Fuente (Autores)	129
6.3. Vector de características sección medidas estadísticas. Fuente (Autores)	130
6.4. Clasificación de las hojas. Fuente (Autores)	131

6.5. Toma de imágenes en campo. Fuente (Autores)	132
6.6. Toma de imágenes en campo. Fuente (Autores)	133
6.7. Toma de imágenes en campo. Fuente (Autores)	134
6.8. Toma de imágenes en campo. Fuente (Autores)	134

Lista de algoritmos

1. Función Main Resize y kill	47
2. Cambio espacio de color RGB a BGR, identificación de las dimensiones de la imagen y Umbralización	48
3. Segmentación del cuadrado	50
4. Transformaciones Morfológicas del cuadrado	51
5. Segmentación de la hoja	52
6. Transformaciones morfológicas de la hoja	53
7. Segmentación para identificar el área afectada de la hoja	55
8. Umbralización del área afectada de la hoja	56
9. Filtro de media	56
10. Borde del cuadrado	59
11. Borde del cuadrado	59
12. Calculo del área y perímetro en píxeles del cuadrado	60
13. Punto extremo superior e inferior del cuadrado	61
14. Punto extremo izquierdo y derecho del cuadrado	62
15. Cálculo del largo y ancho del cuadrado en píxeles	62
16. Borde de la hoja	63
17. Contorno de la hoja	63
18. Cálculo del área y perímetro de la hoja en píxeles	64
19. Puntos extremos superior e inferior de la hoja	65
20. Puntos extremos izquierdo y derecho de la hoja	66
21. Cálculo del largo y ancho de la hoja en píxeles	66
22. Borde de la hoja y del área afectada de la hoja	67
23. Declaración de variables en centímetros	68
24. Cálculo del área de la hoja en cm	68
25. Cálculo del perímetro de la hoja en cm	69
26. Cálculo del ancho de la hoja en cm	69
27. Cálculo del largo de la hoja en cm	70
28. Cálculo del área afectada de la hoja en cm	70
29. Contador de Píxeles para identificar la zona afectada de la hoja en la Figura 8	71

30. Contador de Píxeles blancos de la Figura 4.25	71
31. Porcentaje de la hoja que presenta deficiencia de nitrógeno . . .	71
32. Calculo de medidas estadísticas	72
33. Compilacion del programa desde el terminal	73
34. Resultados del programa	74
35. Código para generar las gráficas	88

Índice de tablas

5.1. Características en píxeles	85
5.2. Características en centímetros	86
5.3. Medidas estadísticas	87
5.4. Vector de características ausencia de N sección píxeles	89
5.5. Vector de características ausencia de N sección centímetros	89
5.6. Vector de características ausencia de N sección medidas estadísticas	89
5.7. Vector de características suficiencia de N sección píxeles	90
5.8. Vector de características suficiencia de N sección centímetros	90
5.9. Vector de características suficiencia de N sección medidas estadísticas	90
5.10. Tabla de datos resumida del vector de características ausencia de N sección píxeles	91
5.11. Tabla de datos resumida del vector de características suficiencia de N sección píxeles	91
5.12. Tabla de datos resumida del vector de características ausencia de N sección centímetros	92
5.13. Tabla de datos resumida del vector de características suficiencia de N sección centímetros	92
5.14. Tabla de datos resumida del vector de características ausencia de N sección medidas estadísticas	93
5.15. Tabla de datos resumida del vector de características suficiencia de N sección medidas estadísticas	93
6.1. Presupuesto	120
6.2. Vector de características sección píxeles	125
6.3. Vector de características sección centímetros	126
6.4. Vector de características sección medidas estadísticas	127

Capítulo 1

Contexto

1.1. Introducción

La gulupa es una fruta exótica perteneciente a la familia botánica *PASSIFLORA-CEAE*, gracias a su apariencia, valor nutricional, propiedades medicinales y cualidades exóticas, la gulupa es apetecida en muchos países [2]. En cuanto a el origen de la gulupa, la gulupa se encuentra principalmente en suramerica su origen es de Brasil, y en la actualidad se cultiva en cuatro continentes. A la gulupa se le ha dado usos ornamentales en parques restaurantes y jardines botánicos, hay que mencionar, además, que Colombia cuenta con 170 especies diferentes de pasifloras y es el país con mayor diversidad de estas [3].

Así mismo, para un desarrollo óptimo en el crecimiento y progreso de las plantas se debe tener claro que cada planta requiere de una nutrición mineral específica, de donde se infiere que la correcta dosificación de nutrientes es esencial para alcanzar una producción agrícola saludable [4].

En cuanto a la producción de alimentos, esta se ha visto aumentada gracias a la aplicación de abono o fertilizantes nitrogenados. El nitrógeno es el elemento principal a la hora del desarrollo y crecimiento de la planta, este es absorbido en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-) y su función principal es aportar en el crecimiento del tallo y la formación de frutos [5].

Además, 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.

En el presente trabajo se observa el funcionamiento, la metodología, y los resultados obtenidos de la implementación de un sistema capaz de facilitar la identificación del cambio de color en la hoja de gulupa conforme a la presencia o ausencia de nitrógeno mediante el procesamiento de imágenes RGB.

El siguiente aspecto hablara del origen del proyecto, el cual surge de una convocatoria interna en la Universidad de Cundinamarca con el fin de contribuir al estudio de la implementación de la agricultura de precisión en los cultivos de gulupa.

Es necesario recalcar que este proyecto se deriva de una planificación anterior llamada “Cuantificación de maleza en cultivos de hortalizas por medio de procesamiento de imágenes digitales multiespectrales”, perteneciente a los grupos de investigación GITEINCO, el cual se enfoca en el procesamiento de imágenes potencia y control y GIGAT orientado al área de la telemática, telecomunicaciones transformación de energías y diseño e instrumentación. El proyecto se realiza conjunto entre la Universidad de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Con respecto al proyecto de implementación de un sistema capaz de facilitar la identificación del cambio de color en la hoja de gulupa conforme a la presencia o ausencia de nitrógeno mediante el procesamiento de imágenes RGB, se analizan antecedentes y/o proyectos relacionados, en los cuales se hizo uso de metodologías similares a la desarrollada en esta investigación, de manera que, la puesta en práctica de este sistema se realiza en un cultivo de gulupa ubicado vía a la vereda Lázaro Fonte, en el municipio de Pasca, Cundinamarca, el cultivo presenta indicios de deficiencia nutricional además de distintas enfermedades. Por otra parte, se cree que con un correcto manejo de fertilizantes se podría mejorar la calidad del fruto además de reducir el impacto ambiental cabe destacar que durante el desarrollo del sistema y el análisis del cultivo se obtienen resultados, los cuales pueden ser comparados con el método manual o visual.

1.2. Planteamiento del problema

Productores de las zonas de Cundinamarca reportan pérdidas en el cultivo de gulupa por problemas fitosanitarios entre el 10 % y 30 % de la producción para exportación^[6]. En el año 2019, la valoración de las exportaciones de gulupa disminuyó en un -1.89 % comparado con el mismo periodo del año 2018.

Por otra parte, los productores de gulupa no cuentan con un plan de fertilización, que les permita realizar esta actividad de manera adecuada, como resultado de esto hacen uso desmedido de fertilizantes e insumos químicos nitrogenados, provocando impactos negativos al suelo, ambientales y al cultivo generando además un desequilibrio nutricional el cual conlleva enfermedades o deficiencias nutricionales, que se pueden evidenciar en el impedimento de la planta para crecer, generando un obstáculo en la producción, la calidad del fruto y en general, al desarrollo del cultivo

La identificación de estas enfermedades se realiza manualmente, ya sea visualmente o por microscopía, debido que se presenta en las hojas, como un cambio de color a amarillo. El problema con la evaluación visual es que al ser una tarea subjetiva, es propensa a fenómenos psicológicos y cognitivos que pueden conducir a sesgos, ilusiones ópticas y, en última instancia, a errores. Por otro lado, los análisis de laboratorio, como los enfoques moleculares o inmunológicos, a menudo requieren mucho tiempo y no proporcionan respuestas de manera oportuna^[7].

La implementación de un sistema capaz de brindar una alerta temprana al productor respecto al cambio de color en las hojas mediante la captura de una imagen, aportaría a la disminución de compra y aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados, solventando el problema explicado anteriormente.

1.3. Justificación

Se realizará la implementación de un sistema capaz de facilitar la identificación del cambio de color en la hoja de gulupa, con el fin de brindar una alerta temprana al agricultor en relación al uso desmedido de fertilizantes y/o abono; dado que, con el aumento de costos en el abono y la constante intranquilidad por el impacto ambiental causado por la incorrecta dosificación de fertilizantes, principalmente por el daño causado a fuentes hídricas y el suelo, ha aumentado el interés en el uso eficiente de nutrientes.^[8]

Por otro lado, los cultivos de las *passifloras* se han visto en altibajos en los últimos años debido al alto riesgo biológico al que se encuentran expuestos; cabe resaltar además que las exigencias del mercado mundial se han vuelto más estrictas con respecto al uso de agroquímicos y plaguicidas por lo que los productores deben ser más cuidadosos a la hora de la utilización de estos, buscando cumplir con los niveles de tolerancia impuestos por los entes reguladores de cada país^[9].

De manera que, cada día toma más importancia el avance y puesta en práctica de productos y procedimientos que sean sostenibles para los productores, de modo que, haciendo un uso correcto de agroinsumos se pueda cumplir con los estándares de calidad. A causa de la creciente demanda nacional e internacional de frutas tropicales en Colombia la producción frutícola se ha automatizado. Sin embargo el cultivo de gulupa no cuenta con un conocimiento técnico exacto y las herramientas tecnológicas han sido acogidas de otras *passifloras* cultivadas como la granadilla y el maracuyá^[3].

1.3.1. Beneficios tecnológicos

Se pretende realizar un sistema capaz de identificar el cambio de color en la hoja de gulupa conforme a la presencia o ausencia de nitrógeno mediante el procesamiento de imágenes RGB, esto con el fin de mejorar la producción y el uso de fertilizantes. Contribuyendo con el mejoramiento del cultivo, la calidad del fruto y la disminución del impacto ambiental, debido a que se podrá controlar y mejorar la nutrición del cultivo. Fortalece la investigación y posterior desarrollo de sistemas de control y mejoramiento para los cultivadores y el agro, beneficiando a la comunidad y cultivadores de este fruto.

1.3.2. Beneficios institucionales

El sistema será de gran utilidad, para el gremio y pequeños cultivadores de la gulupa, además de impulsar el uso de herramientas tecnológicas y así contribuir a las buenas prácticas agrícolas; logrando enaltecer la Universidad de Cundinamarca y aumentar el apoyo de los proyectos de investigación.

1.3.3. Beneficio social

Mejorar, optimizar y aumentar el proceso de crecimiento y desarrollo de cultivos, logrando una buena organización, dosificación y uso de los fertilizantes, potenciando el uso de sistemas tecnológicos orientados al agro, con el fin de reducir el impacto ambiental y los gastos generados por el desconocimiento de un correcto uso de fertilizantes. Hay que mencionar además que los gremios y pequeños cultivadores de gulupa podrían mejorar la calidad del cultivo, beneficiando así tanto a los agricultores como al comprador final de este producto.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Alcances

Con el desarrollo del sistema se pretende brindar una herramienta de análisis visual que identifique los síntomas físicos que se presentan en la hoja de la gulupa debido a un incorrecto uso de fertilizantes, el sistema puede brindar una alerta temprana al agricultor con el fin de mejorar el manejo y uso de estos insumos químicos.

1.4.2. Limitaciones

Una limitación del proyecto fue la fidelidad y veracidad de los datos por tratarse de un trabajo en campo con un cultivo en condiciones no controladas, así mismo la falta de conocimiento de los agricultores frente a una dosificación correcta de fertilizantes, debido a que no hay un estudio previo a la aplicación de estos. Habría que decir también que las condiciones para la toma de imágenes son difíciles de controlar, lo cual podría causar que se presenten características difíciles de predecir y hacer que la identificación de la deficiencia nutricional se complique. La investigación no se extenderá en mas de un cultivo, por lo cual las especificaciones del algoritmo se basa en las cualidades de solo la plantación en estudio. La información base de la investigación se fundamenta en literatura, y en la ayuda, experiencia y conocimientos de la ingeniera agrónoma Jeniffer Villalobos, profesional encargada de catalogar las hojas que presentan suficiencia o deficiencia de nitrógeno mediante la evaluación visual de color en la hoja. El diagnóstico visual está sujeto a errores de interpretación debido a que los síntomas visuales pueden ocurrir simultáneamente y también pueden confundirse con un ataque de plagas o una enfermedad.

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo general

Implementar un sistema capaz de facilitar la identificación del cambio de color en la hoja de gulupa conforme a la presencia o ausencia de nitrógeno mediante el procesamiento de imágenes RGB.

2.2. Objetivos específicos

- Clasificar las hojas por color conforme sea el estado de nitrógeno de la hoja basado en el análisis visual del profesional agrónomo de la investigación.
- Crear un algoritmo de procesamiento de imágenes capaz de distinguir y separa la hoja extraída de la plata y el cuadro de referencia, del fondo de la imagen.
- Mediante el procesamiento de imágenes RGB caracterizar y extraer propiedades de tamaño como área, perímetro, largo y ancho de la hoja, además de la zona que presenta una decoloración.

Capítulo 3

Marco de referencia

3.1. Antecedentes

Rapid diagnosis of nitrogen nutrition status in rice based on static scanning and extraction of leaf and sheath characteristics. Chen Lisu, Sun Yuanyuan, Wang Ke, 2017

El nitrógeno es uno de los minerales indispensables para el crecimiento de las plantas, pero la mayoría de los suelos del mundo tienen deficiencia de este. Por esto, se busca realizar una investigación, con el fin de realizar un diagnóstico rápido y preciso de los nutrientes para guiar la fertilización con nitrógeno. El experimento fue diseñado para estudiar el arroz bajo diferentes niveles de nutrición de nitrógeno, el experimento se llevó a cabo en un invernadero ubicado en el campus ZiJinGang de la Universidad de Zhejiang (30° 17'N, 120° 05'E) en Hangzhou, China. En particular en el crecimiento del arroz, si ocurre una deficiencia de nitrógeno, no solo la hoja de arroz sino también la vaina muestra síntomas especiales: las vainas se vuelven cortas, los tallos aparecen de color verde claro, entre otras. Para este estudio se recogieron cuatrocientas ochenta muestras de hojas y vainas de arroz bajo cuatro niveles diferentes de N, y 120 muestras de hojas y vainas de arroz con nutrición normal para construir la regla de diagnóstico y el modelo de identificación. Así mismo para la adquisición y procesamiento de imágenes, las hojas y las vainas se colocaron en un escáner (EPSON GT20000, Seiko Epson Corporation, Suwa, Nagano-ken, Japón). Con el fin de determinar las características del color de la hoja, para así identificar el estado nutricional de nitrógeno en el cultivo, se desarrolló un software, donde se usó la función de valor medio R, G, B y la función regionprops en MATLAB (MathWorks Inc., EE. UU.).

Cuando ocurrió la deficiencia de nitrógeno, la hoja de arroz parecía amarilla y tenía un área, longitud y ancho de hoja más pequeña. Con el propósito de seleccionar el conjunto de características óptimo para reducir la carga de cálculo y eliminar la información redundante se hizo uso del método de selección de características de vector de soporte (SVFS). Como resultado de la investigación, se dice que el arroz requiere menos nutrición de N en el período de crecimiento temprano, en este tiempo, la apariencia fue principalmente la diferencia del color de la hoja, la longitud, el área y el perímetro para los diferentes niveles de nutrición de N.

El estudio proporciona evidencias para un diagnóstico rápido del estado de los nutrientes del arroz, enfatizando en el N como nutriente principal de la investigación, lo que permite identificar con precisión el estado del arroz con la tecnología de escaneo. Otros cultivos, como el maíz y el trigo que sufren de deficiencia de N, generalmente también presentan algunos síntomas especiales en las hojas y la vaina, por lo que este método también podría usarse para diagnosticar el estado nutricional de N para ellos.

3.2. Fundamentos Teóricos

3.2.1. La hoja

Según [10] “La hoja es uno de los órganos más importantes y visibles de una planta, es la encargada de la fotosíntesis, además de ser la principal responsable de controlar la transpiración para evitar la pérdida excesiva de agua”. Debido a la gran diversidad de flora que existe así mismo se puede encontrar una gran variedad de hojas. . Las partes de la hoja se muestra en la Figura [3.1]



Figura 3.1: Partes de la hoja [11]

Clasificación de las hojas

Según el peciolo

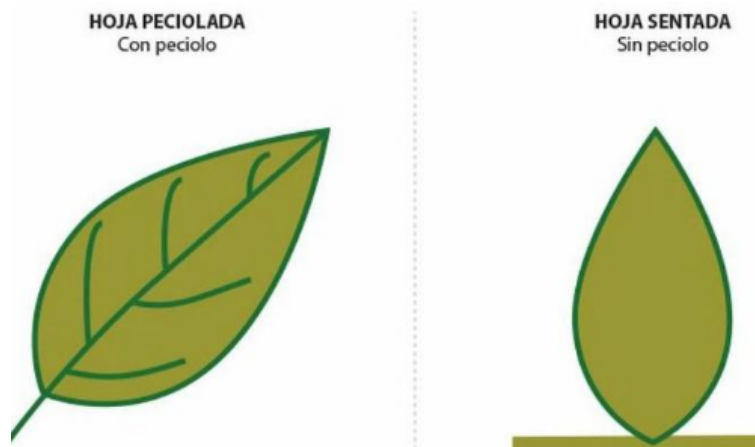


Figura 3.2: Hoja según el peciolo [12]

Según la división del limbo

Las hojas compuestas son aquellas a las que un peciolo le corresponden dos o más limbos, mientras que a una hoja simple a cada peciolo le pertenece un limbo [13]. Esta clasificación se muestra en [3.3].

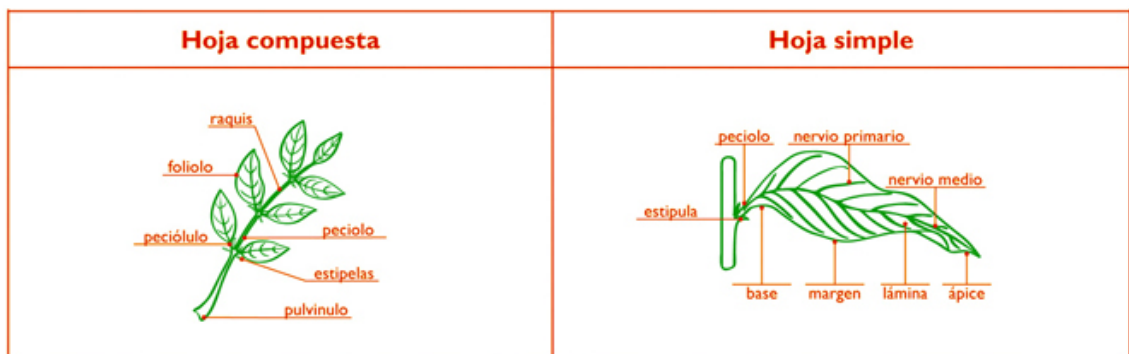


Figura 3.3: Hoja compuesta y Hoja simple [14]

Según su forma

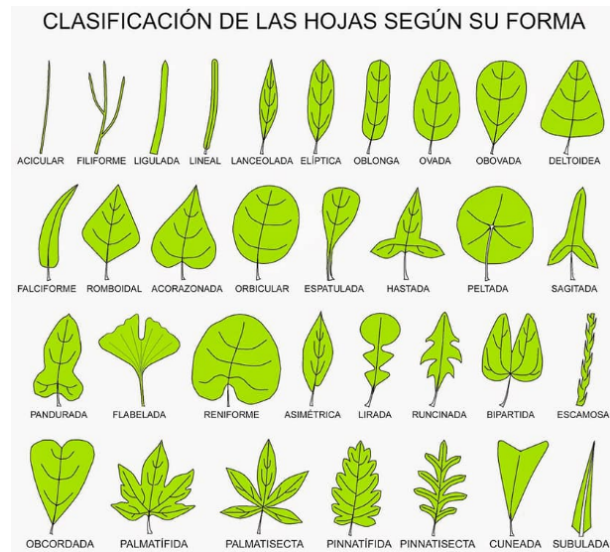


Figura 3.4: Clasificación de la hoja según su forma. Fuente [12]

Según su borde

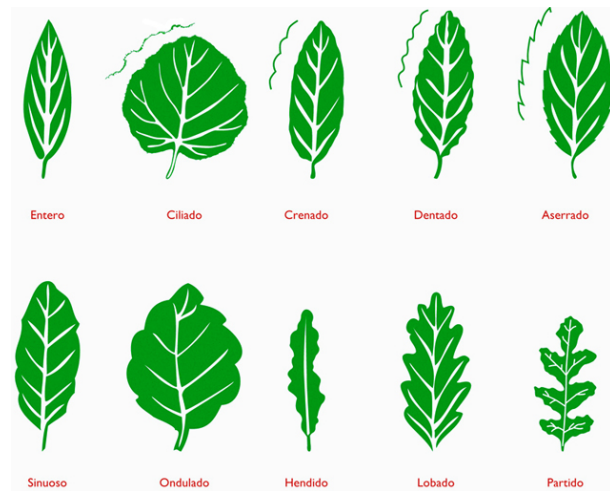


Figura 3.5: Clasificación de la hoja según su borde [14]

Según sus nervios

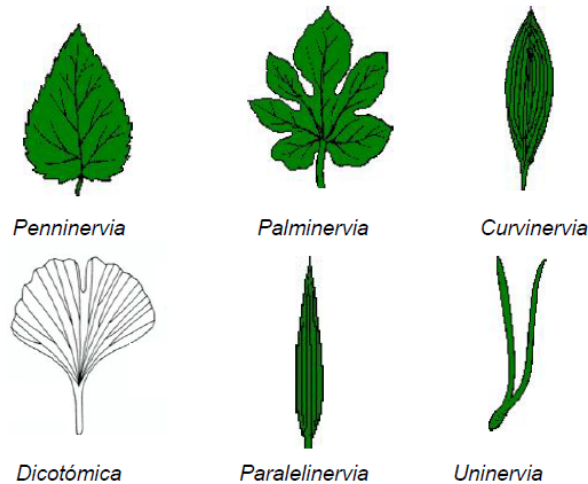


Figura 3.6: Clasificación de la hoja según sus nervios [13]

Funciones de la hoja

Las hojas cumplen funciones básicas para la planta como son la fotosíntesis, proceso donde la materia inorgánica se transforma en materia orgánica gracias a la luz solar. Además de hacer la transpiración, la cual sucede cuando las hojas pierden agua en forma de vapor a través de las estomas. Por ultimo las hojas se encargan de realizar el intercambio gaseoso donde a través de las estomas entra el oxígeno, necesario para la respiración celular, y el CO_2 que se utiliza en la fotosíntesis [13].

3.2.2. La gulupa

Desde el nivel del mar hasta los 3.800 m en las zonas de páramo repartidos a través del trópico por 4 continentes se pueden encontrar 15 géneros y cerca de 700 especies familia de las *Passifloraceae* [3].

Desde el punto de vista de venta de frutas el género *Passiflora* de la familia *Passifloraceae* es el genero mas importante, con mayor desarrollo, posibilidades ornamentales y propiedades medicinales. En particular la gulupa, es originaria del sur de Brasil, actualmente esta fruta es cultivada en cuatro continentes, África, América, Asia y Oceanía. [3].

Según [15] “En el caso de Colombia, es centro de diversidad de un grupo importante de estas especies del conjunto de pasifloras, el maracuyá (*Passiflora edulis var flavicarpa Sims*), la granadilla (*Passiflora ligularis Juss.*), la gulupa (*Passiflora edulis Sims.*) y la curuba (*Passiflora mollissima Bailey*), han adquirido importancia, con exportación de las tres primeras”. En Colombia la gulupa, se produce mayormente en Cundinamarca, también se produce en varios departamentos y es conocida con nombres como curuba redonda, cocorilla, cholupa y maracuya púrpura. En el mercado internacional, la gulupa ha obtenido un lugar preferencial por sus características físicas y organolépticas posicionando los cultivos de esta, como los de mayor viabilidad de exportación. [9].

Los aspectos físicos de la gulupa los expone [16] “El fruto es globoso u ovoide, morado y de 4 a 8 cm de diámetro. Presenta una gruesa cáscara (exocarpo) que a madurez final es de color púrpura. En el endocarpo (pulpa) hay muchas semillas de color café oscuro a negro incluidas en pequeños sacos llenos de jugo naranja-amarillo aromático”.

En Colombia la gulupa es la segunda pasiflora y la tercera fruta de exportación, por lo cual se ha convertido en un objeto de estudio en fisiología y bioquímica del fruto, con el fin de mejorar el cultivo en su cosecha y postcosecha.



Figura 3.7: Planta de la Gulupa [3]

3.2.3. Nutrición y Suelos

Preparar de una manera exacta y detallada la planificación de un cultivo es importante para el éxito en el proceso productivo y la cadena comercial con fines de exportación [17]. Es necesario disponer de información oportuna y de calidad del clima y suelos, con la finalidad de identificar las limitaciones y potencialidades edáficas que pueden limitar la capacidad productiva de los cultivos [18].

Así mismo, Los limitantes de la productividad agrícola son factores que se presentan debido al desgaste del suelo y el costo de los insumos que se suministran a los cultivos para suplementar su nutrición [4].

Se debe agregar que el balance de elementos nutricionales en las plantas se puede ver drásticamente influenciado por los fertilizantes químicos, y un uso excesivo de estos puede incrementar los desbalances nutricionales lo cual a su vez reduce la resistencia a insectos y plagas [19]. Por otro lado, de acuerdo con las investigaciones realizadas, por medio de la técnica del nutriente, en cultivos hidropónicos, existen más de 100 elementos químicos en la naturaleza, pero solamente 17 se consideran como elementos esenciales para la vida de las plantas. De los elementos esenciales, algunos no se consideran minerales debido a que son tomados por la planta, del aire y del agua, los otros nutrientes se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Dentro de los macronutrientes se encuentran el Nitrógeno (N), Fósforo (F), Potasio(K), Calcio(Ca), Magnesio(Mg), Azufre(S), por otra parte, en los micronutrientes se encuentran el Boro(B), Cloro(Cl), Cobre(Cu), Hierro(Fe), Manganeso(Mn), Molibdeno(Mo), Níquel(Ni), Zinc(Zn). El nitrógeno, el fósforo, el potasio y el agua se consideran como los principales factores limitantes del crecimiento, desarrollo y el rendimiento económico de los cultivos [4].

3.2.4. Nitrógeno en cultivos

En el manejo de los nutrientes la ubicación de los fertilizantes siempre ha sido una importante consideración. El determinar el lugar correcto puede ser tan importante como determinar la dosis correcta de aplicación. Generalmente la localización de fertilizantes se relaciona con aplicaciones superficiales o sub-superficiales ya sea antes o después de la siembra [8]. Para el desarrollo de la planta, el nitrógeno (N) es considerado de entre los diecisiete elementos esenciales como el mas importante por ser el que se encuentra en mayor proporción dependiendo de la especie de la etapa fenológica de la planta [5].

En particular, de los periodos del nitrógeno y del carbono la fijación biológica del nitrógeno es el factor clave de estos ciclos en todos los ecosistemas naturales. El principal determinante de producción de las tierras agrícolas es cuando se maneja adecuadamente la fijación biológica del nitrógeno [20].

3.2.5. Agricultura de precisión

Es un concepto agronómico de gestión de campos de cultivo basados en el análisis de la variabilidad del cultivo. Para esto se requiere del uso de tecnologías vigentes tales como son el sistema de posicionamiento global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con un sistema de información geográfica para estimar evaluar y entender dichas variaciones [21].

Además, la agricultura de precisión (AP) parte de un concepto novedoso que busca establecer estrategias para usar los insumos necesarios en la cantidad requerida, en el sitio adecuado y en el momento oportuno.

Hay que mencionar, además el manejo tradicional de la agricultura conlleva a un carente entendimiento del proceso de producción, es costoso y es la causa de impactos ambientales negativos [22]. Esta nueva tecnología tiene como objetivo mejorar la producción de la agricultura tanto en calidad como en cantidad, reducir el uso de insumos, el impacto ambiental y aumentar la rentabilidad de la agricultura, mediante la recolección de datos, el procesamiento e interpretación de la información y aplicación de insumos [23].

3.2.6. Imágenes Digitales

Imagen Digital

Una imagen es una función bidimensional $f(x,y)$, donde x e y representan las coordenadas espaciales y el valor de f en cualquier par de coordenadas (x,y) representa la intensidad de la imagen en dicho punto [24].

Las imágenes se pueden crear desde cero por medio de aplicativos de diseño o también se pueden adquirir desde un equipo de digitalización. los procesadores pueden interpretar las imágenes como mapa de bits(imagen raster) o de forma vectorial. [25].

Imágen Raster o Mapa de bits

Son imágenes formadas por píxeles, donde cada píxel de la imagen posee un valor específico y es un elemento básico de la imagen.

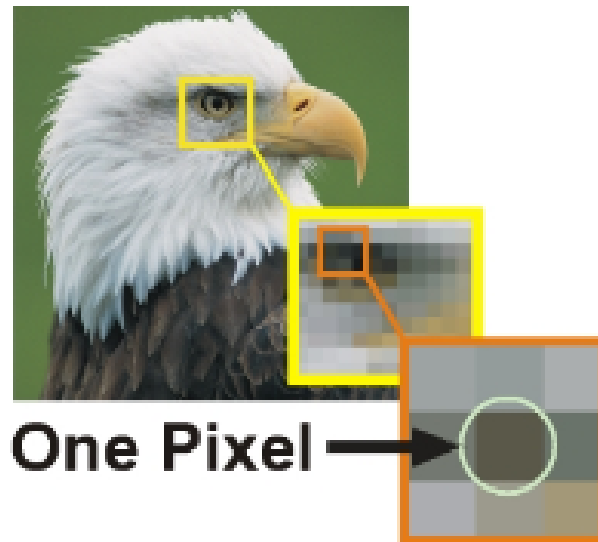


Figura 3.8: Imagen Raster [26]

Imagen Vectorial

Imagen digital formada por objetos geométricos independientes, se utilizan para la elaboración de imágenes sencillas [27].

3.2.7. Clasificación de imágenes digitales

Binarias

La binarización de una imagen consiste en un proceso de reducción de la información donde persisten dos valores para cada píxel, 1 o 0 donde 1 es blanco y 0 es negro, como se ve en la Figura 3.9, esta representación es muy útil en el caso de textos, formas y planos arquitectónicos [28].

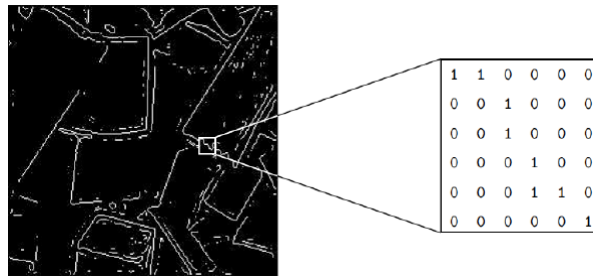


Figura 3.9: Imagen Binaria [28]

Escala de grises

Una imagen a escala de gris es aquella donde el valor de cada píxel representa la luminancia en una escala que se extiende entre blanco y negro, normalmente los valores de los píxeles van de 0 a 255, donde 0 es negro y 255 blanco como se ve en la Figura 3.10 [28].

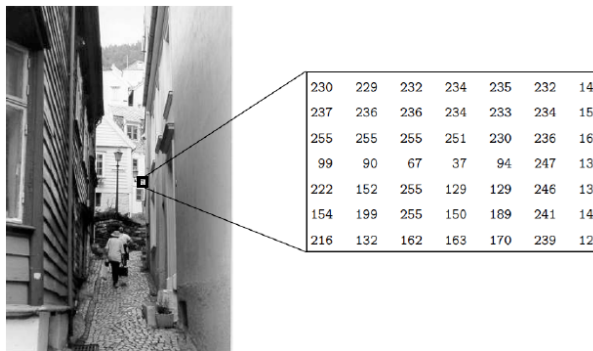


Figura 3.10: Imagen a escala de grises [28]

Color verdadero o RGB

En este tipo de imágenes cada píxel tiene un valor diferente debido a que tienen un color único, este color está descrito por una proporción de rojo (Red), una proporción de verde (Green) y una proporción de azul (Blue), cada uno de estos componentes tiene un rango de 0 a 255 como se ve en la Figura 4.13, esto da un total de $255^3 = 16,777,216$ diferentes colores posibles dentro de una imagen [28].

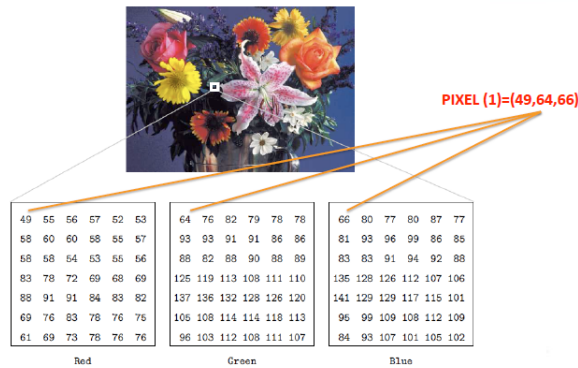


Figura 3.11: Imagen RGB [28]

Imágenes Indexadas

En este tipo de imágenes cada píxel tiene un valor que no corresponde al color directamente como en las RGB, sino que corresponde al índice del color dentro del mapa de colores [28].



Figura 3.12: Imagen indexada [28]

3.2.8. Espacios de color

El color se puede especificar como la mezcla de tres colores básicos el rojo el verde y el azul. El color es una gran herramienta a la hora de simplificar la identificación y extracción de elementos de una escena. [29]. El color es una gran herramienta a la hora de simplificar la identificación y extracción de elementos de una escena. Para el procesamiento de imágenes los espacios de color mas utilizados son el RGB, YIQ, CMYK, YCbCr y HSI. Normalmente las características para identificar un color de otro son el brillo el tono y la saturación [30].

Espacio de Color RGB

En el modelo RGB cada color aparece en sus componentes espectrales primarias rojo, verde y azul. cartesianas [30].

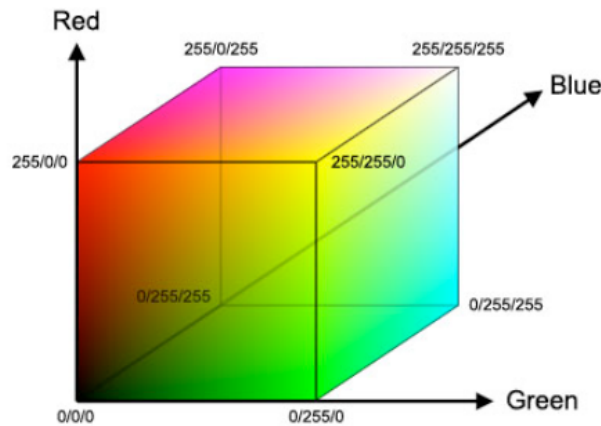


Figura 3.13: Modelo RGB [30]

Espacio de color YIQ

El modelo YIQ define un espacio de color, usado por el estándar de televisión NTSC (National Television System Committee), el elemento Y representa la información de luminancia, I y Q representan la información de crominancia [31].



Figura 3.14: Modelo YIQ [30]

Espacio de Color CMYK

Es un modelo de resta de color, sus colores son el cian (C), magenta (M) amarillo (Y) y negro (K). [32].

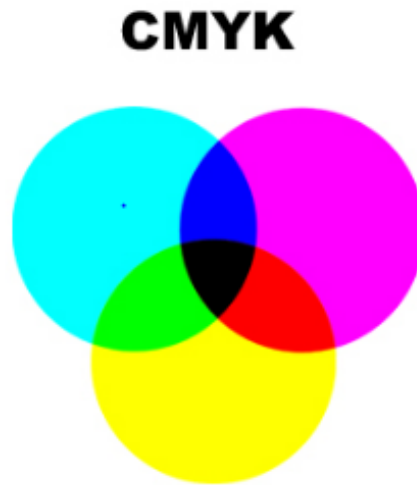


Figura 3.15: Modelo CMYK [33]

Espacio de Color YCbCr

Se trata de una codificación no lineal del espacio RGB. El parámetro Y indica la luminancia, los parámetros Cb y Cr indican el tono del color: Cb ubica el color en una escala entre el azul y el amarillo, Cr indica la ubicación del color entre el rojo y el verde [30].

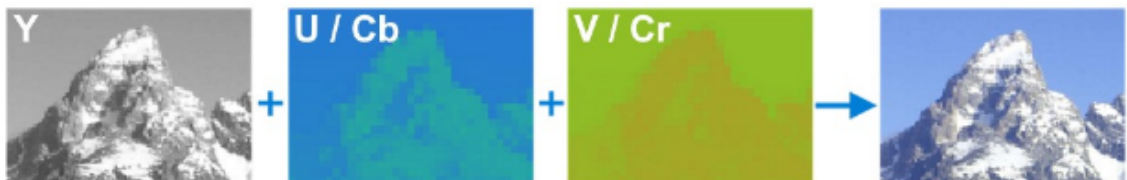


Figura 3.16: Modelo YCbCr [34]

Espacio de Color HSI

En el espacio de color HSI los colores se distinguen unos de otros por su tono (HUE/tonalidad), intensidad (Intensity/Intensidad), y saturación (Saturation/Saturación) [30].

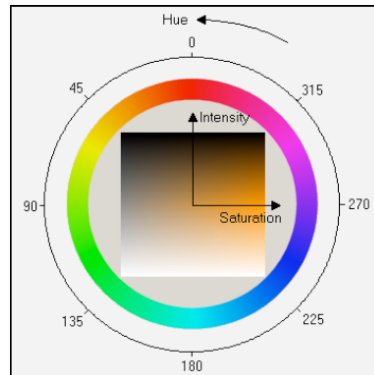


Figura 3.17: Modelo HSI [30]

3.2.9. Entorno de desarrollo

Python

Python es un lenguaje de programación creado por Guido van Rossum principios de los años 90 cuyo nombre está inspirado en el grupo de cómicos ingleses “Monty Python” [35]. Dentro de los lenguajes informáticos, Python, puede ser clasificado como un lenguaje interpretado, de alto nivel, multiplataforma, de tipado dinámico y multiparadigma [36].

The Open Computer Vision Library (OpenCV)

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) es una biblioteca de software de visión de computadora y de aprendizaje automático de código abierto. Fue construido para varios propósitos, tales como aprendizaje automático, visión artificial, algoritmo, operaciones matemáticas, captura de video, procesamiento de imágenes, etc [37].

La biblioteca OpenCV está dirigida fundamentalmente a la visión por computador en tiempo real. Entre sus muchas áreas de aplicación destacarían: interacción hombre-máquina; segmentación y reconocimiento de objetos; reconocimiento de gestos; seguimiento del movimiento; estructura del movimiento; y robots móviles [38].

Editor de texto Kate

Kate es un potente editor de texto que puede abrir varios archivos al mismo tiempo. Con un terminal incorporado, resaltado de sintaxis, y la barra lateral con pestañas, que funciona como un entorno de desarrollo ligero pero capaz. Kate posee muchas herramientas, plugins y scripts hacen que sea altamente personalizable. Las características de Kate incluyen Múltiples guardado de sesiones, cada una con numerosos archivos, resaltado de sintaxis de guion, la sangría, y el código de plegado plantillas configurables y fragmentos de texto, Símbolo espectadores para C, C ++ y Python Finalización XML y validación[39].

3.2.10. Procesamiento de imágenes

El procesamiento digital de imágenes es una técnica que agrupa distintas disciplinas tales como son la electrónica, matemáticas, fotografía entre otras, también es un método que posibilita mejorar la calidad o facilitar la obtención de información mediante la toma de imágenes. Este sistema en la actualidad tiene un gran campo de acción, debido a su facilidad de acople a distintos entornos de trabajo como son, las ciencias médicas, las ciencias naturales y las aplicaciones tecnológicas.

Adquisición de imágenes

Las imágenes se generan por una combinación de una fuente de “iluminación” y la reflexión o absorción de energía de esta fuente por parte de los elementos de la escena. Cabe mencionar además que existen diferentes medios para la obtención de una imagen digital, los más comunes son: los scanners de cama plana y las cámaras digitales. [40].

Preprocesado de la imagen

Consiste en el grupo de técnicas que buscan mejorar la apariencia visual de una imagen a una forma más adecuada para el observador humano o análisis artificial [40], además de resaltar determinadas características de la imagen y eliminar las que no sean útiles.

Segmentación de la imagen

Proceso mediante el cual la imagen es dividida en varias partes, las cuales son un grupo de píxeles u objetos de interés, el objetivo de la segmentación es facilitar y/o convertir la representación de la imagen en otra más significativa y más sencilla de analizar[41]. Los algoritmos de segmentación se basan en una de estas dos propiedades básicas de los valores del nivel de gris: discontinuidad o similitud entre los niveles de gris de píxeles vecinos[41].

Discontinuidad. Se divide la imagen basándose en cambios bruscos de nivel de gris:

- Localización de puntos aislados
- Localización de líneas
- Detección de bordes

Similitud. La imagen se divide basándose en la búsqueda de zonas que tengan valores similares, conforme a criterios prefijados.

- Crecimiento de región
- Umbralización

Operaciones Morfológicas

Las transformaciones morfológicas son operaciones simples fundamentadas en la forma de la imagen, que normalmente se aplican a imágenes binarias. [42].

Erosión Similar a la convolución 2D, en el proceso de erosionado un kernel se desliza a través de la imagen. Sólo se considerará 1 si todos los píxeles que caen dentro de la ventana del kernel son 1, de lo contrario se erosiona (se hace a cero). [42].

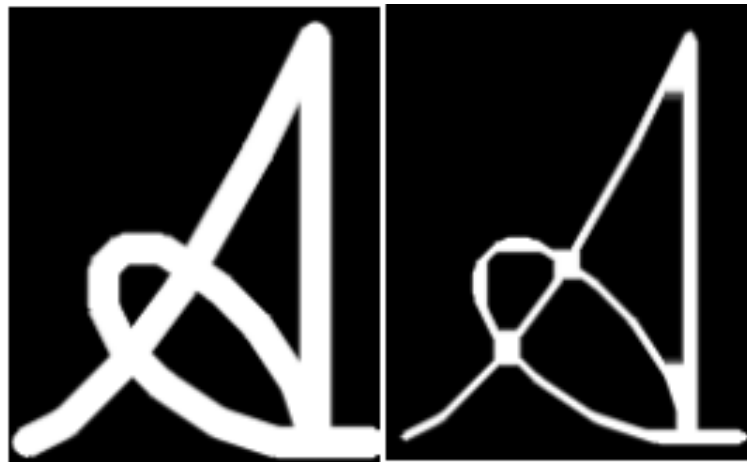


Figura 3.18: Imagen normal, Imagen Erosionada [42]

Dilatación Al aplicar esta operación sobre una imagen se obtiene el efecto de expandir o ampliar la región de la imagen que se esté trabajando [43].

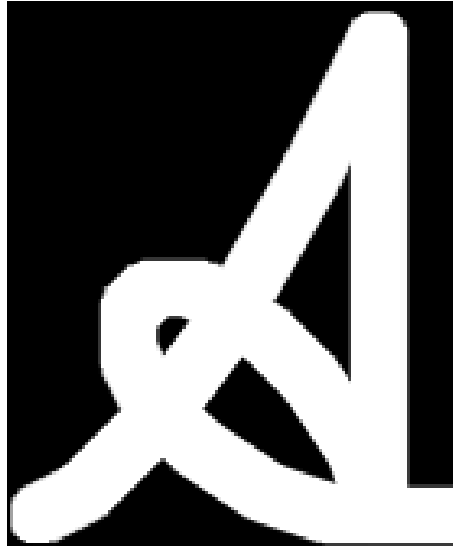


Figura 3.19: Imágen dilatada [42]

Apertura (Open) La apertura es simplemente otro nombre para erosión seguida de dilatación, es útil para eliminar el ruido.



Figura 3.20: Imágen Apertura [42]

Cierre (Close) El Cierre funciona de manera opuesta a Apertura, es decir, dilatación seguida de erosión. Es útil para cerrar pequeños espacios dentro de los objetos de primer plano, o pequeños puntos negros en el objeto [42].



Figura 3.21: Imágen Cierre [42]

Representación y descripción

A la salida del proceso de segmentación se debe tomar la decisión de si los datos se han de representar como un contorno que es las características de la forma externa de la imagen o como una región que es adecuada cuando el interés se centra en propiedades internas como la textura o estructura de un objeto [40].

También se detallan y obtienen características de las zonas de interés como son el tamaño, el área, perímetro, entre otras particularidades, convenientes para diferenciar un objeto de otro.

Reconocimiento e interpretación

El reconocimiento es el proceso que asigna una etiqueta a un objeto basándose en la información proporcionada por sus descriptores. La interpretación implica asignar significado a un conjunto de objetos reconocidos [40].

3.2.11. Cámara Multiespectral

Una cámara multiespectral permite la adquisición de la imagen haciendo uso de diferentes frecuencias de onda. Las imágenes no se limitan al espectro de luz visible el cual es el observado por el ojo humano, sino que además ofrece la opción de graduarse para obtener distintas imágenes según el tipo de onda a lo largo del espectro electromagnético.

Este tipo de cámaras pueden trabajar en diversos espectros, tanto visibles como infrarrojos, y, aunque pueden variar según el fabricante, suelen estar divididas en VIS, que detecta la luz visible (380-800 nm), VNIR, que detecta la luz visible y la más cercana al espectro infrarrojo (400–1.000 nm), NIR que es capaz de detectar luz cercana a las ondas infrarrojas (900–1.700 nm), el SWIR detecta luz infrarroja de onda corta (1.000–2.500 nm), por otro lado, el MWIR, Detecta luz infrarroja de onda media ($3\text{--}5\ \mu\text{m}$) y LWIR el cual, Detecta la luz infrarroja de onda larga ($8\text{--}12.4\ \mu\text{m}$).

Parrot Sequoia+

El sensor multiespectral Sequoia captura imágenes tanto del espectro visible como del no visible, proporcionando datos calibrados para analizar óptimamente la salud y vigor de las cosechas. Captura imágenes de cultivos a través de cuatro bandas espectrales claramente definidas, visibles y no visibles, además de imágenes RGB. Sequoia capta diferentes longitudes de onda, Verde, Roja, Red-Edge (Borde rojo) y Nir (Infrarrojo cercano) para destacar la salud de las plantas [44](#).

Capítulo 4

Metodología

4.1. Materiales y métodos

4.1.1. Selección de Características

El método planteado para este proyecto se deriva de un estudio realizado para analizar el arroz bajo diferentes niveles de nutrición de nitrógeno, el cual se puede identificar en función de las diferencias de color y forma de la hoja y la vaina, para ello se utilizaron la función de valor medio R, G, B y la función regionprops en MATLAB (MathWorks Inc., EE. UU.) Para determinar las características del color de la hoja (LeafRed, LeafGreen, LeafBlue) y las características de la forma (longitud (LL), ancho (LW), área (LA), perímetro (LP)) y características de color de la vaina (LeafSheatRed, LeafSheatGreen, LeafSheatBlue) y longitud (LeafSheatLenght), que se utilizaron para identificar el estado nutricional de N, además el método de selección de características de vector de soporte (SVFS) se utilizó para seleccionar el conjunto de características óptimo para reducir la carga de cálculo y eliminar la información redundante. Este método aprovecha al máximo la principal ventaja de SVM (la generalización de una pequeña muestra de entrenamiento). Además, este método puede mejorar la eficiencia operativa y garantizar un proceso de detección rápido y estable [\[45\]](#).

Es así, que para este proyecto se decide diseñar un algoritmo capaz de identificar distintas características de color y forma de la hoja. El objetivo de estas características es observar el tipo de reacción que produce una ausencia o exceso de nitrógeno, a lo largo del desarrollo y mantenimiento del cultivo. Dicho lo anterior, las características que se estudiarán respecto a la forma serán el largo, ancho, el área y el perímetro, hay que mencionar además el estudio de los distintos espacios de color donde se pueda observar de una manera más eficiente los cambios de color de la hoja.

4.2. Diseño Experimental

El campo de prueba de esta investigación se ubica en la vereda Lázaro Fonte, finca la Pradera de 12 fanegadas, en el municipio de Pasca Cundinamarca. La finca está a una altitud media de 2310 m.s.n.m, cuenta con una plantación de 1250 plantas de gulupa en una hectárea, la distancia entre plantas es de 4 *m* y entre surcos 2 *m*.



Figura 4.1: Finca la pradera. Fuente (Autores)



Figura 4.2: Planta de Gulupa. Fuente (Autores)



Figura 4.3: Fruto de la planta de gulupa.
Fuente (Autores)



Figura 4.4: Flor de la Gulupa.
Fuente (Autores)

Se realizaron visitas periódicas a la finca y se dividió la toma de fotos en dos partes, una para las hojas que presentaran deficiencia de nitrógeno y otra para aquellas hojas con características nutricionales óptimas.

La finca presenta distintas enfermedades y plagas tales como la mancha de aceite, roña y nematodos, además se evidencian diferentes clases de plagas como son babosas, gusano cogollero, trips, mosca del ovario entre otras. Hay que mencionar, además manifiesta síntomas de deficiencia nutricional, lo que hace al cultivo un entorno óptimo para realizar el proyecto, debido a que no hay una dosificación ya establecida para una correcta aplicación de los abonos y fertilizantes.

4.3. Método

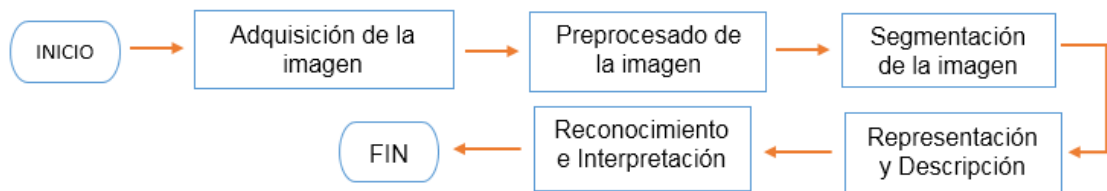


Figura 4.5: Etapas de Procesamiento de imágenes. Fuente (Autores)

4.3.1. Adquisición de Imágenes

El procedimiento para la adquisición de imágenes se realiza mediante una cámara, equipada con un sensor multispectral Parrot Sequoia+ como se ve en la Figura 4.6, la cual cuenta con un conjunto de lentes que permiten observar la imagen capturada en diferentes espacios de color, los cuales son el rojo(Red) Figura 4.10, verde(Green) Figura 4.11, infrarrojo cercano Figura 4.12 (NIR/REG) , RGB (imagen a color) Figura 4.13 y borde rojo o Red Edge (REG) Figura 4.14.

Se debe agregar que la cámara cuenta con distintas resoluciones, RGB posee 16 Mpx y 12 Mpx, el resto de los lentes tienen una resolución de 1,2 Mpx. Para el funcionamiento de la cámara se requiere una batería que posea mínimo una capacidad de carga de 2.4 Amperios.



Figura 4.6: Cámara multispectral 46

Hay que mencionar, además, que se utilizó una estructura hecha en madera Figura 4.7 y Figura 4.8, para soportar la cámara y la batería como se evidencia en la Figura 4.9, y así mismo facilitar la toma de la imagen.



Figura 4.7: Soporte de madera vista lateral. Fuente (Autores)



Figura 4.8: Soporte de madera vista frontal. Fuente (Autores)



Figura 4.9: Cámara multispectral y Power bank en el soporte . Fuente (Autores)

En lo que sigue se explicará la toma de las imágenes en campo, para empezar, se realiza la recolección de hojas en el cultivo de gulupa, donde posteriormente se realizó una identificación y marcación de las plantas. Luego las hojas son colocadas una por una, sobre una base de madera Figura 4.15 que servirá como fondo de la imagen. Esta base fue anteriormente pintada de un color rosa fluorescente, con el fin de diferenciar fácilmente los colores observados en la imagen.

Hay que mencionar, además se coloca el recorte de un cuadrado color morado en la base, con el fin de usarlo como punto de referencia para la predicción de distintas magnitudes. Como resultado de la toma se obtiene la imagen desde los 5 diferentes lentes de la cámara, nombrados anteriormente



Figura 4.10: Imagen lente rojo(Red). Fuente (Autores)



Figura 4.11: Imagen lente verde (Green). Fuente (Autores)



Figura 4.12: Imagen lente infrarrojo cercano (NIR). Fuente (Autores)



Figura 4.13: Imagen lente RGB (RGB). Fuente (Autores)



Figura 4.14: Imagen lente red edge (REG). Fuente (Autores)



Figura 4.15: Fondo para la toma de fotos. Fuente (Autores)

4.3.2. Preprocesado de la imagen.

La primera función *def main* es el punto de inicio o ejecución del programa. *sys.argv* es un vector de argumentos. Estos argumentos son llamados desde el bloque principal de ejecución en el script como *sys.argv[1]*.

Este vector permite cargar la imagen desde la terminal de Linux luego de haber escrito Python seguido del nombre con el que se guardó el script y la imagen, por ejemplo, *python script.py imagen1*, el vector obtiene la imagen y la carga al bloque de ejecución principal *def main*.

En este proyecto se trabaja con la imagen en RGB como se evidencia en la Figura [4.13](#), como su resolución es muy alta (16 Mpx) se realiza un ajuste de esta, mediante la función `cv2.resize` contenida en la función principal `def main`.

La función `kill` incluida en la función principal `def main`, recibe la imagen redimensionada para luego iniciar el desarrollo de preprocesado, segmentación, reconocimiento y representación de la imagen.

```
1 def main (argv):
2 #Cargar Imagen
3 iimagen=cv2.imread(sys.argv[1])
4 width, height = 1080, 720
5 iimagen=cv2.resize(iimagen,(width,height),
6 interpolation=cv2.INTER_LINEAR)
7 kill(iimagen)
8 #####
9 #####
10 main(sys.argv[1])
11 #####
12 #####
13 cv2.waitKey(0)
14 cv2.destroyAllWindows()
```

Algoritmo 1: Función Main Resize y kill

En cuanto a la técnica llevada a cabo para mejorar la apariencia visual de la imagen con el fin de facilitar la identificación de la hoja y el cuadrado en el análisis artificial, primero se realiza una conversión de la imagen RGB a BGR con la función `cv2.cvtColor` como se ve en la Figura [4.17](#). Después se realiza la umbralización de la imagen BGR, esto mediante la función `cv2.threshold` como se muestra en la Figura [4.18](#), dado que de esta manera se facilita la identificación de los objetos de interés en este caso la hoja y el cuadrado.

Con respecto a las dimensiones de la imagen o matriz, se hace uso de la función `shape` aplicada a la imagen BGR, los valores entregados por la función se almacenan en las variables `fil` `col` y `ch` donde `fil` guarda la cantidad de filas de la matriz, `col` las columnas y `ch` la cantidad de componentes o canales de la imagen. Siempre que se quiera generar una nueva imagen, esta debe tener las mismas dimensiones de la imagen original en cuanto a **filas y columnas**.

A continuación, se muestran las líneas de código que realizan los procesos mencionados anteriormente.

```
1 cv2.imshow('imargb',imagen)
2 imabgr=cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_RGB2BGR)
3 cv2.imshow('imabgr', imabgr)
4 # Propiedades de la imagen
5 fil , col, ch= imabgr.shape
6 _,mascara=cv2.threshold(imabgr,170,255,cv2.THRESH_BINARY)
7 cv2.imshow('mascara',mascara)
```

Algoritmo 2: Cambio espacio de color RGB a BGR, identificación de las dimensiones de la imagen y Umbralización

En la umbralización los valores utilizados en este caso se obtuvieron mediante el análisis de la imagen con la herramienta de **threshold** del programa GIMP, un software de edición de imágenes digitales. El primer parámetro ingresado en la función *cv2.threshold* es la imagen BGR, el segundo parámetro es el umbral con el que se comparan los valores de cada píxel de la imagen recibida y el tercero es el valor máximo que se da a los píxeles si el valor de estos supera al umbral.



Figura 4.16: Imagen RGB. Fuente (Autores)



Figura 4.17: Imagen BGR. Fuente (Autores)

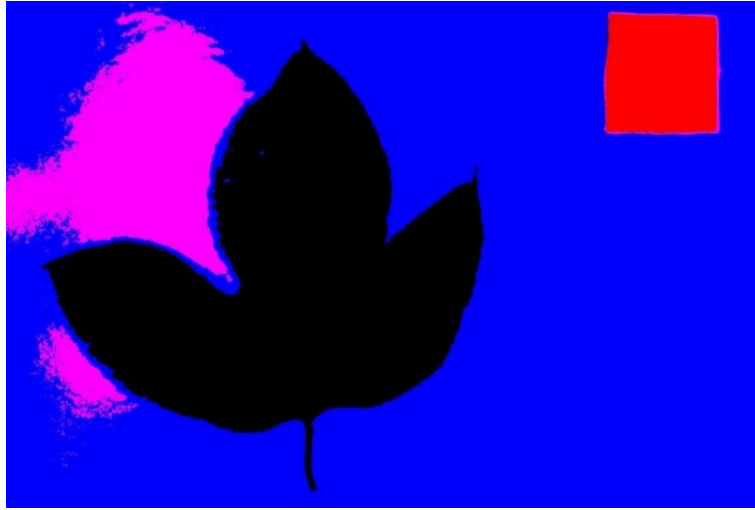


Figura 4.18: Imagen Umbralizada . Fuente (Autores)

4.3.3. Segmentación de la Imagen

Esta etapa se encuentra dividida en tres procesos de segmentación con objetivos diferentes. Dos procesos son aplicados a la hoja y uno al cuadrado.

Las operaciones morfológicas se aplican sobre la imagen segmentada con el fin de mejorar la calidad de la ilustración eliminando el ruido o información innecesaria. Dado que hay procedimientos similares con respecto a las operaciones morfológicas, las cuales se basan en la identificación y modificación en la forma de la imagen se procede a explicar este método en el siguiente párrafo.

Las transformaciones morfológicas usadas en este algoritmo son la erosión (erode), la cual se encarga de adelgazar el área de la imagen binarizada (segmentada); apertura (open) se ocupa de eliminar píxeles blancos fuera de lo segmentado en la imagen resultante de la erosión; cierre (close) cuya principal función es suprimir los puntos negros dentro de la imagen obtenida luego de aplicar la apertura. Las líneas de código e imágenes respectivas de cada caso serán evidenciadas en el desarrollo de su correspondiente proceso.

Segmentación del Cuadrado

El proceso de segmentación se realiza sobre la imagen resultante de la umbralización, Figura 4.18; el objetivo de la segmentación es generar una nueva imagen binaria únicamente del cuadrado. Esta ilustración se produce mediante las siguientes líneas de código.

```
1 imasegcua=np.ones([fil,col],np.uint8)
2 for i in range(fil):
3     for j in range (col):
4         if mascara[i ,j ,0]==0 and mascara[i ,j,1]==0 and mascara[i ,j
5             ,2]>=253:
6             imasegcua[i,j]=255;
7         else:
8             imasegcua[i,j]=0;
cv2.imshow('imasegcua',imasegcua)
```

Algoritmo 3: Segmentación del cuadrado

Debido a que la imagen umbralizada entrega la forma del cuadrado en un color rojo se realiza un **bucle for** que recorra cada componente de la imagen umbralizada, y donde el valor del píxel en la componente cero y uno sea igual a cero y en la componente dos mayor o igual a 253 lo convierta en 255 si esto no se cumple entonces que lo cambie a 0, donde 255 es blanco y 0 negro.

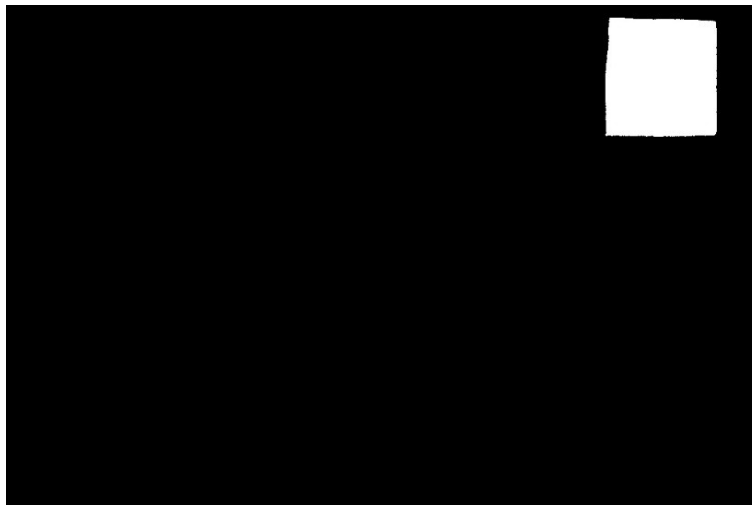


Figura 4.19: Imágen Binaria del cuadrado . Fuente (Autores)

Transformaciones Morfológicas A continuación, se muestran las líneas de código que realizan las transformaciones morfológicas de erosión y apertura explicadas anteriormente y mostradas en la Figura 4.20 y la Figura 4.21 respectivamente.

```
1 #EROSIÓN cuadrado
2 kernelcua = np.ones((7,7),np.uint8)
3 erosioncua = cv2.erode(imasegcua,kernelcua,iterations = 1)
4 #OPENING cuadrado
5 openingcua = cv2.morphologyEx(erosioncua, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
6 cv2.imshow('openingcua',openingcua)
```

Algoritmo 4: Transformaciones Morfológicas del cudrado

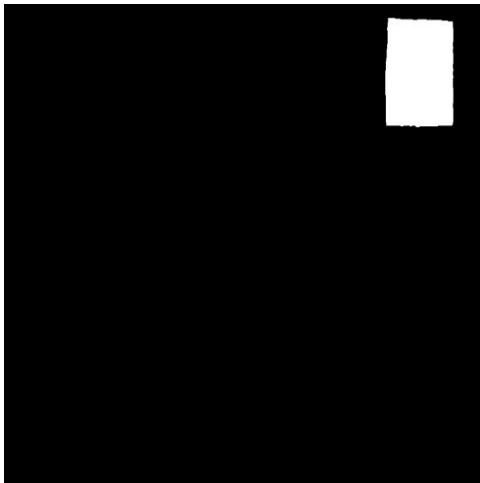


Figura 4.20: Imágen Erosionada. Fuente (Autores)

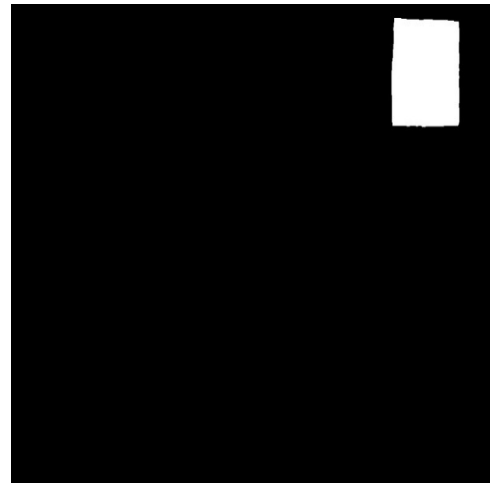


Figura 4.21: Imágen Apertura. Fuente (Autores)

Segmentación de la hoja

El proceso se realiza sobre la imagen resultante de la umbralización Figura 4.18, la segmentación genera una imagen binaria de la hoja como se evidencia en la Figura 4.22. Esta ilustración se produce mediante las siguientes líneas de código.

```
1 #Segmentación solo de la hoja
2 imasegho=np.ones([fil,col],np.uint8)
3 for i in range(fil):
4     for j in range (col):
5         if mascara[i ,j,0]==0 and mascara[i ,j,1]==0 and mascara[i ,j,2]==0:
6             imasegho[i,j]=255;
7         else:
8             imasegho[i,j]=0;
9 cv2.imshow('imasegho',imasego)
```

Algoritmo 5: Segmentación de la hoja

Debido a que la imagen umbralizada Figura 4.18 entrega la forma de la hoja en un color negro se realiza un **ciclo for** 5 que recorra cada componente de esta y donde el valor del píxel sea igual a cero lo convierta en 255 si esto no se cumple entonces que lo cambie a 0, donde 255 es blanco y 0 negro

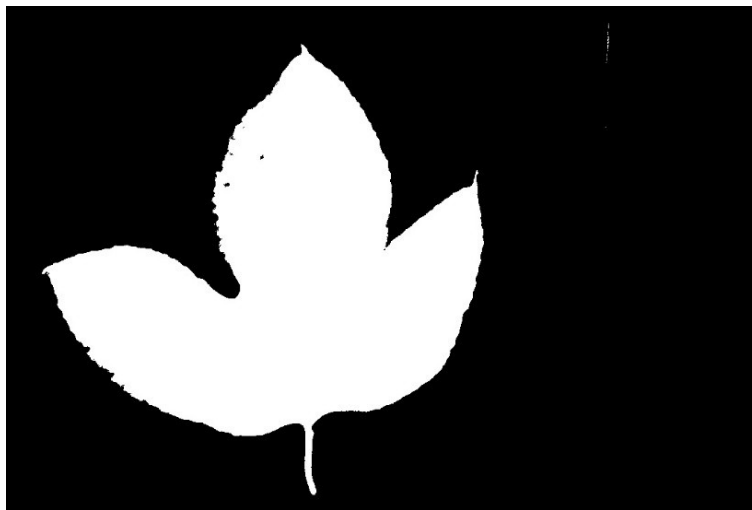


Figura 4.22: Imágen Binaria de la hoja . Fuente (Autores)

Como se evidencia en la Figura 4.22, la imagen contiene ruido por esto se deben aplicar las transformaciones morfológicas.

Transformaciones Morfológicas A continuación, se muestran las líneas de código que realizan las transformaciones morfológicas de erosión apertura y cierre con sus respectivas imágenes.

```
1 #EROSIÓN hoja
2 kernel = np.ones((3,3),np.uint8)
3 erosionho = cv2.erode(imasegho,kernel,iterations = 1)
4 cv2.imshow('erosionho',erosionho)
5 #####
6 #OPENING hoja quita puntos blancos fuera de lo segmentado
7 openingho = cv2.morphologyEx(erosionho, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
8 cv2.imshow('openingho',openingho)
9 #Closing hoja quita puntos negros dentro de lo segmentado
10 kernelclos= np.ones((3,3),np.uint8)
11 kernelcloss= np.ones((7,7),np.uint8)
12 closingho = cv2.morphologyEx(openingho, cv2.MORPH_CLOSE, kernelclos)
13 closingho = cv2.morphologyEx(openingho, cv2.MORPH_CLOSE,kernelcloss)
14 cv2.imshow('closingho',closingho)
```

Algoritmo 6: Transformaciones morfológicas de la hoja

Kernel es utilizado como un filtro para hallar un promedio, utiliza una máscara o ventana con la cual recorre la imagen; los píxeles que se encuentren dentro de esta ventana se suman y se dividen entre el valor de la ventana; en este caso al ser una ventana de 3x3, los píxeles que se encuentren dentro de la máscara se sumarán y dividirán entre 9.

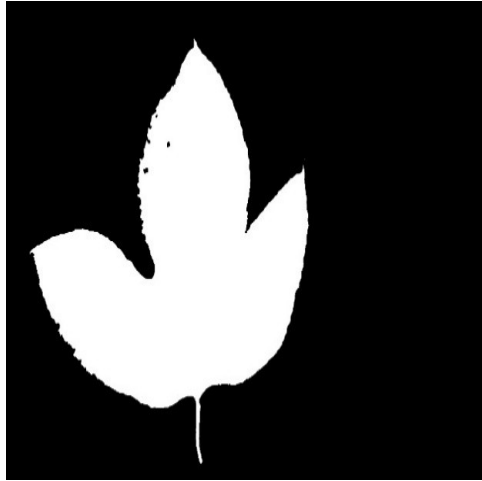


Figura 4.23: Imagen Erosionada. Fuente (Autores)

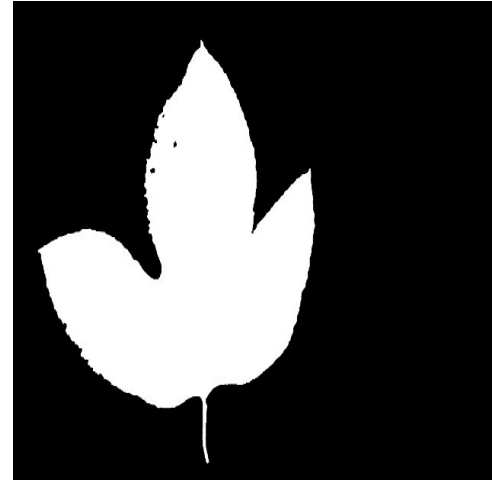


Figura 4.24: Imagen Apertura. Fuente (Autores)



Figura 4.25: Imágen con cierre . Fuente (Autores)

Segmentación de la hoja para identificar el cambio de color causado por la ausencia de nitrógeno

En esta etapa se realiza la segmentación sobre la imagen en BGR Figura [4.17](#), donde se evalúa la componente azul (0) y roja (2) de esta y se genera una imagen binaria Figura [4.27](#), esta ilustración evidencia las zonas que presentan decoloración en la hoja. Dicho lo anterior se procede a exponer las líneas de código y la imagen resultante de este proceso.

```

1 imaseg=np.ones([fil,col],np.uint8)
2 for i in range(fil):
3     for j in range (col):
4         if imabgr[i,j,0]>=90 and imabgr[i,j,0]<=190 and imabgr[i,j,2]>=30
           and imabgr[i,j,2]<=80 : #90,190  ima[i,j]>=85 and r[i,j]<=190
5             imaseg[i,j]=255
6         else:
7             imaseg[i,j]=0;
8 cv2.imshow('imaseg',imaseg)

```

Algoritmo 7: Segmentación para identificar el área afectada de la hoja

Los valores con los cuales se hace la comparación de los píxeles por componente, se evidenciaron y obtuvieron mediante el software GIMP herramienta editora de imágenes digitales. En este **ciclo for** 7 se recorre la imagen y se evalúa el valor del píxel, donde si este valor es mayor o igual (\geq) a 90 y menor o igual a (\leq) 190 en la componente azul(0) y además mayor a ($>$)30 en la componente roja (2) asigne al valor del píxel 255 o si esto no se cumple entonces que lo cambie 0, donde 255 es blanco y 0 es negro.



Figura 4.26: Imagen BGR. Fuente (Autores)

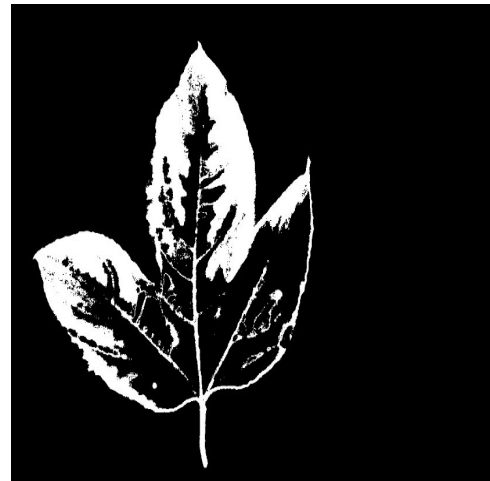


Figura 4.27: Imagen segmentada del area afectada de la hoja. Fuente (Autores)

Luego de obtener la imagen binaria Figura 4.27 se aplica el método de umbralización Figura 4.28 con el fin de resaltar y diferenciar más fácilmente los píxeles. La línea del código que genera la imagen se muestra continuación.

```
1 mask=cv2.threshold(imaseg,120,240,cv2.THRESH_BINARY)
2 cv2.imshow('mask',mask)
```

Algoritmo 8: Umbralización del área afectada de la hoja



Figura 4.28: Imágen de la hoja umbralizada . Fuente (Autores)

Después de aplicada la umbralización se continua con el proceso de filtrado esto se realiza con el filtro de media Figura [4.29](#), el cual reemplaza un píxel por la media de valores de la vecindad, además elimina las diferencias y por tanto el ruido.

```
1 median=cv2.medianBlur(mask,3)
2 cv2.imshow('median',median)
```

Algoritmo 9: Filtro de media

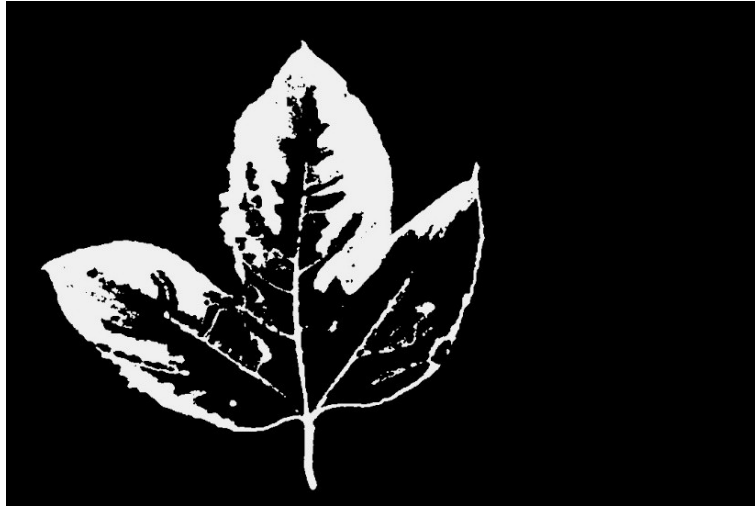


Figura 4.29: Imágen de la hoja con filtro de media . Fuente (Autores)

4.3.4. Representación y descripción

En esta fase se realiza la identificación de magnitudes como lo son el área, el perímetro, el largo y ancho tanto de la hoja como del cuadrado. El cuadrado como se dijo anteriormente es la referencia en centímetros utilizado con el fin de hallar los valores de la hoja en esta misma unidad. Para esto primero se deben encontrar los valores de estas particularidades en píxeles, luego por medio de una regla de tres se estima el resultado en la unidad de medida deseada. Por otro lado, cabe resaltar que el cálculo de estas propiedades se realiza con las imágenes anteriormente segmentadas.

Algunas de las etapas llevadas a cabo para lograr la obtención de estas características son repetitivas por lo cual se explicarán a continuación:

Selección de borde Por medio de la función *cv2.Canny* se logra detectar el borde de la imagen u objeto que se desea separar o aislar del fondo, para esto la imagen debe haber sido anteriormente segmentada y mejorada debido a que esta función es muy susceptible al ruido.

La función recibe como primer parámetro la imagen, el segundo y tercer parámetro que recibe son un umbral mínimo y máximo de luminancia utilizados para condicionar la detección de bordes.

Búsqueda de Contornos La función *FindCountours* se realiza con el fin de localizar los distintos contornos y formas dentro de la imagen obtenida en Canny. *Find-Countours* realiza la unión de puntos contiguos o que tengan el mismo color o intensidad, en la imagen recibida de Canny. Cabe resaltar que esta función en caso de que

la imagen presente ruido y canny detecte más de un borde FindContours guardará cada contorno individualmente en una matriz de coordenadas (x,y) de puntos límites del objeto.

Características del Cuadrado

El cuadrado cuenta con un área de 25 cm^2 , lo que quiere decir que cada uno de sus lados mide 5 cm y tiene un perímetro de 20 cm . En cambio, los valores de estas magnitudes en píxeles son totalmente desconocidos. Para el cálculo de estas características se aplican las etapas nombradas anteriormente.

Selección del borde del cuadrado Mediante la función *cv2.Canny* se dibuja el borde del cuadrado como se muestra en la Figura 4.30, utilizando como base la imagen segmentada y mejorada morfológicamente Figura 4.21.

La función se evidencia a continuación.

```
1 #Selección borde del cuadrado
2 cannycua = cv2.Canny(openingcua, 50, 150,)
3 cv2.imshow('cannycua',cannycua)
```

Algoritmo 10: Borde del cuadrado

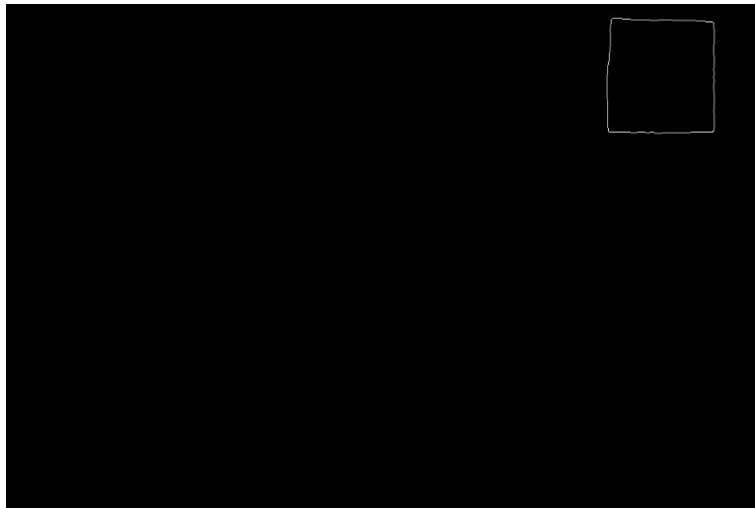


Figura 4.30: Imágen del borde del cuadrado . Fuente (Autores)

Busqueda de contornos del cuadrado Contornos se encarga de la búsqueda de formas en la imagen resultante de canny, Figura 4.30.

```
1 #Encontrar Contornos cuadrado
2 (contourscua,_) = cv2.findContours(cannycua.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL,
3 cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
4 #####
5 #número de formas
6 print'numero de formas: {0:.2f}'.format(len(contourscua))
```

Algoritmo 11: Borde del cuadrado

Características Morfológicas del cuadrado Proceso mediante el cual se identifican los valores en píxeles del área, perímetro, largo y ancho del cuadrado.

```
1 areacua = []
2 perimetercua = []
3 #
4 #Dibujar Contornos
5 for cntcua in contourscua:
6     perimetercua.append(cv2.arcLength(cntcua, True))
7     perimaxcua = max(perimetercua)
8     areacua.append(cv2.contourArea(cntcua))
9     areamaxiacua = max(areacua)
10    areacua=round(areamaxiacua)
11    perimetercua=round(perimaxcua)
12    ####
13    ####
14    print 'el area del cuadro en pixeles es: {0:.2f}'.format(areacua)
15    print 'el perimetro del cuadro en pixeles es: {0:.2f}'.format(
        perimetercua)
```

Algoritmo 12: Calculo del área y perímetro en píxeles del cuadrado

cntcua se encarga de recorrer cada una de las posiciones de la matriz bidimensional generada por contourscua, considerando que en la Figura [4.30](#) se encuentren más de dos contornos o formas cntcua agrupa los valores semejantes con el fin separar individualmente cada una de las formas detectadas. Luego se procede a utilizar la función de detección de área y perímetro para generar el valor de estas propiedades en píxeles.

Estos datos son almacenados según se van encontrando los contornos, en las listas areacua y perimetercua creadas antes del **ciclo for**; después se ubica el máximo valor dentro de estas listas y se imprime, puesto que el máximo valor será la manera de identificar la forma de interés, en este caso el cuadrado.

A continuación se hallaran los puntos extremos superior e inferior de la imagen mediante la búsqueda del primer pixel blanco de la imagen en la parte superior como en la inferior, este proceso se repite para la búsqueda de los puntos extremos laterales. Esto se realiza con el fin de hallar por medio de la ecuación de la distancia entre dos puntos ($\sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$) el largo y ancho del cuadrado en píxeles

```

1 #superior
2 i = 0
3 j = 0
4 superiorcua = []
5 romper = 0
6 for i in range(fil):
7     for j in range (col):
8         if openingcua[i ,j]==255:
9             superiorcua=[i,j]
10            romper = 1
11            break
12        if romper==1:
13            break
14 #print'la posicion superior es :', superiorcua
15 #####
16 #inferior
17 i = fil
18 j = col
19 romper = 0
20 inferiorcua = []
21 for i in range(fil-1,0,-1):
22     for j in range (col-1,0,-1):
23         if openingcua[i,j]==255:
24             inferiorcua = [i,j]
25             romper = 1
26             break
27         if romper==1:
28             break
29 #print'la posicion inferior es :', inferiorcua

```

Algoritmo 13: Punto extremo superior e inferior del cuadrado

```

1 #izquierda
2 romper = 0
3 izquierdocua = []
4 for j in range(col):
5     for i in range (fil):
6         if openingcua[i,j]==255:
7             izquierdocua = [i,j]
8             romper = 1
9             break
10    if romper==1:
11        break
12 #print 'la posicion izquierda es :', izquierdocua
13 #####
14 #derecho
15 i = fil
16 j = col
17 romper = 0
18 derechocua = []
19 for j in range(col-1,0,-1):
20     for i in range (fil-1,0,-1):
21         if openingcua[i,j]==255:
22             derechocua = [i,j]
23             romper = 1
24             break
25     if romper==1:
26         break
27 #print 'la posicion derecha es :', derechocua

```

Algoritmo 14: Punto extremo izquierdo y derecho del cuadrado

```

1 #####
2 #Largo del cuadrado en pixeles
3 largocua=sqrt(((superiorcua[0]-inferiorcua[0])**2)+((superiorcua[1]-
4     inferiorcua[1])**2))
5 largocua=round(largocua)
6 print 'el largo del cuadrado en pixeles es:', largocua
7 #####
8 # Ancho del cuadrado en pixeles
9 anchocua=sqrt(((derechocua[0]-izquierdocua[0])**2)+((derechocua[1]-
10     izquierdocua[1])**2))
11 anchocua=round(anchocua)
12 print 'el ancho del cuadrado en pixeles es: ', anchocua

```

Algoritmo 15: Cálculo del largo y ancho del cuadrado en píxeles

Características de la hoja

Selección del borde de la hoja A continuación, se aplica la función *canny* a la Figura 4.25 lo que da como resultado lo evidenciado en la Figura 4.31.

```
1 cannyho = cv2.Canny(closingho, 100, 150,)  
2 cv2.imshow('cannyho', cannyho)
```

Algoritmo 16: Borde de la hoja

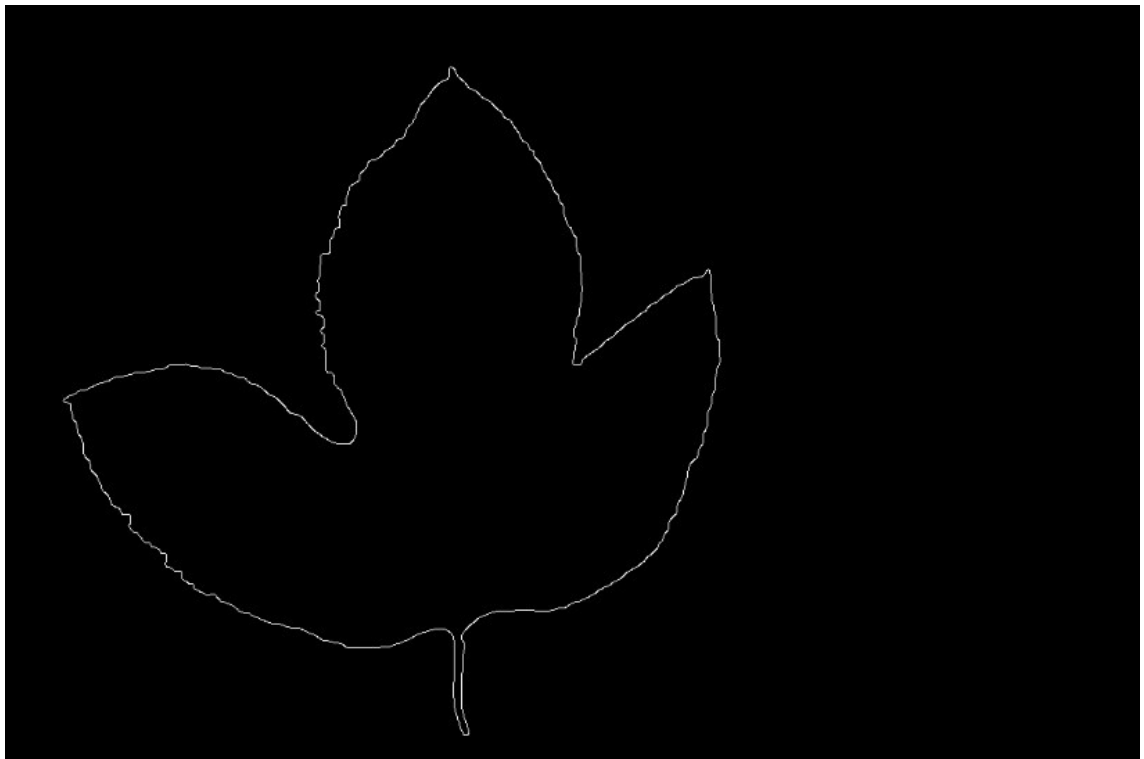


Figura 4.31: Imágen del borde de la hoja . Fuente (Autores)

Búsqueda de contornos de la hoja *Findcontours* como se explicó anteriormente realiza la búsqueda de contornos y formas, encontrados en la Figura 4.31

```
1 (contoursho, _) = cv2.findContours(cannyho.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL,  
    cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)  
2 #número de formas  
3 print'numero de formas: {0:.2f}'.format(len(contoursho))
```

Algoritmo 17: Contorno de la hoja

Características Morfológicas de la hoja Este proceso es totalmente similar al explicado y llevado a cabo anteriormente en la sección del cuadrado [12](#), lo único que cambia es la variable de ingreso en el bucle **for** junto a las dos listas nuevas `areaho` y `perimeterho`.

Para los puntos extremos de la imagen se lleva a cabo el mismo procedimiento utilizado en [13](#) y [14](#).

```
1 areaho = []
2 perimeterho = []
3 #####
4 for cntho in contoursho:
5     perimeterho.append(cv2.arcLength(cntho, True))
6     perimetromaxi = max(perimeterho)
7     areaho.append(cv2.contourArea(cntho))
8     areamaxima = max(areaho)
9 areareal=round(areamaxima)
10 perimeterreal=round(perimetromaxi)
11 print 'el area de la hoja en pixeles es: {0:.2f}'.format(areareal)
12 print 'el perimetro de la hoja en pixeles es: {0:.2f}'.format(
    perimeterreal)
```

Algoritmo 18: Cálculo del área y perímetro de la hoja en píxeles

```

1 #superior
2 i = 0
3 j = 0
4 superiorho = []
5 romper = 0
6 for i in range(fil):
7     for j in range (col):
8         if closingho[i ,j]==255:
9             superiorho=[i,j]
10            romper = 1
11            break
12        if romper==1:
13            break
14 #print'la posicion superior es :', superiorho
15 #####
16 #inferior
17 i = fil
18 j = col
19 romper = 0
20 inferiorho = []
21 for i in range(fil-1,0,-1):
22     for j in range (col-1,0,-1):
23         if closingho[i,j]==255:
24             inferiorho = [i,j]
25             romper = 1
26             break
27         if romper==1:
28             break
29 #print'la posicion inferior es :', inferiorho

```

Algoritmo 19: Puntos extremos superior e inferior de la hoja

```

1 #izquierda
2 romper = 0
3 izquierdoho = []
4 for j in range(col):
5     for i in range(fil):
6         if closingho[i,j]==255:
7             izquierdoho = [i,j]
8             romper = 1
9             break
10        if romper==1:
11            break
12 #print 'la posicion izquierda es :', izquierdoho
13 #####
14 #derecho
15 i = fil
16 j = col
17 romper = 0
18 derechoho = []
19 for j in range(col-1,0,-1):
20     for i in range(fil-1,0,-1):
21         if closingho[i,j]==255:
22             derechoho = [i,j]
23             romper = 1
24             break
25        if romper==1:
26            break
27 #print 'la posicion derecha es :', derechoho

```

Algoritmo 20: Puntos extremos izquierdo y derecho de la hoja

```

1 #largo de la hoja
2 largoho=sqrt(((inferiorho[0]-superiorho[0])**2)+((inferiorho[1]-
   superiorho[1])**2))
3 largoho=round(largoho)
4 print 'el largo de la hoja en pixeles es: ', largoho
5 #####
6 # Ancho de la hoja en pixeles
7 anchoho=sqrt(((izquierdoho[0]-derechoho[0])**2)+((izquierdoho[1]-
   derechoho[1])**2))
8 anchoho=round(anchoho)
9 print 'el ancho de la hoja en pixeles es: ', anchoho

```

Algoritmo 21: Cálculo del largo y ancho de la hoja en píxeles

Selección del borde de la hoja y área afectada

En esta etapa se ingresa la Figura 4.29, a la cual se le aplica la función *canny*, esta vez se halla el borde exterior e interior de la hoja como se ve en la Figura 4.32. En esta imagen el borde interior de la hoja se asume según lo dicho por el profesional (Ingeniera agrónoma Jennifer Villalobos) es el área que presenta la decoloración o afectación causada por la deficiencia de Nitrógeno y es representada por el color blanco en la Figura 4.29. Cabe resaltar que para esta imagen no es necesario usar la función *FindContours*, debido a que en este caso se halla únicamente el área perímetro y porcentaje de la zona afectada de la hoja, por medio de un conteo de píxeles blancos que se encuentren en la Figura 4.29, el método matemático llevado a cabo para esto será explicado más adelante.

```
1 cannyseg = cv2.Canny(median, 50, 150,)  
2 cv2.imshow("cannyseg", cannyseg)
```

Algoritmo 22: Borde de la hoja y del área afectada de la hoja



Figura 4.32: Borde de la hoja y del área afectada de la hoja . Fuente (Autores)

Conversión de Píxeles a Centímetros

Explicación del proceso matemático para la conversión.

Declaración de variables en centímetros Esto se puede hacer gracias a que se conocen las medidas del cuadrado tomado como referencia, estas medidas fueron explicadas anteriormente en “características del cuadrado”

```
1 #Área del cuadrado en cm
2 areacuadrado= 25
3 print 'el área del cuadrado en centímetros cuadrados es:',
   areacuadrado
4 ####
5 #Perímetro del cuadrado en cm
6 perimetrocuadrado= 20
7 print 'el perímetro del cuadrado en centímetros es:',
   perimetrocuadrado
8 ####
9 #ancho del cuadrado
10 anchocuadrado=5
11 print 'el ancho del cuadrado en cm es:', anchocuadrado
12 ####
13 #largo del cuadrado
14 largocuadrado=5
15 print 'el largo del cuadrado en cm es:', largocuadrado
```

Algoritmo 23: Declaración de variables en centímetros

Cálculo de características Área

```
1 #Cálculo del área de la hoja en cm
2 centimetrosho=areareal*areacuadrado
3 centimetrosho=round(centimetrosho/areacua)
4 print 'el área de la hoja en centímetros cuadrados es: {0:.0f}'.format
   (centimetrosho)
```

Algoritmo 24: Cálculo del área de la hoja en cm

Donde:

- areareal es el área de la hoja en píxeles calculado en [18](#)
- areacuadrado es el área del cuadrado en cm declarado en [23](#)

- areacua es el área del cuadrado en píxeles calculado en [12](#).
- centimetrosho es el área de la hoja en cm^2 . Resultado de [24](#)

Perímetro

```

1 #Cálculo del perímetro de la hoja cm
2 perimetroho=perimeterreal*perimetrocuadrado
3 perimetroho= round(perimetroho/perimetercua)
4 print 'el perímetro de la hoja en centímetros es: {0:.2f}'.format(
    perimetroho)

```

Algoritmo 25: Cálculo del perímetro de la hoja en cm

Donde:

- perimeterreal es el perímetro de la hoja en píxeles calculado en [18](#).
- perimetrocuadrado es el perímetro del cuadrado en cm declarado en [23](#).
- perimetercua es el perímetro del cuadrado en píxeles calculado en [12](#).
- perimetroho es el perímetro de la hoja en cm. Resultado de la operación [25](#).

Ancho de la hoja

```

1 #Ancho de la hoja en cm
2 ancmho=anchoho*anchocuadrado
3 ancmho=round(ancmho/anchocua)
4 print 'el ancho de la hoja en cm es:', ancmho

```

Algoritmo 26: Cálculo del ancho de la hoja en cm

Donde:

- anchoho es el ancho de la hoja en píxeles calculado en [21](#)
- anchocuadrado es el ancho del cuadrado en cm declarado en [23](#)
- anchocua es el ancho del cuadrado en píxeles calculado en [15](#)
- ancmho es el ancho de la hoja en cm. Resultado de la operación [26](#)

Largo de la hoja

```
1 #largo de la hoja en cm
2 lacmho=largoho*largocuadrado
3 lacmho=round(lacmho/largocua)
4 print 'el largo de la hoja en cm es:', lacmho
```

Algoritmo 27: Cálculo del largo de la hoja en cm

Donde:

- largoho es el largo de la hoja en píxeles calculado en [21](#)
- largocuadrado es el largo del cuadrado en cm declarado en [23](#)
- largocua es el largo del cuadrado en píxeles calculado en [15](#)
- lacmho es el largo de la hoja en cm. Resultado de la operación [27](#)

Área afectada de la hoja

```
1 #Área afectada de la hoja
2 areaafectada=(blancoshoseg*centimentroscho)
3 areaafectada=round(areainfectada/blancosho)
4 print 'El área afectada de la hoja en cm cuadrados es: {0:.0f}'.format
   (areainfectada)
```

Algoritmo 28: Cálculo del área afectada de la hoja en cm

Donde:

- blancoshoseg es un contador de píxeles blancos [29](#) empleado en la Figura [4.28](#) debido a que estos píxeles son los que identifican la zona de decoloración en la hoja.
- centimentroscho es el área de la hoja en cm calculada en [24](#).
- blancosho es un contador de píxeles blancos [30](#) empleado en la Figura [4.25](#), los píxeles blancos de esta figura son los que conforman únicamente la hoja.
- areaafectada es el área de la hoja que presenta la decoloración causada por una deficiencia de nitrógeno. Es el resultado de [28](#).

```

1 blancoshoseg=0;
2 for i in range(fil):
3     for j in range (col):
4         if imaseg[i,j]==255:
5             blancoshoseg=blancoshoseg+1;
6 print'la cantidad de píxeles blancos de la hoja seg son:' +
        str(int(blancoshoseg))

```

Algoritmo 29: Contador de Píxeles para identificar la zona afectada de la hoja en la Figura 8

```

1 blancosho=0;
2 for i in range(fil):
3     for j in range (col):
4         if closingho[i ,j]==255:
5             blancosho=blancosho+1;
6 print'la cantidad de píxeles blancos de la hoja son:' + str(int(
        blancosho))

```

Algoritmo 30: Contador de Píxeles blancos de la Figura 4.25

Porcentaje de la hoja que presenta deficiencia de nitrógeno

```

1 # Porcentaje de área afectada en la hoja
2 porcentaje=areaafectada*100
3 porcentaje=round(porcentaje/centimetrosho)
4 print 'El porcentaje de la hoja que presenta deficiencia de N es el :
        {0:.0f}'.format(porcentaje)

```

Algoritmo 31: Porcentaje de la hoja que presenta deficiencia de nitrógeno

Donde:

- areaafectada es el área en cm de la hoja que presenta deficiencia de N, calculada en 31.
- centimetrosho es el área de la hoja en cm calculada en 24
- porcentaje es el porcentaje de la hoja que se encuentra con deficiencia de nitrógeno resultado de 31

Calculo de medidas estadísticas

```
1 r,g,b = cv2.split(imagen)
2 #####
3 #Calculo de la media de cada componente
4 meanr=np.mean(r)
5 meang=np.mean(g)
6 meanb=np.mean(b)
7 print 'el valor la media aritmética de R es: {0:.2f}'.format(meanr)
8 print 'el valor la media aritmética de G es: {0:.2f}'.format(meang)
9 print 'el valor la media aritmética de B es: {0:.2f}'.format(meanb)
10 #####
11 #Calculo de la varianza de cada componente
12 varianzar=np.var(r)
13 varianzag=np.var(g)
14 varianzab=np.var(b)
15 print 'el valor de la varianza de R es: {0:.2f}'.format(varianzar)
16 print 'el valor de la varianza de G es: {0:.2f}'.format(varianzag)
17 print 'el valor de la varianza de B es: {0:.2f}'.format(varianzab)
18 #####
19 #Calculo de la desviacion estandar
20 desvestr=np.std(r)
21 desvestg=np.std(g)
22 desvestb=np.std(b)
23 print 'el valor de la desviacion estandar de R es: {0:.2f}'.format(
    desvestr)
24 print 'el valor de la desviacion estandar de G es: {0:.2f}'.format(
    desvestg)
25 print 'el valor de la desviacion estandar de B es: {0:.2f}'.format(
    desvestb)
```

Algoritmo 32: Calculo de medidas estadísticas

Donde:

- r,g,b son las componentes de la imagen ingresada a algoritmo
- mean hace referencia a la media aritmética calculada para cada una de las componentes de la imagen, al igual que varianza y desvest.

4.3.5. Reconocimiento e interpretación

Etapa final del método donde mediante el análisis de datos se considera si la hoja tratada presenta deficiencia de nitrógeno o de lo contrario posee un estado óptimo de este. En lo que sigue se mostrará el funcionamiento del programa y la manera de compilarlo. El programa se ejecuta desde la ubicación donde esta guardado el script, la forma de compilar el script se muestra a continuación:

```
1 trujillo@trujillo-300V3A-300V4A-300V5A-200A4B-200A5B ~/Documents/  
  proyectogulupa/fotos_gulupa $ python funciones.py 1.JPG
```

Algoritmo 33: Compilacion del programa desde el terminal

En este caso el script se llama *funciones.py* se encuentra guardado en *fotos gulupa*, que a su vez se encuentra ubicado en *proyectogulupa*, esta carpeta esta almacenada en *Documents*.

La manera de compilar el programa es *python funciones.py 1.JPG*, como se explicaba en [1](#), el vector de argumentos permite invocar la imagen directamente desde la terminal para luego almacenarla y cargarla al def main.

Al compilar el programa y si este no tiene ningún error el resultado será el siguiente para la imagen **1.JPG**

```
1 trujillo@trujillo-300V3A-300V4A-300V5A-200A4B-200A5B ~/Documents/  
   proyectogulupa/fotos_gulupa $ python funciones.py 1.JPG  
2 el valor de la media aritmética de R es: 117.20  
3 el valor de la media aritmética de G es: 68.27  
4 el valor de la media aritmética de B es: 212.56  
5 el valor de la varianza de R es: 2080.67  
6 el valor de la varianza de G es: 1248.47  
7 el valor de la varianza de B es: 4528.04  
8 el valor de la desviacion estandar de R es: 45.61  
9 el valor de la desviacion estandar de G es: 35.33  
10 el valor de la desviacion estandar de B es: 67.29  
11 la cantidad de pixeles blancos de la hoja son:180790  
12 el area de la hoja en pixeles es: 180867.00  
13 el perimetro de la hoja en pixeles es: 2569.00  
14 el largo de la hoja en pixeles es: 635.0  
15 el ancho de la hoja en pixeles es: 625.0  
16 la cantidad de pixeles blancos de la hoja seg son:85467  
17 el area del cuadro en pixeles es: 24088.00  
18 el perimetro del cuadro en pixeles es: 627.00  
19 el largo del cuadrado en pixeles es: 177.0  
20 el ancho del cuadrado en pixeles es: 170.0  
21 el area de la hoja en centimetros cuadrados es: 188  
22 el perimetro de la hoja en centimetros es: 82.00  
23 el ancho de la hoja en cm es: 18.0  
24 el largo de la hoja en cm es: 18.0  
25 El area afectada de la hoja en cm cuadrados es: 89  
26 El porcentaje de la hoja que presenta deficiencia de N es el : 47
```

Algoritmo 34: Resultados del programa

4.3.6. Vector de características

Los datos obtenidos en [34](#) son usados para crear un vector de características, conformado por las particularidades en píxeles, centímetros y medidas estadísticas de las hojas con ausencia y suficiencia de nitrógeno.

Como se ha dicho anteriormente el criterio utilizado para determinar si la hoja posee o no deficiencia de nitrógeno es mediante el análisis visual de la ingeniera agrónoma vinculada al proyecto.

En las tablas y gráficas se encontrarán acrónimos los cuales serán explicados a continuación

PERI Px. = Perímetro en píxeles.

ANCH CM = Ancho de la hoja en centímetros.

MED = Media aritmetica de cada componente (RGB) de la imagen.

VAR = Varianza de cada componente (RGB) de la imagen.

PDLHA = Porcentaje de la hoja afectada.

AADLH = Área afectada de la hoja.

Capítulo 5

Plan de trabajo y Análisis de resultados

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 color en la hoja.	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 color de la hoja 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 estadísticos, para determinar la precisión del sistema en cuanto a la estimación de nitrógeno usando imágenes multiespectrales mediante la evaluación del color en la hoja	1 mes y una semana
Realización de los informes finales del proyecto.	1 mes y 3 semanas

5.1. Análisis de resultados

5.1.1. Clasificación de las hojas

Primera etapa del proyecto, donde el profesional se encargó de la evaluación visual minuciosa de cada planta del cultivo, obteniendo un total de 40 muestras de hojas, donde 20 de estas presentan una despigmentación debido a una ausencia de nitrógeno y las otras 20 una suficiencia de este nutriente. Los criterios que se tuvieron en cuenta para esta clasificación fueron la coloración de verde claro en hojas viejas, clorosis generalizada en hojas viejas o inferiores y plantas enanas o con poco desarrollo.



Figura 5.1: Hoja con deficiencia de nitrógeno. Fuente (Autores)



Figura 5.2: Hoja con suficiencia de nitrógeno. Fuente (Autores)

5.1.2. Procesamiento de imágenes

La adquisición de la imagen se realizó de una manera invasiva retirando la hoja de la planta y apoyándola sobre un fondo, Figura [5.8](#), para luego realizar la toma de la foto con la cámara Parrot Sequoia, obteniendo como resultado las imágenes [5.3](#) [5.4](#) [5.5](#) [5.6](#) y [5.7](#).



Figura 5.3: Imagen lente rojo (Red). Fuente (Autores)



Figura 5.4: Imagen lente verde (Green). Fuente (Autores)



Figura 5.5: Imagen lente infrarrojo cercano(NIR). Fuente (Autores)



Figura 5.6: Imagen lente RGB (RGB). Fuente (Autores)



Figura 5.7: Imagen lente red edge (REG). Fuente (Autores)



Figura 5.8: Fondo para la toma de fotos. Fuente (Autores)

Como resultado del pre-procesamiento de la foto se obtiene la imagen en BGR Figura [5.10](#), luego el proceso de umbralización es aplicado directamente sobre esta nueva imagen, como se aprecia en la Figura [5.11](#).



Figura 5.9: Imagen RGB. Fuente (Autores)



Figura 5.10: Imagen BGR. Fuente (Autores)

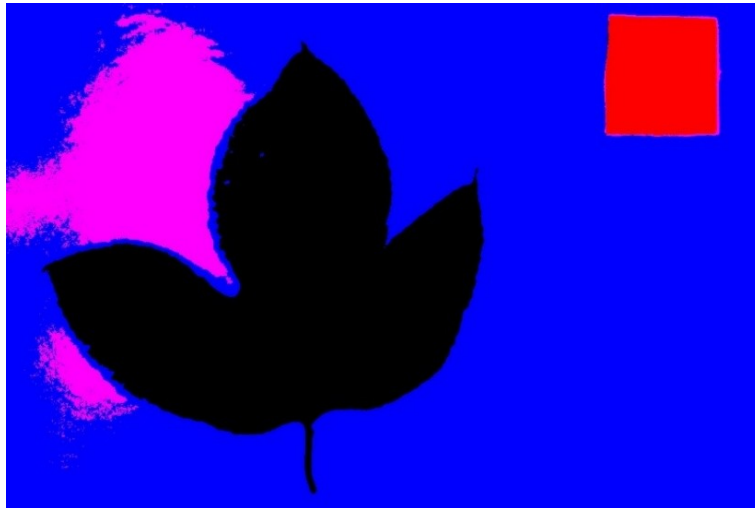


Figura 5.11: Imagen Umbralizada . Fuente (Autores)

La segmentación se adapta a la imagen umbralizada permitiendo mostrar por separado el cuadrado y la hoja, en una imagen binarizada como se evidencia en la Figura [5.12](#) y [5.13](#) respectivamente.

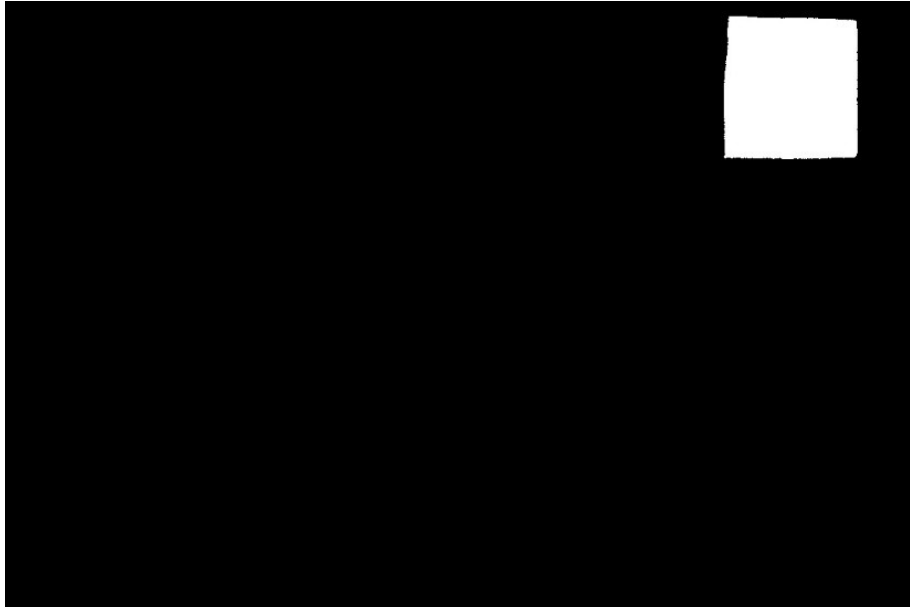


Figura 5.12: Imágen Binaria del cuadrado . Fuente (Autores)



Figura 5.13: Imágen Binaria de la hoja . Fuente (Autores)

Después, a las imágenes binarias del cuadrado y la hoja mostradas anteriormente, se les aplica el proceso de las operaciones morfológicas las cuales tienen como funcionalidad eliminar el ruido presente en las imágenes; como resultado final de estas operaciones se obtienen las Figuras [5.14](#) y [5.15](#)



Figura 5.14: Imagen apertura del cuadrado . Fuente (Autores)



Figura 5.15: Imagen con cierre de la hoja . Fuente (Autores)

Se realizó una nueva segmentación sobre la imagen BGR, generando una imagen binaria para identificar el cambio de color causado por la ausencia de nitrógeno, consiguiendo como resultado la Figura [5.16](#)



Figura 5.16: Imagen segmentada del área afectada de la hoja . Fuente (Autores)

Luego, se empleo el método de umbralizacion sobre la imagen segmentada del área afectada de la hoja con el propósito de destacar la zona que presenta la afectación, obteniendo como resultado la Figura [5.17](#)



Figura 5.17: Imágen de la hoja segmentada del área afectada umbralizada . Fuente (Autores)

Como último paso se generó el filtro de media sobre la imagen umbralizada, mostrado en la Figura [5.18](#)



Figura 5.18: Imágen umbralizada del área afectada con filtro de media . Fuente (Autores)

Como resultado de la búsqueda de contornos se extrae el borde de las imágenes tanto de la hoja como del cuadrado, utilizando como base las Figuras [5.14](#) y [5.15](#), el resultado de los contornos se muestran en las Figuras [5.19](#) y [5.20](#).

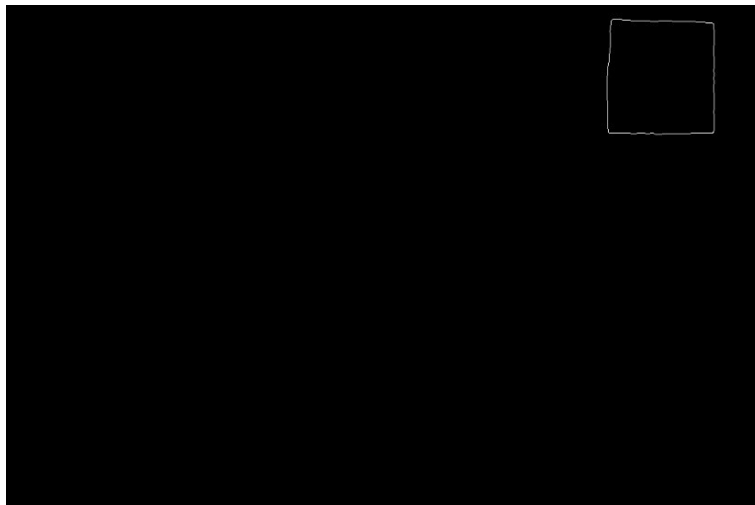


Figura 5.19: Imágen del borde del cuadrado . Fuente (Autores)

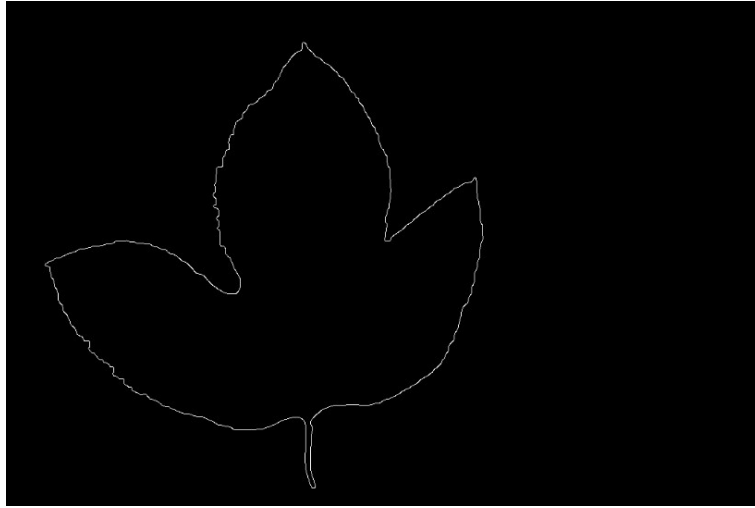


Figura 5.20: Imágen del borde de la hoja . Fuente (Autores)

Como resultado de las funciones *cv2.Canny* y *FindContours* se extrae el área perímetro largo y ancho de la hoja en píxeles.

Después de obtener los valores en píxeles se realizó la conversión a centímetros, representados en la tabla [5.2](#).

Por último se calculan las medidas estadísticas, evidenciadas en la tabla [5.3](#).

En las tablas se encontrarán acrónimos los cuales serán explicados a continuación

PERI Px. = Perímetro en píxeles.

ANCH CM = Ancho de la hoja en centímetros.

MED = Media aritmetica de cada componente (RGB) de la imagen.

VAR = Varianza de cada componente (RGB) de la imagen.

PDLHA = Porcentaje de la hoja afectada.

AADLH = Área afectada de la hoja.

Tabla 5.1: Características en píxeles

HOJA	Px. BLANCOS	ÁREA Px.	PERI Px.	LARGO Px.	ANCHO Px.	Px BLANCOS SEGMENTACIÓN
1	221534	221743	2764	603	680	145242
2	215625	215691	2596	631	621	62556
3	198836	199014	3045	580	623	70279
4	207786	1815	7556	650	774	64992
5	194324	194284	2885	625	917	64606
6	149093	149247	2060	550	497	66739
7	217265	217317	2677	625	1037	70071
8	189342	189509	2503	626	651	97279
9	158726	158887	2467	583	603	59880
10	210953	211116	2691	616	676	68518
11	137191	137805	2272	561	494	41883
12	163794	164854	2469	519	821	134346
13	200195	200337	3104	658	686	78632
14	200531	200834	2975	662	695	61947
15	266024	266864	3212	683	760	100171
16	259530	269689	2758	672	696	84887
17	271625	272341	2881	656	733	101884
18	261322	261409	2901	682	998	111699
19	187939	185821	2329	656	951	60406
20	248067	245762	2669	934	1134	76990
21	123870	123209	2035	542	956	33127
22	152973	1538881	2645	585	616	38915
23	130436	130527	2021	557	449	32067
24	304262	304446	3256	696	825	53442
25	332968	333118	3278	696	822	32903
26	376603	377336	3095	694	834	61668
27	256467	256539	3261	662	1022	35284
28	262468	263009	2888	626	837	32836
29	264949	265130	3193	690	821	42018
30	280041	280166	2932	667	794	50132
31	330655	331467	3512	681	978	73775
32	249804	24991	2888	650	1032	45402
33	267072	267199	3272	690	1026	56051
34	243304	242453	2989	654	1033	41942
35	280780	280950	3238	694	1013	77344
36	250667	248927	3051	968	1079	72904
37	225980	220061	2698	941	1079	61841
38	217972	215369	2673	947	1079	39499
39	213909	212130	2701	632	984	49942
40	244742	243350	2444	981	1107	49118

Tabla 5.2: Características en centímetros

HOJA	ÁREA CM.	PERI CM.	ANCHO CM.	LARGO CM.	ÁREA AFECTADA DE LA HOJA	PORCENT. DE LA HOJA AFECTADO
1	212	85	18	13	139	66
2	131	61	11	11	38	29
3	125	74	11	11	44	35
4	212	177	17	22	66	31
5	158	81	20	13	53	34
6	154	63	16	13	69	45
7	187	77	30	14	60	32
8	169	74	17	13	87	51
9	194	86	22	17	73	38
10	139	69	14	12	45	32
11	117	65	11	12	36	31
12	99	54	18	12	81	82
13	138	81	14	17	54	39
14	155	75	14	18	48	31
15	212	75	16	18	80	38
16	194	70	16	18	63	32
17	186	65	16	15	70	38
18	189	77	21	15	81	43
19	227	54	25	19	73	32
20	222	79	26	23	69	31
21	161	73	25	14	43	27
22	139	74	15	13	35	25
23	139	65	11	13	34	24
24	246	87	18	16	43	17
25	272	93	18	15	27	10
26	320	68	21	19	52	16
27	192	88	21	16	26	14
28	202	80	19	14	25	12
29	202	87	18	15	32	16
30	217	78	19	16	39	18
31	290	101	23	16	65	22
32	186	78	22	15	34	18
33	196	88	22	15	41	21
34	197	72	25	15	34	17
35	208	87	21	19	57	27
36	217	89	24	22	63	29
37	193	79	25	23	53	27
38	185	74	23	23	34	18
39	182	67	21	15	42	23
40	193	68	23	22	39	20

Tabla 5.3: Medidas estadísticas

HOJA	MED R	MED G	MED B	VAR R	VAR G	VAR B	DES R	DES G	DES B
1	112.33	59.32	199.3	1685.98	1025.86	3956.74	41	32	62.9
2	112.51	50	190	2254.77	1055.71	5550.3	47.48	32.49	74.5
3	105.69	55.77	200.28	2286.56	1650.77	5275.8	47.82	40.63	72.63
4	119.88	69.71	200.87	1575.55	2177.65	3181.41	39.69	46.67	56.4
5	96	49.87	195	1490.47	1196	4608	38.61	34.58	67.88
6	104.8	60	212	1579	927	3561.37	39.74	30.45	59.68
7	116.23	42.47	199.49	2231.11	810.19	5740.42	47.23	28.46	75.77
8	108	42.43	208.93	1781.41	1107.87	4586.86	42.21	33.28	67.73
9	104.59	39.39	210.08	2003.43	1030.84	4346.4	44.76	32.11	65.93
10	113.12	59.17	197.54	1874	1073	5143.28	43.29	32.76	71.72
11	120.1	60.82	211.8	1817.58	1120.78	3979.12	42.63	33.48	63.08
12	204.49	65.14	206.61	5652.85	1365.74	3209.39	75.19	36.96	56.65
13	88.96	54.94	202.67	1489.57	961.91	5124.89	38.59	31	71.59
14	133	55.34	203.15	2783.87	1168.21	5318.36	52.76	34.18	72.93
15	128	60.42	190	3400.16	1172.66	5860	58.31	34.24	76.55
16	126	58.59	191.58	3401.85	1093.3	6136.88	58.33	33	78.34
17	140.21	57.02	189.57	4687.35	1318.49	6013.62	68.46	36.31	77.55
18	131.61	57.64	192.31	3628.19	1008.33	5722	60.23	31.75	75.64
19	95	52.81	202	1476.9	1107.42	5174.9	38.43	33.28	71.94
20	77.51	34.8	184.44	1391.81	1224.9	5540.58	37.39	35	74.44
21	114.47	50.74	216.61	1144.62	1226.75	3170.9	33.83	35.02	56.31
22	92.68	30.24	211.52	1335.97	1013.11	4669.53	36.55	31.83	68.33
23	119	55	211.98	1634.73	1137.97	3808.5	40.43	33.73	61.71
24	145.84	68.63	182.38	4802.49	1522.59	6359	69.3	39.02	79.74
25	113.61	44.92	165	2991.44	1249.78	7015.86	54.69	35.35	83.76
26	83.7	49.76	159.03	2158	1265	7097	46.46	35.57	84.25
27	74.84	32.19	179.31	1656.26	1289.37	6297.46	41.91	35.91	79.36
28	80.42	33.17	177.25	2091.29	1235.33	6336	45.73	35.15	79.6
29	77.62	31.24	178.38	1817	1143	6301.5	42.63	33.81	79.38
30	77.72	35	177.31	1755	1164	6418.81	41.89	34.13	80.12
31	82.53	43.74	165.77	2312.73	1330.14	6192.94	48	36.47	78.7
32	84.28	35.58	182	1545.31	1073.23	6095.42	39.31	32.76	78.07
33	84.37	34.3	180.21	1456.23	1114.84	6142.98	38.16	33.39	78.38
34	76.88	30.5	184.54	1240.9	1029.92	5979.96	35.23	32	77.33
35	80.71	38	180	1409.62	1102.31	6057.46	37.54	33.2	77.83
36	82	36	184	1755	1153	5663.27	41.89	33.97	75.25
37	77.61	29.15	187.9	1230.31	999.5	5473.28	35	31.61	73.98
38	73.68	27.31	187.71	1197	901.5	5858	34.6	30	76.54
39	72	28.39	191.52	1135.5	985	5318.29	22.7	31.38	72.93
40	73.95	29	182.42	1318.6	963.26	5836.84	36.31	31	76.4

5.1.3. Vector de características

A continuación se expondrá el vector de características de una muestra de 10 hojas 5 con ausencia de nitrógeno y las otras 5 con suficiencia de este nutriente. El vector completo se mostrará en el apéndice 1.

Se observará el comportamiento de cada una de las particularidades del vector mediante gráficas de dispersión generadas con el siguiente algoritmo.

```
1 import seaborn as sns
2 import matplotlib as mpl
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import pandas as pd
5 data = pd.read_csv('pixeles.csv')
6 print (data.describe())
7 sns.set(style="ticks")
8 sns.pairplot(data, hue="AUSENCIA DE N")
9 plt.savefig('pixeles.pdf', dpi=400, bbox_inches='tight', pad_inches
    =0.1)
```

Algoritmo 35: Código para generar las gráficas

En las gráficas se encontrarán acrónimos los cuales serán explicados a continuación

PERI Px. = Perímetro en píxeles.

ANCH CM = Ancho de la hoja en centímetros.

MED = Media aritmética de cada componente (RGB) de la imagen.

VAR = Varianza de cada componente (RGB) de la imagen.

DES = Desviación estándar de cada componente (RGB) de la imagen.

AADLH = Área afectada de la hoja.

PDLHA = Porcentaje de la hoja afectada.

Tabla 5.4: Vector de características ausencia de N sección píxeles

AUSENCIA DE N	Px. BLANCOS	AREA Px.	PERI Px	LARGO Px.	ANCHO Px.	Px. BLANCOS SEGMENTACIÓN
SÍ	221534	221743	2764	603	680	145242
SÍ	215625	215691	2596	631	621	62556
SÍ	198836	199014	3045	580	623	70279
SÍ	207786	1815	7556	650	774	64992
SÍ	194324	194284	2885	625	917	64606

Tabla 5.5: Vector de características ausencia de N sección centímetros

AUSENCIA DE N.	ÁREA CM.	PERI CM.	ANCHO CM.	LARGO CM.	AADLH	PDLHA
SÍ	212	85	18	13	139	66
SÍ	131	61	11	11	38	29
SÍ	125	74	11	11	44	35
SÍ	212	177	17	22	66	31
SÍ	158	81	20	13	53	34

Tabla 5.6: Vector de características ausencia de N sección medidas estadísticas

AUSENCIA DE N.	MED R	MED G	MED B	VAR R	VAR G	VAR B	DES R	DES G	DES B
SI	112.33	59.32	199.3	1685.98	1025.86	3956.74	41	32	62.9
SI	112.51	50	190	2254.77	1055.71	5550.3	47.48	32.49	74.5
SI	105.69	55.77	200.28	2286.56	1650.77	5275.8	47.82	40.63	72.63
SI	119.88	69.71	200.87	1575.55	2177.65	3181.41	39.69	46.67	56.4
SI	96	49.87	195	1490.47	1196	4608	38.61	34.58	67.88

Tabla 5.7: Vector de características suficiencia de N sección píxeles

AUSENCIA DE N	Px. BLANCOS	AREA Px.	PERI Px.	LARGO Px.	ANCHO Px.	Px. BLANCOS SEGMENTACION
NO	123870	123209	2035	542	956	33127
NO	152973	1538881	2645	585	616	38915
NO	130436	130527	2021	557	449	32067
NO	304262	304446	3256	696	825	53442
NO	332968	333118	3278	696	822	32903

Tabla 5.8: Vector de características suficiencia de N sección centímetros

AUSENCIA DE N	AREA CM.	PERI CM.	ANCHO CM.	LARGO CM.	AADLH	PDLHA
NO	161	73	25	14	43	27
NO	139	74	15	13	35	25
NO	139	65	11	13	34	24
NO	246	87	18	16	43	17
NO	272	93	18	15	27	10

Tabla 5.9: Vector de características suficiencia de N sección medidas estadísticas

AUSENCIA DE N.	MED R	MED G	MED B	VAR R	VAR G	VAR B	DES R	DES G	DES B
NO	114.47	50.74	216.61	1144.62	1226.75	3170.9	33.83	35.02	56.31
NO	92.68	30.24	211.52	1335.97	1013.11	4669.53	36.55	31.83	68.33
NO	119	55	211.98	1634.73	1137.97	3808.5	40.43	33.73	61.71
NO	145.84	68.63	182.38	4802.49	1522.59	6359	69.3	39.02	79.74
NO	113.61	44.92	165	2991.44	1249.78	7015.86	54.69	35.35	83.76

Tabla de datos resumida

A continuación se exhiben las tablas de resumen de las 20 hojas con ausencia de nitrógeno y las otras 20 con suficiencia de este. Estas tablas permiten saber la cantidad de datos analizados (count), la media (mean), la desviación estándar (std), el valor mínimo (min), el máximo (max), y se organizan los datos de una manera porcentual de menor a mayor (25 %, 50 %, 75 %).

Tabla 5.10: Tabla de datos resumida del vector de características ausencia de N sección píxeles

	Px. BLANCOS	AREA Px.	PERI Px.	LARGO Px.	ANCHO Px.	Px. BLANCOS SEGMENTACION
count	20	20	20	20	20	20
mean	207985	198216.95	2940.7	638.6	752.35	81150.35
std	38973.07	60912.82	1124.98	83.02	174.66	26400.12
min	137191	1815	2060	519	494	41883
25 %	188991.25	180579.25	2494.5	598	644	64093.5
50 %	204158.5	200585.5	2724.5	628.5	695.5	70175
75 %	228167.25	227747.75	2919.5	659	845	98002
max	271625	272341	7556	934	1134	145242

Tabla 5.11: Tabla de datos resumida del vector de características suficiencia de N sección píxeles

	Px. BLANCOS	AREA Px.	PERI Px.	LARGO Px.	ANCHO Px.	Px. BLANCOS SEGMENTACION
count	20	20	20	20	20	20
mean	250496	3.07	2903.5	712.65	919.3	49010.5
std	63873.06	3	404.48	134.40	169.83	14393.46
min	123870	2.49	2021	542	449	32067
25 %	223978	2.188	2691.75	645.5	824.25	38007.25
50 %	253567	2.59	2960.5	685.5	981	47260
75 %	280225	2.86	3242.5	696	1032.25	57455.25
max	376603	1.53	3512	981	1107	77344

Tabla 5.12: Tabla de datos resumida del vector de características ausencia de N sección centímetros

	AREA CM	PERI CM	ANCHO CM	LARGO CM	AADLH	PDLHA
count	20	20	20	20	20	20
mean	171	77	17.65	15.3	66.45	39.5
std	37.89	25.25	5.11	3.54	22.75	13.30
min	99	54	11	11	36	29
25 %	138.75	65	14	12.75	51.75	31.75
50 %	177.5	74.5	16.5	14.5	67.5	34.5
75 %	198.5	79.5	20.25	18	74.75	40
max	227	177	30	23	139	82

Tabla 5.13: Tabla de datos resumida del vector de características suficiencia de N sección centímetros

	AREA CM	PERI CM	ANCHO CM	LARGO CM	AADLH	PDLHA
count	20	20	20	20	20	20
mean	206.85	79.8	20.7	16.8	40.9	20.05
std	45.54	9.84	3.55	3.30	11.67	5.35
min	139	65	11	13	25	10
25 %	185.75	72.75	18.75	15	34	16.75
50 %	196.5	78.5	21	15.5	39	19
75 %	217	87.25	23	19	45.25	24.25
max	320	101	25	23	65	29

Tabla 5.14: Tabla de datos resumida del vector de características ausencia de N sección medidas estadísticas

	MED R	MED G	MED B	VAR R	VAR G	VAR B	DES R	DES G	DES B
count	20	20	20	20	20	20	20	20	20
mean	116.90	54.28	199.38	2424.62	1179.83	4901.51	48.10	34.13	69.69
std	25.87	8.82	8.06	1171.3	294.26	924.5	10.77	3.91	6.85
min	77.51	34.8	184.44	1391.81	810.19	3181.41	37.39	28.46	56.4
25 %	104.74	49.96	192.12	1578.13	1029.59	4254.58	39.72	32.08	65.21
50 %	112.81	56.39	199.88	1938.71	1107.64	5159	44.02	33.28	71.83
75 %	126.5	59.49	204	2937.94	1203.22	5593.22	54.14	34.68	74.78
max	204.49	69.71	212	5652.85	2177.65	6136.88	75.19	46.67	78.34

Tabla 5.15: Tabla de datos resumida del vector de características suficiencia de N sección medidas estadísticas

	MED R	MED G	MED B	VAR R	VAR G	VAR B	DES R	DES G	DES B
count	20	20	20	20	20	20	20	20	20
mean	88.39	38.14	184.24	1799.4	1144.98	5804.65	41.10	33.76	75.89
std	19.44	10.82	14.84	846.57	147.96	962.94	9.33	2.16	6.81
min	72	27.31	159	1135.5	901.5	3170.9	22.70	30	56.31
25 %	77.42	30.43	178.11	1299.17	1025.71	5615.77	36.04	31.95	74.93
50 %	81.35	34.65	182.19	1590.02	1140.48	6076.44	39.87	33.77	77.95
75 %	86.44	44	187.75	1885.57	1238.94	6310.12	43.40	35.20	79.43
max	145.84	68.63	216.61	4802.49	1522.59	7097	69.3	39.02	84.25

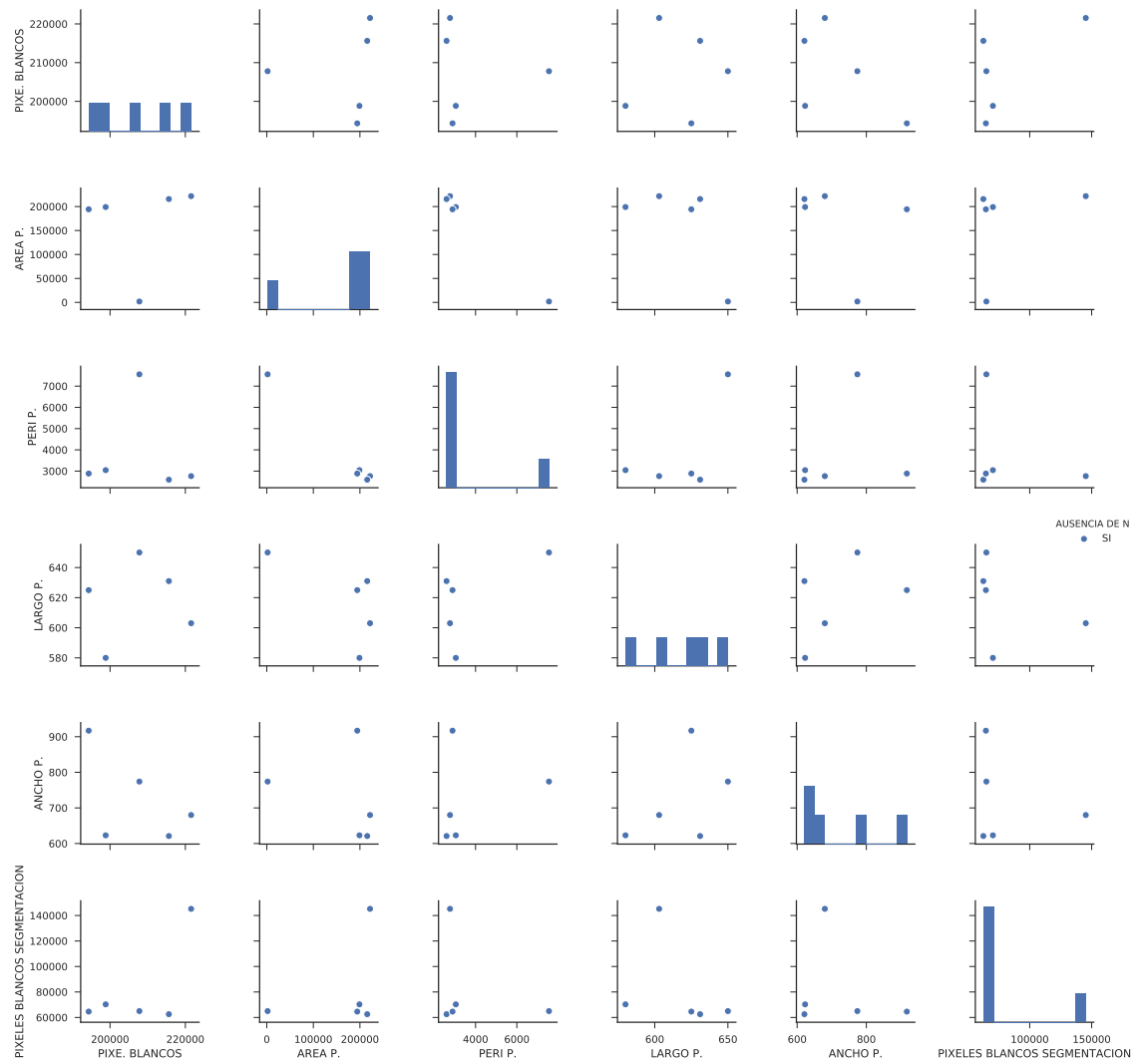


Figura 5.21: Vector de características ausencia de N sección píxeles

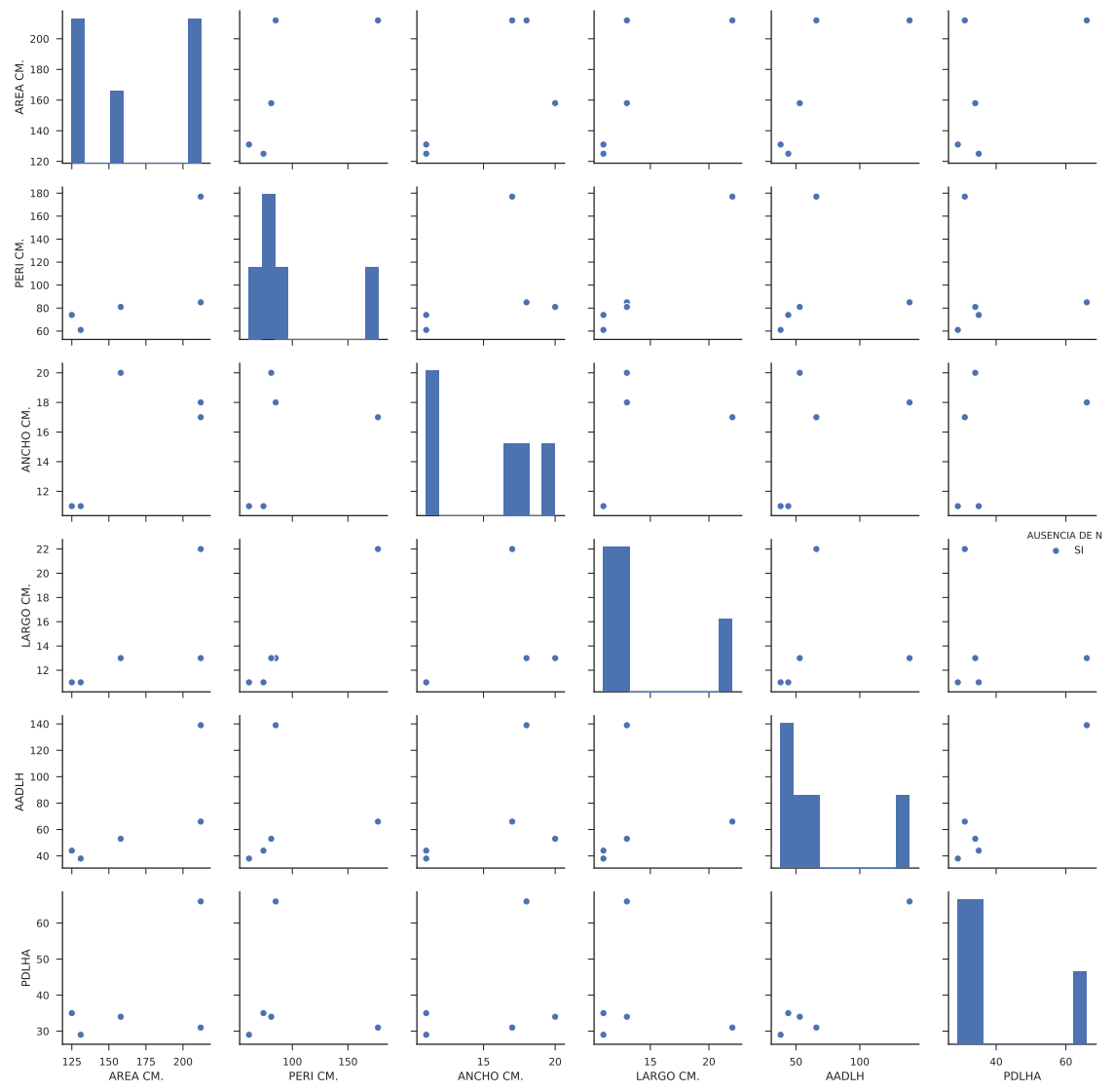


Figura 5.22: Vector de características ausencia de N sección centímetros

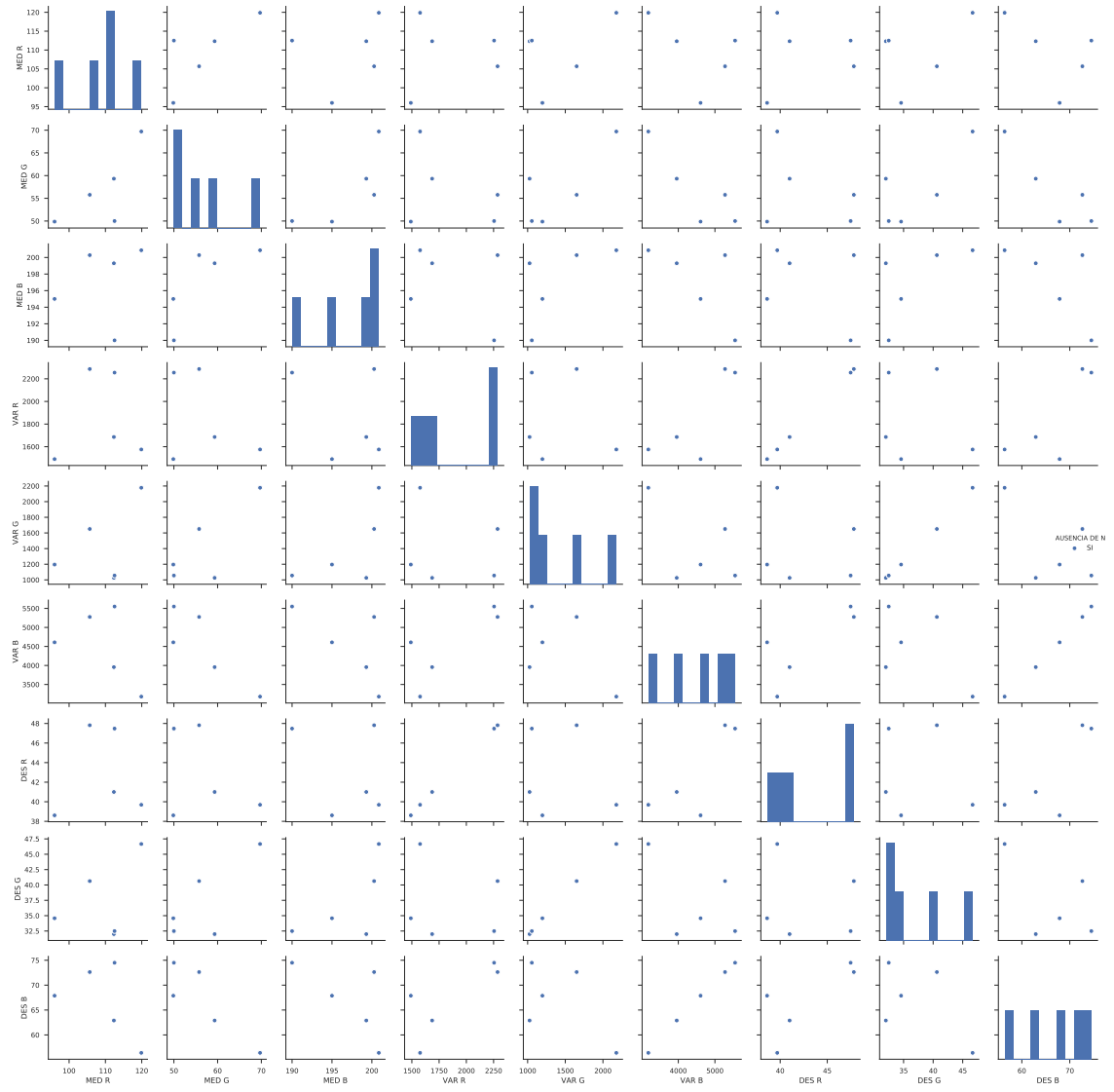


Figura 5.23: Vector de características ausencia de N sección medidas estadísticas . Fuente (Autores)

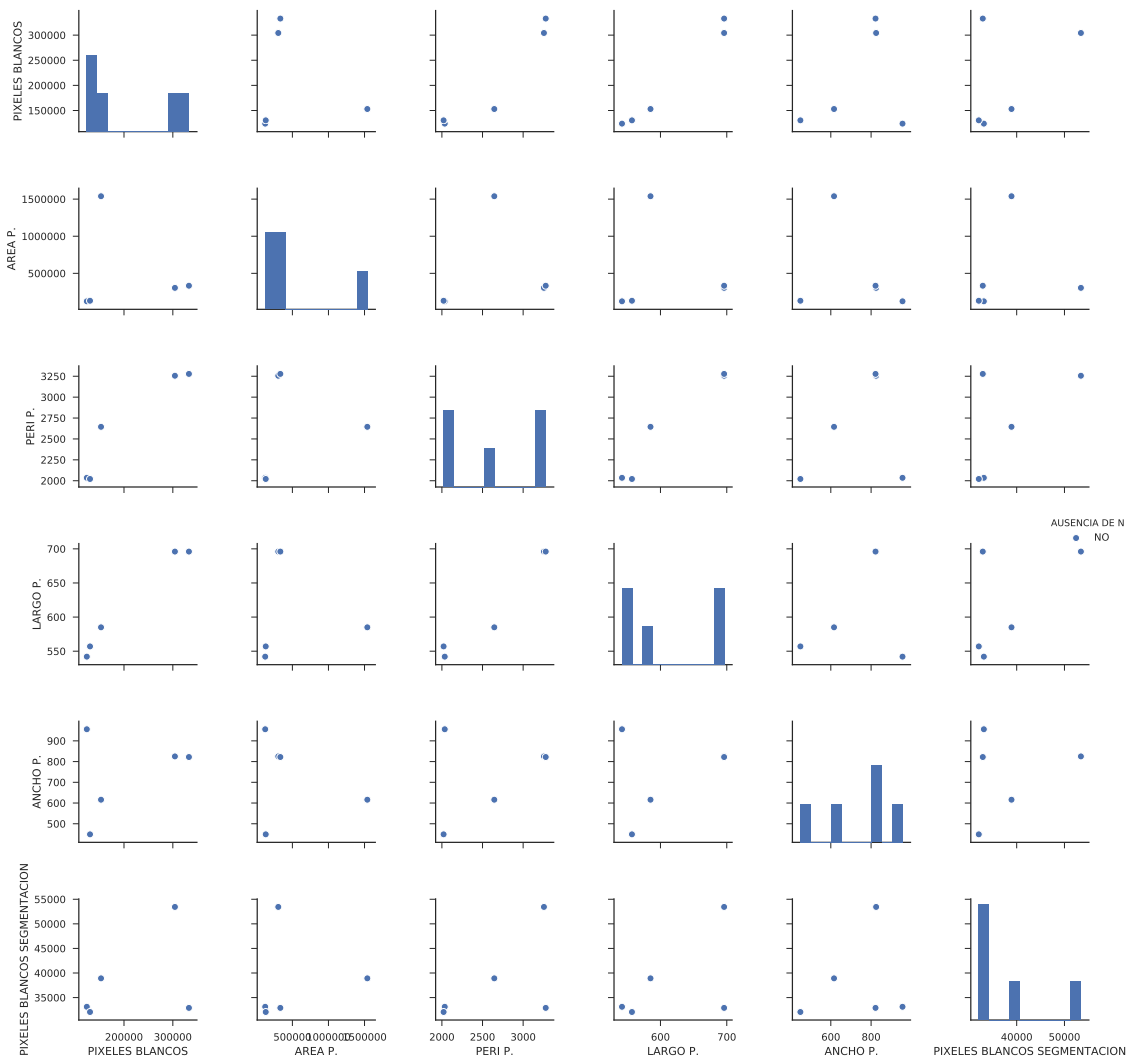


Figura 5.24: Vector de características suficiencia de N sección píxeles . Fuente (Autores)

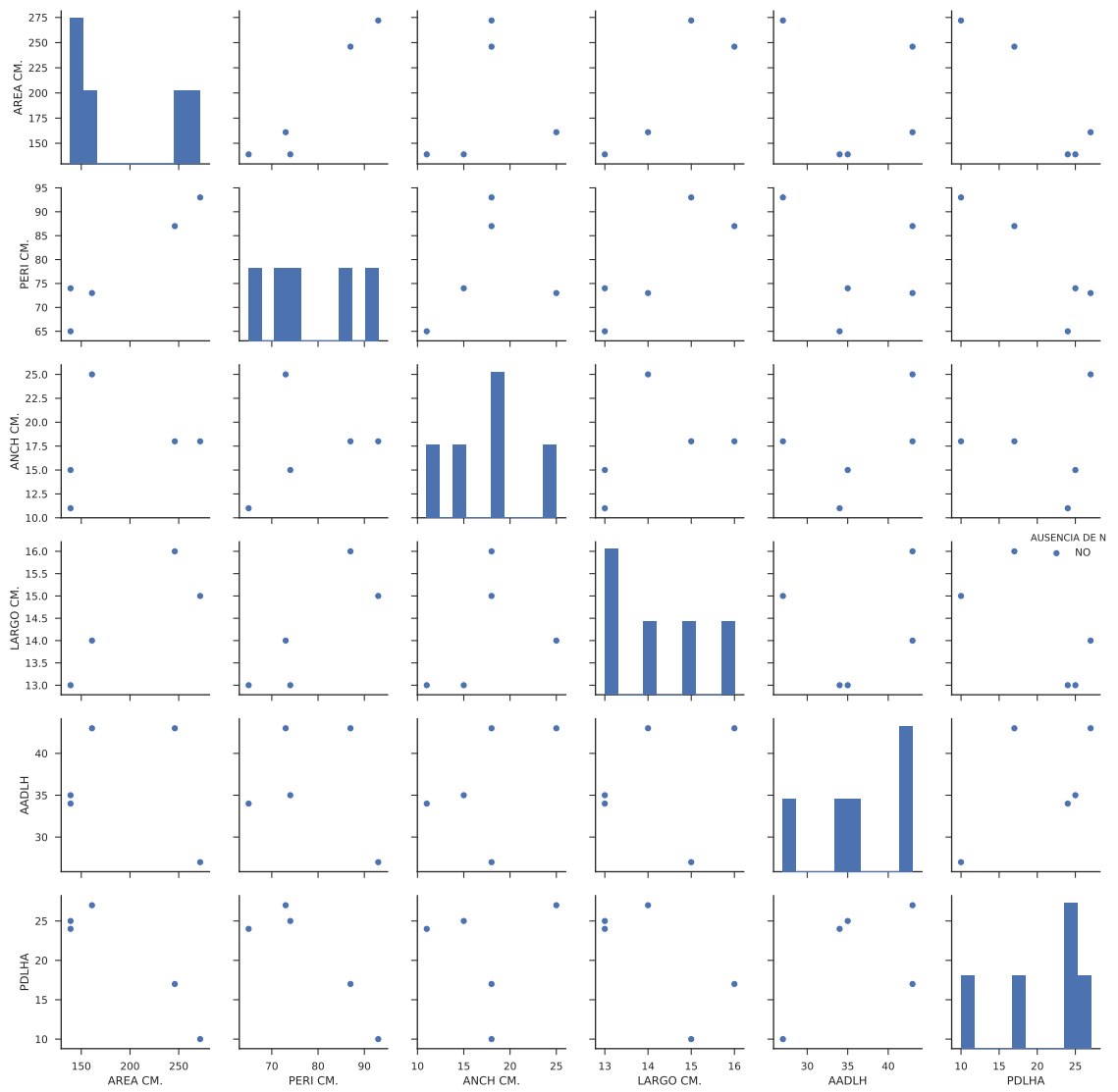


Figura 5.25: Vector de características suficiencia de N sección centímetros . Fuente (Autores)

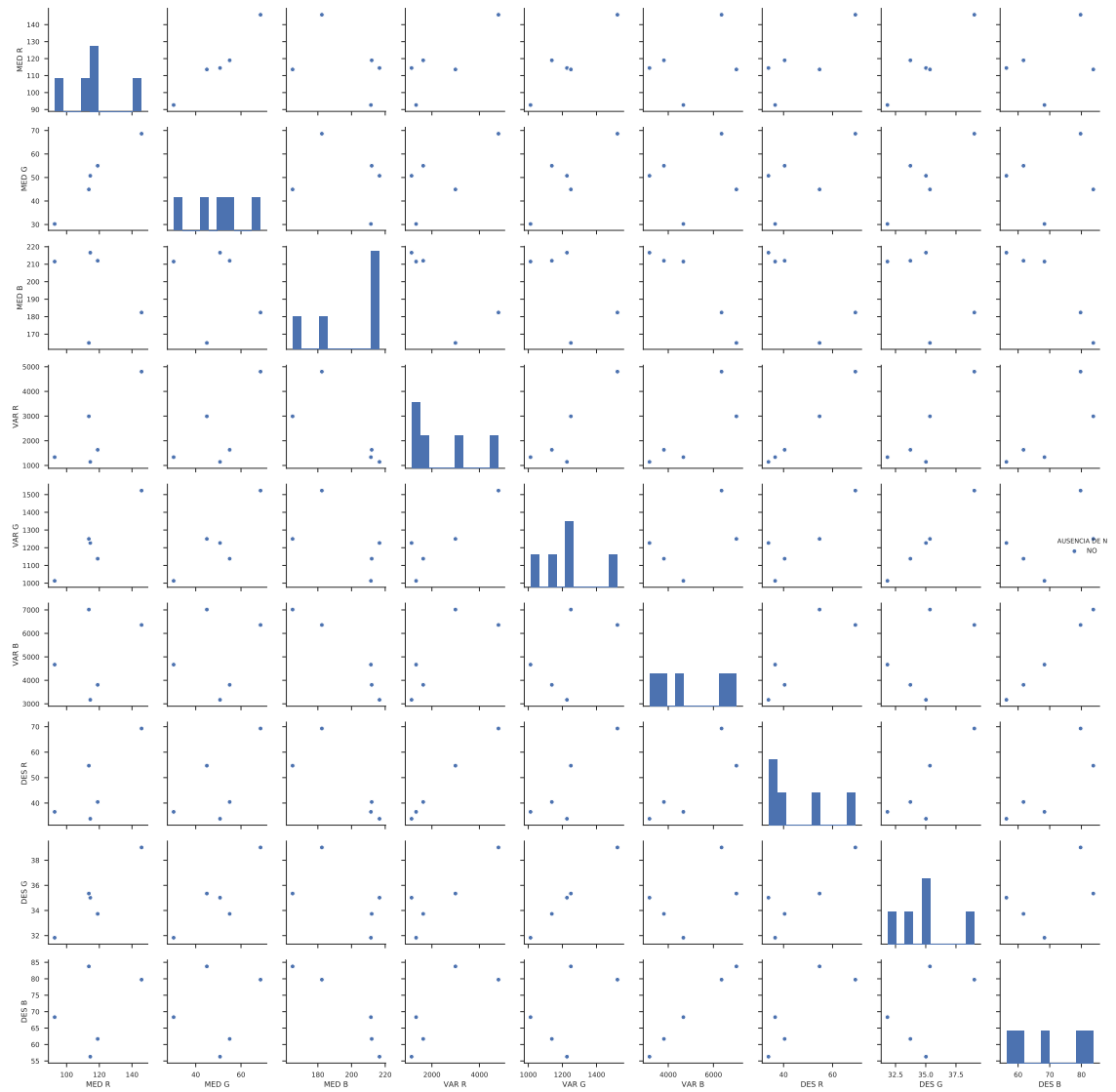


Figura 5.26: Vector de características suficiencia de N sección medidas estadísticas .
Fuente (Autores)

5.1.4. Análisis de Gráficas

Las gráficas de dispersión son útiles a la hora de observar la correlación entre dos variables por medio de la ubicación de puntos en el eje cartesiano, hay tres maneras de analizar este tipo de gráficas, la primera es cuando hay una correlación positiva entre variables, esto quiere decir que a medida que una aumenta la otra también; la segunda es la correlación negativa que ocurre cuando al aumentar uno de los dos datos el otro disminuye y por último cuando no hay ningún tipo de correlación entre los datos, observando un comportamiento totalmente aleatorio; influye además la fuerza de correlación la cual puede ser fuerte cuando un conjunto de datos es agrupado, débil cuando se encuentran separado o nulo cuando hay un comportamiento totalmente incierto. Estos datos se pueden representar de manera lineal, exponencial o en forma de “U” [47].

A continuación se analizara el comportamiento de las gráficas mostradas anteriormente por grupos, según la conceptualización explicada en el párrafo anterior.

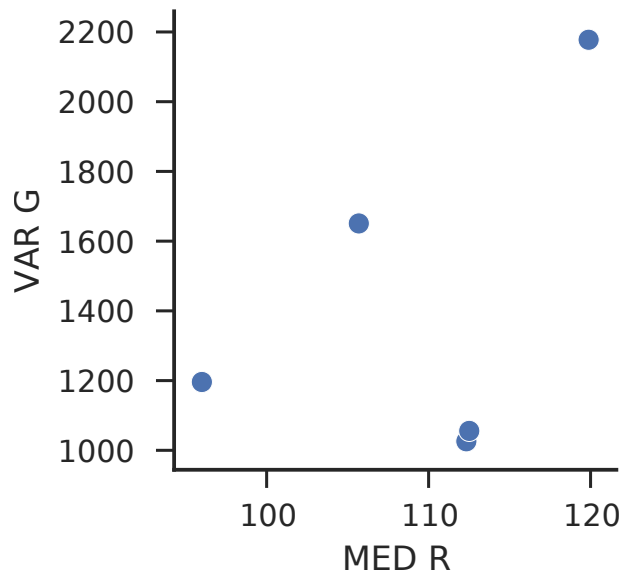


Figura 5.27: Var G vs Med R. Fuente (Autores)

Gráfica tomada de [5.23] presenta un comportamiento lineal de correlación positiva, conformado por 3 grupos de puntos, con una fuerza de correlación débil, esto indica que a medida que la media de la componente R (red) aumenta, la varianza de la componente G (green) también aumenta.

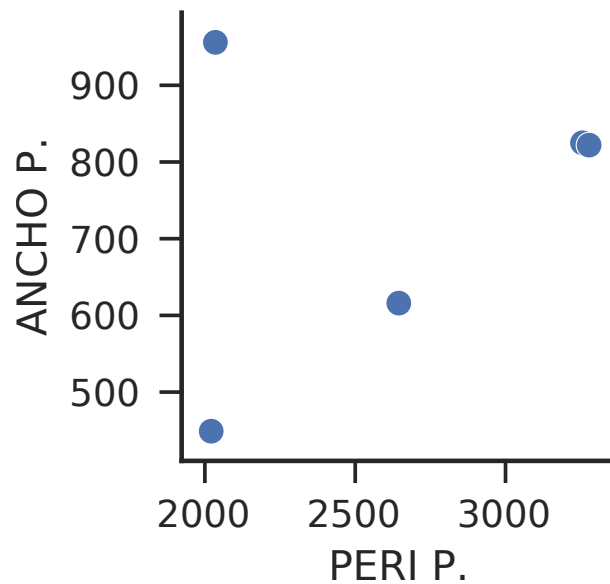


Figura 5.28: Ancho px vs Perímetro px. Fuente (Autores)

Gráfica tomada de [5.24](#), donde se evidencia un comportamiento lineal de correlación positiva con 4 grupos de puntos en el plano cartesiano, con una fuerza de correlación débil además de un punto equidistante que presenta un comportamiento sin ningún tipo de tendencia. Lo que quiere decir que al aumentar el perímetro en píxeles el ancho en píxeles también aumenta.

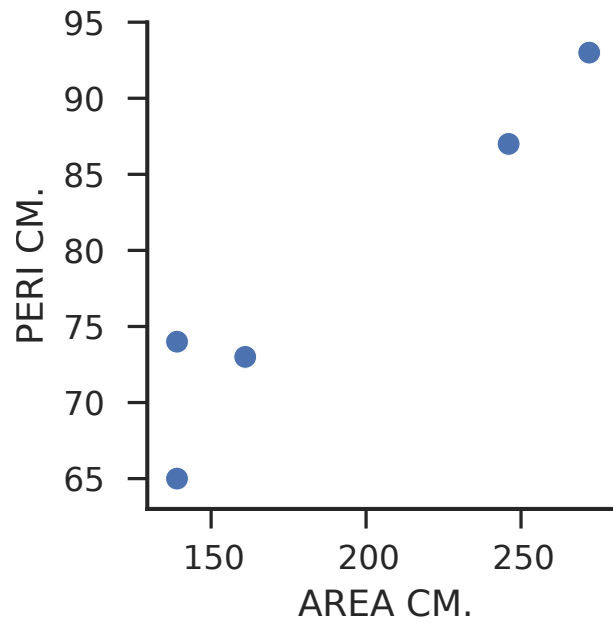


Figura 5.29: Perímetro en cm vs Área en cm. Fuente (Autores)

Gráfica obtenida de [5.25](#), donde se evidencia una correlación positiva lineal conformada por 3 grupos de puntos con una fuerza de correlación débil. Por lo que se deduce que si el área aumenta el perímetro también lo hace.

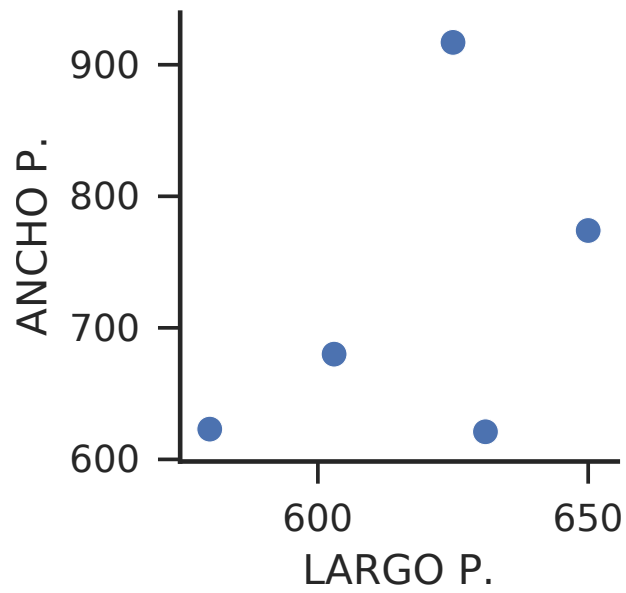


Figura 5.30: Ancho px vs Largo px. Fuente (Autores)

Gráfica adquirida de [5.21](#), donde se observa una conducta de correlación positiva lineal con 4 grupos de puntos, lo que indica una fuerza de correlación débil, pero se observa que a medida que el largo en píxeles aumenta, el ancho en píxeles también lo hace.

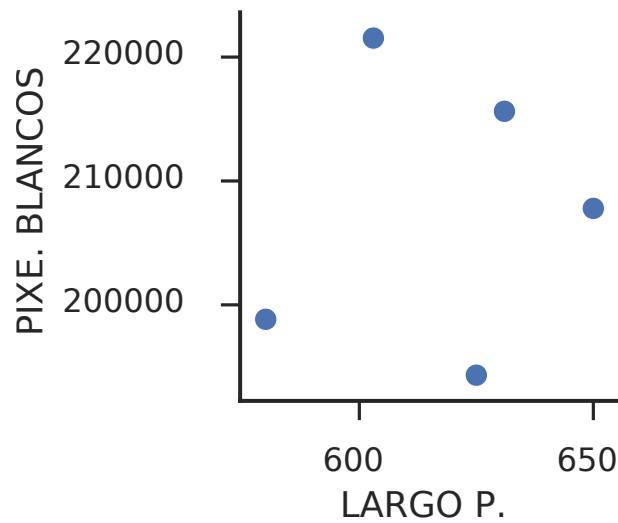


Figura 5.31: Px blancos vs Largo px. Fuente (Autores)

Gráfica tomada de [5.21](#), donde se evidencia una correlación negativa, con 3 grupos, 2 de ellos son puntos atípicos esto quiere decir que no tienen ninguna tendencia, muestran una fuerza de correlación débil. Al ser una gráfica de correlación negativa indica que a medida que el largo en píxeles aumenta la cantidad de píxeles blancos disminuye.

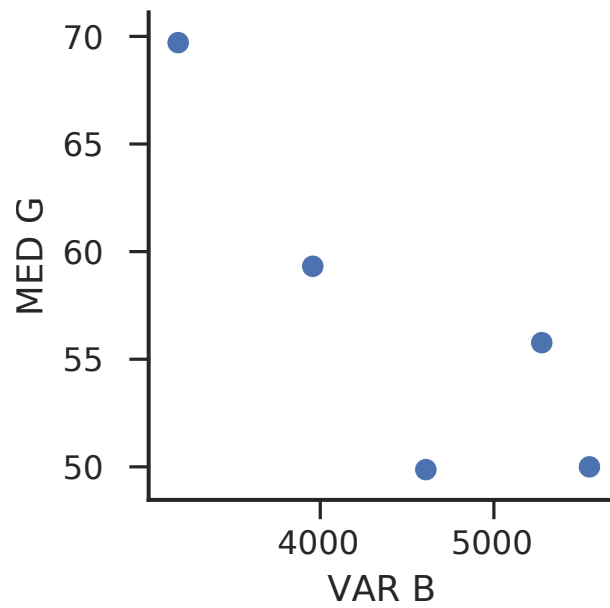


Figura 5.32: Med G vs Var B. Fuente (Autores)

Gráfica obtenida de [5.23](#), presenta un comportamiento de correlación negativa, con 3 grupos de puntos que presentan una fuerza de correlación débil. Se deduce mediante la gráfica que la media de la componente G (Green) disminuye mientras la varianza de la componente B (Blue) aumenta.

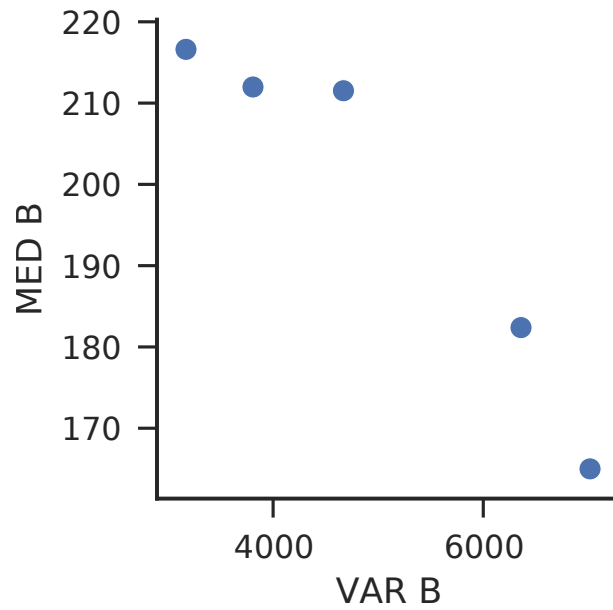


Figura 5.33: Med B vs Var B. Fuente (Autores)

Gráfica adquirida de [5.26](#), presenta una correlación negativa con 3 grupos de puntos y una fuerza de correlación débil. Se concluye que mientras la varianza de la componente B (Blue) de la imagen aumente, la media de la componente B (Blue) disminuye.

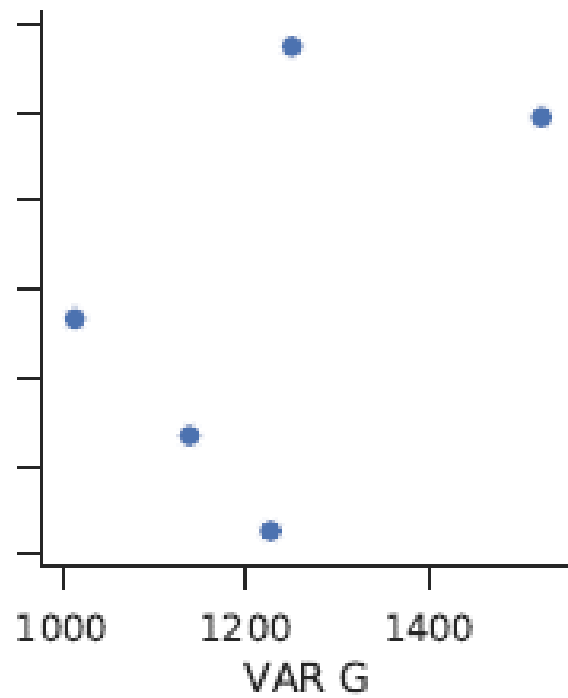


Figura 5.34: Des B vs Var G. Fuente (Autores)

Gráfica tomada de [5.26](#), presenta tres grupos de puntos dos de ellos son puntos atípicos no cumplen con ninguna tendencia, tienen una fuerza de correlación débil, y se evidencia una correlación negativa, donde mientras la varianza de la componente G (Green) de la imagen aumenta la desviación estándar de la componente B (Blue) disminuye.

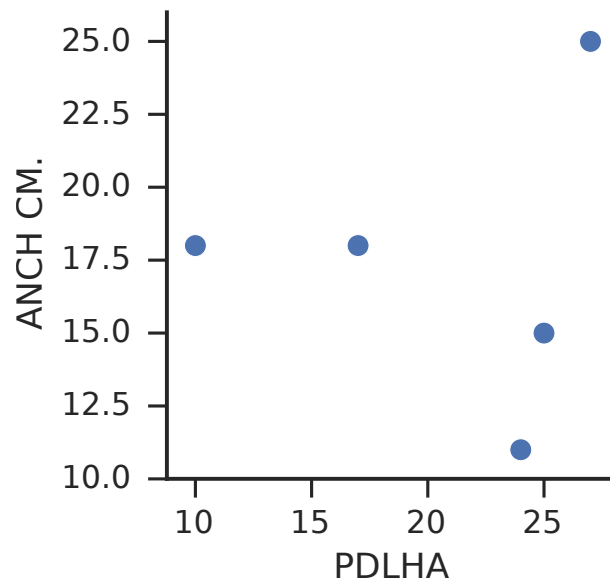


Figura 5.35: Ancho en cm vs PDLHA. Fuente (Autores)

Gráfica adquirida de [5.25](#), se evidencia una correlación nula, ninguna de las variables influye sobre la otra, dando como resultado 3 grupos de datos sin ningún tipo de tendencia.

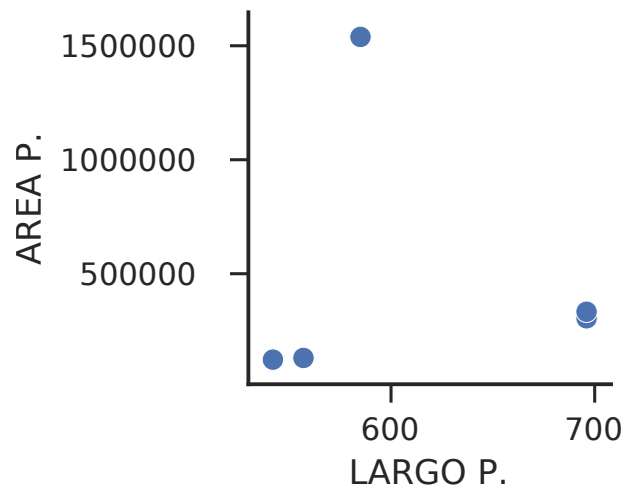


Figura 5.36: Área en px vs Largo en px. Fuente (Autores)

Gráfica obtenida de [5.24](#), presenta una correlación nula, lo que indica que los datos no influyen uno sobre el otro, es un grupo de datos sin tendencia.

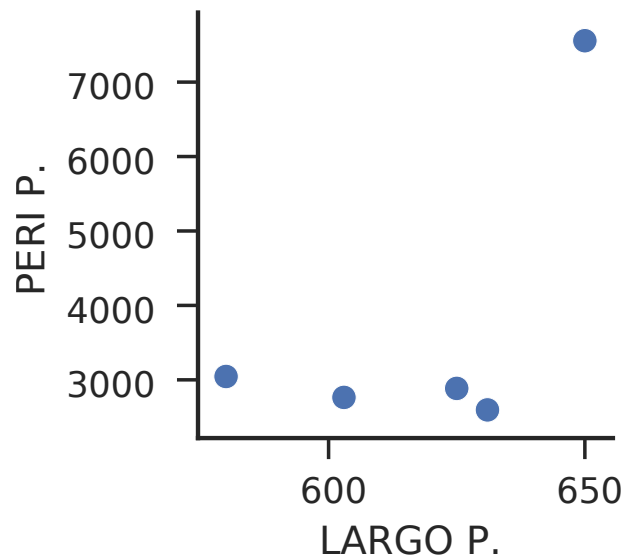


Figura 5.37: Perímetro Px vs Largo Px. Fuente (Autores)

Gráfica tomada de [5.21](#), se observa una correlación nula por lo cual se concluye que los datos son independientes y no siguen una tendencia.

Gráficas de dispersión de las dos clases de hojas

Estas gráficas se realizan con los datos obtenidos de las 40 hojas evidenciados en el vector de características completo.

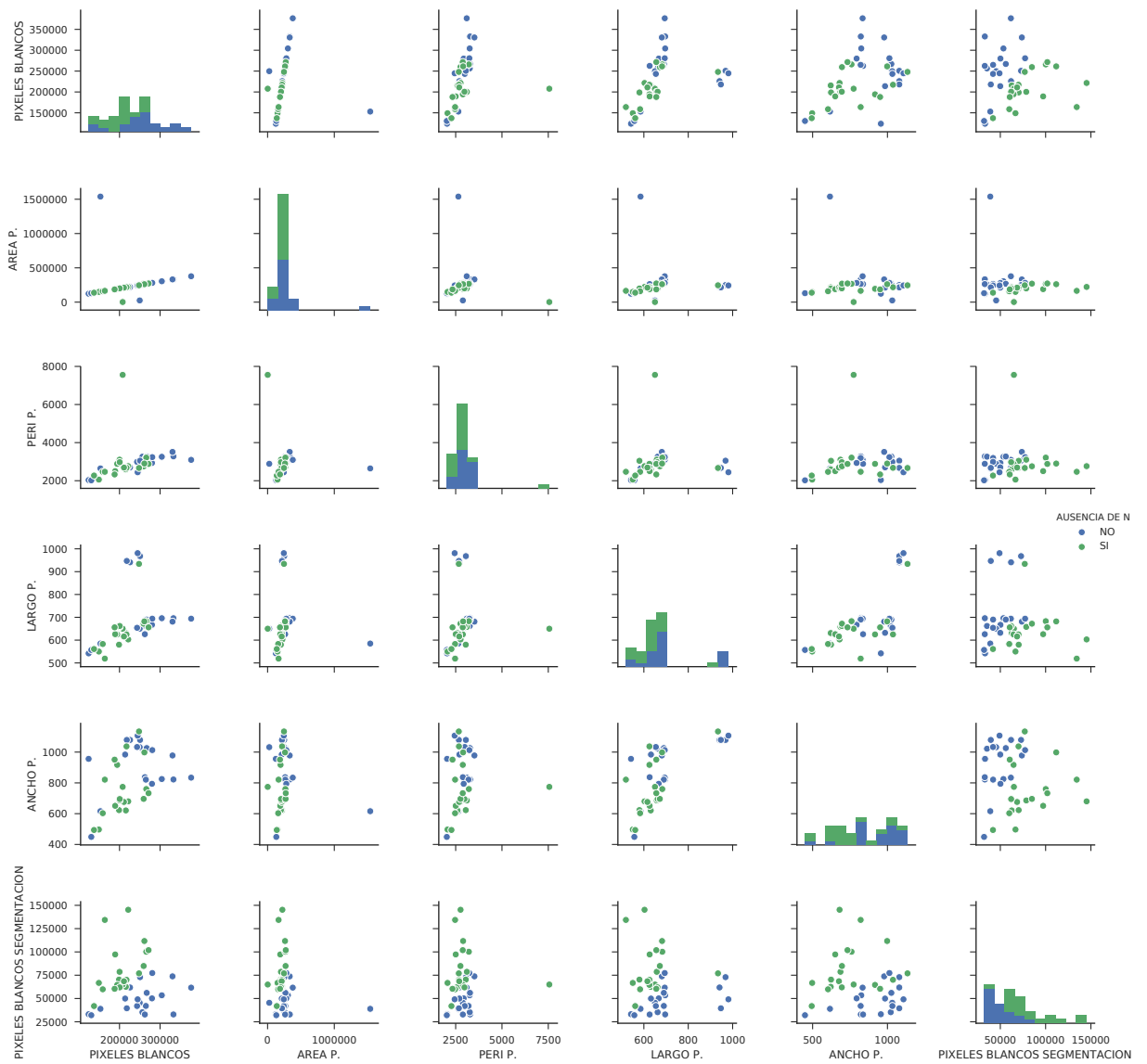


Figura 5.38: Vector de características sección píxeles. Fuente (Autores)

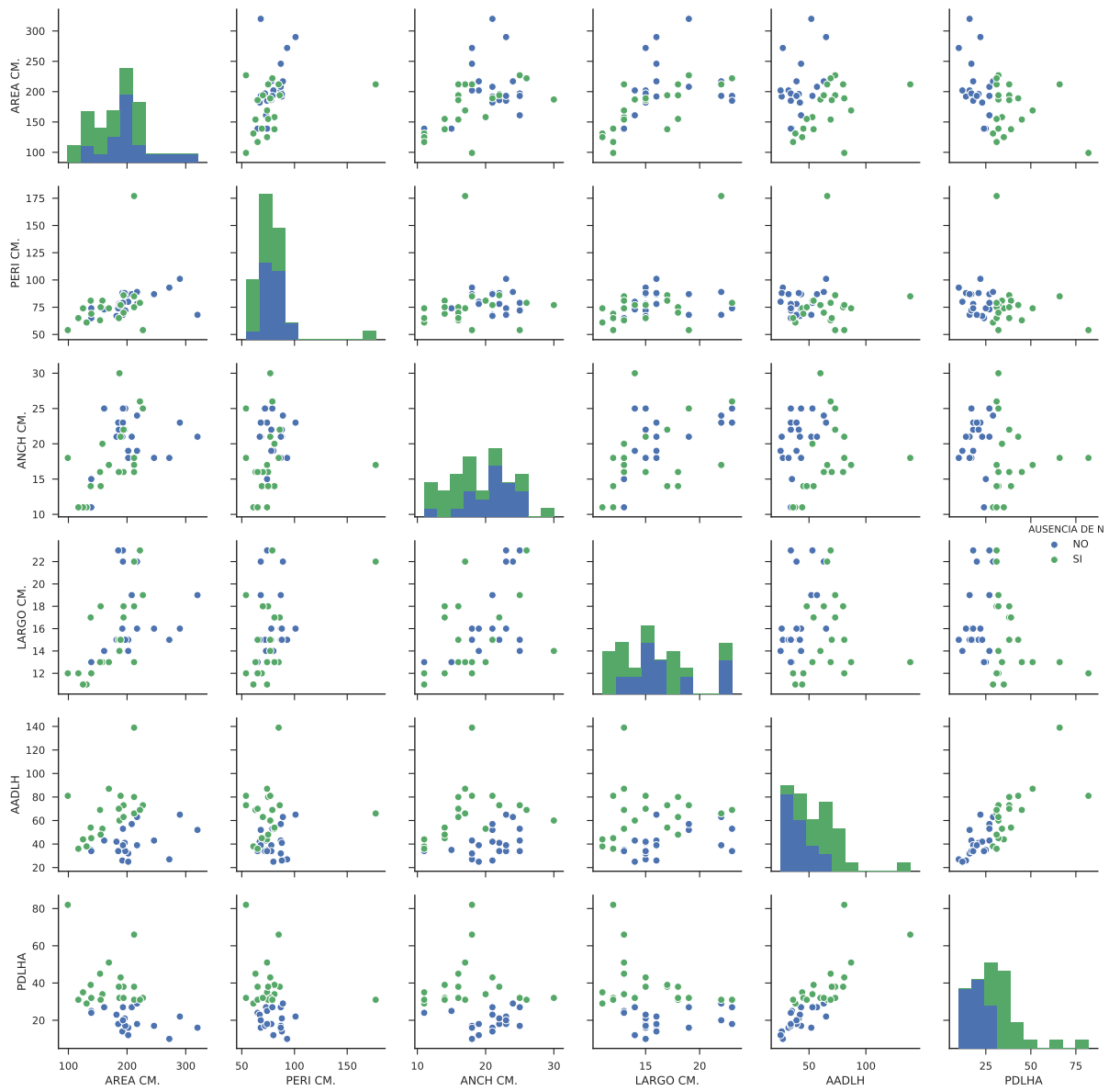


Figura 5.39: Vector de características sección centímetros. Fuente (Autores)

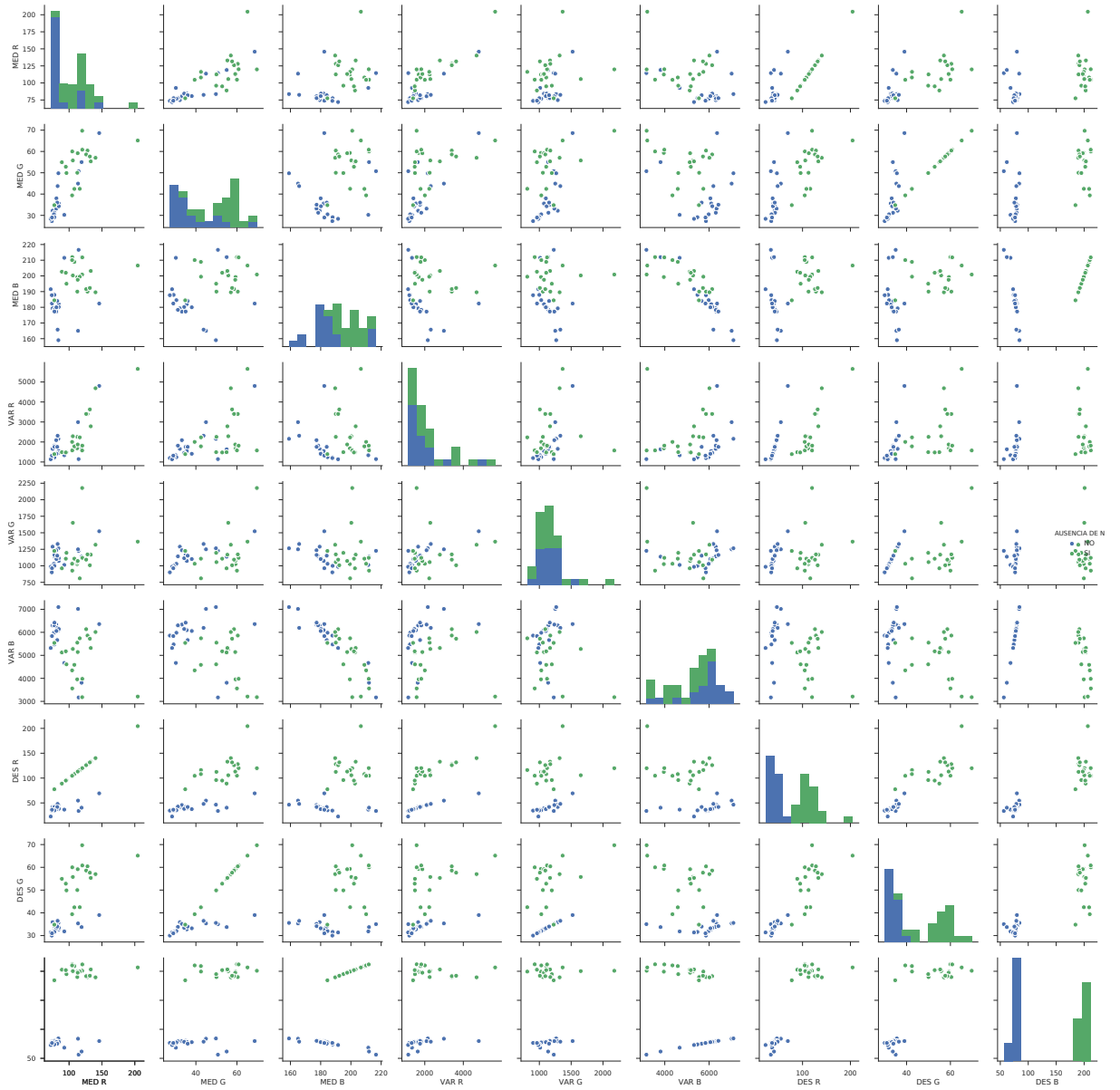


Figura 5.40: Vector de características sección medidas estadísticas. Fuente (Autores)

La gráfica [6.3](#) demuestra que la desviación estándar de la componente azul(B) respecto a las otras medidas estadísticas permite agrupar las dos clases distintas según sea su estado de nitrógeno.

Por otra parte, se observa en las gráficas que la mayoría de datos presentan un comportamiento sin tendencia ni correlación, se analizará una muestra de gráficos que presenten una correlación positiva, nula y se añadirá el análisis de una muestra de gráficos donde se evidencia una clasificación de las dos clases de hojas.

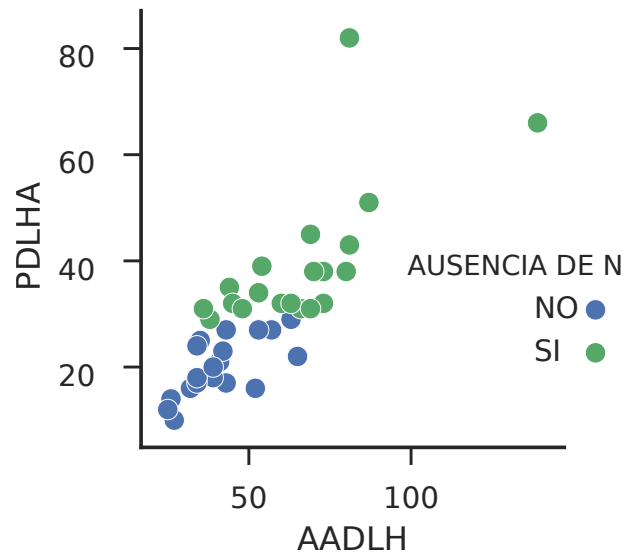


Figura 5.41: PDLHA vs AADLH. Fuente (Autores)

Gráfica obtenida de [6.2](#), donde se evidencia una correlación positiva, de fuerza débil y se concluye que las dos clases de hojas a medida que una variable aumenta, la otra también lo hace.

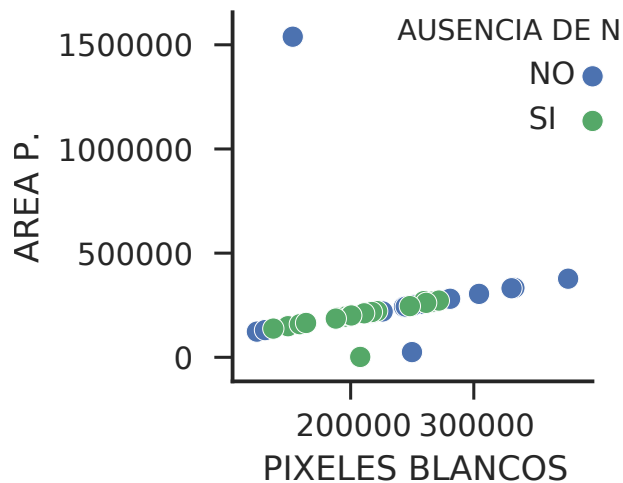


Figura 5.42: Área en px vs Px blancos. Fuente (Autores)

Gráfica adquirida de [6.1](#), donde se observa un comportamiento de correlación positiva, con una fuerza de correlación fuerte, a medida que una variable aumenta la otra también lo hace.

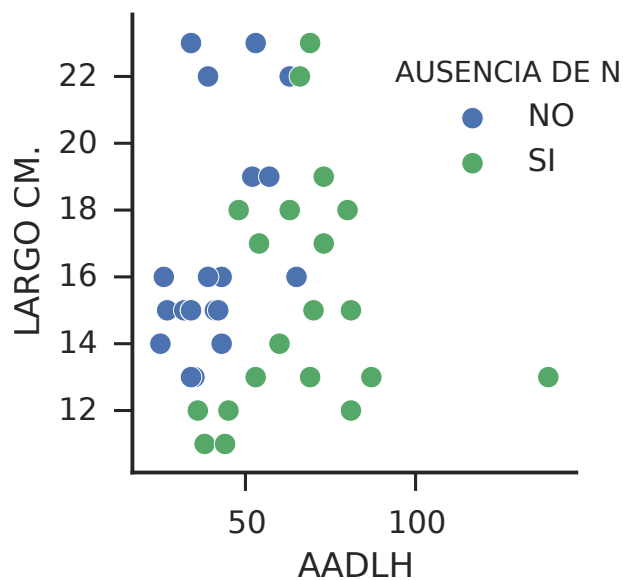


Figura 5.43: Largo cm vs AADLH. Fuente (Autores)

Gráfica tomada de [6.2](#) donde se evidencia una correlación nula no hay influencia de una variable sobre la otra.

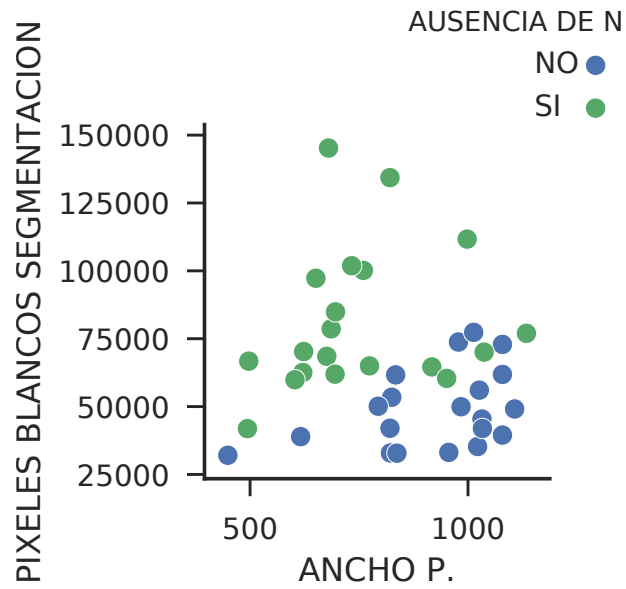


Figura 5.44: Px blancos segmentados. vs Ancho Px.. Fuente (Autores)

Gráfica adquirida de [6.1](#), donde se observa un comportamiento sin tendencia, una correlación nula, por lo que se concluye que una variable no afecta el comportamiento de la otra.

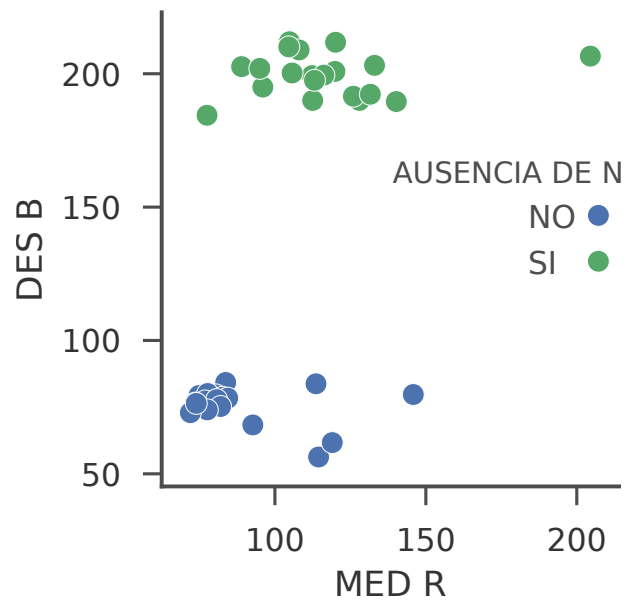


Figura 5.45: Des B vs Med R.. Fuente (Autores)

Gráfica obtenida de [6.3](#), se evidencia una correlación nula pero una clasificación de las dos clases de hojas donde se ve dos grupos separados según la case de la hoja ya sea con ausencia de nitrógeno o suficiencia de esta.

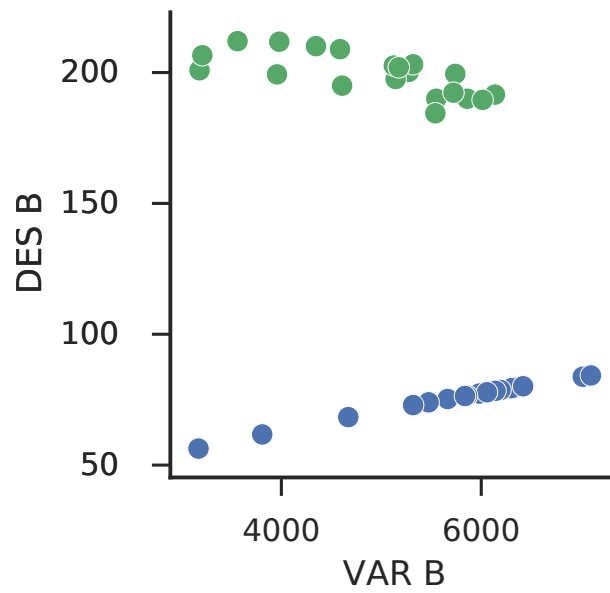


Figura 5.46: Des B vs Var B.. Fuente (Autores)

Gráfica adquirida de [6.3](#), donde se observa una correlación nula pero una clasificación de las dos clases de hojas en dos grupos de puntos.

5.1.5. Conclusiones

- El fondo sobre el que se realizó la adquisición de imágenes fue fundamental a la hora del procesamiento dado que facilitaba la segmentación de los objetos de interés.
- Luego de comparar las dos clases de hojas por medio del algoritmo, se concluye que el sistema es capaz de identificar la zona que presenta una decoloración en la hoja además de calcular el área y porcentaje que representa esta despigmentación en la hoja.
- Luego del análisis realizado a los datos obtenidos y las imágenes segmentadas, se concluye que el sistema es capaz de analizar segmentar y extraer las características foliares de las fotos tomadas por la cámara multispectral.
- Según el análisis de gráficas de las medidas estadísticas, se concluye que la desviación estándar (DES) de la componente azul (B) permite observar agrupadas y separadas las hojas según sea la clase.

Capítulo 6

Presupuesto

Para el proyecto fue asignada una cámara Parrot Sequoia, se diseñó un soporte de madera, el fondo sobre el cual se toman las fotos y se hace la compra de una powerbank para la alimentación de la cámara. Todos los valores están dados en pesos colombianos.

Tabla 6.1: Presupuesto

HERRAMIENTA	COSTO
Camara Parrot Sequoia	15'217.222
Soporte de madera	50.000
Fondo de madera	10.000
Powerbank RPL-58	95.000
Total	15'372.222

Bibliografía

- [1] Lyda M. y col. “Efecto de la aplicación de diferentes fertilizantes sobre la actividad micorrizal en”. En: *Suelos Ecuatoriales* (2011), pág. 8.
- [2] Hincapié Pedro, Andrés Rengifo Mejía y Jhon Jaiber Marín. *Determinación de curvas de extracción en la gulupa (passiflora edulis f. edulis sims) en el municipio de Sonsón, Antioquia*. Sonson, Antioquia: SENNOVA, 2018.
- [3] Ocampo Kris y Wyckhuys Jhon. *Técnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia (Passiflora edulis f. edulis Sims) Purple Passion Fruit*. Bogota: Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2012.
- [4] Marisol Cruz, Luz Marina Melgarejo y Jaime Barrera. *Nutricion Mineral*. Bogotá: Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal. Departamento de biología. Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- [5] Farias Rodriguez y col. “Los aportes de nitrógeno en la agricultura”. En: *Revista Chapingo Serie Horticultura* (2004), pág. 6.
- [6] Garcia Viviana y Marcela Camelo. *Detección e identificación de los virus patógenos de cultivos de gulupa (passiflora edulis sims) en la región del sumapaz (Cundinamarca)*. Bogota: Universidad Nacional, 2010.
- [7] Barbedo Jayme y Garcia Arnal. “A review on the main challenges in automatic plant disease identification based on visible range images”. En: *ELSEVIER* (2016), pág. 9.
- [8] W. M. Stewart. *Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes*. Inf. téc.
- [9] Deicy Castro, Guillermo Gonzalez y Arley Arcila. *Valoración de la cepa Streptomyces racemochromogenus en el cultivo de gulupa, (Passiflora Edulis f.edulis sims) como método alternativo para el control de fusarium en el Municipio de Abejorral Antioquia*. Rionegro: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2018.
- [10] Pilar Molist, Manuel A. Pombal y Manuel Megías. *Organos vegetales*. Vigo: Universidad de Vigo, 2018.
- [11] unavarra. URL: <https://www.unavarra.es/herbario/htm/hojas.htm>.

- [12] Maria Belen Acosta. *Ecologia Verde*. 2019. URL: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-hojas-2438.html>.
- [13] J. Jimenez Mateo. *Funciones, estructura y morfología de las Hojas*. 2015.
- [14] *reservaeleden*. URL: <http://reservaeleden.org/plantasloc/alumnos/manual/10-anexo-1.html>.
- [15] Fischer Gerhard y col. *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Bogotá Colombia: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, 2009.
- [16] Cárdenas Sandra y Carolina Crespo. *Análisis de aproximación proteómica en frutos de gulupa Passiflora edulis SIMS sometidos a dos temperaturas poscosecha*. Bogotá: Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [17] Potosí Carmen y col. *Manejo agronomico de la gulupa (passiflora edulis sims) en el marco de las buenas practicas agricolas (BPA)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [18] Alvarez Jhosep y col. *Identificación de potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del estado Lara, Venezuela*. Inf. téc. Lara, Venezuela, 2016.
- [19] Nicholls Miguel y Altieri Clara. “Manejo de la fertilidad de suelos e insectos plaga: armonizando la salud del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas”. En: *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. Costa Rica, 2006, págs. 1-9.
- [20] Jones Christine. *Nitrógeno la espada de doble filo*.
- [21] Luis Flores M. y Rodrigo Ortega B. “Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico”. En: *CRI Quilamapu INIA* (2018), pág. 8.
- [22] Fabio Leiva. “La agricultura de precisión: una producción mas sostenible y competitiva con visión futurista”. En: *Universidad Nacional de Colombia* (2003), pág. 8.
- [23] Garcia Fernando y Flego Emiliano. *Agricultura de Precisión*. Bogotá, 2018.
- [24] Andrea Manna. *Introducción al Procesamiento de Imágenes con Matlab 1era Parte*. Buenos Aires, 2016.
- [25] Jaume Aragonés Mora y Ferrero Sergio Luján. *Imagen digital*. Alicante: Universidad de Alicante, 2008.
- [26] *DigitalSafari*. URL: <http://digitalsafari.pbworks.com/>.
- [27] Julio. *Cuarto Informatica*. Mar. de 2017. URL: <http://cuartoinformatica.tecnosjulo.com/la-imagen-digital/>.
- [28] Leticia Flores Pulido. *Tipos de Imágenes Digitales*. Inf. téc.
- [29] José Jaime Esqueda Elizondo. *Fundamentos de Procesamiento de imágenes*. Tijuana: Universidad Autónoma de Baja California, 2002.

- [30] *Espacios de Color*. 2008, pág. 6.
- [31] Mateos Gines Garcia. *Espacios de Color y el Dominio de la frecuencia*. España: Universidad de Murcia.
- [32] Pablo Roncaglio. *Procesamiento Digital de Imagenes*.
- [33] *Imprenta*. URL: <https://www.imprentaonline.net/cmyk-2>.
- [34] *Latelierducable*. URL: <http://www.latelierducable.com/tv-televiseur/yuv-420-ycbcr-422-rgb-444-cest-quoi-le-chroma-subsampling/>.
- [35] Raul Gonzalez Duque. *Python para todos*. España: Creative Commons Reconocimiento 2.5 España.
- [36] Eugenia Bahit. *Introduccion al lenguaje python*. Creative Commons Atribución 4.0., 2018.
- [37] EBook Gratis. *Aprendizaje OpenCV*. 2015.
- [38] J. González, G. Ambrosio y V. M. Arévalo. “La librería de visión artificial opencv”. En: (2002), pág. 6.
- [39] Federico Raika. *Novedad 23*. Sep. de 2016. URL: [2016](#).
- [40] Manuel Martin Ortiz. *Procesamiento Digital de Imagenes*. Puebla, 2013.
- [41] *Segmentacion de Imagenes*. Inf. téc.
- [42] *Unypython*. 2018. URL: <https://unipython.com/transformaciones-morfologicas/>.
- [43] *Acodigo*. 2017. URL: <http://acodigo.blogspot.com/2017/04/opencv-operaciones-morfologicas.html>.
- [44] *TecniTop*. URL: <https://tecnitop.com/es/analizamos-la-camara-con-sensor-multiespectral-sequoia/>.
- [45] and Wang Ke Sun Yuanyuan y Chen Lisu. “Rapid diagnosis of nitrogen nutrition status in rice based on static scanning and extraction of leaf and sheath characteristics”. En: *ELSEVIER* (2017), pág. 7.
- [46] *Hispadrones*. URL: <http://hispadrones.com>.
- [47] *Catalogo de visualización de datos*. URL: https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama_de_dispersion.html.

Se recordara el significado de los acrónimos que se encontraran a continuación

PERI Px. = Perímetro en píxeles.

ANCHO CM = Ancho de la hoja en centímetros.

MED = Media aritmética de cada componente (RGB) de la imagen.

VAR = Varianza de cada componente (RGB) de la imagen.

DES = Desviación estándar de cada componente (RGB) de la imagen.

PDLHA = Porcentaje de la hoja afectada.

AADLH = Área afectada de la hoja.

Tabla 6.2: Vector de características sección píxeles

AUSENCIA DE N	PIXELES BLANCOS	AREA Px.	PERI Px.	LARGO Px.	ANCHO Px.	PIXELES BLANCOS SEGMENTACION
NO	123870	123209	2035	542	956	33127
NO	152973	1538881	2645	585	616	38915
NO	130436	130527	2021	557	449	32067
NO	304262	304446	3256	696	825	53442
NO	332968	333118	3278	696	822	32903
NO	376603	377336	3095	694	834	61668
NO	256467	256539	3261	662	1022	35284
NO	262468	263009	2888	626	837	32836
NO	264949	265130	3193	690	821	42018
NO	280041	280166	2932	667	794	50132
NO	330655	331467	3512	681	978	73775
NO	249804	24991	2888	650	1032	45402
NO	267072	267199	3272	690	1026	56051
NO	243304	242453	2989	654	1033	41942
NO	280780	280950	3238	694	1013	77344
NO	250667	248927	3051	968	1079	72904
NO	225980	220061	2698	941	1079	61841
NO	217972	215369	2673	947	1079	39499
NO	213909	212130	2701	632	984	49942
NO	244742	243350	2444	981	1107	49118
SI	221534	221743	2764	603	680	145242
SI	215625	215691	2596	631	621	62556
SI	198836	199014	3045	580	623	70279
SI	207786	1815	7556	650	774	64992
SI	194324	194284	2885	625	917	64606
SI	149093	149247	2060	550	497	66739
SI	217265	217317	2677	625	1037	70071
SI	189342	189509	2503	626	651	97279
SI	158726	158887	2467	583	603	59880
SI	210953	211116	2691	616	676	68518
SI	137191	137805	2272	561	494	41883
SI	163794	164854	2469	519	821	134346
SI	200195	200337	3104	658	686	78632
SI	200531	200834	2975	662	695	61947
SI	266024	266864	3212	683	760	100171
SI	259530	269689	2758	672	696	84887
SI	271625	272341	2881	656	733	101884
SI	261322	261409	2901	682	998	111699
SI	187939	185821	2329	656	951	60406
SI	248067	245762	2669	934	1134	76990

Tabla 6.3: Vector de características sección centímetros

AUSENCIA DE N	AREA CM.	PERI CM.	ANCHO CM.	LARGO CM.	AADLH	PDLHA
NO	161	73	25	14	43	27
NO	139	74	15	13	35	25
NO	139	65	11	13	34	24
NO	246	87	18	16	43	17
NO	272	93	18	15	27	10
NO	320	68	21	19	52	16
NO	192	88	21	16	26	14
NO	202	80	19	14	25	12
NO	202	87	18	15	32	16
NO	217	78	19	16	39	18
NO	290	101	23	16	65	22
NO	186	78	22	15	34	18
NO	196	88	22	15	41	21
NO	197	72	25	15	34	17
NO	208	87	21	19	57	27
NO	217	89	24	22	63	29
NO	193	79	25	23	53	27
NO	185	74	23	23	34	18
NO	182	67	21	15	42	23
NO	193	68	23	22	39	20
SI	212	85	18	13	139	66
SI	131	61	11	11	38	29
SI	125	74	11	11	44	35
SI	212	177	17	22	66	31
SI	158	81	20	13	53	34
SI	154	63	16	13	69	45
SI	187	77	30	14	60	32
SI	169	74	17	13	87	51
SI	194	86	22	17	73	38
SI	139	69	14	12	45	32
SI	117	65	11	12	36	31
SI	99	54	18	12	81	82
SI	138	81	14	17	54	39
SI	155	75	14	18	48	31
SI	212	75	16	18	80	38
SI	194	70	16	18	63	32
SI	186	65	16	15	70	38
SI	189	77	21	15	81	43
SI	227	54	25	19	73	32
SI	222	79	26	23	69	31

Tabla 6.4: Vector de características sección medidas estadísticas

AUSENCIA DE N	MED R	MED G	MED B	VAR R	VAR G	VAR B	DES R	DES G	DES B
NO	114.47	50.74	216.61	1144.62	1226.75	3170.9	33.83	35.02	56.31
NO	92.68	30.24	211.52	1335.97	1013.11	4669.53	36.55	31.83	68.33
NO	119	55	211.98	1634.73	1137.97	3808.5	40.43	33.73	61.71
NO	145.84	68.63	182.38	4802.49	1522.59	6359	69.3	39.02	79.74
NO	113.61	44.92	165	2991.44	1249.78	7015.86	54.69	35.35	83.76
NO	83.7	49.76	159.03	2158	1265	7097	46.46	35.57	84.25
NO	74.84	32.19	179.31	1656.26	1289.37	6297.46	41.91	35.91	79.36
NO	80.42	33.17	177.25	2091.29	1235.33	6336	45.73	35.15	79.6
NO	77.62	31.24	178.38	1817	1143	6301.5	42.63	33.81	79.38
NO	77.72	35	177.31	1755	1164	6418.81	41.89	34.13	80.12
NO	82.53	43.74	165.77	2312.73	1330.14	6192.94	48	36.47	78.7
NO	84.28	35.58	182	1545.31	1073.23	6095.42	39.31	32.76	78.07
NO	84.37	34.3	180.21	1456.23	1114.84	6142.98	38.16	33.39	78.38
NO	76.88	30.5	184.54	1240.9	1029.92	5979.96	35.23	32	77.33
NO	80.71	38	180	1409.62	1102.31	6057.46	37.54	33.2	77.83
NO	82	36	184	1755	1153	5663.27	41.89	33.97	75.25
NO	77.61	29.15	187.9	1230.31	999.5	5473.28	35	31.61	73.98
NO	73.68	27.31	187.71	1197	901.5	5858	34.6	30	76.54
NO	72	28.39	191.52	1135.5	985	5318.29	22.7	31.38	72.93
NO	73.95	29	182.42	1318.6	963.26	5836.84	36.31	31	76.4
SI	112.33	59.32	199.3	1685.98	1025.86	3956.74	112.33	59.32	199.3
SI	112.51	50	190	2254.77	1055.71	5550.3	112.51	50	190
SI	105.69	55.77	200.28	2286.56	1650.77	5275.8	105.69	55.77	200.28
SI	119.88	69.71	200.87	1575.55	2177.65	3181.41	119.88	69.71	200.87
SI	96	49.87	195	1490.47	1196	4608	96	49.87	195
SI	104.8	60	212	1579	927	3561.37	104.8	60	212
SI	116.23	42.47	199.49	2231.11	810.19	5740.42	116.23	42.47	199.49
SI	108	42.43	208.93	1781.41	1107.87	4586.86	108	42.43	208.93
SI	104.59	39.39	210.08	2003.43	1030.84	4346.4	104.59	39.39	210.08
SI	113.12	59.17	197.54	1874	1073	5143.28	113.12	59.17	197.54
SI	120.1	60.82	211.8	1817.58	1120.78	3979.12	120.1	60.82	211.8
SI	204.49	65.14	206.61	5652.85	1365.74	3209.39	204.49	65.14	206.61
SI	88.96	54.94	202.67	1489.57	961.91	5124.89	88.96	54.94	202.67
SI	133	55.34	203.15	2783.87	1168.21	5318.36	133	55.34	203.15
SI	128	60.42	190	3400.16	1172.66	5860	128	60.42	190
SI	126	58.59	191.58	3401.85	1093.3	6136.88	126	58.59	191.58
SI	140.21	57.02	189.57	4687.35	1318.49	6013.62	140.21	57.02	189.57
SI	131.61	57.64	192.31	3628.19	1008.33	5722	131.61	57.64	192.31
SI	95	52.81	202	1476.9	1107.42	5174.9	95	52.81	202
SI	77.51	34.8	184.44	1391.81	1224.9	5540.58	77.51	34.8	184.44

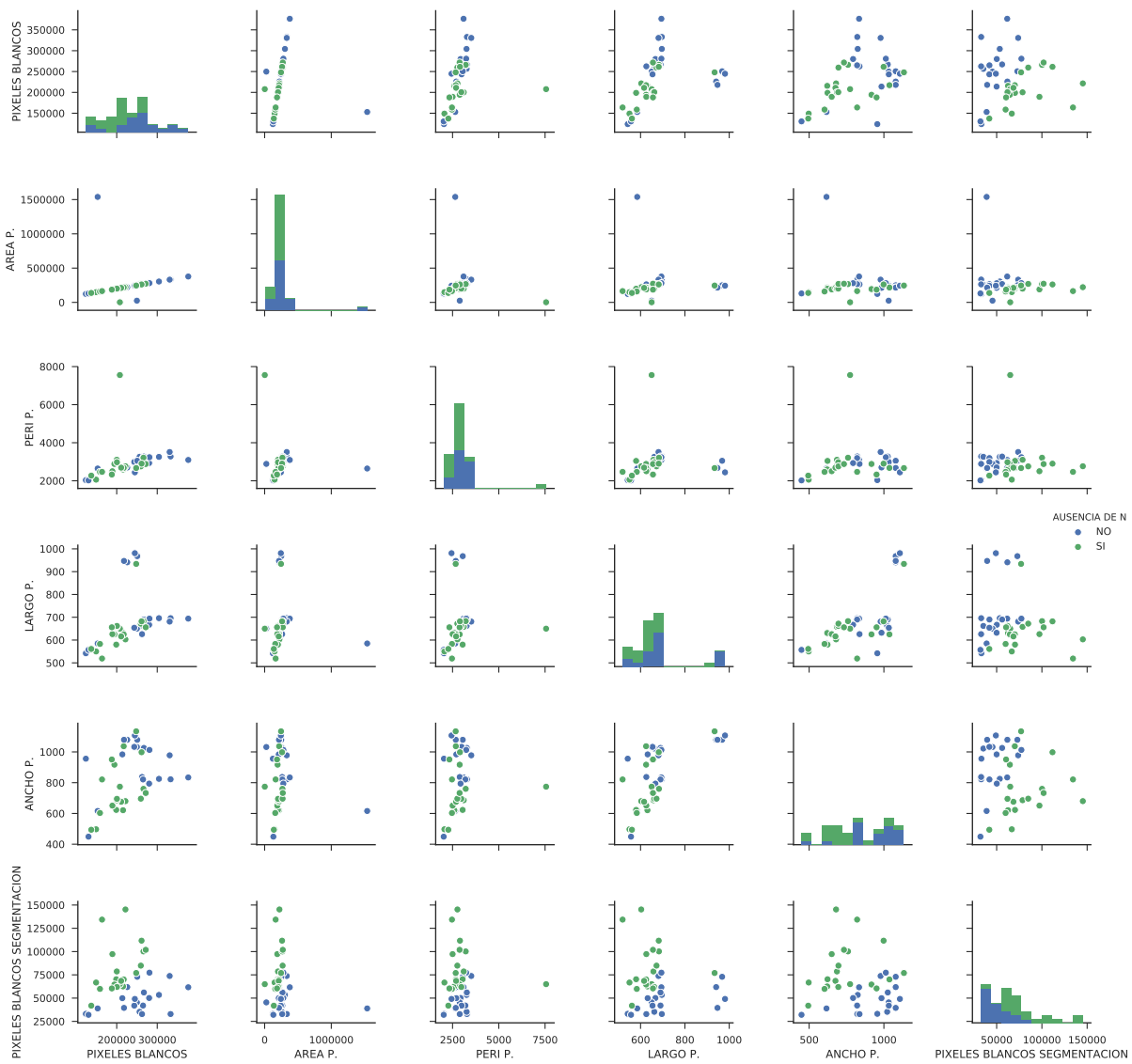


Figura 6.1: Vector de características sección píxeles. Fuente (Autores)

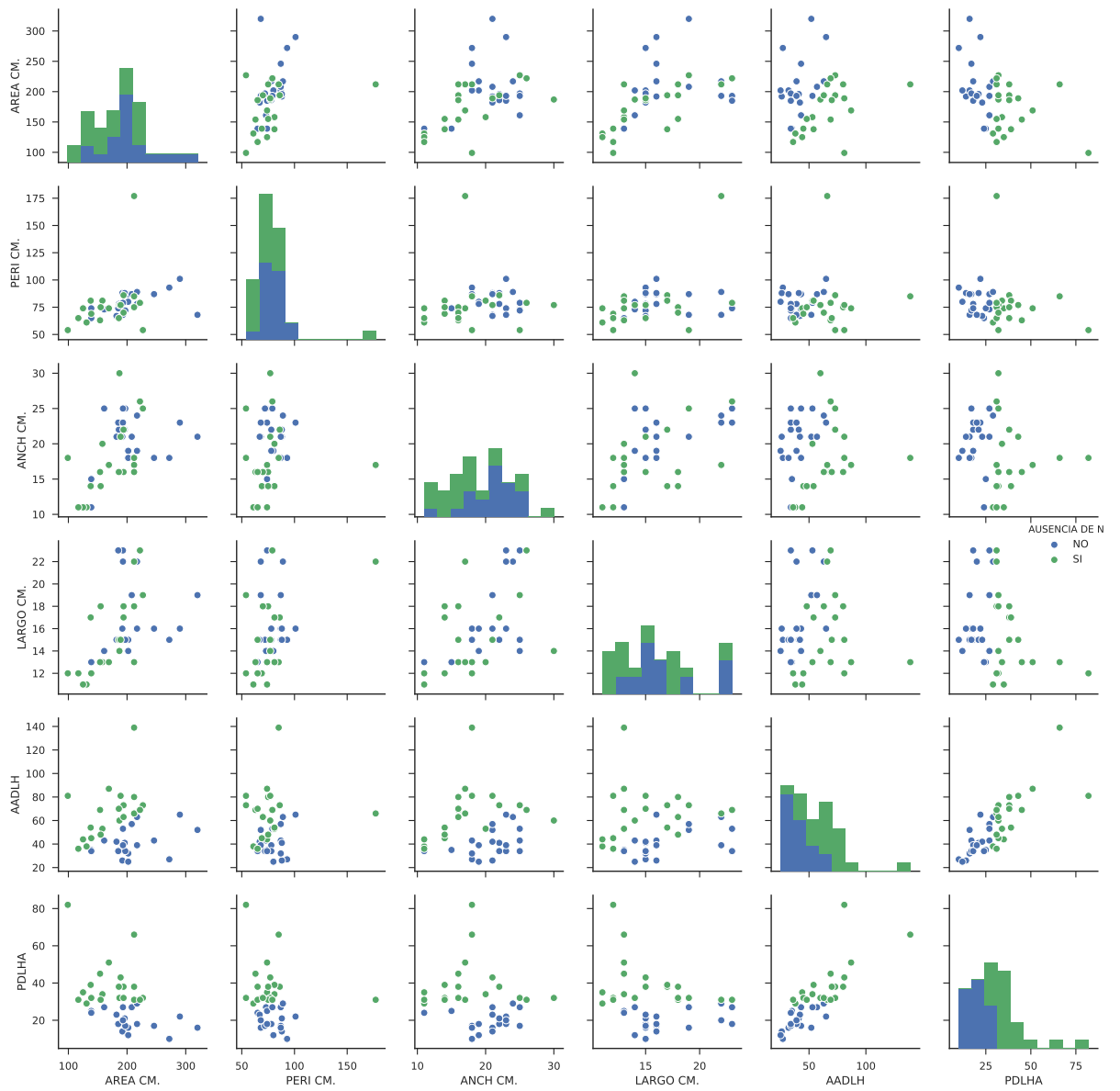


Figura 6.2: Vector de características sección centímetros. Fuente (Autores)

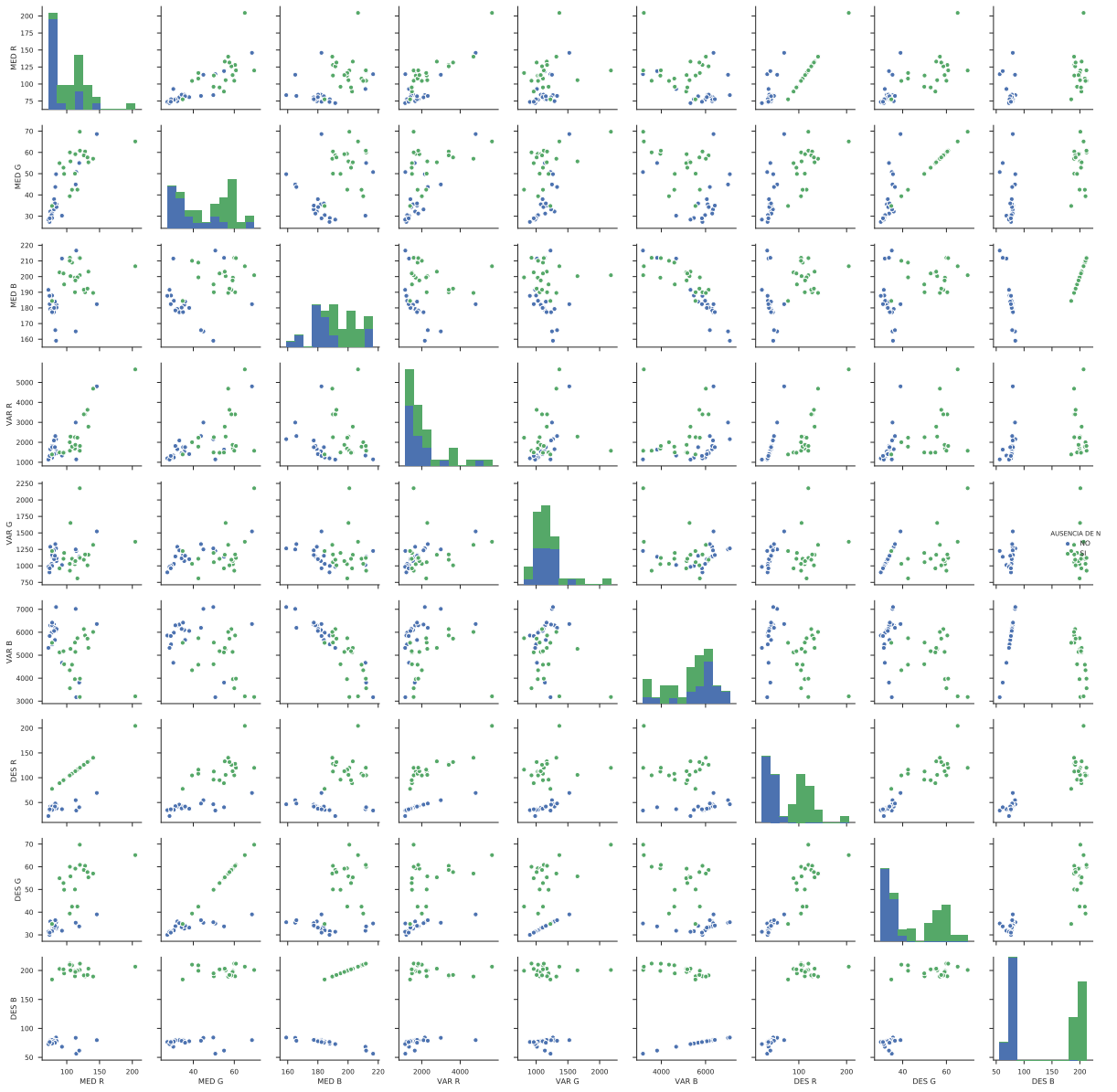


Figura 6.3: Vector de características sección medidas estadísticas. Fuente (Autores)



Figura 6.4: Clasificación de las hojas. Fuente (Autores)



Figura 6.5: Toma de imágenes en campo. Fuente (Autores)



Figura 6.6: Toma de imágenes en campo. Fuente (Autores)



Figura 6.7: Toma de imágenes en campo. Fuente (Autores)



Figura 6.8: Toma de imágenes en campo. Fuente (Autores)

```
1 import numpy as np
2 from matplotlib import pyplot as plt
```

```

3 import cv2
4 import sys
5 import argparse
6 import glob
7 from math import sqrt
8 #####
9 ####
10 ####
11 def kill(imagen):
12     # Normalizar ventanas
13     cv2.namedWindow('imagen',cv2.WINDOW_NORMAL)
14     cv2.namedWindow('imabgr',cv2.WINDOW_NORMAL)
15     cv2.namedWindow('mascara',cv2.WINDOW_NORMAL)
16     cv2.namedWindow('closingho',cv2.WINDOW_NORMAL)
17     cv2.namedWindow('openingcua',cv2.WINDOW_NORMAL)
18     cv2.namedWindow('imaseg',cv2.WINDOW_NORMAL)
19     cv2.namedWindow('median',cv2.WINDOW_NORMAL)
20     cv2.namedWindow('cannyseg',cv2.WINDOW_NORMAL)
21     ####
22     ####
23     # Cambio de espacio de color de RGB a BGR
24     ####
25     ####
26     cv2.imshow('imagen',imagen)
27     imabgr=cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_RGB2BGR)
28     cv2.imshow('imabgr', imabgr)
29     # Propiedades de la imagen, como se sabe la imagen es una matriz
        compuesta por filas columnas y canales donde cada uno de estos
        canales
30     # son sus componentes respectivamente
31     fil , col, ch= imabgr.shape
32     r,g,b = cv2.split(imagen)
33
34     ####
35     #Calculo de la media de cada componente
36     meanr=np.mean(r)
37     meang=np.mean(g)
38     meanb=np.mean(b)
39     print 'el valor medio de R es: {0:.2f}'.format(meanr)
40     print 'el valor medio de G es: {0:.2f}'.format(meang)
41     print 'el valor medio de B es: {0:.2f}'.format(meanb)
42     ####
43     #Calculo de la varianza de cada componente
44     varianzar=np.var(r)
45     varianzag=np.var(g)
46     varianzab=np.var(b)
47     print 'el valor de la varianza de R es: {0:.2f}'.format(varianzar)
48     print 'el valor de la varianza de G es: {0:.2f}'.format(varianzag)
49     print 'el valor de la varianza de B es: {0:.2f}'.format(varianzab)

```

```

50 #####
51 #Calculo de la desviacion estandar
52 desvestr=np.std(r)
53 desvestg=np.std(g)
54 desvestb=np.std(b)
55 print 'el valor de la desviacion estandar de R es: {0:.2f}'.format(
    desvestr)
56 print 'el valor de la desviacion estandar de G es: {0:.2f}'.format(
    desvestg)
57 print 'el valor de la desviacion estandar de B es: {0:.2f}'.format(
    desvestb)
58 #####
59 ###
60 # Aplicamos una segmentacion por umbralizacion directamente sobre la
    imagen BGR, esto con el fin
61 # de distinguir de una manera mas facil los dos objetos de interes,
    en este caso la hoja y el cuadrado; los vales de umbralizacion
62 # utilizados se observaron mediante la herramienta editora de
    imagenes GIMP
63 #####
64 #####
65 _,mascara=cv2.threshold(imabgr,170,255,cv2.THRESH_BINARY)
66 cv2.imshow('mascara',mascara)
67 #####
68 #####
69 # Luego de aplicar la umbralizacion y observar que los objetos de
    interes pueden seperarse individualmente, se realiza una
    segmentacion
70 # sobre la imagen resultante y se separan los objetos de interes
71 #####
72 #####
73 #Segmentacion solo de la hoja
74 imasegho=np.ones([fil,col],np.uint8)
75 for i in range(fil):
76     for j in range (col):
77         if mascara[i ,j,0]==0 and mascara[i ,j,1]==0 and mascara[i ,j
            ,2]==0:
78             imasegho[i,j]=255;
79         else:
80             imasegho[i,j]=0;
81 #####
82 #####
83 # se realiza la trasformacion de Caracteristicas morfologicas como
    erode-open y closin, herramientas que se
84 # uilizan con el fin de mejorar la calidad de la imagen y limpiarla
    del ruido que quede luego de la segmentacion
85 #####
86 #####
87 #EROSION hoja

```

```

88 kernel = np.ones((3,3),np.uint8)
89 erosionho = cv2.erode(imasegho,kernel,iterations = 1)
90 #####
91 #OPENING hoja quita puntos blancos fuera de lo segmentado
92 openingho = cv2.morphologyEx(erosionho, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
93 #####
94 #Closing hoja quita puntos negros dentro de lo segmentado
95 kernelclos= np.ones((3,3),np.uint8)
96 kernelcloss= np.ones((7,7),np.uint8)
97 closingho = cv2.morphologyEx(openingho, cv2.MORPH_CLOSE, kernelclos)
98 closingho = cv2.morphologyEx(openingho, cv2.MORPH_CLOSE, kernelcloss
99 )
100 cv2.imshow('closingho',closingho)
101 # Pixeles Blancos en la hoja: esto se realiza con el fin de saber la
102 cantidad de pixeles blancos que contiene la segmentacion de la hoja
103 # para mas adelante utilizar este valor con el fin de encontrar el
104 area afectada de la hoja
105 blancosho=0;
106 for i in range(fil):
107     for j in range (col):
108         if closingho[i ,j]==255:
109             blancosho=blancosho+1;
110 print'la cantidad de pixeles blancos de la hoja son:' + str(int(
111     blancosho))
112 #####
113 #####
114 #Seleccion de borde hoja: Esta funcion permite dibujar el contorno
115 exterior de la hoja segmentada anteriormente
116 cannyho = cv2.Canny(closingho, 100, 150,)
117 cv2.imshow("cannyho", cannyho)
118 #####
119 #Encontrar Contornos hojas: contoursho realiza una busqueda de
120 figuras que se encuentren en la imagen segmentada, donde cuyo
121 proposito
122 # es hallar el area de cada una estas.
123 (contoursho,_) = cv2.findContours(cannyho.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL,
124     cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
125 #numero de formas
126 #print'numero de formas: {0:.2f}'.format(len(contoursho))
127 #####
128 #####
129 areaho = []
130 perimeterho = []
131 #Dibujar Contornos: Parte fundamental del codigo donde el
132 condicional for se encarga de asignar a la
133 # variable cntho los valores dados por contoursho; en el caso de que
134 contoursho encuentre mas de una forma,
135 # cntho almacena y agrupa cada valor en dos listas(array) una es el

```

```

    area y otra el perimetro, cntho organizar los valores de areas y
    perimetros
127 # dados por contoursho para luego hallar el valor maximo dentro de
    estas listas, ese valor maximo sera el area y perimetro de la hoja
128 #
129 #####
130 for cntho in contoursho:
131     perimeterho.append(cv2.arcLength(cntho,True))
132     perimetromaxi = max(perimeterho)
133     areaho.append(cv2.contourArea(cntho))
134     areamaxima = max(areaho)
135     areareal=round(areamaxima)
136     perimeterreal=round(perimetromaxi)
137     print 'el area de la hoja en pixeles es: {0:.2f}'.format(areareal)
138     print 'el perimetro de la hoja en pixeles es: {0:.2f}'.format(
        perimeterreal)
139 #####
140 # Puntos Extremos
141 #####
142 #superior
143 i = 0
144 j = 0
145 superiorho = []
146 romper = 0
147 for i in range(fil):
148     for j in range (col):
149         if closingho[i ,j]==255:
150             superiorho=[i,j]
151             romper = 1
152             break
153         if romper==1:
154             break
155 #print'la posicion superior es :', superiorho
156 #####
157 #inferior
158 i = fil
159 j = col
160 romper = 0
161 inferiorho = []
162 for i in range(fil-1,0,-1):
163     for j in range (col-1,0,-1):
164         if closingho[i,j]==255:
165             inferiorho = [i,j]
166             romper = 1
167             break
168         if romper==1:
169             break
170 #print'la posicion inferior es :', inferiorho
171 #####

```



```

172 #izquierda
173 romper = 0
174 izquierdoho = []
175 for j in range(col):
176     for i in range (fil):
177         if closingho[i,j]==255:
178             izquierdoho = [i,j]
179             romper = 1
180             break
181         if romper==1:
182             break
183 #print 'la posicion izquierda es :', izquierdoho
184 #####
185 #derecho
186 i = fil
187 j = col
188 romper = 0
189 derechoho = []
190 for j in range(col-1,0,-1):
191     for i in range (fil-1,0,-1):
192         if closingho[i,j]==255:
193             derechoho = [i,j]
194             romper = 1
195             break
196         if romper==1:
197             break
198 #print'la posicion derecha es :', derechoho
199
200 # Puntos extremos: al ser la hoja una forma irregular se busca hallar
201     los puntos extremos de la hoja
202 # de la izquierda la derecha, arriba y abajo, para luego mediante la
203     ecuacion de la distancia entre dos puntos hallar el largo y
204     # ancho de la hoja
205 #####
206 #largo de la hoja
207 largoho=sqrt(((inferiorho[0]-superiorho[0])**2)+((inferiorho[1]-
208     superiorho[1])**2))
209 largoho=round(largoho)
210 #if largoho < 10:
211     # largoho = largoho + 550
212 print 'el largo de la hoja en pixeles es: ', largoho
213 #####
214 # Ancho de la hoja en pixeles
215 anchoho=sqrt(((izquierdoho[0]-derechoho[0])**2)+((izquierdoho[1]-
216     derechoho[1])**2))
217 anchoho=round(anchoho)
218 #if anchoho < 10:
219     # anchoho = anchoho + 490
220 print 'el ancho de la hoja en pixeles es: ', anchoho

```

```

217 #####
218 #####
219 #segmentacion imagen para visualizar el estado de nitrogeno en la
    hoja: segmentacion de la imagen en bgr donde se busca
220 #mediante condicionales de las componentes de la imagen segmentar el
    area que muestre la decoloracion esta area se resalta de color
    blanco
221 imaseg=np.ones([fil,col],np.uint8)
222 for i in range(fil):
223     for j in range (col):
224         if imabgr[i,j,0]>=90 and imabgr[i,j,0]<=190 and imabgr[i,j
    ,2]>=30 and imabgr[i,j,2]<=80 : #90,190 ima[i,j]>=85 and r[i,j
    ]<=190
225             imaseg[i,j]=255
226         else:
227             imaseg[i,j]=0;
228 cv2.imshow('imaseg',imaseg)
229 #####
230 # Conteo de pixeles blancos: En esta seccion se realiza el conteo de
    pixeles blancos dentro de la imagen segmentada ya que estos
231 # son los que identifican la zona de decoloracion en la hoja, la
    varibale blancoshoseg se utiliza mas adelante con el proposito
232 # de hallar el area afectada de la hoja en cm
233 blancoshoseg=0;
234 for i in range(fil):
235     for j in range (col):
236         if imaseg[i,j]==255:
237             blancoshoseg=blancoshoseg+1;
238 print'la cantidad de pixeles blancos de la hoja seg son:' + str(int(
    blancoshoseg))
239 #####
240 #####
241 # Se realiza una umbralizacion a la imagen segmentada con el fin de
    resaltar y diferenciar mas los pixeles blancos con los negros
242 _,mask=cv2.threshold(imaseg,120,240,cv2.THRESH_BINARY)
243 #####
244 #####
245 #Filtros: El filtro de media permite mejorar la calidad de la imagen
246 #####
247 median=cv2.medianBlur(mask,3)
248 cv2.imshow('median',median)
249 #####
250 #####
251 #Bordes Se usa de nuevo canny para poder dibujar el contorno externo
    de la hoja y el contorno interno que serian las areas
252 #que presenten alguna afectacion en la hoja
253 cannyseg = cv2.Canny(median, 50, 150,) #50,150
254 cv2.imshow("cannyseg", cannyseg)
255 #####

```

```

256 #####
257 #Segmentacion solo del cuadrado: Se separa el cuadrado de la imagen
    debido a que este funciona como referencia en cm de un area, largo
258 #y perimetro conocido
259 imasegcua=np.ones([fil,col],np.uint8)
260 for i in range(fil):
261     for j in range (col):
262         if mascara[i ,j ,0]==0 and mascara[i ,j,1]==0 and mascara[i ,j
,2]>=253:
263             imasegcua[i,j]=255;
264         else:
265             imasegcua[i,j]=0;
266 #####
267 #####
268 #Caracteristicas morfologicas erode-open
269 #EROSION cuadrado
270 kernelcua = np.ones((7,7),np.uint8)
271 erosioncua = cv2.erode(imasegcua,kernelcua,iterations = 1)
272 #####
273 #OPENING cuadrado
274 openingcua = cv2.morphologyEx(erosioncua, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
275 cv2.imshow('openingcua',openingcua)
276 #####
277 #####
278 #Pixeles blancos en el cuadrado
279 blancoscua=0;
280 for i in range(fil):
281     for j in range (col):
282         if imasegcua[i ,j]==255:
283             blancoscua=blancoscua+1;
284 #print'la cantidad de pixeles blancos del cuadrado son:' + str(int(
    blancoscua))
285 #####
286 #####
287 #Seleccion borde del cuadrado
288 cannycua = cv2.Canny(openingcua, 50, 150,)
289 #####
290 #####
291 #Encontrar Contornos cuadrado
292 (contourscua,_) = cv2.findContours(cannycua.copy(), cv2.
    RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
293 #####
294 #numero de formas
295 #print'numero de formas: {0:.2f}'.format(len(contourscua))
296 #####
297 areacua = []
298 perimetercua = []
299 superioroor = []
300 inferioroor = []

```

```

301 derechoo = []
302 izquierdoo = []
303 #
304 #Dibujar Contornos
305 for cntcua in contourscua:
306     perimetercua.append(cv2.arcLength(cntcua,True))
307     perimaxcua = max(perimetercua)
308     areacua.append(cv2.contourArea(cntcua))
309     areamaxiacua = max(areacua)
310     areacua=round(areamaxiacua)
311     perimetercua=round(perimaxcua)
312     #####
313     #####
314     print 'el area del cuadro en pixeles es: {0:.2f}'.format(areacua)
315     print 'el perimetro del cuadro en pixeles es: {0:.2f}'.format(
316         perimetercua)
317     #####
318     # Puntos Extremos
319     #####
320     #superior
321     i = 0
322     j = 0
323     superiorcua = []
324     romper = 0
325     for i in range(fil):
326         for j in range (col):
327             if openingcua[i ,j]==255:
328                 superiorcua=[i,j]
329                 romper = 1
330                 break
331             if romper==1:
332                 break
333     #print'la posicion superior es :', superiorcua
334     #####
335     #inferior
336     i = fil
337     j = col
338     romper = 0
339     inferiorcua = []
340     for i in range(fil-1,0,-1):
341         for j in range (col-1,0,-1):
342             if openingcua[i,j]==255:
343                 inferiorcua = [i,j]
344                 romper = 1
345                 break
346             if romper==1:
347                 break
348     #print'la posicion inferior es :', inferiorcua
349 #izquierda

```

```

349 romper = 0
350 izquierdocua = []
351 for j in range(col):
352     for i in range (fil):
353         if openingcua[i,j]==255:
354             izquierdocua = [i,j]
355             romper = 1
356             break
357         if romper==1:
358             break
359 #print 'la posicion izquierda es :', izquierdocua
360 #####
361 #derecho
362 i = fil
363 j = col
364 romper = 0
365 derechocua = []
366 for j in range(col-1,0,-1):
367     for i in range (fil-1,0,-1):
368         if openingcua[i,j]==255:
369             derechocua = [i,j]
370             romper = 1
371             break
372         if romper==1:
373             break
374 #print'la posicion derecha es :', derechocua
375
376 #Largo del cuadrado en pixeles
377 largocua=sqrt(((superiorcua[0]-inferiorcua[0])**2)+((superiorcua[1]-
inferiorcua[1])**2))
378 largocua=round(largocua)
379 print 'el largo del cuadrado en pixeles es:', largocua
380 #####
381 # Ancho del cuadrado en pixeles
382 anchocua=sqrt(((derechocua[0]-izquierdocua[0])**2)+((derechocua[1]-
izquierdocua[1])**2))
383 anchocua=round(anchocua)
384 print 'el ancho del cuadrado en pixeles es: ', anchocua
385 #####
386 #####
387 #Area del cuadrado en cm
388 areacuadrado= 25
389 #print 'el area del cuadrado en centimetros cuadrados es:',
areacuadrado
390 #####
391 #Perimetro del cuadrado en cm
392 perimetrocadrado= 20
393 #print 'el perimetro del cuadrado en centimetros es:',
perimetrocadrado

```

```

394 #####
395 #ancho del cuadrado
396 anchocuadrado=5
397 #print 'el ancho del cuadrado en cm es:', anchocuadrado
398 #####
399 #largo del cuadrado
400 largocuadrado=5
401 #print 'el largo del cuadrado en cm es:', largocuadrado
402
403 #####
404 #Calculo del area de la hoja en cmsuperiorho: (400, 669)
405 centimetrosho=areareal*areacuadrado
406 centimetrosho=round(centimetrosho/areacua)
407 #if centimetrosho>1000:
408 # centimetrosho=centimetrosho/10000
409 print 'el area de la hoja en centimetros cuadrados es: {0:.0f}'.
    format(centimetrosho)
410 #####
411 #Calculo del perimetro de la hoja cm
412 perimetroho=perimeterreal*perimetrocuadrado
413 perimetroho= round( perimetroho/perimetercua)
414 print 'el perimetro de la hoja en centimetros es: {0:.2f}'.format(
    perimetroho)
415 #####
416 #Ancho de la hoja en cm
417 ancmho=anchoho*anchocuadrado
418 ancmho=round(ancmho/anchocua)
419 #if ancmho>100:
420 # ancmho=ancmho/10
421 print 'el ancho de la hoja en cm es:', ancmho
422 #####
423 #largo de la hoja en cm
424 lacmho=largohe*largocuadrado
425 lacmho=round(lacmho/largocua)
426 #if lacmho>100:
427 # lacmho=lacmho/10
428 print 'el largo de la hoja en cm es:', lacmho
429 #####
430 #Area afectada de la hoja
431 areainfectada=(blancoshoseg*centimetrosho)
432 areainfectada=round(areainfectada/blancosho)
433 #if areainfectada>1000:
434 # areainfectada=areainfectada/10000
435 print 'El area afectada de la hoja en cm cuadrados es: {0:.0f}'.
    format(areainfectada)
436 #####
437 # Porcentaje de area afectada en la hoja
438 porcentaje=areainfectada*100
439 porcentaje=round(porcentaje/centimetrosho)

```

```
440 print 'El porcentaje de la hoja que presenta deficiencia de N es el
      : {0:.0f}'.format(porcentajem)
441
442 #####
443 def main (argv):
444 #Cargar Imagen
445 iimagen=cv2.imread(sys.argv[1])
446 width, height = 1080, 720
447 iimagen=cv2.resize(iimagen,(width,height), interpolation=cv2.
      INTER_LINEAR)
448 kill(iimagen)
449 #####
450 #####
451 main(sys.argv[1])
452 #####
453 #####
454 cv2.waitKey(0)
455 cv2.destroyAllWindows()
```