

	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 7

Código de la dependencia.

FECHA	viernes, 30 de agosto de 2019
--------------	-------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

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

TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
--------------------------	------------------

FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
-----------------	------------------------

NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Maestría
---	----------

PROGRAMA ACADÉMICO	Maestría en Ciencias Ambientales
---------------------------	---

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
NIÑO GUTIERREZ	JENNIFER ANDREA	1069714880



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 7

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

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
ÁVILA VELEZ	EDIER FERNANDO

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Fijación de Agroquímicos en cultivos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) a partir de imágenes multiespectrales tomas con dron. Caso de estudio vereda Subia, Silvania – Cundinamarca

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

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
16/07/2019	99

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Plaguicida	Pesticide
2. <i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
3. Impacto ambiental	Environmental impact
4. Agroquímicos	Agrochemical,
5. Firma espectral	Spectral signature
6.	

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 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Esta investigación se centra en el estudio de la identificación de los porcentajes de agroquímicos que se fijan en los subsistemas del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), desarrollada en el departamento de Cundinamarca, municipio Sylvania, vereda de Subia, finca piloto Maporita, a través de la implementación de nuevas tecnologías, relacionadas con la agricultura de precisión, mediante la utilización de dron y cámara multispectral, haciendo uso de las fotografías multispectrales donde se estableció la firma espectral relacionada al agroquímico aplicado en el cultivo de frijol, procesando imágenes con el software Pix4D, ArcGIS y QGIS, obteniendo como resultado la reflectividad espectral de la incidencia porcentual de los agroquímicos, generando una serie de análisis, conclusiones y recomendaciones objetivas en pro de determinar el impacto ambiental que esto supone.

This research focuses on the study of the identification of the percentages of agrochemicals that are fixed in the subsystems of the bean crop (*Phaseolus vulgaris*), developed in the department of Cundinamarca, Sylvania municipality, Subia village, Maporita pilot farm, Through the implementation of new technologies, related to precision agriculture, through the use of multispectral drone and camera, making use of the multispectral photographs where the spectral signature related to the agrochemical applied in the bean crop was established, processing images with the software Pix4D, ArcGIS and QGIS, obtaining as a result the spectral reflectivity of the percentage incidence of agrochemicals, generating a series of analyzes, conclusions and objective recommendations in order to determine the environmental impact that this entails.



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 7

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

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

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

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



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 7

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

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

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

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



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 7

patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

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

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

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



MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CÓDIGO: AAAr113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 7 de 7



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



Nota:

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

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

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. NiñoJennifer2019.pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

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

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Niño Gutiérrez Jennifer Andrea	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).

Fijación de Agroquímicos en cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) a partir de imágenes multiespectrales tomas con drone. Caso de estudio vereda Subia, Sylvania – Cundinamarca

Jennifer Andrea Niño Gutiérrez

Universidad de Cundinamarca - UdeC

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Maestría en Ciencias Ambientales – Cohorte 1

Fusagasugá, Cundinamarca

2019

Fijación de Agroquímicos en cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) a partir de imágenes multiespectrales tomas con dron . Caso de estudio vereda Subia ,Silvania – Cundinamarca

Jennifer Andrea Niño Gutiérrez

Trabajo de Grado elaborado como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Ambientales facultad de ciencias agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca

Edier Fernando Avila Velez

Director de trabajo de grado

Magíster en Tecnologías de la información geográfica

Universidad de Cundinamarca - UdeC

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Maestría en Ciencias Ambientales – Cohorte 1

Fusagasugá, Cundinamarca

2019

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico primero a Dios, que me da la oportunidad
de tener un día más de vida cada día.

A mi mamá Mónica porque sin su amor y consejos no habría
decidió continuar con mi proceso académico.

A Juan Felipe Cardona Ospina, por ser mi brazo derecho y
mi apoyo incondicional.

A mis grandes amigos Robinson Malagón y Roland Luna.

A mi abuelita María Helena por sus bendiciones

Jennifer Andrea Niño Gutiérrez

Agradecimientos

Al Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA por el apoyo técnico y logístico en pro del desarrollo de esta investigación a través del programa SENNOVA.

A la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá y al programa de Topografía por la facilidad en el préstamo y uso de los equipos.

Al Doctor Antonio José López López que con su conocimiento y dedicación hizo posible el avance de este trabajo de grado.

A Juan Felipe porque sin su paciencia y directrices no hubiera podido culminar con éxito esta investigación

A Carlos, Roland y demás personas que aportaron un granito para cumplir los objetivos de este trabajo.

Al Ingeniero Edier Fernando Ávila Vélez que, con sus conocimientos, experiencia, orientación y gran apoyo hizo posible el alcance de este trabajo.

Tabla de contenido

Fijación de Agroquímicos en cultivos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) a partir de imágenes multiespectrales tomas con drone. Caso de estudio vereda Subia, Silvania – Cundinamarca.....	1
Lista de figuras.....	8
Lista de tablas	9
Lista de gráficas	10
Glosario.....	11
Resumen.....	14
Abstract	15
Introducción	16
Presentación	18
Capítulo I. Contexto agrícola del cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	20
1.1. Contexto agrícola del cultivo de frijol en la región del Sumapaz, Cundinamarca	20
1.2. Agroquímicos en el contexto cultural de la producción de frijol, Región del Sumapaz Cundinamarca	21
1.3. Los plaguicidas en el contexto sociocultural del mundo	22
1.4. La tecnología para el uso eficiente de los recursos	23
1.5. Agroquímicos y su Impacto en la Salud	26
1.6. De los objetivos de la investigación.....	27
Capitulo II. Tecnologías Orientadas a la Agricultura de Precisión: conceptos y normas.....	28
2.1. La Modernización como Proceso de Evolución en la Agricultura.	28
2.2. El conocimiento aplicado a la agricultura de precisión	35
2.3. La Constitución Política de Colombia y su relación con la agricultura.....	37
Capitulo III. Implementación Práctica del Proceso Investigativo	41
3.1. Delimitación de la investigación.....	41
3.2. Localización geográfica de la investigación	42
3.3. Equipos y Suministros de la Investigación	43
3.3.1. Drone phantom 4.....	43
3.3.2. Cámara multiespectral.	44
3.3.3. Software Utilizados.....	45
3.3.4. Agroquímico	48
3.4. Pruebas y protocolo.....	49
3.4.1. Selección de la población vegetal	49
3.4.2. Selección de la muestra.....	50
3.4.3. Factores condicionantes:	51
3.4.4. Puesta en funcionamiento de equipos	52
3.4.5. Aplicación de Agroquímico	55
Capitulo IV. Resultados y Discusión de la investigación	57
4.1. Base de datos de imágenes.....	57
4.2. Procesamiento de imágenes en Pix4D	59

4.3.	Procesamiento de imágenes software ArcGIS.....	63
4.4.	Detección de zonas con fijación de agroquímicos.....	67
4.5.	Firmas espectrales.....	69
4.6.	Estadística de la investigación	71
Capítulo V.	Conclusiones y Recomendaciones	73
5.1.	Conclusiones.....	73
5.2.	Recomendaciones	76
Bibliografía	79
Anexos	84
Anexo 1.	Ficha técnica estacionaria.....	84
Anexo 2.	Ficha técnica cámara multispectral Parrot Sequoia.....	85
Anexo 3.	Reporte software Pix4D	87

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio Finca Maportia, Municipio de Silvania vereda subia.....	42
Figura 2. Drone phantom 4.....	44
Figura 3. Cámara multispectral Parrot sequoia.....	45
Figura 4. Software Pix4d.....	46
Figura 5. Software ArcGis.....	47
Figura 6. Software QGIS.....	48
Figura 7. Ficha técnica del plan de vuelo.....	53
Figura 8. Plan de vuelo para toma de imágenes en cultivo de frijol.....	53
Figura 9. Vista superior de la posición inicial de la imagen. (a) La línea verde sigue la posición de las imágenes en el tiempo a partir del gran punto azul. (b) Desplazamiento entre las posiciones de la imagen inicial (puntos azules) y computadas (puntos verdes).....	54
Figura 10. Diagrama de modificación de salidas de estacionaria. a) Estacionaria. b) Manguera y lanza de fumigación. c) Boquilla. d) Unión tipo “Y”.....	55
Figura 11. Fumigación del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	56
Figura 12. (a) Posiciones de imágenes calculadas con enlaces entre imágenes coincidentes. (b) Número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico.....	59
Figura 13. (a) Ortomosaico y el modelo de superficie digital disperso (DSM) correspondiente antes de la densificación. (b) espectros utilizados Verde, Rojo, Borde rojo e Infrarrojo cercano.....	60
Figura 14. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NVDI).....	61
Figura 15. Índice Diferencia Normalizada Red Edge (NDRE).....	62
Figura 16. Índice de absorción de clorofila modificada en índice reflexivo.....	63
Figura 17. Zona de fijación de agroquímico en la banda de infrarrojo.....	65
Figura 18. Zona sin fijación sin agroquímico en la banda de infrarrojo.....	65
Figura 19. Clasificación por colores del caso de estudio cultivo de frijol.....	66
Figura 20. Área de estudio cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	67

Lista de tablas

Tabla 1. Marco Legal.....	37
Tabla 2. Marco Constitucional.....	39
Tabla 3. Productos utilizados en la mezcla de agroquímicos	48
Tabla 4. Especificaciones técnicas de la base de datos de imágenes.....	57
Tabla 5. Identificación de las zonas de estudio.....	69
Tabla 6. Tabla resumen estadístico Zona Fumigado	71
Tabla 7. Tabla resumen estadístico Zona No Fumigado.....	72
Tabla 8. Tabla resumen estadístico Zona Suelo.....	72
Tabla 9. Tabla resumen estadístico.....	72

Lista de gráficas

Gráfica 1. Clasificación de área de estudio cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	68
Gráfica 2. Firmas espectrales	70

Glosario

Agricultura de precisión: De acuerdo con los autores Salcedo A., Alfonso O., (2011), la agricultura de precisión, conocida también como agricultura específica por sitio, usa tecnologías de información espacial, tales como los sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG), para mejorar las decisiones agronómicas de diferentes cultivos. La agricultura de precisión integra diversas tecnologías para optimizar la productividad de un cultivo, al mismo tiempo que minimiza su impacto ambiental. Esta disciplina reconoce la variabilidad espacial inherente que está asociada a cada plantación o lote destinado a la producción agrícola. Una vez que se reconoce, localiza, cuantifica y registra la variabilidad espacial y temporal de cada unidad agrícola, es posible proporcionar un manejo agronómico diferenciado en cada sitio específico.

Agroquímicos y/o Plaguicidas: Según la Norma Oficial Mexicana NOM (1998) denomina agroquímico a cualquier sustancia de tipo inorgánico y orgánico utilizada en actividades agrícolas para favorecer y mejorar el desarrollo de los cultivos e incrementar su producción. Para la OPS/OMS (2011) : — Un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, también para aquellos que pueden administrarse a los animales para combatir insectos arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos"

Desarrollo sostenible: Es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, 1988)

Drone: Un drone es un sistema aéreo no tripulado que puede ser controlado remota o autónomamente. Generalmente se excluyen globos, planeadores y cometas (Gibb, 2013). Los drones que se incluyen en la propuesta son los llamados cuadricópteros lo cuales son robots aéreos multi-rotor incluidos en la clasificación de micro *UAV* con un peso menor a 1 kilogramo y alturas menores a 150 metros (Maddalon, y otros, 2013).

Firma espectral: Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular. Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes, siendo común referirse a él como “firma espectral”.

Georrectificación: según Conesa Garcia (2004) la georrectificación consiste en la toma de puntos de control en las imágenes, iguales a los de una cartografía existente para, a través de una aplicación polinómica, corregir la geometría original de las imágenes, otorgándoles la precisión geométrica de la cartografía de referencia.

Imágenes multispectrales: Existen cámaras multispectrales, estas pueden capturar hasta 6 bandas espectrales, siendo posible seleccionar diferentes bandas mediante el empleo de filtros, los procesos de toma de las imágenes son similares a los vuelos fotogramétrico, en cuanto a los aspectos relativos a la posterior corrección geométrica de las imágenes y generación de mosaicos Govender (2007) Además, el tratamiento de estas imágenes no solo precisa de corrección geométrica, sino que son necesarias operaciones de calibración radiométrica, así como las

correcciones atmosféricas necesarias para la obtención de datos validados de reflectancia y temperatura de superficie, por lo que las bandas están seleccionadas en los rangos del verde, rojo e infrarrojo cercano, donde la vegetación presenta su mayor respuesta de absorbancia y reflectancia Govender (2007)

Impacto ambiental: para el MMAE (1996), impacto ambiental es el efecto que sobre el entorno produce una determinada actuación del ser humano. Al interpretar lo expuesto por Rojas (1996), se entiende por impacto ambiental a las alteraciones que la construcción y operación de un proyecto de desarrollo introducen en el medio ambiente y las formas de evitarlas o minimizarlas. Ortega y Rodríguez (1997), por su parte, manifiestan que el impacto ambiental es la alteración del medio ambiente, resultado de una actividad y entendida como la diferencia del entorno con y sin proyecto. Por último, Zúñiga (2004), identifica al impacto ambiental como el resultado de una acción o actividad humana o fenómeno natural, interpretada como la valoración de una alteración favorable o desfavorable sobre el medio ambiente o sobre algunos componentes del medio ambiente.

Sensado remoto: el sensado remoto o la teledetección, es la técnica de adquisición y posterior tratamiento de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales (aeronaves o satélites), en virtud de la interacción electromagnética existente entre la tierra y el sensor, siendo la fuente de radiación proveniente del sol (teledetección pasiva) o del propio sensor (teledetección activa) (Iturrate Eduardo, 1998)

Resumen

Esta investigación se centra en el estudio de la identificación de los porcentajes de agroquímicos que se fijan en los subsistemas del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), desarrollada en el departamento de Cundinamarca, municipio Silvania, vereda de Subia, finca piloto Maporita, a través de la implementación de nuevas tecnologías, relacionadas con la agricultura de precisión, mediante la utilización de dron y cámara multiespectral, haciendo uso de las fotografías multiespectrales donde se estableció la firma espectral relacionada al agroquímico aplicado en el cultivo de fríjol, procesando imágenes con el software Pix4D, ArcGIS y QGIS, obteniendo como resultado la reflectividad espectral de la incidencia porcentual de los agroquímicos, generando una serie de análisis, conclusiones y recomendaciones objetivas en pro de determinar el impacto ambiental que esto supone.

Palabras clave: plaguicida, *Phaseolus vulgaris*, impacto ambiental, agroquímico, firma espectral

Abstract

This research focuses on the study of the identification of the percentages of agrochemicals that are fixed in the subsystems of the bean crop (*Phaseolus vulgaris*), developed in the department of Cundinamarca, Sylvania municipality, Subia village, Maporita pilot farm, Through the implementation of new technologies, related to precision agriculture, through the use of multispectral drone and cámara, making use of the multispectral photographs where the spectral signature related to the agrochemical applied in the bean crop was established, processing images with the software Pix4D, ArcGIS and QGIS, obtaining as a result the spectral reflectivity of the percentage incidence of agrochemicals, generating a series of analyzes, conclusions and objective recommendations in order to determine the environmental impact that this entails.

Keywords: pesticide, *Phaseolus vulgaris*, environmental impact, agrochemical, spectral signature

Introducción

El control de las diferentes plagas y enfermedades de las plantas se realiza de forma natural en un ambiente equilibrado en el que participan una gran variedad de especies tanto animales como vegetales, sin dejar de un lado diferentes microorganismos que se desarrollan a causa de esta variedad, sin embargo, obtener el mismo resultado de efectividad en cultivos extensivos y con los beneficios de los ingredientes activos de las plantas (alelopatía), es casi imposible. Consecuencia de esto, el hombre se ha visto en la obligación de crear productos que cumplan las mismas funciones, pero todos ellos derivados de químicos, de forma que realicen esta labor de forma más efectiva para lograr una mejor producción.

Al desarrollar esta investigación en la Vereda Subia del municipio de Silvania, finca piloto Maporita, era justo pensar en el sin número de impactos que se generaban, sin embargo, éstos se pudieron resumir en dos grandes áreas: inicialmente, el Impacto Ambiental derivado de las grandes cantidades de agroquímico que se fijaba en cada uno de los subsistemas a estudiar, su identificación permitió planear de forma más eficiente las técnicas necesarias para la reducción del impacto ambiental presentado por el uso de estos plaguicidas, además de conocer de primera mano las cantidades que contaminan a cada subsistema. En segundo lugar, los efectos socio-económicos, cuyo conocimiento permitió la construcción de una propuesta que optimice el uso de agroquímicos en las aplicaciones y los tiempos de las mismas, su apropiación permitió a los agricultores y jornaleros que dependen económicamente de éstas actividades entender los beneficios futuros de la implementación de la técnica propuesta, suponiendo a futuro tener beneficios monetarios y de aprovechamiento del tiempo, permitiendo compartir más tiempo con

sus familias y comunidad en general, y fortaleciendo la oportunidad de desarrollar otras actividades económicas.

Presentación

El documento presenta la estructura del informe final del proyecto de investigación ejecutado, este se ha organizado en 5 capítulos los cuales facilitan la identificación de cada proceso que se adelantó durante la investigación.

El capítulo I, Contexto agrícola del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), permite identificar la descripción de una de las problemáticas actuales de los productores de frijol tomando como piloto la finca Maporita del municipio de Silvania vereda Subia, Cundinamarca y presenta los elementos más sobresalientes del proceso de planificación de la investigación y, finalmente, se presenta y argumentan los objetivos que orientan este proyecto de investigación. Este capítulo inicia en la página 20 y finaliza en la página 27.

El capítulo II denominado Tecnologías Orientadas a la Agricultura de Precisión: conceptos y normas, abarca todo lo referente a normas, teorías y conceptos básicos relacionadas con el tema de estudio, en la problemática descrita se encuentran todos los avances tecnológicos recientes, apuntando de manera especial a la agricultura de precisión y el impacto ambiental desde la visión normativa y conceptual. Este capítulo inicia en la página 28 y finaliza en la página 40.

El capítulo III, Implementación Práctica del Proceso Investigativo, se ha elaborado con base en los resultados obtenidos dentro de la investigación, además se presenta la construcción metodológica utilizada para el desarrollo de esta. posteriormente, se presentan los lineamientos implementados para el desarrollo del proyecto tales como el tipo, enfoque conforme a su finalidad, la metodología y su alcance. Este capítulo inicia en la página 41 y finaliza en la página 56.

El capítulo IV, denominado Resultados y Discusión de la investigación, ha sido elaborado con base en los resultados obtenidos dentro del proceso de investigación y que pretende mostrar de forma objetiva cada uno de los hallazgos, evidencias, análisis y demás, encaminados a entender el impacto que se genera en los diferentes subsistemas de un cultivo de fríjol por la aplicación de agroquímicos de forma tradicional. Este capítulo inicia en la página 57 y finaliza en la página 72.

El capítulo V, denominado Conclusiones y Recomendaciones, pretende comunicar las conclusiones y recomendaciones que dieron lugar durante la investigación con el fin de determinar el impacto ambiental que se genera por el uso de agroquímicos en el cultivo de fríjol. Este capítulo inicia en la página 73 y finaliza en la página 78.

Capítulo I. Contexto agrícola del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Este capítulo permite identificar de una forma un poco más cercana una de las diferentes problemáticas que presentan actualmente los productores de frijol (*Phaseolus vulgaris*) del sector del Sumapaz, tomando como piloto la finca Maporita del municipio de Silvania vereda Subia, Cundinamarca, donde actualmente se siembra fríjol y permite tener un escenario con características similares a la de los demás productores, siendo entonces una oportunidad tangible en donde se ha evidenciado falencias, ejemplo de esto es el manejo que se realiza para el control químico de plagas y enfermedades en el cultivo de frijol, cuyas proporciones se aplican de acuerdo a un conocimiento empírico, permitiendo pensar a futuro que estos procesos generan impactos adversos en el ambiente, tales como la acumulación de una fracción importante de los plaguicidas aplicados en la planta, el aire y suelo.

1.1.Contexto agrícola del cultivo de frijol en la región del Sumapaz, Cundinamarca

En Colombia la producción agrícola para el año 2013 es de 100.619,1 toneladas de fríjol, siendo el Huila el principal departamento productor con 25.588 toneladas, seguido por el Departamento del Tolima con 22.847 toneladas, Cundinamarca con 14.665 toneladas, Norte de Santander con 10.990 toneladas y Santander con 7.194 toneladas (Ávila, 2015) pág. 126.

En Cundinamarca, en la provincia del Sumapaz, el municipio de Cabrera es el principal generador de ingresos del sector agrícola de la zona; este municipio se haya en el sur de la provincia y, debido a la cercanía con el páramo del Sumapaz, cuenta con microclimas específicos que brindan las condiciones para sembrar frutas tipo exportación como la gulupa y la granadilla (Jaller, 2011), además permite la producción de granos como el fríjol bola roja, considerado el mejor de la región. En efecto, la mayor producción de frijol bola roja se localiza en Cabrera,

siendo uno de sus productos más representativos. Su siembra se adelanta en zonas de pendiente, con un área sembrada de 585 a 656 hectáreas, de la cual la vereda Alto Ariari posee el 50% de la siembra del municipio (Corporación Colombia Internacional, 2010).

1.2. Agroquímicos en el contexto cultural de la producción de frijol, Región del Sumapaz

Cundinamarca

Los agricultores, campesinos y jornaleros del sector han apropiado varios conceptos de forma errónea en cuanto al uso y aplicación de los agroquímicos en el cultivo, puesto que realizan sus aplicaciones, en todas sus fases de desarrollo (ciclo fenológico); actividad que se practica de forma indiscriminada y sin ningún tipo de control o medida, además, no siempre hacen uso del agroquímico correcto para cada fase o ciclo del frijol. El control químico de plagas y enfermedades en los cultivos genera impactos negativos en el ambiente, ocasionando la acumulación de una fracción importante del plaguicida aplicado, en el suelo, agua o aire por diferentes actividades, por ejemplo, el viento, derivados de la lixiviación o escorrentía.

Factores como la mezcla inadecuada de ingredientes activos, utilización de un determinado agroquímico para el blanco biológico incorrecto, sub o sobredosis de plaguicidas, deficiencias en la cobertura de las aplicaciones, bajas presiones de aplicación, aumento de frecuencias de aplicación y no cumplimiento de los periodos de carencia establecidos para cada producto químico de uso agrícola en un cultivo específico, entre otras, limitan la efectividad de las aspersiones realizadas por los agricultores (Van der Werf, 1996). Dependiendo de su periodo de persistencia en el medio, los plaguicidas contribuyen a la contaminación del suelo y del agua, afectando su calidad y los procesos biológicos y químicos que generalmente allí ocurren (Rodríguez Araujo, 2014).

Al hacer uso de estos productos químicos se logra controlar de forma eficaz estas plagas, con el inconveniente de afectar de forma directa los subsistemas que conforman cada uno de los cultivos, siendo algunos de los más representativos el suelo, el aire, los microorganismos benéficos presentes en el ambiente, el agua e incluso, los seres humanos que habitan los sectores aledaños. Estos constituyen una problemática ambiental de consideración, que no solo afecta al medio en dónde se habita, sino factores económicos, sociales y de salud.

De otro lado, se agrega a estos malos procedimientos detectados, el no uso de los equipos adecuados, ocasionando aplicaciones de mayor cantidad de producto a la recomendada por planta, generando desperdicios, que como consecuencia contaminan más de lo estipulado, afectando a los subsistemas del cultivo y la comunidad alrededor del mismo.

1.3. Los plaguicidas en el contexto sociocultural del mundo

Según la Organización de las Naciones Unidas se estima que para el 2050 la población mundial llegue a 9.100 millones de personas, lo que significa aumentar la producción de alimento, sin tener en consideración el desperdicio de estos en algunas regiones del mundo. Esto conlleva a la propuesta inevitable de lograr el desarrollo de la denominada agricultura sostenible, a través de proyectos de innovación, en donde la producción sea simultáneamente respetuosa con el medio ambiente, justa y económicamente beneficiosa (Wezel, y otros, 2013).

Este uso de plaguicidas de síntesis química ha sido constante en los agricultores colombianos, sin embargo, se hizo necesario implementar métodos que propician la reducción de su utilización, de tal forma que permitan cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS; en este sentido, es necesario tener una Producción y Consumo Responsable (Objetivo N° 12) cuyos ítems más importantes relacionados a la agricultura y producción son:

- Para 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir de manera significativa su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de reducir al mínimo sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.
- Para 2030, reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per cápita en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y distribución, incluidas las pérdidas posteriores a las cosechas.

1.4. La tecnología para el uso eficiente de los recursos

Los grandes avances tecnológicos de la actualidad permiten realizar de manera más eficiente tareas que tiempo atrás se realizan en grandes periodos de tiempo. La tecnología ingresa aún en los aspectos más cotidianos de la industria y de la vida de las personas. Fiel muestra de lo anterior es la manera en la que ha incursionado de forma acertada en la agricultura, puesto que permite que los procesos asociados a esta actividad sean cada vez más eficientes, logrando atender la demanda actual de alimentos. Con la aplicación de la tecnología a la agricultura y el uso de tecnologías emergentes, como los equipos reconocidos como Vehículos Aéreos no Tripulados -VANT, se avanza en un sin número de nuevas investigaciones, acuñando de forma asertiva el concepto de “agricultura de precisión”.

La agricultura de precisión se basa en efectuar la aplicación correcta de insumos agrícolas, en el momento adecuado, en el lugar preciso y con la dosis óptima que demandan de los cultivos, se apoya en herramientas que facilitan el monitoreo frecuente y la automatización de los procesos requeridos con precisión, siendo estas, las variables de interés agrícola que definen la producción

y el desarrollo de cultivos de alta variabilidad espacial y temporal (Ojeda Bustamante, Mauricio Perez, González Sánchez, & Flores Velázquez, 2015)

El continuo crecimiento poblacional en conjunto con la disminución de recursos naturales plantea una solución a través del uso inteligente de la tecnología. Esto se convierte en un tema relevante dentro de los campos de producción y el aprovechamiento de tierras. El uso de estas herramientas tecnológicas, también denominada “Agricultura de precisión”, permite supervisar y evaluar, en un caso específico, el estado inicial del terreno agrícola, desde la cantidad de absorción de luz de las hojas a través de la presencia de clorofila, hasta la cantidad de hectáreas sembradas con cada cultivo de la finca. Esta es una fase de gran importancia, ya que los resultados obtenidos a través de la agricultura de precisión permiten tomar decisiones más acertadas sobre temas tan importantes para el cultivo como lo es la fertilización de los suelos, la prevención de posibles plagas y otros efectos (Avizzano, Dabisias, Ruffaldi, P, & Satler, 2015)

Actualmente, los avances en la agricultura de precisión presentan con mayor fuerza en el Primer Congreso Nacional COMEII 2015 de riego y drenaje, que se desarrolla en la ciudad de México. En este Congreso, se presentan los resultados de una investigación realizada con base en las relaciones presentes entre drones y su aplicación en la agricultura de precisión, en donde se concluye lo siguiente:

- Con la puesta en órbita de satélites se facilita el monitoreo de la superficie terrestre al capturar imágenes espectrales e incorporar nuevos métodos de análisis, procesamiento y despliegue de información espacial de variables de interés agrícola. Sin embargo, ante la demanda de información detallada, los satélites tienen la limitante de suministrar información temporal discontinua y de baja resolución. (COMEII 2015, p. 8)

- Ante estas limitaciones, el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), equipados con diferentes sensores para la medición y detección de diferentes variables físicas y con sistemas de navegación autónoma, hacen de esta tecnología una alternativa viable de bajo costo para monitorear zonas agrícolas.

Estos avances tecnológicos permiten que cada proceso se mejore de forma constante, muestra de esto es la incursión de VANT en el área agrícola, además de otras tecnologías, que han permitido la creación e implementación de la agricultura de precisión. En Colombia, se evidencia que tanto el cambio y la variabilidad climática como las prácticas tradicionales no tecnificadas, desencadenan una alta vulnerabilidad en los sistemas productivos del país. La baja aplicación de tecnologías alternativas en la planificación de la agricultura para el manejo de problemas en los cultivos, conduce al desarrollo de prácticas relacionadas con la aplicación excesiva de agroquímicos (insecticidas y fungicidas), como medida alternativa para hacer frente al riesgo que genera la presencia de plagas y enfermedades, pero que, a su vez, hace que sean más resilientes a diferentes agroquímicos (Berrío M. Viviana A., 2015)

Teniendo en cuenta que la política ambiental para la gestión urbano-regional en Colombia prioriza aspectos relacionados con la planificación, el monitoreo, la asistencia técnica y la capacitación (Mosquera & Gómez, 2012), el uso de drones se constituye en una opción viable para monitorear y diagnosticar de forma ágil las condiciones de desarrollo de cultivos, especialmente el de la papa (Ojeda Bustamante, Mauricio Perez, González Sánchez, & Flores Velázquez, 2015). Este estudio muestra la viabilidad de evaluar el impacto ambiental que surge del uso de agroquímicos, mediante agricultura de precisión, ya que con él se sienta un antecedente de experiencia para el cultivo de papa.

1.5. Agroquímicos y su Impacto en la Salud

En Colombia el control de plagas y enfermedades de los diferentes cultivos, especialmente en cultivos hortícolas, se basa específicamente en la compra, uso y aplicación de productos de síntesis química. Las sustancias químicas o sus productos de degradación tienen siempre un impacto en el medio ambiente, ya sea en menor o mayor grado de acuerdo con sus niveles toxicológicos.

El uso indiscriminado de estos productos, la aplicación de los mismos sin el uso adecuado de las normas de protección, el uso de dosis inadecuadas (en mayores cantidades), el exceso de las frecuencias de aplicación y no cumplir con los períodos de carencia establecidos, entre otros, pone de manera permanente en riesgo, no solo al ambiente circundante a estos sistemas productivos, sino a las personas directamente involucradas en el proceso de producción y, por tanto, al consumidor final (Arias., 2014). Dentro de los problemas que puede presentar el medio ambiente a causa de las aplicaciones intensivas de agroquímicos, de acuerdo con (Liess, 1999), se pueden listar las siguientes:

- Contaminación del aire: Condiciones respiratorias en seres vivos, pérdida de biodiversidad
- Contaminación del suelo: Eliminación de organismos nativos de la zona que no afectan a los cultivos presentes, alimentos contaminados, efectos negativos en la fauna y flora nativa
- Contaminación del Agua: Contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas, ecosistemas acuáticos
- Efectos de resistencia de poblaciones de plagas
- Riesgos para la salud humana

1.6. De los objetivos de la investigación

El propósito general de esta investigación es identificar la relación porcentual de agroquímicos aplicados al cultivo de fríjol y la cantidad de este que se deposita en cada uno de los subsistemas del cultivo de fríjol, tal como son suelo y planta. En este caso particular, se debe generar, en primer lugar, la firma espectral relacionada con la fijación de agroquímicos en cada subsistema y, en segundo lugar, el planteamiento de un método de optimización para la aplicación de agroquímicos con el fin de reducir el uso y fijación de estos en los subsistemas del cultivo en cuestión. De esta forma se permite realizar análisis más asertivos de los impactos generados en cada uno de los subsistemas de acuerdo con la incidencia porcentual del agroquímico en dichos subsistemas.

Capítulo II. Tecnologías Orientadas a la Agricultura de Precisión: conceptos y normas

Las teorías y conceptos básicos relacionadas con el tema de estudio, la problemática descrita y los objetivos formulados se encuentran contenidos y relacionados en todo el documento. Como eje central de esta investigación se encuentran algunas definiciones referentes a los avances tecnológicos recientes, apuntando de manera especial a la agricultura de precisión y el uso de drones, presentándose la necesidad de aclarar de una manera sencilla aquellos temas tecnológicos y específicos del área de estudio que pueden suponer una confusión momentánea, lo anterior con base en las postulaciones presentadas por Jemay Mosquera Téllez, quien realiza trabajos con áreas similares a las de esta investigación, precedido de una gran trayectoria en el campo.

Por último, es necesario definir todas aquellas normas constitucionales y legales relacionadas con esta investigación, particularmente con la transparencia que debe distinguir cada uno de los procedimientos a desarrollar.

2.1. La Modernización como Proceso de Evolución en la Agricultura.

La modernización como proceso evolucionista de las sociedades humanas, se basa en lo que algunos autores llaman evolucionismo social (Tipps 1976, Hulme y Turner, 1990) o darwinismo social (Huntington, 1976, Mazrui, 1968) concepto que se insinúa, ya en los siglos XVIII y XIX, en los trabajos de Kant y Hegel (Smart, 1991). La modernización se entiende como el proceso que lleva las sociedades tradicionales hacia la modernidad y que se refleja en una serie de cambios generales: urbanización, industrialización, secularización, racionalidad, diferenciación social, aumento del alfabetismo, extensión de los medios de comunicación, mayor control del entorno natural y social, crecimiento económico, una más compleja división del

trabajo, un desarrollo político expresado en mayor movilización social y mayor participación política. Estas serían las principales características del avènement de la modernidad (Huntington, 1976, 28-29; Leys 1982, 333-334; Harrison, 1988, 15-17)

La Teoría de la Modernización se puede abordar desde el Paradigma de la Modernización que en síntesis expresa la posibilidad de que un sistema social está conformado por personas, grupos de personas o comunidades que interactúan entre sí, en busca de un objetivo común y que ese objetivo es la utilidad o el beneficio que cada uno pretende sacar a todas sus acciones y a esas interacciones (utilitarista). También logra expresar que los países que se encuentran ubicados en la periferia o pobres deben seguir la misma ruta que han seguido los países del centro, desarrollados o ricos, para poder llegar a ese desarrollo o grado de riqueza. En este sentido, esta teoría supone que aquellos países que se encuentran en vía de desarrollo logren apropiarse las mismas políticas y seguir los mismos pasos de países como Estados Unidos y algunos del occidente europeo, para lograr el desarrollo socio económico y convertirse en países tan ricos como los que ya lo lograron, sin importar las condiciones propias naturales o culturales.

De otra parte, la Revolución Verde tiene su fundamento en la capacidad tecnológica, basada en principios científicos, para modificar el medio ambiente de manera que se creen condiciones para la agricultura y la ganadería más idóneas que las que ofrece la propia naturaleza, por ejemplo, si el clima es seco, se emplea el riego; si la fertilidad del suelo es baja, se aplican fertilizantes; si las plagas y malas hierbas invaden los cultivos, se pulveriza; si las enfermedades amenazan al ganado, se administran vacunas y medicamentos, o, si se necesita más energía para roturar la tierra, se recurre a la mecanización y al uso de combustibles fósiles.

La revolución verde de los años sesenta y setenta se basa precisamente en eso: las variedades mejoradas de arroz y trigo pudieron beneficiarse del uso de insumos externos que

garantizaban buenas condiciones de crecimiento para aprovechar el potencial genético de las nuevas variedades. La creación de entornos socioeconómicos favorables, que hicieron posible la utilización de esos insumos y crearon mercados para la venta de los productos, constituyó parte integrante de este cambio. (FAO, 1996)

El progreso tecnológico de la agricultura moderna se basa en la experiencia adquirida en el curso de casi 150 años de actividad científica. El aumento de los rendimientos en los sistemas agrícolas de los países industrializados durante los últimos 150 años se puede interpretar como la realización de este paradigma. La revolución verde en el trigo, el arroz y el maíz forma parte integrante de este proceso.

Al examinar la aplicación ulterior de las tecnologías de la Revolución Verde, surgen nuevas oportunidades (Sánchez, 1994) de obtener variedades de cultivos resistentes a condiciones edáficas adversas (arroz resistente a la sal, maíz adaptado a suelos muy ácidos, sorgo más resistentes a la sequía); introducir nuevos cultivos, por ejemplo en zonas marginales (batata y yuca en lugar de maíz); potenciar los ciclos de los nutrientes del suelo (con especies arbóreas seleccionadas para recuperar los nutrientes lixiviados por debajo de la zona radicular de los cultivos); aprovechar lo más posible las fuentes orgánicas de nutrientes, incluida la fijación biológica del nitrógeno, complementadas con fertilizantes químicos aplicados selectivamente; utilizar la resistencia genética a las plagas y enfermedades en sustitución, parcial o total, de la lucha química y mecánica contra las plagas; intensificar el uso de la diversidad biológica funcional, favoreciendo activamente a los depredadores y otros agentes naturales de lucha contra las plagas y enfermedades mediante el mantenimiento de complejos ecosistemas dentro de las explotaciones agrícolas y en sus proximidades; aumentar la producción de vacunos y pequeños

rumiantes que resisten naturalmente a la tripanosomiasis, lo que puede reducir la necesidad de erradicación de la mosca tse tsé.

Durante la Revolución Verde en algunos países no se tiene en cuenta la variedad de mecanismos institucionales sostenibles necesarios para apoyar los cambios tecnológicos (Eicher, 1989), pero en otros se crean estructuras institucionales sólidas. Ahora se cuenta con una generación de agricultores que tienen experiencia en el desarrollo agrícola. Con esta visión histórica es posible ofrecer nuevas posibilidades a regiones y grupos de personas que no se beneficiaron de los progresos obtenidos mediante la revolución verde.

En relación con el Desarrollo Sostenible este concepto alcanza su popularidad gracias al Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, más conocida como Comisión Brundtland (1987), que lo define como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. Con base en esta definición, se puede afirmar que Desarrollo Sostenible está íntimamente vinculado con el objetivo de la equidad intergeneracional. El desarrollo sostenible reconoce la responsabilidad de cada generación de ser justa con la siguiente generación, mediante la entrega de una herencia de riqueza que no puede ser menor que la que ellos mismos han recibido. Alcanzar este objetivo, como mínimo, requerirá hacer énfasis en el uso sostenible de los recursos naturales para las generaciones siguientes y con esto evitar cualquier daño ambiental de carácter irreversible (Hunter, 1994 p. 9)

Al entender lo anterior, lo propuesto por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987), el desarrollo sostenible comprende los siguientes puntos importantes atendidos desde diferentes sistemas que logran la integralidad del desarrollo sostenible:

- Un sistema tecnológico que busque nuevas soluciones de tecnologías apropiadas y limpias.
- Un sistema productivo que tenga como soporte la base ecológica del sistema natural.
- Un sistema económico que en forma segura y sostenida sea capaz de generar excedentes para acumular o distribuir a futuro.
- Un sistema político en el cual los ciudadanos aseguren su participación en el proceso de decisión.
- Un sistema social con enfoque equitativo orientado a proveer soluciones para las tensiones de un desarrollo desigual Internacional que promueva patrones sostenidos de comercio y financiación
- Un sistema administrativo flexible y auto-correctible.

La Teoría de la Revolución Verde es una estrategia para obtener de forma generalizada la pretendida Modernización, relacionada con el incremento notable de la productividad agrícola durante los años 40 y 50 del siglo inmediatamente anterior en los Estados Unidos. Dado la carencia de alimentos y el aumento de los índices de hambre que se vive en los países pobres, especialmente los tercermundistas (de la periferia o subdesarrollados), la modernización pretende que estos copien o acojan la estrategia llamada Revolución Verde que otorga buenos resultados durante su implementación. Sin Embargo, como fin oculto de esta estrategia enmarcada en una recomendación de los organismos internacionales, se pretende el incremento de las utilidades de los grandes productores de pesticidas químicos, pues la aplicación de estos químicos, razón de ser de la Revolución Verde, no generó los resultados propuestos, tal como la disminución de la crisis alimentaria en países como África y América Latina y, por el contrario, genera la contaminación del Planeta.

La Teoría de la Democracia de la Tierra sirve para enfrentar de forma directa las teorías planteadas en los apartes anteriores. Según esta, expuesta por Vandana Shiva (1997, p 135), sostiene que una democracia viva es aquella en la que las personas de una comunidad pueden tomar decisiones sobre sus vidas e influir sobre las condiciones en las que vive, tales decisiones suelen estar asociadas principalmente a como cultivar sus alimentos, definir de forma autónoma qué alimentos son los más indicados para la comunidad y qué condiciones deben cumplir para el mantenimiento de estos. En consecuencia, de lo anterior, las comunidades deben tener la libertad para elegir qué alimentos producir, cómo educar a sus hijos, establecer las condiciones de acceso a la sanidad, entre otros.

Esta teoría puede simplificarse a través de tres tesis fundamentales:

1. La ciencia moderna y el desarrollo capitalista, articulados en torno a premisas patriarcales y coloniales, son responsables de la crisis ecológica. En este sentido, la crítica no consiste en poner de manifiesto las consecuencias negativas del desarrollo, sino en cuestionar la idea misma: no es que se trate de una mala aplicación, es la noción misma la que se revela nefasta.
2. Los conceptos y formas de pensar que han generado la crisis del desarrollo no sirven para resolverla; estos, por tanto, pueden dar lugar a un “consumismo verde”, que resultan igualmente insatisfactorio.
3. Las mujeres del Tercer Mundo en su actividad cotidiana de subsistencia ponen en juego formas de pensar alternativas, constituyendo el origen de su propuesta ecofeminista y democrática en pro del bienestar de las comunidades y la explotación en beneficio de estas.

Una democracia que procura estar viva es aquella que logra impactar de diferentes formas a diferentes aspectos de la vida, no sólo encaminado a la vida humana, ya que nos encontramos en un momento de la evolución social en el que cualquier libertad generada desde la especie humana, debe relacionar y considerar a las demás especies, de lo contrario nunca se podrá obtener de forma amigable la libertad humana. Esto, es posible considerarlo de acuerdo con los pilares planteados dentro de esta teoría y que se enuncian a continuación:

1. Mujeres que abrazan árboles (Shiva, 1995, p 125)
2. Un materialismo de origen femenino (Shiva, 1995, p 283)
3. ¿Un materialismo de origen femenino? (Mies y Shiva, 1997, p 31)
4. Los saberes y los trabajos de las mujeres: prácticas de creación y recreación de la vida y la convivencia humana. (Mies y Shiva, 1997, p 34)
5. La política de la vida cotidiana. (Shiva, 1995, p 89)

En resumen, Vandana expresa que tal democracia social y económica no es lo que se vive en la actualidad, pues organismos internacionales como la ONU, en uno de sus informes afirma que el 20 por ciento de la población mundial no tiene acceso a agua potable. Ejemplo de esto se puede evidenciar en empresas de grandes superficies como Coca-Cola, puesto que destruye el agua que consume, estando entre un millón y medio y dos millones de litros diarios en cada una de sus fábricas. Esa escasez y mala utilización del recurso hídrico fue la que logró motivar a las mujeres de la tribu Plachimada (Kerala, India) a cerrar una de las plantas de Coca-Cola en su pueblo, declarando el agua y el aire como bienes comunes a través de su gobierno. Es esa misma escasez la que ha llevado a la gente a luchar contra otras 50 fábricas de Coca-Cola.

2.2. El conocimiento aplicado a la agricultura de precisión

Para definir el paradigma epistemológico en el que se enmarca esta investigación es necesario iniciar con las siguientes tres consideraciones:

1. La naturaleza del conocimiento que se pretende obtener. Un manejo deficiente del control químico de plagas y enfermedades en los cultivos genera impactos negativos en el ambiente, ocasionando la acumulación de una fracción importante del plaguicida, factores como la mezcla inadecuada de ingredientes activos, la utilización de un determinado agroquímico para el blanco biológico incorrecto, deficiencias en la cobertura de las aplicaciones, sub- o sobredosis de plaguicidas, bajas presiones de aplicación, aumento de frecuencias de aplicación, incumplimiento con los periodos de carencia establecidos para cada producto químico de uso agrícola en un cultivo específico, entre otras, limitan la efectividad de las aspersiones realizadas por los agricultores (Van der Werf, 1996). Lo cual contribuye a la contaminación del suelo y del agua, afectando su calidad y los procesos biológicos y químicos que generalmente allí ocurren, por lo cual se hace necesario la aplicación de métodos, que permitan reducir estas malas prácticas, por ello se hace necesario lograr identificar los porcentajes de agroquímicos aplicados y las posibles cantidades del mismo que se depositan en cada uno de los subsistemas relacionados a los cultivos, en el caso particular del frijol, generando, en primer lugar una posible colorimetría multiespectral de la fijación de agroquímicos en el cultivo de frijol y en segundo lugar, el planteamiento de un método de optimización para la aplicación de agroquímicos con el fin de reducir la fijación de los mismos en los subsistemas del cultivo para que permitan de forma posterior, generar análisis más asertivos de los

impactos generados en cada uno de ellos de acuerdo a la incidencia porcentual del agroquímico en dichos subsistemas.

2. La creación del conocimiento. Este se genera a través de la relación de causa efecto, en donde la causa se da a partir de la identificación del problema y que trae consigo una serie de investigaciones y cuestionamientos que permitirán definir la solución al problema. El manejo deficiente de agroquímicos para el control químico de plagas y enfermedades en los cultivos genera impactos negativos en el medio ambiente y en la salud de los trabajadores y sus familias.
3. El criterio de validación de la investigación se enmarca en dos momentos: el primero donde se busca obtener información primaria y secundaria, que justifique la aplicación de imágenes multiespectrales en el cultivo de frijol como herramienta para determinar la fijación de agroquímicos en cada uno de los subsistemas del cultivo y su afectación ambiental.

Por tanto, esta investigación se enmarca en el Paradigma Positivista que tiene como modo de razonamiento científico el método deductivo, a través del cual, la investigación busca alejarse y tomar una posición distante respecto del objeto de investigación. Para Kolakowski el positivismo es un conjunto de reglamentaciones que rigen el saber humano y que tiende a reservar el nombre de “ciencia” a las operaciones observables en la evolución de las ciencias modernas de la naturaleza. Durante su historia, el positivismo ha dirigido en particular sus críticas contra los desarrollos metafísicos de toda clase, por tanto, contra la reflexión que no puede fundar enteramente sus resultados sobre datos empíricos, o que formula sus juicios de modo que los datos empíricos no puedan nunca refutarlos.

El positivismo supone que la realidad está dada y que puede ser conocida de manera absoluta por el sujeto y, por tanto, se debe encontrar el método adecuado y válido para “descubrir” esa realidad. La ciencia positivista se basa sobre el supuesto de que el sujeto tiene una posibilidad absoluta de conocer la realidad mediante un método específico.

2.3. La Constitución Política de Colombia y su relación con la agricultura

A continuación, se relacionan y describen los contenidos de los principales artículos de la Constitución Política de Colombia que tienen estrecha relación con el problema y los objetivos de este trabajo. Igualmente, se describen las principales leyes, artículos, decretos y resoluciones de la normatividad colombiana, en concordancia con ellos (Tabla 1 y Tabla 2).

Tabla 1. Marco Legal

Ley 9 de 1979	Define una serie de normas relacionadas con la producción, formulación, almacenamiento, distribución, movilización y aplicación aérea de los plaguicidas. Artículo 137: Establece que los plaguicidas deben tener registro y para su producción y comercialización y deben contar con el permiso de la entidad correspondiente.
Decreto 1843 de 1991	Capítulo II: para el uso, manejo y disposición de plaguicidas, con el objeto de garantizar la salud de la comunidad y la preservación de los recursos agrícolas, pecuarios y naturales renovables, se crea un Consejo Nacional y Consejos Seccionales de Plaguicidas, que actúan de acuerdo con lo establecido en el presente decreto y las disposiciones legales sobre la materia, así como un Consejo Intersectorial en el Ministerio de Salud.
Resolución 3079 de 1995	Expedida por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), dispone una serie de normas relacionadas con la producción, el comercio y la aplicación de bio-insumos, acondicionadores de suelo y plaguicidas.

Resolución 1311 de 2001 del ICA.	Por solicitud de los Ministerios de Salud o de Agricultura y mediante Resolución de la Gerencia General del ICA, o del Ministerio de Agricultura, desde 1974 hasta la fecha, se restringen o prohíbe el uso en el país de algunos plaguicidas
Resolución 3759 de 2003	Por la cual se dictan disposiciones sobre el Registro y Control de los Plaguicidas Químicos de uso agrícola.
Resolución 05545 de 2003	Por la cual se modifican y adicionan algunos numerales a la Parte Cuarta de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, sobre actividades aéreas deportivas y recreativas y se adoptan otras disposiciones
Decreto 1443 de 2004	Por establecer medidas ambientales para el manejo de los plaguicidas y para la prevención y el manejo seguro de los desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente, siendo responsables los que fabriquen, formulen importen, envases, distribuyan, comercialicen, empaquen almacenen y transporten plaguicidas.
Resolución 3002 de 2005	Por la cual se dictan disposiciones sobre la modificación al etiquetado de los insumos agrícolas (plaguicidas químicos de uso agrícola, reguladores fisiológicos de plantas, coadyuvantes, fertilizantes y acondicionadores de suelos, bio insumos agrícolas y extractos vegetales).
Resolución 1442 de 2008	Por la cual se establece el procedimiento para la expedición del dictamen técnico-ambiental al que alude la Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola, Decisión 436, de la Comisión de la Comunidad Andina, y se toman otras determinaciones.
Resolución 1675 de 2013	Por la cual se establecen los elementos que deben contener los Planes de Gestión de Devolución de Productos Posconsumo de Plaguicidas.

Decisión 436	<p>Norma andina para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola.</p> <p>Establece requisitos y procedimientos armonizados para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola, orientar su uso y manejo correctos para prevenir y minimizar daños a la salud y el ambiente en las condiciones autorizadas, y facilitar su comercio en la Subregión.</p>
--------------	---

Fuente: elaboración propia de autor de este estudio (noviembre, 2017)

Tabla 2. Marco Constitucional

Artículo 65	<p>La producción de alimentos gozará de la especial protección del Estado. Para tal efecto, se otorgará prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, forestales y agroindustriales, así como también a la construcción de obras de infraestructura física y adecuación de tierras. De igual manera, el Estado promoverá la investigación y la transferencia de tecnología para la producción de alimentos y materias primas de origen agropecuario, con el propósito de incrementar la productividad.</p>
Artículo 80	<p>El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.</p> <p>Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas</p>
Artículo 356 Inciso 4, Literal a.	<p>Para educación, salud y agua potable y saneamiento básico: población atendida y por atender, reparto entre población urbana y rural, eficiencia administrativa y fiscal, y equidad. En la distribución por entidad territorial de cada uno de los</p>

	componentes del Sistema General de Participaciones, se dará prioridad a factores que favorezcan a la población pobre, en los términos que establezca la ley.
Artículo 366	El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.
Artículo 334.	Modificado por el art. 1, Acto Legislativo 003 de 2011, Desarrollado por la Ley 1695 de 2013. El nuevo texto es el siguiente: La dirección general de la economía estará a cargo del Estado. Este intervendrá, por mandato de la ley, en la explotación de los recursos naturales, en el uso del suelo, en la producción, distribución, utilización y consumo de los bienes, y en los servicios públicos y privados, para racionalizar la economía con el fin de conseguir en el plano nacional y territorial, en un marco de sostenibilidad fiscal, el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano.

Fuente: elaboración propia de autor de este estudio (diciembre, 2017)

Capítulo III. Implementación Práctica del Proceso Investigativo

La implementación práctica del proceso investigativo desarrollado en pro del estudio del impacto ambiental de los agroquímicos en el cultivo de fríjol ha permitido obtener de manera sistemática resultados propios para analizar, razón por la cual se hace necesario presentar la construcción metodológica utilizada, además, se presentan los lineamientos implementados para el desarrollo del proyecto tales como el tipo, enfoque conforme a su finalidad, la metodología y su alcance.

3.1. Delimitación de la investigación

Esta investigación se identifica por su finalidad por ser una investigación aplicada, según Murillo (2008), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad, esta investigación presenta la identificación de la fijación de agroquímicos mediante firma espectral e imágenes multiespectrales, teniendo en cuenta la cantidad en porcentajes de agroquímicos que se depositan en cada uno de los subsistemas identificados en el cultivo de fríjol después de cada aplicación.

Por su alcance es una investigación analítica “Es aquella que trata de entender las situaciones en términos de las relaciones de sus componentes. Intenta descubrir los elementos que componen cada totalidad y las interconexiones que da cuenta de su integración”. Bunge, 1981. Por su parte el enfoque de la investigación es del tipo cuantitativo, este se enmarca en dos momentos: el primer momento obedece a las pruebas de campo en el cultivo de fríjol, ubicado en

la Vereda Subia del Municipio de Silvania, Finca Maporita y la toma de imágenes multiespectrales; y el segundo momento da inicio a partir del análisis de los datos (previa recolección de los estos) con el único fin de probar la hipótesis planteada, con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de las línea espectral de los agroquímicos, para determinar la fijación de los agroquímicos en el cultivo y dar las recomendaciones y consideraciones en el medio ambiente.

3.2. Localización geográfica de la investigación

Este estudio se realizó en el sector del Sumpaz, específicamente en la finca Maporita del municipio de Silvania, vereda Subia, pertenecientes al departamento de Cundinamarca. La Finca Maporita cuenta con un aproximado de 25.6 hectáreas dedicadas al cultivo comercial de frijol (*Phaseolus vulgaris*), con una altitud promedio de 2137 m.s.n.m y con coordenadas geográficas de Latitud 4.48904104N y Longitud 74.37273639O.



Figura 1. Área de estudio Finca Maportia, Municipio de Silvania vereda subia.

3.3. Equipos y Suministros de la Investigación

La investigación fue desarrollada en un ambiente real, el cual cuenta con un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), permitiendo identificar de forma técnica los equipos, herramientas y procedimientos que cumplieran con las condiciones óptimas para la adquisición de la información relacionadas al proceso investigativo. Estos procedimientos se ejecutaron con equipos especializados tales como:

3.3.1. Drone phantom 4

Características del Drone Phantom 4 Pro Dji Phantom:

- Cámara de 20 megapíxeles.
- Capaz de grabar video en 4k/60 fps.
- Fabricado en aleación de magnesio y titanio.
- Sensores dobles de visión trasera.
- Sensores infrarrojos.
- Compatible con iOS 8.0 ó posterior, Android 4.1.2 ó posterior.
- Memoria expandible hasta 64 GB (Clase 10 ó UHS-1).
- Alcanza 6000 m de altura máxima sobre el nivel del mar.



Figura 2. Drone phantom 4

3.3.2. Cámara multispectral.

El sensor multispectral Parrot Sequoia revoluciona el sector ofreciendo una solución completa, adaptable y compatible con todos los drones. Parrot Sequoia analiza la vitalidad de las plantas detectando la cantidad de luz que absorben y reflejan gracias a sus dos sensores, multispectral y de luz solar. Estos datos permiten al agricultor optimizar su intervención en las parcelas.

Esta cámara captura imágenes en RGB y de manera simultánea imágenes en cuatro bandas espectrales diferentes, las cuales son:

- Banda 1: (G) Verde: 550 nm
- Banda 2: (R) Rojo: 660 nm
- Banda 3: (RedEdge) Borde rojo: 735nm
- Banda 4: (nIR) infrarrojo cercano: 790 nm

Además, tiene incorporado un sensor de luz incidente o DLS que permite comparar datos tomados en diferentes condiciones de luz ambiental.



Figura 3. Cámara multispectral Parrot sequoia

3.3.3. Software Utilizados

Durante el desarrollo del proyecto de investigación fue necesario el uso de software especializado para el tratamiento, no solo de las imágenes, sino también de los datos. A continuación, se presenta el listado del software utilizado:

Pix4D

Pix4Dmapper es una aplicación eficiente para fotogrametría aérea y corto alcance. La fotogrametría o la medición de imágenes, es una tecnología que permite extraer información de diferentes lugares, por ejemplo, la tierra y el entorno, todo esto a partir de imágenes capturadas por una cámara. Esta tecnología tiene una gran aplicación en la cartografía aérea y el estudio de la degradación de la tierra. La fotogrametría requiere el procesamiento de imágenes aéreas, y el resultado final se basa en los procesos realizados.

Con el Pix4D, ahora puede tomar diferentes imágenes del área que desea trabajar, manualmente o con VANT, y finalmente obtener los mapas deseados. De acuerdo con el tamaño y la calidad de la imagen, el proceso de análisis varía, dependiendo de la velocidad de procesamiento del

equipo que sea usado, teniendo siempre como resultado un procesamiento muy satisfactorio. El software muestra automáticamente las diferentes partes de la tierra con distintos colores

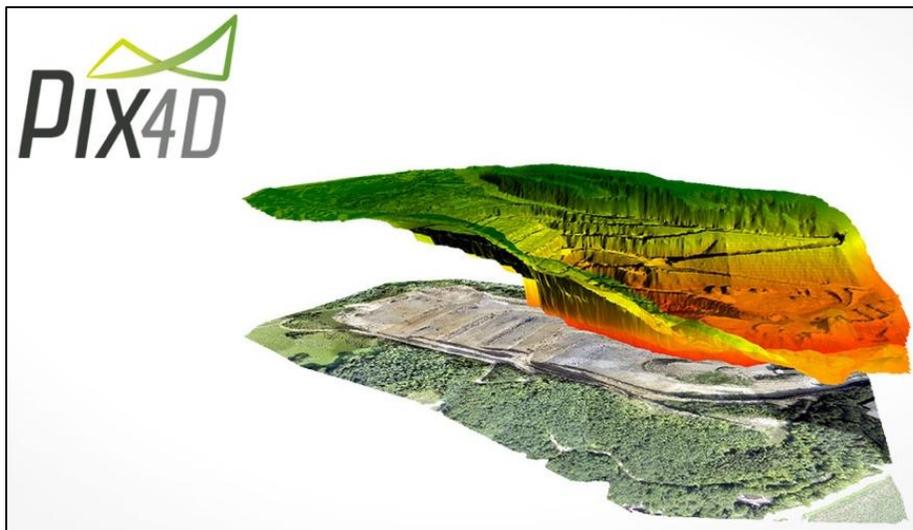


Figura 4. Software Pix4d

ArcGIS

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio.



Figura 5. Software ArcGis

QGIS

QGIS (anteriormente llamado también Quantum GIS) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. Este software permite manejar formatos raster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos. Algunas de sus características son:

- Soporte para la extensión espacial de PostgreSQL, PostGIS.
- Manejo de archivos vectoriales Shapefile, ArcInfo coverages, Mapinfo, GRASS GIS, DXF, DWG, entre otros.
- Soporte para un importante número de tipos de archivos raster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG).
- Una de sus mayores ventajas es la posibilidad de usar Quantum GIS como GUI del SIG GRASS, utilizando toda la potencia de análisis de este último en un entorno de trabajo más amigable. QGIS está desarrollado en C++, usando la biblioteca Qt para su Interfaz gráfica de usuario.



Figura 6. Software QGIS

3.3.4. Agroquímico

De acuerdo con la información entregada por parte del administrador de la finca, durante la aplicación del agroquímico, se hizo uso de los siguientes ingredientes, estas cantidades son registradas para una caneca de 200lt de mezcla

Tabla 3. Productos utilizados en la mezcla de agroquímicos

<i>Ingrediente activo</i>	<i>Nombre comercial</i>	<i>Función</i>	<i>Dosificación</i>
Alkil aril polieter alcohol	Nixel	Coadyuvante	250 cc
Captan	Orthocide	Fungicida	1 sobre
Mancozeb	Mancozeb	Fungicida	1 sobre
Difenoconazol	Score® 250 ec	Fungicida	200 cc
Carbendazim	Derosal® 500 D	Fungicida	250 cc
Lambdacialotrina	Golpe® 50 ec	Insecticida	200 cc
Aminoácidos con minerales	Bayfolan® Aminoacidos	Abono liquido	500 cc

Fuente: Elaboración propia de autor de este estudio (Junio, 2019)

3.4. Pruebas y protocolo

El inicio de la prueba consistió entonces en tomar de forma aleatoria un número determinado de plantas de fríjol y realizar la captura de las imágenes con diferentes espectros y desde diferentes distancias, de esta manera se pudo determinar las distancias tanto máximas como mínimas para realizar la captura de la imagen o fotografía, sin perder calidad en la misma.

3.4.1. Selección de la población vegetal

El inicio del proceso investigativo contemplaba el estudio en el municipio de Cabrera, Cundinamarca, en la vereda Alto Ariari, puesto que es allí donde se considera que se encuentra la mayor producción de fríjol en la región del Sumapaz; sin embargo, diferentes factores obligaron a cambiar dicha ubicación. Uno de los factores presentes hizo relación a las condiciones climatológicas de la vereda, puesto que este sector cuenta con precipitaciones constantes, afectando de forma directa los planes de vuelo del dron, pues se debe cumplir con ciertas condiciones para la realización de cada vuelo: día soleado, sin lluvia, debe ser entre las 10:00 horas y las 15:00 horas (Condiciones óptimas de luz natural), entre otras. Otro factor importante hace referencia a los tiempos de aplicación de los agroquímicos, pues estas aplicaciones debían coincidir con las condiciones anteriores de tiempo y forma. Por último, el acceso a la vereda, de acuerdo con la temporada, era difícil, pues el estado de los caminos de acceso no siempre se encuentra en las mejores condiciones, adicionando también la distancia que se presenta desde el municipio de Fusagasugá, que tiene un total aproximado de 76.7km. Todo lo anterior, fue un gran desafío que se debía llevar a cabo con un grupo de profesionales para realizar el manejo de los equipos en campo.

En la búsqueda de un lugar con condiciones similares de producción y de producto, se evaluaron diferentes fincas en la Región del Sumpaz que permitieran llevar a cabo el estudio,

aunque algunas cumplieran con los requisitos, en algunas ocasiones los dueños o administradores no aceptaban la condición de realizar el estudio; por tanto, la finca que cumplió con todas las condiciones se encuentra ubicada en el municipio de Silvania, Cundinamarca, vereda Subia, Finca Maporita. Esta finca cuenta con 25.6 Ha sembradas en fríjol y que permite tener producción de forma constante durante todo el año, además, se encuentra subdividida en parcelas que contienen cultivo de fríjol en diferentes estados de crecimiento. Otra gran ventaja es el fácil acceso y la distancia desde el municipio de Fusagasugá, puesto que se encuentra a 22.9km. Allí, las condiciones climatológicas son favorables y los momentos de aplicación de agroquímicos permitían coincidir de forma mucho más fácil con las condiciones climáticas.

3.4.2. Selección de la muestra

La selección de la población vegetal fue uno de los aspectos para tener en cuenta, este cálculo se realizó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N-1)) + k^2 * p * q}$$

En donde:

N: es el tamaño de la población o universo.

k: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%.

Los valores k más utilizados y sus niveles de confianza son:

k	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95,50%	99%

e: es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.

p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p=q=0.5$ que es la opción más segura.

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.

n: es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).

Obteniendo, entonces, los siguientes resultados:

N: 256.000m²

k: 1,96

e: 5

p: 0.5

q: 0.5

n: 34.595m²

Por tanto, es necesario realizar el estudio en un área aproximada de 34.595m².

3.4.3. Factores condicionantes:

Como ya se ha establecido, los factores condicionantes para la realización de la investigación son:

- 1. El estado del tiempo.** Factor determinante para el levantamiento de la información, debido a que de este depende de forma directa el funcionamiento y desempeño del dron.
- 2. Aplicación de agroquímico.** Dependía de una coordinación directa entre el administrador de la finca y los operarios, del crecimiento de la planta.

3. Periodicidad del agroquímico. En este caso de estudio se implementó la aplicación cada 14 días.

4. Equipo de trabajo. Fue necesario coordinar varias visitas a la finca Maporita con el equipo de trabajo, puesto que era necesario poder cumplir con los factores anteriores y realizar las pruebas y mediciones necesarias.

Al realizar varias visitas a la finca Maporita, se logró tener las condiciones ideales para realizar la toma de datos y mediciones, además de la toma de las imágenes multiespectrales.

3.4.4. Puesta en funcionamiento de equipos

Al tener las condiciones ideales para la toma de información, se dio inicio al proceso de puesta a punto de los equipos y su correspondiente instalación.

En cuanto al Drone Phantom 4 Pro, primero, fue necesario realizar un acondicionamiento para la adaptación de la cámara multiespectral, especialmente la comunicación que debe realizar entre el sensor de posicionamiento y la cámara. Segundo, se realizó el alistamiento del Drone Phantom 4 Pro y se realizaron algunos vuelos de prueba.

Mediante el software Pix4D, se realizó el plan de vuelo de acuerdo con el área a cubrir y las características técnicas de la cámara multiespectral (ángulo de fotografía, velocidad de toma de imagen, frecuencia de toma de imagen, entre otros).

La figura 7 muestra la ficha técnica del vuelo ejecutado en la finca Maporita, vereda Subia, en donde se puede identificar las características principales del vuelo, ejemplo de ello es que se puede evidenciar el tiempo de vuelo (03:24 minutos), localización geográfica de la parcela (Latitud 4.489062N, Longitud -74.37273639°O), el traslape de las imágenes (65% al 70 %), entre otros

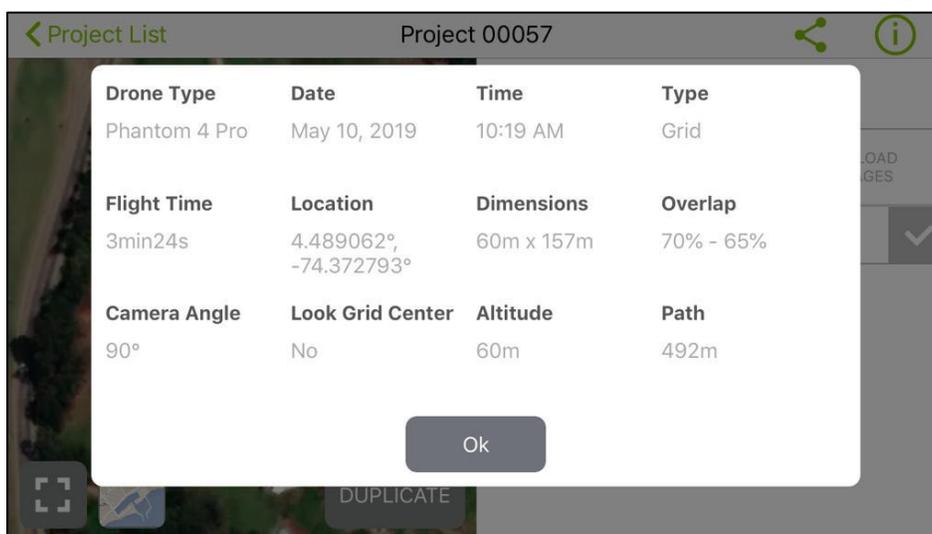


Figura 7. Ficha técnica del plan de vuelo

Una de las características importantes para tener en cuenta durante el vuelo, radica en lograr un traslape de al menos 65%, con frecuencia de captura de 2s de la cámara multiespectral Parrot Sequoia.

La figura 8 permite visualizar la planeación del vuelo sobre el cultivo a fumigar y, por tanto, a estudiar. El plan de vuelo se diseñó y programó a través del software Pix4D.

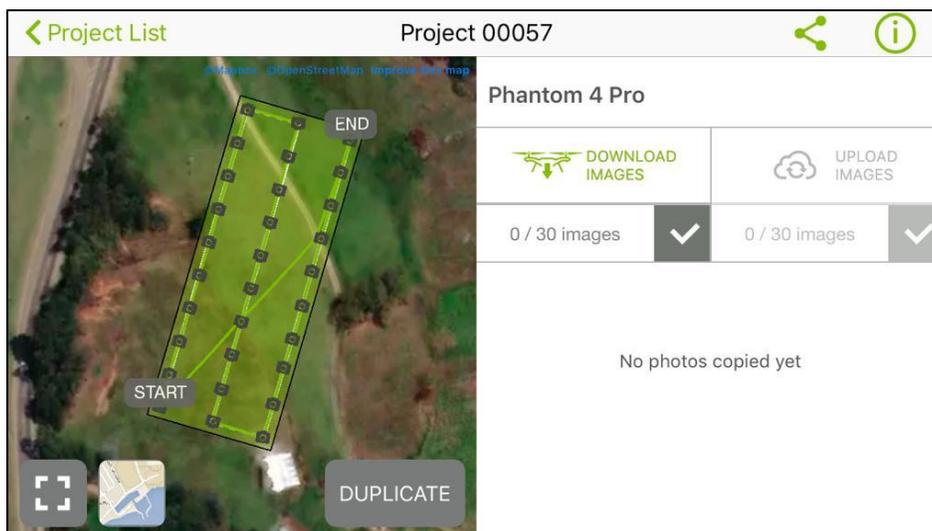


Figura 8. Plan de vuelo para toma de imágenes en cultivo de frijol

Durante el vuelo programado, se dio inicio desde la parte inferior del predio, tal como lo muestra la figura 9, este recorrido permitió obtener una cantidad considerable de imágenes con el fin de recrear todo el predio a través de la superposición de imágenes a través de software como Pix4D. El desplazamiento entre las posiciones de la imagen inicial (puntos azules) y computadas a través del software (puntos verdes), así como el desplazamiento entre las GCP iniciales, es decir las posiciones (cruces azules) y sus posiciones calculadas (cruces verdes) en la vista superior (plano XY), vista frontal (plano XZ) y vista lateral (YZ) avión), destacan entonces las elipses de color verde oscuro, las cuales indican la incertidumbre absoluta de la posición del resultado de ajuste del bloque de imágenes capturadas.

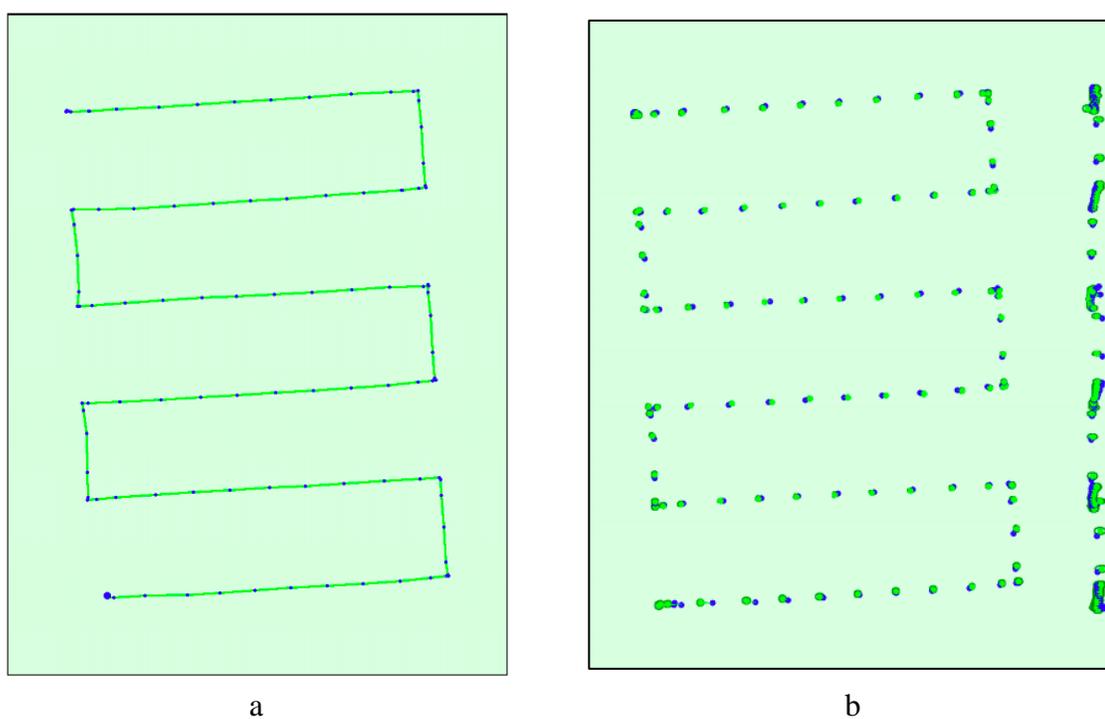


Figura 9. Vista superior de la posición inicial de la imagen. (a) La línea verde sigue la posición de las imágenes en el tiempo a partir del gran punto azul. (b) Desplazamiento entre las posiciones de la imagen inicial (puntos azules) y computadas (puntos verdes).

3.4.5. Aplicación de Agroquímico

La aplicación se realizó por parcelas con la ayuda de una Fumigadora Estacionaria marca FORTE a gasolina de 6.5 HP, esta fumigadora cuenta con dos mangueras de salida o salidas de trabajo, con mangueras de 100m, sin embargo, con el fin de mejorar la productividad de la aplicación, una de las salidas de trabajo fue modificada adicionando una unión en “Y”, permitiendo que pase de tener dos (2) salidas de trabajo a tener tres (3) salidas, ocasionando que la presión de la aplicación disminuya en las mangueras que se encuentran con la unión, mientras tanto, la salida de trabajo que no tienen ninguna modificación, mantiene constante la presión de su aplicación. La presión que se manejó en la estacionaria fue de 20-25 psi. Figura 10.

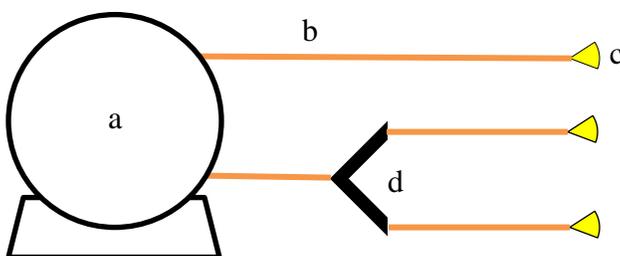


Figura 10. Diagrama de modificación de salidas de estacionaria. a) Estacionaria. b) Manguera y lanza de fumigación. c) Boquilla. d) Unión tipo “Y”

Fue necesario realizar la gráfica correspondiente a la Figura 10 debido a que el administrador de la finca Maporita no permitió tomar fotografías de las modificaciones realizadas en la estacionaria.

En total de 3 operarios realizaron la aplicación del agroquímico, cada uno de ellos contaba con una manguera y un lote delimitado para realizarla fumigación y la aplicación la realizaban de abajo hacia arriba fumigado primero el envés de la hoja y terminando en el haz de la misma, la figura 11 representa este proceso.



Figura 11. Fumigación del frijol (Phaseolus vulgaris)

El tiempo de aplicación del agroquímico es subjetivo, pues depende de cada uno de los operarios, siendo una condición importante la agilidad del operario para la aplicación, además del tipo de boquilla usado en la lanza y la técnica de aplicación.

Capítulo IV. Resultados y Discusión de la investigación

Este capítulo ha sido elaborado con base en los resultados obtenidos dentro del proceso de investigación y que pretende mostrar de forma objetiva cada uno de los hallazgos, evidencias, análisis y demás, encaminados a entender el impacto que se genera en los diferentes subsistemas de un cultivo de frijol por la aplicación de agroquímicos de forma tradicional, cumpliendo en un gran porcentaje, cada uno de los objetivos planteados desde los inicios y que, en su momento, pretenden confirmar o no, la hipótesis inicial: *“De acuerdo a la técnica y herramientas de aplicación de agroquímicos implementada en la Finca Maporita, se tiene que el 30% de la aplicación llega a la planta, el 60% al suelo, el 5% al aire y otro 5% al trabajador”*.

D. Torres, 2004, en su publicación “Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental” cita las diferentes técnicas que se han sido utilizadas para el monitoreo de agroquímicos y sus efectos ambientales, entre ellos se destacan: El rastreo de plaguicidas en 18 países tropicales mediante trazadores radiactivos, la evaluación de la sangre de trabajadores agrícolas y madres gestantes mediante cromatografía y el análisis de suelos mediante espectrometría.

4.1. Base de datos de imágenes

El proceso investigativo permitió adquirir una base de datos de imágenes multiespectrales durante el vuelo realizado, con las siguientes características:

Tabla 4. Especificaciones técnicas de la base de datos de imágenes

Número de imágenes calibradas	416 de 416
Número de imágenes geolocalizadas	416 de 416
Definición RGB	4608 x 3456 px
Definición Espectral	1280 x 960 px

Esta base de datos está disponible para que sea usada en futuras investigaciones en pro de determinar de forma más puntual los efectos o impactos ambientales en los cultivos y sus subsistemas.

La figura 12 permite identificar el proceso algorítmico que realiza el software, ejemplo de esto es que la oscuridad de los enlaces indica el número de 2D emparejados o puntos clave entre las imágenes, los enlaces brillantes indican enlaces débiles y requieren puntos de enlace manuales o más imágenes. Las elipses verdes oscuro indican la incertidumbre relativa de la posición de la cámara. Por su parte, las áreas rojas y amarillas indican una superposición baja, por lo que se pueden generar imprecisiones en los resultados. Las áreas verdes indican una superposición de más de 5 imágenes para cada píxel generando, entonces, resultados de buena calidad, siempre que la cantidad de coincidencias de puntos clave también sea suficiente para estas áreas.

Esto permite identificar que los procesos matemáticos realizados por el software Pix4D generaron una replica casi exacta del territorio objeto de estudio, permitiendo entonces de esta manera poder hacer una investigación con bases sólidas desde la ingeniería, con el fin de lograr identificar los subsistemas (plantas, suelo, entre otros) del cultivo de fríjol en donde el agroquímico logra fijarse de una manera permanente, permitiendo a futuro de esta investigación evaluar el impacto ambiental.

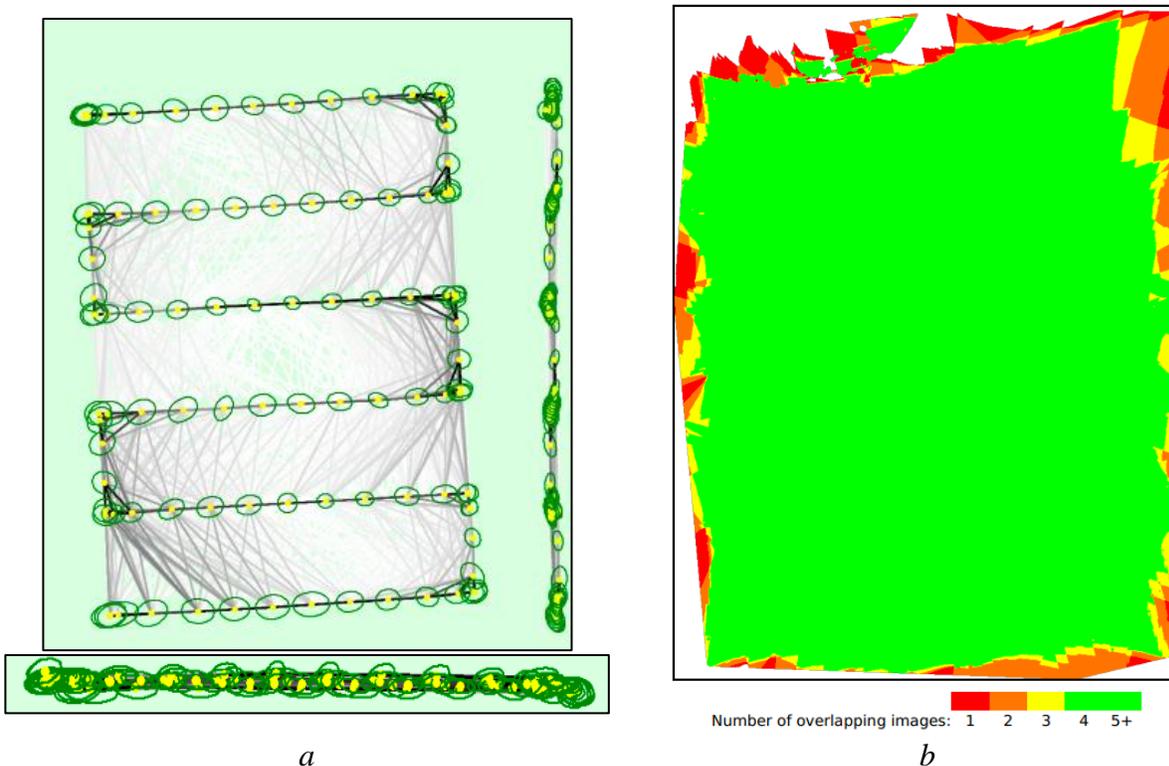


Figura 12. (a) Posiciones de imágenes calculadas con enlaces entre imágenes coincidentes. (b) Número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico.

4.2. Procesamiento de imágenes en Pix4D

El primer procesamiento de imágenes se realizó a través del software Pix4D, esta aplicación procesa las imágenes multiespectrales adquiridas por la cámara Parrot Squoia, este proceso se realiza antes de la carga total de datos con el fin de ser visualizadas en cada uno de los espectros de la cámara, en donde se pueden identificar de forma más precisa las variaciones infrarrojas, las cuales indican cambios en la vegetación, permitiendo observar características que están por fuera del campo visible de los seres humanos. Estas bandas del espectro combinadas se deben independizar con el fin de visualizar los 4 espectros utilizados para su creación, ellos son: Verde (Green), Rojo (Red), Borde rojo (RedEdge) e Infrarrojo cercano (near IR).

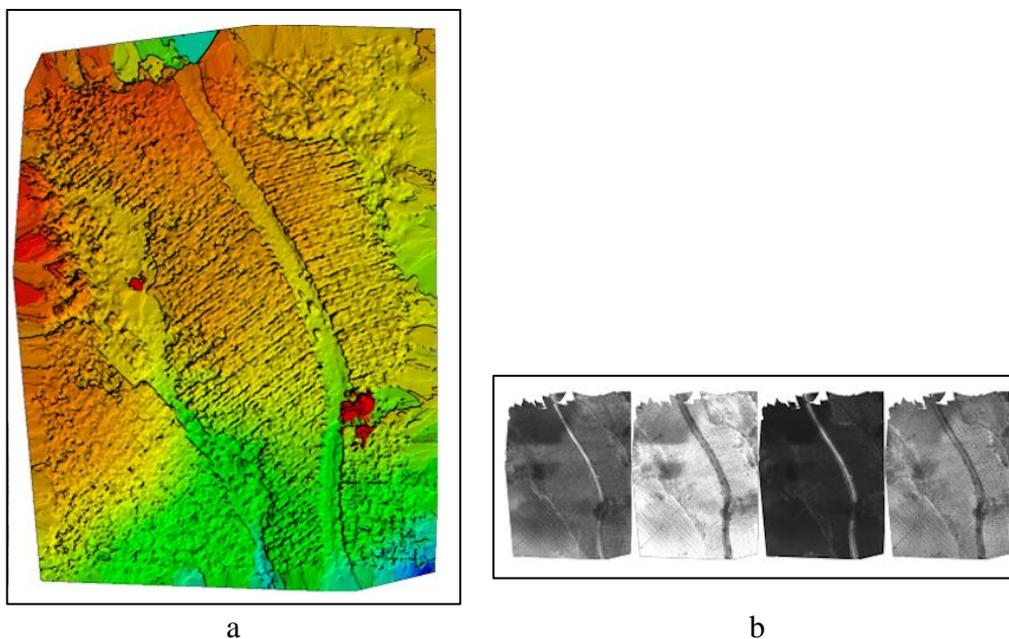


Figura 13. (a) Ortomosaico y el modelo de superficie digital disperso (DSM) correspondiente antes de la densificación. (b) espectros utilizados Verde, Rojo, Borde rojo e Infrarrojo cercano.

Cada espectro analizado de forma individual permite identificar características visibles e invisibles del terreno, estos índices, permiten clasificar especialmente la vegetación y cualidades propias de ellos.

El índice NVDI o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, es un índice genérico utilizado para detectar la cobertura foliar y sanidad vegetal, éste es posible obtenerlo mediante la fórmula $(NIR - RED) / (NIR + RED)$ y el tipo de importación de la imagen es multiespectral, la Figura 14 permite visualizar esta información.

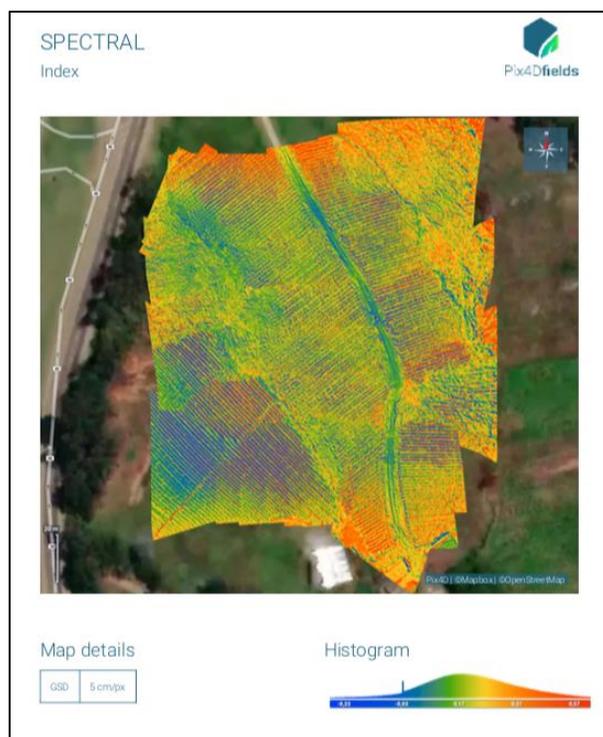


Figura 14. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El índice Diferencia Normalizada Red Edge o índice NDRE, es un índice sensible al contenido de clorofila en las hojas en contraposición de los efectos de fondo del suelo. Este índice solo se puede formular cuando la banda del borde rojo está disponible en la cámara multispectral, es obtenido mediante la fórmula $(NIR - REDEEDGE) / (NIR + REDEEDGE)$ y el tipo de importación de la imagen es multispectral. La Figura 15 permite visualizar esta información.

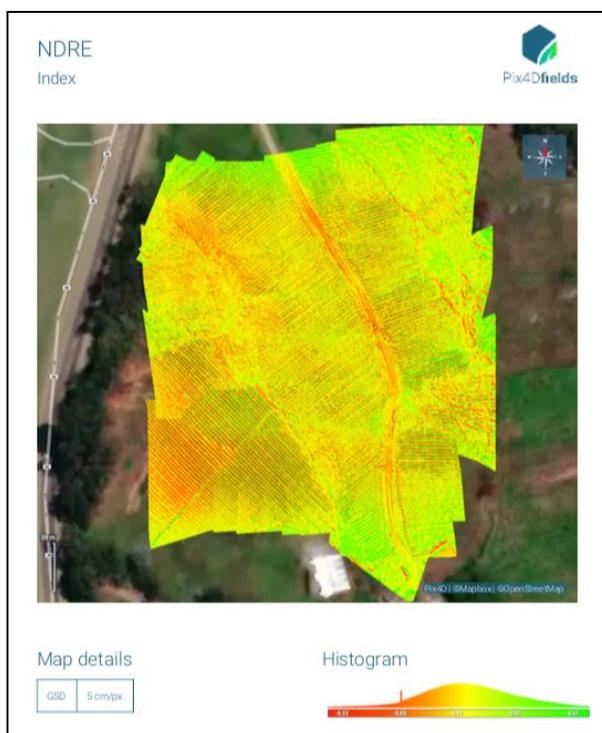


Figura 15. Índice Diferencia Normalizada Red Edge (NDRE)

El índice de absorción de clorofila modificada en índice reflexivo es utilizado para medir las concentraciones de clorofila en la vegetación objeto de estudio, incluidas las variaciones en el índice de área foliar, este proceso se logra mediante la fórmula $[1,2 * (2,5 * (NIR - ROJO) - 1,3 * (NIR - VERDE))] / [\maxCoeff (\mbox{máx} (ROJO; \mbox{máx}. (VERDE; NIR)))]$. La Figura 16 permite visualizar esta información.

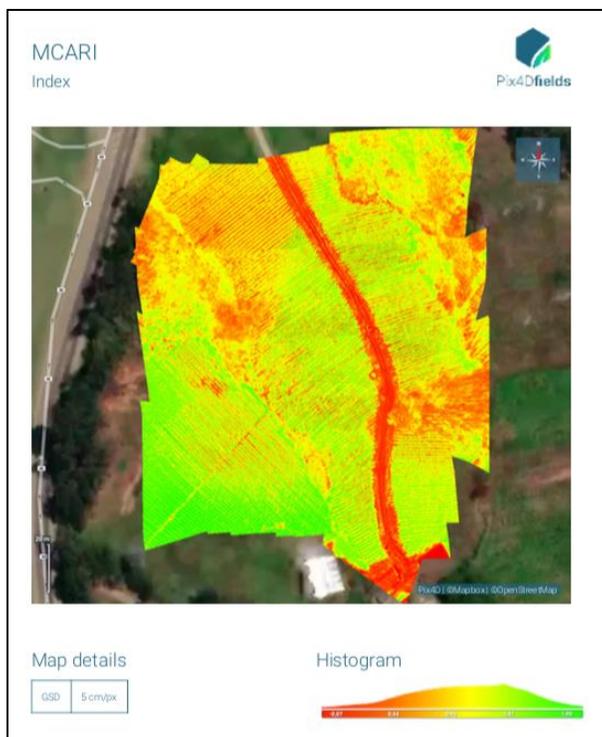


Figura 16. Índice de absorción de clorofila modificada en índice reflexivo

Los indicadores que se pueden extraer de los análisis realizados en Pix4D, permiten identificar condiciones vegetales del cultivo, sin embargo, no son útiles para la identificación de agentes externos de síntesis química, tal como lo es el agroquímico aplicado al cultivo de fríjol, por tal razón se hace ineficiente para el análisis del agente contaminante y por tanto, para la identificación del impacto ambiental.

4.3. Procesamiento de imágenes software ArcGIS.

Los diferentes índices obtenidos en el software Pix4D permiten identificar todo lo relacionado a las variables físicas de la planta, especialmente la clorofila y otras opciones foliar como la sanidad vegetal, sin embargo, esta investigación se encuentra encaminada a la detección de la fijación de agroquímicos, haciendo que los índices que se pueden obtener en el software Pix4D no permitan encontrar o, en su defecto, calcular la fijación de agroquímicos en los subsistemas del suelo y la planta, dado esto, fue necesario migrar a otro software para el

tratamiento y análisis de las imágenes obtenidas, que haga uso de algoritmos más robustos que pudieran interpretar espectralmente toda la información contenida en las imágenes; por tanto se hizo uso del Software ArcGIS.

En el Software ArcGIS se evaluaron las diferentes bandas presentes en las imágenes, tanto del ortomosaico como de cada una de las bandas espectrales: verde (550 BP 40), rojo (660 BP 40), borde rojo (750 BP 10) e infrarrojo cercano (790 BP 40), obteniendo los siguientes resultados:

Banda verde: No se observa una variabilidad espectral entre las zonas de aplicación y las zonas de no aplicación de agroquímicos, esto como resultado de que esta banda se encuentra dentro del espectro visible de los seres humanos, reaccionando de forma óptima en la identificación de clorofila.

Banda rojo: En esta banda tampoco es posible observar la variabilidad espectral en relación al agroquímico, esto sucede ya que la banda rojo se caracteriza por identificar la biomasa, pues la biomasa es capaz de absorber el espectro lumínico en su totalidad, estando inmersa en la banda del espectro visible.

Banda borde rojo: Esta banda que es muy cercana al espectro visible humano permite observar algunas zonas con variabilidad espectral en referencia a la aplicación de agroquímicos, pero no lo suficiente para tener un grado fiable de identificación de agroquímicos en el cultivo.

Banda del infrarrojo cercano: Esta banda con longitud de onda mayor y más lejana, con respecto a las anteriores, del espectro visible, permitió observar una variación espectral entre las zonas de fijación (Figura 17) y las zonas de no fijación de agroquímicos (Figura 18).

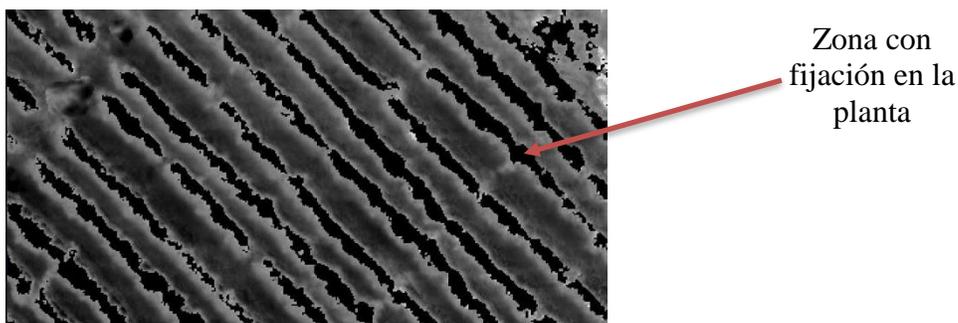


Figura 17. Zona de fijación de agroquímico en la banda de infrarrojo

Como es de anotar en la figura 17, existen zonas de menor reflectancia, en este caso se determinan por el color negro intenso, esto se encuentra determinado por la absorción de energía que presentan los líquidos, especialmente el agua, que en el caso de estudio se encuentra mezclada con los agroquímicos, permitiendo identificar en las zonas de estudio los lugares de fijación y por tanto poder identificar los subsistemas impactados ambientalmente por este.

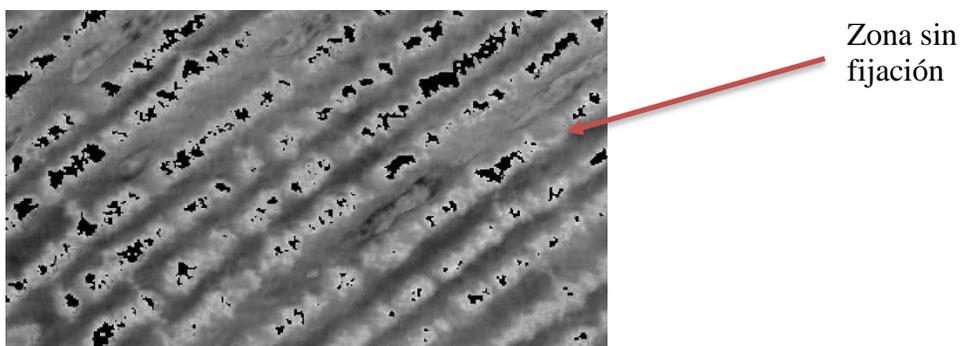


Figura 18. Zona sin fijación sin agroquímico en la banda de infrarrojo

Por el contrario, la figura 18 nos muestra un tramo del lugar de estudio en donde se puede identificar más claramente las zonas sin fijación, estas zonas hacen referencia a la vegetación y son las que producen mayor reflectancia en la banda del NIR, permitiendo ser visualizadas en la imagen como los sectores de mayor claridad, teniendo entonces una identificación de los lugares sin agroquímico, es decir, con una mayor respuesta espectral.

Al tener estos resultados con la banda NIR, fue posible proceder a la detección de estas zonas en toda la imagen, realizando, entonces, zonas de entrenamiento para la detección de los píxeles en las imágenes.

Las zonas de entrenamiento se generan a partir de una clasificación supervisada de píxeles, es decir, seleccionando de forma manual las características de los píxeles, de acuerdo con la respuesta que se ha obtenido en la banda del NIR, utilizando diferentes algoritmos, para este caso particular se implementaron algoritmos de mínima distancia espectral, que permiten identificar, primero, píxeles puros y luego, tratar a los demás cercanos a él para su homogenización. Las zonas homogéneas permiten, entonces, clasificar visualmente y por píxeles (de diferentes colores) las zonas de fijación y no fijación de agroquímicos, además de identificar el suelo. (Figura 19).

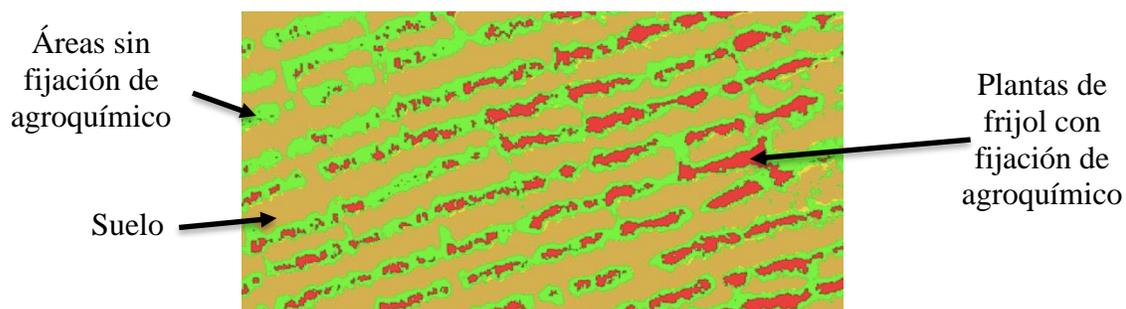


Figura 19. Clasificación por colores del caso de estudio cultivo de frijol.

En la figura se puede observar los colores asignados para cada una de las zonas a estudiar, el color rojo hace referencia a las zonas que fueron fumigadas y que tienen fijación de agroquímicos después de la aplicación, es decir con un impacto ambiental directo sobre los subsistemas del cultivo de frijol: las plantas y el suelo. Por el contrario, el color verde nos muestra las zonas que no presentan fijación de agroquímicos y por tanto con un menor impacto directo, por último, las zonas de color café claro permiten identificar el suelo.

4.4. Detección de zonas con fijación de agroquímicos.

Al aplicar los algoritmos de mínima distancia espectral a la imagen multispectral obtenida, se logró realizar la clasificación de las zonas de aplicación de agroquímicos (de acuerdo con el punto anterior) en la finca la Maporita, obteniendo como resultado la figura 20.

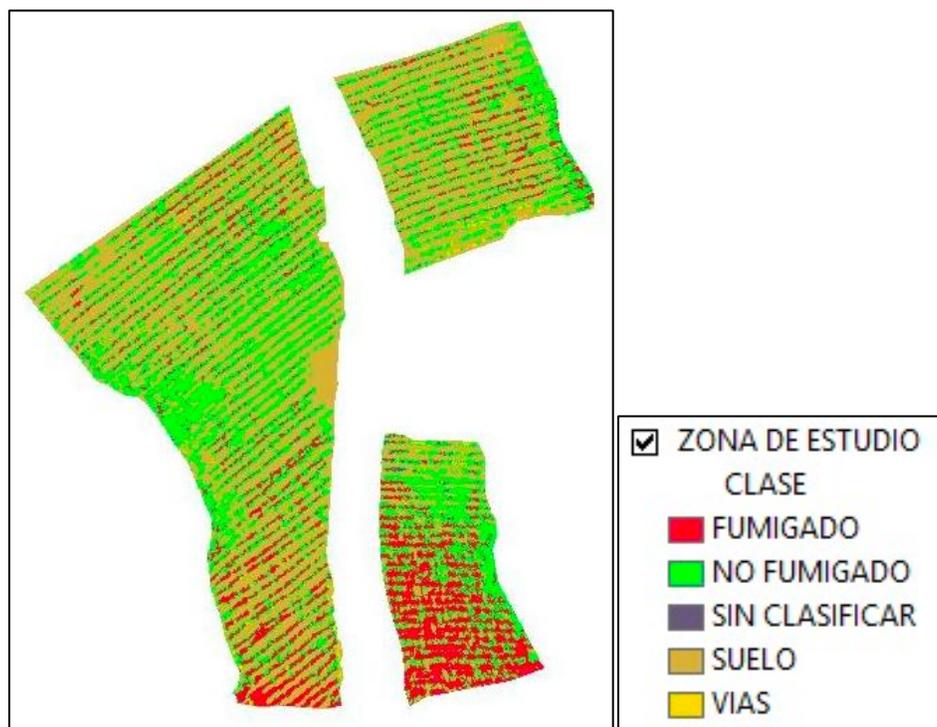


Figura 20. Área de estudio cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

A través del conteo de píxeles de iguales características de color, se pudo determinar la cantidad de metros cuadrados por cada una de las zonas de estudio, esta clasificación se encuentra consignada en la Gráfica 1. Como resultado del conteo de cada una de las zonas se obtiene un área total de 3811,5m².



Gráfica 1. Clasificación de área de estudio cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

La gráfica 1 permite analizar entonces, la totalidad del terreno que se intervino para la investigación, determinando así las zonas que han sufrido o no un impacto ambiental y que ha razón de la investigación se deben incluir en el análisis o, por el contrario, ser descartado para el análisis posterior.

Como el proceso investigativo se ha enfocado en los subsistemas del cultivo de fríjol, es necesario entonces, analizar solo estas áreas, por tanto, es necesario no tener en cuenta las zonas denominadas “SIN CLASIFICAR”, “VÍAS” y “SUELO” puesto que en ellas no se han aplicado de forma directa agroquímicos, obteniendo como resultado la tabla 5, que permite identificar los lugares que si se sometieron a una aplicación directa del agroquímico; estas zonas pertenecen a lo detectado como plantas y como agroquímico, teniendo un total de 1970,8m².

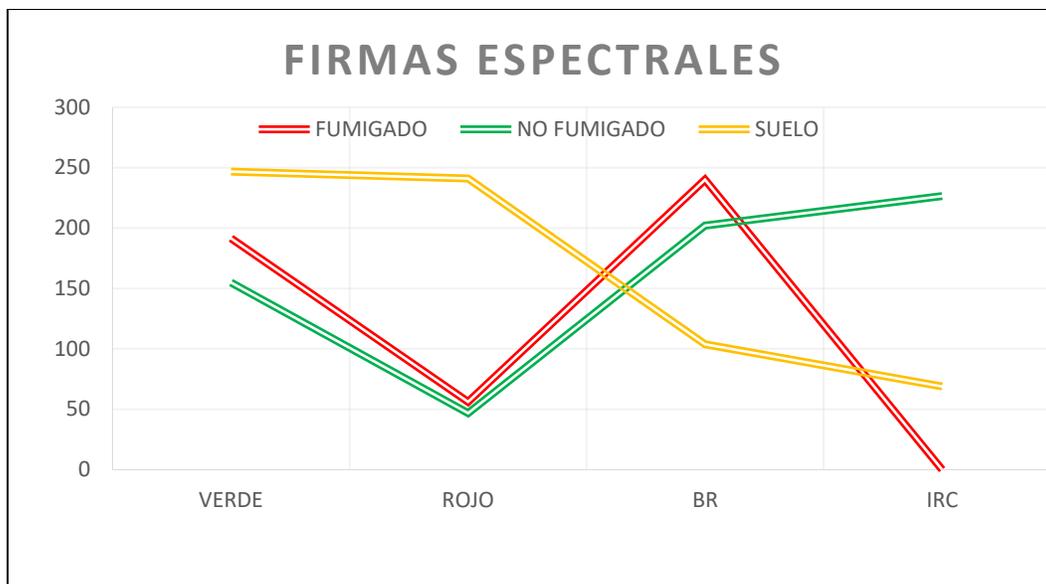
Tabla 5. Identificación de las zonas de estudio

<i>Zonas de Estudio</i>	<i>Metros Cuadrados</i>	<i>Porcentaje de Ocupación</i>
Fumigado	636,9	32,3168%
No fumigado	1333,9	67,6831%
Total	1970,8	100%
Litros aplicados	400	

La tabla 5 permite identificar no solo la cantidad de área que tuvo fijación de agroquímicos, sino también analizar de forma más profunda el porcentaje de área que logró una fijación eficiente del agroquímico, siendo entonces un aproximado de 32% del área total analizada la que ha sido sometida a un impacto directo en consecuencia de la aplicación del agroquímico. El 67% restante, permite identificar un impacto menor en consecuencia de la aplicación del agroquímico.

4.5.Firmas espectrales.

Las firmas espectrales se dan como resultado del patrón de respuesta desde el punto de vista de la reflectancia a cada condición a la que es sometida, de acuerdo a las bandas espectrales utilizadas para el proceso investigativo, para este caso, estos patrones obedecen a la identificación de las zonas de la planta donde se presenta la fijación del agroquímico y donde no hay mayor concentración de este, allí es evaluada la reflectividad de las superficies según la estructura de la cubierta del cultivo, siendo ejemplo de ellos la casi nula reflectividad que se obtiene del agroquímico al tener una parte de agua en su composición. La Gráfica 2 permite visualizar las firmas espectrales de cada una de las bandas.



Gráfica 2. Firmas espectrales

Un análisis de cada una de las bandas espectrales desde la gráfica 2, permite entender el proceso de detección implementado en la investigación, la selección de la banda espectral con mejor respuesta y, por tanto, la definición de una firma espectral para el reconocimiento de agroquímicos en el cultivo de fríjol.

Banda Verde: En el espectro de la banda verde se puede analizar que las respuestas de las tres (3) zonas analizadas (FUMIGADO, NO FUMIGADO y SUELO) tienen una reflectancia alta y muy cercana entre ellos, haciendo difícil la identificación de los sectores con y sin agroquímicos, impidiendo analizar de forma correcta el impacto generado en el cultivo de fríjol.

Banda Rojo: En este espectro existe una alta reflectancia de la zona SUELO, sin embargo, la reflectancia que se genera por parte de las zonas FUMIGADA y NO FUMIGADA es baja y muy similar, siendo difícil encontrar la diferencia en píxeles entre las dos zonas, permitiendo incurrir en el error para la identificación del impacto del agroquímico en el cultivo de fríjol.

Banda borde rojo: Al contrario de la banda rojo, la banda borde rojo tiene una reflectancia baja para la zona SUELO, pero para las zonas FUMIGADA y NO FUMIGADA es alta y, también, muy similar en magnitud, por tanto, hace que sea de difícil identificación del impacto ocasionado por la aplicación del agroquímico.

Banda de Infrarrojo Cercano: Esta banda espectral muestra una gran diferencia de reflectancia entre las zonas FUMIGADA y la NO FUMIGADA, siendo importante que la respuesta de reflectancia de la zona FUMIGADA es cero; esto acarrea que sea identificada por el color negro, asociándose entonces, que en estos lugares de la imagen hay mayor concentración de agroquímico aplicado; por el contrario, donde se tiene un índice alto de reflectancia, es decir, colores cercanos al blanco o gris, es donde hay menos concentración de agroquímico.

4.6. Estadística de la investigación

El procedimiento estadístico fue realizado por el software QGIS, sin embargo, es de resaltar que cualquiera de los programas utilizados para esta investigación permitía realizar este análisis. QGIS es un software que permite realizar de forma fácil este proceso.

Tabla 6. Tabla resumen estadístico Zona Fumigado

<i>Fumigado</i>				
Statistics	NIR	BR	ROJO	VERDE
Minimum	0	202	37	111
Maximum	0	255	76	255
Mean	0	240,05	56,1	191,62
Std.dev	0	15,34	11,68	42,69

Tabla 7. Tabla resumen estadístico Zona No Fumigado

<i>No Fumigado</i>				
Statistics	NIR	BR	ROJO	VERDE
Minimum	175	88	23	74
Maximum	255	255	83	255
Mean	226,48	202,08	46,8	154,99
Std.dev	18,74	28,07	10,26	34,49

Tabla 8. Tabla resumen estadístico Zona Suelo

<i>Suelo</i>				
Statistics	NIR	BR	ROJO	VERDE
Minimum	36	47	133	167
Maximum	121	170	255	255
Mean	68,87	103,8	241,04	246,71
Std.dev	14,65	23,72	28,57	17,85

Tabla 9. Tabla resumen estadístico

<i>Resumen</i>				
	<i>VERDE</i>	<i>ROJO</i>	<i>BR</i>	<i>NIR</i>
FUMIGADO	191,62	56,1	240,05	0
NO FUMIGADO	154,99	46,8	202,08	226,48
SUELO	246,71	241,04	103,8	68,87

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

Este capítulo pretende comunicar las conclusiones y recomendaciones que dieron lugar durante la investigación con el fin de determinar el impacto ambiental que se genera por el uso de agroquímicos en el cultivo de fríjol.

5.1. Conclusiones

- La identificación de los porcentajes de fijación de agroquímicos se realizó mediante el software ArcGis, haciendo uso solamente de la banda espectral del infrarrojo cercano, donde se pudo identificar que aproximadamente el 32 % de área del caso de estudio presentó un alto índice de fijación de agroquímicos en las plantas, sin descartar la posibilidad que también se presentara en el suelo, además se podría suponer o deducir que esto también sucede en el operario debido al contacto directo durante la aplicación, por inhalación o incluso por ingesta.
- En cuanto a la zona que se representa como No Fumigada con un valor aproximado de 67,5% es necesario concluir que estas zonas no carecen en su totalidad de la presencia de agroquímicos, sino que pueden tener una concentración mucho menor de este, generando una reflectancia similar a la de la ausencia de agroquímico; por tanto, es necesario analizar por separado el impacto ambiental que esto representa para el cultivo de fríjol en futuras investigaciones.
- Esta investigación sucede en un caso de estudio muy específico en cuanto a geografía y agricultura, pues se enfoca en un solo cultivo, de acuerdo con los resultados obtenidos, es propicio concluir que puede ser implementado este método para la identificación de agroquímicos en otros tipos de cultivos de nuestra geografía colombiana, siendo cada uno un caso de estudio diferente a analizar.

- El uso e implementación de la agricultura de precisión en el campo colombiano y en el caso de estudio de esta investigación a través del uso de drones y cámaras multiespectrales, permiten identificar deficiencias en los procesos artesanales y tradicionales de la aplicación de agroquímicos, implica un resultado positivo en la productividad del cultivo, así como la reducción drástica de tiempos y costos, además la disminución del potencial riesgo ambiental que incluye no solo los subsistemas estudiados, sino otros como el agua, el viento y la población cercana al cultivo y los consumidores.
- Durante el proceso investigativo al que este trabajo refiere, se logró identificar y determinar la banda espectral (Infrarrojo Cercano) en donde se puede observar con gran exactitud la fijación del agroquímico y la reflectancia, definiendo entonces un nuevo índice y método (imágenes multiespectrales) para analizar el impacto ambiental generado por el uso de agroquímicos en el cultivo de fríjol.
- A través del análisis de imágenes multiespectrales y haciendo uso de las firmas espectrales que se presentan en este trabajo de investigación, se puede cuantificar las cantidades de agroquímicos que se han fijado en el cultivo por metro cuadrado, permitiendo analizar otros aspectos que interfieren en la aplicación y mejorándolos, haciendo más eficiente el uso de los agroquímicos y logrando reducir el impacto ambiental que estos generan en el cultivo.
- Actualmente el proceso de aplicación de agroquímicos en el caso de estudio se hace de manera tradicional, es decir, dependiendo de la actividad de un ser humano, proceso en el cual intervienen muchas variables que afectan la aplicación, puesto que en los seres humanos no se pueden controlar actividades como velocidad de aplicación, cantidad de

agroquímico aplicado, cobertura de la aplicación y demás, aumentando la posibilidad de generar impactos ambientales adversos; sin embargo, hacer uso de tecnologías que permitan controlar estas variables, podrían disminuir el impacto ambiental sobre el cultivo y los subsistemas circundantes.

- En las bandas espectrales verde, rojo y borde rojo no se observa variabilidad espectral en respuesta a la aplicación del agroquímico en el cultivo de frijol, sin embargo, en la banda espectral de Infrarrojo cercano se observa una gran variabilidad espectral entre la reflectancia del agroquímico y donde no hay grandes concentraciones de este, permitiendo generar fácilmente las zonas de entrenamiento con píxeles puros, de esta forma se puede generar una clasificación supervisada de las zonas en toda la imagen.
- La lucha química contra plagas y enfermedades ha provocado una inadecuada utilización de agroquímicos, especialmente el uso excesivo de estos, con el fin de proteger los cultivos de plagas y enfermedades de manera empírica sin una recomendación de un Ingeniero agrónomo; esto ha generado que dichas plagas y enfermedades se hagan resistentes a los productos, lo cual acarrea una sobredosificación del agroquímico, aumento de la frecuencia de aplicación y por consiguiente la generación de impactos ambientales adversos cada vez más fuertes y constantes en la flora, fauna y sociedad.
- Reducir el impacto ambiental generado por agroquímicos no solo favorece el medio ambiente en el que se desarrollan los cultivos, sino también permite reducir el impacto en la salud de los seres vivos, especialmente en el ser humano, ya que no solo es afectado de forma directa por la ingesta o inhalación de estos productos, sino también de forma indirectamente por la acumulación de una fracción de estos productos de síntesis química

en la cadena alimenticia, bien sea consumiendo los productos agrícolas, pero también por el consumo de animales que, previamente se han alimentado de ellos.

5.2.Recomendaciones

- Para poder replicar de forma correcta los procedimientos y análisis propios de esta investigación, con el fin de realizar la identificación de la fijación de los agroquímicos en cultivos de frijol o en otros tipos de cultivos, es totalmente necesario hacer uso de una cámara multiespectral que cuente con la banda de infrarrojo y que cuente con posicionamiento global.
- Para obtener una buena reconstrucción de la imagen final se recomienda que exista un solapamiento mínimo entre imágenes del 65%, por tanto, es necesario que se realice la programación de este ítem desde un software especializado tal como el Pix4D o el DJI GO, ya que si el vuelo se realiza sin ser programado y es ejecutado por una persona, se puede incurrir en fallas de solapamiento y de delimitación de la zona específica a estudiar.
- Para realizar una buena captura de las imágenes en campo es necesario programar mediante el software Pix4D los tiempos de estabilización del dron, puesto que cada toma de imagen corresponde a cinco (5) fotografías, es decir, una por cada espectro y una RGB, siendo las cuatro (4) primeras las que se utilizan para el solapamiento y análisis multiespectral; al no tenerse en cuenta los tiempos de estabilización del dron para la captura de las imágenes, se presentan errores en las fotografías conocido como ruido digital.
- Luego de finalizar este proceso de investigación es importante recomendar, especialmente a los agricultores, que ingresen en el uso e implementación de las

tecnologías relacionadas a la agricultura de precisión, con el fin de reducir, no solo costos y aumentar productividad en los cultivos, sino también para reducir el impacto ambiental que se genera por el uso de productos de síntesis química.

- Poder determinar mediante esta tecnología los porcentajes de fijación de agroquímicos en las fincas productoras, de la mano de procesos de ingeniería para la optimización del uso y aplicación de agroquímicos permite mejorar la producción de los cultivos, reduciendo el uso del agroquímico, tiempos de aplicación, riesgos ambientales y de salud; aumentando los beneficios económicos, tiempos de disponibilidad para la familia y otras labores, en pro de la sociedad.
- Para mejor el proceso de aplicación y, por tanto, reducir el impacto ambiental que se tiene actualmente por la aplicación tradicional de agroquímicos es necesario cumplir con las siguientes recomendaciones: Leer con detenimiento la etiqueta del agroquímico con el fin de identificar su uso y determinar si es el necesario para el ciclo fenológico de la planta; tener precaución en el momento de la compra, transporte, almacenamiento, medición, mezcla y aplicación de los agroquímicos; realizar el mantenimiento y calibración de los equipos antes de realizar la aplicación del agroquímicos, esto con el fin de evitar derrames, goteos y demás; realizar un correcto uso de las zona de mezcla y la disposición final de los empaques de agroquímicos; usar elementos de protección personal; mantener una buena higiene personal siempre que se esté manipulando agroquímicos.
- Para una correcta aplicación manual con el método tradicional se recomienda: escoger la boquilla adecuada para el producto agroquímico que se va a aplicar, para el caso del frijol se recomienda una boquilla de cono hueco de punta de cerámica, con referencia TX-

VK10, es importante verificar mínimo dos (2) veces los caudales de aplicación; el operario debe tener un paso constante y al momento de realizar la aplicación tener la lanza con la boquilla a un ángulo de 45 grados; aplicar un coadyuvante a base de aceites vegetales, ya que este permite que se adhiera el agroquímico más fácil a la planta y no se pierda en el aire, todo esto ayuda a reducir el impacto ambiental actual que se genera por las prácticas erróneas de fumigación.

- En concordancia con los resultados y las conclusiones, se hace necesario recomendar a futuros investigadores ahondar en los diferentes temas que se analizaron de forma general en esta investigación, con el fin de reducir los impactos ambientales que pueden estar presentes en los diferentes subsistemas del cultivo de fríjol, dando como sugerencia no solo hacer uso de imágenes multiespectrales, sino también, hacer uso del espectro radiómetro.

Bibliografía

AGRONET.(2010),http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006419142629_Agri_culturadepresici%C3%B3n.pdf

Arias, L.A., Bojacá,C.R., Ahumada, D.A., & Scherevens, E. (2004). Estadísticas para el sector agrícola. Obtenido de Estadísticas para el sector agrícola: <http://www.agronet.gov.co>

Avizzano, C., Dabisias, G., Ruffaldi, E., P, T., & Satler, M. (2015). Towards smart Farming and Sustainable Agriculture With Drones. *ResearchGate*

Berrio M., Viviana A., Mosquera T., Jemay.(2015). Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión. Facultad de ingenierías y arquitectura. Universidad de Pamplona. Volumen 13.

Cárdenas, C. (2016). Plan de desarrollo municipal 2016-2019, municipio de Cabrera, Cundinamarca “Todos unidos trabajando por Cabrera”. Cabrera., 2016

Carvalho, D., Nhan Zhong, C., T.Tavares & Klaine, S. (1998). Resultados de un proyecto internacional de investigación rastreo de plaguicidas en los trópicos. Universidad de Malaya, Boletín del OIEA, 40-3-1998

Cortés Muñoz, S. M. (2011). Seminario de Investigación I. En *Diseño de Investigación* (pág. 25). Bogotá. Pág, 25

Comisión Mundial Del Medio Ambiente Y Desarrollo. Nuestro Futuro Común. Bogotá, Alianza Editorial Colombiana, Colegio Verde de Villa de Leiva, 1988

Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Nuestro Futuro Común. Oxford University Press. Londres, 1.987.

David Hunter et al. Concepts and Principles of International Environmental Law: An Introduction. Geneva, UNEP, 1994, p. 9

Díaz G. & Juan , J. (2015). Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión., Universidad Complutense de Madrid.

D.Torres,T., Capote (2004). Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente AEET, 2-6.

Duhalde & González. (2005). ESRI. (2009). Obtenido de <http://www.esri.com/library/bestpractices/gis-for-agriculture.pdf>

Eicher, C.K. 1989. *Sustainable institutions for African agricultural development*. La Haya, Países Bajos, ISNAR.

Ecofondo – Cerec. La gallina de los huevos de oro. Grupo editorial 87. Bogotá,1.998.

FAO. 1996. Cumbre mundial sobre alimentación. Roma, Italia, FAO y Ediciones Mundi Prensa, Madrid.

Govender M, Chetty Kand Bulcock H (2007) A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. Water SA 33 p. 145-151

Gibb, A. S. (2013). *droning the story*. british, columbia: university of british Columbia.

Guerrero, M. B. (2011)., Desarrollo de un módulo SIG para el manejo de imágenes multiespectrales orientado a la agricultura de precisión., Pontificia Universidad Católica de Peru.

Jaller, S. (2011). Análisis de los sistemas de producción agrícola de las provincias de Soacha y Sumapaz (Cundinamarca). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO.

Liess, M. (1999). Guía para la gestión ambiental responsable de los plaguicidas químicos de uso agrícola en Colombia.

Maddalon, J. M., Hayhurst, K. J., Koppen, D. M., Upchurch, J. M., Morris, A. T., & Verstynen, H. A. (2013). *Perspectives on unmanned aircraft classification for civil airworthiness standards*. Citeseer.

Ministerio de Medio Ambiente de España (MMAE). Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Madrid, España. 1.996.

Moreno, H. F. (2015). Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación una sencilla práctica de introducción a la teledetección. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España. pp 429-432

Mosquera, J., & Gómez, E. (2012). (Luna Azul. N° 34, Universidad de Caldas, Manizales. Colombia)

Mies, Maria y Shiva, Vandana (1997): *Ecofeminismo. Teoría, crítica y perspectivas*, Barcelona, Icaria. P. 31,135.

Mies, Maria y Shiva, Vandana (1998); *Ecofeminismo. Teoría, crítica y perspectivas*, Barcelona, Icaria. (1998): *La praxis del ecofeminismo. Biotecnología, consumo, reproducción*, Barcelona, Icaria.

Navarro, R., Hayas, A., García, A., Hernández, R., Duhalde, P., & González, L. (2005). Caracterización de la situación posincendio en el área afectada por el incendio de 2005 en el Parque Nacional de Torres del Paine (Chile) a partir de imágenes multiespectrales

Norma Oficial Mexicana NOM-182-SSA1-1998, Etiquetado de nutrientes vegetales. México, D.F., a 20 de septiembre de 2000. Disponible en:
<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/182ssa18.html>

Ojeda Bustamante, W., Mauricio Perez, A. M., González Sánchez, A., & Flores Velázquez, J. (23-24 de Noviembre de 2015). (I. M. Agua, Editor) Aplicaciones de los vehículos aéreos no Tripulados en la ingeniería hidroagrícola". (I. M. Agua, Ed.). Tecnología y Ciencias del Agua, VIII(4), p. 157-166. Obtenido de:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353551867010>

Ortega, Ramón y Rodríguez, Ignacio. Manual de Gestión del Medio Ambiente. Fundación Mapfre. Madrid, 1.997.

OPS/OMS. Sistema de Vigilancia Epidemiológica para Intoxicaciones Agudas por Plaguicidas. del Boletín Epidemiológico, Vol. 22 No. 4, diciembre 2001.
www.paho.org/spanish/sha/be_v22n4_plaguicidas.htm

Rodríguez Araujo, M. Á. (2014). Validación de un modelo de agua libre sobre el follaje, como herramienta para el manejo racional de plaguicidas en cultivos de tomate bajo invernadero. Bogotá.

Rojas, Gentil. Evaluación Social de Proyectos, Aplicada al medio ambiente. TM Editores. Univalle, Bogotá 1.996

Sánchez, P.A. 1994. *Tropical soil fertility research: towards the second paradigm*. 15º Congreso Mundial de Edafología, Acapulco, México. Vol.1, págs. 65-88.

Shiva, Vandana (1995): *Abrazar la vida. Mujer, ecología y desarrollo*, Madrid, horas y HORAS. P, 125, 283.

Shiva, V. (2010). Cosecha robada. El secuestro del suministro mundial de alimentos. ISBN: 9788449314308 . 166 páginas. Barcelona: Editorial Paidós

Van der Werf, H. M. (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian J, Ferrer, A., & Peigné, J. (2013). Agroecológica practices for sustainable agriculture. *HAL ARCHIVES-OUVERTES*, 21.

Zúñiga, Henry. Apuntes de clase de Introducción a la Ingeniería Ambiental. Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Distrital. Bogotá. 2.004

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica estacionaria



FUMIGADORAS

Equipos ideales para el agro. Resistentes con alto rendimiento.



	Fumigadora MITSUBISHI	FUMIGADORA ESTACIONARIA FORTE A GASOLINA TIPO CAMILLA
Presion	40-500 psi	0-500 psi
Motor	Mitsubishi 26 cm3	FORTE 6.5 hp

Los productos originales pueden variar ligeramente respecto a las fotos. La información en esta ficha está sujeta a cambios sin previo aviso.



www.equipmaster.com.co

Fumigadora Estacionaria FORTE a gasolina tipo camilla, motor Forte 6.5hp, caudal 28 L/min, presión de 0-500 PSI, 300-800Rpm, Manguera Lanza y Kit de succión.

Anexo 2. Ficha técnica cámara multispectral Parrot Sequoia

Parrot
SEQUOIA
Especificaciones Técnicas
senseFly
a Parrot company

Parrot Sequoia

La Parrot Sequoia es el sensor de dron más pequeño y ligero lanzado hasta la fecha. Captura imágenes de cultivos a través de cuatro bandas espectrales claramente definidas, visibles y no visibles, además de imágenes RGB, en un sólo vuelo.

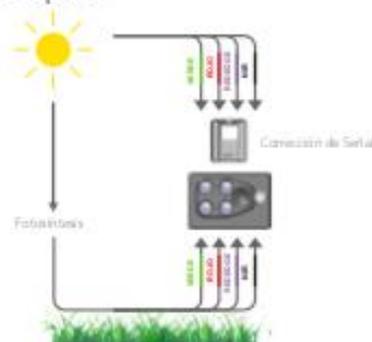
Sequoia es compatible con todos nuestros modelos eBee a través del Kit de Integración de senseFly.



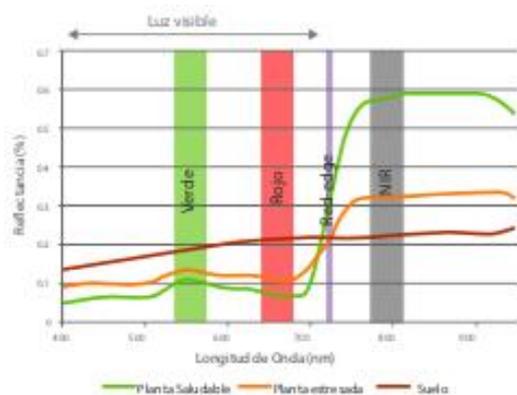
Características Principales

- Cuatro sensores de 1,2 MP (NIR, red-edge (RE), rojo y verde) + un sensor RGB de 16 MP
= multispectral + imágenes RGB en un sólo vuelo
- Sensor de Luminosidad orientado hacia arriba
Para imágenes exactas, independientemente de las condiciones de luz
- Captura de datos personalizados
Edge la resolución de la imagen multispectral. Capture datos multispectrales, RGB o ambos
- Integración Completa
Información completa de emoción Ag durante la planificación de vuelo compatible con ebee 5G.
Fácil instalación de Kit de Integración para todos nuestros modelos eBee

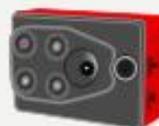
Concepto



Reflectancia de Vegetación Verde



Sequoia en detalles



Cuerpo principal



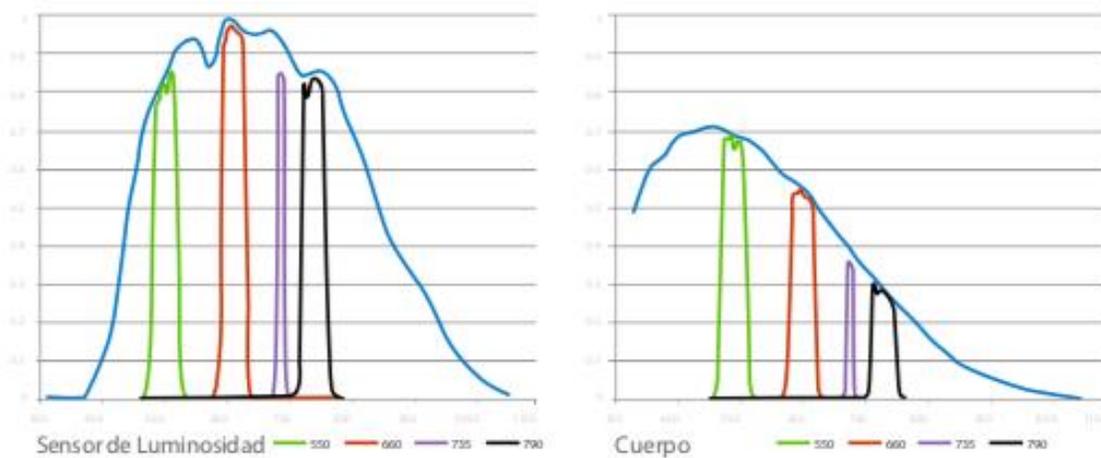
Sensor de Luz Solar

- Cuatro cámaras espectrales de 1,2 MP
 - Hasta 1 cuadro/seg
 - Una cámara RGB de 16 MP con obturador giratorio
 - IMU & magnetómetro
 - Configuración por WiFi
 - Almacenamiento de 64 GB
 - 5 W (~12 W peak)
 - 72 g (2,5 oz)
- 4 sensores espectrales con los mismos filtros que el cuerpo
 - GPS
 - IMU & magnetómetro
 - Tarjeta SD
 - 1 W
 - 35 g (1,2 oz)

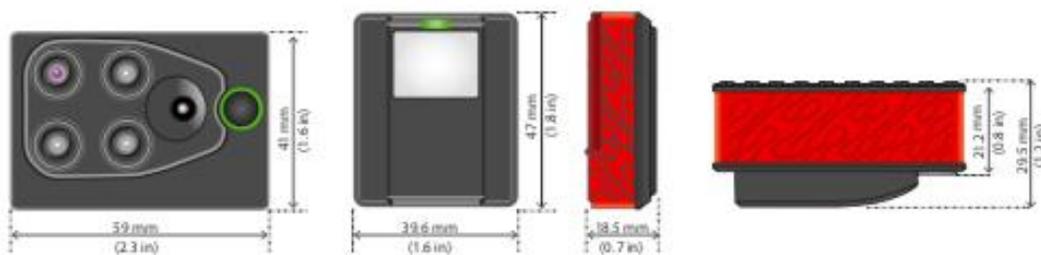
Kit de integración para eBee*



Sensibilidad



Factor de forma



* Requiere para usar Parrot Sequoia con drones eBee & eBee Ag.
Parrot es una marca registrada de Parrot SA, usada bajo licencia a Sequoia y Parrot Sequoia es marcas registradas de Parrot Drones SAS.
www.sensefly.com

Anexo 3. Reporte software Pix4D

Quality Report



Generated with PhotoEnterprise version 4.4.12

Important: Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	Project-2019-06-07
Processed	2019-06-07 19:23:18
Camera Model Name(s)	Sequoia_4.0_1280x960 (Green), Sequoia_4.0_1280x960 (Red), Sequoia_4.0_1280x960 (Red edge), Sequoia_4.0_1280x960 (NR)
Rig name(s)	-Sequoia-
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.31 cm / 1.70 in
Area Covered	0.023 km ² / 2.3081 ha / 0.01 sq. mi. / 5.7064 acres
Time for Initial Processing (without report)	02m:27s

Quality Check

Images	median of 10000 keypoints per image	✓
Dataset	416 out of 416 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.01% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 4468.83 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Preview

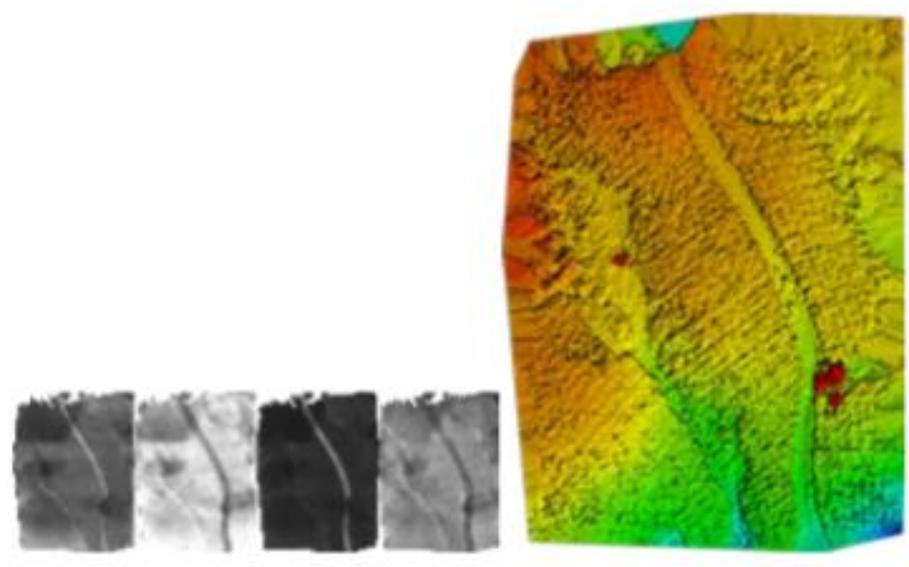


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	416 out of 416
Number of Geolocated Images	416 out of 416

Initial Image Positions

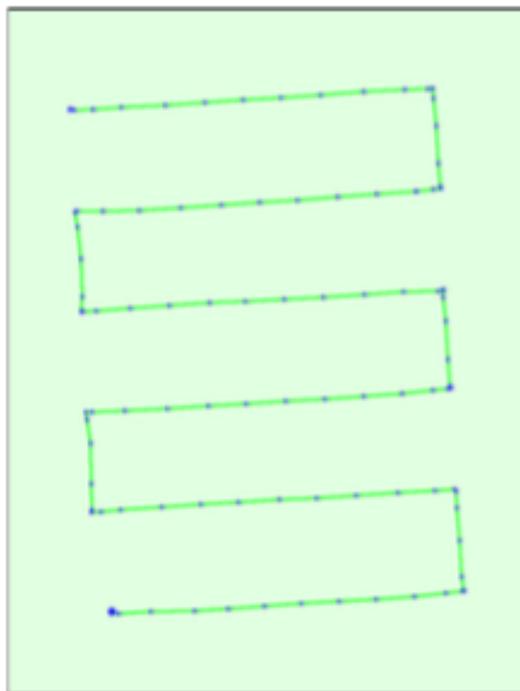


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

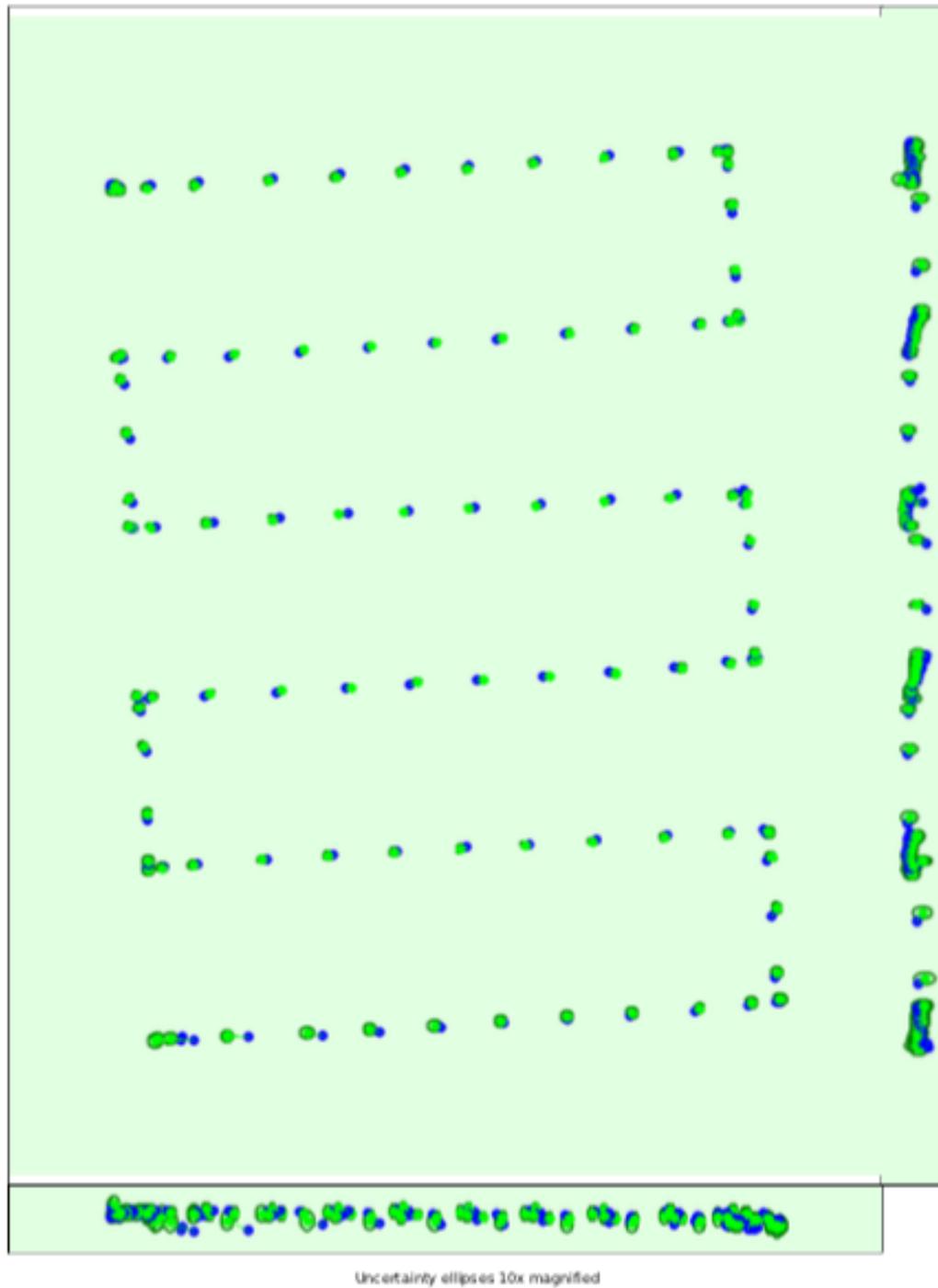


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

📍 Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.058	0.056	0.087	0.097	0.101	0.055

Sigma	0.008	0.008	0.017	0.005	0.005	0.004
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Overlap

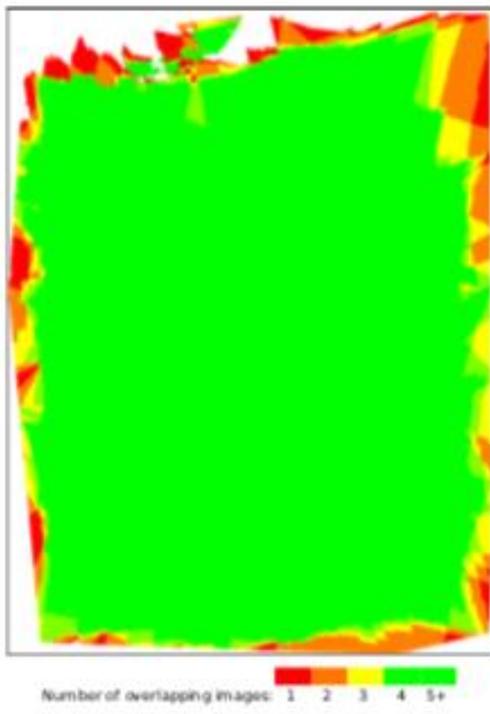


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	644845
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	215117
Mean Reprojection Error [pixels]	0.228

Internal Camera Parameters

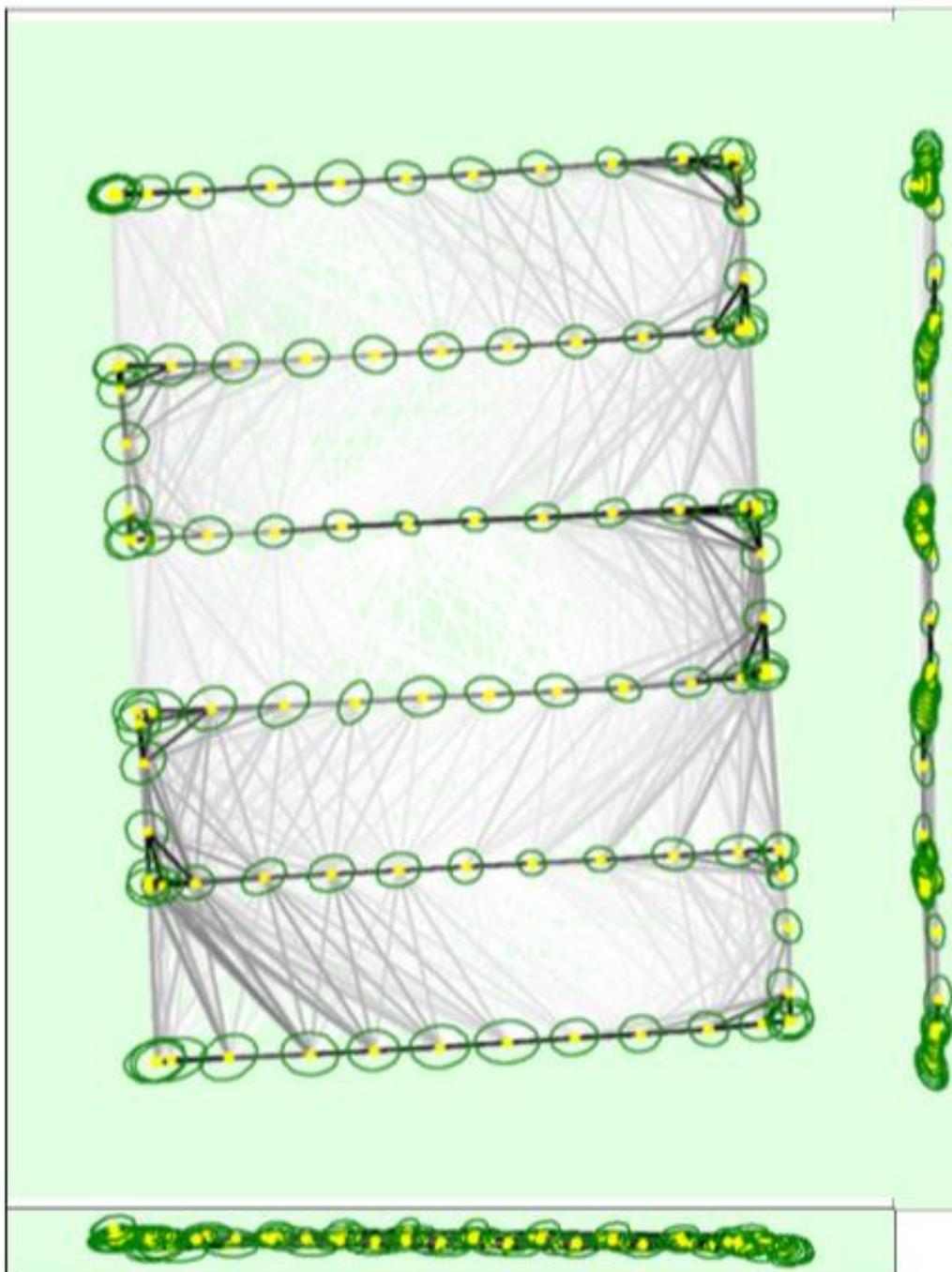
Sequoia_4.0_1280x960 (Green). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]

EXIF ID: Sequoia_4.0_1280x960

	Poly[0]	Poly[1]	Poly[2]	Poly[3]	Poly[4]	c	d	e	f	Principal Point x	Principal Point y
Initial Values	0.000000	1.000000	0.002535	0.134561	0.000000	1659.66	0.00	0.00	1659.66	630.75	488.65
Optimized Values	0.000000	1.000000	0.008328	0.147151	0.000000	1662.33	0.00	0.00	1662.33	665.73	479.25
Uncertainties (Sigma)			0.000892	0.001592		1.01	0.00	0.00	1.01	0.17	0.16

in 23 Images	11
in 24 Images	11
in 25 Images	10
in 26 Images	1
in 27 Images	3
in 28 Images	3
in 32 Images	1

2D Keypoint Matches



2D Keypoints Table for Camera Sequoia_4.0_1280x960 (Red)

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	100.00	3002
Min	100.00	541
Max	100.00	3928
Mean	100.00	2611

2D Keypoints Table for Camera Sequoia_4.0_1280x960 (Red edge)

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	100.00	3662
Min	100.00	1207
Max	100.00	6364
Mean	100.00	3966

2D Keypoints Table for Camera Sequoia_4.0_1280x960 (NIR)

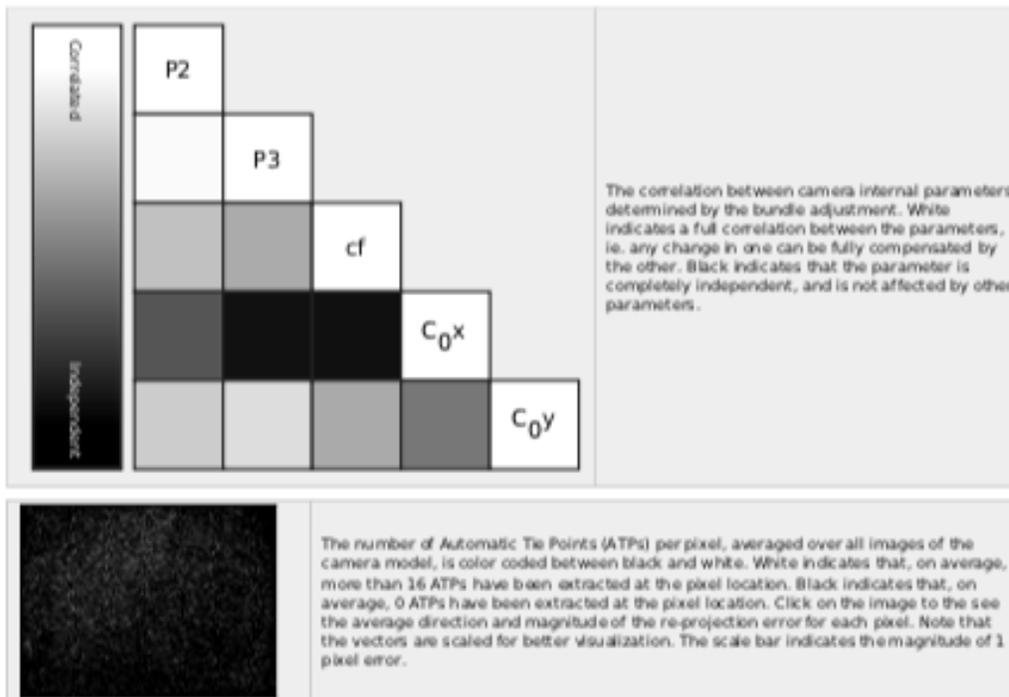
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	100.00	2963
Min	920.5	432
Max	100.00	5779
Mean	989.4	3160

Median / 75% / Maximal Number of Matches Between Camera Models

	Sequoia_4.0_1... (Green)	Sequoia_4.0_128... (Red)	Sequoia_4... (Red edge)	Sequoia_4.0_128... (NIR)
Sequoia_4.0_1280x960 (Green)	89 / 322 / 6105	38 / 111 / 1133	17 / 114 / 1374	10 / 38 / 409
Sequoia_4.0_1280x960 (Red)		128 / 961 / 2895	106 / 331 / 485	17 / 31 / 198
Sequoia_4.0_1280x960 (Red edge)			51 / 1361 / 5617	210 / 420 / 722
Sequoia_4.0_1280x960 (NIR)				321 / 2138 / 5570

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	129165
In 3 Images	38710
In 4 Images	19379
In 5 Images	10911
In 6 Images	5711
In 7 Images	3549
In 8 Images	2515
In 9 Images	1510
In 10 Images	1106
In 11 Images	749
In 12 Images	566
In 13 Images	360
In 14 Images	227
In 15 Images	189
In 16 Images	120
In 17 Images	96
In 18 Images	64
In 19 Images	53
In 20 Images	51
In 21 Images	22
In 22 Images	24



Camera Rig «Sequoia» Relatives. Images: 416

	Transl X [m]	Transl Y [m]	Transl Z [m]	Rot X [degree]	Rot Y [degree]	Rot Z [degree]
Sequoia_4.0_1280x960 (Green)	Reference Camera					
Sequoia_4.0_1280x960 (Red)						
Initial Values	0.000	-0.015	0.000	-0.620	-0.147	0.130
Optimized values	0.000	-0.015	0.000	-0.512	-0.014	0.125
Uncertainties (sigma)				0.026	0.033	0.003
Sequoia_4.0_1280x960 (Red edge)						
Initial Values	0.015	0.000	0.000	-0.250	-0.484	0.080
Optimized values	0.015	0.000	0.000	-0.250	-0.560	0.075
Uncertainties (sigma)				0.023	0.029	0.003
Sequoia_4.0_1280x960 (NIR)						
Initial Values	0.015	-0.015	0.000	-0.552	-0.613	0.117
Optimized values	0.015	-0.015	0.000	-0.602	-0.589	0.112
Uncertainties (sigma)				0.039	0.047	0.005

2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	10000	4469
Min	9205	432
Max	10000	7816
Mean	9991	4606

2D Keypoints Table for Camera Sequoia_4.0_1280x960 (Green)

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	10000	4820
Min	10000	2085
Max	10000	7816
Mean	10000	5077



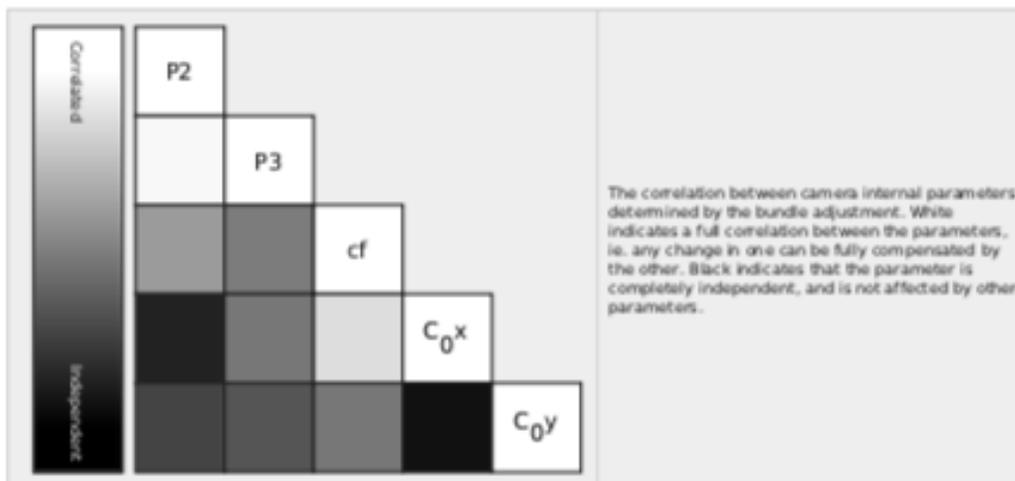
The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

Internal Camera Parameters

Sequoia_4.0_1280x960 (Red edge). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]

EXIF ID: Sequoia_4.0_1280x960

	Poly[0]	Poly[1]	Poly[2]	Poly[3]	Poly[4]	c	d	e	f	Principal Point x	Principal Point y
Initial Values	0.000000	1.000000	0.010332	0.147551	0.000000	1654.55	0.00	0.00	1654.55	621.94	499.59
Optimized Values	0.000000	1.000000	0.006790	0.139521	0.000000	1658.27	0.00	0.00	1658.27	655.29	497.83
Uncertainties (Sigma)			0.003017	0.005043		1.23	0.00	0.00	1.23	0.51	0.40



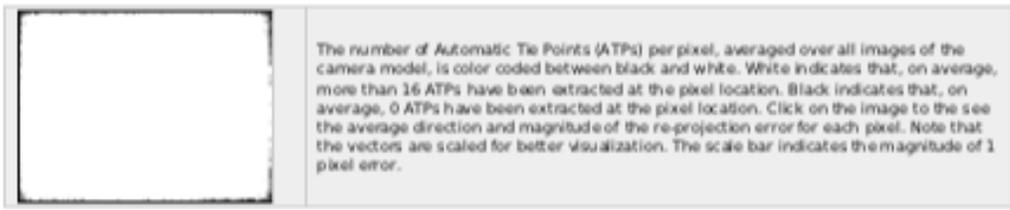
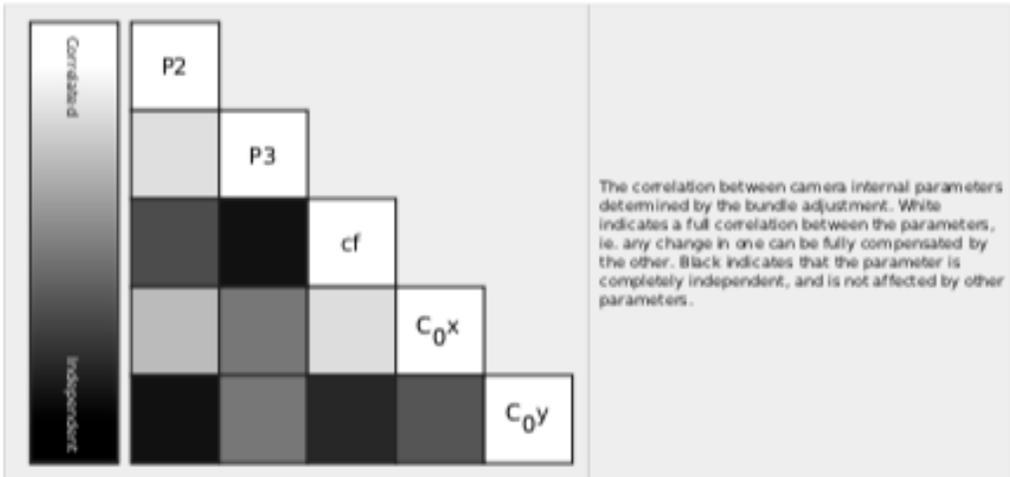
The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

Internal Camera Parameters

Sequoia_4.0_1280x960 (NIR). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]

EXIF ID: Sequoia_4.0_1280x960

	Poly[0]	Poly[1]	Poly[2]	Poly[3]	Poly[4]	c	d	e	f	Principal Point x	Principal Point y
Initial Values	0.000000	1.000000	0.011995	0.153075	0.000000	1664.40	0.00	0.00	1664.40	625.83	502.02
Optimized Values	0.000000	1.000000	0.002639	0.131710	0.000000	1666.30	0.00	0.00	1666.30	668.07	503.86
Uncertainties (Sigma)			0.004812	0.008038		1.54	0.00	0.00	1.54	0.83	0.69

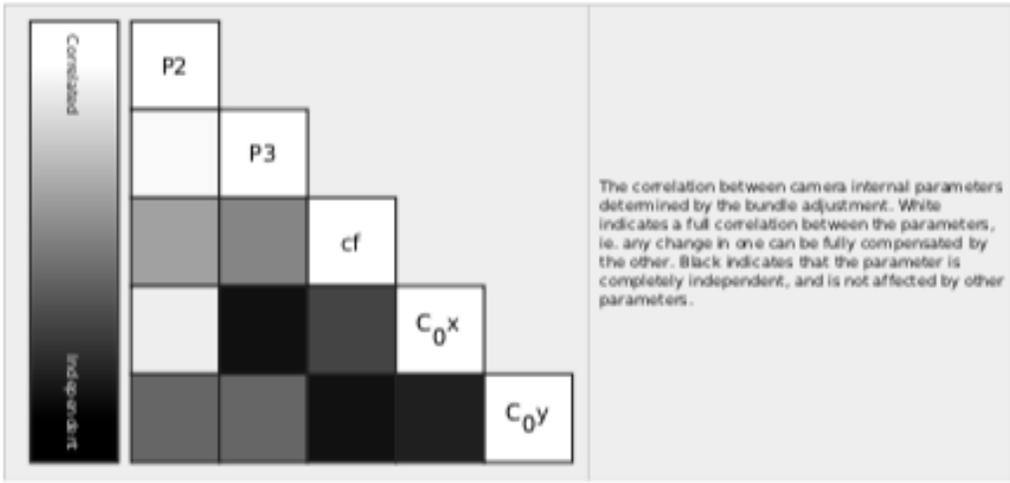


Internal Camera Parameters

Sequoia_4.0_1280x960 (Red). Sensor Dimensions: 4.800 [mm] x 3.600 [mm]

EXIF ID: Sequoia_4.0_1280x960

	Poly[0]	Poly[1]	Poly[2]	Poly[3]	Poly[4]	c	d	e	f	Principal Point x	Principal Point y
Initial Values	0.000000	1.000000	0.010791	-0.148354	0.000000	1663.63	0.00	0.00	1663.63	627.93	501.96
Optimized Values	0.000000	1.000000	0.013698	-0.159095	0.000000	1666.36	0.00	0.00	1666.36	671.95	489.83
Uncertainties (Sigma)			0.003367	0.005764		1.28	0.00	0.00	1.28	0.59	0.46



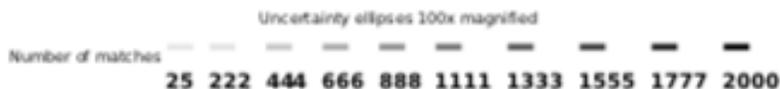


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 3D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual fix points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.023	0.019	0.012	0.037	0.039	0.014
Sigma	0.005	0.003	0.003	0.009	0.011	0.003

Geolocation Details

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-3.19	0.00	0.00	0.00
-3.19	-2.55	0.00	0.00	0.00
-2.55	-1.91	0.00	0.00	0.00
-1.91	-1.28	0.00	0.00	0.00
-1.28	-0.64	8.65	4.81	13.46
-0.64	0.00	39.90	42.31	32.69
0.00	0.64	38.94	52.88	49.04
0.64	1.28	7.69	0.00	4.81
1.28	1.91	0.96	0.00	0.00
1.91	2.55	0.96	0.00	0.00
2.55	3.19	2.88	0.00	0.00
3.19	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.116105	-0.014307	-0.014317
Sigma [m]		0.705235	0.303144	0.483415
RMS Error [m]		0.714728	0.303482	0.483627

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	73.56	93.99	92.31
[-2.00, 2.00]	98.08	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.608561	0.608561	0.873327
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.185790	0.185790	0.262330

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientation Variance	RMS [degree]
Omega	8.252

RN	6.834
Kappa	21.439

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Xeon(R) Platinum 8124M CPU @ 3.00GHz RAM: 69GB GPU: no info (Driver: unknown)
Operating System	Linux 4.15.0-1039-aws x86_64

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM 96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 18N (EGM 96 Geoid)

Processing Options

Detected Template	<input checked="" type="checkbox"/> Ag Multispectral
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 2
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Custom, Number of Keypoints: 10000
Advanced: Calibration	Calibration Method: Alternative Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Custom, yes
Rig «Sequoia» processing	optimize relative rotation using a subset of secondary cameras

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Low (Fast)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	Green, NIR, Red, Red edge
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	13s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	246357
Average Density (per m ³)	9.96

DSM, Orthomosaic and Index Details 1

Processing Options 1

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (4.31 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Index Calculator: Reflectance Map	Generated: yes Resolution: 1 x GSD (4.31 [cm/pixel]) Merge Tiles: no
Index Calculator: Indices	ndvi
Index Calculator: Index Values	Polygon Shapefile [m/grid]: 400
Time for DSM Generation	00s
Time for Orthomosaic Generation	00s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	02m:44s
Time for Index Map Generation	10s

Camera Radiometric Correction 1

Camera Name	Band	Radiometric Correction Type	Reflectance target
Sequoia_4.0_1280x960	Green	Camera and Sun Irradiance	n/a
Sequoia_4.0_1280x960	Red	Camera and Sun Irradiance	n/a
Sequoia_4.0_1280x960	Red edge	Camera and Sun Irradiance	n/a
Sequoia_4.0_1280x960	NIR	Camera and Sun Irradiance	n/a