	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	Lunes, 25 de febrero 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	Pregrado
---	----------


PROGRAMA ACADÉMICO	Tecnología en Cartografía
---------------------------	---------------------------

El Autor (Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Guzman Rodriguez	Javier Orlando	1022374318
Rey Morales	Karen Yineth	1072896368

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

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

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 7

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

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Ávila Vélez	Edier Fernando

TÍTULO DEL DOCUMENTO
IDENTIFICACIÓN Y CÁLCULO DE ÁREAS CUBIERTAS POR RETAMO ESPINOSO "ULEX EUROPAEUS", A TRAVÉS DE ESPECTRORRADIOMETRÍA DE CAMPO. CASO DE ESTUDIO ZONA PILOTO PÁRAMO DE SUMAPAZ, ZONA RURAL LOCALIDAD DE USME-BOGOTÁ Y MUNICIPIO DE SOACHA-PÁRAMO DE SUMAPAZ.

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
Tecnólogo en cartografía

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
12/02/2019	64

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Espectrorradiometria	Spectroradiometry
2. Imagen satelital	Satellite image
3. Teledeteccion	Teledeteccion
4. Páramo	Páramo
5. Sentinel-2	Sentinel-2
6. Firma espectral	Spectral signature

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):

Este proyecto describe la identificación y el cálculo de áreas cubiertas por retamo espinoso "Ulex Europaeus", siendo una planta invasora dentro de cualquier ecosistema, originaría de las sabanas secas del centro de Europa, traída por la empresa del acueducto de Bogotá aproximadamente hace cincuenta años, principalmente para implantarla como cerca viva en predios rurales. La planta elimina especies de su alrededor, seca los sistemas de aguas, produce incendios forestales por su alta densidad en aceite. Por lo tanto, el ecosistema proporciona gran cantidad de agua, posee plantas nativas de los páramos, ricos en biodiversidad e integridad del medio ambiente, siendo importantes y vital para la humanidad que se está viendo afectada.

Así mismo, a través de espectro-radiometría de campo, se realiza la recolección de datos (firmas espectrales), las cuales nos permite conocer el tipo de cobertura que se está estudiando para analizar su variabilidad espectral en función de las diferentes longitudes de onda; con la ejecución de este proceso en campo se puede interpretar radiométricamente los pixeles que tienen el mismo comportamiento en la imagen satelital.


Del mismo modo, la descripción del cálculo de áreas de retamo espinoso, se llevó a cabo en la zona piloto Páramo de Sumapaz, zona rural de la localidad de Usme-Bogotá y el municipio de Soacha-Páramo de Sumapaz, teniendo en cuenta que son unos de los lugares donde se tiene la presencia de la especie invasora retamo espinoso.

This project describes the identification and calculation of areas covered by Retamo prickly "Ulex Europaeus", being an invasive plant within any ecosystem, originating from the dry savannas of Central Europe, brought by the aqueduct of Bogotá approximately fifty years ago, mainly to implant it as close live in rural area. The plant removes species from its surroundings, dries the water systems, produces wildfires due to its high oil density. Moreover, the ecosystem provides a great amount of water, possesses native plants of the moorland, rich in biodiversity and integrity of the environment, being important and vital for the humankind that is being affected.

Also, through Spectrum-field radiometry, data collection (spectral signatures) is carried out, which allows us to know the type of coverage that is being studied to analyze its spectral variability according to the different lengths of wave; with the execution of this process in the field can be interpreted radiometrically the pixels that have the same behavior in the satellite image.

Thus, the description of the calculation of areas of Prickly Retamo, was carried out in the pilot zone Páramo of Sumapaz, rural zone of the locality of Usme-Bogotá and the commune of Soacha-Páramo of Sumapaz, having into account that they are one of the areas where one has the presence of the invasive species Prickly Retamo Master.

With the aforementioned we obtain two hundred Eighty (280) hectares that are possibly covered by Retamo in the areas paramo of Sumapaz, Soacha and Usme, this indicates the care that should be taken in the areas with the presence of the same and its possible activities for mitigation.

	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

AUTORIZACIÓN 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

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
		PÁGINA: 5 de 7

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

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

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**

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:

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

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no 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

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

Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



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



Nota:

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

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

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

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

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Ortizman Rodriguez Javier Orlando	
Roj Morales Karen Vineth	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).

**IDENTIFICACIÓN Y CÁLCULO DE ÁREAS CUBIERTAS POR RETAMO
ESPINOSO “ULEX EUROPAEUS”, A TRAVÉS DE ESPECTRORRADIOMETRÍA DE
CAMPO. CASO DE ESTUDIO ZONA PILOTO PÁRAMO DE SUMAPAZ, ZONA
RURAL LOCALIDAD DE USME-BOGOTÁ Y MUNICIPIO DE SOACHA-PÁRAMO DE
SUMAPAZ.**

PRESENTADO POR:

Karen Yineth Rey Morales

COD. 190215208

Javier Orlando Guzmán Rodríguez.

COD.190215217

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA
FUSAGASUGÁ.
2018.**

**IDENTIFICACIÓN Y CÁLCULO DE ÁREAS CUBIERTAS POR RETAMO
ESPINOSO “ULEX EUROPAEUS”, A TRAVÉS DE ESPECTRORRADIOMETRÍA DE
CAMPO. CASO DE ESTUDIO ZONA PILOTO PÁRAMO DE SUMAPAZ, ZONA
RURAL LOCALIDAD DE USME-BOGOTÁ Y MUNICIPIO DE SOACHA-PÁRAMO DE
SUMAPAZ.**

PRESENTADO POR:

KAREN YINETH REY MORALES

COD. 190215208

JAVIER ORLANDO GUZMÁN RODRÍGUEZ.

COD.190215217

**Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al Título de:
Tecnología en Cartografía**

TUTOR:

EDIER FERNANDO ÁVILA

INGENIERO CATASTRAL Y GEODESTA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA

FUSAGASUGÁ.

2018.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Este trabajo de grado, lo dedicamos a las siguientes personas que con su apoyo y dedicación fueron participes de este proceso.

A Dios

Por habernos permitido llegar hasta este punto, guiándonos por el camino correcto, por darnos la salud, fuerzas y el conocimiento para lograr los objetivos propuestos con su infinita bondad y amor.

A nuestros familiares

Por el apoyo incondicional que nos brindaron en cada momento, consejos, amor, sabiduría y comprensión, aprendiendo así los aciertos y enfrentar los momentos difíciles en este proceso de educación, siendo ellos el pilar fundamental en todo lo que somos hoy en día.

A nuestro tutor Edier Fernando Ávila

Por creer en nosotros, por brindarnos su apoyo incondicional y contribuir en el desarrollo de este proyecto, lleno de experiencias y conocimientos para nuestra vida cotidiana.

A nuestros profesores

Por compartirnos sus conocimientos, los cuales fueron aplicados en la ejecución de este trabajo de grado.

Gracias a todas las personas que directa o indirectamente, aportaron en la ejecución de este proyecto, haciendo que se llegase con gran satisfacción.

Tabla de contenido

Resumen	x
Abstract	xi
1. INTRODUCCIÓN	12
2. Planteamiento problema	16
3. Justificación	17
4. Objetivos	19
4.1. Objetivo general	19
4.2. Objetivos específicos	19
5. Marco referencial	20
5.1. Marco teórico y conceptual	20
5.2. Marco legal	23
5.3. Antecedentes	23
6. Localización	29
7. Desarrollo de metodología	35
7.1. Definición de área de estudio	35
7.2. Reconocimiento de la especie	36
7.3. Recolección de datos	37
7.4. Espectrorradiometría de campo	40
7.5. Selección de la imagen satelital	44
7.6. Calibración radiométrica	45
7.7. Descarga y procesamiento de los datos	46
7.8. Ajuste de las bandas satelitales	47
7.9. Creación del algoritmo	48

7.10.	Cálculo de áreas	51
7.11.	Salidas gráficas	52
8.	Resultados	56
8.1.	Firma espectral retamo espinoso.....	56
8.2.	Análisis de variabilidad espectral	56
8.3.	Identificación de píxeles	57
8.4.	Cálculo de áreas afectadas	57
9.	Análisis de resultados.....	59
10.	Conclusiones.....	61
11.	Referencias	62

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Ubicación general (Colombia).....	29
Ilustración 2 Ubicación general (Departamento Cundinamarca).....	30
Ilustración 3 Ubicación zona de estudio (Usme).	31
Ilustración 4 Ubicación zona de estudio (Soacha).	32
Ilustración 5 Puntos de muestra de Retamo Espinoso (Usme).	33
Ilustración 6 Puntos de muestra de Retamo Espinoso (Soacha).	34
Ilustración 7 Páramo de Sumapaz- Soacha composición RGB (8,4,3) sensor sentinel-2A (Fuente propia).....	35
Ilustración 8 Páramo de Sumapaz-Usme composición RGB (8,4,3) sensor sentinel-2A (Fuente propia).....	36
Ilustración 9 Retamo espinoso "Ulex Europaeus" Usme (Fuente propia).	37
Ilustración 10 Toma de muestras in situ zona rural de Usme (Fuente propia).....	38
Ilustración 11 Toma de muestras in situ zona rural de Usme (Fuente propia).....	38
Ilustración 12 Toma de muestras in situ zona rural de Soacha (Fuente propia).	39
Ilustración 13 Toma de muestras in situ zona rural de Soacha (Fuente propia).	39
Ilustración 14 Espectroradiómetro y la spectralón (Fuente: propia).	41
Ilustración 15 Equipo completo de espectroradiometría (Fuente propia).....	41
Ilustración 16 Espectroradiómetro sin calibrar.	42
Ilustración 17 Calibración del espectroradiómetro con el spectralón.	43
Ilustración 18 Espectroradiómetro calibrado.	43
Ilustración 19 Composición RGB (8,4,3) sentinel-2A fecha de toma 24-01-2018.....	44
Ilustración 20 composición RGB (8,4,3) sensor sentinel-2A, con corrección radiométrica....	45
Ilustración 21 Areas posibles cubiertas por Retamo Espinoso Páramo de Sumapaz. (Fuente propia).....	52
Ilustración 22 Píxeles posibles de Retamo Espinoso en zonas de estudio. (Fuente propia). ...	53
Ilustración 23 Píxeles posibles de Retamo Espinoso en zona de Usme-Bogotá. (Fuente propia).	54
Ilustración 24 Píxeles posibles de Retamo Espinoso en zona de Soacha. (Fuente propia).....	55

Lista de gráficas

Gráfico 1 Firmas espectrales seleccionadas. Retamo verde.....	47
Gráfico 2 Firma promedio del retamo verde.....	56

Lista de tablas

Tabla 1 Ajuste de bandas.	48
Tabla 2 Valores de reflectancia del retamo con respecto a la imagen satelital.....	49
Tabla 3 Cálculo de mínimos y máximos banda por banda.	50
Tabla 4 Promedio y desviación estándar.....	50
Tabla 5 Calculo de areas de Retamo Espinoso	58

Resumen

Este proyecto describe la identificación y el cálculo de áreas cubiertas por retamo espinoso “*Ulex Europaeus*”, siendo una planta invasora dentro de cualquier ecosistema, originaría de las sabanas secas del centro de Europa, traída por la empresa del acueducto de Bogotá aproximadamente hace cincuenta años, principalmente para implantarla como cerca viva en predios rurales. La planta elimina especies de su alrededor, seca los sistemas de aguas, produce incendios forestales por su alta densidad en aceite. Por lo tanto, el ecosistema proporciona gran cantidad de agua, posee plantas nativas de los páramos, ricos en biodiversidad e integridad del medio ambiente, siendo importantes y vital para la humanidad que se está viendo afectada.

Así mismo, a través de espectro-radiometría de campo, se realiza la recolección de datos (firmas espectrales), las cuales nos permite conocer el tipo de cobertura que se está estudiando para analizar su variabilidad espectral en función de las diferentes longitudes de onda; con la ejecución de este proceso en campo se puede interpretar radiométricamente los pixeles que tienen el mismo comportamiento en la imagen satelital.

Del mismo modo, la descripción del cálculo de áreas de retamo espinoso, se llevó a cabo en la zona piloto Páramo de Sumapaz, zona rural de la localidad de Usme-Bogotá y el municipio de Soacha-Páramo de Sumapaz, teniendo en cuenta que son unos de los lugares donde se tiene la presencia de la especie invasora retamo espinoso.

Con lo anteriormente mencionado se obtienen 280 hectáreas que posiblemente tengan presencia de retamo espinoso en las zonas del Páramo de Sumapaz, Soacha y Usme, esto nos indica el cuidado que se debe tener en las zonas con presencia de la misma y sus posibles actividades para su mitigación.

Abstract

This project describes the identification and calculation of areas covered by Retamo prickly "Ulex Europaeus", being an invasive plant within any ecosystem, originating from the dry savannas of Central Europe, brought by the aqueduct of Bogotá approximately fifty years ago, mainly to implant it as close live in rural area. The plant removes species from its surroundings, dries the water systems, produces wildfires due to its high oil density. Moreover, the ecosystem provides a great amount of water, possesses native plants of the moorland, rich in biodiversity and integrity of the environment, being important and vital for the humankind that is being affected.

Also, through Spectrum-field radiometry, data collection (spectral signatures) is carried out, which allows us to know the type of coverage that is being studied to analyze its spectral variability according to the different lengths of wave; with the execution of this process in the field can be interpreted radiometrically the pixels that have the same behavior in the satellite image.

Thus, the description of the calculation of areas of Prickly Retamo, was carried out in the pilot zone Páramo of Sumapaz, rural zone of the locality of Usme-Bogotá and the commune of Soacha-Páramo of Sumapaz, having into account that they are one of the areas where one has the presence of the invasive species Prickly Retamo Master.

With the aforementioned we obtain two hundred Eighty (280) hectares that are possibly covered by Retamo in the areas paramo of Sumapaz, Soacha and Usme, this indicates the care that should be taken in the areas with the presence of the same and its possible activities for mitigation.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo da cuenta de la identificación y cálculo de áreas ocupadas por (retamo espinoso), conocido como unas de las cien especies más invasoras del mundo, limitando la problemática en la zona de páramo de Sumapaz, localidad de Usme-Bogotá y municipio de Soacha-Páramo de Sumapaz en zonas rurales. Lo anterior se lleva a cabo mediante espectrorradiometría de campo, la cual toma relevancia dentro de este contexto ya que la radiometría es el conjunto de técnicas que permiten detectar y analizar las diferentes características espectrales de objetos de la superficie terrestre, se conecta y complementa con técnicas de la teledetección, ya que permite la detección de datos en la superficie terrestre que son desarrollados a partir de modelos que describen las relaciones entre reflectancia espectral y los atributos biofísicos que tiene el objeto.

La característica principal de la identificación y cálculo de áreas del retamo espinoso a través de radiometría de campo, se da con la toma de datos *in situ*, realizando esta labor con el equipo HandHeld 2, el cual es un instrumento de mano categorizado en bajo costo y fácil de utilizar, donde se enmarca la teoría y medición de la luz o energía electromagnética, este equipo pertenece a la casa matriz ASD Inc., este mismo se utiliza en la mediación de la radiación espectral o irradiación en diferentes rangos espectrales. Luego de georreferenciar las muestras para su posterior análisis sobre imágenes satelitales que contengan la misma respuesta espectral electromagnética y con las mismas características físicas de mediciones de la variable reflectancia.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la afectación directa al ecosistema de páramo, siendo el retamo espinoso una especie invasora, no deja crecer

otra planta a su alrededor y seca las fuentes de agua cerca de ella ya que compite agresivamente con otras especies endémicas.

Los páramos son ecosistemas típicos de la cordillera de los andes, se encuentran únicamente en los países de Ecuador, Venezuela, Costa Rica y Colombia. Estos hábitats se encargan de la creación de varias fuentes fluviales de agua como lo son grandes ríos y quebradas (Greenpeace, 2009). Los páramos se caracterizan por tener un clima bastante húmedo, ya que en ellos se presentan lluvias constantes, permanecen su gran parte del tiempo nublado y sus suelos son pantanosos, las plantas que allí viven son plantas aterciopeladas las cuales logran protegerse del frío y recoger la humedad de la neblina (Greenpeace, 2009).

El páramo de Sumapaz es el más grande del mundo, siendo unos de los principales proveedores de agua de distintas poblaciones, gracias a su biodiversidad en flora y fauna, su importancia radica en ser un ecosistema de bajas temperaturas y con un alto índice de humedad debido a sus frecuentes lluvias (Greenpeace, 2009).

En la parte rural de Usme y Soacha junto con zonas del páramo de Sumapaz, se está presentando un fenómeno invasor por la planta *Ulex Europaeus* (retamo espinoso). Esta planta es considerada como una de las cien plantas más invasoras del mundo. La cual tiene su origen en la zona del oeste de Europa y noroeste de África; esta planta fue introducida a Colombia por la empresa del acueducto de Bogotá, como cerca viva para delimitar sus predios en estas zonas (Díaz A, 2009).

De igual manera esta especie y el ecosistema están enmarcados en la resolución 7615 de 2009, la cual considera que como primer artículo de la ley 99 de 1993 “*establece los principios que rigen la política ambiental colombiana y en su numeral 2° dispone que la biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, debe ser protegida prioritariamente y*

aprovechada en forma sostenible.”; también en el artículo 8, 79 y 80 por la Constitución Política se debe promover y proteger la biodiversidad e integridad ambiental.

La teledetección siendo el proceso por el cual se pueden monitorear distintos procesos ecológicos mediante datos multiespectrales, también permite observar la cobertura vegetal de una zona específica (Rodríguez, et al., 2010). Con esto los satélites de teledetección son utilizados para realizar una buena gestión en el territorio, permitiendo que los procesos observados en la Tierra tengan un ordenamiento de la zona en diferentes resoluciones.

Por lo anterior los elementos de la teledetección son participes de este proceso, que al disponer de una fuente de energía como el sol ilumina el objeto que se requiera, es posible obtener la caracterización de las ondas electromagnéticas por longitud de onda, a partir de la reflectancia de las superficies terrestres, hasta alcanzar a tener el tipo de imagen de teledetección que se quiere para obtener los datos deseados (García, et al., 2012).

Otras situaciones de la teledetección son los avances que ha tenido desde los años noventa hasta entonces, en cuanto a esto considera (Martínez, et al., 2010), que los procesos que desde la historia se han llevado a cabo como lanzamientos de satélites, desarrollo de cámaras e información que se adquiriría para tener resultados en cada momento, han permitido que este tema tenga una importancia y acoge para ser utilizado en varias actividades como: interacción de orbitas, imágenes tratadas visual o digitalmente, como herramienta en los fenómenos naturales y más, que abarca un campo del conocimiento más amplio.

La espectrorradiometría como herramienta la cual se puede utilizar para monitorear especies vegetales (Fabregat, 1999 citado por Martínez, 2014). Tal es el caso del retamo espinoso, para obtener su firma espectral que permite clasificarla, identificarla y posteriormente cuantificar cuál

es el área que ocupa dentro del páramo de Sumapaz que se está viendo afectada por esta planta. Así mismo, es el equipo de espectrorradiometría el que mide la radiación de luz entrante, la reflectancia y la transmitancia en un rango espectral, permitiendo medir la intensidad cuantitativa o absoluta en diferentes longitudes de onda del espectro.

2. Planteamiento problema

El lugar de estudio para la identificación y el cálculo de áreas de la especie retamo espinoso, está situado en zonas de páramo, zonas rurales de la localidad de Usme-Bogotá y el municipio de Soacha. Esto hace alusión desde la fecha en que la empresa del acueducto de Bogotá trajo esta planta invasora para plantarla como cerca viva, se conoce que ha tenido un crecimiento en cuanto a la extensión que abarca, lo cual está afectando el ecosistema de páramo, las tierras aptas para la agricultura en la región y también hay afectaciones a los procesos pecuarios de la zona. Por lo anterior un método para la verificación de las áreas de extensión de la planta es realizar espectrorradiometría de campo con apoyo del equipo HandHeld 2, obteniendo firmas espectrales y georreferenciando los datos recolectados.

Dado que, en el páramo de Sumapaz se está evidenciando una problemática ambiental a raíz de la expansión de una especie invasora agresiva (Retamo Espinoso), la cual afecta la diversidad y desarrollo del ecosistema. Ya que el páramo es un ecosistema vital para la regulación del ciclo hidrológico y la captación de carbono atmosférico, por tanto, el suelo y la vegetación captan agua en el tiempo de invierno, de esta manera cuando llega el verano el páramo sigue destilando agua lentamente y así los ríos se pueden mantener estables.

Por lo anterior surge la pregunta ¿Cuánta área por retamo espinoso se tiene en zonas del páramo de Sumapaz, zonas rurales de la localidad de Usme-Bogotá y el municipio de Soacha-páramo de Sumapaz?

3. Justificación

Evidenciada la problemática que inquieta a la comunidad, principalmente en zonas del páramo de Sumapaz, localidad de Usme-Bogotá y municipio de Soacha por la planta invasora (retamo espinoso), se requiere llegar a cuantificar áreas que están afectadas por la misma. Como tal, para identificar las zonas de afectación producida por esta planta, el estudio requiere de la obtención de las firmas espectrales para realizar el cálculo de áreas de dicha especie.

Para ello se analizan las firmas espectrales obtenidas de esta planta in situ, realizando procesos que permiten la visualización de la extensión del retamo espinoso por medio de imágenes satelitales, para este fin se utilizó el sensor espacial Sentinel 2A, ya que por su resolución espacial de 10 x 10m permite un mejor detalle de la zona de estudio. Con esto, el alcance en varias etapas, a corto plazo se consideró la identificación de la especie invasora (retamo espinoso), dónde estaba ubicada y qué problemáticas genera dentro del ecosistema; como mediano plazo el recorrido hasta el punto donde se encuentre la planta invasora, recolectar la información a través de espectrorradiometría de campo la cual es una técnica fácil de implementar y permite la comparación de información de campo con la de imágenes satelitales, para realizar el procesamiento de datos, análisis y cálculo de áreas.

La importancia de este proyecto esta direccionada a la utilización de la teledetección, siendo un proceso de monitoreo de coberturas vegetales y el análisis de la dinámica de los datos multiespectrales. Se pretende dar una mayor atención a la problemática de la especie invasora retamo espinoso, dado que según los estudios generan impactos negativos en la sociedad al dificultar procesos de producción agrícola mientras que, para el ecosistema elimina plantas nativas, secando sistemas de agua. También la teledetección nos permite analizar el comportamiento de la cobertura terrestre, partiendo de imágenes satelitales para la identificación de las muestras de

reflectividad sin necesidad de ir a campo; se considera este método como herramienta para la captura de información sin tener contacto con el objeto.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general.

Identificar y calcular el área con presencia del retamo espinoso “ULEX EUROPAEUS”, en zona de páramo, jurisdicción de la localidad de Usme-Bogotá y municipio de Soacha.

4.2. Objetivos específicos.

- Obtener la firma espectral de la planta Retamo espinoso “ULEX EUROPAEUS” *in situ*.
- Analizar la variabilidad espectral de la firma obtenida mediante el software View SpecPro.
- Identificar los píxeles o áreas que se comporten espectralmente semejante en una imagen satelital y los datos obtenidos *in situ*.
- Cuantificar las áreas afectadas por la especie retamo espinoso “ULEX EUROPAEUS” y representar mediante cartografía temática.

5. Marco referencial

5.1. Marco teórico y conceptual

Las montañas de los andes son frágiles ecosistemas, las cuales son de gran importancia para la captación de agua que nutre las distintas fuentes hídricas, que benefician tanto a grandes poblaciones como las pequeñas, gracias a estas características son hábitat de gran biodiversidad, atractivo turístico y gran cantidad de áreas de importancia cultural “*Las montañas proveen directamente alimento para un 10% de la humanidad, también proveen entre 30-60% del agua en zonas húmedas y más del 70-95% en ambientes semiáridos y áridos*”. (Ministerio de medio ambiente, 2002).

Para (Greenpeace, 2009) los páramos son ecosistemas de alta montaña los cuales son los principales de proveer de agua a distintos ríos y quebradas importantes de Colombia, las principales características de estos, es el clima nubado, frecuentes lluvias y sus suelos son bastantes húmedos. “*En este ecosistema es característico un ambiente frío y húmedo con cambios repentinos en el estado del tiempo y con fluctuaciones diurnas de temperaturas a nivel del suelo que oscilan entre bajo 0°C y 23°C, conllevando a un ciclo de heladas y deshielos*”, (Greenpeace, 2009).

Para (Ardila y Quintero, 2013) define al espectro electromagnético como la energía existente en el universo ya sea natural o artificialmente, ya que esta se presenta de una forma dinámica que es causada por la oscilación que genera una carga eléctrica, esto sucede únicamente al interactuar con la materia. Según (Chuvieco, 1995) dice que el espectro electromagnético está definido por la energía radiante expresada en su longitud de onda o la frecuencia, estableciéndose de esta manera como una serie de bandas espectrales, que son las más empleadas en la teledetección.

La teledetección es una técnica, la cual permite la obtención de imágenes de la tierra, marítimas y de la atmosfera, por medio de sensores remotos, los cuales están instalados en plataformas espaciales. Esta técnica no interactúa directamente con el objeto de estudio, por esta razón se requiere de un flujo de información la cual es conocida como radiación electromagnética, *“la cual puede ser emitida por el objeto o proceder de otro cuerpo y haber sido reflejada por este”* (Chuvienco, 1995). Todos los cuerpos y objetos que se encuentran en la superficie terrestre emiten radiación electromagnética, la intensidad con la que reflejan esta energía depende directamente de la temperatura que ellos emitan (Chuvienco, 1995).

En los procesos de la tierra siendo indispensables en el desarrollo del ser humano, hay que resaltar el trabajo con la teledetección, garantizando mecanismos o metodologías para optimizar su evolución y resultados para el mismo territorio (Labrador, et al., 2012).

Para (Martínez y Isabel, 2010), ha sido la teledetección protagonista de cambios y ajustes que permiten que, desde su inicio hasta los tiempos se cuente con ventajas que permiten el desarrollo del mismo y su funcionamiento de fenómenos naturales.

Según (Chuvienco, 1995), los sensores espaciales son instrumentos susceptibles a la radiación electromagnética, que proviene de la superficie terrestre y de la atmosfera, la cual llega en calidad de información de magnitudes físicas y que puede ser trabajada y grabada, donde los sensores tienen la capacidad de convertir la señal electromagnética en fotografías áreas o imágenes satelitales.

Según (Martínez, 2014) definen la espectrorradiometría como una técnica la cual mide el flujo energético emitido, en el que se discrimina las diferentes longitudes de onda, tomadas del objeto o la superficie donde este incide, es decir toma la energía electromagnética reflectada por la

superficie o el cuerpo en contacto. Esta técnica según (Malvern, 2018) realiza con el espectroradiómetro HandHeld 2, el cual emplea un conjunto de detectores que cuentan con alta sensibilidad, una rejilla de luz parasita baja, cuenta con una compensación de corriente oscura DriftLock, el cual produce un alto espectro de señal. Para poder calcular la longitud de onda que va desde los 325nm hasta los 1075nm, con una precisión de más o menos 1nm, contando con un GPS opcional, el cual registra la coordenada de cada espectro recolectado.

Según el manual para utilizar el equipo HandHeld 2 define la reflectancia como *“porción de un incidente de iluminación instantáneamente absorbida y luego emitida nuevamente desde la superficie de la muestra sin pérdida de energía (reflexión especular $\theta_t = \theta_i$) y reflexión difusa (). No hay absorción en el ángulo especular, lo cual hace también la longitud de onda independiente. El componente especular es muy intenso y es a menudo mejor evitar este componente. Luz y materia interactúan con una mezcla de difusos y especulares componentes”* (FieldSpec HandHeld 2, 2017).

A esto se adjunta la importancia de una firma espectral en la cobertura vegetal, en donde a partir de imágenes satelitales se aplica la teoría de aproximados y generar cálculos de la respuesta espectral que se obtuvo de dicha firma (Ávila 2017).

Con esto, (González y Bueno, 2017) resaltan que Sentinel 2A siendo el sistema de observación terrestre tiene misiones y especificaciones técnicas las cuales ayudan a un buen monitoreo y calidad en los datos, ya que utiliza un barrido de larga trayectoria ofreciendo prestaciones geométricas y espectrales en los datos.

5.2. Marco legal

1. En la resolución 7615 de 2009, considera en el primer artículo de la Ley 99 de 1993 que, el país dispone de una biodiversidad y un patrimonio nacional, donde debe ser protegida y aprovechada de forma sostenible, promoviendo la integridad ambiental.
2. En la Ley 1341 de 30 de julio de 2009, concierne los principios y conceptos sobre la sociedad en la organización de las tecnologías y comunicaciones disponibles para la protección del usuario y dar mayor calidad en el servicio.
3. En el Decreto 1077 del 26 de mayo del 2015, se considera que la producción normativa de un espacio es estructurada en los instrumentos jurídicos en decisiones del estado donde se pueden compilar normas de la misma naturaleza.

5.3. Antecedentes

Según (Gerrit F. Epema 1992), se considera que para llevar a cabo la radiometría de campo se pueden encontrar diferentes métodos que enseñan y la practican, como la teledetección, la reflectividad y sus diferentes comportamientos que se denotan en cada lugar y con cada elemento que se pueda visualizar en cada tema.

Consideran (Milton 1987, y Epema 1991 citados por Epema 1992: 123) que, “*Proporcionar una visión sinóptica de cómo medir y procesar los datos adecuadamente*”, en este contexto darle un debido orden a la recolección de datos es fundamental, se debe realizar un análisis adecuado para el procesamiento de los datos basados para obtener buenos resultados.

Hay diferentes temas específicos que hacen parte del proceso de la radiometría de campo como lo es: el procesamiento de las imágenes, interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite.

Dentro de este contexto en las mediciones que se realicen deben incluir el suelo, la vegetación y el agua para ser analizados, luego hacer la interpretación de los datos e imágenes y determinar las diferencias de la toma de muestras por medio de la radiometría o por satélite según se haya realizado.

Otro particular tema a abordar se refleja en las relaciones entre los páramos biofísicos y la información espectral donde se comprenden unas etapas como los son: revisión bibliográfica, identificación de coberturas por clasificación de FAO, giro de campo y utilización de radiometría ASD, recolección y almacenamiento de los datos, construcción de catálogo de firmas espectrales y la debida publicación de los datos (Ministerio del medio ambiente, 2002).

Los resultados que plantea (Corrales y Ochoa, 2014), se deben tomar diferentes muestras de coberturas, proporcionando la validación de la radiometría de campo y las firmas espectrales que se tomen en el proceso.

Los páramos siendo ecosistemas típicos de las altas montañas, cordilleras, quebradas, ríos, vertientes de agua, y más elementos importantes en este, proporcionan alta calidad y fuente de vida, siendo un hábitat que está presente en varios lugares del mundo como en Colombia, Ecuador, Venezuela y Costa Rica; los procesos que se dan son continuos, en tiempos de lluvia absorbe cantidades de agua y en tiempos secos sigue el ciclo de escurrimiento de aguas para abastecer las diferentes poblaciones.

Se ha presentado una problemática como se resalta en la revista Greenpeace Colombia, se están acabando los páramos por pérdida de sus especies nativas y hábitat, por esto se dice que el ecosistema es considerado muy valioso, frágil, pero no es problema de uno solo o del estado, es problema y concientización de cada uno de los que habitamos alrededor de él.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Ministerio de Medio Ambiente y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2002) dice que, *“el páramo se define como el ecosistema andino que se encuentra entre los 3.600 y 4.250 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), pudiendo fluctuar considerablemente su altitud según la situación geográfica climática y según la cordillera”*.

El banco de semillas es esencial en la comprensión de diferentes procesos ecológicos básicos para la conservación de la diversidad genética y construir elementos estratégicos para adaptación de las especies teniendo en cuenta variables como su tamaño y duración (Ocampo y Solorza, 2017).

En Colombia se registra la presencia de una de las plantas más peligrosas e invasoras como lo es el *Ulex Europaeus* (retamo espinoso), originario de la costa occidental de Europa y norte de África, esta planta se ha venido incrementando y distribuyendo en áreas geográficas del mundo (Ocampo y Solorza, 2017), esta especie arribo en el país en el 1950 en los cerros orientales de Bogotá.

Mediante unos estudios ya realizados los resultados se analizan en modelos generalizados, evaluando la normatividad, cantidad y densidad que produce la semilla (IBM Corp. Released 2015 citado por Ocampo y Solorza, 2017). Las semillas dentro de los primeros 5 cm de profundidad del suelo permanecen latente debido a la protección de la hojarasca, puede ser susceptible a depredadores, pero dentro de su entorno no se relaciona con la densidad de la semilla y su germinación.

Se puede encontrar correlación con la densidad de semillas, edad de los matorrales, pendientes de las zonas, grado de intervención y distribución altitudinal; estos elementos hacen que esta especie (retamo espinoso) tome más fuerza de reproducción o llegar a la raíz de esta.

Según (Díaz, 2009) en su trabajo *Rasgos de historia de vida y ecología de las invasiones de Ulex Europaeus L.* la especie vegetal *Ulex Europaeus*, es una de las cien especies más invasoras del mundo (Lowe et al. 2000 citado por Díaz 2009:59) esta especie pertenece a la familia de las Fabaceae y la tribu Genisteae. Esta especie se distribuye naturalmente en el oeste de Europa y noroeste de África, siendo la península ibérica la región en donde más se encuentra este tipo de especie exótica (Cubas et al. 2005 citados por Díaz 2009:60).

El retamo espinoso es una planta invasora, la cual fue introducida por el acueducto de Bogotá en la década de los años 50, como cerca viva para proteger los Embalses de la Regadera y Chisacá (Cano y Zamudio 2006 citados por Díaz 2009:61). Posiblemente los sitios más antiguos que cuentan con la presencia del retamo espinoso son los predios del acueducto de Bogotá específicamente en la zona de rural de Usme (Díaz, 2009).

En los andes de Colombia se encuentra gran diversificación de vegetación, tanto por sus condiciones físicas, biológicas y geográficas, que con su interacción a través del tiempo han logrado el desarrollo y dispersión de distintas especies (Van der Hammen 1992, Barrera et al. 2010, Cuesta et al.2012 citados por Beltrán y Barrera 2014:4). Según Beltrán y Barrera (2014) los ecosistemas en el alto andino se han visto afectados por los constantes pastizales y quemados que se producen en los alrededores de la ciudad de Bogotá, conllevando a la fragilidad del ecosistema y permitiendo avances de las especies invasoras como lo son el *Ulex Europaeus* (retamo espinoso).

Al presentarse incendios en los matorrales de *Ulex Europaeus* en las épocas de sequía, promueve la disminución de las especies nativas de los bosques altos andinos y los páramos, ya que favorece el crecimiento de la especie que cuenta con una mayor capacidad de reproducción y su alto grado de supervivencia (Barrera 2011 citado por Beltrán y Barrera 2014:4). La distribución de esta especie en Colombia está entre los 2500 y 3200 m.s.n.m; esta especie por lo general se encuentra

asociada a potreros abandonados, laderas erosionadas, bordes de caminos y quebradas (Vargas 2007 citado por Beltrán y Barrera 2014:4).

El *Ulex Europaeus* se evidencia con mayor claridad en los corredores viales y en las riberas de los ríos Tunjuelito y chisacá (León, Díaz y Corzo, 2009). En algunos predios privados se presentan manchas de gran extensión, lo cual se caracteriza por tener distintas edades y que ocupan una proporción de más de 34 hectáreas, lo cual es equivalente al 65% de invasión, los cuales están ubicados en la empresa de agua de Bogotá (Cano & Zamudio 2006 citados por León, Díaz y Corzo, 2009:42).

La teledetección involucrada en los procesos ecológicos y socio-económicos, permite que el componente espacial de la información que contienen datos multiespectrales sirvan para cartografiar, mediante la utilización de las imágenes digitales que proviene de los sensores satelitales como lo son Landsat (TM, ETM+) (Rodríguez, et al., 2010).

La espectroradiometría en los últimos años se ha desarrollado como una herramienta que se puede utilizar en todas las ciencias de la tierra (Fabregat, 1999 citado por Martínez, 2014:43). Los datos de campo espectrorradiométricos están haciendo una contribución cada vez más importante a la ciencia y a los sistemas de vigilancia a través de la asimilación de las mediciones espectrales (Schaeppman, 2007 citado por Martínez, 2014:42).

Según (Manevski et al., 2012 citado por Martínez, 2014:43) estudió cinco especies en el mediterráneo por medio de espectroradiometría de campo, estas especies son indicadoras directas de la gestión del pastoreo, historia de fuego y su gravedad y el estado de equilibrio del ecosistema. Los resultados indicaron que la mayor resolución espectral de los sensores hiperspectrales ofrecía posibilidades para la discriminación espectral entre cinco plantas comunes del Mediterráneo,

además, que la mayoría de las especies pudieron ser discriminadas entre sí a lo largo del espectro investigado.

6. Localización

El macizo del páramo de Sumapaz, se encuentra ubicado en los departamentos de Cundinamarca, Huila y Meta, sobre la cordillera oriental, el Páramo de Sumapaz presenta en su mayor parte características montañosas con diversas lagunas con agua de gran pureza y zonas aún inexploradas. Cuenta con alturas que oscilan entre los 3500 y los 4000 m.s.n.m, alejándose más del valle del río Magdalena, es también la línea divisoria de las vertientes del río Orinoco al oriente y del Magdalena al occidente. Este ecosistema se está viendo afectado en gran forma por la planta *Ulex Europaeus* o más conocido como retamo espinoso. La cual es una planta invasora introducida por el acueducto de Bogotá como cerca viva, con el fin de proteger sus predios.



Ilustración 1 Ubicación general (Colombia)

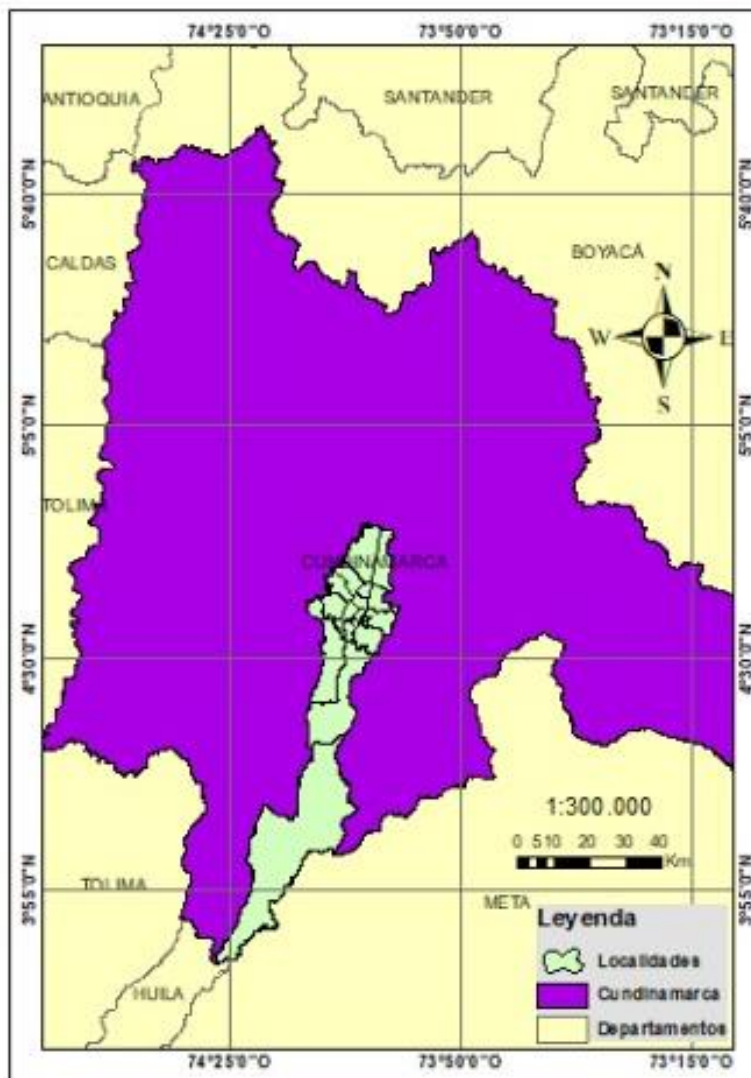


Ilustración 2 Ubicación general (Departamento Cundinamarca)

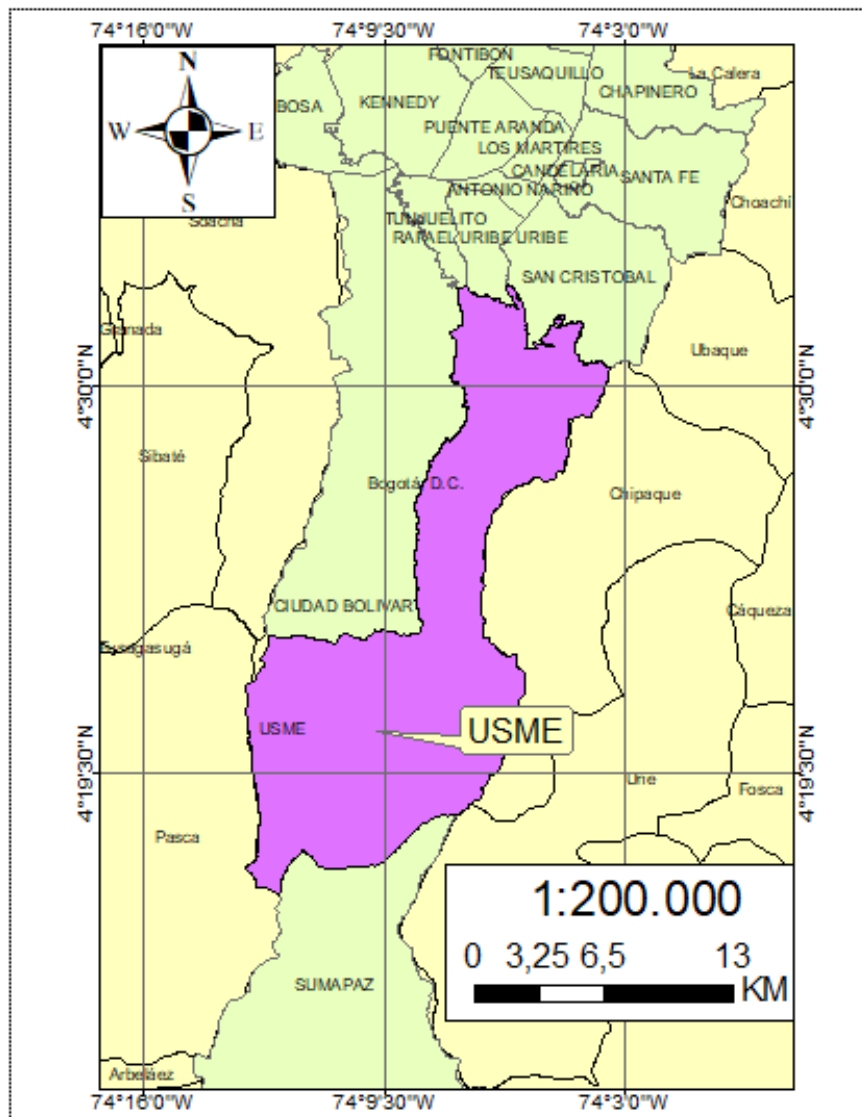


Ilustración 3 Ubicación zona de estudio (Usme).

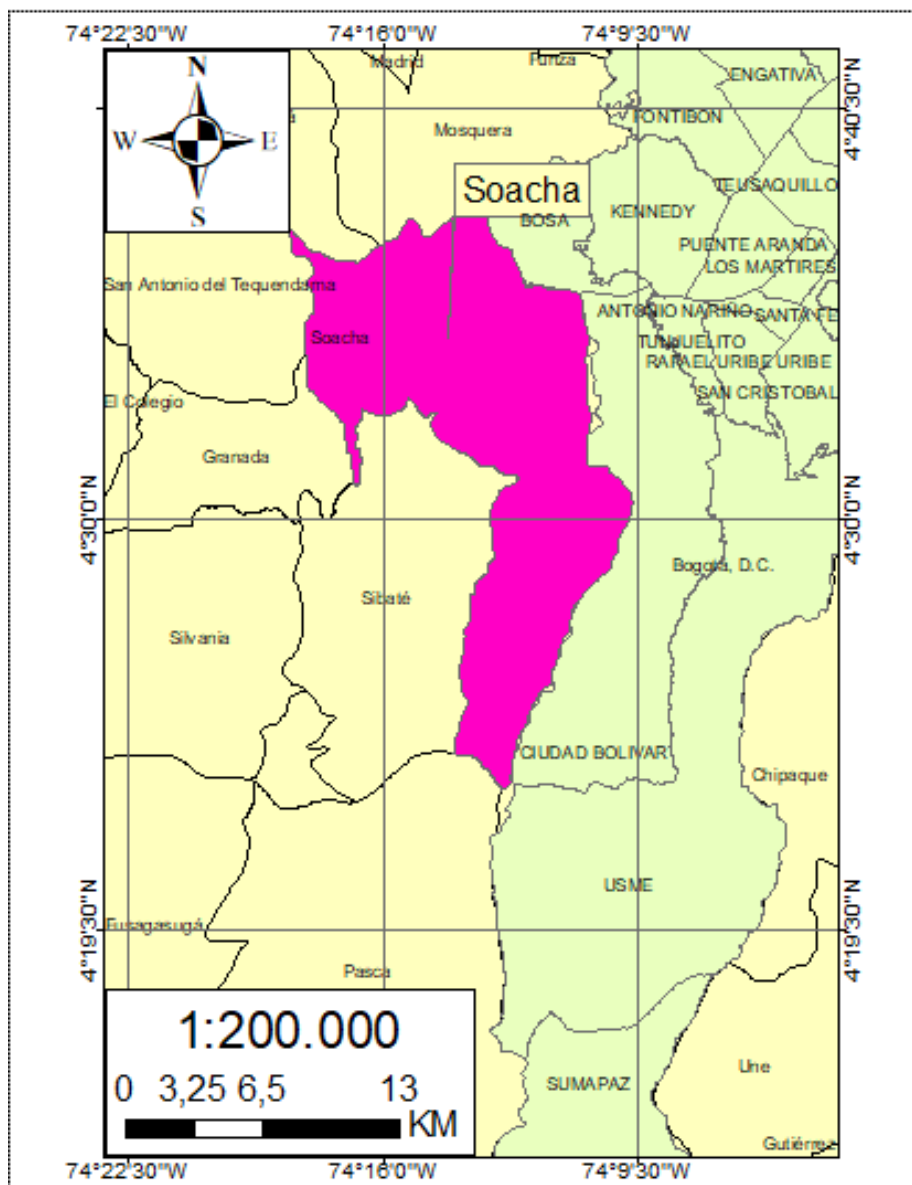


Ilustración 4 Ubicación zona de estudio (Soacha).

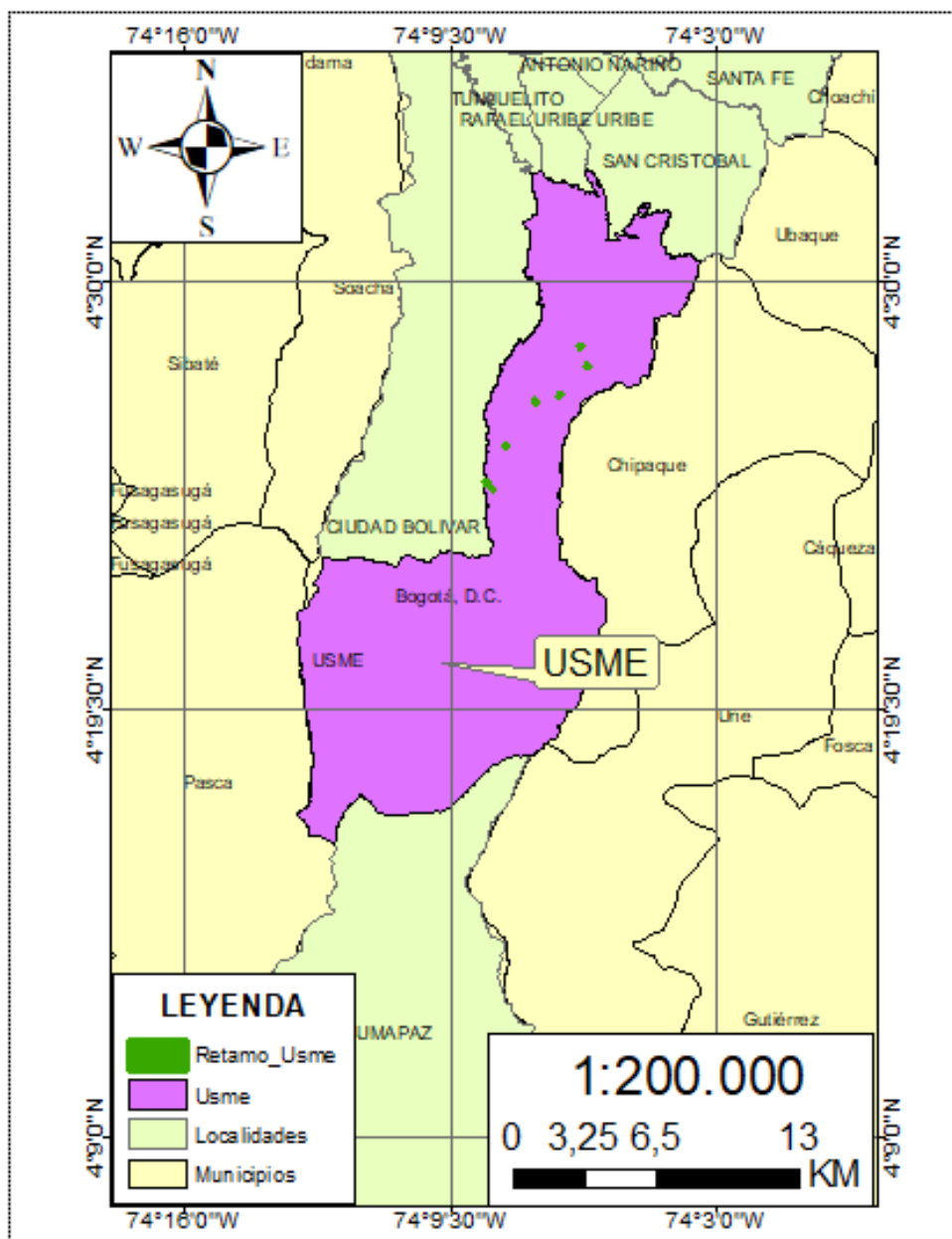


Ilustración 5 Puntos de muestra de Retamo Espinoso (Usme).

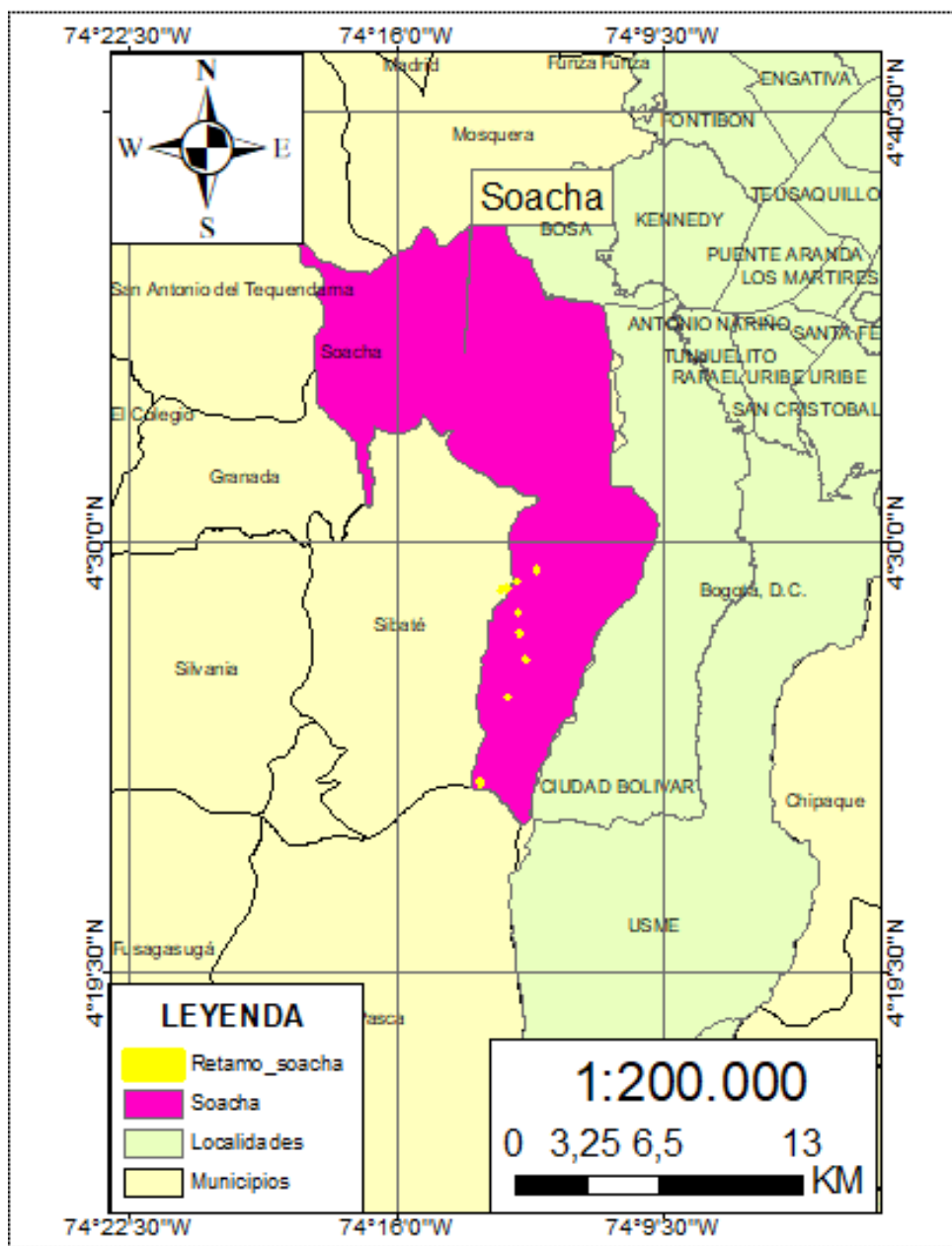


Ilustración 6 Puntos de muestra de Retamo Espinoso (Soacha).

7. Desarrollo de metodología

7.1. Definición de área de estudio

Las zonas que fueron seleccionadas para el desarrollo de este trabajo fueron: la localidad de Usme-Bogotá y el municipio de Soacha, ya que estas zonas cuentan con la presencia de retamo espinoso “*Ulex Europaeus*”.

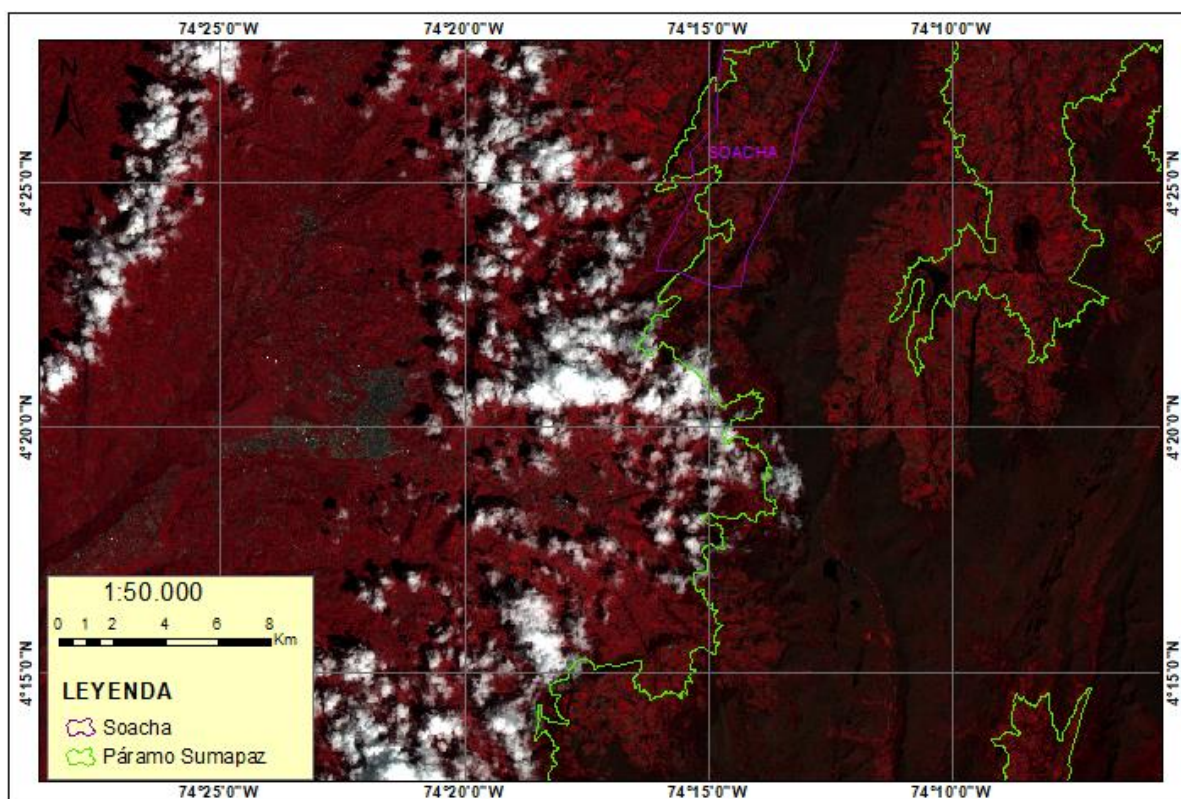


Ilustración 7 Páramo de Sumapaz- Soacha composición RGB (8,4,3) sensor sentinel-2A (Fuente propia).

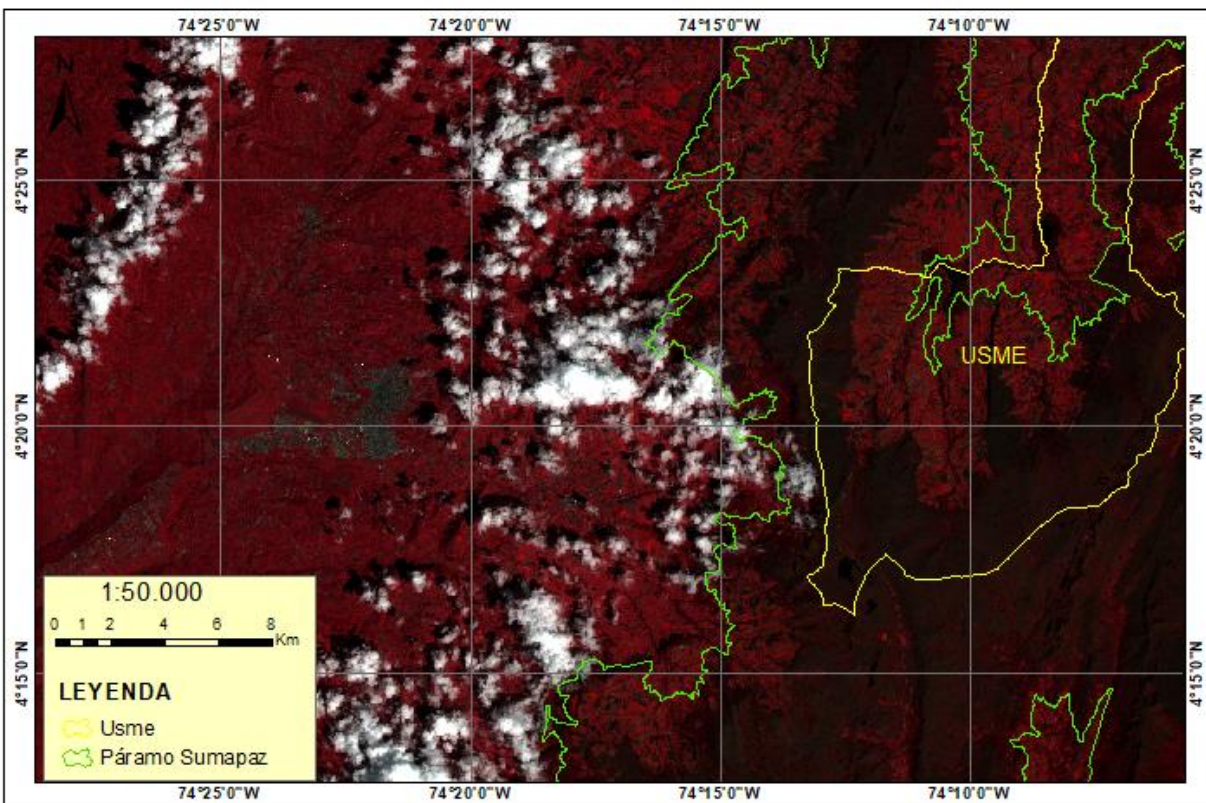


Ilustración 8 Páramo de Sumapaz-Usme composición RGB (8,4,3) sensor sentinel-2A (Fuente propia).

7.2.Reconocimiento de la especie

El reconocimiento de la especie *Ulex Europaeus*, se da por las características particulares que tiene esta planta, ya que es fácil de identificar visualmente, por ser una planta tipo arbusto, de gran extensión de ocupación, flor amarilla, gran cantidad de espinas, color verde y su respectivo tamaño. Esta planta se identifica más en las zonas aledañas a los ríos, quebradas, caminos, potreros abandonados y carreteras de la localidad de Usme y municipio de Soacha en el departamento de Cundinamarca.



Ilustración 9 Retamo espinoso "Ulex Europaeus" Usme (Fuente propia).

7.3. Recolección de datos

La toma de firmas espectrales de la especie *Ulex Europaeus* (retamo espinoso), se realizó en la localidad de Usme-Bogotá y el municipio de Soacha. En la zona de Soacha se realizó la captura entre las 9:00 am y las 12:00 pm y en la zona rural de la localidad de Usme-Bogotá entre las 11:00 am hasta 1:00 pm. Se tuvo en cuenta las condiciones ambientales que fueran óptimas para la toma de las muestras las cuales debe de estar despejado, poca nubosidad, sin lluvia, tener la ropa adecuada que no sea de color blanco ni negro por saturación del equipo y captura de firmas.



Ilustración 10 Toma de muestras in situ zona rural de Usme (Fuente propia).



Ilustración 11 Toma de muestras in situ zona rural de Usme (Fuente propia).



Ilustración 12 Toma de muestras in situ zona rural de Soacha (Fuente propia).



Ilustración 13 Toma de muestras in situ zona rural de Soacha (Fuente propia).

7.4. Espectrorradiometría de campo

La espectrorradiometría de campo se realizó con el equipo ASD FieldSpec HandHeld 2, adquirido por la Universidad de Cundinamarca a principios del año 2018, el cual es un equipo portátil, con este equipo se realizó un disparo a cada una de las plantas seleccionadas, las cuales se diferenciaban entre tamaño, color y edad. Este equipo permite la obtención de firmas espectrales dentro del rango visible y el infrarrojo cercano (325nm a 1075 nm). Antes de la toma de las firmas, el equipo debe de ser calibrado con una referencia blanca. Según manual del usuario del espectrorradiómetro (FieldSpec HandHeld 2, 2010), la referencia blanca el panel portátil spectralon “*refleja difusamente casi el 100% del incidente en el rango espectral*”, esto quiere decir que en cada longitud de onda su valor es de 1. En el momento de realizar la toma de la firma el equipo se ubicó a una altura de 50 cm de la planta con respecto al ángulo cenital de 30° y 40°, para evitar las sombras y la afectación de la firma.



Ilustración 14 Espectroradiómetro y la espectralón (Fuente: propia).

En la ilustración 14, podemos encontrar el espectroradiómetro adquirido por la universidad, equipo con el cual se llevó a cabo el estudio y, en la parte derecha se observa la referencia blanca utilizada para calibrar el equipo antes de la recolección de datos.



Ilustración 15 Equipo completo de espectroradiometría (Fuente propia).

En la ilustración 15, se puede observar el equipo completo como lo es: el espectroradiómetro, referencia blanca, cargador para baterías, pilas recargables, cables auxiliares, GPS, soporte de mano.

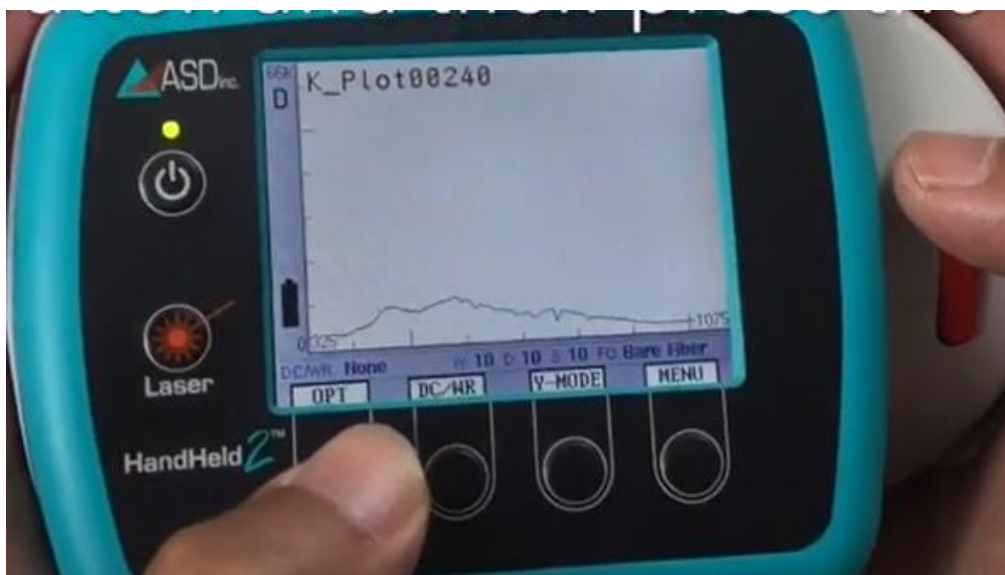


Ilustración 16 Espectroradiómetro sin calibrar.

En la ilustración 16, se empieza la calibración del equipo, ya que antes de estar listo para la recolección de datos aparecerá la pantalla como en esta se muestra.



Ilustración 17 Calibración del espectroradiómetro con el spectralón.

En la ilustración 17, se observa cómo es apropiado calibrar el espectroradiómetro con el spectralón o referencia blanca.



Ilustración 18 Espectroradiómetro calibrado.

En la ilustración 18, nos muestra cómo queda listo el equipo para la toma de firmas espectrales cuando ya está totalmente configurado.

7.5. Selección de la imagen satelital

La identificación de las zonas afectadas por la planta *Ulex Europaeus* (retamo espinoso), se utilizó una imagen Sentinel 2A de la fecha 24 de enero de 2018 del programa espacial Copérnico de la agencia espacial europea, la cual por su resolución espacial que es de 10X10 m, es óptima para este tipo de estudio, ya que permite un mejor acercamiento al detalle que otras imágenes. Dado que este proyecto cuenta con dos satélites gemelos los cuales son sentinel-2A y sentinel-2B, los cuales proporcionan imágenes de la tierra cada diez días (cinco días cada uno) (Ferreira, 2016).

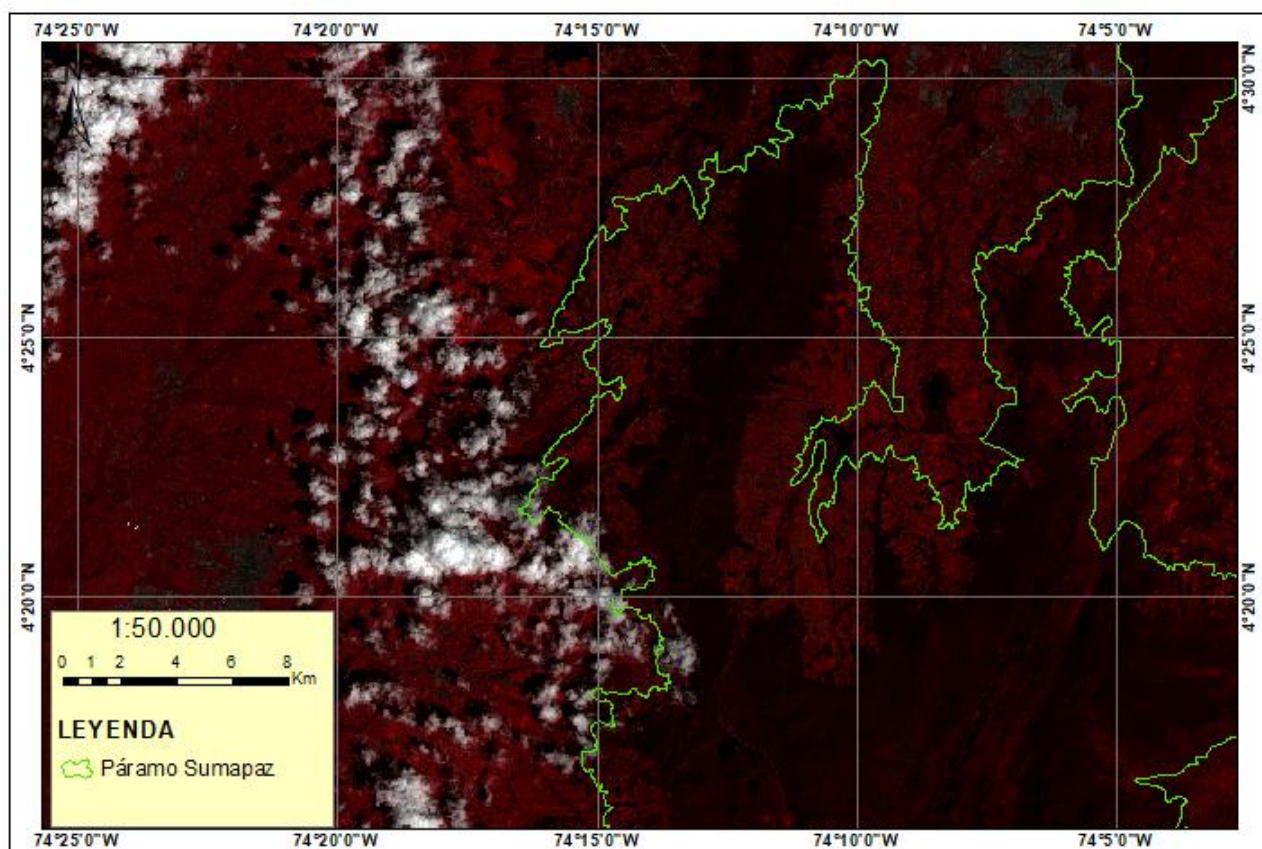


Ilustración 19 Composición RGB (8,4,3) sentinel-2A fecha de toma 24-01-2018

7.6. Calibración radiométrica

La calibración radiométrica se realizará en el software libre QGIS, el cual permite en su complemento Scp-plugin, con la herramienta de juego de bandas, la cual lleva los niveles digitales de información (brutos) de cada pixel, a valores físicos que son los que maneja el espectro radiómetro, es decir limpia la imagen de residuos, los cuales son efecto de la dispersión y a la absorción de la atmosfera.

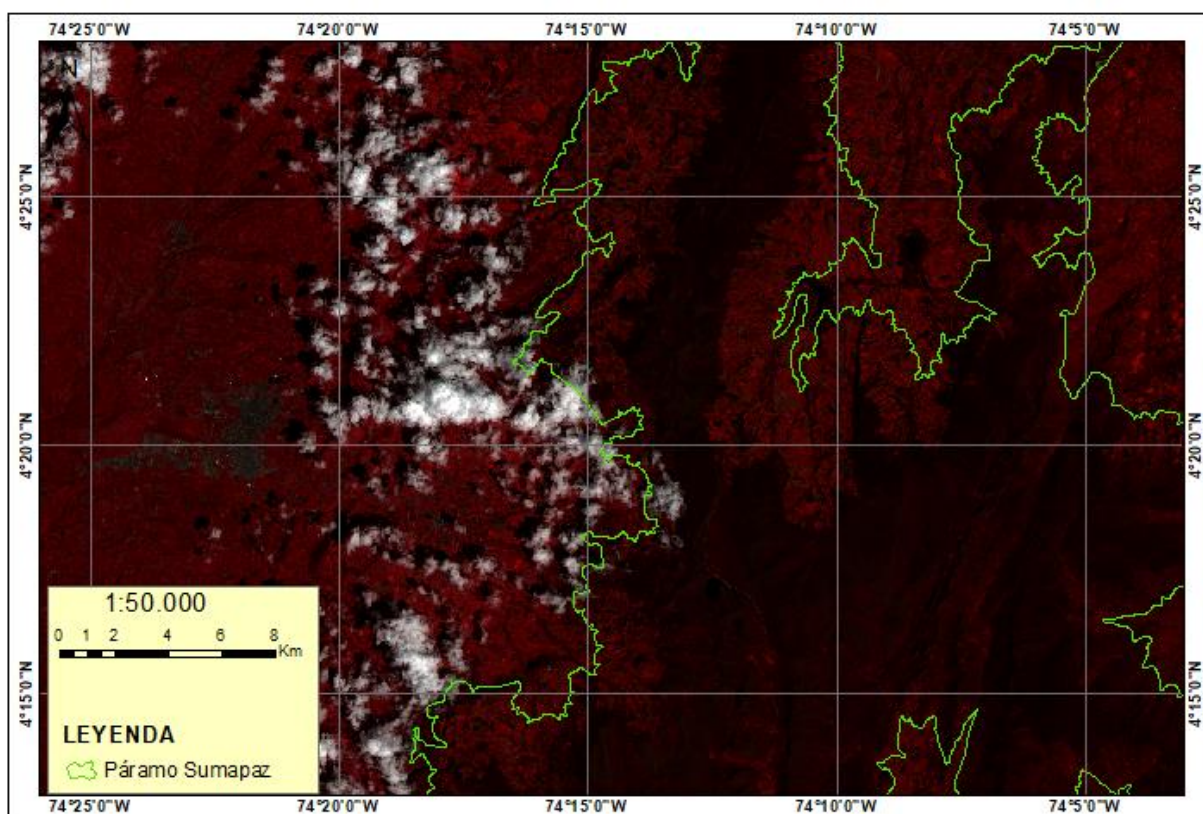


Ilustración 20 composición RGB (8,4,3) sensor sentinel-2A, con corrección radiométrica

7.7. Descarga y procesamiento de los datos

La descarga de los datos obtenidos se realiza con el software HH2 Sync; en la zona del municipio de Soacha donde se adquirieron 26 firmas contando que la numero 00 es una firma, y en la localidad de Usme-Bogotá se toman 59 firmas. De los datos obtenidos se toman los datos de retamo verde (12 firmas espectrales), ya que, al momento de realizar las estadísticas, promedios y demás, nos representa mayor confiabilidad en los resultados.

Seguido de esto, para el análisis de las firmas y realizar las estadísticas se utilizó el software ViewSpecPro, el cual nos permite visualizar los datos capturados en campo, obtener datos GPS (incluido en el espectroradiómetro), longitud de onda de cada banda del espectro, procesamientos estadísticos y demás, para obtener dichos resultados se toma el grupo retamo verde, posteriormente se realiza la descarga de datos del espectroradiómetro en longitud de onda de las respectivas bandas, de esto se obtiene un promedio.

Para una organización de los datos y procesos realizados se utiliza Excel el cual nos permite tener la información y realizar diferentes cálculos que sean requeridos.

Posterior a esto, de la imagen satelital se obtiene de cada banda la longitud de onda, para verificar con ajustes y estadísticas de las firmas el comportamiento de los datos de campo e imagen, luego ser analizados en los pixeles de la imagen Sentinel 2A.

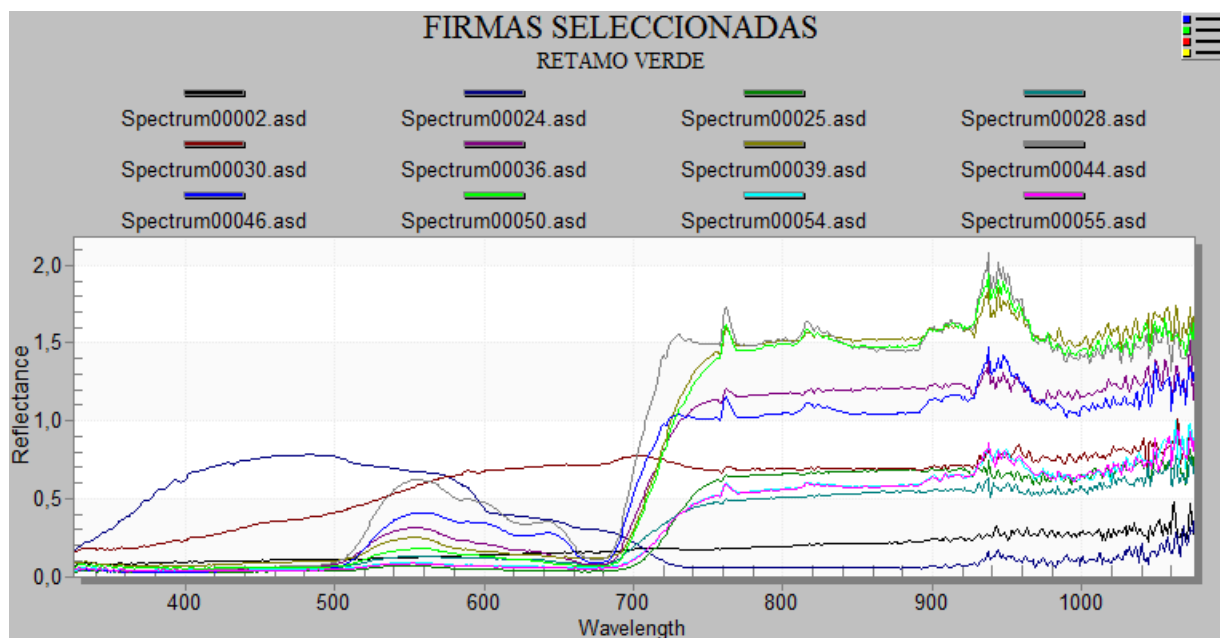


Gráfico 1 Firmas espectrales seleccionadas. Retamo verde.

En las firmas seleccionadas (grafico 1) encontramos retamo verde, para ello los espectros representan la especie en alturas aproximadamente desde los 50cm hasta 2m, las firmas espectrales tienen características particulares en su reflectancia, donde aproximadamente en 760nm conservan un pico característico del retamo espinoso variando su reflectancia en cada muestra clasificada. Los valores siguientes a 900nm son generación de ruido por la tanto no se tienen en cuenta para la realización de análisis.

7.8. Ajuste de las bandas satelitales

Para realizar el ajuste de las bandas se obtuvo de las firmas espectrales la desviación estándar y promedio, con lo cual se obtuvo la validación banda por banda. Con esto se consiguen los niveles radiométricos de los pixeles, así se utiliza el modelo de regresión lineal para ajustar los datos de retamo de imagen a los elementos en campo, observando que los valores de retamo campo son mayores, teniendo en cuenta la comparación de la reflectancia media del terreno y la radiancia de cada una de las bandas.

BANDA	ESPECTRO		IMAGEN	VALIDACION BANDA / nm
	BANDA	RETAMO CAMPO / nm	RETAMO IMAGEN / nm	
1	443	0,026	0,026	0
2	490	0,032	0,032	0
3	560	0,081	0,051	0,03
4	665	0,051	0,049	0,002
5	705	0,127	0,076	0,051
6	740	0,355	0,176	0,179
7	783	0,409	0,215	0,194
8	842	0,429	0,242	0,187
9	865	0,436	0,245	0,191

Tabla 1 Ajuste de bandas.

En la tabla 1 se obtienen los datos detallados de la respectiva validación banda por banda; en la columna llamada banda se escogen las primeras nueve bandas de la imagen Sentinel 2A, ya que el espectroradiómetro maneja solo nueve bandas, en la siguiente columna se especifica la reflectancia de cada banda del espectro radiómetro, seguido de esto, con los datos obtenidos en la extracción de puntos de la imagen y, en la columna de validación de bandas se realiza un ajuste espectral de la columna retamo campo a retamo imagen.

7.9. Creación del algoritmo.

En la creación del algoritmo se tiene en cuenta los puntos de muestra recolectados en campo, siendo el grupo de retamo verde con 12 firmas espectrales y tomando como referencia las coordenadas geográficas decimales de los puntos recolectamos, en la localidad de Usme se toman tres coordenadas principales de los tres lugares encontrados (latitud 4,38595 y longitud -74,13916; latitud 4,38803 y longitud -74,15578; latitud 4,38767 y longitud -74,16658), para la zona de Soacha la coordenada (latitud 4,369374 y longitud -74,249895), para ello se extraen los valores de la imagen satelital de las bandas ajustadas. En la cual cada pixel es caracterizado por medidas estadísticas en donde se resume la variabilidad espectral por medio de la desviación estándar, promedios, máximo y mínimos para así poder categorizar cada banda.

CÓDIGO	B1_RETAMO / nm	B2_RETAMO / nm	B3_RETAMO / nm	B4_RETAMO / nm	B5_RETAMO / nm	B6_RETAMO / nm	B7_RETAMO / nm	B8_RETAMO / nm	B9_RETAMO / nm
24	0,0263	0,0505	0,1025	0,0805	0,1352	0,3552	0,4192	0,4310	0,2853
25	0,0263	0,0303	0,0775	0,0446	0,1352	0,3552	0,4192	0,4303	0,2853
28	0,0263	0,0234	0,0677	0,0387	0,1170	0,3261	0,3549	0,3631	0,2853
30	0,0263	0,0246	0,0699	0,0329	0,1114	0,3368	0,3825	0,4116	0,2853
36	0,0287	0,0296	0,0805	0,0412	0,1413	0,3931	0,4561	0,4718	0,3116
39	0,0255	0,0428	0,0973	0,0745	0,1588	0,3858	0,4355	0,4652	0,3179
44	0,0247	0,0303	0,0840	0,0502	0,1216	0,3637	0,4270	0,4543	0,3066
46	0,0247	0,0303	0,0840	0,0502	0,1216	0,3637	0,4270	0,4543	0,3066
50	0,0247	0,0329	0,0812	0,0556	0,1242	0,3543	0,4130	0,4347	0,3066
54	0,0287	0,0341	0,0830	0,0555	0,1325	0,3596	0,4143	0,4396	0,3116
55	0,0287	0,0329	0,0811	0,0518	0,1325	0,3596	0,4143	0,4391	0,3116
2	0,0290	0,0285	0,0699	0,0419	0,1013	0,3102	0,3490	0,3597	0,3031

Tabla 2 Valores de reflectancia del retamo con respecto a la imagen satelital.

En la tabla 2 se evidencia los valores de reflectividad obtenidos de la imagen satelital, después de haber realizado el ajuste de las 9 bandas.

BANDAS	MÍNIMOS / nm	MÁXIMOS / nm
B1	0,0283	0,0250
B2	0,0397	0,0253
B3	0,0915	0,0716
B4	0,0649	0,0380
B5	0,1421	0,1134
B6	0,3772	0,3334
B7	0,4397	0,3790
B8	0,4639	0,3953
B9	0,3133	0,2895

Tabla 3 Cálculo de mínimos y máximos banda por banda.

En la tabla 3 se muestran los valores de los mínimos y máximos obtenidos de la suma y la resta de los promedios y la desviación estándar, para obtener los mínimos se resta el promedio con la desviación estándar, para obtener los máximos se suma el promedio con la desviación estándar.

Nº BANDA	PROMEDIO / nm	DESVIACIÓN / nm
B1	0,0267	0,0016
B2	0,0325	0,0072
B3	0,0816	0,0099
B4	0,0515	0,0134
B5	0,1277	0,0144
B6	0,3553	0,0219
B7	0,4093	0,0304
B8	0,4296	0,0343
B9	0,3014	0,0119

Tabla 4 Promedio y desviación estándar.

En las tablas anteriores se muestran el resultado de máximos y mínimos y promedios con los cuales se realiza la categorización banda por banda, para luego generar los pixeles que posiblemente son retamo espinoso.

De acuerdo con lo anterior se realiza el diseño de rutina en donde se calculan los raster para ubicar los píxeles que arrojan las posibles áreas donde hay presencia de retamo espinoso.

7.10. Cálculo de áreas

En el cálculo de áreas es necesario categorizar las bandas ajustadas, utilizando los máximos y los mínimos que se obtienen de la suma o la resta de la desviación estándar con los promedios de los valores obtenidos de cada una de las bandas ajustadas.

Al tener las bandas categorizadas se procede a calcular las áreas afectadas con la respectiva ubicación espacial, identificando de esta manera cuáles son las áreas que tienen mayor presencia de esta planta invasora.

Las posibles áreas cubiertas por retamo espinoso se categorizar por tener más de 6.400 M², esto equivale a 9.516 polígonos en total, para así llegar a tener un valor de doscientos ochenta (280) hectáreas.

7.11. Salidas gráficas

Se realizaron las salidas gráficas pertinentes, en donde se muestra la zona de estudio, delimitación de los municipios y áreas afectadas por el retamo espinoso.

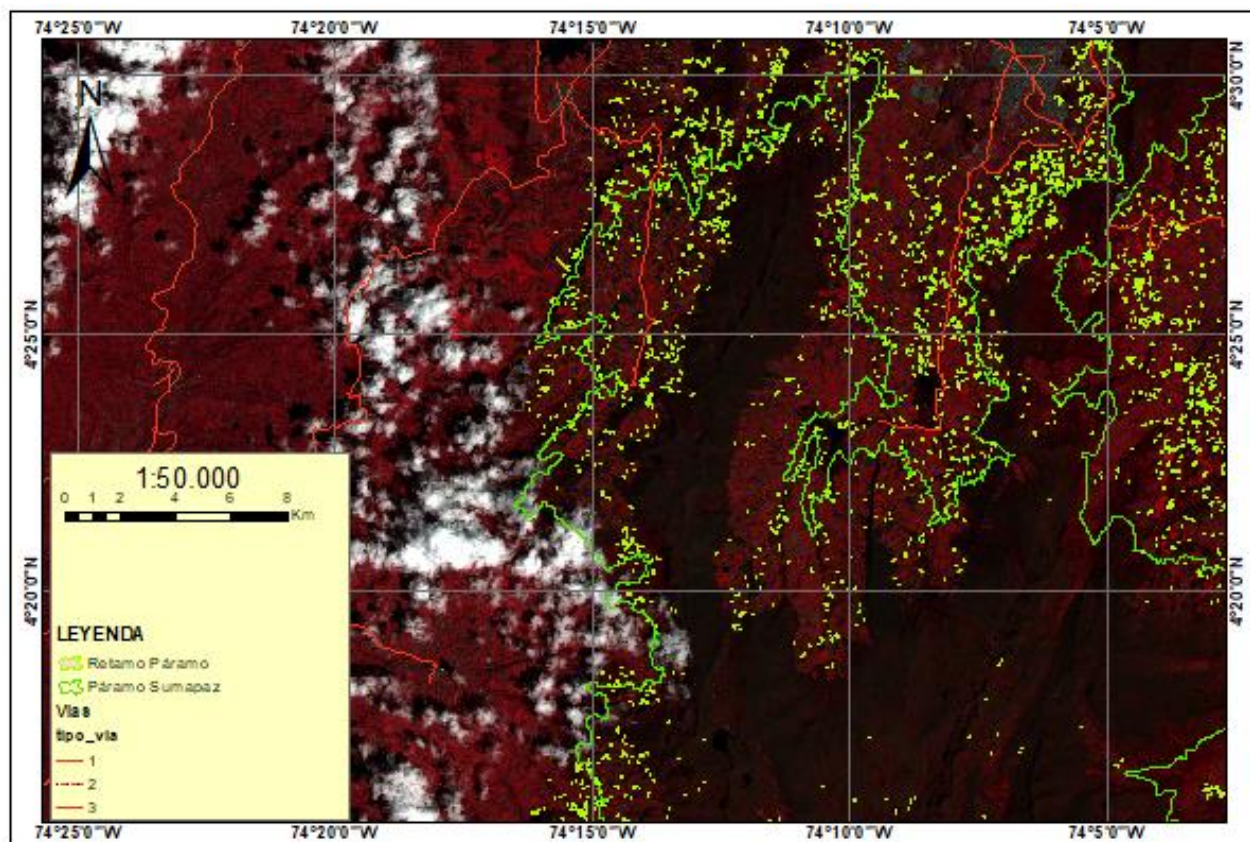


Ilustración 21 Areas posibles cubiertas por Retamo Espinoso Páramo de Sumapaz. (Fuente propia).

En la ilustración 21 se evidencian las posibles áreas en donde se encuentra la planta invasora retamo espinoso, evidenciando que la mayor concentración de posibles áreas con presencia de retamo está cerca de las vías.

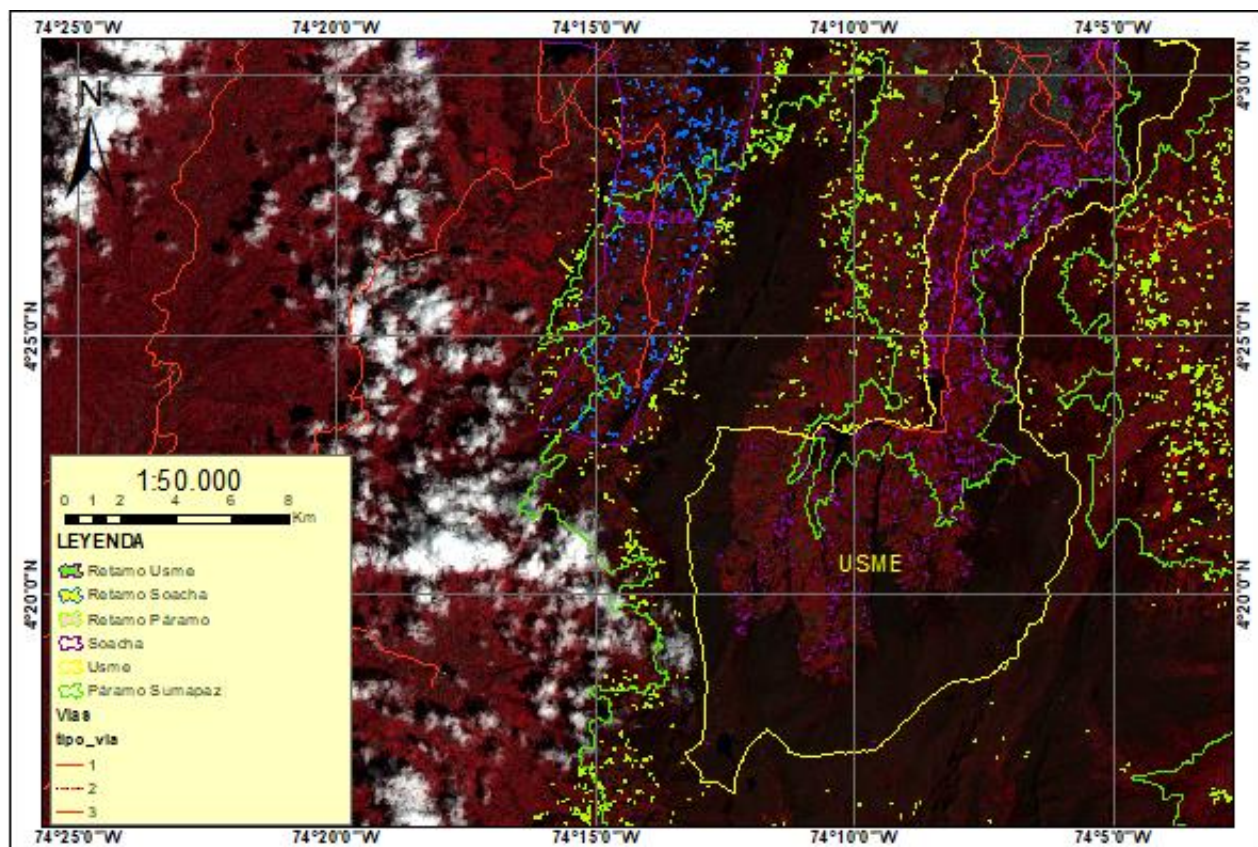


Ilustración 22 Pixeles posibles de Retamo Espinoso en zonas de estudio. (Fuente propia).

En la ilustración 22 se evidencia las posibles áreas afectadas por la planta invasora de retamo espinoso, estas áreas corresponden al municipio de Soacha, localidad de Usme y el páramo de Sumapaz.

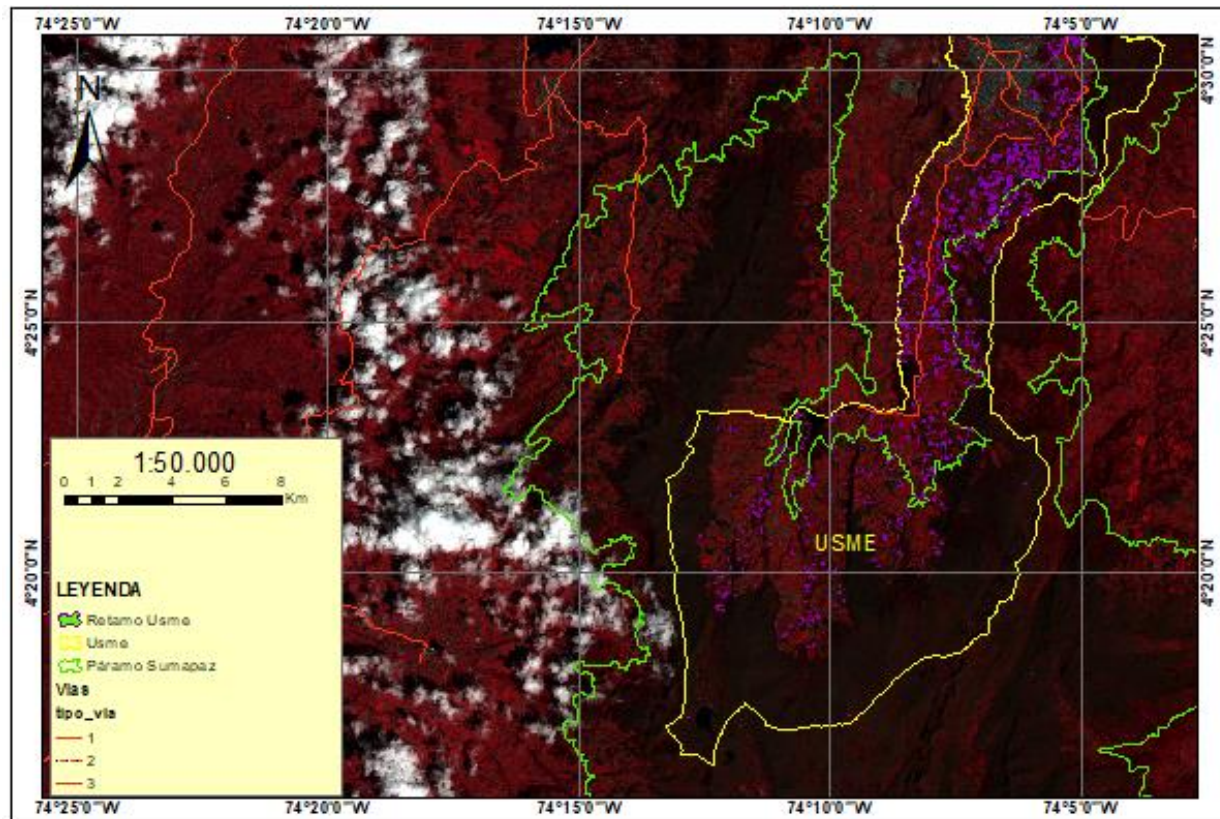


Ilustración 23 Pixeles posibles de Retamo Espinoso en zona de Usme-Bogotá. (Fuente propia).

En la ilustración 23 se evidencian las posibles áreas con presencia de retamo espinoso en la localidad de Usme, evidenciando que la mayor concentración de esta planta se encuentra cerca de las vías zona rural de esta localidad.

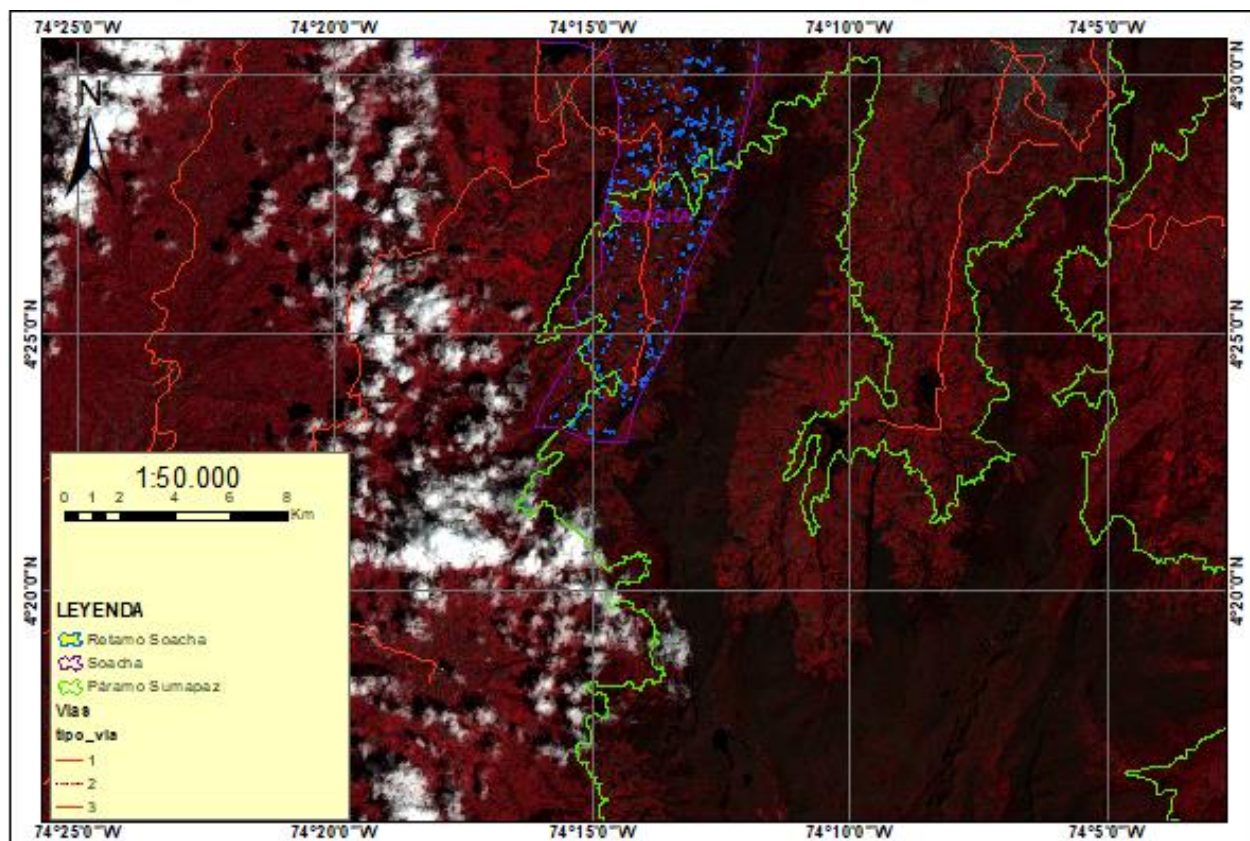


Ilustración 24 Pixeles posibles de Retamo Espinoso en zona de Soacha. (Fuente propia).

En la ilustración 24 se identifica las posibles áreas que se encuentran afectadas por la presencia de la planta invasora en el municipio de Soacha, evidenciando que las áreas posiblemente afectadas, se encuentran en la parte centro del municipio.

8. Resultados

8.1. Firma espectral retamo espinoso

En la recolección de datos se obtuvo la firma promedio del retamo espinoso, allí se evalúa la reflectividad que emite la cobertura, de acuerdo a esto el retamo espinoso se caracteriza por tener un pico en aproximadamente 760nm y en una reflectancia de 0,42.

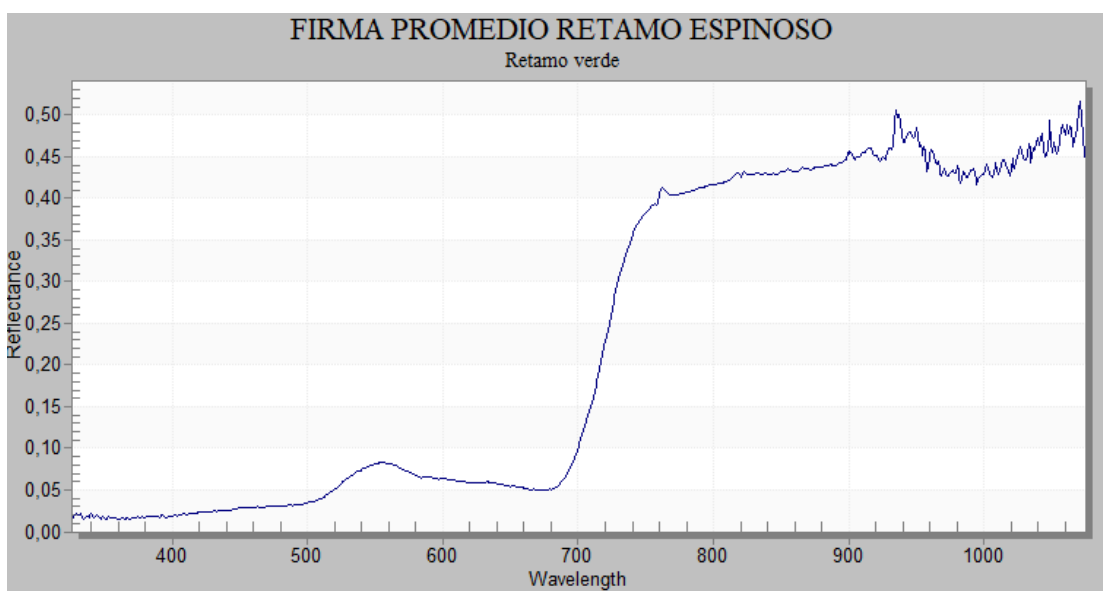


Gráfico 2 Firma promedio del retamo verde.

8.2. Análisis de variabilidad espectral

Al obtener la firma espectral de la especie invasora retamo espinoso, se analiza el comportamiento en las longitudes de onda del espectrorradiómetro de acuerdo a las magnitudes físicas de la planta, cuando observamos la respuesta espectral en el software ViewSpecPro, después de haber realizado los cálculos pertinentes de promedios y más obtenemos un gráfico que nos muestra dicha reflectividad de la especie, es constante en las longitudes de onda del visible hasta los 700nm

según valores del espectrorradiómetro y en los infrarrojos aumenta su reflectividad debido a su pigmentación.

Se tienen datos que no son tenidos en cuenta en la respuesta espectral de acuerdo a índices del espectrorradiómetro, por ello se cuenta con longitudes de onda del visible hasta los infrarrojos cercanos (400nm hasta 900nm), los valores después de los 900nm son generación de ruido en lo cual no son analizados.

8.3. Identificación de pixeles

Se identificaron los pixeles que tenían una respuesta espectral semejante a las muestras tomadas en campo, mediante el procesamiento de la imagen se logró obtener el valor del pixel y posterior a este el respectivo cálculo de las areas donde posiblemente hay presencia de retamo espinoso.

Los pixeles se encuentran en las zonas de estudio Soacha y Usme-Bogotá, también tienen un cubrimiento amplio dentro del Páramo de Sumapaz enmarcado como una situación delicada y que requiere de prontas alternativas de soluciones.

8.4. Cálculo de areas afectadas

En la ejecución y proceso del cálculo de areas posibles cubiertas de retamo espinoso, se cuenta con doscientas ochenta hectáreas en total, de las cuales 80,4745 hectáreas pertenecen a la zona de Soacha, 32,2334 hectáreas pertenecen a la zona de Usme-Bogotá y el sobrante pertenecen a otros sectores del páramo de Sumapaz.

CALCULO DE ÁREAS		
ZONA	N° HECTAREAS	PORCENTAJE
SOACHA	80,4745	29%
USME	32,2334	11%
PÁRAMO	167,2921	60%
TOTAL	280	100%

Tabla 5 Calculo de areas de Retamo Espinoso

Las areas superiores a 6.400 M2 fueron seleccionadas ya que permite una mejor identificación de las zonas en donde puede haber presencia de esta planta invasora. Contando que en el páramo del Sumapaz hay 32,5169 hectáreas, en Soacha 4,1004 hectáreas y en Usme-Bogotá 6,2338 hectáreas.

9. Análisis de resultados

En los procesos de la teledetección se parte de la información de toda la cobertura con la cual se quiera interactuar, para esto la reflectividad captura los procesos de comunicación de la energía electromagnética y el sol.

Es allí donde todos los componentes de la teledetección como las superficies de agua, vegetación, suelos y plataformas de cada sensor, permiten la visualización rápida y económica de adquirir un resultado; es por esto que se utiliza el espectrorradiómetro con el cual obtenemos la firma espectral en este caso de la planta invasora Retamo espinoso.

Con lo anterior, se identificó una de las plantas más invasoras del mundo que causa un alto índice de afectación en el ecosistema y habitat, siendo un espacio natural que proporciona beneficios a la humanidad. Seguido de ello la recolección de los datos *in situ*, proporcionando el análisis que se realiza a partir de valores del tratamiento de la imagen y los obtenidos con el espectro, partiendo de promedios y cálculos los cuales nos permitieron identificar en la imagen satelital las posibles áreas afectadas y obtener unos datos de la misma.

Así mismo, las zonas piloto donde se realizaron los estudios correspondiente en este proyecto con los valores obtenidos se dice que, requieren de vital importancia por entidades que puedan hacer algo al respecto y no dejar que siga afectando más áreas.

Siendo el satélite Sentinel 2A generador de imágenes de alta resolución para el monitoreo de la superficie terrestre, utilizado en este caso para el estudio de la vegetación nos genera confiabilidad en los datos finales encontrados en el procesamiento del cálculo de áreas.

Fueron tomadas 12 de las firmas espectrales capturadas en campo para el desarrollo y el cálculo de áreas, siendo estos datos confiables y de mayor respuesta espectral a la hora de su procesamiento.

10. Conclusiones

Para este proyecto y la metodología empleada, se cumple con los objetivos propuestos, unos resultados que dan cuenta del desarrollo de la misma y así contribuyendo en el conocimiento adquirido durante el proceso académico.

A esto se añade que la espectrorradiometría de campo es una técnica útil para la obtención de la firma espectral de la especie retamo espino, evidenciando que entre los 400 y los 1075 nm hay variabilidad, la cual permite identificar y diferenciar el tipo de planta e interpretando que la firma obtenida del retamo espinoso permite discriminar que entre los rangos de 700 a 780 nm, hay un pico el cual es característico del retamo espino.

Siendo identificadas 280 hectáreas con la firma espectral las áreas que posiblemente estén cubiertas por retamo espinoso, se tienen en cuenta que las áreas superiores a 6.400M² nos permitieron mejor identificación de acuerdo a la firma espectral.

Cabe señalar que los procesos de la teledetección son eficaces en la realización de un estudio como este el cual afecta el ecosistema, todo lo que allí se encuentra y la humanidad. Para finalizar, este proyecto de investigación aporta una herramienta útil para otros estudios, a las entidades pertinentes para que puedan ejercer control sobre esta problemática, evitando así mayores costos en la recolección de datos.

Así mismo, se pretende continuar con este proyecto, realizando la debida verificación de campo, procesamiento de datos y más que por tiempos y recursos económicos no se lograron realizar.

En la tecnología en Cartografía aporta los procesos y dinámicas utilizadas en este campo logrando eficacia y rapidez en el estudio realizado.

11. Referencias

- Ardila León Jhon Fredy y Quintero Delgado Oscar Yesid. 2013. Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. Caso de estudio: ríos Soapaga, sector paz de rio, Boyacá. En *Área de inundación, modelo digital de elevación, geoprocésamiento*, vol. 23, número 2:55-76.
- Ávila, E. F. (2017). Firma espectral del cultivo de maíz con imágenes satelitales aplicando técnicas de conjuntos aproximados [Resumen]. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias*, volumen 3 (2), 83-83.
- Beltrán G Héctor E y Barrera Cataño José I. 2014. *Caracterización de invasiones de Ulex Europaeus L. de diferentes edades como herramienta para la restauración ecológica de bosques altoandinos, Colombia*, vol. 15 No2:2014:3-26.
- Chuvieco Emilio. 1994. *Fundamentos de teledetección espacial*. Segunda edición.
- Corrales Andino Rafael Enrique; Ochoa López Vilma Lorena. 2014. Firmas espectrales de la cobertura de la tierra, aplicando radiometría de campo. fase 1: región 03 occidente de honduras. En *Ciencias Espaciales*, vol. 7, número 1 primavera.
- Díaz Espinosa Adriana Marcela. 2009. *Rasgos de historia de vida y ecología de las invasiones de Ulex Europaeus L.* Vol.1:59-67.
- Epema Gerrit F. 1992. Radiometría de campo en la enseñanza de la Teledetección. En *Serie Geográfica*, vol. 2: 121-126.
- Ferreyra Adriana. 2016. La observación de la tierra desde el espacio. Imágenes satelitales: un recurso disponible. *Imágenes satelitales*.
- FieldSpec HandHeld 2. 2010. Spectroradiometer User Manual. En *ASD Inc. Documento 600860*.

- FieldSpec HandHeld 2. 2017. Light Theory and Measurement Using the FieldSpec HandHeld 2 Portable Spectroradiometer. En *ASD Inc. Documento 600861*.
- González Herreño David Eduardo y Bueno Moreno Leonardo. 2017. *Implementación y evaluación, de métodos convencionales y la transformada wavelet, para la fusión de imágenes satelitales Rapideye y Sentinel 2A: caso de estudio departamento de Cundinamarca*. Trabajo de grado de Ingeniería Catastral y Geodesta. Universidad Francisco José de Caldas.
- Greenpeace Colombia. 2009. Cambio climático: futuro negro para los páramos.
- Hernández Rodríguez Carol Brigitte; Triviño Clavijo Laura Marcela. 2016. Evaluación de la capacidad de bioadsorción de pb (ii) y cd (ii) presentes en soluciones sintéticas independientes empleando retamo espinoso (*Ulex Europaeus*) como adsorbente. En *Proyecto curricular de ingeniería ambiental*.
- Labrador García Mauricio; Évora Brondo Juan Antonio; Pérez Manuel Arbelo. 2012. *Satélites de teledetección para la gestión del Territorio*.
- León Olga Adriana; Díaz Adriana y Liliana Corzo. 2009. *Selección y preparación del terreno para el proceso de restauración de zonas invadidas por Ulex Europaeus (retamo espinoso) y plantaciones de Pinus patula (pino) y Cupressus lusitanica (ciprés)*. Vol.1:39-56.
- Malvern Panalytical a Spectris Company. (2018). Malvern Panalytical a Spectris Company, 2018.<https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/asd-range/fieldspec-range/handheld-2-hand-held-vnir-spectroradiometer>.
- Martínez Mera Rodrigo Jacobo. 2014. *Análisis de especies vegetales representativas del páramo de Chingaza mediante espectrorradiometría de campo*. Tesis de Magister en

Ciencias Ambientales. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO.

- Martínez Vega Javier; M. Pilar Martín Isabel. 2010. *Teledetección y medio ambiente*. Centro de ciencias humanas y sociales (CSIV).
- Ministerio del medio ambiente. 2002. Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana.
- Ocampo-Zuleta Korina; Solorza-Bejarano Jairo. 2017. Banco de semillas de retamo espinoso *Ulex Europaeus* L. En bordes del matorral invasor en un ecosistema zonal de bosque alto andino, Colombia. En *Biota Colombiana*, vol. 18, núm. 1, junio, 2017: 89-98.
- Rodríguez Galindo V F; García Soldado M J; Chicha Olmo M; Pardo Igúzquiza E; Rigol Sánchez J P y Chica Rivas M. 2010. *Análisis de cambios de usos del suelo en la «Vega de Granada»: correcciones radiométricas y evaluación del cambio*. Vol. 34:5-15.