



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA  
T U N J A



ANÁLISIS AMBIENTAL DE USO DEL SUELO DE LA VEREDA SIACHOQUE  
ARRIBA DEL MUNICIPIO DE SIACHOQUE-BOYACÁ COMO ALTERNATIVA A  
LAS ACTIVIDADES DERIVADAS DE LA EXPANSIÓN DE LA FRONTERA  
AGRÍCOLA.

AUTORES: DANIEL RICARDO CASTELBLANCO PEÑA  
FRANCISCO ENRIQUE ROJAS RAYO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
TUNJA-BOYACÁ

2023

ANÁLISIS AMBIENTAL DE USO DEL SUELO DE LA VEREDA SIACHOQUE  
ARRIBA DEL MUNICIPIO DE SIACHOQUE-BOYACÁ COMO ALTERNATIVA A  
LAS ACTIVIDADES DERIVADAS DE LA EXPANSIÓN DE LA FRONTERA  
AGRÍCOLA.

AUTORES: DANIEL RICARDO CASTELBLANCO PEÑA  
FRANCISCO ENRIQUE ROJAS RAYO

Director:  
Iván Gustavo Pirazan Cuervo

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
TUNJA-BOYACÁ  
2023

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

## TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN:.....	8
2.	ABSTRACT .....	9
3.	INTRODUCCIÓN.....	10
4.	OBJETIVOS.....	12
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	12
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
5.	PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA DE LA INVESTIGACION .....	13
6.	JUSTIFICACIÓN.....	15
7.	ANTECEDENTES .....	17
8.	MARCO TEORICO .....	22
8.1.	MARCO CONCEPTUAL .....	22
8.2.	MARCO CONTEXTUAL.....	27
8.2.1	UBICACIÓN DEL PROYECTO .....	27
8.2.2	DEMOGRAFIA DE SIACHOQUE .....	28
8.2.3	ACTIVIDADES SOCIOECONOMICAS.....	28
8.2.4	GEOLOGÍA .....	29
8.3	MARCO LEGAL.....	29
9.	METODOLOGIA.....	32
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	35
11.	IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO .....	63
12.	CONCLUSIONES.....	64
13.	RECOMENDACIONES .....	66
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
15.	ANEXOS.....	73

ANEXO 1: TRABAJO EN CAMPO.....	73
--------------------------------	----

### LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación del área de estudio.....	28
Ilustración 2. Sistematización metodológica.....	32
Ilustración 3. Salida en campo-Análisis edafológico.....	34
Ilustración 4. Delimitación y ubicación de la zona de estudio.....	36
Ilustración 5. Combinación de bandas de agricultura año 2010.....	37
Ilustración 6. Combinación de bandas de uso de suelo año 2010.....	38
Ilustración 7. Combinación de bandas de agricultura año 2016.....	39
Ilustración 8. Combinación de bandas de uso de suelo año 2016.....	39
Ilustración 9. Combinación de bandas de agricultura año 2020.....	40
Ilustración 10. Combinación de bandas de uso de suelo año 2020.....	41
Ilustración 11. Índice de vegetación de diferencia normalizada año 2010.....	43
Ilustración 12. Índice de vegetación de diferencia normalizada año 2016.....	44
Ilustración 13. Índice de vegetación de diferencia normalizada año 2020.....	45
Ilustración 14. Proceso metodológico Corine Land Cover.....	46
Ilustración 15. Clasificación no supervisada año 2010.....	46
Ilustración 16. Clasificación no supervisada año 2016.....	48
Ilustración 17. Clasificación no supervisada año 2020.....	49
Ilustración 18. Zona con mayor potencial de aprovechamiento.....	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada.....	42
Tabla 2. Clasificación del índice de vegetación de diferencias normalizada .....	43
Tabla 3. Clasificación no supervisada 2010 .....	47
Tabla 4. Clasificación no supervisada 2016 .....	48
Tabla 5. Clasificación no supervisada 2020 .....	49
Tabla 6. Características fisicoquímicas del suelo de la vereda Siachoque arriba.....	55
Tabla 7. Clasificación de grado de acidez .....	55
Tabla 8. Contenidos de carbono orgánico .....	56
Tabla 9. Saturación de bases.....	57
Tabla 10. Características químicas del Páramo la Cortadera .....	57
Tabla 11. Características químicas de la vereda Siachoque arriba.....	58
Tabla 12. Características físicas del Páramo la Cortadera.....	58
Tabla 13. Características físicas de la vereda Siachoque arriba .....	59

## LISTA DE GRAFICOS

Gráfica 2. Diferencia de uso corine Land cover de la vereda Siachoque arriba.....	50
Gráfica 3. Análisis de resultados de Bosque fragmentado con pastos y cultivos.....	51
Gráfica 4. Análisis de resultados de Tierras desnudas y degradadas .....	52
Gráfica 5. Análisis de resultados de Áreas con vegetación escasa o arbustiva .....	53
Gráfica 6. Comparación de suelos.....	60

## 1. RESUMEN:

En el presente documento se procedió a realizar una investigación acerca del conflicto de uso del suelo y una comparativa de la vereda Siachoque arriba en el municipio de Siachoque-Boyacá por medio de un análisis edafológico, para determinar las afectaciones al suelo por medio de las principales actividades antrópicas productivas del municipio y así determinar el aprovechamiento para pagos por servicios ambientales y como se ve interrelacionado en un proceso de ordenamiento territorial, siendo esta la parte fundamental para la ordenanza de la vereda Siachoque arriba en el departamento de Boyacá.

De acuerdo con lo anterior se realizó un análisis bibliográfico para llevar a cabo una investigación de antecedentes donde se logró corroborar la información respecto al tema en este territorio, por lo que se encontraron varias fuentes que aportaron datos de utilidad en donde se utilizaron distintos tipos de herramientas para determinar el contexto temporal y los cambios fisicoquímicos en cuanto a la afectación a lo largo de los años.

Por medio de las herramientas informáticas se procedió a realizar un análisis de la zona de la vereda Siachoque arriba, incluyendo estudios cartográficos e investigaciones de imágenes landsat para el procesamiento de datos, donde se determinaron los usos y vocaciones de los mismos; por otra parte, se realizaron mapas de análisis de datos donde se logró evidenciar la problemática actual de los suelos y por medio de los mismos se buscaron estrategias que ayuden a la mitigación y compensación de las afectaciones que se vean reflejadas en la zona de estudio. Por otro lado, también se tuvieron en cuenta las pruebas de análisis edafológico fisicoquímico tomadas en campo, donde logro hacer una identificación del territorio mediante estudios de laboratorio y así determinar las capacidades del suelo, como la productividad, la textura y la estructura de este para así concluir un análisis edafológico y hacer la comparación multitemporal donde se logró hacer la detección de las características, cambios y el estado actual del suelo para así prevenir los impactos generados en esta zona y hacer un mejoramiento en cuanto a cada una de estas actividades agrícolas.

## 2. ABSTRACT

In this document we proceeded to carry out an investigation about the conflict of land use and a comparative of the Siachoque Arriba village in the municipality of Siachoque-Boyacá by means of a multicriteria analysis, to determine the affectations to the soil by means of the main productive anthropic activities of the municipality and thus determine the use for payments for environmental services and how it is interrelated in a land use planning process, being this the fundamental part for the ordinance of the Siachoque Arriba village in the department of Boyacá.

According to the above, a bibliographic analysis was made to carry out a background research where it was possible to corroborate the information regarding the subject in this territory, so several sources were found that provided useful data where different types of tools were used to determine the temporal context and the physicochemical changes in terms of the affectation throughout the years.

By means of computer tools, an analysis of the area of the upstream Siachoque trail was carried out, including cartographic studies and studies of Landsat satellite images for information processing, where the uses and vocations of the same were determined; on the other hand, data analysis maps were made where the current soil problems were evidenced and by means of the same, strategies were sought to help mitigate and compensate the affectations that are reflected in the study area. On the other hand, we also took into account the soil physicochemical analysis tests taken in the field, where we were able to identify the territory through laboratory studies and thus determine the capabilities of the soil, such as productivity, texture and structure in order to conclude a multi-criteria analysis and make a multi-temporal comparison where we were able to detect the characteristics, changes and current state of the soil to prevent the impacts generated in this area and make an improvement in each of these agricultural activities.

### 3. INTRODUCCIÓN

El cambio del uso del suelo y de la cobertura vegetal en diferentes territorios ha sido una de las principales problemáticas que se han ido presentando a lo largo de los años. La transformación del suelo ha sido producto del desarrollo de actividades antrópicas dentro de los territorios, impulsadas por el crecimiento poblacional, la expansión de la industria y de la frontera agrícola y ganadera y el aumento de la extracción de los recursos naturales (Bernal Vargas, 2019).

En consecuencia, de lo anteriormente mencionado, se han presentado graves impactos ambientales dentro de los diferentes ecosistemas debido a la presión que ejerce este tipo de actividades. La deforestación generada por el desarrollo de diferentes actividades económicas a lo largo del mundo, ha producido graves afectaciones en la biodiversidad de los territorios naturales debido a que ocasiona la destrucción de hábitats naturales, la extinción de especies de flora y fauna y la alteración de la dinámica natural de los ecosistemas

De acuerdo con (Cifuentes Guerrero *et al.*, 2017) la transformación del uso del suelo también presenta implicaciones en la disponibilidad y calidad de agua en las regiones, debido a que la disminución de zonas boscosas afecta el ciclo hidrológico e incrementan el riesgo ante eventos de inundaciones y sequias.

Durante los últimos años, se han venido desarrollando distintas investigaciones a lo largo del mundo que han permitido identificar tanto los efectos producidos por los cambios de cobertura y uso de suelo en distintos lugares como las principales actividades antrópicas que influyen en dichas transformaciones. Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una de las herramientas más implementadas no solo para la evaluación del cambio de cobertura sino también como un instrumento de planificación del territorio ya que este tipo de sistemas permiten realizar múltiples análisis por medio del procesamiento de información espacial (Conde Toro & Marulanda Moreno, 2016)

Por otra parte, en Colombia la agricultura es una de las principales actividades productivas del territorio nacional. Siachoque, es un municipio perteneciente al departamento de Boyacá. Se caracteriza por estar localizado en zona de paramo y subparamo por lo cual presenta un piso térmico óptimo para el desarrollo de

actividades económicas como la agricultura. Sin embargo, los diferentes cultivos que se encuentran en el área han generado graves afectaciones en el ecosistema debido al uso inadecuado del suelo y a la aplicación de diferentes agroquímicos que se requieren para la subsistencia del cultivo (Novoa Campos, 2020).

En la presente investigación se realizó el análisis ambiental de uso y coberturas del suelo de la vereda Siachoque arriba del municipio de Siachoque-Boyacá como alternativa a las actividades derivadas de la expansión de la frontera agrícola. La información obtenida en este estudio es de gran relevancia para la planificación y toma de decisiones dentro del territorio con el fin de contribuir a un desarrollo sostenible tanto a nivel local como regional. Además, los resultados derivados de la investigación pueden ser usados como referentes para nuevas investigaciones que se hagan en el área de estudio.

#### 4. OBJETIVOS

##### 4.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el análisis ambiental de uso y cobertura del suelo de la vereda Siachoque arriba del municipio de Siachoque-Boyacá como alternativa a las actividades derivadas de la expansión de la frontera agrícola.

##### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el cambio de la cobertura de un suelo en la vereda Siachoque arriba en el municipio de Siachoque-Boyacá.
- Elaborar un análisis edafológico con el propósito de reconocer el actual del suelo.
- Establecer la zona con mayor potencial para el aprovechamiento ambiental en el municipio de Siachoque-Boyacá.

## 5. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

### Degradación y pérdida de ecosistemas

A nivel nacional e internacional se ven reflejados distintos tipos de afectaciones que se presentan en el medio ambiente, dentro de los cuales es importante mantener claros los retos que se van a presentar con el pasar de los días y cada uno de los mecanismos que se tienen que manejar para la mitigación de los impactos que allí se ven reflejados. A través de los años la actividad humana fue generadora de un gran impacto a nivel climático sobre la superficie de la tierra y en los ecosistemas que allí se encuentran, cabe resaltar la importancia significativa del recurso suelo, el cual alberga toda la vida terrestre y es donde se originan la mayoría de los servicios ecosistémicos fundamentales en la supervivencia y bienestar de los habitantes. Por otra parte, este recurso es la base fundamental de todo el sistema de alimentación, por medio de este recurso se evidencia los cultivos, ya que el suelo produce un total del 95% de los alimentos que utiliza el ser humano para su subsistencia. (FAO & PNUMA, 2022)

Al pasar del tiempo, los cambios superficiales de los ecosistemas andinos naturales se han visto afectados en los últimos años, en los periodos más inmediatos se menciona que el problema se prolonga cada vez más, en la última década se presentó un periodo de alto impacto en estos ecosistemas, lo cual significa una pérdida del 14,20% solo en este período. Entre 1985 y 2005 en cambio, se ve inmersa la disminución del más del 50% de las áreas comunes en el bioma andino del departamento de Boyacá, sobre todo porque es altamente susceptible a superficies similares a islas, las cuales se encontraron y expandieron las amenazas que se ven presentes en este espacio del territorio (Dominguez, 2019).

Los cambios en la vegetación y el uso del suelo en las cuencas hidrológicas son causados principalmente por actividades humanas. Como señalan (Farnum & Murillo, 2019) la dinámica de cambio de uso y cobertura del suelo (CCUT) juega un papel importante en el proceso de modificación de la biosfera.

Estos cambios tienen múltiples impactos en los sistemas socioeconómicos y ambientales, con implicaciones significativas para la sostenibilidad, la seguridad alimentaria, la biodiversidad y la vulnerabilidad humana y de los ecosistemas a los procesos de cambio ambiental a nivel global. Los cambios en la cobertura y el uso de la tierra corresponden tanto al reemplazo completo de un modelo de capa vegetal por otro como lo son los cambios en la gestión

territorial que pueden conducir a cambios en la estructura del ecosistema y los componentes naturales.

Por otro lado, cabe resaltar que la dinámica de los cambios de cobertura afecta la estructura y composición del bioma y los procesos del ecosistema a través de mecanismos directos e indirectos. La conversión de ecosistemas naturales a la agricultura o al pastoreo desplaza casi por completo la flora y fauna originales y provoca, entre otras cosas, cambios en las condiciones físicas del suelo, microclima, ciclo de nutrientes, etc. Además, la dinámica del cambio de la cobertura del suelo también hace que los ecosistemas del altiplano andino sean vulnerables a los cambios en la estructura y composición del paisaje debido a la mayor fragmentación asociada con las transiciones provocadas directamente a los ecosistemas, teniendo así pequeñas cantidades de residuos transitorios expuestos a frentes agrícolas activos provocando cambios en las condiciones biofísicas y la afectación directa a los biomas (Botero, 2015).

Es de resaltar que al pasar de los años la actividad agrícola en el departamento de Boyacá se encuentra en crecimiento debido a las carencias de los residentes y a la economía que se encuentran presentes (Bello Bernal, 2015), en este caso, Siachoque, al ser un municipio ubicado en zona de Paramos y subpáramos, en donde las temperaturas oscilan entre los 4° y los 16°C los cuales lo convierte en un piso térmico apto para este tipo de producción. Gracias a esta información se logra evidenciar la afectación por medio de los cultivos albergados y en como el uso inadecuado del suelo afecta sus procesos de regeneración, la delimitación incorrecta de las zonas en donde se quiere cultivar y el uso irresponsable de los agroquímicos que se necesitan para la subsistencia del cultivo.

Por medio de la investigación se pretende realizar un análisis del estado actual del suelo con el fin de determinar alternativas sostenibles que mitiguen los conflictos e impactos causados en el municipio de Siachoque Boyacá, ya que su principal actividad económica es la agricultura y presenta como consecuencia una afectación directamente a la fauna y flora de la zona. En este caso se infiere que esta área presente en la parte baja del páramo La cortadera es antropizada y ha sido intervenida y transformada por las actividades diarias a nivel agrícola del ser humano. Por otro lado, con los resultados de este análisis se pretenden plantear alternativas y estrategias para la mitigación, compensación y posibles soluciones a la problemática en esta zona.

## 6. JUSTIFICACIÓN

En el medio ambiente se evidencian distintas afectaciones, las cuales son de carácter importante en la determinación de los problemas principales que se presentan en una zona en específico. En Colombia, se presenta una gran diversidad de ecosistemas en todo el territorio nacional dentro de los cuales unos de los más importantes son los páramos debido a la oferta hídrica específica y su sustento a los procesos ecológicos y de carácter económico y social los cuales abastecen a las comunidades que residen en las zonas cercanas.

Debido a la importancia y a su ubicación estratégica, es necesario tener en cuenta acciones que ayuden a la conservación de la diversidad y lo que ello conlleva respecto a los servicios ecosistémicos que se prestan en el territorio, en este caso se debe enmarcar dentro de estudios y análisis determinados procesos de monitoreo y planificación en cuanto a las acciones que presenten mayor bienestar en las comunidades en el área de estudio (Sarmiento Pinzón, Cadena Vargas, Sarmiento Giraldo, & Zapata Jiménez, 2013).

Así mismo es de relevancia mencionar que en la actualidad “las actividades humanas que tienen mayor relevancia en cuanto a impactos sobre las zonas de páramos incluyen procesos antrópicos como lo son la agricultura, la ganadería, la deforestación de especies poco comunes o exóticas, la minería y el turismo. Y así mismo, aumenta el impacto del cambio climático a nivel local, regional y global” (Rivera Ospina, 2013)

Se debe considerar así mismo que el Municipio de Siachoque Boyacá presenta en su jurisdicción procesos dentro de los cuales se destaca el uso y la ocupación de las áreas de protección y se ha visto ampliando la frontera agrícola que se encuentra presente en el municipio, generando así afectaciones en las dinámicas que se encuentran en los ecosistemas, alteraciones en la distribución de las zonas y así mismo desaparición y cambios en el uso del suelo (Procuraduría General de la Nación, Instituto de Estudios del Ministerio Público (IEMP), 2018)

Siachoque tiene uno de los tipos de cultivos que se presenta en mayor porcentaje en el mundo, así mismo es estimada como una de las principales fuentes de afectación de los suelos; en este caso la expansión de la frontera agrícola está afectando los ecosistemas de paramo, ya que estas áreas al transformarse en estos cultivos generan desequilibrios en el ecosistema y van generando afectaciones en los componentes ambientales y socioeconómicos de la zona (Morales, y otros, 2011). Así mismo, cabe resaltar que el mayor impacto de estos cultivos

está en el suelo, debido a los procesos que necesita la papa para su correcta producción, encontrando la preparación del terreno, proceso en el cual se debe iniciar con la eliminación de la cobertura vegetal, generando afectaciones como la erosión del suelo, la cual queda permanente en el suelo que se está trabajando. En los demás procesos como el arado y la preparación del suelo para su posterior cultivo y extracción, son necesarias las adiciones de distintos tipos de químicos, agroquímicos, insecticidas y pesticidas en los cultivos que posteriormente debido a los procesos naturales como vientos, precipitaciones y escorrentías van a generar afectaciones directas en el suelo las cuales van a ser irreversibles con el pasar de los años.

## 7. ANTECEDENTES

El estudio y análisis del cambio de cobertura en diferentes territorios se ha convertido en uno de las temáticas investigativas más relevantes en los últimos años, tanto a nivel nacional como internacional, debido a las transformaciones que han presentado diferentes ecosistemas a causa de las actividades antrópicas que se desarrollan en dichas zonas.

A nivel internacional, se destaca la investigación realizada por (Zorogastúa Cruz *et al.*, 2011) en la cual se estudió el cambio de cobertura en el bosque seco ubicado en la región Piura de Perú. El análisis multitemporal se llevó a cabo empleando las imágenes satelitales Landsat en el periodo 1986-1994 y 1999-2001. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir del procesamiento de la información, se logró identificar que el 38% del bosque seco no presentó ningún cambio de cobertura, un 13% del área mejoró su condición y que tan solo 23% del bosque ha presentado una disminución en su cobertura.

Por otro lado, (Ruiz , Savé, & Herrera, 2013) evaluaron la transformación de la utilización del suelo durante el periodo de 1993 a 2001 en Miraflores Moropotente-Nicaragua. Para determinar la fragmentación de la zona de estudio se procesaron 3 imágenes satelitales Landsat TM de los años 1993, 2000 y 2011 en el software ArcGIS y la información obtenida fue verificada en campo. A partir de los resultados obtenidos, los autores lograron identificar que las zonas de vocación forestal fueron las coberturas que más se vieron afectadas por la expansión de la frontera agrícola y ganadera de la zona durante los 18 años estudiados.

Por su parte, (Camacho Sanabria *et al.*, 2015) analizaron la variabilidad de uso y cobertura del suelo en La Porción Surponiente del Estado de México entre 1989 y 2009 por medio del procesamiento de imágenes satelitales. A partir de los resultados de la investigación, pudieron establecer que la cobertura de bosque presentó una pérdida de 19.262 Ha debido a la expansión de la zona agropecuaria (19.113 Ha), cuerpos de agua (105 Ha), agricultura tecnificada (5 Ha) y asentamientos humanos (39 Ha).

(Andrade Ruiz, 2016) realizó un análisis multitemporal en la cuenca alta del Río Apuela, Ecuador para determinar las variabilidades de la cobertura vegetal que ha presentado el área de estudio durante los años 1991 y 2010 a causa de la intervención humana presentes en la zona y su influencia en el proceso de producción de agua de la cuenca del río Apuela. Por medio del procesamiento de las imágenes de información geográfica durante el periodo analizado, se pudo observar que las superficies de páramo, bosque nativo y vegetación

herbácea desmulleron su extensión 3.784,97 Ha (20%) mientras que los cultivos permanentes, pastizales y el mosaico agropecuario presentaron un aumento del 9,62% (1.820,83 Ha). En cuanto a las condiciones hidrológicas de las zonas, estos cambios de coberturas influyeron en los caudales de escorrentía del río Apuela debido a que se registró un aumento en el caudal en época de lluvia de 39,5 m<sup>3</sup>/s y en época seca de 0,6m<sup>3</sup>/s.

Por otra parte, (Rojas Briceño *et al.*, 2019) evaluaron los cambios de cobertura y uso de suelo en la provincia de Rodríguez de Mendoza en Perú entre los años 1987–2001 y 2001–2016 mediante el uso y procesamiento de imágenes satelitales. Con la información obtenida se elaboraron matrices de tabulación cruzadas y se establecieron las tasas anuales de cambio. Los resultados de la investigación permitieron observar que la cobertura boscosa tuvo una pérdida de 918,59 km<sup>2</sup>, además, la tasa de deforestación y los cambios de cobertura en el área de estudio presentó un mayor valor en el periodo 2001-2016 que en comparación al periodo 1987-2001. De igual forma, se concluyó que una de las principales causas que ha generado la disminución de bosque nativo es la expansión de la frontera ganadera y agrícola debido a la mejora en la red vial en la zona.

Otros autores, como (Ruales Mestanza & Dávila Lara, 2019) llevaron a cabo un trabajo investigativo que buscaba analizar los efectos producidos en la oferta hídrica de la microcuenca del río Itambia a causa de los cambios de uso de suelo de la zona durante los años 2000 y 2014. En la investigación se aplicaron diferentes mecanismos y/o metodologías de sistemas de información geográfica (SIG) para realizar un análisis multitemporal que determine la variación en cada una de las coberturas durante los 14 años estudiados, de igual forma, se determinó la dinámica hídrica de la zona y se emplearon las regresiones lineales y geográficamente ponderadas con el fin de poder conocer la relación entre las transformaciones de las coberturas del terreno y las variaciones de los caudales de la microcuenca. A partir de los resultados obtenidos, se pudo identificar que en el periodo estudiado la zona urbana aumentó un 0,09% su cobertura, al igual que los pastos y las zonas agrícolas (0,06% y 0,012%). Sin embargo, la extensión de la vegetación, bosque y paramo redujeron a un 0,19%, 2,2% y 2,59% respectivamente. En cuanto a la oferta hídrica, se observó que en el periodo estudiado el caudal disminuyó 0,09m<sup>3</sup>/s debido al incremento de cultivos que emplean el agua del río para el riego.

En Colombia, se llevaron a cabo diferentes trabajos investigativos proyectado al análisis multitemporal de la variabilidad de cobertura terrestres en diferentes zonas. (De La Cruz Burgos & Muñoz Garcia, 2016) estudiaron los cambios de cobertura y uso de suelo en el municipio de Popayán con el fin de estimar la recuperación de las áreas que se encontraban más degradadas entre los años 2003 y 2016 luego del desarrollo del “Programa Silvicultura como alternativa de producción en la zona marginal de la cuenca del río Magdalena”. El análisis multitemporal se llevó a cabo mediante el procesamiento de imágenes satelitales en el software ArcGIS. Teniendo en cuenta la información obtenida, se pudo observar que las zonas boscosas incrementaron de 37% a un 40% en el área de estudio, principalmente en los bordes de los diferentes cuerpos hídricos. En cuanto a las plantaciones forestales y los pastos, presentaron una reducción en su extensión de un 1% y 3% respectivamente a causa del cambio del uso del suelo. En cuanto a las áreas deforestadas, se logró identificar que se encuentran localizadas en las zonas amortiguadoras e intermedias de la cuenca.

Por otro lado, (Pimiento Ortega , 2019) analizó de manera multitemporal el cambio de cobertura del Páramo de Pisba en el municipio de Tasco durante los años 1990-2015 a partir del empleo de métodos de procesamiento de las imágenes satelitales software ArcGIS y la aplicación de la metodología Corine Land Cover Colombia para establecer las diferentes coberturas en la zona de estudio. Cabe resaltar que se realizó una clasificación supervisada y se realizó una verificación en campo de los datos recopilados durante el procesamiento. Posteriormente, en el software QGIS para el año 2020 se implementó un modelo de una simulación con el fin de identificar un escenario futuro de las diferentes coberturas del área de interés. Por medio de los análisis alcanzados se logró determinar que, en la etapa estudiada, el arbustal disminuyó su cobertura de 4.363,4 Ha a 2.836,98 Ha. Por otro lado, la frontera agropecuaria tuvo un aumento durante 1990 – 2008 debido a que el área que ocupaba esta actividad incrementó de 803,09 Ha a 1.914,04 Ha; sin embargo, se presenta en el año 2015 una disminución de su extensión de 130,23 Ha. En cuanto a páramo, durante los 25 años estudiados este ecosistema redujo su área 408,71 Ha. La pérdida de cobertura del páramo, bosque y arbusto presenta una influencia directa por el crecimiento de las actividades agrícolas, ganaderas y mineras en el área de estudio.

Otros autores como (Hernandez & Salamanca, 2019) investigaron la conexión entre las alteraciones de la cubierta vegetal y el proceso de generación de caudal del área hidrográfica

de la cuenca Sardinata del departamento de Norte de Santander entre 2000 y 2012. El análisis multitemporal se determinó a partir de la aplicación de diferentes herramientas SIG para el análisis de imagen por satélite, además, se modelaron los datos hidrológicos de la zona. Los resultados obtenidos mostraron que los cambios de cobertura en la cuenca no son críticos por ende no son suficientes para generar caudales picos. De igual forma, se evidencia que en el periodo estudiado aparecen 3 coberturas nuevas (Bosque de galería, bosque abierto y plantación forestal). Los pastos limpios aumentaron su cobertura (De 5,36% a 19,8%) mientras que los espacios naturales y el mosaico de cultivos redujeron su extensión en la cuenca aproximadamente un 7,16% al igual que el bosque denso que registró una disminución de un 4,66%.

Por su parte, (Arevalo Parra & Duarte Sandoval, 2021) en su tesis de grado, analizaron los cambios en la cobertura en la subcuenca San José localizada en el Páramo de Rabanal entre el periodo 1986 y 2020. A partir de los resultados obtenidos del análisis multitemporal se pudo identificar que el páramo es la cobertura que redujo más su extensión (14,8%), de igual forma, el arbustal y el bosque mixto disminuyeron su cobertura en un 7,3% y 2,3% respectivamente. En cuanto a las zonas agrícolas y ganaderas tuvieron un aumento de un 14% y 11,4 % en el área de estudio. Como consecuencia de la expansión de las actividades productivas en la zona, las coberturas nativas presentaron graves afectaciones en su extensión dentro de la subcuenca además los suelos desnudos incrementaron un 0,8% en el periodo estudiado.

(Quichimbo, 2012) realizó un estudio en una microcuenca al sur de Ecuador exactamente en los páramos de Quimsacocha, donde se analizaron 8 tipos de coberturas y usos de suelo, relacionados con bosques montañosos, bosques de pinos, pastos, almohadillas, etc. Principalmente en estos puntos se evaluaron características físico-químicas identificando por horizontes superficiales y sub superficiales. Adicional a esto, se tomaron tipos de muestras teniendo como resultados la evidencia en el cambio del suelo y coberturas en su gran mayoría andisoles ya que las actividades antrópicas afectan directamente a las propiedades físicas a nivel de horizontes superficiales. Por otro lado, también se evidencian los cambios en las propiedades químicas ya que existen procesos de iluviación.

el páramo la cortadera ha tenido estudios como el de (Vargas, Gonzalez Diaz , & Rueda , 2022) en donde se hizo una evaluación socioeconómicas y ambientales del páramo la

cortadera, con el objetivo de realizar la identificación de los principales impactos que se ven relacionados con la actividad de captura de carbono. Adicionalmente, también se evaluaron aspectos ambientales teniendo en cuenta una comparación de escenarios actuales y futuros en un escenario donde se implementen bonos de carbono teniendo como resultado un impacto positivo ya que esta medida mitiga impactos negativos que presenta este paramo.

Por otro lado, (Cely Reyes & Márquez Vega , 2014) realizó un estudio donde el objetivo era evaluar el porcentaje de captura de carbono en el suelo de paramo la cortadera y mediante un análisis espacial determinara el contenido de carbono que adquirirían los diferentes suelos. las mediciones se realizaron mediante parcelas donde se midió principalmente el carbono orgánico y la densidad aparente surgiendo como importancia y necesidad adquirir procesos educativos en donde se concientice a la comunidad de tener un equilibrio del sistema social con lo natural.

Adicional al estudio anterior (Cuervo Barahona, Cely Reyes, & Moreno Perez, 2016) también determinaron las fracciones de carbono que se presentan en el páramo la cortadera, donde se mostró que la vegetación alojada en el páramo tiene un alto nivel de concentración de carbono siendo este un ecosistema altamente vulnerable al impacto antropogénico. En consecuencia, se tiene que adquirir un plan de protección y conservación dada a la presencia de fracciones de carbono que pueden ser fácilmente liberadas a la atmosfera favoreciendo al efecto invernadero y cambio climático.

## 8. MARCO TEORICO

### 8.1. MARCO CONCEPTUAL

#### **Estudios multitemporales**

En total, los estudios sobre el cambio de uso y coberturas del suelo forestal estiman tasas de deforestación/forestación, determinan su extensión geográfica y comprenden las causas sociales y económicas del cambio a nivel global, regional y local. Análisis de uso y calidad del suelo de la vereda Siachoque arriba del municipio de Siachoque-Boyacá.

El análisis multitemporal permite identificar cambios entre diferentes fechas de referencia, para así inferir una conclusión sobre el desarrollo del entorno natural o los efectos de las actividades humanas en el medio ambiente. Los análisis espaciales denominados estudios multitemporales implican la comparación de la cobertura interpretada en imágenes de satélite fotografías aéreas o mapas que representan la misma zona, pero desde distintos marcos temporales. Por otro lado, este estudio se administra para realizar una evaluación de los cambios en cuanto a la situación de los revestimientos clasificados, para derivar el desarrollo del entorno natural o los efectos de las actividades humanas en el medio ambiente; se puede concluir que este estudio multitemporal es uno de los métodos más efectivos para comparar y determinar los cambios a lo largo del tiempo.

Los estudios sobre la dinámica del uso del suelo ayudan a comprender qué cuidados y usos practican las personas en el área, teniendo como referencia los últimos años, en los cuales los países se han dado cuenta de la importancia de analizar, comprender y tomar decisiones a la hora de planificar políticas (Hernández Calderón & Salamanca Carvajal, 2019).

#### **Clasificación no supervisada**

La clasificación no supervisada en ArcGIS, como en otros contextos, se refiere al proceso de categorizar o agrupar píxeles dentro de una imagen ráster en clústeres o clases sin utilizar datos de entrenamiento preexistentes o ejemplos etiquetados. ArcGIS es software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que ofrece varias herramientas y técnicas para realizar clasificaciones no supervisadas en imágenes aéreas o de satélite.

La clasificación no supervisada en ArcGIS se utiliza habitualmente mediante la cartografía de la cubierta terrestre, el análisis de la vegetación, la evaluación de la expansión urbana y la supervisión medioambiental. Puede ayudar a identificar patrones y características en

imágenes de teledetección sin necesidad de datos de entrenamiento etiquetados manualmente, lo que la hace valiosa para una serie de aplicaciones SIG (esri, 2020).

### **Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada en ArcGIS, como en otros contextos, es un proceso de categorización o clasificación de píxeles dentro de una imagen ráster en clases o categorías predefinidas basadas en un conjunto de datos de entrenamiento que proporcionan información sobre las clases. ArcGIS, proporciona herramientas y capacidades para realizar la clasificación supervisada en imágenes satelitales o aéreas.

La clasificación supervisada en ArcGIS se utiliza habitualmente para diversas aplicaciones de los sistemas de información geográfica, como la cartografía de la cubierta terrestre, el análisis del uso del suelo, la gestión forestal y la planificación urbana. Resulta especialmente útil cuando se tienen conocimientos previos sobre las clases que se desea identificar y se pueden proporcionar datos de entrenamiento etiquetados para guiar el proceso de clasificación (esri, 2020).

### **Sistemas de información geográfica**

Se puede decir que existen dos tipos de modelos de procesamiento de datos espaciales, según consideren las características propias de cada punto (dependiendo de la variable o propiedad) o su ubicación espacial (coordenadas espaciales especificadas), llamados vector y ráster. El sistema ráster es utilizado para definir las unidades artificiales colocando una malla específica sobre el área que se está estudiando. El espacio que contiene todas estas celdas forma una unidad perceptiva (píxel) la cual recoge información temática; los sistemas vectoriales consideran la presencia de unidades individuales en un espacio geográfico que comparten ciertas características similares y representan unidades que verdaderamente existen en el territorio de estudio. Estas características son naturales (topográficos, geomorfológicos, masas de agua, etc.) o artificiales (edificaciones, infraestructuras, límites administrativos, etc.). La presentación de este sistema de unidades se realiza mediante datos geométricos clásicos (puntos, líneas y polígonos) utilizados en la cartografía, y cuya separación solo tiene características topológicas (Zumaeta Lozano, 2021).

### **Uso del suelo**

Los usos del suelo de la región expresan fielmente la relación del hombre con el medio que lo rodea, es decir, las diferentes actividades que se desarrolla en él. Se puede decir que la

historia se lee en el paisaje, es por ello que con ayuda del uso del suelo se pueden identificar los procesos de la región y su desarrollo; por otro lado, este tipo de variables también son utilizados como indicador ambiental. Por otro lado, la actividad a nivel humano ejerce presión sobre el medio ambiente y genera cambios de la calidad y la cantidad de recursos naturales. Además, es importante mencionar que las reacciones sociales a este tipo de alteración adoptan la forma de medidas políticas medioambientales, sectoriales y económicas (Tribak, y otros, 2021).

### **Coberturas del suelo**

Cuando se habla de coberturas suele referirse a un tipo de capa de datos espaciales o conjunto de datos que representa la cobertura física o la cubierta terrestre de la superficie de la Tierra. Los datos de cobertura del suelo proporcionan información sobre las distintas características y tipos de uso y cobertura del suelo presentes en un área geográfica específica. Estos conjuntos de datos son esenciales para una amplia gama de aplicaciones, como la planificación urbana, la gestión de los recursos naturales, la vigilancia del medio ambiente y el análisis del uso del suelo.

Las coberturas del suelo pueden utilizarse individualmente o combinados para analizar y visualizar las características y los cambios de la superficie terrestre. ArcGIS y otros programas informáticos de SIG proporcionan herramientas para gestionar, analizar y visualizar datos sobre la cubierta terrestre con el fin de apoyar una amplia gama de análisis espaciales y procesos de toma de decisiones (Quichimbo, Tenorio, & Borja, Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, 2012).

### **Ordenamiento Territorial**

El ordenamiento territorial también es una herramienta para planificar y gestionar el proceso de construcción colectiva de las unidades territoriales y del país, que es paulatino, gradual y flexible, físicamente, y encaminado a buscar objetivos para una adecuada organización político-administrativa del país. Así mismo generar estrategias que faciliten el desarrollo a nivel institucional, la identidad cultural y el desarrollo de la región, el cual es entendido como un desarrollo competitivo a nivel económico, justo socialmente, ambientalmente y físicamente sostenible, armónico regionalmente y culturalmente significativo, teniendo en cuenta la diversidad cultural y geográfica física de Colombia (Salazar Suaza & Quijano Abril, 2020)

### **Corine Land Cover**

La base de datos Corine Land Cover Colombia (CLC) se puede utilizar para describir, caracterizar, clasificar y comparar los atributos encontrados en la cobertura terrestre interpretadas con imágenes satelitales de resolución media (Landsat) para producir mapas en donde se observa la cobertura terrestre en distintas escalas. El plan metodológico de Corine Land Cover considera algunas etapas importantes como lo son: recolección y alistamiento de datos; interpretación de coberturas y su posterior análisis; inspección de campo, controles de calidad y creación de las capas temáticas a escala 1:100.000. (Cieslak, Szuniewicz, Pawlewicz, & Czyża, 2017)

### **Degradación del suelo**

La degradación del suelo es uno de los principales problemas ambientales ya que presenta un cambio en los ciclos biogeoquímicos que contribuye directamente al calentamiento global, liberando contaminantes al momento de alterar un balance de energía y del ciclo del carbono. Por otro lado, tiene afectación en cuanto a la presencia de los nutrientes necesarios y agua esencial para la producción agrícola; Según lo anterior, el mal manejo de la agricultura incrementa diversas perturbaciones en cuanto a la biodiversidad de nutrientes alojados en el suelo que permiten la propagación de especies, ecosistemas, genes y paisaje (López Falcón, 2002).

### **Cambio de coberturas y uso de suelo**

Según los análisis de los cambios de coberturas multitemporales que se realizaron en la localidad de Usaqué en un periodo de 33 años, se hizo un levantamiento usando la herramienta o software ArcGIS donde se determinaron a partir de fotografías pancromáticas y ortofoto mosaico se evidenció que se presenta un aumento de coberturas en gran porcentaje boscosas nativas ocupando el 40% del área total, también se presentó una gran pérdida en cuanto a pastos limpios seguido por pastos arbolados evidenciando así que la existencia de conservación, recuperación y usos urbanísticos ha sido positiva (Salcedo Valencia, 2020)

### **Dinámica de la cobertura de suelo**

Los procesos que se evidencian en el uso del suelo hacia sistemas con mayor tecnología especializada generan disminución y pérdida de los hábitats de origen natural en estos territorios, y así mismo, se presentan situaciones desfavorables para que las especies logren tener un hábitat apto para su supervivencia, así mismo, se evidencian patrones que generan

expansión de los sistemas de agricultura y ganadería extensiva las cuales producen un crecimiento poblacional y de origen económico. Hay que tener en cuenta que todos los sistemas de transición se presentan en diferentes formas y en diferentes territorios, y todas las variables se ven reflejadas alrededor del tiempo (Wanumen Mesa, 2018).

### **Influencia del sistema productivo en cuanto a cambios de coberturas del suelo**

Se identificaron cambios en cuanto a la cobertura del suelo mediante métodos de cambios multitemporales en el municipio de Soracá principalmente en los ecosistemas alto andinos relacionados así al incremento de esta cobertura como consecuencia de los cultivos de papa ya que esta es la principal actividad económica del municipio, por otro lado, también se menciona la reducción de las coberturas de potreros y bosques ya que en cada uno de los periodos estudios se evidencia un gran crecimiento de cultivos a pesar que cuenten con afectaciones por factores ya sean económicos, climáticos o rendimiento (Tejada Guzman, 2020).

### **Degradación de suelos y tierras por desertificación**

Estos procesos se evidencian en sistemas naturales dentro de los cuales se debe hacer referencia y énfasis en la pérdida de procesos fundamentales del entorno, como lo son los bienes y los servicios ecosistémicos del suelo, y de manera más clara y específica se debe mencionar que estos mismos generan aumento en los niveles de pobreza, migración de poblaciones y pérdidas en la seguridad alimentaria y del recurso agua; específicamente en Colombia y los estudios de desertificación las que se ven más afectadas son las poblaciones grandes y los principales espacios territoriales que se encuentran en las ciudades (Gómez Bonilla, 2019)

### **Conservación del suelo**

Se presentó un acercamiento en cuanto a la conservación de zonas de protección en Colombia donde principalmente se hizo un análisis de los documentos y normativa de cada una de las corporaciones autónomas regionales en el cual se reconocieron cada una de las características para la gestión y seguimiento de estos. Por otro lado, de cada uno de los distritos o zonas de conservación se rigieron bajo la norma 2811 de 1974 donde se concluyó un fortalecimiento y el diseño de herramientas que consten de una vigilancia y control de cada una para que tenga una correcta gestión en cuanto a sus características (Cárdenas Montenegro, 2021).

### **Sostenibilidad en suelos**

Los procesos de sostenibilidad son de gran importancia en cuanto a las actividades productivas de incidencia de un territorio, se evidencia que en las zonas de cultivos intensivos y de gran impacto se presentan procesos erosivos, descapote de suelos y actividades que al afectar su composición física afectan la sostenibilidad del suelo (Leon Duran & Acevedo Osorio, 2021). Por otro lado, es necesario mencionar que se deben tener en cuenta alternativas sostenibles que ayuden al mejoramiento del terreno y a la producción cercana de la zona, estudiando de la misma manera el funcionamiento, el papel de ese suelo en el entorno y las repercusiones por la actividad humana que se está realizando en esa zona, siendo alternativas la reutilización de biomasa para tener acceso a la mayoría de nutrientes que brinda ese suelo, el buen uso del espacio y el uso favorable del suelo para garantizar el crecimiento de las plantas del área a trabajar, siendo estas alternativas específicas para el mejoramiento del ecosistema (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

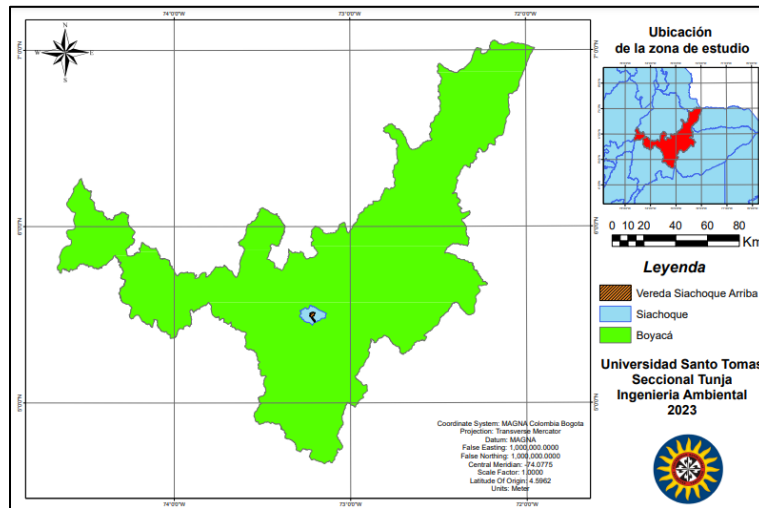
## 8.2. MARCO CONTEXTUAL

### 8.2.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

Siachoque se encuentra en la región central de Colombia, en el departamento de Boyacá, a una altura 3005 m.s.n.m metros sobre el nivel del mar, limitando al noreste con el municipio de Toca, al suroeste con Viracachá y al oeste con Chivata (González Arango & Valencia Tovar, 2018) Principalmente el municipio abarca un área de 126,3 km<sup>2</sup> contando con veredas como Juruvita, Toca, Vitaturga, Firaya, Siachoque Abajo, Cormechoque Abajo, Cormechoque Arriba, San José, Guatichá y en donde se encuentra el área de estudio Siachoque Arriba (González Arango & Valencia Tovar, 2018).

La vereda Siachoque arriba cuenta con un área de 941 hectáreas la cual principalmente cuenta con un uso actual de suelo de paramo y agrícola, teniendo como actividad principal la agricultura tradicional y de transición (González Arango & Valencia Tovar, 2018).

*Ilustración 1. Ubicación del área de estudio*



Fuente: Autor(es)

### 8.2.2 DEMOGRAFIA DE SIACHOQUE

El municipio de Siachoque según el DANE y las proyecciones cuenta para el año de 2019 8972 habitantes, también se menciona que este municipio cuenta con un 0.70% de la población del departamento. Por otro lado, también cabe mencionar que la densidad poblacional de Siachoque es de 53,72 ya que la población predomina en su mayoría en el área rural. (Soza Cruz, 2019).

### 8.2.3 ACTIVIDADES SOCIOECONOMICAS

#### **SECTOR PRIMARIO**

La agricultura y la minería son las principales actividades económicas en el municipio de Siachoque, los productos que más desatan es la papa, el trigo, la cebada, la avena, entre otras. En cuanto a su actividad de minería la explotación que destaca en su mayor porcentaje es la del yeso, asfalto y el carbón mineral. Por otro lado, adicional como otra actividad socioeconómica cuenta con las actividades ecoturísticas que se centran en el ciclo montañismo, camping y pesca deportiva (Soza Cruz, 2019).

#### **SECTOR SECUNDARIO**

Siachoque cuenta con una actividad socioeconómica secundaria que abarca la producción lechera, ya que esta establece un porcentaje alto en cuanto al desarrollo de la agroindustria como actividad principal que es empleada por un gran número de cabezas de familias del

municipio; es por ello que se considera con una rentabilidad anual estimada del 30% (Siachoque, 2001)

#### 8.2.4 GEOLOGÍA

Este municipio cuenta en gran porcentaje con una geología de rocas sedimentarias marina ocupando así una extensa área de la cordillera oriental, donde también se encuentran rocas terciarias. Siachoque está constituida por formaciones de areniscas cuarzosas de tonalidades blancas amarillentas o grises claras, con grano en diferente tamaño. (Rodriguez Parra & Solano Silva, 2000)

#### 8.3 MARCO LEGAL

##### **Ley 388 de 1997**

Principalmente la ley se plantea con el fin del ordenamiento territorial abarcando normas que posibiliten promover, garantizar, establecer y armonizar la iniciativa en cuanto a la gestión y organización de los municipios yendo de la mano con políticas nacionales.

Por otra parte, también cuenta con planes de ordenamiento en donde es adoptada la aplicación de la ley presente y se use como instrumento principal en cuanto al desarrollo de este proceso u ordenamiento, uno de los principales enfoques se encuentra la clasificación del suelo y en cómo es el adecuado manejo del territorio de municipios y distritos y como se ven interrelacionados con la expansión urbana (Congreso de Colombia, 1997)

##### **Decreto 2811 de 1974**

Este decreto principalmente tiene un enfoque a la protección ambiental estructurad por el código nacional de los recursos naturales renovables, por otro lado, hace la regulación del comportamiento de las actividades respecto a los recursos naturales renovables y la relación entre conservación y aprovechamiento del ambiente, ya sea individual o colectivamente. Principalmente en este decreto se entiende en cuanto a la contaminación o alteración por actividades antrópica en donde se interfiere la salud y el bienestar de cada una de las personas. En cuanto a influencias internacionales (artículo 10) consta para contar con una solución de problemas ambientales en cuanto a la utilización de recursos naturales renovables compartidos con los demás países (Cárdenas Montenegro, Adriana Lucía, 2021)

##### **Ley 1152 de 2007**

La reforma agraria y el desarrollo rural campesino del sistema nacional se estableció principalmente como un subsidio para la adquisición de tierras y se modifica en gran parte la

reforma agraria del Instituto colombiano dictando también un par de disposiciones más. Además de esto, esta ley promueve el acceso progresivo de cada una de las tierras de los trabajadores para mejorar cada uno de los ingresos teniendo en cuenta la calidad de vida, contando con nueve objetivos que abracan la reforma el apoyo, la coordinación para garantizar el bienestar de cada uno de los campesinos (Congreso de Colombia, 2007)

### **Ley 461 de 1998**

Es aprobada la convención de las naciones unidas para la lucha contra la desertificación en los países donde cuentan con una sequía grave como África (Minambiente, 2021).

### **Ley 1454 de 2011**

Se define el ordenamiento territorial entre la nación teniendo como objetivo expedir normas para la organización administrativa del territorio colombiano. Por otro lado, establece unos rectos principios de ordenamiento con el fin de enmarcar la actividad legislativa en cuanto a normas y disposiciones. También promueve el aumento de la capacidad de planeación, gestión y administración en cuanto a instancias de integración territorial correspondiente a la asignación de recursos (Congreso de Colombia, 2011)

### **Ley 1469 de 2011**

Esta implementa estrategias para incrementar la disponibilidad de suelo utilizable y establecer normas tendientes a una mejora global, lo que facilita la ejecución de operaciones urbanas con el fin de promover el desarrollo territorial sostenible y la integración de la gestión del riesgo. (Congreso de Colombia , 2012).

### **Ley 99 de 1993**

Principalmente se creó el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, así como el SINA (sistema nacional ambiental) encargados de la gestión y conservación del medio ambiente y de los recursos renovables, reglamentada así por el decreto nacional 2891, decreto 4688 y el decreto 1729 (Minambiente, 1993).

### **Ley 1294 de 2021**

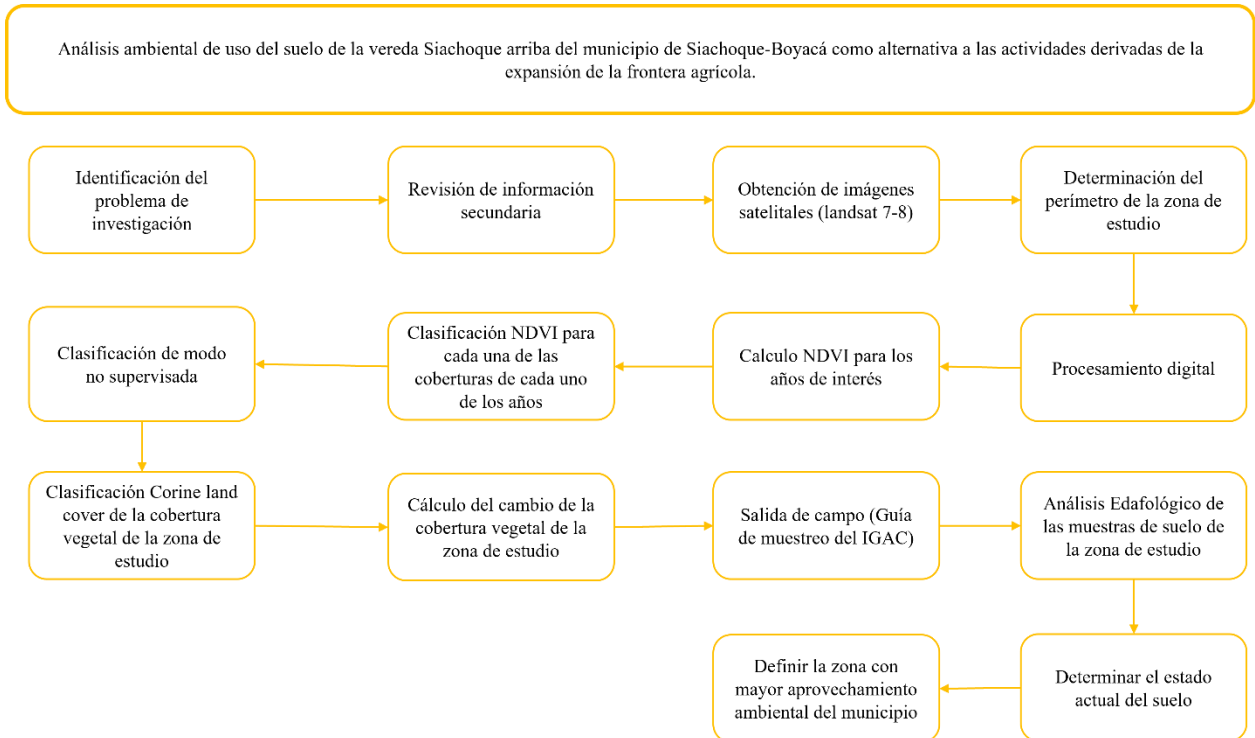
Establece los ecosistemas de paramo como estratégicos en donde también se dictan disposiciones integrales para los páramos en donde se tenga en cuenta unos usos sostenibles, una preservación y restauración de conocimiento. Adicional a esto, en esta ley se comprenden los páramos como territorios en donde se tenga una protección especial ya que se alojan en este componentes biológicos, geológicos y geográficos (Congreso de Colombia, 2018)

## 9. METODOLOGIA

### SISTEMATIZACION DE LAS ETAPAS METODOLOGICAS

Se realizó la sistematización de la metodología teniendo en cuenta cada una de las etapas para lograr los resultados esperados de la investigación.

*Ilustración 2. Sistematización metodológica*



Fuente: Autor(es)

#### **Etapa 1. Identificación del problema**

En la etapa 1 se elaboró la identificación y análisis del problema de la zona de estudio teniendo en cuenta características sociales, económicas y ambientales para así tener un mejor aprovechamiento y cuidado al momento de contar con una expansión de la frontera agrícola presente en el municipio de Siachoque-Boyacá.

#### **Etapa 2. Revisión de información secundaria**

Se realizó una búsqueda detallada en donde se logró hacer una evaluación de la zona de estudio para así hacer un análisis de resultados anteriores con características similares al tema de investigación. Por otro lado, se determinó el perímetro de la zona específica donde se

desarrollará el estudio multitemporal mediante las imágenes landsat 7 y 8 haciendo uso de software ArcGIS.

### **Etapa 3. Análisis multitemporal**

Teniendo en cuenta la zona en donde se hizo el estudio se procedió a descargar las imágenes satelitales Landsat, las cuales son generadas por sensores ubicados en satélites que son capaces de captar el espectro electromagnético que es generado por el sol; la radiación recorre la tierra y se captan las longitudes de la onda para así tener las imágenes (Palacio Sánchez, y otros, 2018). Por medio de estas se va a determinando las características del terreno desde distintas perspectivas y así encontrar los aspectos propios del suelo de la zona; se utilizó la combinación de bandas para encontrar índices estudiados como lo son la clasificación de verdor, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el uso actual y el potencial del suelo, así como la vigilancia de bosques por medio de este proceso.

Se procedió a desarrollar un análisis de las imágenes satelitales encontradas, a través de sistemas de mapas geográficos donde se utilizaron herramientas como lo son ARCGIS y QGIS, las cuales permiten el procesamiento de estas imágenes. Por otro lado, cabe mencionar que al hacer uso de este recurso se generan nuevas alternativas de análisis de las mismas, las cuales al ser estudiadas y complementadas con la teoría respecto a estos temas permitieron encontrar los resultados esperados. Así mismo el análisis de estas imágenes y su procesamiento arrojaron mapas que evidenciaron de manera más clara y de mejor entendimiento los datos obtenidos, los cuales se ven reflejados en este tipo de producto.

Se usaron los estudios multitemporales, los cuales son conocidos como el análisis comparativo de algunas series de imágenes en diferentes espacios temporales, ya que presenta gran efectividad para la aplicación y análisis de los recursos naturales, siendo sensibles a cambios en los usos y la determinación de las coberturas que están presentando intervención humana en algún espacio del municipio de Siachoque específicamente (Correa Valencia, 2018). En este caso los estudios multitemporales permitieron encontrar diversas formas en el cambio del uso del suelo y de las coberturas que se encuentran presentes en la zona, en la mayoría de los casos las imágenes satelitales fueron comparadas para determinar cómo al pasar de los años estos procesos antrópicos están afectando las coberturas y la economía está siendo generadora de la ampliación de la frontera agrícola.

#### **Etapa 4. Análisis Edafológico**

Según los estudios presentes y encontrados en la guía de muestreo del IGAC (IGAC, 2017) se procedió a determinar las características con las que debe contar el suelo para su posterior análisis, en este caso fue fundamental para la correcta interpretación de los resultados obtenidos en los análisis de campo físico químicos (ver Ilustración 2), los cuales están regidos por parámetros y condiciones topográficas, el tipo de vegetación presente, el manejo de la zona, etc. Por medio del análisis edafológico se procedió a determinar el uso y la calidad ambiental agrícola ya que es un estudio del suelo que se desarrolla con el fin de encontrar soluciones para tener una mejor producción sin afectar a las características del suelo de la zona (Cotler, 2003). En este caso se usaron estudios y análisis de laboratorio que permitieron determinar las características principales del suelo y la forma en la que se puede llevar a su mayor potencial sin que interfiera o que causa impactos directos al mismo.

Al momento de tener el análisis de las imágenes en donde se evidencia el cambio de coberturas del suelo también es necesario contar con datos específicos para que se generen unas nuevas alternativas en el cuidado de la zona al momento de minimizar los impactos generados con las actividades agrónomas del municipio.

*Ilustración 3. Salida en campo-Análisis edafológico*



Fuente: Autor(es)

## 10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### **IDENTIFICACION DEL CAMBIO DE LAS COBERTURA DEL SUELO EN LA VEREDA SIACHOQUE ARRIBA.**

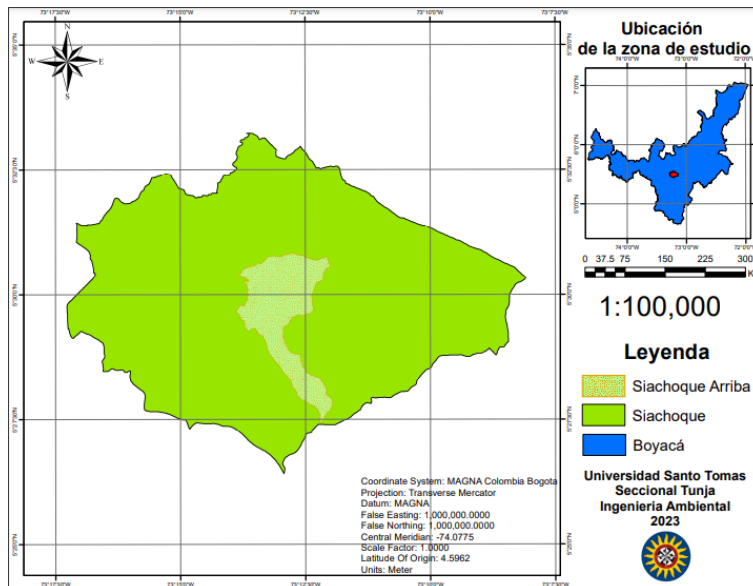
Para el desarrollo de la investigación, se realizó la descarga de las fotografías satelitales, por medio de la herramienta informática Earth Explorer – USGS, se procedió a la selección de los años, los cuales fueron 2010, 2016, y 2020, en estos se realizó el estudio y el análisis de las coberturas que se encuentra presentes en la zona de estudio, en este caso en el municipio de Siachoque Boyacá.

En este caso para cada año escogido se realizaron los mapas y las tablas en donde toda la información se ve reflejada de forma resumida y sencilla y por medio de las mismas se aprecia el cambio de las coberturas dentro de la zona de estudio.

### **DELIMITACION DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Lo primero que se realizó para el inicio de la investigación fue la delimitación de la zona, en este caso usamos la vereda “Siachoque Arriba” del municipio de Siachoque Boyacá, y parte de esta zona debido a que allí fue donde se realizó la visita de campo para la toma de muestras y la delimitación de las tierras en este cultivo que esta intervenido antropicamente y además de esto muy cerca de la zona de paramo. Para la realización de este proceso se hizo necesario recolectar información como DEM’s y Shapes los cuales fueron descargados de las páginas Earth Explorer y la página del IGAC y por medio de estas se buscó la facilidad para realizar los procesos consiguientes a este.

*Ilustración 4. Delimitación y ubicación de la zona de estudio*



Fuente: Autor(es)

## **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL**

Por medio de los análisis multitemporales se tienen en cuenta dos o más imágenes satelitales que después de estudiadas se procede a encontrar los resultados que en estas se ven reflejadas, en este caso usamos esta información para determinar como el territorio se encuentra en constante cambio y como sus problemáticas con el pasar del tiempo se ven reflejadas con una mayor intensidad y así mismo buscar alternativas para alguna posible solución que se pueda hallar en la misma.

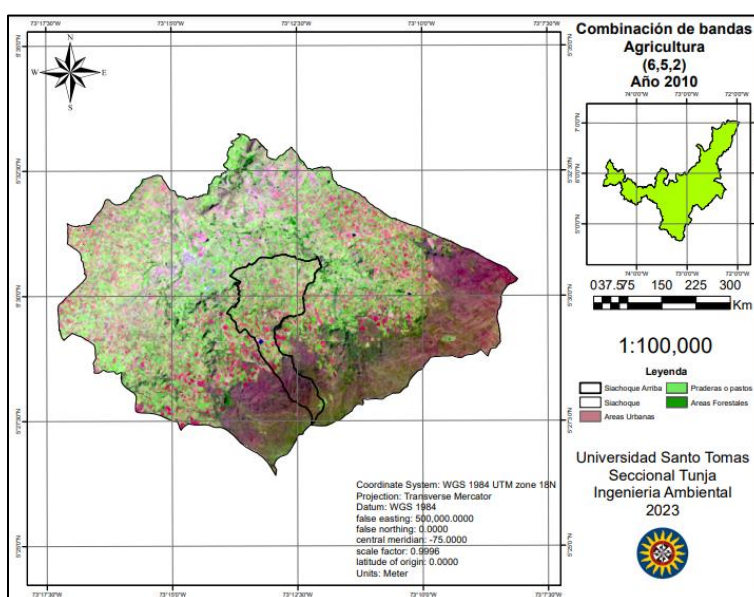
En el caso de este estudio se tomaron espacios de tiempo medianamente equidistantes y los cuales según los análisis del UPRA (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria) demuestran como son los cambios con el pasar del tiempo y como de manera precisa los cambios en el análisis de la vegetación y de la cobertura se ven reflejados en los años a estudiar, en este caso se tomaron 3 años, los cuales fueron 2010, 2016 y 2020.

Cabe resaltar que para el estudio de los datos se realizaron diferentes procesos para el prelistamiento de las imágenes, en este caso se usaron las bandas descargadas por medio de las imágenes satelitales de USGS (Earth Explorer) para hacer una combinación de bandas y así encontrar su color verdadero al momento de los análisis, así mismo, se puede hacer uso de estas combinaciones de bandas para hallar los elementos territoriales

representativos de cada una de la zona que se está estudiando, en este caso funcionó la combinación de bandas 6,5,2 la cual muestra los estudios agrarios y la combinación 5,6,4 la cual arroja los usos del suelo que se encuentran en esta zona en específico.

Para el año 2010, se evidencia un terreno con poca intervención antrópica por medio de la combinación de las bandas, en este caso es de mencionar que cada una de estas bandas arrojan resultados de primera mano y que se logra evidenciar de manera clara cada una de las formas en las que el terreno está en constante cambio; el año 2010 es uno de los años en donde la explotación agrícola y los cultivos permanentes o transitorios se empiezan a ver con mayor frecuencia.

*Ilustración 5. Combinación de bandas de agricultura año 2010*

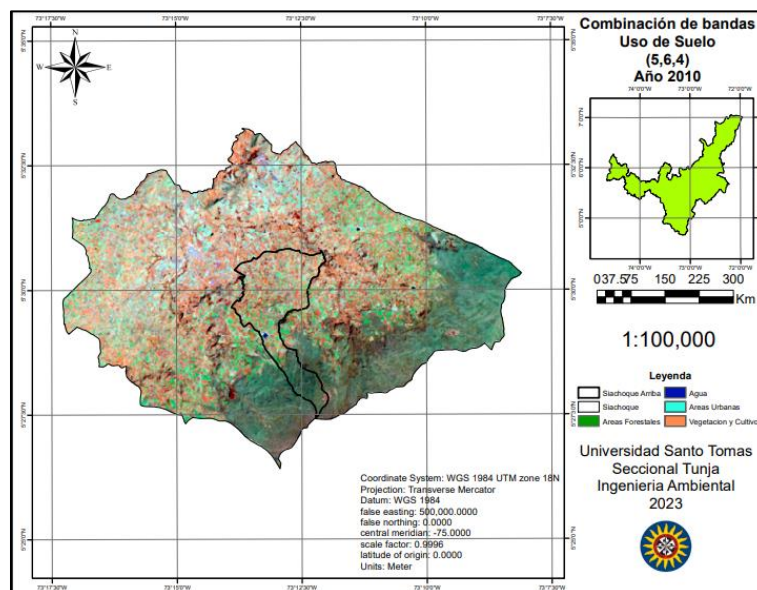


Fuente: Autor (es)

En este caso encontramos que los colores verdes en todas sus tonalidades dependiendo de su opacidad representan la vegetación y su hidratación, para la zona de estudio encontramos cualquier tipo de predio dentro del cual se encuentre cultivos, bien sea permanente o transitorio, pastos o bosques que estén en este territorio, los colores magenta o marrón indica algún grado de deshidratación de la flora, como pueden ser territorios que ya tuvieron intervención y que su ciclo de vida ya llegó a su fin debido a la pérdida de su composición y de su potencial adecuado de la zona, también cabe resaltar que las zonas así pueden también representarse en esa totalidad siendo propensas a

cualquier incendio. Para el año 2010 se presentan extensas zonas de vegetación hidratada las cuales ayudan a determinar todos los posibles usos que tiene la misma y que la agricultura juega un papel importante en la zona de estudio.

*Ilustración 6. Combinación de bandas de uso de suelo año 2010*

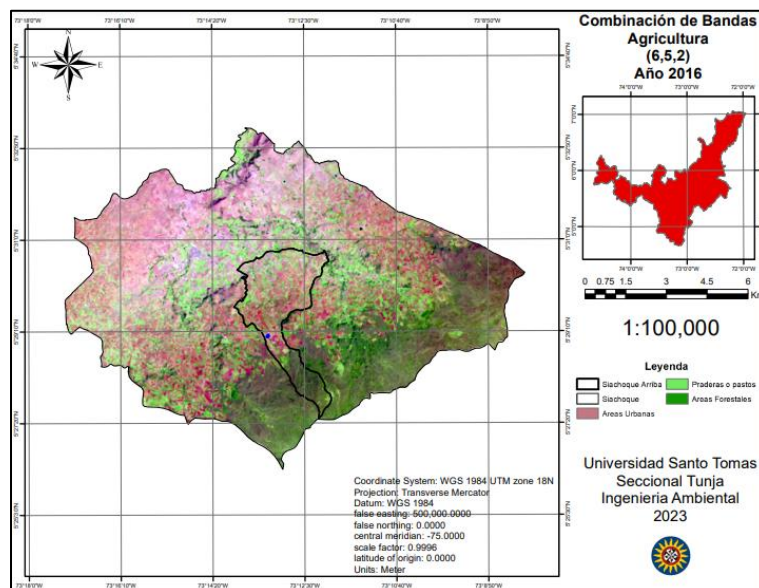


Fuente: Autor (es)

La capacidad y el uso del suelo son importantes debido a su facilidad de indicar lo que está sucediendo en el suelo y así mismo cuál es su finalidad, es fácil de identificar debido a que demuestra los tipos de cobertura que el hombre viene desarrollando según sus necesidades (Rico Calvano & Rico Fontalvo, 2014). Para el estudio se logra evidenciar que los tipos de suelo predominantes son suelos con capacidad agrícola, debido a su tonalidad verde o celeste, son pastos y cultivos que en este año presentan pocas alteraciones antrópicas y eso los hace tener mayor potencial de uso y de aprovechamiento. Por el contrario, las tonalidades naranjas o rojas demuestran vegetación que está en proceso de crecimiento y usando nutrientes del suelo para poder generar sus procesos naturales.

Para el año 2016, se presentaron cambios en las coberturas del suelo, como es de resaltar a través de los años, en este caso cada uno de los procesos realizados para esta zona son cambios que con el pasar del tiempo se evidencian de forma específica en cada uno de los mapas que se realizaron para cada año.

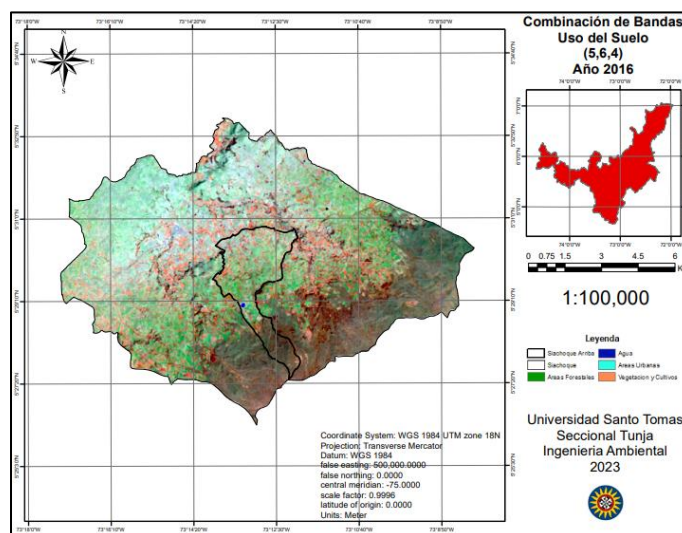
Ilustración 7. Combinación de bandas de agricultura año 2016



Fuente: Autor (es)

Con el pasar de los años es evidente el cambio en las coberturas, en este caso se ve una expansión demasiado significativa de las tonalidades magentas y moradas, las cuales indican una gran intervención de la zona por medio de actividades de origen humano, así mismo se evidencia la disminución de las zonas de vegetación, además de esto se logra evidenciar que los colores verdes que se presentan están opacos lo cual indica que los terrenos se encuentran en procesos de deshidratación.

Ilustración 8. Combinación de bandas de uso de suelo año 2016

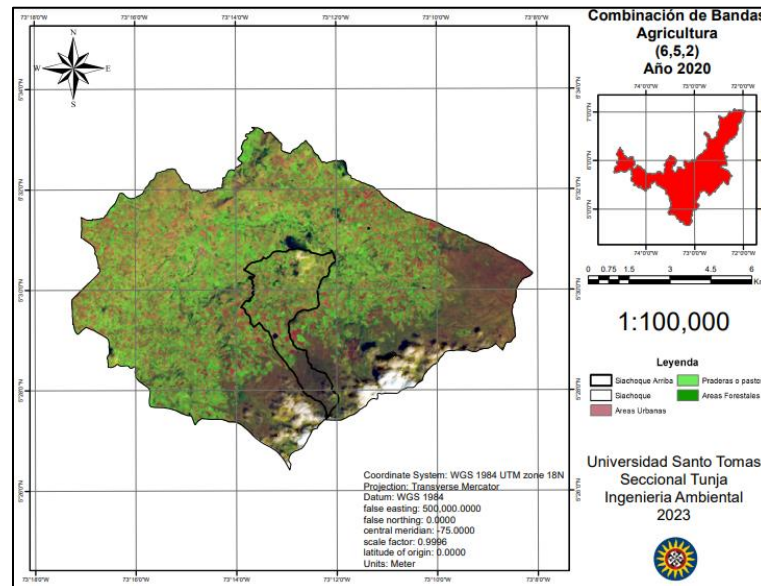


Fuente: Autor (es)

Con el pasar del tiempo se logra evidenciar que la agricultura está siendo una fuente de afectación demasiado significativa para la zona, en este caso se ve el aumento de la frontera agrícola tomando zonas de paramo y subpáramo las cuales están en la jurisdicción de la vereda Siachoque arriba. Entre el 2010 y el 2016 se presentan cambios relevantes cuando se realiza el proceso de la combinación de las bandas en la que cambian los colores según el rango en el que se encuentren.

Para el año 2020 ya se conoce la problemática y por medio de la misma se busca la opción de alternativas que logren evidenciar como la frontera agrícola cada vez se está expandiendo más hacia la zona de paramo.

*Ilustración 9. Combinación de bandas de agricultura año 2020*

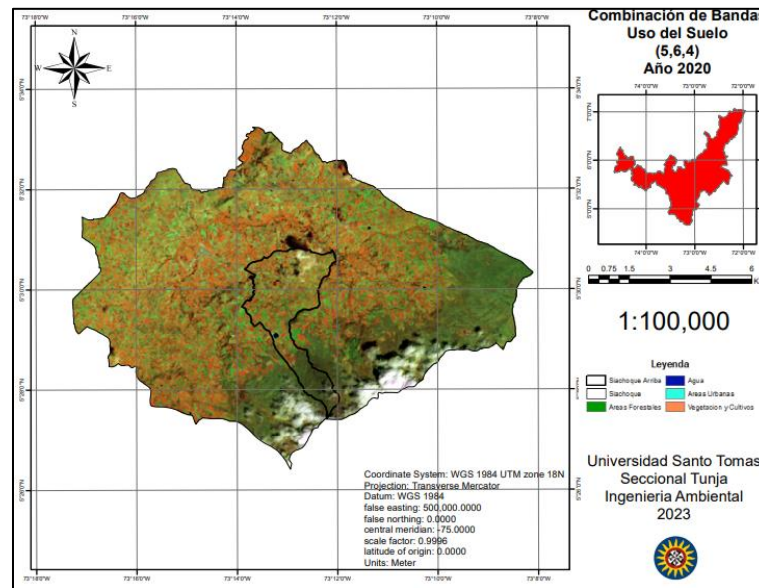


Fuente: Autor (es)

En este caso se logra evidenciar que la zona está completamente intervenida por fuentes agrícolas, siendo esta la principal afectación de la zona, es evidente que la frontera agrícola ya se ve completamente perdida y que la zona de paramo ya está siendo afectada por la disminución de su territorio en el espacio.

Siachoque para este año presenta grandes problemáticas que se evidencian en los mapas realizados, en este caso se evidencia de la misma forma que las tierras agrícolas están tomando su territorio y generando consecuencias irreparables dentro de la zona, debido a su pérdida de propiedades.

Ilustración 10. Combinación de bandas de uso de suelo año 2020



Fuente: Autor (es)

Para el año 2020 se logra evidenciar los cambios esperados, en este caso la zona artificial se encuentra un poco más marcada, la zona agrícola se ve en constante crecimiento y es evidente que es una de las principales y más importantes fuentes de ingreso de los habitantes de la zona y de sus zonas aledañas.

Al momento de hacer una comparación de imágenes, no se procede a realizar el análisis por medio de estadísticas debido a que las bandas arrojan metadatos que no generan valores numéricos establecidos para demostrar de alguna manera el cambio, pero cabe resaltar que los años mencionados y su cambio en la estructura física de la imagen respecto a los colores es una fuente de información verídica para encontrar en este caso las diferencias entre cada año y así mismo dar una impresión de lo que está sucediendo a través de los años que se están estudiando.

### **CÁLCULO DEL INDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA**

Luego de considerar los datos encontrados en la combinación de bandas se procede a realizar el índice de vegetación de diferencia normalizada, dentro del cual se pudo encontrar una herramienta ambiental, por medio de la cual se puede hacer reconocimiento de la vegetación que se encuentra en el área de estudio y el análisis de la ecuación de

bandas ( $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ ) o también ( $NDVI = (Banda 5 - Banda 4) / (Banda 5 + Banda 4)$ ) las cuales van a arrojar datos cualitativos sobre la posible degradación de la vegetación en el área de estudio y como la actividad antrópica va cambiando a través de los años.

Los resultados obtenidos son de manera sencilla expresados y valorados entre - 1 y 1, y su análisis lógico arroja que los datos encontrados en los rangos positivos son de zonas de vegetación, y los valores en este caso encontrados en el rango negativo pueden ser diferentes y que tengan presente fuentes naturales o zonas de suelo desnudo.

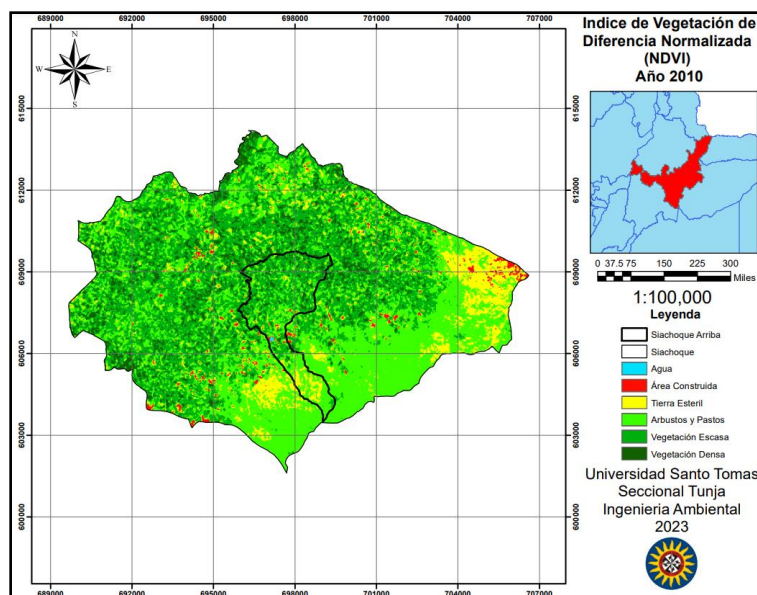
*Tabla 1. Clasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada*

CLASE	NDVI	COBERTURA DE TIERRA	DESCRIPCIÓN
1	- 0,28 a 0,015	Agua	Ríos, quebradas, lagunas y nubes
2	0,015 a 0,14	Área construida	Asentamientos de vivienda, vías o suelo sin cobertura vegetal
3	0,14 a 0,18	Tierra estéril	Tierras degradadas o con afectaciones significativas
4	0,18 a 0,27	Arbustos y Pastos	Tierras cultivadas, herbazales, arbustos, pastizales, terreno arado para cultivo
5	0,27 a 0,36	Vegetación escasa	Vegetación pobre, con pocas coberturas
6	0,36 a 0,74	Vegetación densa	Plantas densas en crecimiento, bosques húmedos

Fuente: (USGS, 2021)

A continuación, se evidencia por medio de mapas, los valores calculados por medio de las herramientas informáticas, en este caso en la zona específica de estudio como los es la vereda Siachoque Arriba.

Ilustración 11. Índice de vegetación de diferencia normalizada año 2010



Fuente: Autor (es)

Cabe mencionar que para el análisis de estos datos se utilizaron valores de referencia establecidos los cuales arrojan una nomenclatura dentro de la cual se realizó la clasificación de la zona de estudio.

Tabla 2. Clasificación del índice de vegetación de diferencias normalizada

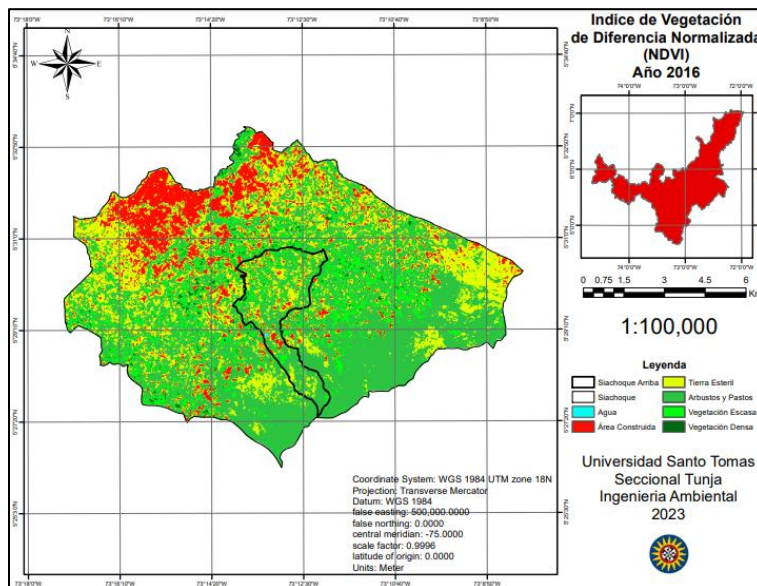
CLASIFICACIÓN	RANGO NDVI
Agua	-0.28 a 0.015
Área construida	0.015 a 0.14
Tierra estéril	0.14 a 0.18
Arbustos y pastos	0.18 a 0.27
Vegetación escasa	0.27 a 0.36
Vegetación densa	0.36 a 0.74

Fuente: (USGS, 2021)

En este caso los valores del NDVI se ven reflejados de manera clara en la ilustración anteriormente mostrada, en este caso para el año 2010 es importante mencionar que cada uno de los datos se extrajeron de la imagen descargada, encontrando así que la mayoría del

territorio está con arbustos y pastos y con vegetación densa, el área construida es en este caso muy pequeña según la imagen encontrada para dicho año.

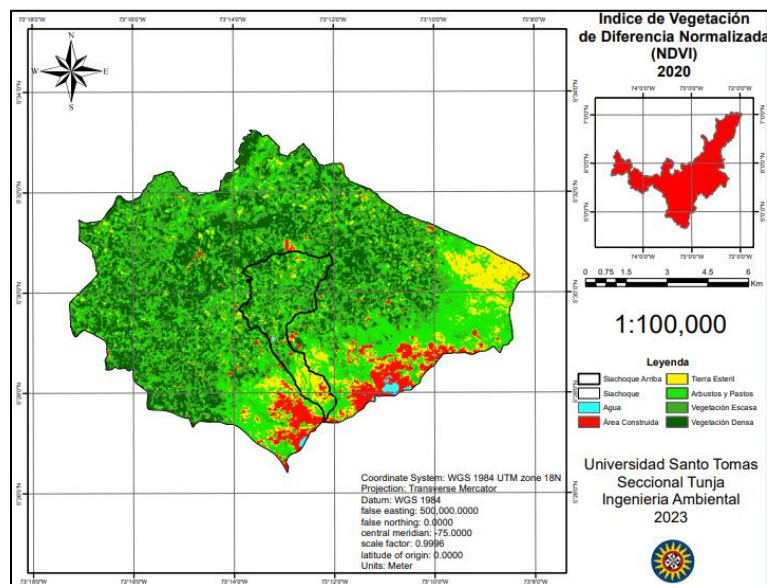
*Ilustración 12. Índice de vegetación de diferencia normalizada año 2016*



Fuente: Autor (es)

Para el caso del año 2016 se pudo evidenciar notables diferencias en cuanto a los valores encontrados, en este caso el área construida está demasiado avanzada según la comparación del año anterior, así mismo se ve la degradación de la tierra, debido a que se encontraban grandes cantidades de arbustos y pastos y de vegetación densa y en este caso no se evidencian en gran cantidad, lo cual nos llevó a deducir que el cambio de la cobertura es por actividad antrópica que se está llevando a cabo a través de los años con más intensidad.

Ilustración 13. Índice de vegetación de diferencia normalizada año 2020



Fuente: Autor (es)

Para el análisis realizado para el año 2020 se enfocó más que todo en el análisis de la vegetación, encontrando así que para este año el índice que más es predominante es la tierra estéril y la vegetación escasa y densa, lo cual nos indica que los procesos antrópicos se están llevando ya a zonas que limitan con el páramo, generando que la frontera agrícola se vea en expansión, lo cual genera afectaciones al ecosistema.

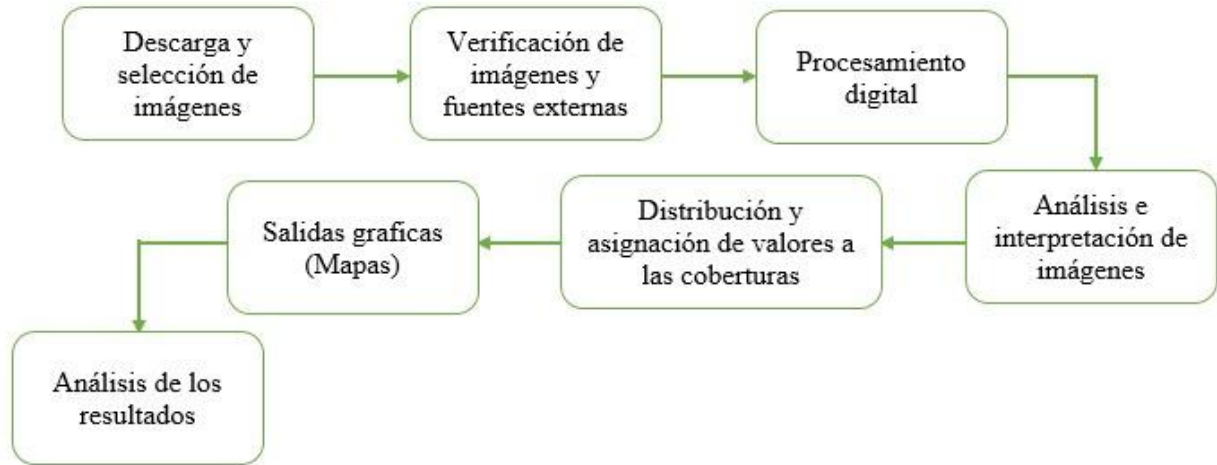
En este caso los datos encontrados son de manera específica y con mayor predominancia en los terrenos con vegetación escasa, lo cual nos indica un aumento en la demanda de los terrenos agrícolas y actividades dentro de las cuales el suelo no se encuentra apto para este tipo de función.

### **CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL POR MEDIO DE LA METODOLOGIA CORINE LAND COVER (CLC)**

La metodología Corine Land Cover (CLC) está basada en el análisis, uso y evaluación de las coberturas terrestres, estas usando imágenes satelitales para su procesamiento (IDEAM, 2007).

Para la clasificación de la cobertura vegetal por medio de la metodología corine Land cover (CLC) se procedió a llevar a cabo el seguimiento del siguiente diagrama:

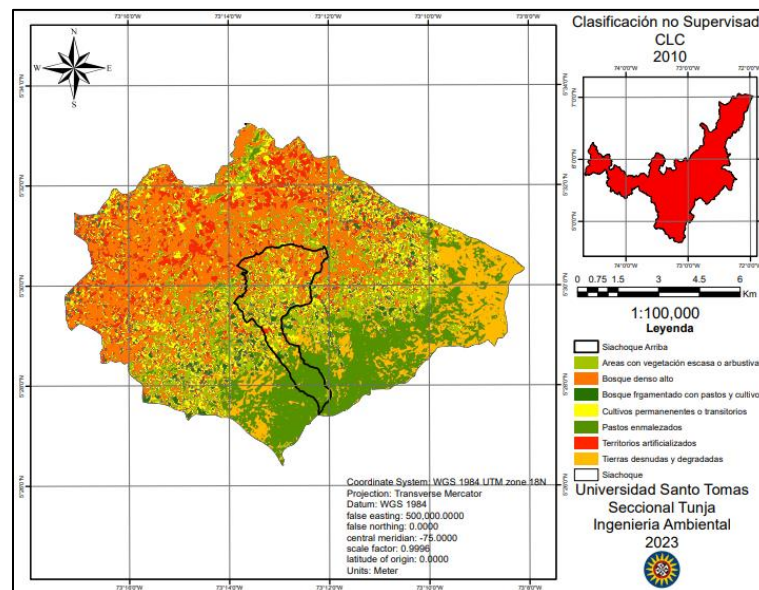
Ilustración 14. Proceso metodológico Corine Land Cover



Fuente: Autor (es)

Para cada año a trabajar se realizó el análisis por medio de esta metodología, encontrando así los siguientes resultados:

Ilustración 15. Clasificación no supervisada año 2010



Fuente: Autor (es)

Para el año 2010 se evidencian territorios poco intervenidos, pero también se evidencia que se presentan grandes extensiones de tierras desnudas y degradadas, los bosques densos se

ven conservados y con gran presencia en el territorio, los bosques fragmentados no son muchos.

*Tabla 3. Clasificación no supervisada 2010*

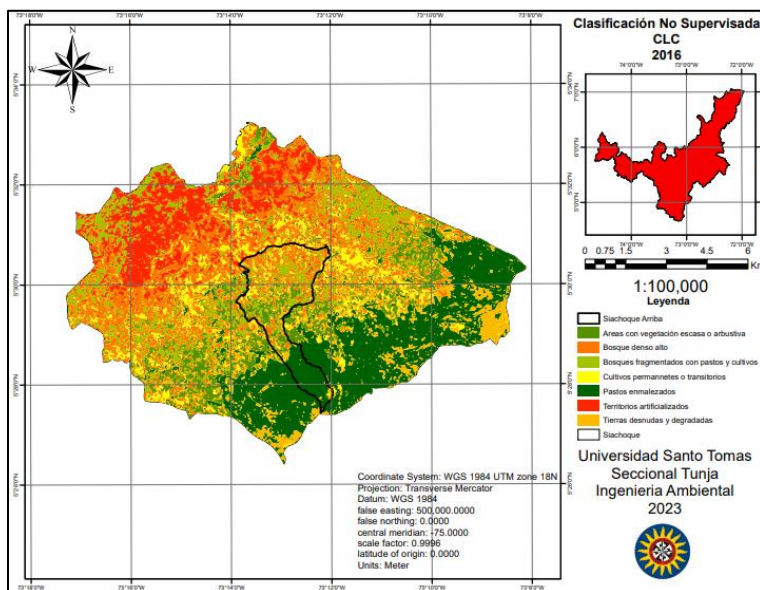
Uso Corine Land Cover (CLC)	Dimensión en Hectáreas (Ha)	% Del Territorio
Pastos enmalezados	167.07	17.7
Tierras desnudas y degradadas	41.19	4.4
Áreas con vegetación escasa o arbustiva	181.46	19.3
Cultivos permanentes o transitorios	207.82	22.1
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	72.65	7.7
Bosque alto denso	235.43	25.
Territorios artificializados	35.71	3.8

Fuente: Autor (es)

Por medio de las salidas graficas de este año, se pudo determinar que existen diferentes territorios dentro de los cuales su extensión es significativa para el territorio, y es así mismo como se pueden evidenciar de una manera más fácil los cambios presentes en la zona de estudio, en este caso se evidencio que los bosques, los pastos y las áreas con vegetación presentan una mayor cantidad de área en la zona de estudio, debido a que estos espacios para este momento han sido poco intervenidos, de todos modos, también vale la pena mencionar que los cultivos permanentes o transitorios para esta zona ya se encuentran en un porcentaje alto para el determinado en esta zona.

En este caso se muestran los datos estadísticos en cuanto al área que ocupa en este territorio cada una de las zonas que se trabajaron.

*Ilustración 16. Clasificación no supervisada año 2016*



Fuente: Autor (es)

Para el año 2016, se evidencian más territorios intervenidos, en este caso el aumento en esta zona es significativo y de gran envergadura, los bosques densos ya se empiezan a ver desplazados por los territorios artificializados, debido a su creciente construcción en este caso de viviendas u otro tipo de actividades que se realizan.

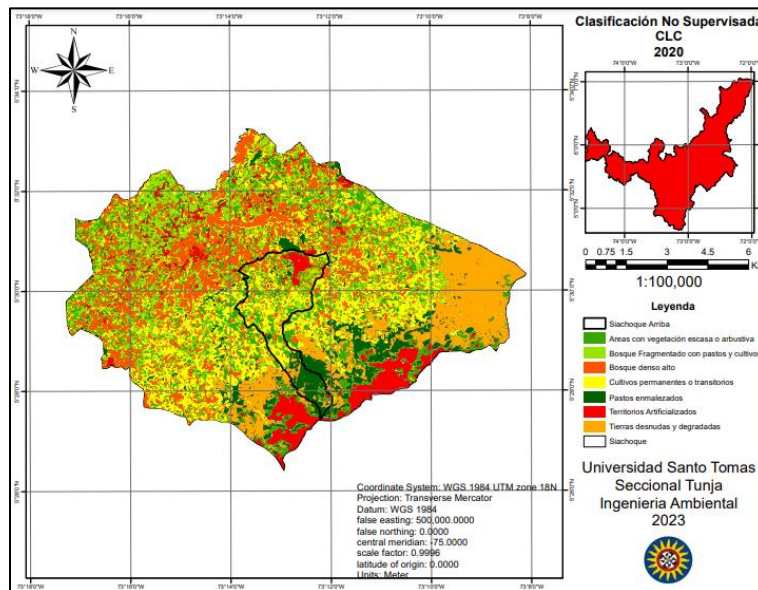
*Tabla 4. Clasificación no supervisada 2016*

Uso Corine Land Cover (CLC)	Dimensión en Hectáreas (Ha)	% Del territorio
Pastos enmalezados	180.1	19.1
Tierras desnudas y degradadas	81.7	8.7
Áreas con vegetación escasa o arbustiva	152.5	16.2
Cultivos permanentes o transitorios	100.1	10.6
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	152.9	16.2
Bosque alto denso	258.8	27.5
Territorios artificializados	15.2	1.6

Fuente: Autor

Para el año 2016, el cual es el año en el que mayor evidencia de cambio se observa respecto a los demás años, se puede determinar cada una de las propiedades del terreno, siendo este mayormente intervenido en las zonas de los bosques y el aumento de las áreas artificializadas, las tierras empiezan a verse afectadas por los procesos y así mismo se van evidenciando más cambios en las coberturas de los suelos. Esto quiere decir que la expansión agrícola se mantuvo de alguna manera en un porcentaje considerable pero la afectación por el crecimiento poblacional es más grande para este año.

*Ilustración 17. Clasificación no supervisada año 2020*



Fuente: Autor (es)

En este caso los territorios artificializados se ven con grande capacidad de aumento, se presentan más cultivos permanentes o transitorios, ya que este es un municipio de gran capacidad agrícola.

*Tabla 5. Clasificación no supervisada 2020*

Uso Corine Land Cover (CLC)	Dimensión en Hectáreas (Ha)	% Del territorio
Pastos enmalezados	155.11	16.5
Tierras desnudas y degradadas	82.72	8.8

Áreas con vegetación escasa o arbustiva	120.72	12.8
Cultivos permanentes o transitorios	249.32	26.5
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	163.75	17.4
Bosque alto denso	89.44	9.5
Territorios artificializados	79.72	8.5

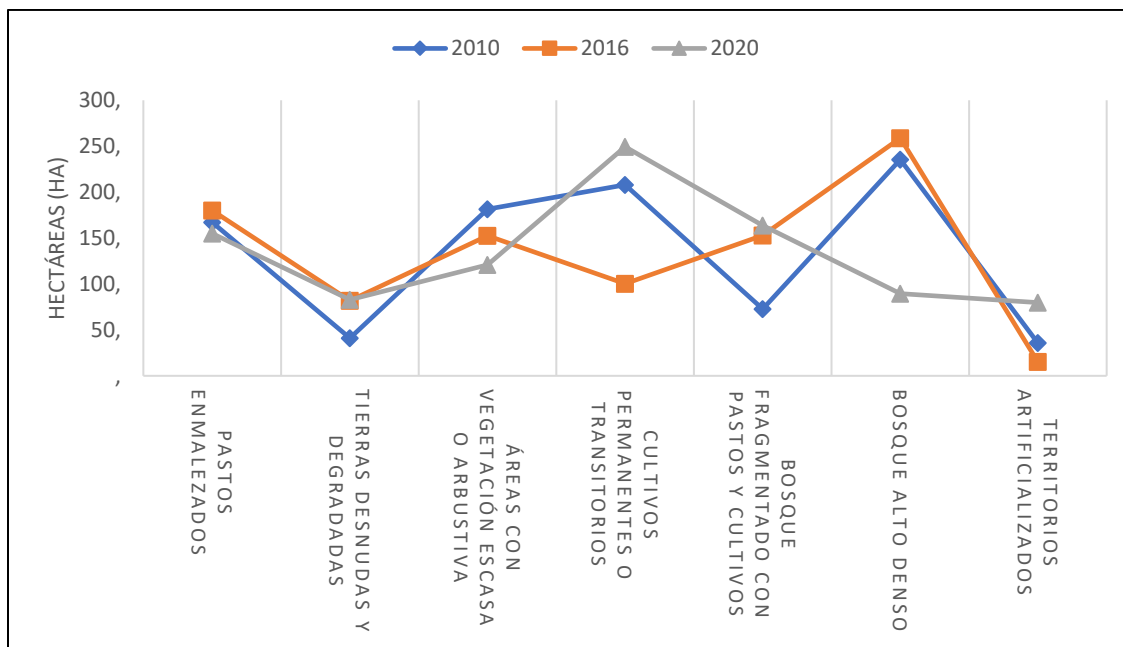
Fuente: Autor (es)

Para el año 2020 no se evidenciaron cambios significativos en las zonas a estudiar, pero se evidencia gran afectación al medio por los cultivos transitorios y permanentes, esto también se muestra en los mapas por medio de los cuales se evidencia que los cultivos están tomando una gran ventaja generando así afectaciones y la actividad antrópica muestra grandes cambios en las coberturas y en la ampliación de la frontera agrícola hacia la zona de paramo, la cual tiene que ser protegida ante cualquier intervención.

#### ANALISIS MULTITEMPORAL

A través de los años de estudio se evidenciaron diferentes cambios en la forma estructural del suelo y de la zona, en este caso encontró que el mayor incremento se ver al momento de hectáreas intervenidas esta de manera clara en el siguiente grafico

*Gráfica 1. Diferencia de uso corine Land cover de la vereda Siachoque arriba*



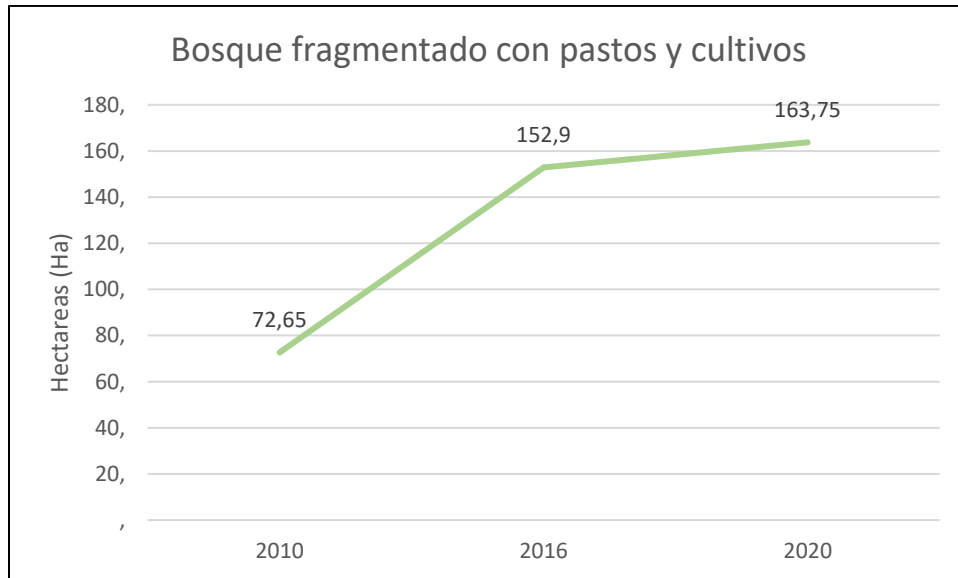
Fuente: Autor (es)

Con el pasar de los años se evidencian diferentes procesos que cambian según su intensidad y el impacto que este mismo genera, en este caso la metodología Corine Land Cover por medio de la clasificación no supervisada nos arroja diferentes valores cualitativos y cuantitativos, en la zona y se hace necesario mencionar que hay varias fuentes de afectación que generan impacto directo a la zona.

Para el caso de los análisis de coberturas se evidencian 7 diferentes tipos de clasificación encontradas en la zona del municipio de Siachoque, mas exactamente en la vereda Siachoque Arriba dentro de la cual se realizó nuestro estudio, en este caso se presentan las categorías de Pastos enmalezados, Tierras desnudas o degradadas, Áreas con vegetación escasa o arbustiva, Cultivos permanentes o transitorios, Bosque fragmentado con pastos y cultivos, Bosque alto denso y los Territorios artificializados.

Cada uno de estos items encontrados nos arroja distintos valores anteriormente vistos, y por medio de esto se realiza el análisis de todos estos datos para lograr una estadística clara de las afectaciones que se están viendo.

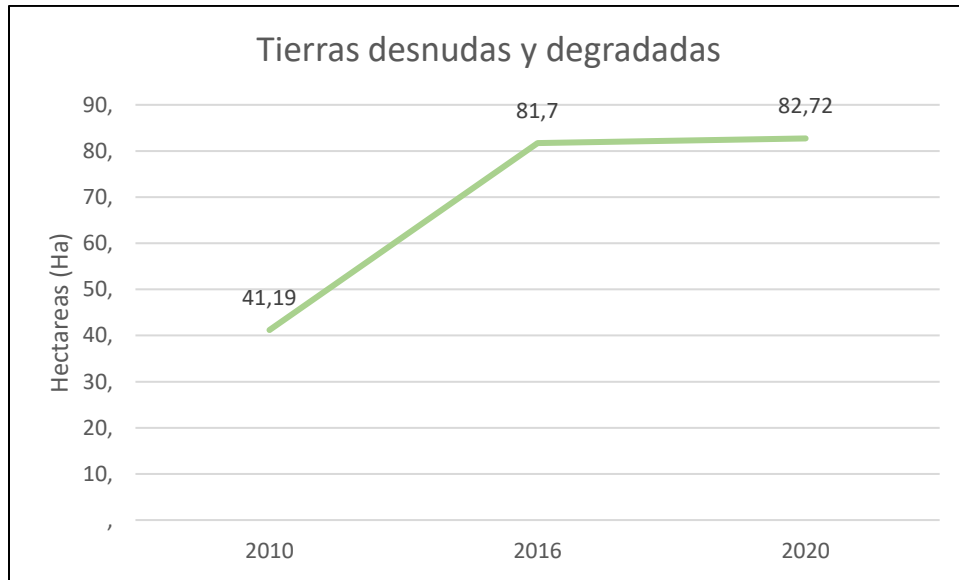
*Gráfica 2. Análisis de resultados de Bosque fragmentado con pastos y cultivos*



Fuente: Autor (es)

El Bosque fragmentado con pastos y cultivos es una de las principales coberturas que presenta alteraciones con el pasar del tiempo, esta cobertura es caracterizada por cultivos de pequeña y mediana escala, los cuales al ser procesos intervenidos antropicamente generan afectaciones en el medio, esto quiere decir que con el pasar de los años estas actividades se están viendo en aumento, debido a la demanda de productos del agro colombiano, pero así mismo generando afectaciones en los terrenos no aptos para estas actividades y generando así la ampliación de la frontera agrícola en el territorio.

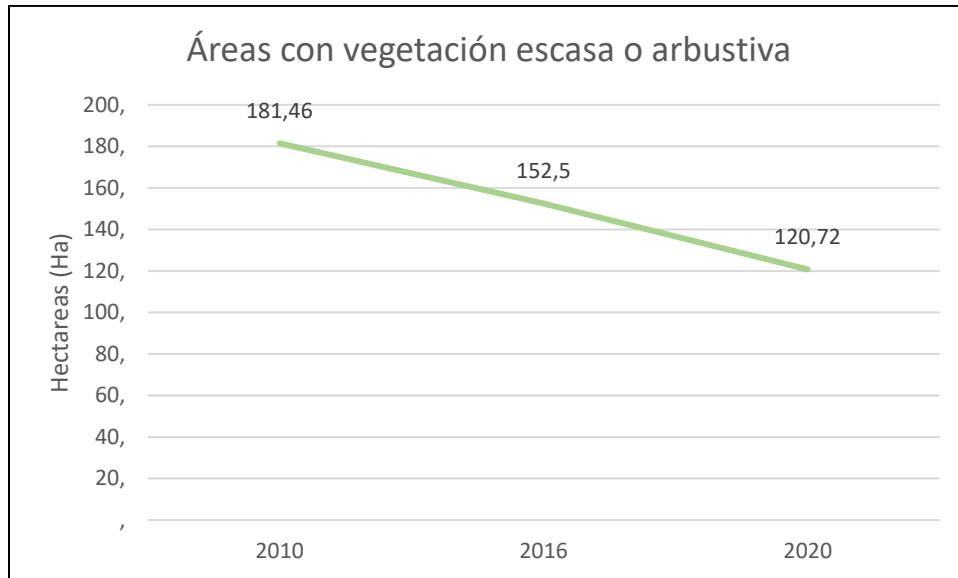
*Gráfica 3. Análisis de resultados de Tierras desnudas y degradadas*



Fuente: Autor (es)

La cobertura de tierras desnudas y degradadas es una de las afectaciones secundarias de los cultivos a pequeña y a mediana escala, debido a que cuando el cultivo cumple con su ciclo de vida se genera el arado y el volteo de la tierra; estas actividades generan que el terreno alcance su límite máximo de capacidad productiva y por lo tanto no se generan nuevas siembras en los terrenos, esta misma afectación genera el abandono de los terrenos sin ningún tipo de compensación para la zona que fue intervenida anteriormente.

*Gráfica 4. Análisis de resultados de Áreas con vegetación escasa o arbustiva*



Fuente: Autor(es)

En el caso de las áreas con vegetación escasa o arbustiva se evidencia una disminución demasiado significativa con el pasar de los años, debido a que la intervención por cultivos aumenta, los terrenos con vegetación van disminuyendo, esto genera afectaciones graves en la química y la dinámica de la zona.

Es necesario resaltar que todos los elementos encontrados van sujetos a los demás, estas afectaciones al medio solo generan problemas de origen natural debido a la pérdida de las capacidades del suelo y a su afectación en las características propias del mismo.

## ANALISIS EDAFOLOGICO DE LA VEREDA SIACHOQUE ARRIBA

Tabla 6. Características fisicoquímicas del suelo de la vereda Siachoque arriba

PROFUNDIDA D	%			TEXTUR A	PH	%MO	%CO
	A	L	Ar				
45 CM	37	32	31	F Ar	5,78	11,00	6,38

Fuente: Autor(es)

**Textura:** El suelo presenta texturas medianamente finas, caracterizadas por poseer una buena capacidad de filtración del agua, y buena retención de la misma, conceptualmente esta se debe aplicar de acuerdo a la demanda de cada uno de los cultivos, los riegos deben ser frecuentes más no abundantes. Texturas adecuadas para el desarrollo de cualquier tipo de cultivo.

**Potencial de Hidrógenos (pH):** el potencial de hidrógenos es una medida determinada en cuanto al grado de acidez o alcalinidad. Principalmente el pH es descrito como una concentración de hidrogeniones en una disolución cuya escala se mide de 1-14, indicando así su grado de acidez o la disponibilidad de la actividad de microorganismos y nutrientes, entre otros (IGAC, 2005).

Tabla 7. Clasificación de grado de acidez

Clasificación	pH
Extremadamente ácido	<4.5
Muy fuertemente ácido	4.6 a 5.0
Fuertemente ácido	5.1 a 5.5
Medianamente ácido	5.6 a 6.0
Ligeramente ácido	6.1 a 6.5
Neutro	6.6 a 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 a 7.8
Medianamente alcalino	7.9 a 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 a 9.0
Muy fuertemente alcalino	>9.0

Fuente: (IGAC, 2005)

En base a la tabla presentada por el IGAC se logra interpretar que los valores encontrados por el perfil productor del suelo de la vereda Siachoque arriba se encuentra en una clasificación moderadamente ácido lo cual indica que es un suelo actualmente sin limitaciones de sales, ni sodio; presenta contenidos bajos de Magnesio, medios de Calcio y altos de Potasio; esta diferencia en los niveles de los elementos ocasiona desbalance de los mismos y dificultad para la absorción por parte de las plantas.

**Porcentaje de materia orgánica (%MO):** La materia orgánica principalmente es un indicador de la fertilidad del suelo gracias a los nutrientes que proporciona cada tipo de suelo. Adicionalmente, presenta unos fuertes beneficios e influencias en cuando a las condiciones biológicas, químicas y físicas del suelo. Por otro lado, la materia orgánica también se evalúa de acuerdo con el porcentaje de carbono orgánico en donde también cuenta con un cambio debido al material parental, el clima, el relieve, la vegetación y el uso del suelo; adicional a esto, estos agentes determinan el ritmo de pérdidas y descomposición de residuos orgánicos frente a ganancias. (Otiniano & Meneses , 2006).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente se puede concluir que los contenidos de materia orgánica son altos, lo que le confiere al suelo mayor capacidad de almacenamiento de agua, mejor aprovechabilidad del fertilizante aplicado debido a la mayor capacidad de intercambio de nutrientes generada, así como también reserva nutricional para los organismos que viven en él.

Tabla 8 Contenidos de carbono orgánico

PISO TERMICO	CONTENIDO DE CARBÓN ORGANICO (%)				
	IDEAL	CONVENIENTE	MODERADO	INCONVENIENTE	MUY INCONVENIENTE
FRÍO	5.3 a 6.5	4.1 a 5.2; 8.0 a 6.6	2.7 a 4.0; 8.1 a 10.0	1.4 a 2.6; >10.0	<1.3
MEDIO	4.2 a 5.3	3.0 a 4.1; 5.4 a 6.5	1.8 a 2.9; 6.5 a 7.6	0.6 a 1.70; >7.6	<0.5
CÁLIDO	>3.0	1.7 a 2.9	0.51 a 1.70	0.2 a 0.5	<0.2

Fuente: (IGAC, 2005)

De acuerdo con los resultados el carbono orgánico presente en la vereda Siachoque arriba y de clasificación según el Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC) presenta un valor de

6,38 indicando una condición ideal biológica ya que presenta condiciones para optar por un uso agronómico.

*Tabla 9. Saturación de bases*

SATURACION DE BASES			
Ca	Mg	K	Na
3,60	0,83	0,70	0,05
3-6	1,5-2,5	0,4-0,6	<0,5

Fuente: Autor(es)

De acuerdo con la saturación de bases mostradas en la Tabla 9 donde se representan los elementos alojados en el suelo de la vereda Siachoque arriba se puede interpretar que el nivel de potasio es el que se encuentra en mayor cantidad debido a que esta zona ha sido intervenida por la aplicación de gran cantidad de fertilizantes, ya que es un área enfocada principalmente a la agricultura; adicionalmente el nivel de calcio da como resultado 3,6 que se puede interpretar como un nivel medio, debió a que la aplicación de cal para la regulación del pH, es algo muy común específicamente para los cultivos de papa adicionando que es de los materiales más económicos que los agricultores usan, sin embargo esto a niveles desproporcionados pueden iniciar un proceso de encalado proporcionando la incrementación de disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, está la saturación de Magnesio y Sodio que se valora con nivel bajo debido a la absorción de microorganismos y precipitación de minerales no aptos de la zona.

### **Comparación del suelo en el páramo de la cortadera y la vereda Siachoque arriba**

*Tabla 10. Características químicas del Páramo la Cortadera*

Paramo La Cortadera	
pH	4,7
% MO	0,84

% CO	1,3
------	-----

Fuente: (Cely Reyes G. E., 2015)

*Tabla 11. Características químicas de la vereda Siachoque arriba*

Vereda Siachoque Arriba	
pH	5,78
% MO	11,00
% CO	6,38

Fuente: Autor(es)

Según se puede evidenciar en la Tabla 10, el páramo la cortadera cuenta con una diferencia en cuanto a las características fisicoquímicas de la vereda Siachoque arriba, debido a que esta zona ha tenido una intervención del ser humano en cuanto a la aplicación de fertilizantes teniendo como comportamiento una producción elevada respecto a cultivos y el mejoramiento de la disposición de este. Cabe mencionar, que el carbono orgánico y la materia orgánica son una de las principales características a tener en cuenta para la producción o el uso agrícola, ya que sirve como almacenamiento de nutrientes cruciales para la salud y la fertilidad de un suelo.

En la Tabla 11 se demuestran las características del suelo de la vereda Siachoque arriba contando con un porcentaje de carbono orgánico de 6,38 siendo así un suelo ideal, indicando así que las condiciones principalmente biológicas y agronómicas son óptimas. Por otro lado, estos dos suelos cuentan con una gran diferencia en cuanto a materia orgánica siendo este un indicador de gran importancia que representa los niveles de fertilidad debido a los nutrientes alojados allí.

*Tabla 12. Características físicas del Páramo la Cortadera*

Paramo La Cortadera	
$\rho_b$	1,28
Textura	Arcillosa
%arcilla	43,12

Fuente: (Cely Reyes G. E., 2015)

*Tabla 13. Características físicas de la vereda Siachoque arriba*

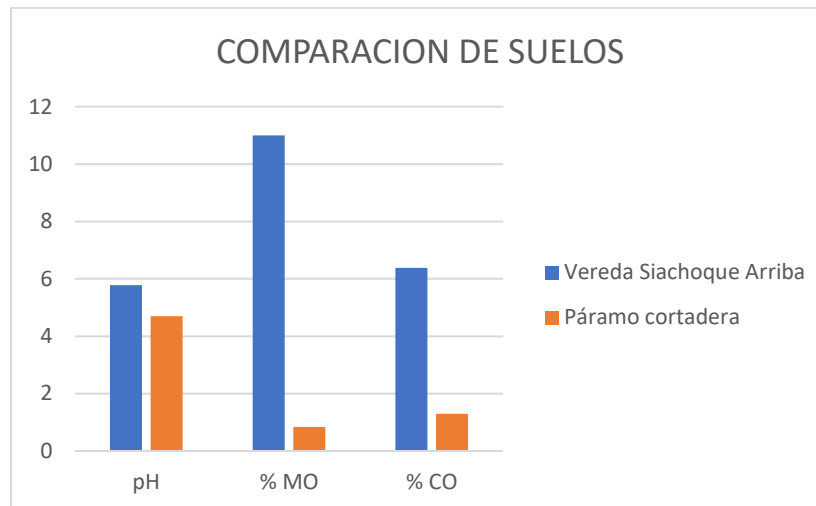
Vereda Siachoque Arriba	
$\rho_b$	5,78
Textura	Franco arcillosa
%arcilla	31

Fuente: Autor(es)

En las Tabla 12 y Tabla 13 se observan las características físicas del suelo del páramo La cortadera y la vereda Siachoque arriba, donde se evidencian diferencias de acuerdo a la textura y densidad, ya que la vereda Siachoque arriba cuenta con una compactación más alta debido a las actividades productivas presentes allí, como lo es el uso de fertilizantes, herramientas y maquinaria, lo cual puede generar cambios de las características físicas en el suelo. Por otro lado, el páramo la cortadera presenta esta textura ya que es habitual de un suelo de taxonomía *humic Dystrustepts* que no ha sido un escenario de producción.

Por otro lado, presenta un cambio del porcentaje de arcilla ya que se han podido presentar fenómenos erosivos debido a que estos implican el transporte de material, movimiento o disgregación de rocas.

Gráfica 5. Comparación de suelos



Fuente: Autor(es)

De acuerdo con la Gráfica 5 se puede concluir que el suelo del páramo la cortadera cuenta con unas condiciones básicas para uso agrícola, mientras que en la vereda Siachoque Arriba cuenta con unas características óptimas debido a que esta zona ha sufrido intervenciones en cuanto a la aplicación de químicos para tener una mejor disposición de los nutrientes del suelo. Cabe mencionar, que la vereda arriba es una zona de uso agrícola por lo que se concluye que ha presentado procesos antrópicos resultando útil en cuanto a la disposición de biomasa bacteriana y metabólica de los elementos.

Adicionalmente, si el suelo presenta altos índices de materia orgánica y carbono orgánico indica que presenta mejor salud, fertilidad y propiedades del ecosistema, teniendo una estructura que ayuda a tener una disposición de porosidad y aireación requerida, conservando así una alta retención de nutrientes que son liberados como nitrógeno, fósforo y micronutrientes. Respecto a lo anterior, se puede concluir que también presenta un porcentaje elevado de secuestro de carbono; este anterior favoreciendo la mitigación del cambio climático por medio de la eliminación del dióxido de carbono presente en la atmósfera y almacenado en el suelo.

Por otro lado, cabe mencionar que las características físicas del suelo de la vereda Siachoque arriba son calificadas por tener una capacidad alta de filtración y retención de agua, teniendo así unas mejores condiciones en cuanto al aprovechamiento de los recursos. Adicional a esto,

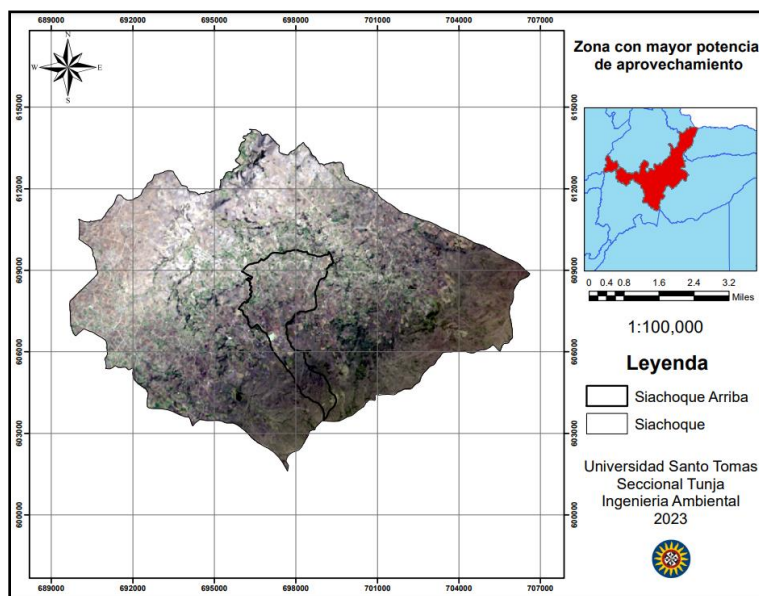
la textura franco arcillosa es considerada como un suelo productivo y versátil ya que combina aspectos positivos de los suelos arcillosos y limosos, manteniendo así un porcentaje elevado de fertilidad que favorece a la siembra de cultivos y plantas gracias a que permite un mejor crecimiento y penetración de las raíces.

## DETERMINACION DE LA ZONA CON MAYOR POTENCIAL PARA EL APROVECHAMIENTO AMBIENTAL DE LA VEREDA SIACHOQUE ARRIBA

Para evidenciar la zona con mayor potencial se usaron las imágenes satelitales y su combinación de bandas las cuales se generan por medio de uniones lógicas RGB generando los colores naturales de la zona, en este caso la zona está delimitada a través de los años por una sola fuente de alimentación multispectral los cuales por medio de la combinación (4,3,2) genera el color verdadero de la zona y así evidenciar las especificaciones requeridas.

En este caso se procede a usar el año 2016, el cual dentro de todos los parámetros es el que genera mayor cambio entre coberturas y por medio de lo mismo se logra evidenciar la zona con mayor potencial.

*Ilustración 18. Zona con mayor potencial de aprovechamiento*



Fuente: Autor(es)

Para el caso en específico encontramos que la zona con mayor aprovechamiento es la que se encuentra en cercanías con el páramo la cortadera, debido a sus condiciones naturales, en este caso la zona es de carácter aprovechable debido al alto porcentaje de materia y carbono

orgánico que presenta la zona, adicional a esto como se muestra en la Ilustración 18 Siachoque es un municipio que presenta un suelo bioclimático de paramo, además cuenta con un gran porcentaje de bosque alto denso lo que significa que presenta unas características de retención de agua y alta fertilidad en cuanto a fauna y flora.

Adicional a lo anterior, (Cely Reyes G. E., 2015) menciona en su estudio de captura de carbono que en estos suelos de paramo se presenta un gran potencial de captura de carbono, debido a que presenta una abundancia de vegetación, descomposición lenta, biodiversidad, crecimiento lento de la vegetación, humedales, altitud; proporcionando una superficie que permita la facilidad en cuanto a captura y almacenamiento del dióxido de carbono atmosférico en la biomasa vegetal.

La combinación de estos factores hace que los páramos sean muy eficaces para secuestrar y almacenar carbono. Sin embargo, estos ecosistemas también son vulnerables al cambio climático y a las actividades humanas, como la agricultura, el pastoreo y los cambios en el uso del suelo. Proteger y conservar los páramos no sólo es crucial para su potencial de secuestro de carbono, sino también para preservar su biodiversidad única y proporcionar servicios ecosistémicos esenciales como la regulación del agua y el hábitat para la fauna salvaje.

## 11. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO

Con la ejecución y el procesamiento del proyecto de investigación se quiere generar impactos positivos tanto en el área ambiental como social, ya que las actividades desarrolladas generan la mejora en cuanto a las condiciones de calidad de acuerdo con el planteamiento de alternativas de conservación, para tener así una mejor producción agrícola dónde se minimicen los impactos ambientales negativos como la expansión de la frontera agrícola que se aloja en este municipio. Adicionalmente, se plantean alternativas con el fin de mejorar el manejo productivo, ya que este municipio incide como la actividad principal en donde se están causando afectaciones a los componentes fisicoquímicos, esto a raíz del uso inadecuado del suelo en donde no se presenta una rotación de cultivos, afectando su estructura general e implementando de manera excesiva las sustancias agrícolas , generando así un desequilibrio del ecosistema y de la calidad del suelo por el cual se reduce el índice de capacidad productiva. Por otro lado, genera un aporte al conocimiento, el cual permite identificar de forma más comprensible al momento de plantear y proponer alternativas o estrategias que pueda usar la población para la minimización de los impactos generados por usos indebidos y rotaciones de los cultivos. Otro impacto generado, es la contribución al desarrollo de alternativas metodológicas como el uso de las herramientas de información geográfica digitales que permite llevar a cabo investigaciones en regiones a las que es difícil tener acceso, para hacer una optimización en los temas tratados de acuerdo con la intervención del suelo. Adicionalmente, cabe mencionar que también genera un mejoramiento en cuanto a la calidad de vida ya que también se pudieron plantear alternativas y cuidados con los usos de suelos, favoreciendo con una productividad minimizadora de impactos negativos que comprometan a los recursos naturales.

## 12. CONCLUSIONES

Es de resaltar que la utilización de imágenes satelitales landsat son de gran ayuda debido a que estas al contar con 3 tipos diferentes de bandas logran generar un espectro de imagen demasiado favorable al momento de la realización de estudios lógicos de datos y de la combinación de las mismas bandas, los datos extraídos de este sistema fueron de gran ayuda para conseguir los resultados esperados.

Las coberturas encontradas y su cambio significativo al pasar de los años tuvieron gran contribución en el funcionamiento de la investigación sobre los datos extraíbles de este tipo de resultados, en este caso se logró evidenciar todas las afectaciones que se están viendo generadas en las zonas de paramo y subpáramo y de la capacidad agrologica que tienen los suelos en la zona de estudio, además de esto se encontró que al pasar de los años la zona que mayor afectación presenta son los bosques y las áreas con vegetación escasa o arbustiva, debido a que estos disminuyen de manera muy notoria, cabe aclarar que en todos los análisis presentan el mismo comportamiento.

Por otro lado, se encontró que las zonas presentan demasiados cambios en cuanto a los cultivos, en este caso se identificó que son demasiado significativos para la investigación, ya que su presencia genera afectaciones en todo el territorio y en los componentes que estos dependen, a partir de ello se logró analizar de manera clara que estos presentan afectaciones directas a las zonas de paramo que están en la zona, y su área de amortiguación.

Adicionalmente, se puede corroborar también con datos tomados de la UPRA que en zonas como bosques fragmentados y cultivos han aumentado en los años de estudio debido a la demanda de alimentos que se adquieren de los cultivos de este municipio, tomados así para exportación o el consumo local de los mismos.

De acuerdo a los resultados del análisis edafológico, se determinó que la vereda Siachoque arriba cuenta con un suelo franco arcilloso ya que es un suelo que presenta unas características óptimas para la retención y filtración de agua. Por otro lado, es una zona que presenta altos niveles de materia orgánica y carbono orgánico proporcionando así un crecimiento acelerado en cuanto a un nuevo material celular como organismos heterótrofos. Según lo anterior, también se logró determinar que la zona de la vereda Siachoque presenta unas condiciones más óptimas en cuanto a usos agrónomos que el páramo la cortadera, esto

debido a que se evidencian procesos de utilización de fertilizantes y tipos de encalamientos al suelo para hacerle un mejoramiento en cuanto a la disposición de nutrientes y lograr un rápido crecimiento de siembras.

Por otro lado, se puede concluir que el área que presentó mayor potencial de aprovechamiento del municipio de Siachoque, son los sitios que se encuentra a los alrededores del al paramo la cortadera, esto se debe principalmente a las características naturales favorables que presentan, como lo son la buena capacidad de retención de agua y el porcentaje alto de biodiversidad. Adicional a esto, la vereda de Siachoque arriba cuenta con una calificación de suelo de paramo bioclimático, lo que indica que esta zona presenta un ecosistema para actividades de conservación, reforestación, desarrollo creativo y preservación de hábitat.

### 13. RECOMENDACIONES

Se recomienda que la zona de la vereda Siachoque arriba tenga un uso de suelo protegido o por pagos de servicios ambientales, debido a que es un lugar en el que se ha visto notoriamente la intervención antrópica como la agronomía, siendo esta su principal actividad económica; aun así, presenta características para permitir la preservación de cada uno de los ecosistemas estratégicos y enriquecen la diversidad biológica alojada allí, con el fin de contar con un incentivo para obtener un beneficio en cuanto al mejoramiento y disposición del suelo.

Por otro lado, también se recomienda ampliar en cuanto a estudios similares con el fin de reconocer la composición y estructuras de cada uno de los suelos en cercanías de paramos, para así desarrollar estrategias que mitiguen cada uno de los impactos provocados por la agricultura e intervención antrópica. También, es esencial utilizar estrategias que fomenten la educación ambiental para comprender la importancia de preservar estos suelos y contar con un desarrollo sostenible y estrategias de conservación a largo plazo.

Por último, este estudio sirve como una herramienta para determinar los cambios y las actividades que se han presentado para lograr unas mejores disposiciones sociales, ambientales y legales en el municipio de Siachoque, así como para darle una mayor importancia a soluciones que logren un balance entre la economía y la sostenibilidad ambiental.

#### 14. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade Ruiz, D. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura de páramo en la producción de agua en la cuenca alta del Río Apuela, Cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Arevalo Parra, D., & Duarte Sandoval, J. (2021). *Análisis Multitemporal De La Cobertura Vegetal Y La Degradación En La Extensión De La Cobertura De Páramo – Subcuenca San José - Páramo El Rabanal*. Tunja: Universidad Santo Tomás.
- Bello Bernal, N. C. (2015). ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES OCASIONADOS POR LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL PÁRAMO DE PISBA. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, 93-97.
- Bernal Vargas, E. (2019). *Evaluación de los impactos socioambientales generados por la producción panelera en las subcuenca Sancute con el fin de proponer estrategias de prevención, control y mitigación*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Botero, E. U. (2015). *Repositorio Cepal*. Obtenido de Repositorio Cepal: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295\\_en.pdf?sequence=1](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=1)
- Cárdenas Montenegro, A. L. (2021). DISTRITOS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO, ZONAS QUE NECESITAN MAYOR RELEVANCIA EN COLOMBIA. *LOS DISTRITOS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO EN COLOMBIA*, 1-15.
- Cárdenas Montenegro, Adriana Lucía. (2021). DISTRITOS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO, ZONAS QUE NECESITAN MAYOR RELEVANCIA EN COLOMBIA. *LOS DISTRITOS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO EN COLOMBIA*, 1-15.
- Cely Reyes, G. E. (10 de 2015). *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Obtenido de Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/4002/2835.pdf?sequence=1>.
- Cely Reyes, G., & Márquez Vega , L. (10 de 12 de 2014). *Repositorio UPTC*. Obtenido de Repositorio UPTC: [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/8334/P%c3%a1ramo\\_potencial\\_captura\\_carbono.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/8334/P%c3%a1ramo_potencial_captura_carbono.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Cieslak, I., Szuniewicz, K., Pawlewicz, K., & Czyża, S. (2017). Monitoreo de Cambios en el Uso del Suelo con CORINE Land Cover Data. *Ciencia e Ingeniería de Materiales*, 245.
- Conde Toro, J., & Marulanda Moreno, Y. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura del suelo utilizando metodologías VCS y Corine Land Cover caso de estudio*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Congreso de Colombia . (30 de Junio de 2012). *Función pública*. Obtenido de Función pública:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43213>
- Congreso de Colombia. (18 de Julio de 1997). *Funcion pública*. Obtenido de Funcion pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>
- Congreso de colombia. (Julio de 2007). *Función pública*. Obtenido de Función pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=149243#178>
- Congreso de Colombia. (28 de Junio de 2011). *Función pública*. Obtenido de Función pública:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43210>
- Congreso de Colombia. (27 de Julio de 2018). *Función pública*. Obtenido de Función pública:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87764>
- Cuervo Barahona, E., Cely Reyes, G., & Moreno Perez, D. (2016). Obtenido de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1200>
- De La Cruz Burgos, J., & Muñoz Garcia, G. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo del área de influencia del programa de reforestación de la federacion nacional de cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Dominguez, R. (2019). *Repositorio cepal*. Obtenido de Repositorio cepal: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378_es.pdf)
- FAO & PNUMA. (2022). *Evaluación Mundial de la Contaminación*. Roma: ONU.
- Farnum, F., & Murillo, V. (2019). Análisis multitemporal (1970-2017) del uso del suelo en cinco comunidades ubicadas a lo largo de la carretera Boyd Roosevelt, Panamá. *Tecnociencia*, 21 (2).

- Gómez Bonilla, M. C. (2019). *Repositorio Institucional Universidad Jorge Tadeo Lozano*.  
Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12010/7798>.
- González Arango, D., & Valencia Tovar, M. J. (2018). FORMULACIÓN DE UN SISTEMA AGROECOLÓGICO DE QUINUA. ESTUDIO DE. *Universidad del Bosque*.
- Hernandez , L., & Salamanca, J. (2019). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca Sardinata, del departamento de Norte de Santander- Colombia*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Hernández Calderón, L. N., & Salamanca Carvajal, J. A. (2019). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y SU INFLUENCIA EN LA GENERACIÓN DE CAUDALES PICO DE LA CUENCA SARDINATA, DEL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER – COLOMBIA*. Bogotá D.C.: PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS.
- IDEAM. (2007). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM:  
<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- IGAC. (2005). *IGAC*. Obtenido de IGAC:  
<http://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/SUELOS%20DE%20BOYACA%202005.pdf>
- Leon Duran, M., & Acevedo Osorio, A. (2021). Sostenibilidad del manejo del suelo en procesos productivos de transición agroecológica. *ECOSISTEMAS: REVISTA CIENTÍFICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE*, 1-11.
- López Falcón, R. (2002). Degradación del suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación. *CIDIAT*, 280.
- Minambiente. (22 de 12 de 1993). *Minambiente*. Obtenido de Minambiente:  
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>
- Minambiente. (4 de 09 de 2021). *Minambiente*. Obtenido de Minambiente:  
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-461-1998.pdf>
- Morales, D., Aguilar Mora, R., Rodríguez Pérez, J. E., Salinas Moreno, Y., Colinas León, M. T., & Lozoya Saldaña, H. (2011). Desarrollo y rendimiento de papa en respuesta a la siembra de semilla–tubérculo inmadura. *SciELO*, 15.

- Novoa Campos, J. (2020). Impactos del cambio climático en los cultivos de papa del departamento de Boyacá – Colombia, análisis de causas y soluciones para la región. *Programa de Ingeniería Ambiental*, 158.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Guía DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS SUELOS EN AREAS RURALES*. Bogotá: Alianza mundial por el suelo.
- Otiniano, A., & Meneses, L. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Scielo*.
- Pimiento Ortega, M. (2019). *Análisis Multitemporal Del Cambio De Uso De Suelo En El Paramo De Pisba Jurisdiccion Del Municipio De Tasco Para El Periodo 1990 - 2015*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Procuraduría General de la Nación, Instituto de Estudios del Ministerio Público (IEMP). (2018). Evaluación normativa, social y ambiental de los páramos en Colombia. *Investigaciones Sociopolíticas y Asuntos Socioeconómicos IEMP*, 184.
- Quichimbo, P. (15 de 11 de 2012). *Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo*. Obtenido de Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo: [https://www.researchgate.net/profile/Rolando-Celleri/publication/260389572\\_EFECTOS\\_SOBRE\\_LAS\\_PROPIEDADES\\_FISICAS\\_Y\\_QUIMICAS\\_DE\\_LOS\\_SUELOS\\_POR\\_EL\\_CAMBIO\\_DE\\_LA\\_COBERTURA\\_VEGETAL\\_Y\\_USO\\_DEL\\_SUELO\\_PARAMO\\_DE\\_QUIMSACOA\\_AL\\_SUR\\_DEL\\_ECUADOR/links/0c960530f58b68c3](https://www.researchgate.net/profile/Rolando-Celleri/publication/260389572_EFECTOS_SOBRE_LAS_PROPIEDADES_FISICAS_Y_QUIMICAS_DE_LOS_SUELOS_POR_EL_CAMBIO_DE_LA_COBERTURA_VEGETAL_Y_USO_DEL_SUELO_PARAMO_DE_QUIMSACOA_AL_SUR_DEL_ECUADOR/links/0c960530f58b68c3)
- Rico Calvano, F., & Rico Fontalvo, M. (2014). El uso del suelo, ¿Un problema de capacidad productiva y de políticas. *Logos Ciencia & Tecnología*, 20.
- Rivera Ospina, D. (2013). *Portafolio Nacional de Restauración de Páramos y Humedales de alta Montaña*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rodríguez Parra, A., & Solano Silva, O. (2000). *MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO*. Colombia.
- Ruales Mestanza, M., & Dávila Lara, N. (2019). *Efectos del cambio del suelo sobre el servicio ecosistémico hídrico de provisión en la microcuenca del río Itambi*. Ibarra: Universidad Técnica Del Norte.

- Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. *Ecosistemas*, 117-123.
- Salazar Suaza, D., & Quijano Abril, M. A. (2020). Análisis multitemporal y caracterización de la vegetación hidrófita y helófita de un cinturón de humedales urbanos en el altiplano del Oriente antioqueño. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 639-651.
- Salcedo Valencia, P. A. (09 de Diciembre de 2020). *Repositorio Institucional Universidad Javeriana*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/52933/Salcedo%20Valencia%20Paula%20Andrea%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sarmiento Pinzón, C. E., Cadena Vargas, C. E., Sarmiento Giraldo, M. V., & Zapata Jiménez, J. A. (2013). Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia : actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. *Smithsonian Libraries and Archives*, 87.
- Siachoque, A. d. (2001). *Esquema de ordenamiento territorial: municipio de Siachoque*. Siachoque.
- Soza Cruz, S. (2019). *ANÁLISIS DE SITUACIÓN DE SALUD CON EL MODELO DE LOS DETERMINANTES SOCIALES DE*. Tunja.
- Tejada Guzman, P. M. (15 de Diciembre de 2020). *Repositorio Institucional Universidad Javeriana*. Obtenido de [https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/52699/TESIS\\_TEJADA\\_PAULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/52699/TESIS_TEJADA_PAULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tribak, A., Baena-Escudero, R., Guerrero-Amador, I. C., Amhani, Z., Abahrour, M., El Garouani, A., & Arari, K. (2021). Evaluación de los usos del suelo y la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica montañosa del Oued Ourtza (Pre-Rif Oriental, Marruecos). *Investigaciones Geográficas*, (76), 309-326.
- USGS. (2021). *USGS*. Obtenido de USGS: [https://www.usgs.gov/fire-danger-forecast/weekly-ndvi#:~:text=NDVI%20ranges%20from%20%2D1.0%20to,value%20\(0.2%20%E2%80%93%200.5\)](https://www.usgs.gov/fire-danger-forecast/weekly-ndvi#:~:text=NDVI%20ranges%20from%20%2D1.0%20to,value%20(0.2%20%E2%80%93%200.5)).

- Vargas, C. A., Gonzalez Diaz , J., & Rueda , M. (2022). *Scielo*. Obtenido de Scielo:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-37692022000100125&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-37692022000100125&script=sci_arttext)
- Wanumen Mesa, A. M. (2018). *Repositorio Institucional Universidad Francisco Jose de Caldas*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/13181>
- Zumaeta Lozano, D. L. (2021). Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal. *Revista Científica UNTRM Ciencias Naturales e Ingeniería*, 81.

## 15. ANEXOS

### ANEXO 1: TRABAJO EN CAMPO













