

**DETERMINACIÓN DE LOS IMPACTOS EN EL PROTOCOLO IGAC PARA LA
EVALUACIÓN DEL EFECTO EN EL CAMBIO DE USO SOBRE LAS PROPIEDADES
DEL SUELO Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL COMPLEJO DE
PÁRAMOS ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE**

Sergio Alejandro Boton Castañeda

Francisco Isai Moscoso Hidalgo

Trabajo de Grado presentado para optar al título de
Ingenieros Ambientales

Directora

Yenny Beatriz Mendoza Plazas

Agróloga MSc suelos y aguas

UNIVERSIDAD DE SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ

2022

RESUMEN

La importancia de los ecosistemas de los páramos, al tener un papel sumamente relevante como regulador hídrico y por las características que sus suelos poseen, pueden verse afectados por los cambios en el uso del mismo.

El presente trabajo se realizó, con la finalidad de evaluar el efecto del cambio de uso de la tierra, sobre algunas propiedades de los suelos en uno de los complejos de páramos de la jurisdicción CAR, como es el del Altiplano Cundiboyacense localizado al norte del departamento de Cundinamarca, en sectores de los municipios de Chocontá, Villapinzón, Lenguaque, Suesca y Cucunubá. La determinación de los impactos por el cambio del uso de la tierra sobre los suelos, se realizó mediante la utilización y/o validación del protocolo que para tal fin fue elaborado por el instituto geográfico Agustín Codazzi-IGAC, para la Corporación Autónoma de Cundinamarca-CAR, como uno de los productos del “Estudio multitemporal de las coberturas y usos de la tierra y levantamiento de suelos a escala 1:10.000 en las zonas de páramo de la jurisdicción CAR”. Se llevó a cabo un contexto general de la importancia de los páramos en Colombia, revisando los antecedentes y marco conceptual, normativo y metodológico, luego se desarrolló la metodología para la evaluación de los impactos del cambio de uso de la tierra, sobre las propiedades de los suelos de páramo específicamente en los sitios o sectores donde hayan ocurrido los cambios, que se identificaron realizando un estudio multitemporal de las coberturas y el uso entre los años 2011 y 2019. Esto con la finalidad de evidenciar los impactos sobre el cambio de uso en el suelo. Se generaron los índices de calidad de suelo-SQI, el índice relativo de degradación de suelos-IRDS, el índice absoluto de degradación de suelos-IADS y la pérdida de servicios ecosistémicos para evaluar el estado de conservación y deterioro del páramo, las propiedades de los suelos evaluadas

fueron: densidad aparente, humedad aprovechable, porosidad total, carbón orgánico del suelo, bases totales, fósforo y saturación de aluminio intercambiable, siendo estas, las propiedades más sensibles a la degradación por el uso continuo de las tierras.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, cambio de uso del suelo, índice de calidad de suelos, propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

Paramo's ecosystem has a significant role as a hydro regulator and due to its soil characteristics, it can be affected if the land use presents changes or variations.

The present work will focus on evaluating the effect on how the different types of grounds or lands change, taking into account a few soil properties that can be evaluated in one of the most complex CAR jurisdiction paramos such as the Altiplano Cundiboyacense, located at the north of the Cundinamarca Department, part of the Chocontá, Villapinzon, Lenguaque, Suesca, and Cucunubá township sectors.

How the soil is impacted because of the ground use was determined by the use or validation of the protocol that the Agustin Codazzi geographic institute elaborated for the CAR (Corporación Autónoma de Cundinamarca), being one of the main results of the “ Multi-temporal study of ground/land uses, mantles and soil liftings taking a 1:10.000 scale as a reference in the CAR jurisdiction paramos zones” A general overview of the importance of paramos in Colombia was included in the present evaluation, verifying the different background records, conceptual, normative, and methodological frameworks, developing the correct methodology applied to the soil use changes impact evaluation upon the paramos soils properties, more specifically in the locations or places in which changes have been occurred.

Soil use changes will be identified by carrying out a comprehensive multi-temporal study of mantles and soil uses between 2011 and 2019, aiming to present the soil use change's evidence impacts. The soil quality, relative soil degradation, and absolute degradation indexes (SQI, RSDI, ASDI) were generated, along with the ecosystem services lost in order to evaluate the paramos

conservation and depletion/degradation through the soil properties such as: Bulk density, usable moisture or humidity, porosity, soil organic coal, total databases, voluble aluminum, and phosphorus saturation. The election of the properties mentioned above was taken as they represent properties highly sensitive to degradation by continuous land use.

Keywords: ecosystem services, soil use changes, soil quality index, physico-chemical properties

Tabla de Contenido

RESUMEN	2
ABSTRACT	4
GLOSARIO DE TÉRMINOS	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
ANTECEDENTES	15
MARCO TEÓRICO	18
Páramos	18
Servicios ecosistémicos	18
Suelo	18
Ambiente edafogenético	19
Conservación de suelos	20
Calidad de suelos	20
Indicadores de la calidad de suelos	21
Indicadores físicos	21
Indicadores químicos	23
Índice de calidad del suelo (SQI)	25
Degradación de los suelos	25
Compactación	26
Erosión	26
Cobertura vegetal	27
Cambios de uso de tierra	27
METODOLOGÍA	28
Identificación	30
Procesamiento	31
Análisis y evaluación	32
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	36
Generación del Land Cover	36
Temporalidad 2011	37
Temporalidad 2019 resultados cuantitativos	47
Análisis multitemporal	56

Cambio por Cobertura	56
Determinación del SQI	67
Determinación del índice de degradación de suelos - IRDS	73
Determinación de los índices absolutos de degradación de suelos - IADS	75
Determinación de las pérdidas de servicios ecosistémicos – PSE	76
IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO	78
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
ANEXO 1	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
ANEXO 2	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
ANEXO 3	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
ANEXO 4	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
REFERENCIAS	82

Tabla de Ecuaciones

Ecuación 1. IRDS-----	33
Ecuación 2. IADS-----	34
Ecuación 3. Áerea-----	34

Tabla de Figuras

Figura 1. Distribución de áreas para el nivel 1 de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense, temporalidad 2011 -----	38
Figura 2. Distribución de áreas para las seis coberturas en el nivel final de clasificación CORINE, Complejo Altiplano Cundiboyacense, temporalidad 2011 -----	39
Figura 3. Mapa de coberturas de la tierra, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011-----	43
Figura 4. Distribución porcentual para los usos más representativos, complejo Alto Cundiboyacense, temporalidad 2011 -----	44
Figura 5. Distribución de áreas para el nivel 1 de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019-----	48
Figura 6. Distribución de áreas para las seis coberturas en el nivel final de clasificación CORINE, complejo en el Complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019 -----	49
Figura 7. Mapa de coberturas de la tierra complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019 -----	53
Figura 8. Distribución de áreas para los principales seis usos del suelo, Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019 -----	55
Figura 9. Distribución de porcentaje de los cambios de cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense del periodo comprendido entre 2011 y 2019 -----	56
Figura 10. Cambio total de área por cobertura en el Complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019-----	58
Figura 11. Cambio neto de área por cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019-----	60
Figura 12. Mapa de cambio neto de área por cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019-----	61
Figura 13. Cambio total de área por uso del suelo en el complejo del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019-----	63
Figura 14. Cambio neto de área por uso del suelo en el complejo del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019-----	65
Figura 15. Mapa de cambio del uso del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019-----	66
Figura 16. Determinación del IRDS -----	75
Figura 17. Determinación del IRDS -----	75

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Metodología	29
Ilustración 2. Mapa Localización	30
Ilustración 3. Determinación del IRDS	73
Ilustración 4. Determinación del IRDS	74
Ilustración 5. Histograma densidad aparente de 0-30 cm-.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 6. Histograma de porosidad total de 0-30 cm-	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 7. Histograma de humedad aprovechable de 0-30 cm	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 8. Histograma de carbono orgánico de 0-30 cm-.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 9. Histograma de fósforo de 0-30 cm-	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 10. Histograma de saturación de aluminio de 0-30 cm-	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 11. Histograma de bases totales de 0-30 cm-	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 12. Histograma de densidad aparente de 30-60 cm-	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 13. Histograma de porosidad total de 30-60 cm -.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 14. Histograma de humedad aprovechable de 30-60 cm -..	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 15. Histograma de carbono orgánico total de 30-60 cm -...	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 16. Histograma de fósforo de 30-60 cm -	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 17. Histograma de saturación de aluminio de 30-60 cm- ...	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 18. Histograma de bases totales de 30-60 cm-	¡Error! Marcador no definido.

Tabla de Mapas

Mapa 1. Índice de calidad de suelo de 0-30 cm	70
Mapa 2. Índice de calidad de suelo de 0-30 cm	¡Error! Marcador no definido.
Mapa 3. Índice de calidad de suelos de 30-60 cm	71
Mapa 4. Índice de calidad de suelos de 30-60 cm	¡Error! Marcador no definido.
Mapa 5. Índices de calidad de suelos físico, químico y final de 0-30 cm	¡Error! Marcador no definido.
Mapa 6. Índices de calidad de suelos físico, químico y final de 30-60 cm	72

Tablas

Tabla 1. Variable del Suelo	32
Tabla 2. Propiedad del suelo N° 1	67
Tabla 3. Propiedad del suelo N°2	67
Tabla 4. Distribución de áreas para el nivel 1 de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011	37
Tabla 5. Distribución de áreas para las coberturas en el nivel final de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense, temporalidad 2011	40
Tabla 6. Leyenda de coberturas y uso de la tierra CORINE Land Cover, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011	42
Tabla 7. Coberturas de la tierra nivel 3 CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011	44
Tabla 8. Distribución de áreas usos del suelo, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011	46

Tabla 9. Distribución de áreas para el nivel 1 de clasificación CORINE, complejos Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019-----	47
Tabla 10. Distribución de áreas para las coberturas en el nivel final de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019-----	50
Tabla 11. Leyenda de coberturas y uso de la tierra CORINE Land Cover complejo Altiplano Cundiboyacense, temporalidad 2019-----	52
Tabla 12. Coberturas -----	54
Tabla 13. Distribución de áreas usos del suelo, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019 -----	54
Tabla 14. Cambio total de área por cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019	57
Tabla 15. Cambio neto de área por cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019	59
Tabla 16. Cambio total de área por uso del suelo en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019 -----	62
Tabla 17. Cambio neto de área por uso del suelo en el complejo del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019 -----	64
Tabla 18. Cálculos de la ecuación Andrade & Ibrahim (2003) para una profundidad de 0 -30 cm -	76

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACUT	Áreas con Cambio de Uso de la Tierra
AHP	Proceso de Análisis Jerárquico
BD	Base de Datos
BT	Contenido de Bases Totales
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CLC	Corine Land Cover
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNULD	Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación
CUT	Cambio de uso de la tierra
DPM	Diámetro Ponderado Medio de los agregados estables
EEAP	Estudio del Estado Actual de los Páramos
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IEMP	Instituto de Estudios del Ministerio Público
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IADS	Índice Absoluto de Degradación de Suelos
IRDS	Índice Relativo de Degradación de Suelos
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MADS	Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
ONU	Organización Mundial de las Naciones Unidas
PSE	Pérdida de Servicios Ecosistémicos
Pb	Plomo
PMA	Planes de Manejo Ambiental
PND	Plan Nacional de Desarrollo RSC Royal Society of Canadá
SAI	Saturación de Aluminio Intercambiable
SE	Servicios Ecosistémicos
SINA	Sistema Nacional Ambiental
SQI	Índice de Calidad de Suelos
SIG	Sistemas de Información Geográfica
UCS	Unidad Cartográfica de Suelos

INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas naturales con una gran importancia geológica, edafológica, geomorfológica y sus condiciones climáticas especiales (López, 2005) en este caso, la zona donde se ejecutó la investigación, el complejo de páramos Altiplano Cundiboyacense, el cual brinda una gran variedad de servicios ecosistémicos al tener una función ecológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica dentro del bioma fundamental, al mantener una fuerte relación entre el agua, suelo, clima y biodiversidad (Mario A. Díaz-Granados Ortiz, 2005), los cuales estructuran este ecosistema ofreciendo servicios ambientales en la disponibilidad y regulación del recurso hídrico brindando abastecimiento de agua para los habitantes de la región. Dicho ecosistema puede presentar cambios debido a la calidad de sus suelos al verse comprometidas sus características fisicoquímicas, generando una posible pérdida de servicios ecosistémicos, los cuales se ven afectadas al ejercer prácticas de agricultura y ganadería intensiva, explotación minera, el crecimiento poblacional y económico (S. Patiño, 2021). Este inadecuado uso que se le da a los suelos repercute en la extinción de especies endémicas, los cambios de coberturas vegetales y la inmersión de especies exóticas, causando el deterioro y la disminución en los índices de la calidad del suelo, lo que pondría en riesgo la capacidad de retención de humedad de los suelos del páramo y el abastecimiento para los seres vivos. Por esto se han realizado diferentes tipos de estudios para darles un uso y manejo sostenible a los páramos por su alta sensibilidad a perturbaciones ecológicas, ambientales y antropogénicas, mejorando la sostenibilidad ambiental y socioeconómica con el propósito de evitar impactos y la degradación del ecosistema. De acuerdo con el protocolo “Evaluación de impacto de cambio de uso de la tierra en algunas propiedades de los suelos” del IGAC-CAR, se busca analizar y determinar si el cambio de los usos del suelo en complejo de páramos Altiplano Cundiboyacense, ha causado efectos negativos en las propiedades

físicas y químicas de los suelos y por ende han ocasionado la pérdida de los servicios ecosistémicos de este páramo. De acuerdo al estudio multitemporal de las coberturas de suelo, se podrá evidenciar los cambios en el uso del suelo de acuerdo con la cartografía consultada en el IGAC, además de la determinación del índice de calidad de suelo, el cual permite calificar el estado actual de los suelos del páramo; el índice relativo y absoluto de degradación de suelos evidenciará el comportamiento del suelo al cambio de uso de la tierra y finalmente con los resultados encontrados en la pérdida de servicios ecosistémicos, se dimensionó el efecto que tienen las actividades sobre el uso del suelo (IGAC-CAR, 2021) y de este modo, se puede demostrar la necesidad de evaluar los impactos obtenidos, a través del protocolo para preservación de los páramos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el efecto del cambio de uso de la tierra, sobre algunas propiedades del suelo en el complejo de páramos Altiplano Cundiboyacense.

Objetivos Específicos

- Determinar el estado de conservación y/o deterioro del complejo de páramos, de acuerdo con la calidad de suelos y los servicios ecosistémicos de los mismos.
- Determinar qué propiedades del suelo tiene mayor incidencia, en la pérdida de los servicios ecosistémicos de los suelos del páramo.

ANTECEDENTES

De acuerdo a una investigación cuantitativa en bibliometría, realizada con el uso de la herramienta RStudio en el paquete de datos biometrix, nos permitió a través de métodos bibliométricos de análisis, importar datos bibliográficos de la base de datos y documento de Scopus relacionados con la conservación de páramos, los cuales son de gran ayuda para seleccionar las referencias más usadas dentro del siguiente apartado, teniendo en cuenta que se analizó el tema en un contexto, tanto global como local para dar pertenencia al tema.

Los estudios realizados con base al cambio de uso sobre las propiedades del suelo de los páramos, se encuentran relacionados con zonas de los Andes Ecuatorianos, donde se evidencian dichas transformaciones; en un artículo, se indica que se obtuvieron datos para perfiles de suelo de hasta 200 centímetros, para calcular la existencia de carbono orgánico, el cual se ve evidenciado en el cambio a Histosoles de zonas que actualmente están cubiertas por bosque continuo, mostrando que la mayoría de los tipos de cambio de uso de la tierra, involucra a los bosques montanos superiores y ecosistemas de páramo, los cuales se ven afectados por la deforestación, encalado y el cambio a tierras agrícolas que consecuentemente llevaría a una pérdida de carbono del suelo; además de alterar las propiedades físicas del suelo con actividades de quema y pastoreo, reduciendo la materia orgánica del suelo, aumentando la erosión y promoviendo la descomposición de compuestos alifáticos y de materia orgánica (F.H. Tonneijck, 201), que en comparación a los productos obtenidos por otro estudio, por actividades de quema y secado al aire, son los factores claves del cambio en la hidrodinámica y el comportamiento erosivo (Jérôme Poulenard, 2001). Otro estudio en el páramo de Cotopaxi, demuestra que un cambio en la vegetación afecta las propiedades del suelo, debido a la siembra de pinos en los pastizales de páramo, generando

implicaciones a largo plazo al tener grandes efectos sobre el nitrógeno, pH y el estado de los nutrientes, los cuales, son más notables cerca de la superficie del suelo de 0 a 10 cm, observándose diferencias en el nivel inferior del horizonte A. (Kelly, 2021)

Por otro lado, en Colombia la intervención de los páramos ha sido provocada por el uso de la tierra para cultivar, la inclusión de pastizales (Ramírez, 2014), para ganadería, la deforestación y la agricultura, afectando las propiedades hidrofísicas de los suelos. Los hallazgos encontrados, se obtuvieron a partir de datos reportados en la literatura para los horizontes superficiales del suelo A y O, donde la ganadería a causa de la compactación, reduce la capacidad de infiltración y la porosidad del suelo. En cuanto a las actividades que hacen uso de la tierra para la labranza y quema, han venido aumentando la densidad aparente, reduciendo la capacidad de retención de agua y favoreciendo la escorrentía, comprometiendo la amortiguación del flujo de agua e incrementando los procesos erosivos (S. Patiño, 2021). La importancia que evidencia el artículo en cuanto a las propiedades hidrofísicas, nos ayuda a comprender que el suelo de los páramos y su vínculo con el uso que se le da a la tierra, es de vital importancia para entender los efectos sobre los servicios ecosistémicos de un frágil ecosistema como lo es el páramo. Es primordial para las personas que dependen de estos servicios, demostrar que las propiedades del suelo en los páramos son sustancialmente significativas para dar sostenibilidad y la sustentabilidad del recurso hídrico.

De manera análoga, se concreta la importancia de la evaluación de la calidad del suelo, al tener una fuerte relación con las funciones de acuerdo con su productividad biológica, su calidad ambiental y la salud de las plantas, animales y humanos (Doran, 1994), las cuales se pueden estimar a partir de indicadores, entre ellos, los propuestos por John W. Doran's y Bradley Parkin's, miembros del departamento de agricultura de los Estados Unidos de América, quienes desarrollaron algunas condiciones para que las propiedades físicas, químicas y biológicas puedan

ser consideradas como indicadores, según lo estipula el departamento de agricultura. (Coen M. A., 2009). De acuerdo con lo anterior, el uso de los indicadores es de vital importancia para poder cuantificar y evaluar la calidad del suelo, a partir de esto, se logran concretar una serie de investigaciones como la realizada en el artículo “Soil quality index for cacao cropping systems” de Quintino Araujo, Dario Ahnert, Guilherme Loureiro, José Faria, Cinira Fernandes y Virupax Baligar, estudiaron los sistemas de cultivo, donde más del 66% de estos sistemas se clasificaron con un SQI medio, es decir, entre un 0,42 y un 0,61. Por otro lado, se obtuvo un valor de SQI alto de 0,72, que fue caracterizado por un tipo de suelo Argisol de color rojo y amarillo, encontrando que en la parte el suelo con carácter cohesivo abrupto mostró los puntajes más bajos (0,29), en los cuales se evidenció la nutrición mineral de las plantas y la función de agua disponible, contribuyendo al aumento o disminución de las puntuaciones de SQI, los cuales están relacionadas con indicadores de fertilidad química y física del suelo (Quintino Araujo, 2018).

MARCO TEÓRICO

Páramos

Los páramos son un ecosistema natural de montaña, ubicado entre los 3000 a 4000 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) y son de vital importancia para el abastecimiento y regulación del ciclo hídrico, sustentación humana, retención de carbono y la preservación de la biodiversidad. Se pueden encontrar grandes tipos de vegetación como pastizales húmedos, matorrales, bosques de baja estatura y lagos turberas (S. Patiño, 2021). El clima que se presenta en los páramos generalmente es tropical típico de montaña, con una gran cantidad de radiación diaria y con variaciones de temperatura desde los 2° C hasta los -5° C, aunque estas condiciones pueden variar dependiendo la ubicación geográfica del páramo.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son considerados como el aprovechamiento de los recursos de la naturaleza que son tangibles e intangibles. Estos servicios pueden tener un valor económico, de acuerdo con actividades relacionadas al cambio de uso de suelo, además de poseen diferentes clasificaciones de acuerdo con su nivel de importancia, los cuales tienen una función que se dividen en servicios culturales, de aporte, aprovisionamiento y regulación.

Suelo

La palabra suelo y su significado ha ido variando a través del tiempo, conforme avanzan los estudios referentes en este y otros campos relacionados, aunque existan distintas explicaciones

de esta palabra, en la mayoría de los casos se concuerda, que el suelo es una mezcla entre el agua, aire y el material mineral u orgánico, estableciéndose en nuestro planeta tierra y juntándose con la tierra sólida, la atmosfera, la hidrosfera y la biosfera. (Lutgens, 2006)

No obstante, de acuerdo con Juárez Sanz, Margarita Sanchez Andreu y Juan Sanchez, docentes de la universidad de Alicante España, quienes presentaron cuatro definiciones del suelo, indicando en primera instancia que se consolida este concepto, como lo menciona anteriormente Edward Tarbuck y Frederick Lutgens; pero agregan que es el suelo es el sustento de las plantas y un soporte mecánico. En segunda instancia mencionan, con base en la definición de Vasili Dokucháyev, que el suelo es como un horizonte rocoso, influenciado por el agua, aire y varias formas de organismos vivientes y muertos, cambiando sus relaciones y condiciones diariamente. En tercera instancia se determina el suelo, como un cuerpo tridimensional, el cual ejerce una función depuradora respecto a metales u otros componenets provenientes, por ejemplo, de lodos o residuos, teniendo la capacidad de retenerlos e incorporarlos a sus minerales. Finalmente, explica como el suelo es un cuerpo natural al poseer presencia de plantas, animales, procesos pedogenéticos y su capacidad de responder ante efectos ambientales. (Juárez, 2006)

Ambiente edafogenético

Un ambiente edafogenético es un entorno característico en el cual se componen los suelos con el propósito de realizar un levantamiento agrologico. Por lo tanto, es una zona de estudio que comparte condiciones geomorfológicas, geológicas, climáticas pueden tener componentes importantes de formación de suelo y puede decidir la existencia de poblaciones edáficas que contienen términos de variación de características por lo cual se ajustan más para realizar un reconocimiento a gran escala (IGAC-CAR, 2021).

Conservación de suelos

La biota del suelo al ser afectada en múltiples y diferentes maneras por actividades antrópicas, ejercen un impacto tal, que contribuyen a la deforestación, degradación, erosión y la transformación de praderas a cultivos agrícolas, reduciendo el número de especies y la calidad de residuos vegetales, lo que implica que se debe dar un manejo y un sistema agrícola que ayude a promover el uso sostenible del suelo. (MAG-MINAE-S-HACIENDA-MOPT, Sin fecha)

Otra definición que abarca al concepto, es la que describe la ley 7779 del 23 de abril de 1998, de uso, manejo y conservación de suelos en el capítulo 3 de la presente, la cual define la conservación de los suelos, como el conjunto de prácticas de manejo y uso de tierras que son utilizadas con el propósito de conservar, proteger y mejorar la productividad e integridad del suelo. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022)

Calidad de suelos

El término calidad del suelo, es interpretado desde un enfoque a lo largo del tiempo de acuerdo con la utilidad o propósito funcional del mismo (Carter, 1997). En un principio, la calidad del suelo era asociada con la capacidad para funcionar de una manera correcta con relación al uso en específico que se necesitará, en el momento que por lo general se realizaban prácticas agrícolas (E. G. Gregorich, 1994). Posteriormente, se redefinió el concepto de calidad de suelo, a un vínculo más ecológico y se definió como la capacidad del suelo para almacenar y aprovechar agua, minerales esenciales y energía para la producción de cultivos en conjunto para conservar un ambiente sano (Coen M. A., 2009).

La prevención para mantener la calidad de los suelos no es de los últimos años, hace un tiempo, la calidad de suelo era evaluada con la productividad agrícola y la capacidad para maximizar dicha producción, evaluando de este modo la erosión del suelo (A. Bautista Cruz, 2004). Debido a esto, surgió una clasificación, con términos como: “tierras agrícolas de primera calidad”, por lo cual el concepto de calidad de suelo se ligó a sostenibilidad agrícola. Posteriormente, surgieron conceptos de la calidad del suelo en una perspectiva más multifuncional del suelo, con análisis metodológicos y la selección de indicadores de calidad, como la capacidad del suelo para mantener un equilibrio de sostenibilidad con los ecosistemas (GroenigenbLijbertBrussaardb, 2018).

Indicadores de la calidad de suelos

Los indicadores de calidad de suelos, son aquellos que muestran con variables las condiciones, transformaciones y la inclinación en las que el suelo se encuentra para determinar el estado de los suelos. (J. Dumanski, 1998).

Indicadores físicos

Las propiedades físicas del suelo son muy importantes para la valoración de la calidad, por su resiliencia, influyendo en funciones trascendentales, como el transporte de nutrientes, agua y aire. De este modo, estos indicadores físicos, son esenciales para que se realicen los procesos con los microorganismos que ayudan al crecimiento de las plantas y procesos de erosión. (D. L. Karlen, 1992).

La calidad del suelo no se evalúa de manera directa, si no que se deduce de los indicadores de calidad de manera estadística o dinámica, dependiendo del mismo. (Carter, 2002). Los indicadores que se han utilizado para determinar la calidad del suelo, presentados en esta investigación son: La densidad aparente, humedad aprovechable, porosidad total, carbón orgánico del suelo, bases totales, fósforo y saturación de aluminio intercambiable.

Densidad aparente

La densidad aparente, se puede determinar como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo estable, que se localiza en su estado inicial junto con su porosidad. (Gutiérrez, 2010). De igual modo se utiliza como un indicador de compactación, siendo los valores menores a 0.25 g/cm^3 en suelos con abundante materia orgánica y superiores a 1.9 g/cm^3 en suelos más compactados. (patricio A. Mena, 2000).

Humedad aprovechable

La humedad aprovechable, es una de las variables más importantes en el suelo, porque es la interacción más relevante con la productividad en los sistemas agroforestales, siendo relativamente diferente al tipo del suelo y variando por las prácticas agrícolas. Por lo tanto, es un valor específico para cada tipo de suelo (Salcedo-Pérez, y otros, 2007).

Porosidad total

La porosidad total hace referencia, al porcentaje en volumen de los poros que separan la combinación del suelo ocupado por partículas sólidas. Los poros son los espacios que almacenan

el agua, gases y actividad biológica en el suelo. Es correcto mencionar la porosidad como horizonte del suelo, debido a que una capa cambia respecto a otra; las alteraciones de estos se deben a la actividad antrópica como la agricultura, ganadería y tránsito de maquinaria pesada. (DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIA Y FORESTALES U.N.L.P. , 2019).

Indicadores químicos

Los indicadores químicos hacen alusión a las condiciones químicas que perjudican las interacciones suelo-planta, la calidad del agua, la resiliencia del suelo y la disponibilidad de nutrientes y de agua para las plantas y los microorganismos. Por medio de estos se puede encontrar la existencia de nutrientes, el carbono orgánico total, el pH, la capacidad de absorción de fosfato, conductividad eléctrica, los cambios de materia orgánica y el nitrógeno total (Y. García, 2012).

Materia orgánica

La materia orgánica es fundamental en los procesos edafológicos del suelo al tener efecto sobre sus propiedades físicas, contribuyendo a formar agregados por su efecto cementante sobre las partículas, mejorando la estructura del suelo, lo que conlleva a incrementar los flujos de agua, aire y calor. Por otro lado, favorece el intercambio gaseoso, la penetración del agua y su retención, dando estabilidad estructural, uniendo las arcillas que disminuyen la erosión. En su proceso de descomposición y mineralización, aporta elementos nutritivos para las plantas, de modo tal que incrementa la capacidad de intercambio de cationes del suelo, con lo que se disminuye la pérdida

de elementos nutritivos por lixiviación y protege a algunos elementos nutritivos en contra de su fijación por la arcilla del suelo (Robert GM Hofstede, 2020).

Carbón orgánico total del suelo

El carbono orgánico total del suelo, es parte del ciclo global del carbono, el cual está comprometido en el ciclo del carbono a través de la vegetación, el océano, la atmósfera y el suelo. Este se ve involucrado con la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, perjudicando a las propiedades del suelo que se relacionan con el rendimiento sostenible de los cultivos. El carbono orgánico en suelo se asocia con la disponibilidad y cantidad de nutrientes del suelo. (IGAC-CAR, 2021).

Bases totales

La capacidad máxima de cationes o bases que el suelo incorpora o expulsa, se calcula en miliequivalentes gramos (med/g). Los valores altos de bases indican una capacidad de resiliencia, aludiendo cambios fuertes en el pH; también indica una variedad y usos edafológicos, pedológicos, indicando la dependencia de la concentración de bases, nutrición en las plantas, la etapa evolutiva, el tipo de arcilla y los horizontes. (B. motta de Muñoz, IGAC, B. motta de Muñoz, IGAC, 2005)

Fósforo disponible

El fósforo es un elemento en el cual se encuentra en mayor proporción de nutrientes para el crecimiento de las plantas, junto con el azufre, el nitrógeno y el potasio. (Juárez, 2006). Se clasifica como un elemento primario, lo que consecuentemente es deficiente en la producción agrícola al

requerir cantidades considerables. Es de gran importancia, al estar presente en la fotosíntesis, en el transporte y absorción de la planta, encontrándose disponible para esta reacción y generando la transferencia de energía que desencadena una gran cantidad de procesos esenciales para la planta (GERMAN ANTONIO MUNERA VELEZ, 2012).

Saturación de aluminio intercambiable

El aluminio es el elemento más limitante en el desarrollo y la producción de los cultivos en los suelos con altos niveles de acidez, lo que genera la reducción de solubilidad del fósforo, de micronutrientes en el suelo y las plantas, lo que provoca una alteración en el metabolismo general de los suelos, restringiendo el crecimiento. (Yurany Mendez, 2015).

Índice de calidad del suelo (SQI)

El término de índice de calidad del suelo, se comienza a usar cuando se observan ciertas cualidades en este, como mitigar contaminantes, favorecer la productividad sin deteriorar sus propiedades físico, químicas y biológicas. (Y. García, 2012). Es utilizado como un indicador multicriterio, para generar una evaluación sobre la calidad desde una perspectiva para la conservación de este mismo. (IGAC-CAR, 2021).

Degradación de los suelos

Los suelos están relacionados ampliamente con los ciclos hidrológicos, la biodiversidad, el abastecimiento de alimentos para los seres humanos y su salud (GroenigenbLijbertBrussaardb,

2018). Sin embargo, los servicios naturales que ofrece el suelo son habitualmente más diversos que los destinados a la agricultura, los cuales son aprovechados al máximo con el único objetivo de producción de alimentos, provocando que estos ecosistemas naturales se conviertan en agroecosistemas, que generan la pérdida de funciones en el suelo como la regulación hídrica, el hábitat para la fauna y flora, la descomposición y absorción de contaminantes, entre otros (GroenigenbLijbertBrussaardb, 2018). Por tal motivo, la calidad de los suelos se ha degradado, comparándose con las condiciones naturales del mismo.

Compactación

La compactación del suelo se relaciona con un aumento en la densidad o pérdida de volumen por fuerzas externas que se presentan en la superficie del suelo o habitualmente a ciertas profundidades por reiteradas actividades antrópicas como labores de cultivo o ganadería (IGAC-CAR, 2021) y como consecuencia se produce la variación del movimiento del agua, el aire y la alteración del desarrollo y crecimiento de las raíces de la vegetación. (IGAC-CAR, 2021).

Erosión

La erosión se determina como un conglomerado de procesos que se llevan a cabo en la corteza terrestre, los cuales generan la pérdida física del suelo en un nivel variable (T., 2002). Es el deterioro y degradación que se genera por el acto de elementos como la abrasiva por escorrentías de aguas superficiales o del viento, provocando un proceso de desprendimiento y arrastre apresurado de partículas del suelo. (IGAC-CAR, 2021).

Cobertura vegetal

El termino de cobertura vegetal hace mención a los distintos tipos de vegetación en una zona determinada, donde los factores climáticos, topográficos, edáficos y las actividades socioeconómicas de las poblaciones aledañas influyen en la dinámica de este ambiente de vegetación. Se entiende como todo lo que habita en un espacio en la capa superficial de los suelos, que constituye un ecosistema, la cobertura vegetal es fundamental para el ordenamiento territorial para realizar cartografía y crear las unidades cartográficas, ecológicas, zonas de sustentación económica, zonas de riesgo, espacios naturales, intervención antrópica y la evolución de los suelos. (Corporación de Cuencas del Tolima, 2014)

Cambios de uso de tierra

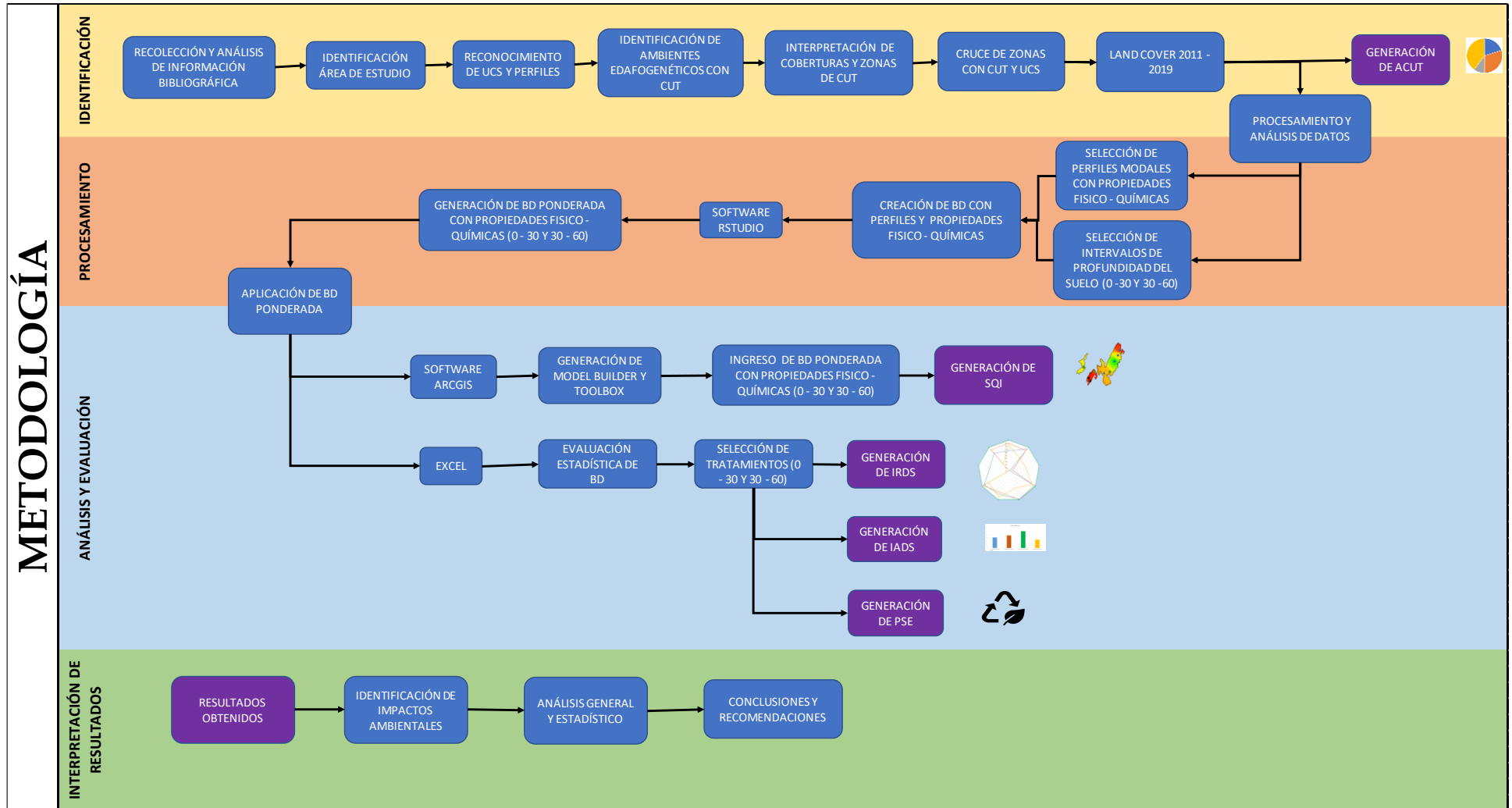
Los cambios de usos de tierra se definen como el cambio de la cobertura vegetal original de un área determinada afectando la calidad del ecosistema degradando la densidad y la composición de las especies presentes. Debido a esto los cambios de usos de tierra son especialmente uno de los factores que más perjudican a la calidad del suelo y su sostenibilidad en fundamentalmente en los páramos que son ecosistemas susceptibles a la degradación, donde por las actividades antrópicas modifican los cambios de usos de tierra como la ganadería, la agricultura, la industria y/o infraestructuras donde afectan de ampliamente las propiedades de los suelos. (IGAC-CAR, 2021).

METODOLOGÍA.

El proceso metodológico se realizó con base al protocolo realizado por el IGAC para la CAR denominado “PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO DE CAMBIO DE USO DE LA TIERRA EN ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS”. Éste se compone de cuatro fases: en la primera fase se planea el proceso de ejecución y desarrollo de la investigación. La segunda fase corresponde a la caracterización de los suelos y verificación de las coberturas y uso de las tierras denominadas de intensificación, que corresponde a una segunda fase de campo para la toma de datos específicos sobre algunas de las variables de los suelos. Finalmente, el protocolo dispone de una fase de análisis y evaluación, donde se consolidan los productos finales, tales como la cuantificación de áreas con cambio de uso de la tierra, el índice de calidad de suelos (SQI), el índice relativo y absoluto de degradación de suelos (IRDS y IADS) y la pérdida de los servicios ecosistémicos (PSE).

La presente investigación se desarrolló a partir de la información contenida en el estudio multitemporal de las coberturas y uso de la tierra (metodología Corine Land Cover) temporalidades 2011 y 2019 y el estudio detallado de suelos escala 1:10.000, elaborados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR; siendo importante tener en cuenta, que de las cuatro fases contempladas en el protocolo, se abordó la denominada análisis y evaluación. En el siguiente diagrama se visualiza el desarrollo del proceso metodológico para el análisis y evaluación de la información utilizada.

Ilustración 1. Metodología



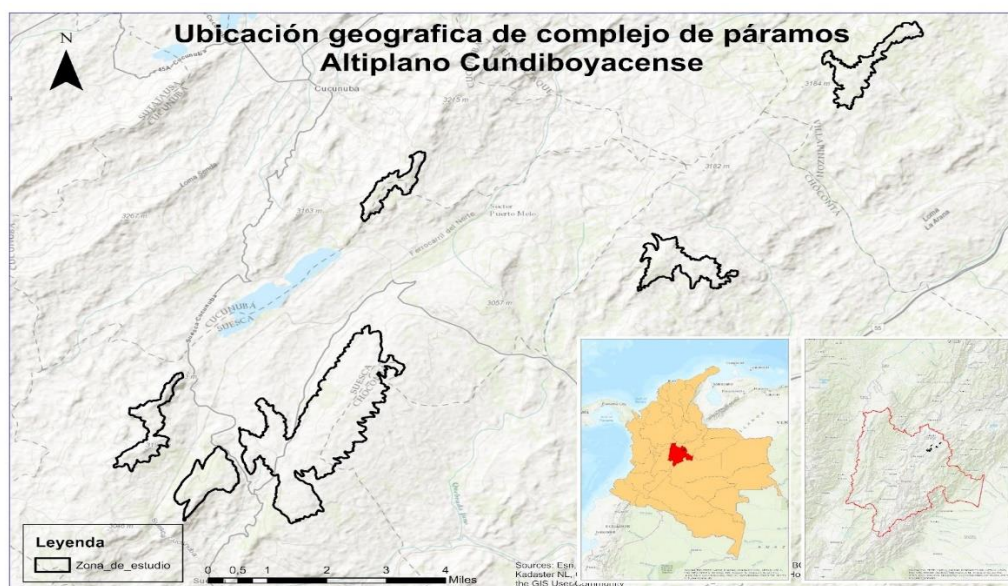
(Elaboración autores del documento, 2022)

Identificación

En esta primera etapa se inició con la identificación y localización geográfica de la zona de estudio (figura 1). Con la información compilada se inició con la revisión de ésta, identificando:

1. Las zonas donde hubo cambios en el uso de la tierra, comparando las capas de información sobre las coberturas y sus respectivos usos de los años 2011 y 2019.
2. Zonas homogéneas respecto a la geomorfología, el material de origen de los suelos, el clima y suelos existentes en estas zonas, denominadas para fines del protocolo como ambientes edafogenéticos.
3. Las unidades cartográficas de suelos-UCS y perfiles fueron seleccionadas a partir de la base de datos IGAC-CAR (ver anexo 1), teniendo en cuenta los perfiles modales de cada ambiente edafogenético como se evidencia en el anexo 2.
4. Usos de la tierra en cada uno de los ambientes edafogenéticos seleccionados.

Ilustración 2. Mapa Localización



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Procesamiento

En esta etapa, se procesó, analizó y seleccionó la información referente a las variables y propiedades de suelos más relevantes definidas por el protocolo, con las que se evaluó y determinó el efecto del cambio de uso de la tierra sobre los suelos. Estas fueron:

1. Carbón orgánico del suelo total.
2. Densidad aparente
3. Humedad aprovechable
4. Contenido de bases (Ca, K, Mg)
5. Saturación de aluminio intercambiable
6. Fósforo
7. Porosidad total

El análisis de estas variables y propiedades se realizó en los primeros 60 cm de espesor de los suelos predominantes, en los ambientes edafogenéticos seleccionados como fueron los Pachic Melanudands (Ver anexo 5, Ilustración 1). Luego de haber seleccionado estas variables, se creó la base de datos de los suelos con sus propiedades para darles manejo en el software RStudio, generándose un código para ponderar estas bases de datos y estandarizar las profundidades en que se encontraban los diferentes rangos de profundidad.

Análisis y evaluación

En la tercera etapa, la base de datos ponderada se procesó con el software ArcGIS. utilizando la herramienta Arc ToolBox para la estructuración del modelo (model builder), en el cual son ingresados los datos ponderados y el contorno del área de estudio para la obtención de los índices de calidad de suelos químicos, físicos y totales, con un peso previamente seleccionado por el panel de expertos del IGAC (Ver Tabla 1) para las profundidades establecidas anteriormente (0 a 30 cm y de 30 a 60 cm), las cuales son de gran utilidad al ser un indicador multicriterio que involucra criterios de diferente naturaleza para evaluar el estado actual de los suelos en las zonas de páramo.

Tabla 1. Variable del Suelo

Variable del suelo		
Propiedad Física		
	Peso (%)	Peso Total (%)
Densidad Aparente	34	57
Humedad Aprovechable	33	
Porosidad	33	
Propiedad Química		
	Peso (%)	Peso Total (%)
Carbono Orgánico del suelo (COS)	33	43
Saturación de Aluminio Intercambiable	23	
Contenido de Bases Totales	21	
Contenido de Fósforo Disponible	23	

Fuente: (IGAC-CAR, 2021)

Por otro lado, con el uso de la herramienta Excel, se hizo uso de las ecuaciones formuladas en el protocolo, donde se utilizaron los perfiles con sus respectivas propiedades fisicoquímicas ponderadas. Para la generación del índice relativo de degradación del suelo, surge como una metodología para cuantificar y visualizar los efectos del CUT sobre la degradación en ambientes edafogenéticos del páramo, tomándose las propiedades ponderadas tales como: la densidad aparente, humedad aprovechable, SAI, COS, BT, fósforo disponible y porosidad total en las dos profundidades seleccionadas (30 y 60 cm) gracias a la siguiente formula:

Ecuación 1. IRDS

$$IRDS_{ijk} = \left(1 - \left| \frac{\bar{X}_{ijk} - \bar{X}_{ijc}}{\bar{X}_{ijc}} \right| \right) \times 100$$

Elaboración de los autores del presente documento, tomado del protocolo IGAC-CAR

Leyenda:

- El $IRDS_{ijk}$ será el IRDS calculado para la variable priorizada i (ej. D. aparente), a una profundidad j (15 o 45 cm), del CUT k (ej. pastos, cultivos transitorios, etc.) en un ambiente edafogenético específico.
- El $\bar{X}_{ijk}$ es el promedio de la variable priorizada i, a una profundidad j, en el CUT k en un ambiente edafogenético específico.

- El $\bar{X}_{ijc}$ es el promedio de la variable priorizada i, a la profundidad j, en el tratamiento “control” (ej. bosque, área con vegetación herbácea, etc.) del respectivo ambiente edafogenético.
- El IRDS corresponderá a un valor estandarizado entre 0 y 100 (cuando $IRDS < 0$ entonces $IRDS = 0$) y sus resultados pueden ser graficados posteriormente por ambiente edafogenético y por profundidad mediante gráficos radiales

(IGAC-CAR, 2021)

Por otro lado, el índice absoluto de degradación de suelos pretende mostrar de manera integral la intensidad de degradación del suelo por algún CUT independiente al ambiente edafogenético.

Ecuación 2. IADS

$$IADS_{jk} = \frac{\text{Área}_{jk}}{\text{Área}_{Control}}$$

Elaboración de los autores del presente documento, tomado del protocolo IGAC-CAR

Leyenda:

Ecuación 3. Área

$$\text{Área}_{jk} = 0.5 \sum_i^n IADS_{ijk}^2 * \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right)$$

Elaboración de los autores del presente documento, tomado del protocolo IGAC-CAR

- Área_{jk} es el área del polígono del CUT k a una profundidad j.
- n es el número total de variables utilizadas (vértices del diagrama radial),

- $IADS_{ijk}$ el Índice relativo de degradación de suelos para la variable i, a una profundidad j, en el CUT k.
- Posteriormente, la razón entre la Área_{jk} (ej. Cultivo transitorio o pastos) y el $\text{Área}_{control}$ (ej. bosque a la profundidad j) será equivalente al Índice Absoluto de Degradación del Suelo (IADS)

Finalmente se evalúa la pérdida de servicios ecosistémicos, la cual determina la retención de humedad y el carbono orgánico del suelo (IGAC-CAR, 2021).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Generación del Land Cover

Para el desarrollo de esta metodología, se tomó como referencia el documento realizado por IGAC “Análisis Multitemporal de Coberturas de la Tierra Complejo de Paramos del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019” (Universidad Libre, 2011 - 2019), para la interpretación de las coberturas el IGAC generó mapas de coberturas de la tierra a escala 1:10.000 (Ministerio de Ambiente, 2013) haciendo uso del registro de códigos Corine Land Cover, los cuales fueron adaptados para Colombia (IDEAM, 2012), con un porcentaje de detalle que facilitará realizar las comparaciones respecto al CUT más relevantes en el páramo, tales como la ganadería, el uso agrícola, agropecuario, la minería no metalúrgica, entre otros.

De otra parte, para la apreciación de las dos temporalidades, se hizo uso de los archivos shapefile del uso del suelo del páramo del 2011 y otro en el 2019. Estos archivos contienen la información de las coberturas y uso de suelos, con sus respectivos niveles, los cuales se separaron en un nuevo polígono para poder apreciar las coberturas y el uso en cada temporalidad. De este modo, se organizó la información en una tabla de leyendas de cobertura y uso de tierra con la metodología Corine Land Cover.

El siguiente acto metodológico se divide en tres partes, la primera en la apreciación del área y su respectivo porcentaje para las coberturas y el uso que se está dando en estas zonas en el año 2011, la segunda es similar a la anterior, con la única diferencia que se realizó

para el año 2019 y por último se efectuó un análisis multitemporal 2011 - 2019, donde se evidencia el cambio de área por cobertura y uso de suelo en estos lapsos de tiempo.

Temporalidad 2011 resultados cuantitativos

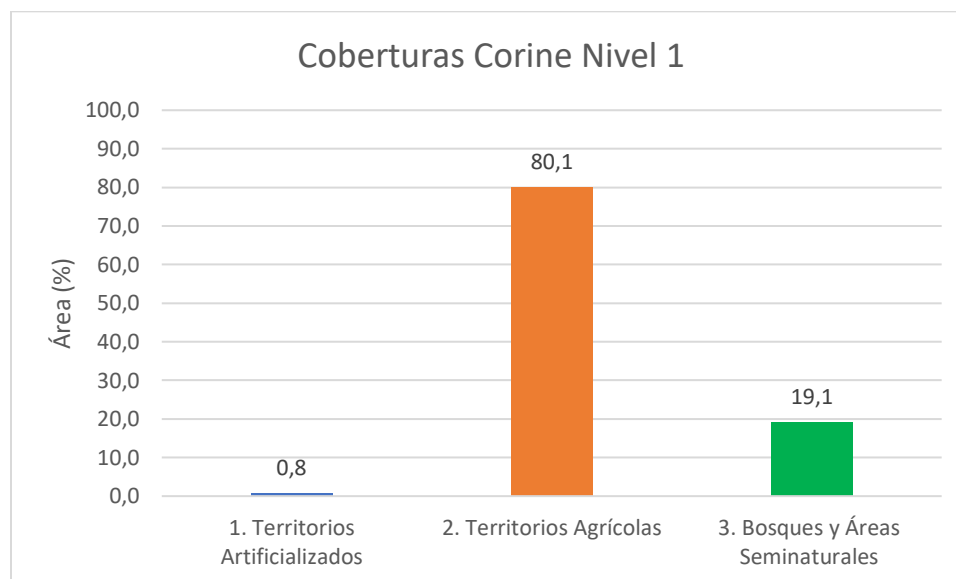
Tabla 2. Distribución de áreas para el nivel 1 de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011

Cobertura Corine Nivel 1	Área (ha)	Área (%)
1. Territorios Artificializados	15,8	0,8
2. Territorios Agrícolas	1554,5	80,1
3. Bosques y Áreas Seminaturales	371,0	19,1
Total	1941,3	100

Elaboración de los autores del presente documento, con fuente de datos del protocolo IGAC-CAR

En la Figura 1 y la Tabla 4 se logra evidenciar en que las coberturas más dominantes en el Nivel 1 se encuentran en los territorios agrícolas con 1.554,5 Ha, es decir el 80,1% del complejo están cubierto por coberturas de este grupo. En nivel de importancia en lo que corresponde a área le siguen los bosques y áreas seminaturales acumulando 371 Ha del área total, lo que corresponde al 19,1 % del Complejo Altiplano Cundiboyacense. En cuanto a los territorios artificializados, su porcentaje fue bajo debido en que la gran mayoría del área es rural y cuentan con mínimas zonas utilizadas para construcción, esta corresponde al 0,8% del complejo lo que corresponde a 15,8 Ha. Se debe tener en cuenta que las categorías equivalen a áreas húmedas y cuerpos de agua que no están representados en dentro del Complejo Altiplano Cundiboyacense.

Figura 1. Distribución de áreas para el nivel 1 de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense, temporalidad 2011



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

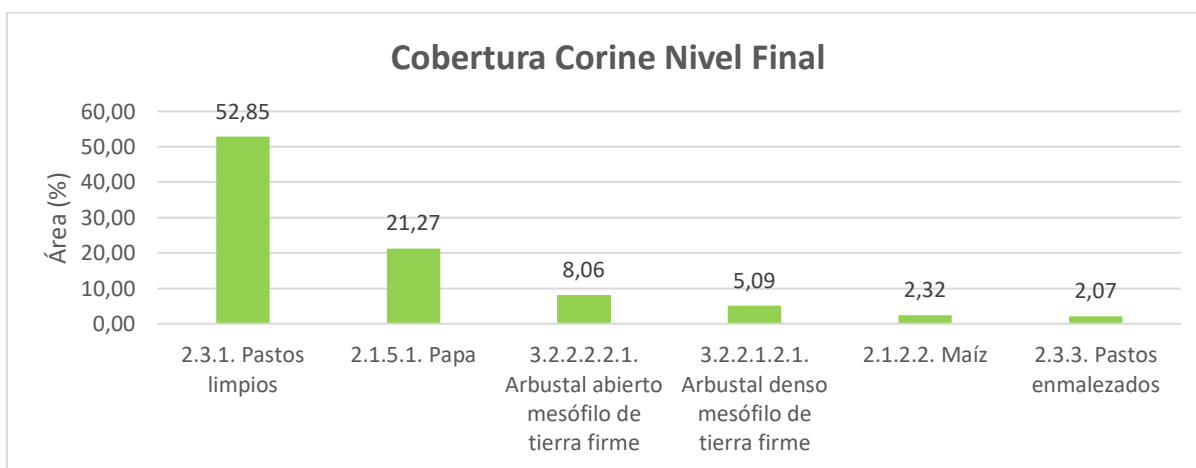
Dentro de los territorios agrícolas se destaca las unidades de pastos limpios y el cultivo de papa, los cuales en conjunto suman 1025,91 Ha, es decir, el 52,8% del área total de la zona en estudio y el 80,1% de los territorios agrícolas. Dentro de los bosques y las áreas seminaturales destacan: el arbustal abierto mesófilo con 161,3 Ha y el arbustal denso mesófilo con 98,8 Ha, los cuales en conjunto ocupan el 13,4% del área del complejo y el 19,1% de las áreas pertenecientes a la categoría de bosques y áreas seminaturales. Finalmente, dentro de los territorios artificializados, destaca el nivel de vías sin pavimentar el cual es el 87,5% de la categoría y 0,7% del total.

En la Figura 2 y la Tabla 5 se observan las diez coberturas con mayor cubrimiento del área en el nivel final de interpretación; es así como la cobertura de mayor importancia corresponde a los pastos limpios y al cultivo de papa (*Solanum sp*) con el 52,8% y el 21,3% del área del Complejo Altiplano Cundiboyacense, al sumar ambas categorías obtenemos un

porcentaje de ocupación del 74,1% del área de estudio, lo cual refleja su dominancia dentro del complejo. A continuación, se encuentran las categorías de arbustales mesófilos de tierra firme tanto el denso como el abierto para los cuales se calcularon valores de 8,1% y 5,1% respectivamente constituyéndose como las categorías de bosques y áreas seminaturales de mayor representatividad.

Las restantes 6 categorías presentan valores inferiores al 3,0% y en conjunto suman el 5,8% del área de la zona de estudio, estas son en orden descendente Pastos arbolados, Acacia, Herbazal denso de tierra firme con arbustos, Bosque de galería con arbustal y herbazal, vía sin pavimentar, vegetación secundaria baja, árboles plantados y vegetación natural. Finalmente, las restantes 14 categorías que se enumeran en la Tabla 5 suman 2,5% del área del complejo.

Figura 2. Distribución de áreas para las seis coberturas en el nivel final de clasificación CORINE, Complejo Altiplano Cundiboyacense, temporalidad 2011



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Tabla 3. Distribución de áreas para las coberturas en el nivel final de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense, temporalidad 2011

Cobertura Nivel Final	Área (ha)	Área (%)
2.3.1. Pastos limpios	1025,9	52,85
2.1.5.1. Papa	412,9	21,27
3.2.2.2.1. Arbustal abierto mesófilo de tierra firme	156,4	8,06
3.2.2.1.2.1. Arbustal denso mesófilo de tierra firme	98,8	5,09
2.1.2.2. Maíz	45,0	2,32
2.3.3. Pastos enmalezados	40,1	2,07
2.3.2. Pastos arbolados	26,9	1,38
3.1.5.2.4. Acacia	19,2	0,99
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	16,0	0,82
3.1.4.3. Bosque de galería con arbustal y herbazal	15,0	0,77
1.2.2.1.1.2. Via sin pavimentar	14,3	0,74
3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	11,4	0,59
3.1.5.3.2. Árboles plantados y Vegetación natural	10,5	0,54
3.3.2.1. Afloramiento rocoso masivo	9,9	0,51
3.1.5.3.1. Mezcla de Árboles plantados	8,5	0,44
3.1.5.1.1. Pino	6,5	0,33
3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	6,3	0,33
3.2.2.2.2.3. Arbustal abierto mesófilo rocoso	4,9	0,25
3.1.5.2.2. Eucalipto	3,7	0,19
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2,3	0,12
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1,8	0,09
1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	1,5	0,08
3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso	1,4	0,07
2.1.3.7. Arveja	0,7	0,03
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0,7	0,03
3.3.2.2. Afloramiento rocoso fragmentado	0,3	0,02
3.3.3.2. Remoción en masa	0,3	0,02
Total	1941,3	100,0

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

El comportamiento del complejo en cuanto a la frecuencia relativa está determinado por las dinámicas de los pastos limpios y cultivos de papa (*Solanum sp*) los cuales afectan las coberturas naturales más relevantes para la zona de estudios desfragmentándolas y disgregándolas gradualmente en lotes más pequeños. Visiblemente se encontró que las demás coberturas muestran frecuencias muchísimo más bajas presentando valores bajo el 3,0%, en

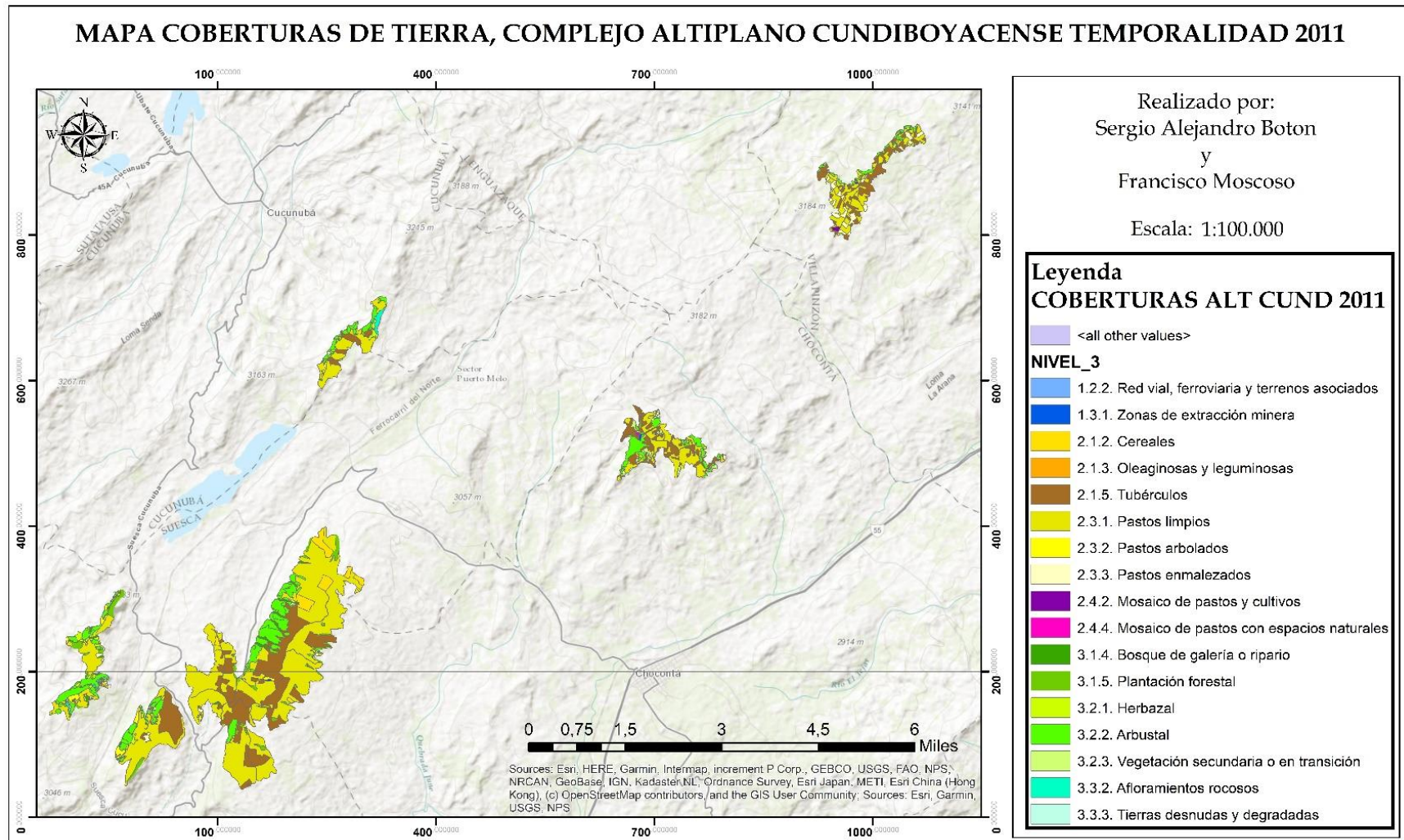
este umbral se encuentran coberturas como: Vegetación secundaria baja, Pastos arbolados, Herbazal denso de tierra firme con arbustos, Acacia, Arbustal abierto mesófilo rocoso, Maíz y Herbazal denso de tierra firme no arbolado. En la Figura 3 se puede observar el mapa de coberturas para el Complejo Altiplano Cundiboyacense, donde se aprecia el dominio de las siguientes coberturas: Pastos limpios, cultivo de papa (*Solanum* sp), Arbustales mesófilos de tierra firme (densos y abiertos), Pastos enmalezados, y en menor medida coberturas como Pastos arbolados, Acacia, Herbazal denso de tierra firme con arbustos, Bosque de galería con arbustal y herbazal. Las zonas de Bosques y áreas seminaturales como los arbustales se encuentran ubicadas en su mayoría en la parte alta del complejo rodeada por los cultivos de papa (*Solanum* sp) y áreas de pastos limpios que generan una importante presión antrópica sobre estas coberturas naturales. En la Tabla 6 se encuentra la leyenda de coberturas final incluyendo los 7 niveles de clasificación, los usos determinados para cada cobertura y el área de cubrimiento con el equivalente porcentual.

Tabla 4. Leyenda de Coberturas y uso de la tierra CORINE Land Cover, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	NIVEL 7	USO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)		
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	1.2.2.1.1. Red vial	1.2.2.1.1.2. Vías sin pavimentar		10.5.1.2. Transporte secundario	14,3	0,7		
	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción				10.6.2. Minería no metalúrgica	1,5	0,1		
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.2. Cereales	2.1.2.2. Maíz				1.1. Uso agrícola temporal	45,0	2,3		
		2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	2.1.3.7. Arveja					0,7	0,0		
		2.1.5. Tubérculos	2.1.5.1. Papa					412,9	21,3		
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios					3.1. Ganado	1025,9	52,8		
		2.3.2. Pastos arbolados						26,9	1,4		
		2.3.3. Pastos enmalezados						40,1	2,1		
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos					4. Rotación y tierras en descanso	2,3	0,1		
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales						2,3	0,1		
								5.1. Agrosilvopastoril	0,7	0,0	
	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1. Bosques	3.1.4. Bosque de galería o ripario	3.1.4.3. Bosque de galería con arbustal y herbazal				6.1. Manejo forestal protector	15,0	0,8	
3.1.5. Plantación forestal			3.1.5.1. Plantación de coníferas	3.1.5.1.1. Pino					6.2.1. Plantaciones forestales protectoras – productoras	6,5	0,3
			3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	3.1.5.2.2. Eucalipto						3,7	0,2
				3.1.5.2.4. Acacia						19,2	1,0
				3.1.5.3. Plantación mixta						3.1.5.3.1. Mezcla de Árboles plantados	8,5
			3.1.5.3.2. Árboles plantados y vegetación natural	10,5	0,5						
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva		3.2.1. Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	7.2.3. Abastecimiento del recurso hídrico	1,8	0,1		
								16,0	0,8		
			3.2.1.2. Herbazal abierto	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso		1,4	0,1				
		3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso	3.2.2.1.2. Arbustal denso mesófilo	3.2.2.1.2.1. Arbustal denso mesófilo de tierra firme	7.2.2. Control de erosión	98,8	5,1			
					3.2.2.2.1. Arbustal abierto mesófilo de tierra firme		156,4	8,1			
			3.2.2.2. Arbustal abierto	3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo	3.2.2.2.3. Arbustal abierto mesófilo rocoso	7.2.4. Formación de suelo	4,9	0,3			
						6.2. Manejo forestal protector - productor	6,3	0,3			
		3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.2. Afloramientos rocosos	3.3.2.1. Afloramiento rocoso masivo				7.3.1. Ecoturismo	9,9	0,5	
				3.3.2.2. Afloramiento rocoso fragmentado					0,3	0,0	
			3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	3.3.3.2. Remoción en masa				8.1.3. Dinámicas denudacionales	0,3	0,0	

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Figura 3. Mapa de coberturas de la tierra, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011



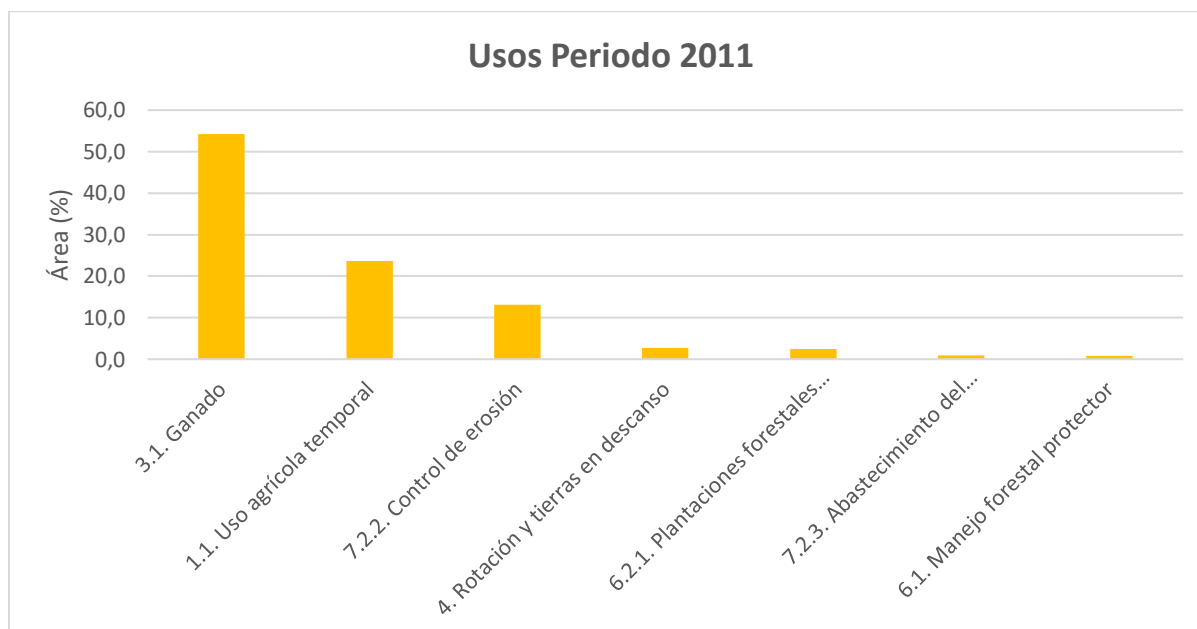
Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Tabla 5. Coberturas de la tierra nivel 3 CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011

	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
	1.3.1. Zonas de extracción minera
	2.1.2. Cereales
	2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
	2.1.5. Tubérculos
	2.3.1. Pastos limpios
	2.3.2. Pastos arbolados
	2.3.3. Pastos enmalezados
	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
	3.1.4. Bosque de galería o ripario
	3.1.5. Plantación forestal
	3.2.1. Herbazal
	3.2.2. Arbustal
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
	3.3.2. Afloramientos rocosos
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Figura 4. Distribución porcentual para los usos más representativos, complejo Alto Cundiboyacense, temporalidad 2011



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

De acuerdo con los usos de tierra en el año 2011 se describieron las coberturas para el páramo Complejo Altiplano Cundiboyacense, mostrando la zona de estudio, donde se destaca el área con el uso dominante, el cual es la de ganado con un 54,2% el cual tiene a los lácteos como objeto de producción, por otra parte, el uso agrícola temporal con un 23,6% es el siguiente uso de suelo con más predominancia, constituido por cultivos de papa, seguido de este con un 13,1% corresponde a zonas donde se controla la erosión con arbustales abiertos y densos, manteniendo el sustrato del suelo. Luego con un 2,6% correspondiente a la rotación y tierras en descanso en donde se encuentran los pastos enmalezados y la vegetación secundaria baja, lo que es similar al área con un 2,4 % en donde se realizan plantaciones forestales protectoras y productoras y finalmente con un 0,9% pertenecientes a las coberturas que proveen el abastecimiento del recurso hídrico, las cuales corresponden a la vegetación predominante de los páramos, es decir, los herbazales densos.

Por otro lado se evidencian usos con áreas más bajas dentro de la zona de estudio, las cuales tienen una gran importancia al tener un manejo protector forestal protector y productor junto con un servicio ecosistémico como la formación del suelo como los herbazales rocosos, cuentan con un 0,3% del área cada uno, además de los usos como el transporte secundario, el ecoturismo, el uso agropecuario, la minería no metalúrgica, el uso agrosilvopastoril y las dinámicas denudacionales, que evidencian la intervención por parte del hombre que ha sufrido la zona, dejando para plantear programas o actividades de menor impacto.

Tabla 6. Distribución de áreas usos del suelo, Complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2011

Uso	Área (ha)	Área (%)
3.1. Ganado	1052,8	54,2
1.1. Uso agrícola temporal	458,6	23,6
7.2.2. Control de erosión	255,2	13,1
4. Rotación y tierras en descanso	51,5	2,7
6.2.1. Plantaciones forestales protector	48,4	2,5
7.2.3. Abastecimiento del recurso hídrico	17,8	0,9
6.1. Manejo forestal protector	15,0	0,8
10.5.1.2. Transporte secundario	14,3	0,7
7.3.1. Ecoturismo	10,2	0,5
7.2.4. Formación de suelo	6,4	0,3
6.2. Manejo forestal protector - producción	6,3	0,3
2. Agropecuario	2,3	0,1
10.6.2. Minería no metalúrgica	1,5	0,1
5.1. Agrosilvopastoril	0,7	0,0
8.1.3. Dinámicas denudacionales	0,3	0,0
Total	1941,3	100,0

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Temporalidad 2019 resultados cuantitativos

Para el año 2019, se mostraron cambios producto de la dinámica humana en el complejo de páramos Altiplano Cundiboyacense, las cuales se comprenden a las diferentes actividades y alteraciones que atenten con las coberturas naturales propias del ecosistema paramo. En la tabla 9 se presentan las categorías pertenecientes a la leyenda Corine Land Cover, mostrando la predominancia de las coberturas de territorios agrícolas, seguido de bosques y áreas seminaturales y finalmente con territorios artificializados

Tabla 7. Distribución de áreas para el nivel 1 de clasificación CORINE, complejos Altiplano cundiboyacense temporalidad 2019

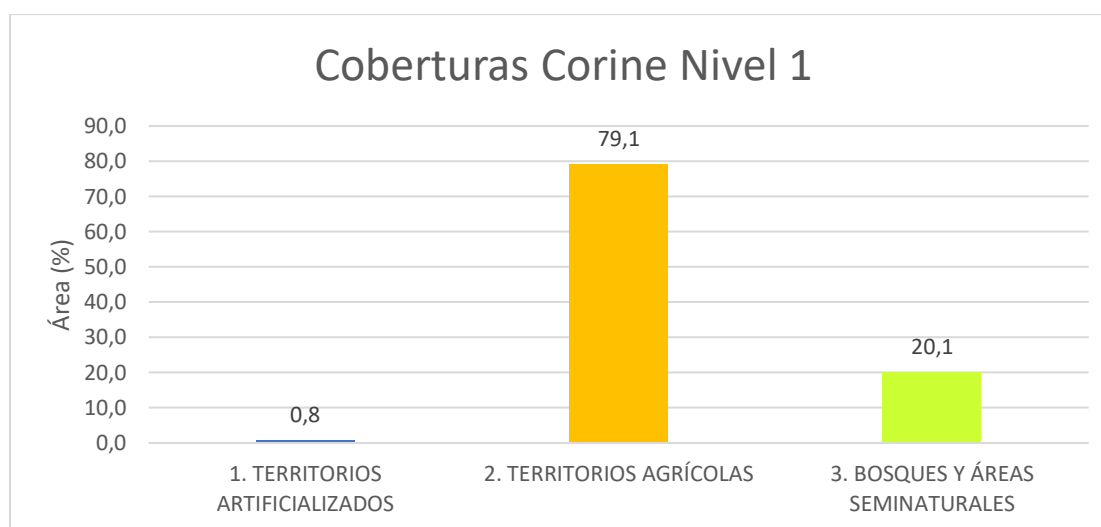
Cobertura CORINE Nivel 1	Área (Ha)	Área (%)
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	15,6	0,8
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	1535,8	79,1
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	389,9	20,1
Total	1941,3	100

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

La distribución del porcentaje de áreas para el nivel 1 de la clasificación Corine se muestra en la Figura 5, en donde se evidencia que el mayor porcentaje de área está ocupado por los territorios agrícolas con 1535,8 Ha lo que equivale al 79,1 % de la zona de estudio. En segunda instancia se encuentran los bosques y áreas seminaturales con 389,9 Ha, correspondiente al 20,1% y finalmente las coberturas correspondientes a los territorios artificializados ocupan 15,6 Ha, es decir el 0,8% del total de la zona lo que equivale a territorios usados para viviendas o industrias; su bajo porcentaje se debe a que la mayor parte de la zona es rural. Es importante aclarar que las

categorías correspondientes a superficies de agua y áreas húmedas, no se encuentran reflejadas dentro de Complejo Altiplano Cundiboyacense.

Figura 5. Distribución de áreas para el nivel 1 de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

La representación de las coberturas está dada por la predominancia de la categoría de territorios agrícolas, los cuales están conformados en su mayoría por pastos limpios con 725,2 Ha, es decir, el 37,4% ,la unidad con mayor frecuencia contando con 110 polígonos de los 261 que se encuentran en esta categoría, seguido de los pastos enmalezados con 347,1 Ha, esto es el 17,9 % que cuenta con 44 polígonos y los cultivos de papa (*Solanum sp*) que poseen 275,7 Ha, en otros términos el 14,2% conformados por 74 polígonos del total de la zona de estudio, explicando así la presencia en la zona de pequeños cultivos de papa (*Solanum sp*) que se van rotando todos los años, generando la aparición de ciclos de lotes de pastos enmalezados y pastos limpios.

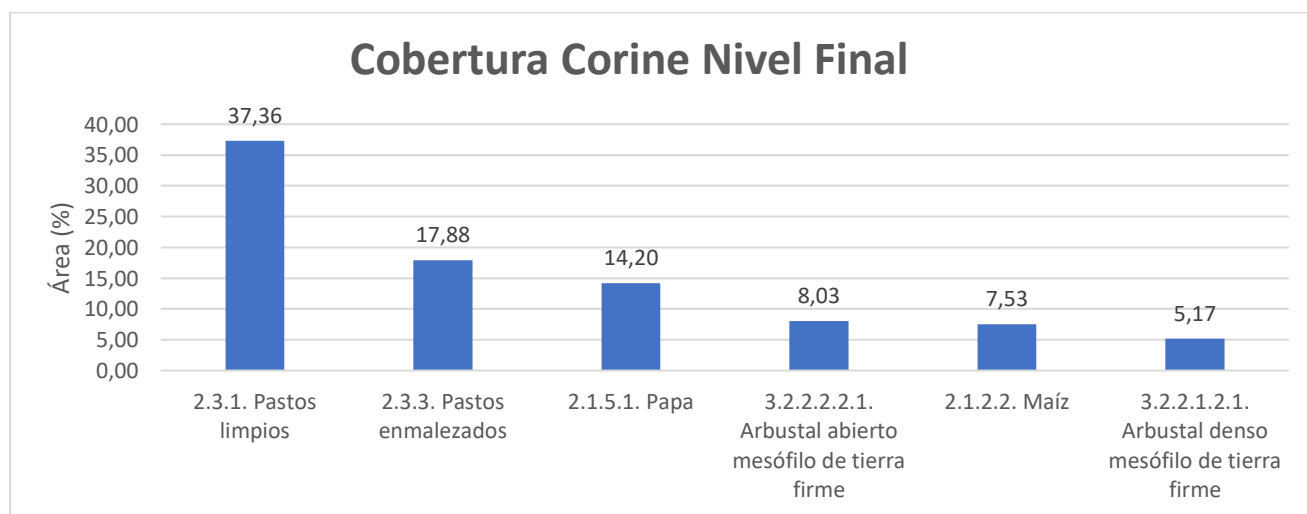
Dentro de la categoría de bosques y áreas seminaturales, sobresalen las regiones que poseen un área arbustal abierto mesófilo con 155,9 Ha y arbustal denso mesófilo con 100,4 Ha

equivalentes a un 8% y 5,2% respecto al porcentaje de área total de la zona de estudio además de contar con 69 y 31 polígonos de los 188 que conforman esta categoría. Este comportamiento muestra la presencia de estas coberturas con los cultivos de papa (*solanum sp*) y pastos limpios, en donde estos generalmente presentan una inclinación a crecer en lotes de un tamaño reducido, generando la fragmentación de las coberturas arbustal abierto y denso mesófilo de tierra firme.

Para finalizar dentro de la categoría de los territorios artificializados, destacan las vías sin pavimentar con 14,1 Ha y un 0,7% del área total, en esta categoría cabe resaltar su bajo porcentaje de cubrimiento, ya que la mayor parte al ser rural es usada para vías destapadas y en menor cantidad para construcciones.

Los porcentajes anteriormente mencionados son representados en la figura 6. Los niveles restantes inferiores a 2%, en conjunto suman 9,8% del área total de la zona de estudio, los cuales, los más representativos son el mosaico de pastos y cultivos, los pastos arbolados, la acacia, el herbazal denso de tierra firme con arbustos y los restantes 20 niveles se enumeran en la tabla 10

Figura 6. Distribución de áreas para las seis coberturas en el nivel final de clasificación CORINE, complejo en el Complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Tabla 8. Distribución de áreas para las coberturas en el nivel final de clasificación CORINE, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019

Cobertura Nivel Final	Área (ha)	Área (%)
2.3.1. Pastos limpios	725,2	37,36
2.3.3. Pastos enmalezados	347,1	17,88
2.1.5.1. Papa	275,7	14,20
3.2.2.2.2.1. Arbustal abierto mesófilo de tierra firme	155,9	8,03
2.1.2.2. Maíz	146,1	7,53
3.2.2.1.2.1. Arbustal denso mesófilo de tierra firme	100,4	5,17
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	19,8	1,02
2.3.2. Pastos arbolados	19,8	1,02
3.1.5.2.4. Acacia	18,3	0,94
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	17,4	0,89
3.1.4.3. Bosque de galería con arbustal y herbazal	15,0	0,77
1.2.2.1.1.2. Vía sin pavimentar	14,1	0,73
3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	12,9	0,66
3.1.5.3.2. Árboles plantados y vegetación natural	11,0	0,57
3.3.2.1. Afloramiento rocoso masivo	9,9	0,51
3.1.5.3.1. Mezcla de Árboles plantados	8,5	0,44
3.2.2.2.2.3. Arbustal abierto mesófilo rocoso	8,5	0,44
3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	7,0	0,36
3.1.5.1.1. Pino	6,5	0,33
3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	5,0	0,26
3.1.5.2.2. Eucalipto	3,7	0,19
3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	3,6	0,18
3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso	2,3	0,12
3.1.5.2.1. Otras plantaciones de latifoliadas	1,9	0,10
3.2.1.1.1.1.1. Herbazal denso alto de tierra firme no arbolado	1,8	0,09
1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	1,5	0,08
2.1.3.7. Arveja	0,7	0,03
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0,7	0,03
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	0,7	0,03
3.3.2.2. Afloramiento rocoso fragmentado	0,3	0,02
Total	1941,3	100,00

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

La distribución que han tenido las unidades de cobertura en el complejo muestra una considerable intervención, por parte de las actividades pecuarias y agrícolas que se han tenido sobre estas tierras. La vegetación propia del páramo solo se encuentra un 20% de esta en estado de mínima intervención. En cuanto a la distribución espacial del páramo, se evidencia que la conectividad entre los parches se ha ido perdiendo, mostrando un punto de inflexión en el cual no se pueda recuperar la resiliencia que posea este ecosistema. Además, las coberturas presentan frecuencias menores o iguales al 3% siendo 16 de las 30 categorías finales es decir un 53,3% de estas están valores bajos, evidenciando la dominancia de solo unas categorías dentro de toda el área de estudio (Tabla 11).

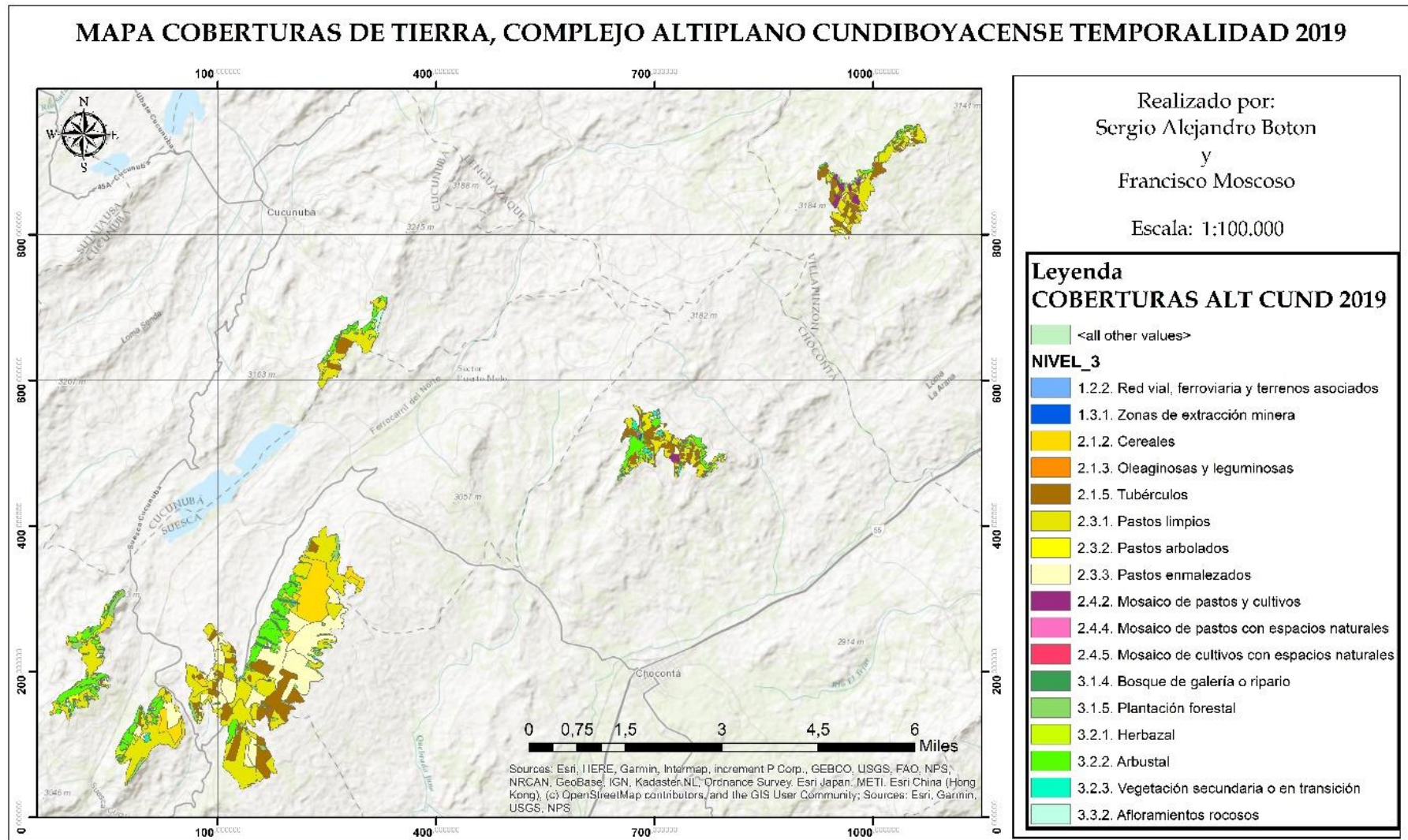
Para poder apreciar el dominio de las coberturas de pastos limpios y enmalezados, cultivos de papa (*solanum* sp), arbustales abiertos y densos mesófilos de tierra firme y demás categorías, se puede observar en la Figura 7. Las zonas de bosques y áreas seminaturales se al encontrarse rodeados por áreas de cultivos de papa y pastos limpios, causan una considerable presión antrópica sobre estas coberturas naturales.

Tabla 9. Leyenda de Coberturas y uso de la tierra CORINE Land Cover complejo Altiplano Cundiboyacense, temporalidad 2019

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	NIVEL 7	USO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
1. TERRITORIOS ARTIFICIALES	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	1.2.2.1.1. Red vial	1.2.2.1.1.2. Vías sin pavimentar		10.5.1.2. Transporte secundario	14,1	0,7
	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción				10.6.2. Minería no metalúrgica	1,5	0,1
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.2. Cereales	2.1.2.2. Maíz				1.1. Uso agrícola temporal	146,1	7,5
		2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	2.1.3.7. Arveja					0,7	0,0
		2.1.5. Tubérculos	2.1.5.1. Papa					275,7	14,2
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios					3.1. Ganado	725,2	37,4
		2.3.2. Pastos arbolados						19,8	1,0
		2.3.3. Pastos enmalezados					4. Rotación y tierras en descanso	347,1	17,9
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos					2. Agropecuario	19,8	1,0
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales					5.1. Agrosilvopastoril	0,7	0,0
		2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales					5. Agroforestal	0,7	0,0
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1. Bosques	3.1.4. Bosque de galería o ripario	3.1.4.3. Bosque de galería con arbustal y herbazal				6.1. Manejo forestal protector	15,0	0,8
		3.1.5. Plantación forestal	3.1.5.1. Plantación de coníferas	3.1.5.1.1. Pino			6.2.1. Plantaciones forestales protectoras - productoras	6,5	0,3
			3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	3.1.5.2.1. Otras plantaciones de latifoliadas				3,6	0,2
				3.1.5.2.2. Eucalipto				1,9	0,1
				3.1.5.2.4. Acacia				3,7	0,2
			3.1.5.3. Plantación mixta	3.1.5.3.1. Mezcla de Árboles plantados				18,3	0,9
				3.1.5.3.2. Árboles plantados y vegetación natural				8,5	0,4
								11,0	0,6
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	3.2.1.1.1.1.1. Herbazal denso alto de tierra firme no arbolado	7.2.3. Abastecimiento del recurso hídrico	1,8	0,1
					3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado			5,0	0,3
					3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos			17,4	0,9
			3.2.1.2. Herbazal abierto	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso			7.2.4. Formación de suelo	2,3	0,1
		3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso	3.2.2.1.2. Arbustal denso mesófilo	3.2.2.1.2.1. Arbustal denso mesófilo de tierra firme		7.2.2. Control de erosión	100,4	5,2
								155,9	8,0
			3.2.2.2. Arbustal abierto	3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo	3.2.2.2.2.1. Arbustal abierto mesófilo de tierra firme		7.2.4. Formación de suelo	8,5	0,4
					3.2.2.2.2.3. Arbustal abierto mesófilo rocoso				
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta				6.2. Manejo forestal protector - productor	7,01626	0,4
			3.2.3.2. Vegetación secundaria baja				4. Rotación y tierras en descanso	12,9074	0,7
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.2. Afloramientos rocosos	3.3.2.1. Afloramiento rocoso masivo	3.3.2.1. Afloramiento rocoso masivo			7.3.1. Ecoturismo	9,91878	0,5
				3.3.2.2. Afloramiento rocoso fragmentado				0,32243	0,0

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Figura 7. Mapa de coberturas de la tierra complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

En la Tabla 12 se presenta la tabla de colores en donde se resumen las coberturas encontradas para el complejo según metodología CORINE Land Cover a Nivel 3 de interpretación, de esta manera podemos observar que ha este nivel se encuentran presentes 17 categorías de clasificación representadas por sus respectivos colores.

Tabla 10. Coberturas

	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
	1.3.1. Zonas de extracción minera
	2.1.2. Cereales
	2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
	2.1.5. Tubérculos
	2.3.1. Pastos limpios
	2.3.2. Pastos arbolados
	2.3.3. Pastos enmalezados
	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales
	3.1.4. Bosque de galería o ripario
	3.1.5. Plantación forestal
	3.2.1. Herbazal
	3.2.2. Arbustal
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
	3.3.2. Afloramientos rocosos

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Tabla 11. Distribución de áreas usos del suelo, complejo Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019

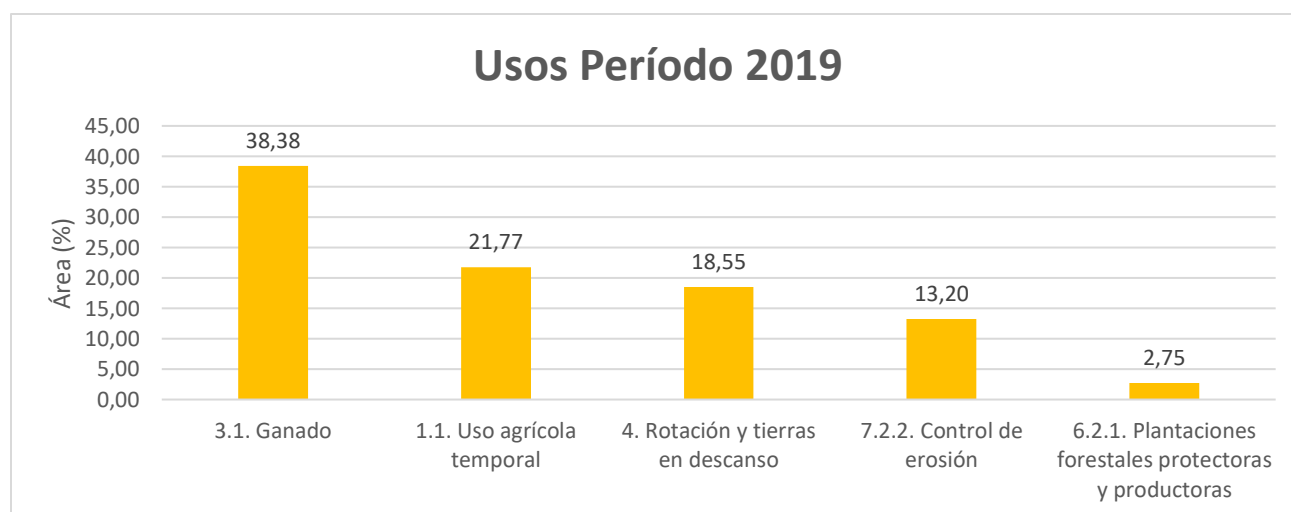
Uso	Área (ha)	Área (%)
3.1. Ganado	745,0	38,38
1.1. Uso agrícola temporal	422,5	21,77
4. Rotación y tierras en descanso	360,0	18,55
7.2.2. Control de erosión	256,3	13,20
6.2.1. Plantaciones forestales protectoras y productoras	53,5	2,75
7.2.3. Abastecimiento del recurso hídrico	24,2	1,25
2. Agropecuario	19,8	1,02
6.1. Manejo forestal protector	15,0	0,77
10.5.1.2. Transporte secundario	14,1	0,73
7.2.4. Formación de suelo	10,8	0,56
7.3.1. Ecoturismo	10,2	0,53
6.2. Manejo forestal protector - productor	7,0	0,36
10.6.2. Minería no metalúrgica	1,5	0,08
5.1 Agrosilvopastoril	0,7	0,03
5. Agroforestal	0,7	0,03
Total	1941,3	100,0

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

De acuerdo con la Tabla 13, se detallan 15 usos de tierra identificados en el complejo para la temporalidad 2019, en cuanto a la Figura 8 se identifican los valores más representativos de estos usos en cuanto al área ocupada dentro del complejo. El uso más representativo es el ganado con la presencia de pastos limpios y arbolados con un 38,4% del total de la zona de estudio, seguido del uso agrícola temporal con un 21,7%. Las áreas con uso del control de erosión, muestra un 79,7% del total de la categoría de bosques y áreas seminaturales, lo que corresponde a las áreas arbustales, el porcentaje restante está repartido entre áreas con vegetación herbácea y áreas abiertas, sin o con poca vegetación con uso de plantaciones forestales protectoras – productoras y abastecimiento del recurso hídrico como las más representativas

De acuerdo con ambos periodos de tiempo se puede evidenciar que es el primer uso as extendido en el complejo, existiendo un aumento de 308,5 Ha, es decir del 15,9% en rotación y tierras en descanso, y un mantenimiento de las áreas del manejo forestal protector, ecoturismo, minería no metalúrgica y el uso agrosilvopastoril.

Figura 8. Distribución de áreas para los principales seis usos del suelo, Altiplano Cundiboyacense temporalidad 2019

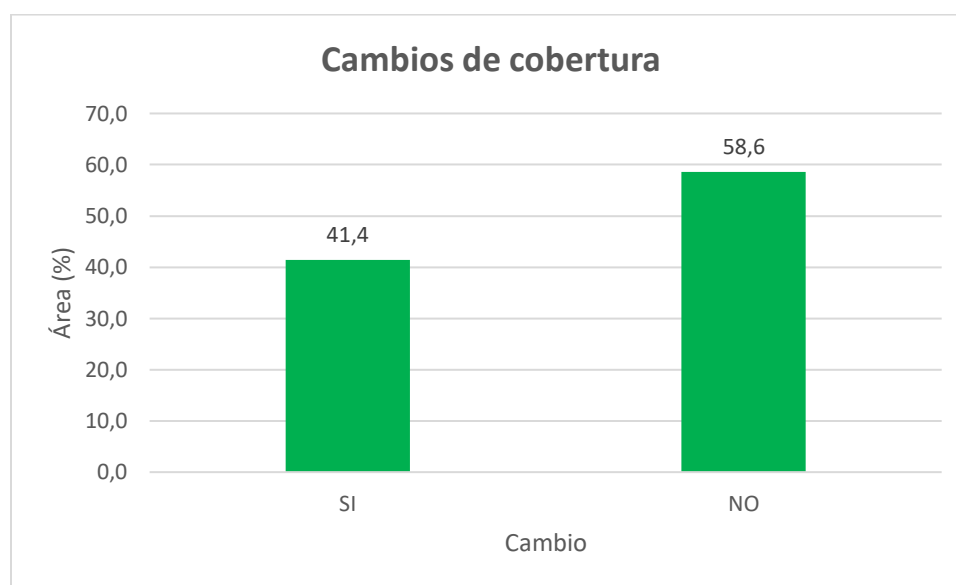


Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Análisis multitemporal

Las actividades humanas en la producción agrícola y pecuaria han dado paso a cambios en la cobertura de tierra como lo es el caso del complejo de paramos Altiplano Cundiboyacense. Para observar dicho cambio se ha mostrado las zonas que presenciaron un cambio y otras que no, siendo el 58,6% del área que sufrió dicho cambio y 41,4% el cual no se alteró en el transcurso del 2011 al 2019. Ver Figura 9

Figura 9. Distribución de porcentaje de los cambios de cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense del periodo comprendido entre 2011 y 2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Cambio por Cobertura

Dentro de las temporalidades 2011 al 2019, las coberturas que presentaron más cambio acorde con la Tabla 14, fue una disminución de 300,7 Ha de pastos limpios, seguido de 137,2 Ha de tubérculos, en especial el cultivo de papa. Por otro lado, las coberturas que presentaron un

aumento más significativo de área dentro de este periodo de tiempo fueron las zonas con pastos enmalezados, los cuales aumentaron 307 Ha, en sucesión las coberturas con cereales como las de maíz tuvieron una subida de 101,1 Ha.

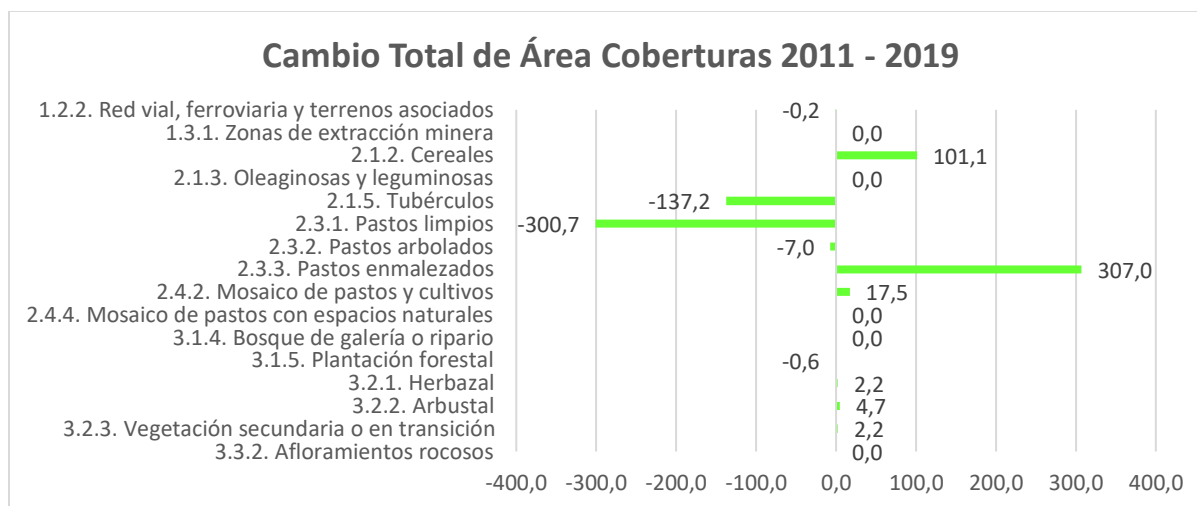
Tabla 12. Cambio total de área por cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019

Cobertura	ÁREA (Ha) 2011	ÁREA (Ha) 2019	Diferencia de área (ha)
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	14,3	14,1	-0,2
1.3.1. Zonas de extracción minera	1,5	1,5	0,0
2.1.2. Cereales	45,0	146,1	101,1
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	0,7	0,7	0,0
2.1.5. Tubérculos	412,9	275,7	-137,2
2.3.1. Pastos limpios	1025,9	725,2	-300,7
2.3.2. Pastos arbolados	26,9	19,8	-7,0
2.3.3. Pastos enmalezados	40,1	347,1	307,0
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2,3	19,8	17,5
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0,7	0,7	0,0
3.1.4. Bosque de galería o ripario	15,0	15,0	0,0
3.1.5. Plantación forestal	48,4	47,9	-0,6
3.2.1. Herbazal	19,2	21,5	2,2
3.2.2. Arbustal	260,2	264,8	4,7
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	17,7	19,9	2,2
3.3.2. Afloramientos rocosos	10,2	10,2	0,0

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

De acuerdo con la figura 10, se puede evidenciar gráficamente los cambios descritos en la tabla anterior, en donde adicionalmente se puede mostrar el aumento de los mosaicos de pastos y cultivos en 17,5 Ha

Figura 10. Cambio total de área por cobertura en el Complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Para poder entender el cambio dentro de estas temporalidades, se debe conocer que coberturas contribuyeron al cambio del periodo 2019. Con la ayuda de la Tabla 15, se puede evidenciar que el mayor cambio de coberturas fue de pastos limpios a pastos enmalezados con 202,04 Ha, seguido del cambio de pastos limpios a tubérculos con una variación de 142,93 Ha y viceversa con 133,37 Ha de tubérculos a pastos limpios. Por otro lado, se podría decir que los tubérculos cedieron 133,37 Ha a los pastos limpios y 123,02 Ha a pastos enmalezados.

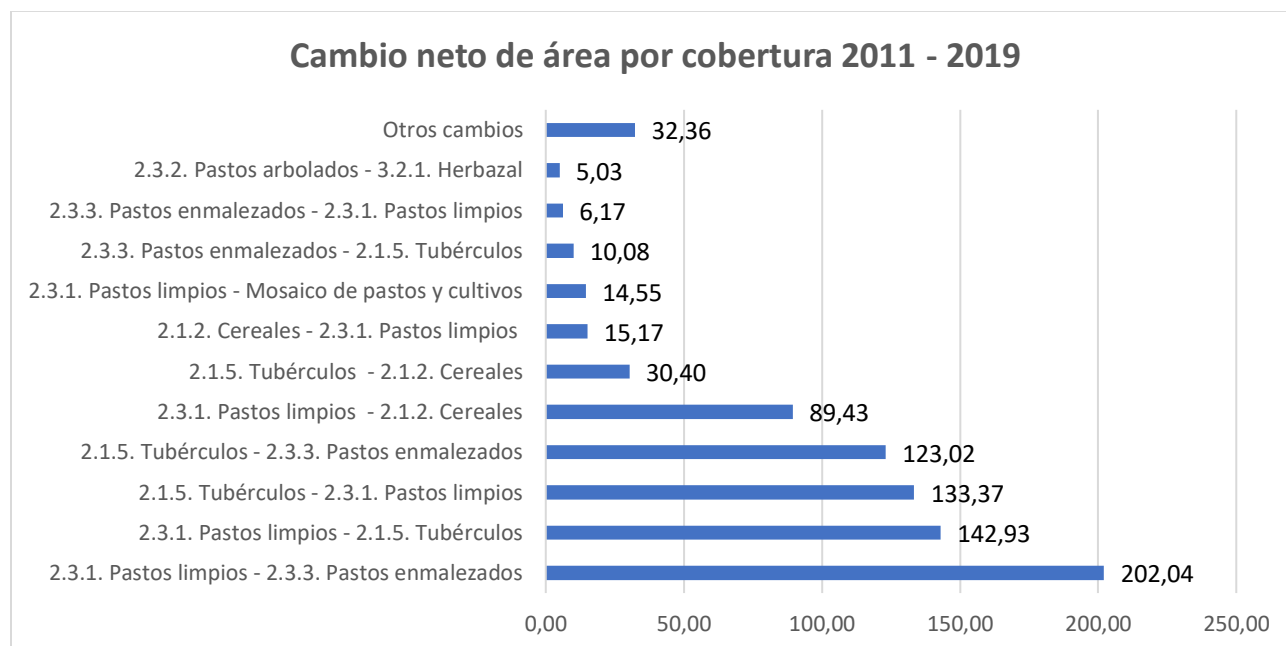
De acuerdo con la Figura 11, los cambios que no mostraron un cambio notorio fueron de cereales a pastos limpios con 15,2 Ha, pastos limpios a mosaico de pastos y cultivos con 14,5 Ha, pastos enmalezados a tubérculos con 10,1 Ha.

Tabla 13. Cambio neto de área por cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019

Cambio de Cobertura del 2011 a 2019		Área (Ha)
Cobertura 2011	Cobertura 2019	
2.3.1. Pastos limpios	2.3.3. Pastos enmalezados	202,04
2.3.1. Pastos limpios	2.1.5. Tubérculos	142,93
2.1.5. Tubérculos	2.3.1. Pastos limpios	133,37
2.1.5. Tubérculos	2.3.3. Pastos enmalezados	123,02
2.3.1. Pastos limpios	2.1.2. Cereales	89,43
2.1.5. Tubérculos	2.1.2. Cereales	30,40
2.1.2. Cereales	2.3.1. Pastos limpios	15,17
2.3.1. Pastos limpios	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	14,55
2.3.3. Pastos enmalezados	2.1.5. Tubérculos	10,08
2.3.3. Pastos enmalezados	2.3.1. Pastos limpios	6,17
2.3.2. Pastos arbolados	3.2.1. Herbazal	5,03
2.3.1. Pastos limpios	3.1.5. Plantación forestal	4,57
2.1.5. Tubérculos	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	3,80
2.3.2. Pastos arbolados	3.2.2. Arbustal	3,09
2.3.3. Pastos enmalezados	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2,55
2.1.2. Cereales	2.3.3. Pastos enmalezados	2,14
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2.3.1. Pastos limpios	1,78
2.3.1. Pastos limpios	3.2.2. Arbustal	1,64
2.1.2. Cereales	2.1.5. Tubérculos	1,41
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.1. Herbazal	1,38
2.3.1. Pastos limpios	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	1,32
2.3.1. Pastos limpios	2.3.2. Pastos arbolados	1,07
2.1.5. Tubérculos	3.2.2. Arbustal	0,97
2.3.3. Pastos enmalezados	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	0,93
2.3.1. Pastos limpios	3.2.1. Herbazal	0,87
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2.3.1. Pastos limpios	0,81
2.3.3. Pastos enmalezados	3.2.2. Arbustal	0,65
3.2.2. Arbustal	2.3.1. Pastos limpios	0,58
3.2.2. Arbustal	3.1.5. Plantación forestal	0,41
3.2.2. Arbustal	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	0,39
2.1.5. Tubérculos	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	0,35
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	0,30
2.3.1. Pastos limpios	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	0,26
3.2.2. Arbustal	2.3.3. Pastos enmalezados	0,18
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	2.3.1. Pastos limpios	0,18
2.1.5. Tubérculos	3.1.5. Plantación forestal	0,15
3.2.2. Arbustal	2.1.5. Tubérculos	0,13
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	2.1.5. Tubérculos	0,13
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2.1.5. Tubérculos	0,12
2.3.1. Pastos limpios	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,11
3.1.5. Plantación forestal	2.1.5. Tubérculos	0,07
2.1.5. Tubérculos	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,01
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2.3.3. Pastos enmalezados	0,01
3.1.5. Plantación forestal	2.3.3. Pastos enmalezados	0,00
Total		804,54

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

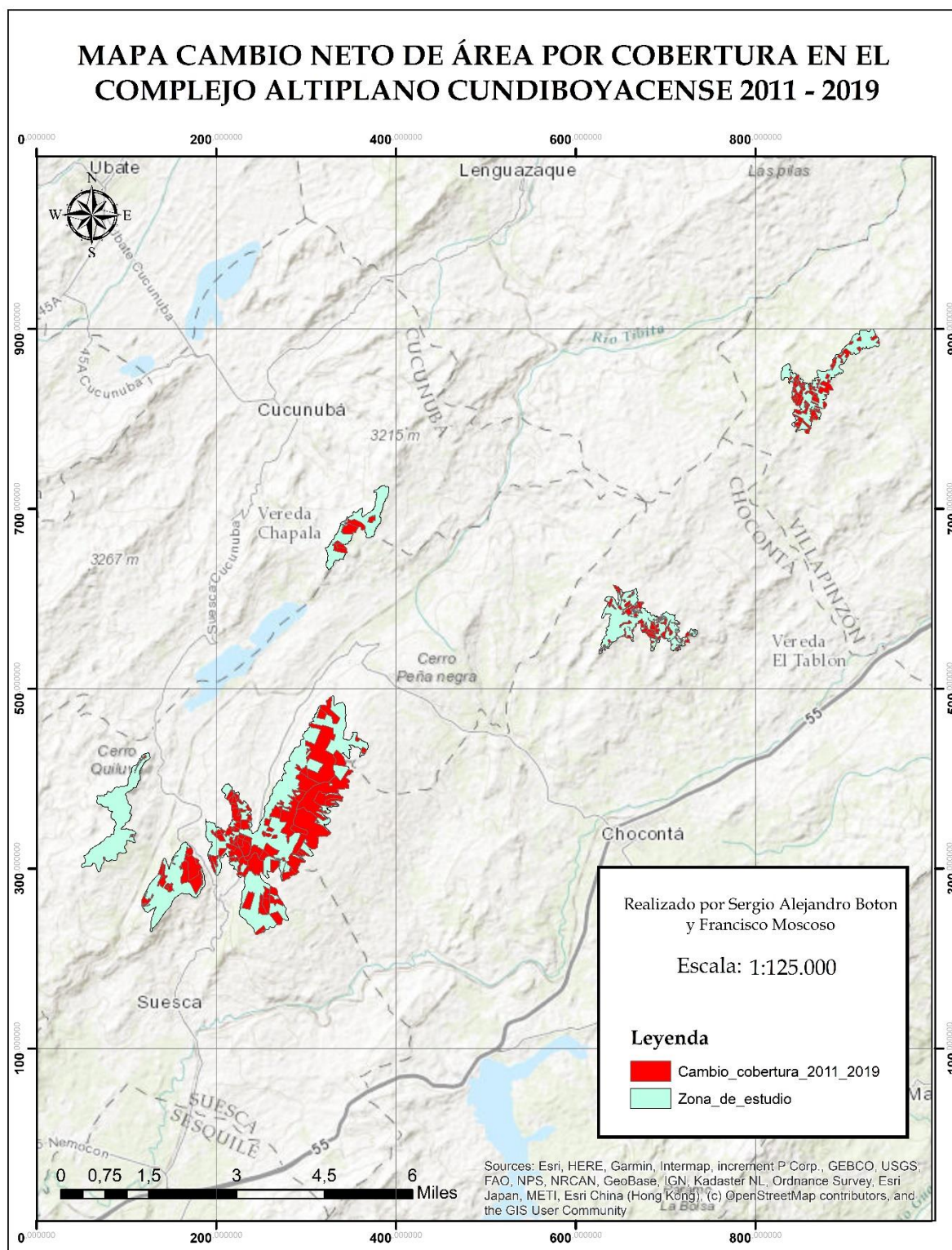
Figura 11. Cambio neto de área por cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

En la figura 12 se aprecia la espacialidad de los cambios descritos anteriormente, en donde las áreas azules de la zona de estudio, es donde no hubo alteración y el color rojo son las zonas donde cambio la cobertura entre las dos temporalidades interpretadas. En estas se evidencia que estas zonas siempre han existido actividades humanas específicamente con las labores del campesinado de alta montaña.

Figura 12. Mapa de cambio neto de área por cobertura en el complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

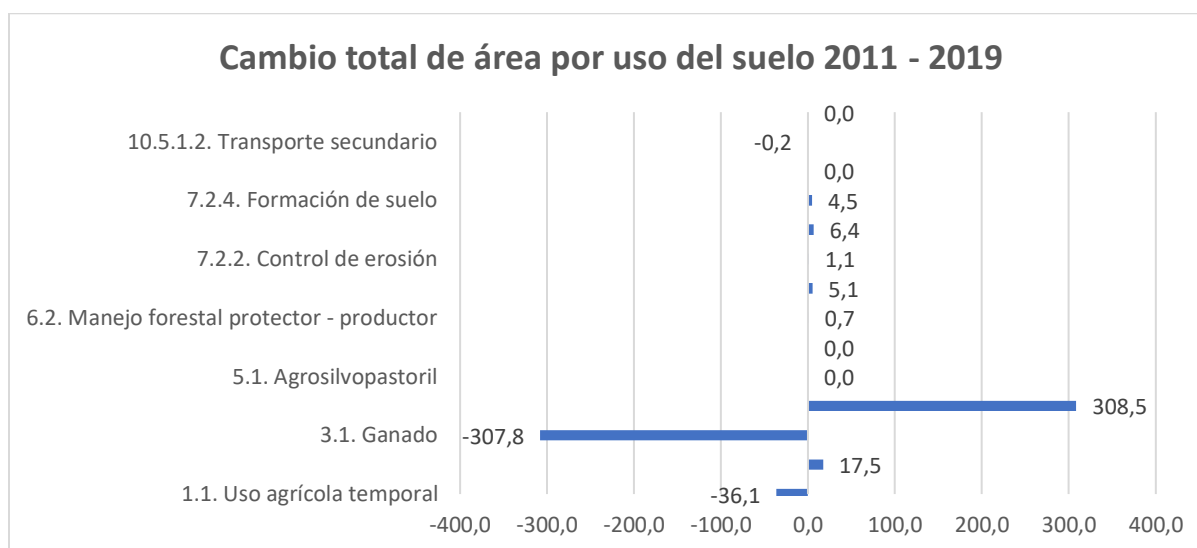
Dentro de las temporalidades 2011 al 2019, los usos que presentaron más cambio acorde con la Tabla 16, en primera instancia fue una disminución de 307,8 Ha del ganado, seguido de 36,1 Ha para el uso agrícola temporal. Por otro lado, las coberturas que presentaron un aumento más significativo de área dentro de este periodo de tiempo fueron las zonas el uso de rotación y tierras en descanso, los cuales aumentaron 308,5 Ha, en sucesión el uso agropecuario tuvo una subida de 17,5 Ha. Estos anteriores resultados se ven expresados gráficamente en la Figura 13.

Tabla 14. Cambio total de área por uso del suelo en el Complejo Altiplano Cundiboyacense 2011-2019

Uso	ÁREA (Ha) 2011	ÁREA (Ha) 2019	Diferencia de área (ha)
1.1. Uso agrícola temporal	458,6	422,5	-36,1
2. Agropecuario	2,3	19,8	17,5
3.1. Ganado	1052,8	745,0	-307,8
4. Rotación y tierras en descanso	51,5	360,0	308,5
5.1. Agrosilvopastoril	0,7	0,7	0,0
6.1. Manejo forestal protector	15,0	15,0	0,0
6.2. Manejo forestal protector - productor	6,3	7,0	0,7
6.2.1. Plantaciones forestales protectoras “productoras	48,4	53,5	5,1
7.2.2. Control de erosión	255,2	256,3	1,1
7.2.3. Abastecimiento del recurso hídrico	17,8	24,2	6,4
7.2.4. Formación de suelo	6,4	10,8	4,5
7.3.1. Ecoturismo	10,2	10,2	0,0
10.5.1.2. Transporte secundario	14,3	14,1	-0,2
10.6.2. Minería no metalúrgica	1,5	1,5	0,0

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Figura 13. Cambio total de área por uso del suelo en el complejo del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

En la tabla 17 se evidencia el cambio del uso en la temporalidad 2011 a 2019, el que se vio mayoritariamente desfavorecido fue el uso ganadero ya que cedió 232,4 Ha al uso agrícola temporal y 202,3 Ha a las tierras en rotación y tierras en descanso, además el tercer y cuarto lugar en ceder área es el uso agrícola temporal a los usos de ganadería y rotación de tierras o en descanso con unas 148,5 y 125,3 Ha.

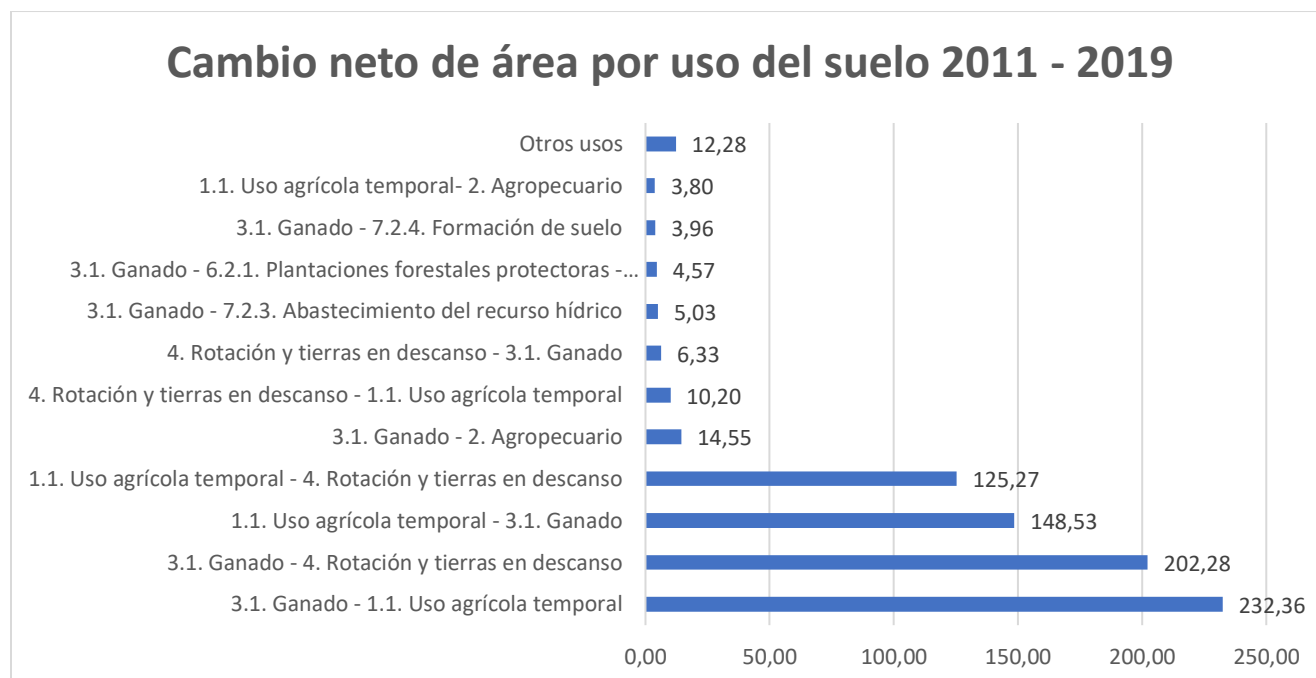
Tabla 15. Cambio neto de área por uso del suelo en el complejo del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019

Cambio de Uso del 2011 a 2019		Área (Ha)
Uso 2011	Uso 2019	
3.1. Ganado	1.1. Uso agrícola temporal	232,36
3.1. Ganado	4. 4. Rotación y tierras en descanso	202,28
1.1. Uso agrícola temporal	3.1. Ganado	148,53
1.1. Uso agrícola temporal	4. 4. Rotación y tierras en descanso	125,27
3.1. Ganado	2. Agropecuario	14,55
4. 4. Rotación y tierras en descanso	1.1. Uso agrícola temporal	10,20
4. 4. Rotación y tierras en descanso	3.1. Ganado	6,33
3.1. Ganado	7.2.3. Abastecimiento del recurso hídrico	5,03
3.1. Ganado	6.2.1. Plantaciones forestales protectoras y productoras	4,57
3.1. Ganado	7.2.4. Formación de suelo	3,96
1.1. Uso agrícola temporal	2. Agropecuario	3,80
2. Agropecuario	3.1. Ganado	1,78
3.1. Ganado	7.2.2. Control de erosión	1,64
4. 4. Rotación y tierras en descanso	7.2.3. Abastecimiento del recurso hídrico	1,38
3.1. Ganado	6.2. Manejo forestal protector - productor	1,08
1.1. Uso agrícola temporal	7.2.2. Control de erosión	0,97
4. 4. Rotación y tierras en descanso	2. Agropecuario	0,93
6.2. Manejo forestal protector - productor	3.1. Ganado	0,66
7.2.2. Control de erosión	3.1. Ganado	0,58
4. 4. Rotación y tierras en descanso	7.2.4. Formación de suelo	0,50
7.2.2. Control de erosión	6.2.1. Plantaciones forestales protectoras y productoras	0,41
7.2.2. Control de erosión	5. Agroforestal	0,39
8.1.3. Dinámicas denudacionales	4. 4. Rotación y tierras en descanso	0,30
3.1. Ganado	5. Agroforestal	0,26
1.1. Uso agrícola temporal	6.2. Manejo forestal protector - productor	0,23
7.2.2. Control de erosión	4. 4. Rotación y tierras en descanso	0,18
10.5.1.2. Transporte secundario	3.1. Ganado	0,18
4. 4. Rotación y tierras en descanso	7.2.2. Control de erosión	0,15
1.1. Uso agrícola temporal	6.2.1. Plantaciones forestales protectoras y productoras	0,15
7.2.2. Control de erosión	1.1. Uso agrícola temporal	0,13
10.5.1.2. Transporte secundario	1.1. Uso agrícola temporal	0,13
3.1. Ganado	10.5.1.2. Transporte secundario	0,11
6.2.1. Plantaciones forestales protectoras y productoras	1.1. Uso agrícola temporal	0,07
4. 4. Rotación y tierras en descanso	6.2. Manejo forestal protector - productor	0,05
1.1. Uso agrícola temporal	10.5.1.2. Transporte secundario	0,01
6.2. Manejo forestal protector - productor	4. 4. Rotación y tierras en descanso	0,01
6.2. Manejo forestal protector - productor	1.1. Uso agrícola temporal	0,01
6.2.1. Plantaciones forestales protectoras y productoras	4. 4. Rotación y tierras en descanso	0,00
Total		769,17

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

En la Figura 14 se describen los mayores cambios de uso de la tierra en el periodo de tiempo comprendido para este estudio, los cuatro primeros cambios se han descrito anteriormente. Los demás cambios son pequeños respecto a la participación en el total del área del complejo.

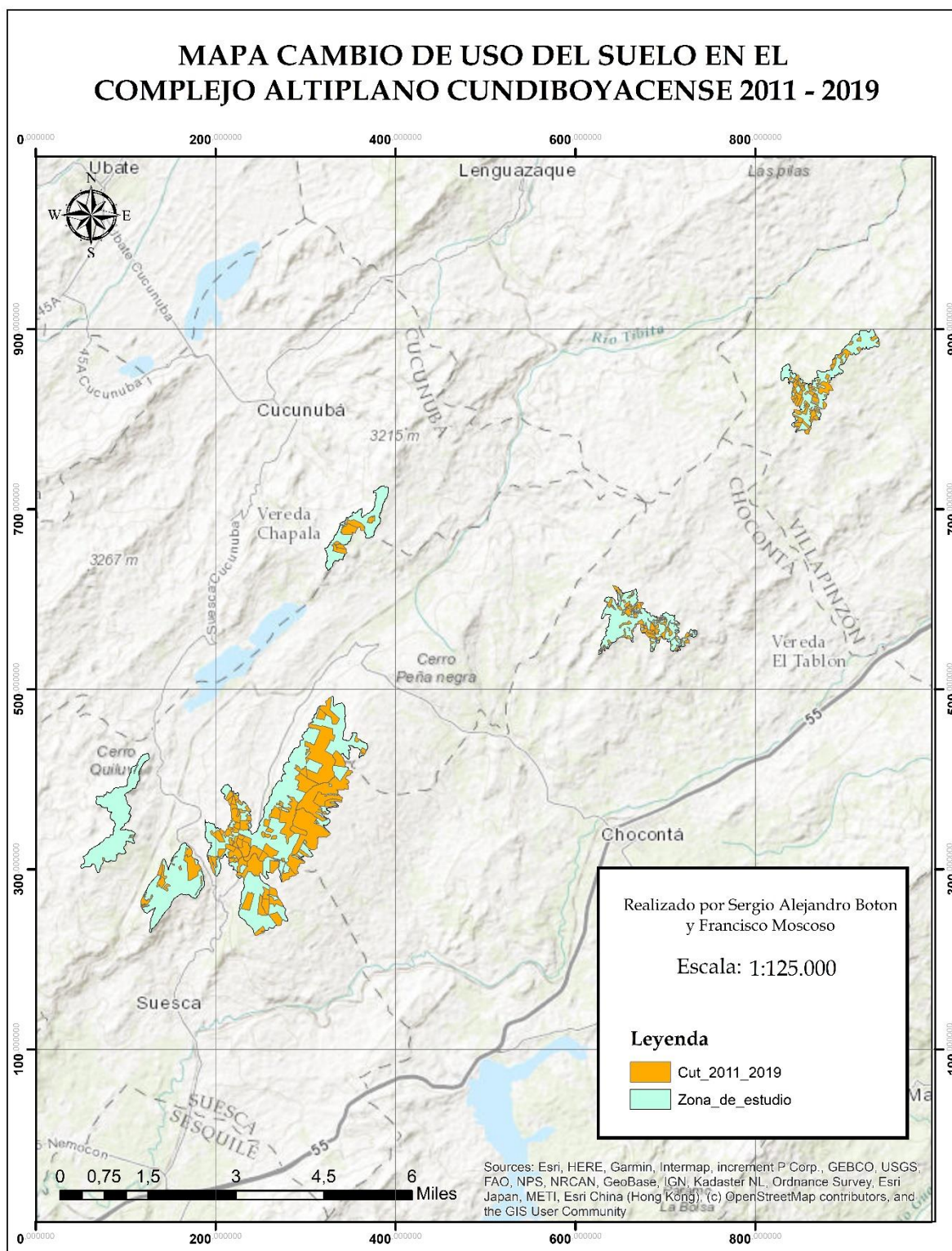
Figura 14. Cambio neto de área por uso del suelo en el complejo del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

En la figura 15 se aprecia la espacialidad de los cambios descritos anteriormente, en donde las áreas azules de la zona de estudio, es donde no hubo cambio y este solo este dado por el color naranja oscuro. Y en el cual se puede apreciar que la zona que más cambio es el parche de mayor área de todo el complejo, en los cuales también se encuentran la mayoría de los usos agropecuarios que son los más susceptibles al cambio.

Figura 15. Mapa de cambio del uso del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Determinación del SQI

Con la base de datos ponderada se generaron siete rasters de las variables priorizadas por cada profundidad anteriormente establecida (0 a 30 cm y 30 a 60 cm). De esta manera se logró realizar el proceso de ponderación y fuzificación para la creación de los SQI físicos y químicos finales. Para determinar el impacto de una propiedad para cada profundidad se tomó en cuenta la evaluación del panel de expertos del IGAC el cual se evidencia en la Tabla 2 y 3

Tabla 16. Propiedad del suelo N°1

Propiedad del suelo	Unidades	Profundidad de 0 a 30 cm			Profundidad de 30 a 60 cm		
		Impacto alto (a <)	Impacto moderado (a - b)	Sin impacto (> b)	Impacto alto (a <)	Impacto moderado (a - b)	Sin impacto (> b)
Humedad aprovechable	%	< 24	24 - 57	> 57	< 18	18 - 54	> 54
Porosidad	%	< 57	57 - 72	> 72	< 57	57 - 72	> 72
COS	%	< 6,3	6,3 - 14	> 14	< 3,8	3,8 - 11,4	> 11,4
Fosforo disponible	mg / kg	< 16	16 - 36	> 36	< 16	16 - 36	> 30

Fuente: (IGAC-CAR, 2021)

Tabla 17. Propiedad del suelo N°2

Propiedad del suelo	Unidades	Profundidad de 0 a 30 cm			Profundidad de 30 a 60 cm		
		Sin impacto (a <)	Impacto moderado (a - b)	Impacto alto (> b)	Sin impacto (a <)	Impacto moderado (a - b)	Impacto alto (> b)
Densidad aparente	g / cm ³	< 0,8	0,8 - 1,1	> 1,1	< 0,85	0,85 - 1,3	> 1,3
Bases totales	cmol+ / kg	< 2	2 - 5,2	> 5,2	< 2	2 - 5,2	> 5,2
SAI	%	< 46	46 - 74	> 74	< 50	50 - 65	> 65

Fuente: (IGAC-CAR, 2021)

Tabla 4. Determinación de impactos del suelo, de acuerdo a las propiedades del suelo a profundidades de 0 a 30 cm y 30 a 60 cm

Profundidad de 0 a 30 cm				
Propiedad del suelo	Valor maximo	Valor minimo	Media	Impacto
Densidad aparente	0,99	0,48	0,72	Moderado
Porosidad	76,23	53,43	64,99	Moderado
Humedad aprovechable	37,23	14,96	25,24	Moderado
COS	15,43	6,65	11,61	Moderado
Fosforo disponible	37,23	14,96	25,24	Moderado
SAI	94,15	25,38	53,71	Moderado
Bases totales	8,4	0,39	3,49	Moderado
Profundidad de 30 a 60 cm				
Propiedad del suelo	Valor maximo	Valor minimo	Media	Impacto
Densidad aparente	0,84	0,56	0,69	Sin impacto
Porosidad	74,1	61,9	66,52	Moderado
Humedad aprovechable	26,12	7,38	18,33	Impacto Alto
COS	11,7	5,45	8,43	Moderado
Fosforo disponible	159,45	2,55	27,97	Moderado - Alto
SAI	94,09	38,15	60,6	Moderado
Bases totales	4,75	0,35	1,43	Sin impacto

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

De acuerdo con el anexo 1 del presente documento se corrobora la información presentada en la tabla 4.

El cambio de uso de la tierra afecta, tanto las propiedades físicas como las químicas, debido a las actividades agropecuarias, así como se observa en la tabla 4, donde el impacto sobre estas propiedades se encuentra dentro del rango moderado. Es así como la porosidad total (Mapa 1 - C) se ha disminuido, afectando la aireación y el movimiento del agua dentro del suelo generado por

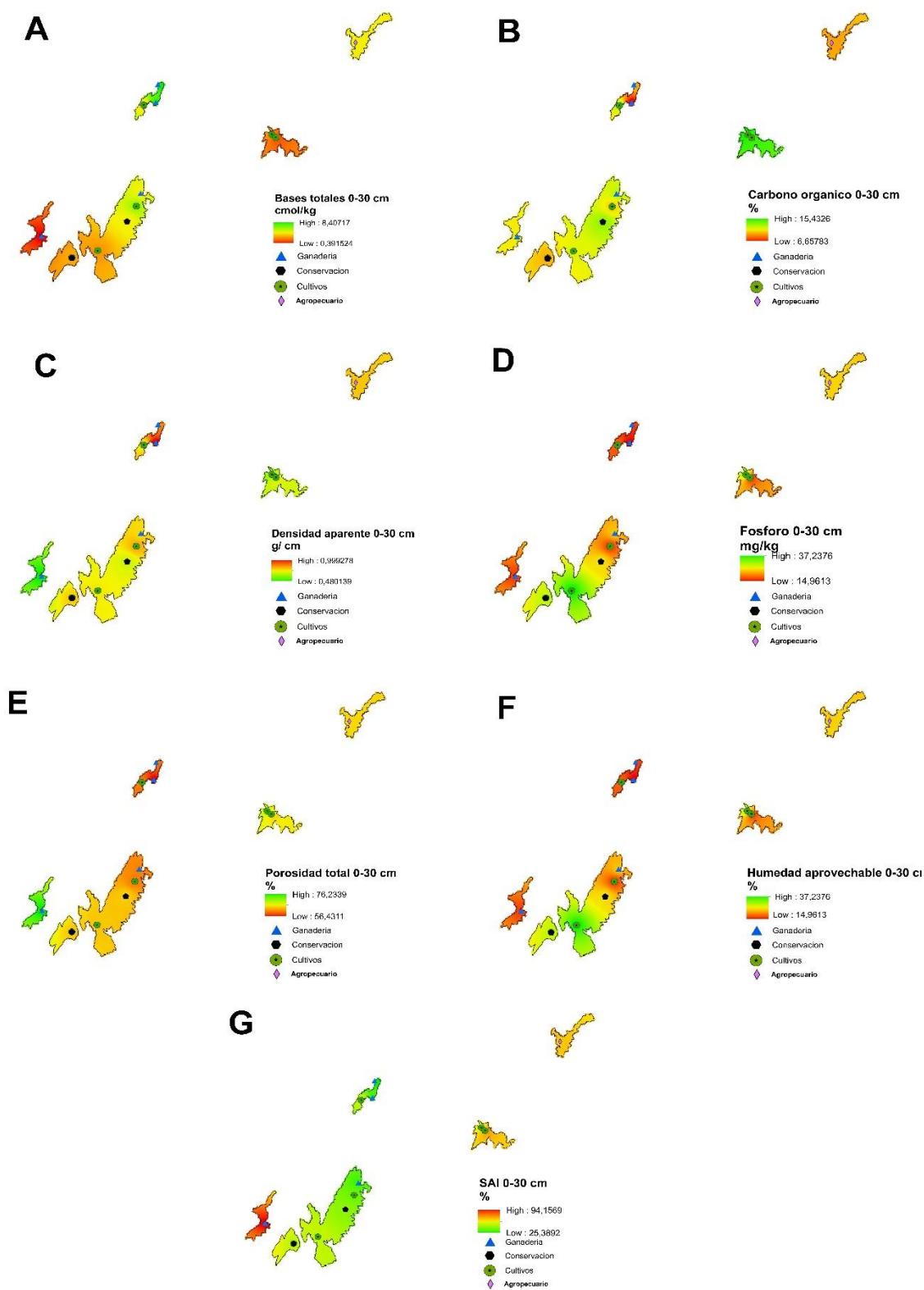
ligeros procesos de compactación del mismo, reflejado en los valores de la densidad aparente (Tabla 4 y Mapa 1 - G), como en la profundidad de 0 a 30 cm que se ha visto más alterada que de 30 a 60 cm, debido a las actividades antrópicas que ejercen sobre el primer horizonte mayor contacto, aumentando su grado de compactación y por ende generando la disminución de la porosidad total del suelo. Así mismo, la humedad aprovechable refleja un impacto alto en un gran porcentaje del área del páramo, debido a la reducción de los microporos específicamente en los sectores donde se da el uso en ganadería, lo que ocasiona que el agua se infiltre muy lentamente o se escurra dependiendo de la topografía del terreno.

El análisis de las propiedades químicas, como el contenido de carbono orgánico en los suelos, donde se ha realizado un uso agropecuario más intenso, sus valores son un poco más bajos que en los sectores con uso en agricultura y conservación o tierras en descanso.

Así mismo, se realizó el análisis para el fósforo disponible en el suelo, mostrando que, en la profundidad de 0 a 30 cm, son mayores los contenidos de este elemento que entre 30 a 60 cm, siendo su impacto de moderado a alto.

Por otra parte, el impacto de la saturación de aluminio intercambiable es moderado, lo que no afecta el contenido de bases totales.

Mapa 2. Índice de calidad de suelo de 0-30 cm



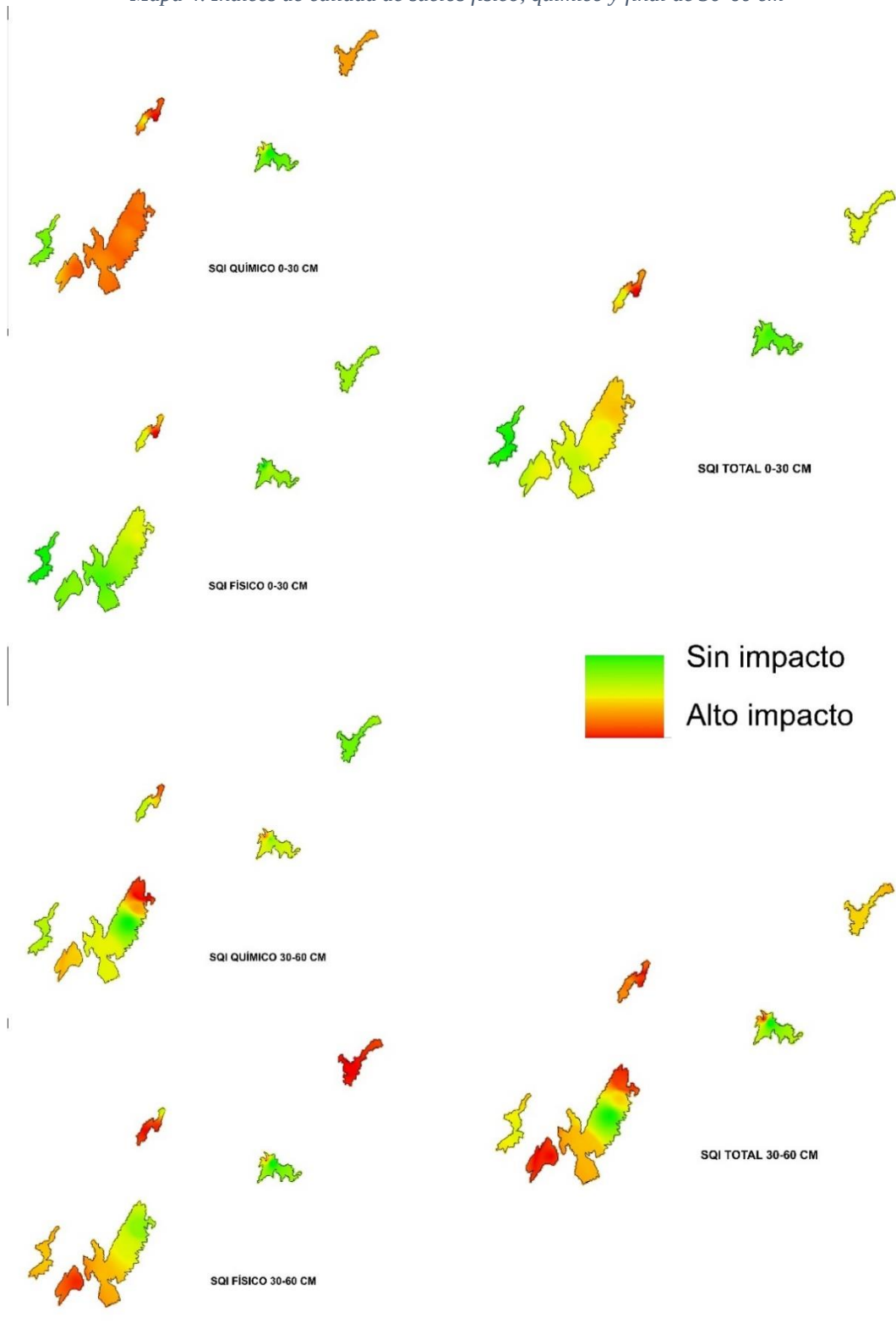
Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Mapa 3. índice de calidad de suelos de 30-60 cm



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Mapa 4. Índices de calidad de suelos físico, químico y final de 30-60 cm



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Determinación del índice de degradación de suelos - IRDS

La función del índice relativo de degradación de suelos-IRDS, es complementar el análisis realizado del SQI, por consiguiente, se realizaron los siguientes tratamientos que enfatizan el resultado multitemporal del cambio de uso de la tierra.

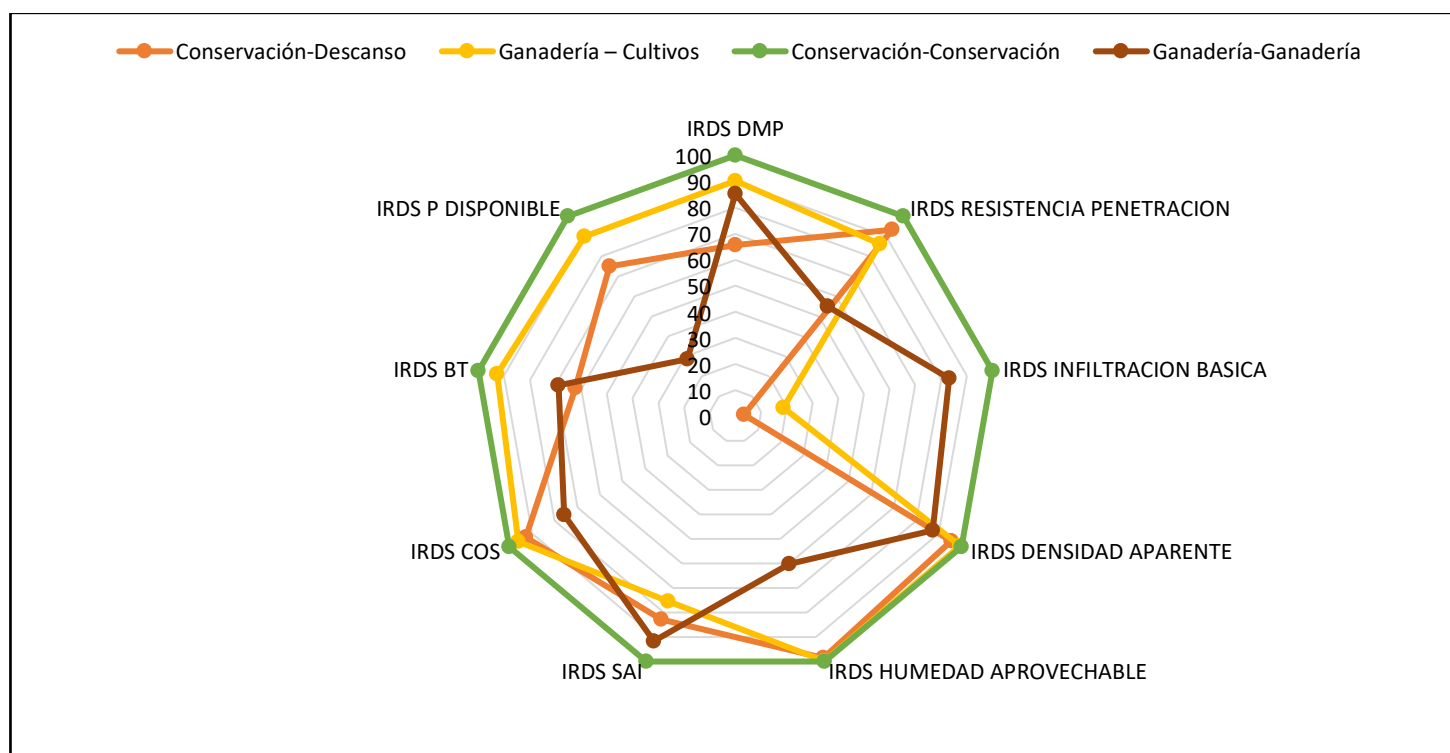
Tratamiento 1: **Conservación-Conservación:** En este tratamiento se observa que no tuvieron cambio de uso de tierra.

Tratamiento 2: **Conservación-Descanso:** En estas zonas se presentaron cambios de uso de tierra y actualmente se encuentran sin un uso agropecuario.

Tratamiento 3: **Ganadería – Cultivos:** Allí se localizan las zonas donde se presentaron mayores cambios de uso de tierra.

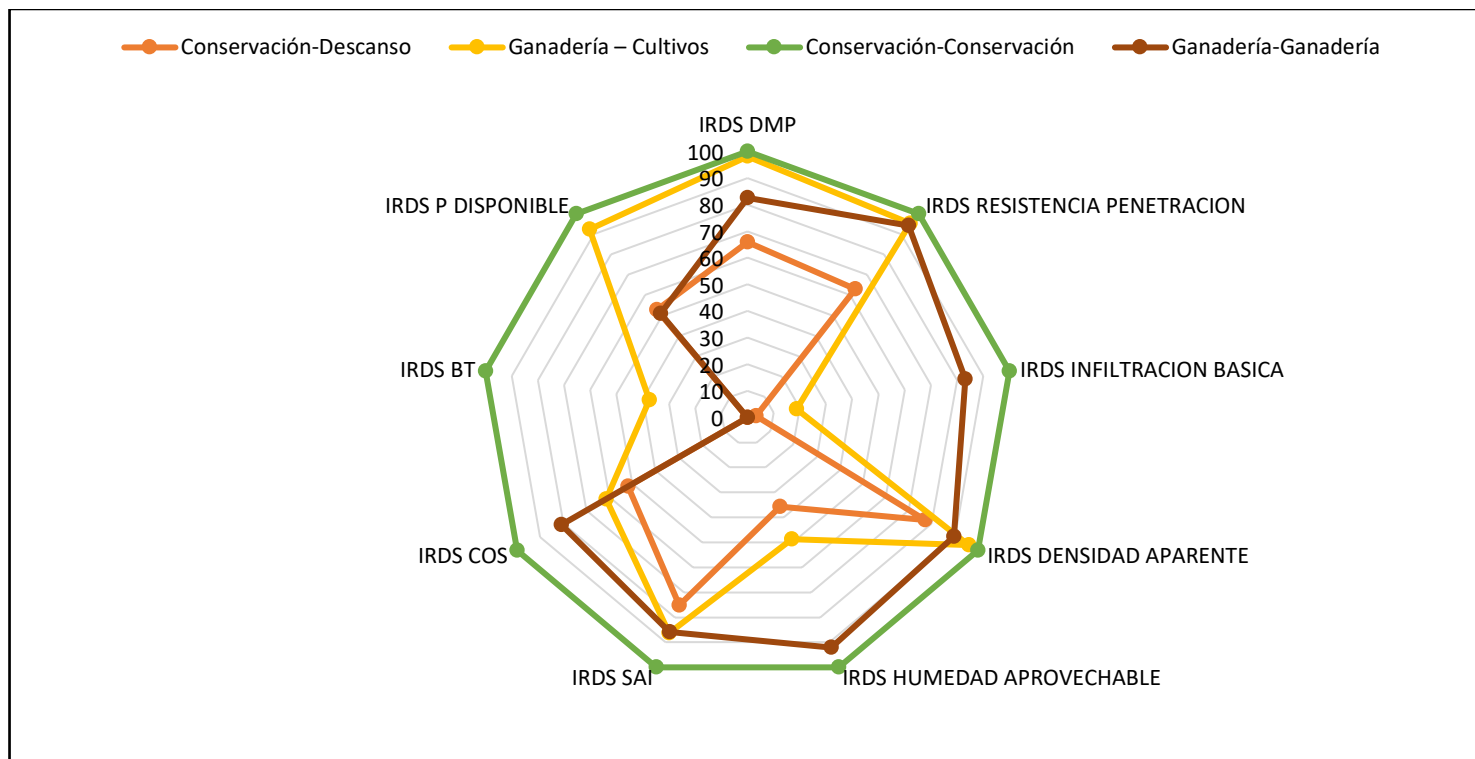
Tratamiento 4: **Ganadería-Ganadería:** Este tratamiento se le atribuye a las zonas que no presentaron cambios pecuarios en su uso de tierra.

Ilustración 3. Determinación del IRDS de 0 a 30 cm



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Ilustración 4. Determinación del IRDS de 30 a 60 cm



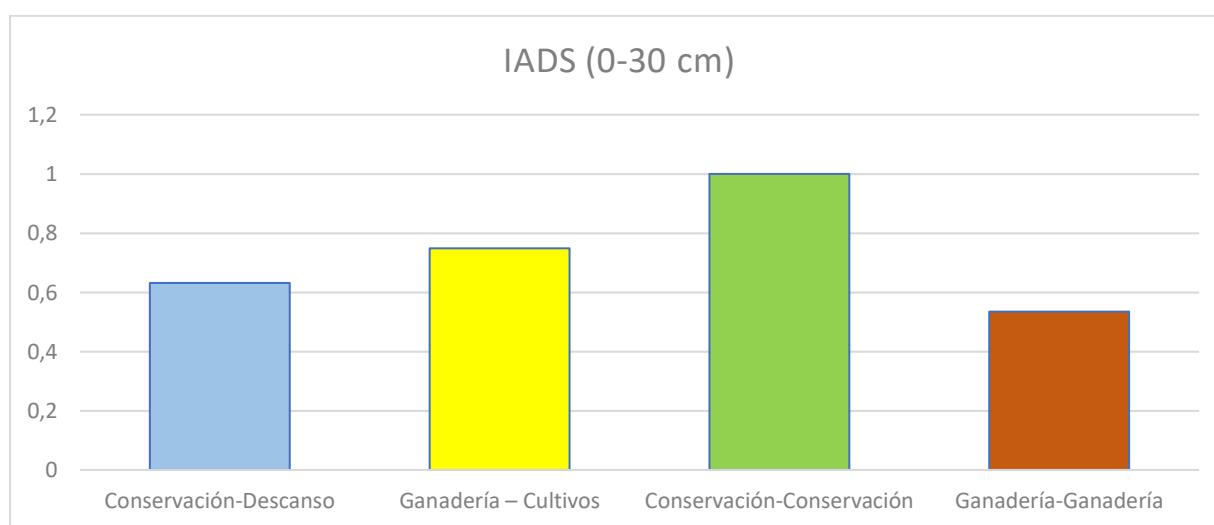
Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

El cálculo del IRDS se realizó a partir de la información del estudio detallado de suelos del complejo de páramos Iguaque Merchan, escala 1:10000 IGAC 2021; se recurrió a esta información por ser los mismos suelos (Pachic Melanudands) presentes en los ambientes edafogenéticos seleccionados para el análisis en el complejo de páramos Altiplano Cundiboyacense, al igual que los usos de la tierra. Se utilizó la ecuación (PONER REFERENCIA ECUACION) para obtener los gráficos de la figura A y B. De este modo, se pudo evidenciar la reducción del IRDS menor a 30 cm para el tratamiento 2 y 3 en la propiedad física de infiltración básica, evidenciando un ligero proceso de compactación anteriormente mencionada en el SQI, a causa del cambio de uso de tierra, a diferencia del tratamiento 4 en el que los suelos, presentan una infiltración directamente proporcional a la densidad aparente como se logra evidenciar en los gráficos (Ilustración 3 y 4).

En esta situación se puede deducir que la densidad aparente es alta, conduciendo a una infiltración baja por los escasos de microporos y viceversa, cuando la densidad aparente es baja, la infiltración es rápida por una mayor cantidad de microporos.

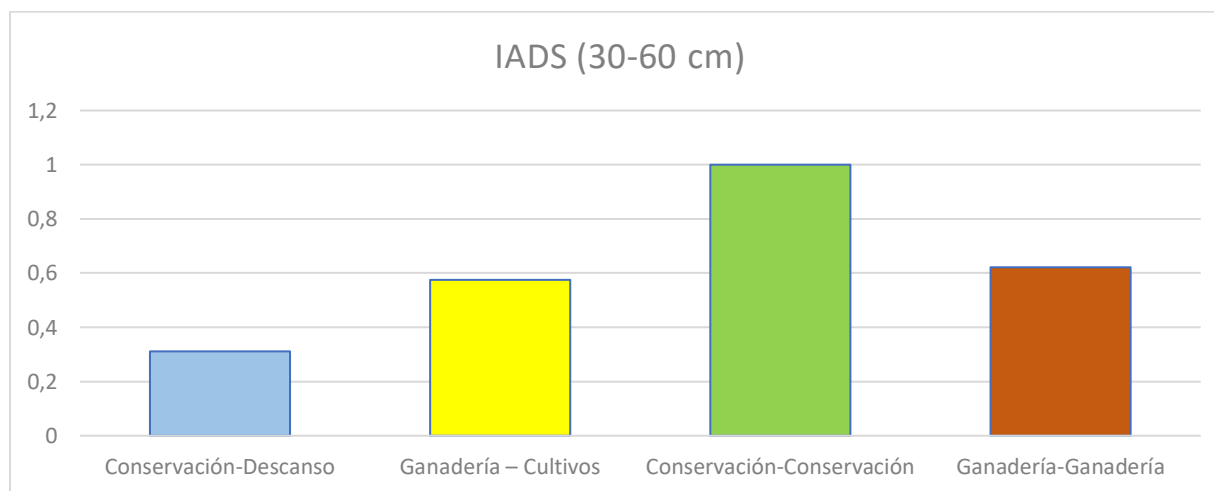
Determinación de los índices absolutos de degradación de suelos - IADS

Figura 16. Determinación del IADS



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Figura 17. Determinación del IADS



Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

De acuerdo con el ambiente edafogenético de los suelos Pachic Melanudands del complejo de páramos Altiplano Cundiboyacense según muestra los gráficos anteriores, se evidencia la degradación de los suelos con el cambio de uso del suelo respecto a las condiciones naturales de conservación de las coberturas nativas.

En el grafico referente a la profundidad de 0 a 30 cm, el tratamiento de ganadería a cultivo tuvo una reducción del 26% con respecto al estado de conservación y un 47% en ganadería. En la profundidad de 30 a 60 cm hubo una disminución en el tratamiento ganadería a cultivo del 43%, debido a los cambios de uso de tierra. Y por otra parte, el uso continuo en ganadería aumentó el índice absoluto de degradación de suelo, mostrando que la ganadería es la actividad antrópica que más degrada los suelos de los páramos.

Determinación de las pérdidas de servicios ecosistémicos – PSE

Tabla 18. Cálculos de la ecuación Andrade & Ibrahim (2003) para una profundidad de 0 -30 cm

Tratamiento	Contenido de Carbono	Contenido de Agua
	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)
Conservación-Conservación	259,45	549,58
Cultivos-Ganadería	312,85	544,97
Ganadería-Ganadería	221,32	372,97
Conservación-Descanso	251,66	582,88

Tratamiento	Contenido de Carbono	Contenido de Agua
	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)
Conservación-Conservación	141,25	316,20
Cultivos-Ganadería	188,06	458,92
Ganadería-Ganadería	186,08	321,79
Conservación-Descanso	155,84	400,64

Elaboración de los autores del presente documento, Datos de (IGAC-CAR, 2021)

Se valida y verifica el protocolo de acuerdo con la evaluación de impactos en el cambio de uso sobre las propiedades del suelo, además de comprobar las condiciones por las cuales los suelos del complejo de páramos Altiplano Cundiboyacense si se han visto afectados por el uso que se le ha venido dando respecto al cambio de uso del suelo, ya que de acuerdo con la información suministrada por el IGAC, la vocación del suelo ha venido cambiando a través del tiempo, en gran parte pasó de ser suelos usados para ganadería a suelos usados para las actividades agropecuarias, siendo actividades de medio o alto impacto según lo evidencie la ley 1930 del 27 de julio de 2018 lo menciona el artículo 10 y el artículo 18.

Con base a la información obtenida se verifica una pérdida de los servicios ecosistémicos según el tratamiento 4 su cambio de uso de la tierra desde un punto de vista ecológico como la transformación o degradación de la cobertura vegetal la cual puede modificar la densidad y la conformación de las especies.

De acuerdo con la política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo se busca evaluar los suelos en las zonas de páramo, permitiendo dar un mejor conocimiento de los cambios de uso de la tierra y como han sido afectados para identificar que tipos de medidas de mitigación se ajustan para consolidar que la preservación y sostenibilidad de las condiciones de los suelos en estas zonas.

IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO

Los impactos que se generan por los cambios de usos de suelo del páramo, son graves debido a la pérdida de los servicios ecosistémicos que éstos nos ofrecen, como el desabastecimiento de agua en comunidades cercanas y la capital, afectando la regulación hídrica y la captura de carbono. Otro factor que se ve perjudicado es el socioeconómico, debido a que hay varias actividades que se llevan a cabo en determinado territorio por comunidades. El incremento de diferentes cambios de usos de tierra como acciones de siembra, pastoreo y mineras en zonas de páramos, provocan impactos negativos en la calidad de suelo y sus propiedades fisicoquímicas.

El complejo de páramos Altiplano, es un ecosistema de suma importancia por sus aportes hídricos al río Bogotá, a los acueductos veredales y municipales, donde se encuentra ubicado geográficamente y por ende sobre las actividades socioeconómicas que se desarrollan en su entorno. (Ver anexo 4)

CONCLUSIONES

Se puede concluir que en el área de estudio con mayor cambio en las coberturas vegetales fue de pastos limpios a pastos enmalezados con 202.04 Ha, seguido de pastos limpios a tubérculos con una variación de 142.93 Ha y viceversa con 133.37 Ha. De acuerdo con lo anterior se puede evidenciar que el páramo siempre a estado intervenido por actividades antrópicas específicamente con labores de campesinado de alta montaña. Por otra parte, los usos que presentaron más cambio, fue la disminución de la ganadería en 307.8 Ha seguido del uso agrícola temporal con 36.1 Ha, aumentando las zonas con uso de rotación y descanso en un 308.5 Ha.

En estas dinámicas se aprecia que los cambios son en usos que no corresponden a las coberturas propias del ecosistema de paramo. Lo cual evidencia que ya no se encuentran de una manera importante en cuanto a área y ya casi el total del complejo no tiene dichas unidades de vegetación y por ende de uso. Además, cabe recalcar que la dinámica existente corresponde a la mayoría de las unidades que incumben a las actividades humanas como la ganadería y agricultura.

De acuerdo con el ambiente edafogénico de los suelos Pachic Melanudands, del complejo de paramos altiplano cundiboyacense mostro un índice absoluto de degradación de suelos mostró una reducción entre 0.31 y 0.75 a causa de los cambios de uso de tierra, evidenciando que el uso en ganadería aumentó el índice absoluto de degradación de suelo, mostrando que esta actividad antrópica es la que más degrada los suelos de los páramos.

De acuerdo con los valores del IRDS, para el tratamiento de ganadería a cultivo se obtuvieron valores bajos propiedades como la infiltración básica (18,67 para ambas profundidades), incrementando la posibilidad de perder el suelo por erosión hídrica; una reducción de la humedad

aprovechable del 52% para el mismo tratamiento y del 40% para el tratamiento de ganadería a ganadería, lo que demuestra una clara disminución de la propiedad a causa del uso del suelo y por último, reducciones del 100% en el contenido de bases totales del suelo a causa del uso en zonas de ganadería y agricultura, y al incremento de saturación de aluminio intercambiable afectando los nutrientes esenciales para las plantas al ser el albergue de estos mismos y la capacidad de intercambio catiónico.

De acuerdo con el mapa 6, el SQI final para la profundidad de 0 a 30 cm con un máximo de 0,75 y mínimo de 0,17 y con una media de 0,52, indica que el impacto es moderado en la zona de estudio con predominancia de los suelos Pachic Melanudands, caso contrario, para la profundidad de 30 a 60 cm se evidencia un alto impacto al predominar las zonas que se han visto afectadas bajo la influencia de las actividades agropecuarias de la población.

Las propiedades del suelo pueden estar degradadas a causa de las actividades antrópicas que han disminuido intensamente los de servicios ecosistémicos, pero no de una manera sustancialmente menor, debido a que posee un gran contenido de carbono y reservas hídricas.

Se debe recalcar que la comunidad que vive en el territorio del complejo puede ser clave en la recuperación de este, ya que para el año actual se confirmó que el uso y las actividades ganaderas, pecuarias, agrícolas y la extracción minera aún siguen siendo predominantes en el complejo de páramos (Ver anexo 5, Ilustraciones 2) las cuales, son insostenibles en cuanto a recursos como el suelo y el agua, siendo los territorios de bosques y áreas seminaturales las que han sido más intervenidas, en este caso los pinos y las comunidades arbustivas (Ver anexo 5, Ilustraciones 3) las que predominan dentro de esta categoría y muy pocas, como la vegetación endémica (frailejón) que se puede apreciar en el páramo (Ver anexo 5, Ilustraciones 4).

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados del índice de calidad de suelos, muestra que el páramo Altiplano cundiboyacense está en un proceso de deterioro, el cual es conveniente mitigar y formular estrategias de conservación por parte de las entidades gubernamentales y las comunidades que viven dentro de este territorio, al ser una pieza importante para la conservación de este, siendo conscientes que las actividades actuales son insostenibles en cuanto a recursos como el suelo y el agua.

Se recomienda de forma progresiva disminuir el uso de las tierras en ganadería en el complejo de páramos Altiplano Cundiboyacense, al ser esta la actividad con mayor impacto sobre las propiedades de los suelos, ya que puede llevarlo a su degradación y a la pérdida de servicios ecosistémicos.

Por último, se recomienda aplicar esta metodología a diferentes ecosistemas de páramos, para poder evaluar la verdadera aplicabilidad del protocolo, ya que la información será de gran utilidad para otras corporaciones públicas y privadas que tengan que ver con el manejo del recurso suelo para evaluar los suelos de cualquier parte del territorio nacional importante para otras entidades del estado.

REFERENCIAS

- A. Bautista Cruz, J. E. (Mayo de 2004). *Revisata Científica de Ecología y medio ambiente*. Obtenido de La calidad del suelo y sus indicadores:
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- B. motta de Muñoz, IGAC, B. motta de Muñoz, IGAC. (2005). *Metodos analitico de laboratorio de suelo*. 2006: IGAC.
- Carter, M. R. (2002). *Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions*. No aplica: Agron. J.
- Coen, M. A. (30 de Octubre de 2009). *Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria*. Obtenido de Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria:
<https://www.cambridge.org/core/journals/american-journal-of-alternative-agriculture/article/abs/characterization-of-soil-quality-physical-and-chemical-criteria/2174882BC78EFEFE3E29059F77F2002C>
- Coen, M. A. (2009). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria*, 10.
- Corporación de Cuencas del Tolima. (2014). *POMCA Río Recio y Venadillo, cobertura y uso del suelo*. Tolima.
- D. L. Karlen, N. S. (1992). *Soil and crop management effects on soil quality indicator*. Amstendar: Am. J. Altern. Agric.
- DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIA Y FORESTALES U.N.L.P. . (2019). *POROSIDAD Y AIREACIÓN DENSIDAD REAL Y APARENTE* . DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIA Y FORESTALES U.N.L.P. .
- Doran, J. y. (1994). *Doran, J.W. y Parkin, B.T.* Madison: Inc. Special Publication.
- E. G. Gregorich, M. R. (1994). *Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils*. Canada: Canadian Journal of Soil Scienc.
- Elaboración autores del documento. (2022). Metodología. Bogotá.
- F.H. Tonneijck, B. J. (201). *DARE (Digital Academic Repository)*. . Amsterdam: University of Amsterdam: Saarenketo.
- GERMAN ANTONIO MUNERA VELEZ, D. C. (2012). *EL FOSFORO ELEMENTO INDISPENSABLE PARA LA VIDA VEGETAL* . UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE TECNOLOGIA QUIMICA LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS .

- GroenigenLijbertBrussaardb, E. K. (Mayo de 2018). *Soil quality – A critical review*. Obtenido de Soil quality – A critical review: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071718300294?via%3Dihub>
- Gutiérrez, A. M. (2010). *LA DENSIDAD APARENTE EN SUELOS FORESTALES DEL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- IDEAM. (2012). *Catálogo de patrones de coberturas de la tierra Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Bogotá: IDEAM.
- IGAC-CAR. (2021). *Protocolo de Evaluación de Impacto de Cambio de uso de la tierra en algunas propiedades de suelo*. Bogotá: Instituto Geologico Agustin Codazi.
- J. Dumanski, S. G. (1998). *Indicators of Land Quality*.
- Jérôme Poulenard, P. P.-L. (2001). *Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning*. Catena: ELSEVIER.
- Juárez, S. M. (2006). *Química del suelo y medio ambiente*. DIGITALIA: Pearson.
- Kelly, K. A. (21 de Agosto de 2021). *Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status*. Obtenido de Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status: http://origin.portalces.org/sites/default/files/references/162_Farley_Kelly_2004.pdf
- López, M. A.-G. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 0.
- Lutgens, T. a. (2006). *Ciencias de la tierra una introduccion a la geologia fisica*. Madrid: Pearson ed., vol. 8, no. 1.
- MAG-MINAE-S-HACIENDA-MOPT. (Sin fecha). *Decretan: Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos*. Obtenido de Decretan: Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos: <https://www.geosalud.com/leyes/regl.ley.uso.suelos.htm>
- Ministerio de Ambiente. (2013). *Una nueva cartografía de los páramos colombianos: Diversidad, Territorio e Historia*. Obtenido de Ecosistemas estratégicos Atlas de páramos: <http://www.humboldt.org.co/es/i2d/item/551-atlas-de-paramos-de-colombia-2013>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *La biodiversidad del Suelo, Conservación del Suelo y Agricultura*. Obtenido de La biodiversidad del Suelo, Conservación del Suelo y Agricultura: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/conservacion-del-suelo-y-agricultura/es/>
- patricio A. Mena, E. N. (2000). *Los Suelos del Páramo del Ecuador, Abya Yala., no. Páramo*. Quito: ÓRGANO DE DIFUSIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO EN PÁRAMOS DEL ECUADOR. patricio A. Mena, E. Narváez, and D. Mosquera.
- Quintino Araujo, D. A. (2018). Soil quality index for cacao cropping systems. *Archives of Agronomy and Soil Science*, págs. 12-15.

- Ramírez, M. C. (2014). *Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación*. Bogotá: Humboldt Colombia.
- Robert GM Hosfstede, L. D. (2020). *Diversidad vegetal en el paramo: pastisales humedos neotropicales de alta montaña*. Enciclopedia de lo Bioamas del mundo.
- S. Patiño, Y. H. (2021). *Influence of land use on hydro-physical soil propieties of Andean paramos and it affects on streamflow buffering*. Catena: ELSEVIER.
- Salcedo-Pérez, E., Galvis-Spinola, A., Hernández-Mendoza, T. M., Rodríguez-Macias, R., ZamoraNatera, F., Bugarin-Montoya, R., & Carrillo-González, R. (2007). *LA HUMEDAD APROVECHABLE Y SU RELACIÓN CON LA MATERIA ORGÁNICA Y SUPERFICIE ESPECÍFICA DEL SUELO Available Moisture and its Relation with Organic Matter and Specific Soil Surface*. Chapingo, México: Terra Latinoamericana.
- T., L. (2002). *Curso de Agricultura sostenible. Relaciones agricultura – ambiente en la degradación de tierras en Colombia*. . Obtenido de Curso de Agricultura sostenible. Relaciones agricultura – ambiente en la degradación de tierras en Colombia. : http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_1.html
- Universidad Libre. (2011 - 2019). *Análisis Multitemporal de Coberturas de la Tierra Complejo de Paramos del Altiplano Cundiboyacense 2011-2019*. Colombia.
- Y. García, W. R. (Junio de 2012). *Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso*. Obtenido de Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001
- Yurany Mendez, L. M. (Octubre de 2015). La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite*. *Aluminum (Al³⁺) Toxicity as a Limiting Factor for Growth and Agricultural Productivity: The Case of Oil Palm*, págs. 11-23.
- A. Bautista Cruz, J. E. (2004, Agosto 02). *Revista científica de Ecología y medio ambienye*. Retrieved Agosto 10, 2021 from La calidad del suelo y sus indicadores: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Carter, E. G. (1997). *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*, Volume 25. ELSEVIER, 447.
- Coen, M. A. (2009, Octubre 30). *Cambridge University Press*. Retrieved Agosto 02, 2021 from Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria: <https://www.cambridge.org/core/journals/american-journal-of-alternative-agriculture/article/abs/characterization-of-soil-quality-physical-and-chemical-criteria/2174882BC78EFEFE3E29059F77F2002C>
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA

- E. G. Gregorich, M. R. (1994, Noviembre Sin fecha). *Canadian Science Publishing*. Retrieved Septiembre 06, 2021 from Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/cjss94-051>
- Else K.Bünemann, G. Z. (2018, Mayo Sin Fecha). *Soil Biology and Biochemistry*. Retrieved Agosto 02, 2021 from Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071718300294?via%3Dihub>
- F.H. Tonneijck, B. J. (2010, S/F S/F). *UvA-DARE (Digital Academic Repository)*. Retrieved Septiembre 03, 2021 from University of Amsterdam: <https://dare.uva.nl/search?identifier=f1797f75-e5a6-40a7-af75-55f93f43e97d>
- IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C., 72p.
- IDEAM. 2012. Catálogo de patrones de coberturas de la tierra Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C., 8p.
- IGAC. 2019. Instructivo: Preparación, actualización y análisis de la información en la etapa pre-campo para levantamiento de suelos. GIT gestión de suelos y aplicaciones agrologicas. 40900-01/19. V4. pp, 22.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. (2020, Sin Fecha Sin Fecha). *Una nueva cartografía de los páramos colombianos: Diversidad, Territorio e Historia*. Retrieved Septiembre 03, 2021 from HUMBOLDT: <http://www.humboldt.org.co/es/i2d/item/551-atlas-de-paramos-de-colombia-2013>
- Jérôme Poulénard, P. P.-L. (2001, Marzo 27). *ELSERVIER*. Retrieved Agosto 02, 2021 from Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_59-60/010025847.pdf
- Kelly, K. A. (2003, Diciembre 30). *Forest Ecology and Management*. Retrieved Agosto 15, 2021 from Effects of afforestation of a paramo grassland: http://origin.portalces.org/sites/default/files/references/162_Farley_Kelly_2004.pdf
- Kelly, K. A. (2003, Diciembre 30). *Science Direct*. Retrieved Agosto 19, 2021 from Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status: http://origin.portalces.org/sites/default/files/references/162_Farley_Kelly_2004.pdf
- Landi, M. G. (2015). *EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LA MICROCUENCA DEL RIO*

ZHURUCAY. Cuenca: Universidad de Cuenca Facultad de Ciencias Agropecuarias Escuela de Ingenieria Agronómica.

- Luteyn, H. B. (1992). Páramo : an Andean ecosystem under human influence. *WORLDCAT*, 5.
- Mario A. Díaz-Granados Ortiz, J. D. (2005, Noviembre 11). *Páramos: Hidrosistemas Sensibles*. Retrieved Septiembre 03, 2021 from Revistas Unidades:
<https://revistas.uniandes.edu.co/doi/abs/10.16924/revinge.22.8>
- Ramírez, M. C. (2014). Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación. *Humboldt Colombia*, 10.
- Robert GM Hosfstede, L. D. (2020). Diversidad vegetal en el paramo: pastisales humedos neotropicales de alta montaña. *Enciclopedia de lo Bioamas del mundo*, 362 - 372.
- S. Patiño, Y. H. (Sin Fecha, Sin Fecha Sin Fecha). *Science Direct*. Retrieved Agosto 02, 2021 from Influence of Land use on hydro-physical soil propieties of Andean paramos and itd effect on streamflow buffering : <https://www.scribd.com/document/518795905/Patino-et-al-2021>
- Victor. J Garcia, C. O. (2019). Evaluating the conservation state of the Parámo ecosystem: An object-based image analysis and CART algorithm approach for central Ecuador. *Sicence Direct*, 100.