

UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**Análisis de posibles alternativas productivas en  
torno a la conservación del páramo de Pisba en  
el marco de la ley de páramos – caso Socha  
Boyacá**

**David Andrés Peña Pérez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Económicas  
Bogotá, Colombia  
2022

**Análisis de posibles alternativas productivas en torno a la  
conservación del páramo de Pisba en el marco de la ley de  
páramos – caso Socha Boyacá**

**David Andrés Peña Pérez**

Tesis presentada como requisito para optar al título de:

**Magister en Ciencias Económicas**

Director:

Ph.D. in Environmental Sciences – Ecologic Economics, Alexander Rincón Ruiz

Línea de investigación: Economía ambiental

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Económicas  
Bogotá, Colombia  
2022

*Ya no quedan locos, se murió aquel manchego, aquel estafalario  
fantasma en el desierto. Todo el mundo está cuerdo, terrible,  
monstruosamente cuerdo.*

*León Felipe*

# Declaración de obra original

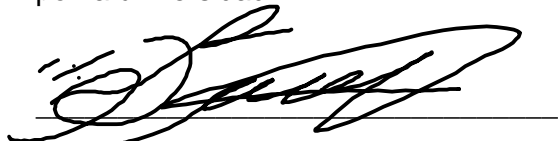
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'David Andres Peña Perez', written over a horizontal line.

David Andres Peña Perez

30/07/2022

# Resumen

Análisis de posibles alternativas productivas en torno a la conservación del páramo de Pisba en el marco de la ley de páramos – caso Socha Boyacá

Las necesidades de consumo y producción han acelerado el deterioro del medio natural durante las últimas décadas y como consecuencia la incertidumbre global por la sostenibilidad del sistema económico - social a mediano y largo plazo, en este sentido el ecosistema de páramo, único en Sudamérica, es considerado estratégico debido a la capacidad que tiene para producir agua y alimentar a grandes poblaciones animales, así como su articulación con otros ecosistemas, entre otras características. Pese a ser considerado estratégico en estas tierras se han acentuado históricamente poblaciones con vocaciones productivas como la minería o la agricultura intensiva, que han limitado la capacidad de producir el tan anhelado recurso hídrico en el marco de un contexto de calentamiento global, cambio climático y el déficit de precipitaciones que se hace cada vez más evidente a nivel mundial, lo cual evidencia un conflicto entre conservación y alternativas económicas para las poblaciones que habitan estos ecosistemas. En este sentido se hace un análisis de la Ley 1930 de 2018 o “Ley de páramos” y las posibles alternativas productivas desde una perspectiva de formulación de política pública y de agrupación por medio de algoritmos de machine learning en el municipio de Socha Boyacá (municipio que depende económicamente de la minería de carbón), así como de técnicas basadas en datos brindando alternativas al conflicto en este municipio colombiano.

**Palabras clave:** Clustering, páramos, Pisba, aprendizaje automático, ciencia de datos, servicios ecosistémicos.

**Código JEL:** Q25, Q38, Q51, Q52

# Abstract

Analysis of possible productive alternatives for the conservation of the Pisba paramo within the framework of the paramo law - Socha Boyaca case.

The needs of consumption and production have accelerated the deterioration of the natural environment during the last decades and therefore the global uncertainty about the sustainability of the economic-social system in the medium and long term. In this sense, the paramo ecosystem, unique in South America, is considered strategic due to its capacity to produce water and feed large animal populations, as well as its articulation with other ecosystems, among other characteristics. Despite being considered strategic, these lands have historically been accentuated by populations with productive vocations such as mining or intensive agriculture, which have limited the capacity to produce the much desired water resource in the context of a context of global warming, climate change and precipitation deficit that is becoming increasingly evident worldwide, which shows a conflict between conservation and economic alternatives for the populations that inhabit these ecosystems. In this sense, an analysis is made of Law 1930 of 2018 or "Paramos Law" and the possible productive alternatives from a perspective of public policy formulation and clustering by means of machine learning algorithms in the municipality of Socha Boyaca (municipality economically dependent on coal mining), as well as data-driven techniques providing alternatives to the conflict in this Colombian municipality.

**Key words:** Clustering, paramos, Pisba, machine learning, data science, ecosystem services.

**JEL code:** Q25, Q38, Q51, Q52

## Contenido

Resumen.....	5
Índice de gráficos .....	8
Índice de mapas .....	8
Índice de imágenes.....	8
Introducción .....	1
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Marco teórico.....	9
Antecedentes .....	9
Aspectos teóricos .....	25
Perspectiva económica de los conflictos ambientales.....	25
Análisis cuantitativo .....	27
Aprendizaje automático y algoritmos para agrupar individuos.....	28
Descripción del algoritmo K-Means .....	30
Diseño metodológico .....	32
Variables seleccionadas para realizar la clusterización.....	35
Caracterización del municipio de Socha – Boyacá .....	40
Caracterización socioeconómica.....	40
Caracterización ambiental.....	43
Títulos mineros en el páramo – Área del municipio de Socha.....	46
Gobernanza local.....	47
Análisis de resultados.....	49
Recomendaciones de política .....	53
Discusión y limitantes de este tipo de metodologías.....	56
Conclusiones .....	57
Bibliografía .....	60

## Índice de tablas

Tabla 1 – Principales instrumentos para la gestión de la biodiversidad y otros relacionados .....	10
Tabla 2 - Caracterización páramo contra títulos mineros en Socha - Boyacá.....	47
Tabla 3 - Resultados metodología de clustering - Quinto grupo .....	49

## Índice de gráficos

Gráfico 1- Correlograma.....	34
Gráfico 2- Correlograma de las variables seleccionadas para el clustering.....	36
Gráfico 3 - Correlograma de cada variable según el clúster .....	37
Gráfico 4 - Principales actividades económicas en Socha – Boyacá .....	40
Gráfico 5 - Distribución del presupuesto SGP .....	42

## Índice de mapas

Mapa 1 Ecosistemas generales de Colombia .....	4
Mapa 2 Áreas prioritarias para conservación .....	25
Mapa 3 - Coberturas de la tierra Socha - Boyacá.....	45
Mapa 4 - Títulos mineros en Socha - Boyacá .....	46

## Índice de imágenes

Imagen 1 – Clustering análisis.....	30
-------------------------------------	----

## Introducción

En las últimas décadas las interacciones de las sociedades con el medio natural han acelerado el deterioro de estos últimos y como consecuencia la incertidumbre global por la sostenibilidad del sistema económico - social a mediano y largo plazo, por lo cual, conscientes de las implicaciones se han emprendido esfuerzos mancomunados entre gobiernos e instituciones globales por conservar la complejidad y diversidad del medio natural, dichos esfuerzos han derivado en múltiples tratados y marcos de acción, los cuales en la actualidad se recogen principalmente en el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011 – 2020 y las metas de Aichi, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) y el Informe de Evaluación Global sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES por sus siglas en inglés (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2018).

Los marcos de acción descritos surgen como respuesta a los convenios acordados desde 1989 en el convenio de Basilea y los que siguieron para enfrentar el cambio climático junto con las problemáticas ambientales que de allí se derivan, como por ejemplo el protocolo de Kioto, se han adaptado a cada país generalmente bajo la figura de normas y leyes reafirmando lo pactado. Por lo tanto, IPBES se estableció desde 2012 como resultado de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio que se derivó del estudio metódico de las condiciones y tendencias de los ecosistemas del mundo y los servicios que se derivan de estos, en este sentido, se han adelantado año a año desde el 2017 reuniones con el fin de brindar herramientas para la formulación de política pública y en 2019 se formuló el programa de trabajo continuo de IPBES hasta 2030 en dónde se incluyeron evaluaciones sobre: el vínculo entre biodiversidad, agua, alimentos y salud, los determinantes del cambio climático y un informe técnico sobre biodiversidad y cambio climático en conjunto con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) (IPBES, 2021).

Colombia no es ajena a la realidad planteada toda vez que ocupa el primer puesto mundial en número de especies de aves (1921) y orquídeas (4270 especies) y el segundo en anfibios (803 especies), plantas (2500 especies aproximadamente) y peces de agua dulce (1435 especies), así como el tercero en palmas (289 especies) y reptiles (537 especies) (UN Environment - World Conservation Monitoring Centre, 2017), sin embargo, las problemáticas asociadas a los diversos ecosistemas del país distan de poderse resumir brevemente dadas las particularidades de los territorios en los cuales tienen lugar, pero con la entrada en vigencia de la ley 1930 de 2018, “por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia”, se aterriza el conflicto socioambiental en el marco del ecosistema de páramo para el país, lo cual se alinea con lo dispuesto en los tratados suscritos en el marco de la conservación ambiental, pero al mismo tiempo entra en conflicto con ciertas actividades económicas, culturales y sociales que se practican en dichos territorios. En este sentido es necesario dimensionar la importancia de este ecosistema en el país y las contraprestaciones o “trade-offs” que de allí se derivan.

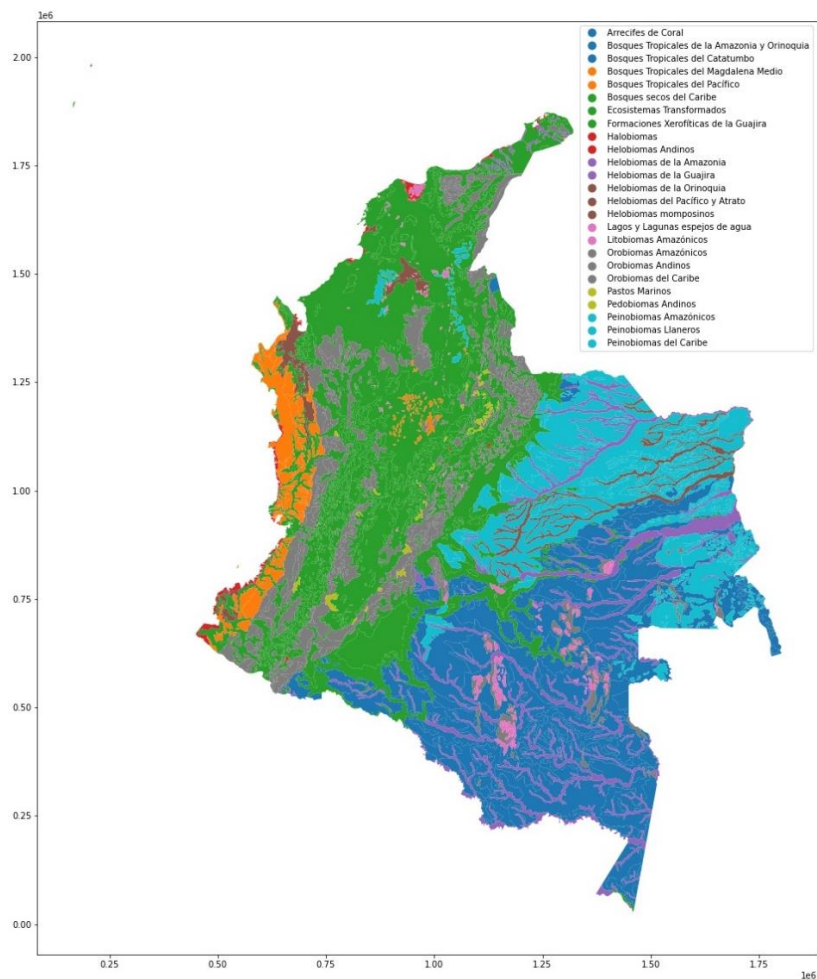
En este orden de ideas, el ecosistema de páramo es relevante, entre otras cuestiones, por los servicios ecosistémicos que presta, es decir, aprovisionan de agua a aproximadamente el 70% de la población colombiana, regulan aguas superficiales y subterráneas, capturan carbono, lo cual es fundamental en cuanto a la mitigación y adaptación al cambio climático, sumado al valor histórico – cultural y finalmente al valor recreacional también adiciona valor intangible (Rincón , Duarte, Agudelo, Riaño, & Sánchez, 2020).

La complejidad que sobre los páramos se extiende, se ha abordado desde diferentes perspectivas y áreas del conocimiento, principalmente desde la biología, la ecología, la sociología, la economía y el derecho, siendo también relevantes otras formas de conocimiento especialmente desarrollado por las comunidades que habitan el ecosistema y la experiencia ancestral adquirida en su interacción con él (Instituto de Investigación de

recursos biológicos Alexander von Humboldt, 2014). Lo anterior corrobora la trascendencia y la consciencia que se ha desarrollado alrededor de la conservación de este estratégico ecosistema, sin embargo, en la práctica el ejercicio ha derivado en conflictos socioambientales debido principalmente a las actividades económicas que se desarrollan sobre este ecosistema y las prohibiciones que se materializaron en la ley 1930 de 2018, que entre otros aspectos, afecta ciertas actividades económicas de las cuales dependen los pobladores para generar ingresos monetarios y satisfacer necesidades básicas.

Las causas de los conflictos que se desarrollan en estos ecosistemas son diversas y obedecen a interacciones de diferente índole, por esta razón los métodos clásicos de valoración económica del medio ambiente por lo general muestran resultados a la luz de factores monetarios que dejan por fuera del análisis otros componentes fundamentales para entender la dinámica de los conflictos en cuestión y por lo tanto para proponer alternativas diferentes a los pagos por servicios ambientales u otras relacionadas que se han mostrado insuficientes para tratar este tipo de problemáticas.

Mapa 1 Ecosistemas generales de Colombia



Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt 1998.

En este orden de ideas y con el fin de ilustrar cartográficamente este tipo de complejos biodiversos en Colombia, se muestran los diferentes ecosistemas que componen el territorio nacional (mapa 1), resaltando la particularidad de los orobiomas andinos categoría en la cual se encuentran agrupados los páramos húmedos, los páramos secos y los superpáramos. La figura muestra la distribución de este tipo de ecosistema a través de la cordillera oriental en donde se ve mayoritariamente la presencia de páramos, lo cual la convierten en la región que presenta mayor extensión de páramos de la Tierra, toda vez

que alberga cerca de 62,48% de las áreas de páramo de Colombia lo cual corresponde a 12.000 km<sup>2</sup> (Guio, Pinilla, Ballesteros, & Espíndola, 2020).

Como se detalla en el mapa 1 los ecosistemas de páramo abarcan cerca del 1,2% del territorio continental colombiano, por lo tanto, para comprender los conflictos que se han desarrollado y continúan en esa dinámica, se tomó el páramo de Pisba principalmente lo que concierne al municipio de Socha, ubicado en el departamento de Boyacá para ilustrar la problemática que allí acontece y los diferentes estudios que se han realizado en términos de valoración económica y multidisciplinar. En este sentido, el principal conflicto que se desarrolla en Socha tiene lugar debido a que el páramo compone el 62,2% del municipio (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020) y fue declarado sujeto de derechos por el tribunal administrativo de Boyacá a raíz de la tutela interpuesta por trabajadores de la empresa CI Bulk Trading Sur América Ltda., contra el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, solicitando el amparo de sus derechos fundamentales vulnerados al debido proceso, al trabajo y a la libertad de escoger profesión, previstos en la constitución política de Colombia. Al ser declarado sujeto de derechos y luego de reafirmarse el fallo en segunda instancia (fallo 2018-00016-01), se definieron los siguientes parámetros para la delimitación del páramo y la aplicación de la ley de páramos:

1. Se le aplicará el Convenio de Diversidad Biológica
2. Se le concede estatus de protección auto ejecutiva.
3. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene el deber de delimitar las áreas del páramo de Pisba bajo criterios eminentemente científicos.
4. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o quien el presidente de la República designe, actuará como representante legal del páramo de Pisba.

5. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, deberá actuar como representante del Páramo de Pisba ante la Agencia Nacional de Minería.
6. Las Corporaciones Autónomas Regionales de la Orinoquia y de Boyacá, no podrán autorizar nuevos planes de manejo ambiental que tengan por objeto servir de requisito a la obtención de un título minero en las zonas que sean delimitadas como páramo de Pisba.

De igual forma, se estipuló que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en coordinación con las entidades que hacen presencia en el páramo (territoriales y nacionales), deberán respetar los siguientes parámetros:

1. Compensar a las personas afectadas con la delimitación del Páramo de Pisba, atendiendo las medidas consideradas por la Corte Constitucional o las que resulten proporcionales a la afectación.
2. De ser solicitado por: la sociedad civil ambientalista, la comunidad que pretenda salvaguardar el ecosistema de páramo, o los pequeños agricultores, ganaderos o mineros, brindar el acompañamiento de centros de educación superior o de las organizaciones sociales para construir una posición informada; instituciones que podrán intervenir en los espacios de participación.
3. Prevenir que la concertación conduzca a la renuncia de derechos del páramo de Pisba como sujeto de derechos y/o de los pobladores a recibir una compensación y/o reubicación que procure la satisfacción cabal del principio de dignidad humana.
4. No incurrir en ningún tipo de discriminación derivada del tipo de actividad que realicen las personas que ocupan el área que va a ser delimitada como páramo, asumiendo como criterio determinante el respeto del principio de dignidad humana y la satisfacción de los derechos humanos de las comunidades.

5. Priorizar en los planes de compensación a los sujetos reconocidos como beneficiarios de una especial protección constitucional.
6. Adelantar concertaciones inclusivas, con la intervención de la totalidad de entes territoriales cuyo territorio se encuentre dentro de la delimitación del páramo de Pisba, los representantes de los titulares mineros, los mineros tradicionales, los trabajadores mineros, los agricultores, los habitantes de las regiones ubicadas en las zonas objeto de delimitación, sin excluir a los pobladores que tengan vicios en la tradición de sus propiedades, bien sea por carencia de título o por cadenas de falsa tradición a las que le sean aplicables a efectos de la sentencia T-488 de 2014.

La sentencia resume el proceso jurídico que se encuentra vigente en el páramo de Pisba en lo que respecta a delimitación y se comprende con mayor claridad al entrar en vigencia la ley 1930 de 2018, la cual, como se mencionó anteriormente, prohíbe diversas actividades productivas en ecosistema de páramo, incluida la minería, lo cual entra en conflicto directo con la vocación productiva del municipio, dado que la minería especialmente la de carbón, es la principal actividad económica concentrada principalmente en la explotación y almacenamiento de carbón (Corporación Autónoma de Boyacá, 2015).

En este sentido, a partir de los datos disponibles y las metodologías de aprendizaje automático actuales, se busca explorar alternativas productivas en el marco de la ley 1930 o ley de páramos a través de un análisis de clústeres, y aspectos particulares de los municipios que comparten características similares, en este caso, en municipios de Boyacá, Santander y Norte de Santander en los cuales se ubican mayoritariamente los páramos de Pisba y Santurbán.

## Objetivo general

Proponer alternativas productivas sostenibles desde un enfoque centrado en los datos disponibles o de acceso público y metodologías de aprendizaje automático que propicien el desarrollo de enfoques diferenciales para el diseño de la política pública que propenda por la conservación del ecosistema de páramo mitigando los posibles efectos socioeconómicos negativos en el marco de la ley de páramos (Ley 1930 de 2018).

## Objetivos específicos

1. Proponer metodologías alternas para el diseño de política pública aplicable al municipio de Socha – Boyacá, reconociendo la heterogeneidad de los diferentes municipios que componen el país.
2. Aplicar metodología de aprendizaje automático que permita proponer alternativas productivas para mitigar los efectos socioeconómicos negativos en el municipio de Socha derivados de la ley de páramos.
3. Caracterización socioeconómica y ecológica de los habitantes de páramo en la jurisdicción correspondiente al municipio de Socha.
4. Identificar actividades productivas alternas a la minería que se adapten al páramo y puedan integrar a los habitantes de Socha en el área de páramo según lo dispuesto en la ley 1930 de 2018.

## Marco teórico

### Antecedentes

La dependencia de los países en vías de desarrollo para generar ingresos a partir de la explotación de materias primas y sectores primarios de la economía hacen que la especialización en actividades como la agricultura, la ganadería y la minería entren en conflicto directo con los propósitos de conservación de los ecosistemas estratégicos. En este orden de ideas, es importante resaltar que históricamente las actividades económicas anteriormente descritas se han practicado sin restricciones e incluso los precios de commodities como el oro, el carbón y el petróleo en mercados nacionales e internacionales han potenciado la degradación de los ecosistemas estratégicos y particularmente los de páramo (Rincón Garavito, 2015). Para ilustrar en detalle la dependencia de Colombia por la producción y exportación del sector minero-energético se estableció que luego de la caída de los precios de los commodities en 2014, las exportaciones generales del país tuvieron el siguiente comportamiento: 40% de petróleo, 13% de carbón, 7% de café y 1% de níquel, lo cual mantuvo la tendencia hasta 2019 y que por la pandemia produjo la caída de los ingresos nacionales y la disminución en la producción de estos minerales (Oviedo - Gómez & Candelo - Viafara, 2020). Dado el contexto económico y social del país que ha configurado la dependencia por la exportación de materias primas anteriormente descrita, se evidencia también que desde 2015, en promedio, se han mantenido vigentes 364 títulos mineros en ecosistemas de páramo en todo el territorio colombiano lo que equivalen a 79.930 hectáreas destinadas a la extracción de carbón, oro, zinc, entre otros. En este sentido la mayoría de las problemáticas ambientales en ecosistema de páramo de concentran en: Santurbán, Pisba y el complejo de páramos de Cundinamarca y Bogotá (Rincón , Duarte, Agudelo, Riaño, & Sánchez, 2020).

Debido a la riqueza en biodiversidad y los constantes conflictos socioambientales, se han materializado diferentes iniciativas para mitigar los afectos sobre los servicios ecosistémicos, por lo tanto, Colombia suscribió el convenio de Diversidad Biológica a través de la ley 165 de 1994, y en función de ella se formuló la política nacional de biodiversidad, razón por la cual se creó el Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP. A partir de allí se inició un proceso de identificación y caracterización de ecosistemas en el marco de los múltiples acuerdos entre los diferentes intereses que tiene la sociedad frente a la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que esta última presta (Rincón Ruiz, y otros, 2014), partiendo de allí, se emprendieron diversos esfuerzos con el fin de preservar los ecosistemas estratégicos y mitigar efectos socioeconómicos en los municipios en los cuales se encuentran los ecosistemas en mención, por ejemplo, la identificación por parte del Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt de las áreas prioritarias para la conservación en el país en 2008 (mapa 2), sin embargo, para ilustrar más detalladamente el contexto en términos de política pública se resumen los esfuerzos emprendidos en la siguiente tabla:

*Tabla 1 – Principales instrumentos para la gestión de la biodiversidad y otros relacionados*

<b>Tipo de Instrumento</b>	<b>Principal Nivel de Organización de la Biodiversidad Atendido</b>	<b>Título</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Año</b>
Política	Todos los niveles	Política Nacional de Biodiversidad	Promover la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, así como	1996

			la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los conocimientos, innovaciones y prácticas asociados a ella por parte de la comunidad científica nacional, la industria y las comunidades locales.	
Política	Ecosistemas	Política de Bosques (Documento CONPES 2834/10)	Lograr un uso sostenible de los bosques con el fin de conservarlos, consolidar la incorporación del sector forestal en la economía nacional y mejorar la calidad de vida de la población.	1996
Política	Poblaciones, Especies	Política para la Gestión Ambiental de la Fauna Silvestre en Colombia	Generar las condiciones necesarias para el uso y aprovechamiento sostenible de la fauna silvestre como estrategia de conservación de la biodiversidad y alternativa socioeconómica para el desarrollo del país, garantizando la	1997

			permanencia y funcionalidad de las poblaciones naturales y de los ecosistemas de los cuales hacen parte	
Política	Ecosistemas	Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia (Documento CONPES 3164/02)	Propender por el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras, que permita mediante su manejo integrado, contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana, al desarrollo armónico de las actividades productivas y a la conservación y preservación de los ecosistemas y recursos marinos y costeros.	2001
Política	Ecosistemas	Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia	Propender por la conservación y el uso racional de los humedales interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales, como	2001

			parte integral del desarrollo del País.	
Política	Todos los niveles	Política de Gestión Ambiental Urbana	Establecer directrices para el manejo sostenible de las áreas urbanas, definiendo el papel y alcance e identificando recursos e instrumentos de los diferentes actores involucrados, de acuerdo con sus competencias y funciones, con el fin de armonizar la gestión, las políticas sectoriales y fortalecer los espacios de coordinación interinstitucional y de participación ciudadana, para contribuir a la sostenibilidad ambiental urbana y a la calidad de vida de sus pobladores, reconociendo la diversidad regional y los tipos de áreas urbanas en Colombia.	2008

Política	Todos los niveles	Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación (Colombia construye y siembra futuro) (Documento CONPES 3582/09)	<p>Crear las condiciones para que el conocimiento sea un instrumento del desarrollo.</p> <p>Principalmente a través de acelerar el crecimiento económico, y disminuir la inequidad.</p> <p>En esta política considera la biodiversidad como un área estratégica y reconoce la necesidad de avanzar en el conocimiento y uso sostenible de ésta.</p>	2009
Política	Ecosistemas	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	<p>Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos</p>	2009

			de participación equitativa e incluyente.	
Política	Todos los niveles	CONPES 3680 SINAP“Lineamientos para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas”	Establecer las pautas y orientaciones para avanzar en la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia como un sistema completo, ecológicamente representativo y eficazmente gestionado, de forma que se contribuya al ordenamiento territorial, al cumplimiento de los objetivos nacionales de conservación y al desarrollo sostenible en el que está comprometido el país.	2010
Política	Todos los niveles	Política de Producción y Consumo Sostenibles	Orientar el cambio de los patrones de producción y consumo de la sociedad colombiana hacia la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la competitividad de las	2010

			empresas y al bienestar de la población.	
Programa	Poblaciones / Especies	Programas conservación de especies (Tremarctos ornatus, Género Tapirus, Crocodylus intermedius, tortugas marinas y continentales (tortuga icotea), Cóndor Andino, Tiburones, Rayas y Quimeras), Titi Gris.	Garantizar la conservación y/o uso sostenible de estas especies.	2001 2005 2002 2006 2010
Programa	Ecosistemas	Programa Nacional Uso Sostenible, Manejo Y Conservación De Los Ecosistemas De Manglar	Adelantar acciones para lograr el uso sustentable de los ecosistemas de manglar de Colombia, procurando la participación directa y permanente de las comunidades asociadas a éstos, considerándolos como espacio de vida a través de la conservación y restauración de estos y el fortalecimiento de la generación de	2002

			alternativas productivas, sociales, económicas y ecológicamente adecuadas.	
Programa	Ecosistemas	Programa para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña colombiana	Orientar a nivel nacional, regional y local la gestión ambiental en ecosistemas de Páramo y adelantar acciones para su manejo sostenible y restauración, mediante la generación de conocimiento y socialización de información de su estructura y función, la restauración ecológica, la consolidación de sus potencialidades hídricas, la planificación ambiental del territorio, el uso sostenible de los recursos naturales presentes, el desarrollo de acuerdos, tratados, la cooperación técnica nacional e internacional, y la participación directa y permanente de las comunidades asociadas a estos ecosistemas,	2002

			considerándolos espacios de vida.	
Plan	Ecosistemas	Plan Nacional de Desarrollo Forestal	Establecer un marco estratégico que incorpore activamente el sector forestal al desarrollo nacional, optimizando las ventajas comparativas y promoviendo la competitividad de productos forestal maderables y no maderables en el mercado nacional e internacional, a partir del manejo sostenible de los bosques naturales y plantados.	2000
Plan	Ecosistemas	Plan Nacional de prevención, control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas.	Establecer los lineamientos de orden nacional para la prevención, control y restauración de las áreas afectadas por los incendios forestales, mitigando su impacto y fortaleciendo la organización nacional, regional y local con	2002

			programas a corto (3 años), mediano (10 años) y largo plazo (25 años).	
Plan	Ecosistemas	Plan De Acción Nacional De Lucha Contra La Desertificación Y La Sequía En Colombia	Adelantar acciones contra la degradación de tierras, desertificación y mitigación de los efectos de la sequía, así como para el manejo sostenible de los ecosistemas de las zonas secas, a partir de la aplicación de medidas prácticas que permitan prevenir, detener y revertir dichos procesos degradativos y contribuir al desarrollo sostenible de las zonas afectadas.	2004
Plan	Todos los niveles	Planes regionales de acción en biodiversidad (Cuenca del Orinoco, Sur de la Amazonía, Valle del Cauca, Quindío, Nariño, Norte de Santander, Sucre)	Promover la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, así como una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de ésta.	2005

Plan	Poblaciones / Especies	Plan Nacional de las especies migratorias	Adelantar acciones para la conservación y el manejo sostenible de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia	2009
Estrategia	Poblaciones / Especies	Estrategia Nacional para la prevención y el control del tráfico ilegal de especies silvestres.	Identificar, priorizar, orientar, coordinar, articular y ejecutar acciones encaminadas a la disminución del tráfico ilegal de especies silvestres y a la generación de alternativas productivas sostenibles que sustituyan dicho ilícito, a partir de vínculos efectivos de coordinación entre las diferentes instituciones y demás actores directa o indirectamente responsables de la gestión ambiental.	2002
Estrategia	Todos los niveles	Directrices generales para la Conservación ex situ de fauna silvestre en parques zoológicos y acuarios de	Establecer los lineamientos para la implementación de programas de conservación ex situ en zoológicos y acuarios	2006

		Colombia. Plan de Acción 2004-2014	colombianos como complemento a la conservación in situ, que ayuden al mantenimiento de la diversidad biológica.	
Estrategia	Poblaciones / Especies	Estrategia Nacional para la prevención y control al tráfico ilegal de las Especies Silvestres de Perezosos en Colombia	Identificar, priorizar, orientar, coordinar, articular y ejecutar acciones encaminadas a la erradicación del tráfico ilegal de las especies de perezosos y a la generación de alternativas productivas sostenibles que sustituyan dicho ilícito, a partir de vínculos efectivos de coordinación entre las diferentes instituciones y demás actores directa o indirectamente responsables de la gestión ambiental.	2008
Estrategia	Poblaciones / Especies	Estrategia Nacional de Prevención, Control, Seguimiento y Vigilancia Forestal	Establecer e implementar un conjunto integrado de lineamientos, procedimientos y acciones que articulen de manera armónica los	2010

			<p>componentes preventivo, jurídico, administrativo-financiero y operativo de los procesos de prevención, seguimiento, control y vigilancia del manejo y aprovechamiento, movilización, transformación y comercialización de los recursos forestales, maderables y no maderables, con base en la gestión coordinada de las autoridades ambientales y demás organismos competentes del Estado y la participación activa de los diversos actores de la cadena productiva forestal, de otros sectores productivos relacionados y de la sociedad civil en general.</p>	
Propuesta Técnica	Todos los niveles	Biodiversidad Siglo XXI: propuesta técnica de plan de acción Nacional en Biodiversidad	Estrategias y líneas de acción para conocer, conocer y utilizar la biodiversidad colombiana	1998

Fuente: Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

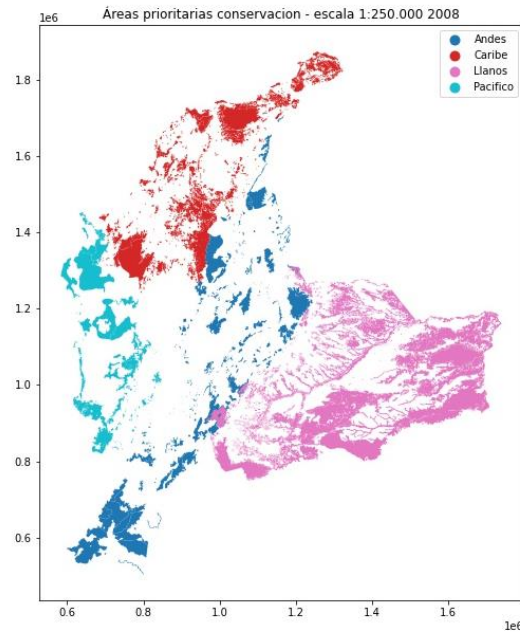
Como se ilustra en el cuadro resumen, la normatividad en términos de conservación es relativamente reciente en Colombia, sin embargo, en dónde se reconoce y empieza a reglamentar en detalle los conflictos al interior de los ecosistemas de páramo es la ley 1930 de 2018 declarándolos ecosistemas estratégicos y definiendo las directrices para la interacción de los diferentes actores sociales, económicos e institucionales dentro del ecosistema. En este sentido, la ley encarga al ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible la delimitación de los páramos bajo criterios eminentemente técnicos y basados en lo establecido por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Sin embargo, el artículo V de la ley fundamenta las prohibiciones que sobre los páramos recaen y brinda mayor poder de acción a los Planes de Manejo Ambiental en cada uno de los ecosistemas definidos (Congreso de Colombia, 2018), en este sentido, se establecen prohibiciones principalmente sobre actividades económicas que tengan alto impacto negativo sobre el páramo, es decir:

1. Se prohíbe el desarrollo de actividades de exploración y explotación minera.
2. Se prohíbe el desarrollo de actividades de exploración y explotación de hidrocarburos.
3. Se prohíben las expansiones urbanas y suburbanas.
4. Se prohíbe la construcción de nuevas vías.
5. Se prohíbe el uso de maquinaria pesada en el desarrollo de actividades agropecuarias.
6. Se prohíbe la disposición final, manejo y quema de residuos sólidos y/o peligrosos.

7. Se prohíbe la introducción y manejo de organismos genéticamente modificados y de especies invasoras.
8. Se prohíbe, salvo en casos excepcionales el uso de cualquier clase de juegos pirotécnicos o sustancias inflamables, explosivas y químicas.
9. Se prohíben las quemas.
10. Se prohíben las talas, con excepción de las que sean necesarias para la conservación del páramo.
11. Se prohíbe la fumigación y aspersion de químicos, la cual se eliminará paulatinamente conforme avance la reconversión de actividades agropecuarias.
12. Se prohíbe la degradación de cobertura vegetal nativa.
13. Se prohíben los demás usos que resulten incompatibles con el objetivo de los ecosistemas y lo previsto en el plan de manejo del páramo debidamente adoptado.

Las prohibiciones desarrolladas en la ley 1930 se encuentran alineadas con los planes de manejo ambiental dotándolos de mayor poder de acción, debido a que posterior a la delimitación del páramo, estos deben “contemplar y formular acciones orientadas a la preservación, restauración, uso sostenible y generación de conocimiento en los páramos” (Congreso de Colombia, 2018), las prohibiciones detalladas son el eje fundamental de la problemática en los páramos colombianos, dado que obliga a reconvertir actividades productivas que tengan alto impacto negativo sobre el ecosistema y esto implica directamente que actividades ancestrales como la minera artesanal, los cultivos intensivos, la tala de árboles para madera, entre otras actividades económicas deban ser progresivamente erradicadas para lograr la conservación del ecosistema que es el objetivo principal de la ley de páramos y de la normatividad vigente en términos ambientales.

Mapa 2 Áreas prioritarias para conservación



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos dispuestos en el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) por el Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2008).

## Aspectos teóricos

### Perspectiva económica de los conflictos ambientales

La literatura económica convencional desarrolla el problema de los recursos naturales desde la perspectiva de bienes públicos y externalidades, lo cual generalmente se aborda en el marco de los recursos de uso común o compartidos, más detalladamente en cuanto a el análisis de costo beneficio para el intercambio de productores y consumidores mediado generalmente por el Estado, en este sentido, se parte de la definición de bien público para desarrollar luego las interacciones en la lógica del mercado; por lo cual, un bien público tiene dos atributos “no-excluibilidad”, lo cual se traduce en que el productor no puede evitar el uso del bien por otros, y “no-rivalidad” lo cual significa que muchas personas pueden utilizar el bien de manera simultánea (Monsalve Gómez, 2018). Sin embargo, desde

diversas corrientes del pensamiento se ha criticado esta visión meramente mercantil de los recursos naturales, incluso desde la misma disciplina, específicamente Ostrom desde la perspectiva neoinstitucional que afirma en su libro el gobierno de los bienes comunes la evolución de las instituciones de acción colectiva: “el aprovechamiento de los recursos y su administración por parte de las autoridades gubernamentales pueden conducir – y han conducido – a calamidades ambientales” lo cual viene acompañado por una crítica a la generalización de modelos en economía (Ostrom, 1990).

En este orden de ideas, otro cuestionamiento que se realiza al entendimiento de las problemáticas asociadas a recursos de uso común desde la visión tradicional en economía, cuestiona que la suposición bajo la cual los individuos se enfrentan al dilema en donde las externalidades creadas por sus propias acciones conllevarán a estimaciones estrechas que los conducirán a dañarse a si mismos y a los demás sin encontrar formas de cooperación entre ellos para evitar el problema, lo cual está asociado al acercamiento desde las externalidades y los bienes públicos (Ostrom, 1990). En este sentido, las acciones colectivas se muestran como una alternativa para la administración y uso de recursos de uso compartido, dado que parte del conocimiento y la experiencia desarrollada por las comunidades que habitan

Desde diversas disciplinas como la biología, la ecología, la sociología, la economía, la antropología, entre otras, se han propuesto alternativas para minimizar el impacto de las relaciones humanas con el medio natural (Rincón Ruiz, y otros, 2014), incluso en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio se resalta el “*trade-off*” de la relación humana con el medio natural: “los cambios realizados en los ecosistemas han ayudado a obtener considerables beneficios netos en el bienestar humano y el desarrollo económico, pero estos costos se han obtenido con crecientes costos consistentes en la degradación de muchos servicios de ecosistemas ...” (United Nations Secretary-General, 2005), por esta

misma razón desde las disciplinas anteriormente mencionadas, junto con otros campos de conocimiento, han construido y propuesto metodologías para el análisis de los conflictos medioambientales. En Colombia uno de los esfuerzos que reúne con mayor detalle esa visión pluridisciplinar es el libro Valoración Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos, aspectos conceptuales y metodológicos, publicación que es enfática en concebir el territorio como un sistema socioecológico en el cual se definen las interacciones sociales y ecológicas de manera integrada para el análisis (Rincón Ruiz, y otros, 2014).

#### Análisis cuantitativo

Las técnicas de aprendizaje automático o “*machine learning*” han mostrado ser eficientes dado el alto volumen de datos que interactúan por medios digitales y la robustez de los sistemas empleados para el análisis de la información que se produce en horizontes cortos de tiempo, en este sentido, diferentes problemáticas se han abordado bajo este enfoque, debido principalmente a la facilidad para integrar análisis de textos, por ejemplo de comentarios en redes sociales como Twitter, Facebook o YouTube con datos geoespaciales, índices de diferente índole, entre otros tipos de información así como la multiplicidad de librerías y técnicas estadísticas desarrolladas en código abierto que dotan de insumos a los equipos de analítica o investigación para construir hipótesis con evidencia empírica que se materializa por medio de datos para la resolución de paradojas y/o preguntas de investigación (Biesbroek, Badloe, & Athanasiadis, 2020).

Para ilustrar la aplicación de las técnicas de aprendizaje automático en la resolución de conflictos socioambientales se muestra el caso de Reino Unido en el que se emplearon técnicas de clasificación de textos de políticas públicas por medio de un modelo de red neuronal con algunas aplicaciones de técnicas de clustering en el cual finalizan profundizando en las ventajas y desventajas de usar modelos de aprendizaje automático en el estudio particular de ese caso (integración de políticas de adaptación al cambio

climático para el Reino Unido). Es importante resaltar que para el caso en mención el objetivo era clasificar los textos de política pública en grupos de mayor a menor relevancia respectivamente para proponer a los formuladores de política alternativas económicas en tiempo y recursos para la formulación de política pública en mitigación del cambio climático para Reino Unido (Biesbroek, Badloe, & Athanasiadis, 2020). En este sentido pero en Perú, se desarrolló el análisis de conflictos ambientales utilizando clústeres a partir de un modelo de entropía – peso para un proyecto minero, sin embargo, es necesario aclarar que pese al objetivo de crear grupos poblaciones (urbana, rural y especialistas) la técnica empleada se encuentra por fuera de las actualmente entendidas como aprendizaje automático o “*machine learning*”, sin embargo, los resultados alcanzados por medio de la metodología comparten similitudes metodológicas con el algoritmo K-means desarrollado en el presente trabajo (Delgado, 2016).

#### Aprendizaje automático y algoritmos para agrupar individuos

En Colombia se han llevado a cabo diferentes ejercicios para agrupar municipios en función de sus características, la ley vigente que es la 617 de 2000 y el artículo sexto de la ley 136 de 1994 modificado por el artículo 153 del Decreto 2106 de 2019 establece la categorización de municipios a partir de: Población (CENSO – DANE), Ingresos Corrientes de Libre Destinación (ICLD – Contraloría General de la República), Gastos de funcionamiento (Contraloría General de la República) y el porcentaje de gastos de funcionamiento dividido entre los ingresos corrientes de libre destinación. A partir de esa información se pondera y se establecen siete categorías dejando en la “Especial” a Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Cartagena. Los municipios de quinta y sexta categoría son los de menor desarrollo según esta clasificación (Contaduría General de la Nación, 2022).

Sin embargo, la metodología implementada por la Contaduría General de la Nación es insuficiente para definir otro tipo de problemáticas de política pública como por ejemplo la

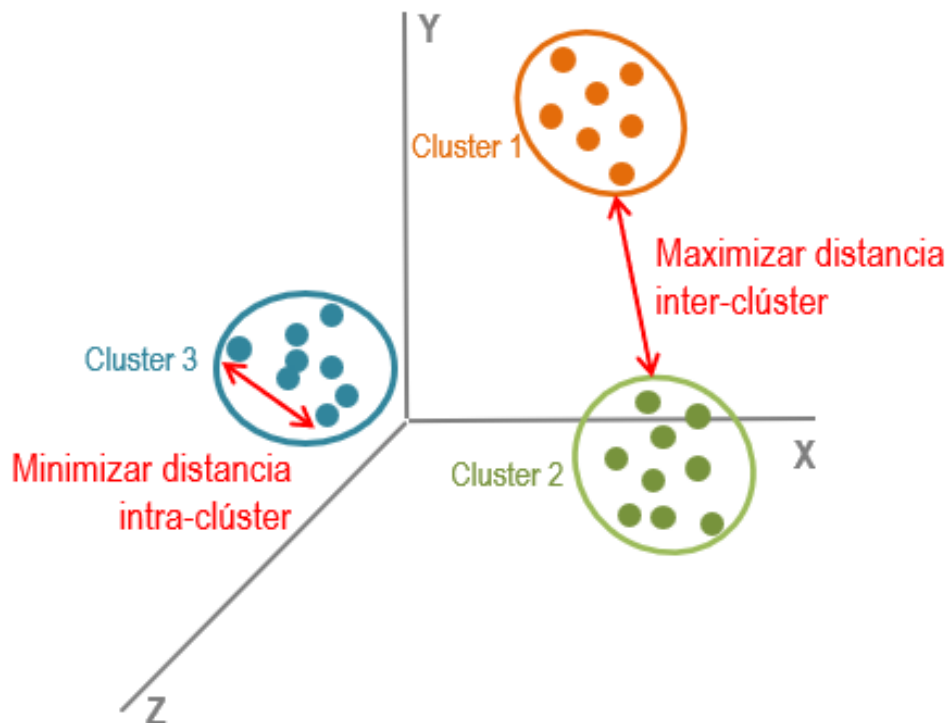
asignación de presupuestos de inversión y el diseño de política focalizada, por lo tanto, desde la Dirección de Desarrollo Territorial Sostenible del Departamento Nacional de Planeación se aplicó en 2015 la metodología de componentes principales (PCA por sus siglas en Inglés) la cual estableció tres entornos de desarrollo: temprano, intermedio y robusto para clasificar a los 1.101 municipios que componían en ese entonces el territorio colombiano. Esta metodología marcó la pauta varios años y tuvo en cuenta para la clasificación más de veinticuatro (24) variables agrupadas en siete (6) dimensiones: Urbana, económica, calidad de vida, ambiental, seguridad e institucional. Sin embargo, por cuestiones de actualización de las variables utilizadas para el ejercicio y por cuestiones internas del Departamento Nacional de Planeación, dicha clasificación no se ha actualizado desde 2015 (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

En este orden de ideas y dada la heterogeneidad de los municipios que componen el país así como las características que comparten los territorios que tienen ecosistemas de páramo se propone agrupar estos municipios o individuos para proponer alternativas en función de aprendizajes desarrollados que pueden ser replicados en Socha – Boyacá, dado entre otras cosas, que las clasificaciones llevadas a cabo por Contaduría y DNP perseguían objetivos distintos dado que no tenían en cuenta variables asociadas a ecosistemas de páramo para clasificar municipios.

En este sentido y debido al auge de herramientas digitales para el análisis de grandes volúmenes de datos y la aplicación de modelos de aprendizaje automático o “*machine learning*” se propone como método de análisis un algoritmo de segmentación de poblaciones conocido en la literatura como “*clustering*” el cual se define como una técnica de aprendizaje no supervisado para la agrupación de individuos de una determinada población a partir de su similitud (distancia) respecto a un conjunto de características previamente definidas, sin embargo, en función de la naturaleza de los insumos (datos de

entrada) existen diferentes tipos de algoritmos como por ejemplo: DBSCAN, BIRCH, K-Means, Mean Shift, Gaussian Mixture Model, OPTICS, entre otros (Aggarwal & Reddy, 2014). Para el desarrollo de este ejercicio y debido a la naturaleza de los datos, en este caso características de municipios de Colombia, se eligió K-Means que realiza el agrupamiento minimizando la suma de distancias entre cada objeto y el centroide de su grupo o clúster por medio de la distancia cuadrática.

Imagen 1 – Clustering análisis



Fuente: (Aggarwal & Reddy, 2014)

#### Descripción del algoritmo K-Means

K-Means es un algoritmo de aprendizaje no supervisado basado en centroides utilizado para segmentar poblaciones en función de las variables elegidas por medio de otras

técnicas estadísticas, como un dendograma, el método de Elbow y el índice de Dunn que finalmente fue el elegido para realizar la segmentación dada la naturaleza de los datos de los municipios. En este orden de ideas, el índice de Dunn es una métrica para evaluar algoritmos de clustering a partir de características inherentes al conjunto de datos, es decir, un valor alto de este índice significa una agrupación óptima y viceversa como se muestra a continuación:

$$DI_K = \min_{1 \leq i \leq K} \left\{ \min_{1 \leq j \leq K, j \neq i} \left\{ \frac{\delta(X_i, X_j)}{\max_{1 \leq k \leq K} \Delta(X_k)} \right\} \right\}$$

Donde,

$DI_K$ : Índice de Dunn para  $K$  clústeres

$\delta(X_i, X_j)$ : distancia intercluster entre el clúster  $X_i$  y el clúster  $X_j$

$\Delta(X_k)$ : distancia intracluster del clúster  $X_k$

Luego de obtener el número óptimo de clústeres se identifican los centroides al azar dentro de cada uno de los grupos para luego tomar cada punto perteneciente al conjunto de datos y asociarlo al centro más cercano, es un proceso que se repite  $K$  veces hasta que se estabilizan los datos alrededor de los centros de cada grupo, es decir, los centros no se mueven más. Finalmente, este algoritmo tiene como objetivo minimizar una función objetivo conocida como función de error cuadrático dada por (Tapas, y otros, 2002):

$$J(v) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{c_i} (\|x_i - v_j\|)^2$$

En dónde,

$\|x_i - v_j\|$  es la distancia Euclidiana entre  $x_i$  y  $v_j$

$c_i$  es el número de observaciones en el  $i^{th}$  clúster

$c$  es el número de centros del total de los clústeres

### **Pasos para llevar a cabo el algoritmo:**

Sea  $X = \{x_1, x_2, x_3 \dots x_n\}$  el conjunto de datos y  $V = \{v_1, v_2, v_3 \dots v_c\}$  el conjunto de centros

- 1) Se selecciona aleatoriamente los centros de los grupos  $c$ .
- 2) Se calcula la distancia entre cada grupo de datos y los centros de los grupos.
- 3) Se asigna cada punto de datos al centro del clúster cuya distancia sea la mínima con respecto a todos los centros de los clústeres.
- 4) Se recalcula el nuevo centro:

$$v_i = \left(\frac{1}{c_i}\right) \sum_{j=1}^{c_i} x_j$$

Dónde,  $c_i$  es el número de observaciones en el  $i^{th}$  clúster

- 5) Se vuelve a calcular la distancia entre cada punto de datos y los nuevos centros de cada clúster.
- 6) En caso de no reasignarse ningún punto de datos, el algoritmo se detiene, en el caso contrario se repite desde el paso 3.

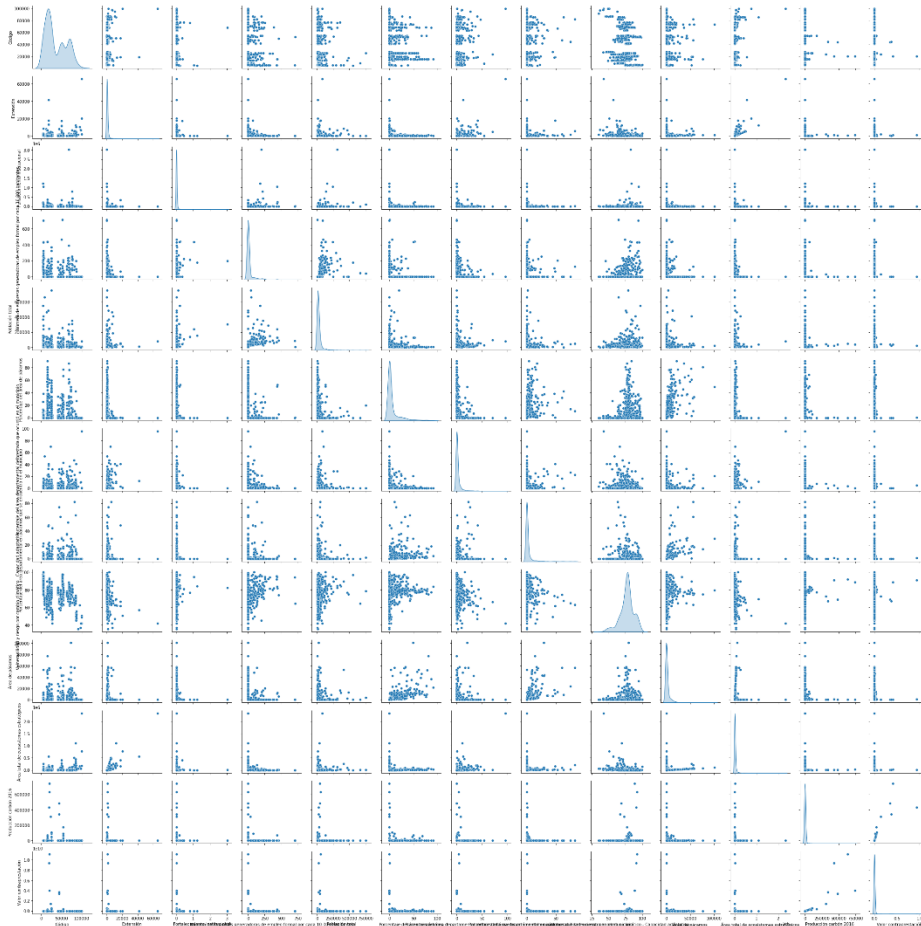
## **Diseño metodológico**

Es necesario aclarar que el acercamiento metodológico planteado en este ejercicio tiene un enfoque limitado dado que el análisis se hace con base en los datos públicos disponibles y dispuestos en diferentes formatos por entidades públicas del nivel central y territorial que

componen la institucionalidad del país. En este orden de ideas, la base de datos que se construyó para realizar la clusterización y la aplicación de las demás metodologías incorpora datos de diferentes fuentes. Es así como del portal Terridata del Departamento Nacional de Planeación (DNP) se tomaron la mayor cantidad de indicadores socioeconómicos y ambientales, del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) se tomaron datos de coberturas de la tierra, títulos mineros otorgados, de la Unidad de Planeación Minero Energética (UMPE) se tomó la producción de carbón y el valor monetario de la producción de carbón por municipio, finalmente y por medio del código DIVIPOLA (División político Administrativa del país) se construyó la tabla de caracterización que sirve de insumo fundamental para cruzar información y procesar los datos recolectados.

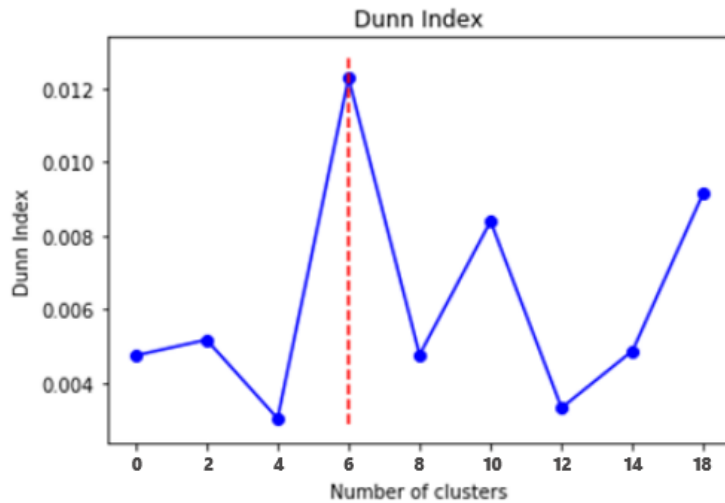
Del universo de variables dispuesto inicialmente se seleccionaron once según la distribución que se ilustró en el correlograma:

Gráfico 1- Correlograma



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de características de municipios

Al aplicar la maximización del Índice de Dunn, se definió el numero óptimo de clústeres para el ejercicio dando como resultado K=6:



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de características de municipios

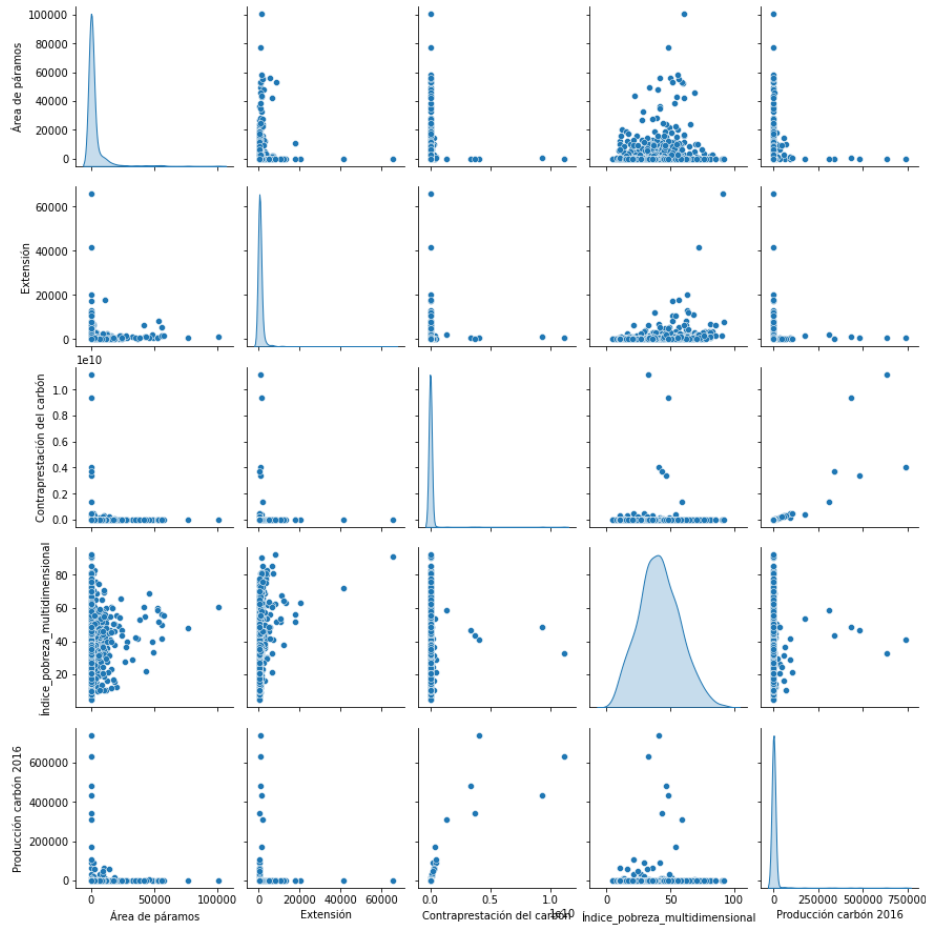
### Variables seleccionadas para realizar la clusterización

Es importante aclarar que el óptimo funcionamiento de la metodología de clustering depende de la calidad de la información recolectada, es decir, los formatos, la completitud y otras características de los datos, sin embargo, el filtro en la selección de variables es determinante para el posterior análisis de resultados, por lo tanto y siguiendo las recomendaciones postuladas en la Valoración Integral de Servicios Ecosistémicos se seleccionaron los datos con base en tres grandes dimensiones: ambiental, social y económica (Rincón Ruiz, y otros, 2014). Dentro de cada dimensión, maximizando el índice de Dunn y teniendo en cuenta que fueron las variables con mayor documentación dentro de los portales de datos de los cuales se extrajo la información; se seleccionaron las variables que permitieron conformar los grupos según las características de cada municipio.

Con base en el análisis de distribución de cada una de las variables que componen la base de datos consolidada por municipio, se seleccionaron las variables óptimas que maximizaban el índice de Dunn para agrupar los 987 municipios de los cuales se encontraron datos a nivel socioeconómico y ambiental en seis grupos, en este sentido en cada grupo se encuentran los más similares entre si lo cual es el insumo principal para el

posterior análisis cualitativo entre municipios semejantes según la segmentación. Por lo tanto, para la clusterización se tuvieron en cuenta las siguientes variables: Área de páramos, valor económico de la contraprestación del carbón, producción de carbón, extensión e índice de pobreza multidimensional, como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfico 2- Correlograma de las variables seleccionadas para el clustering

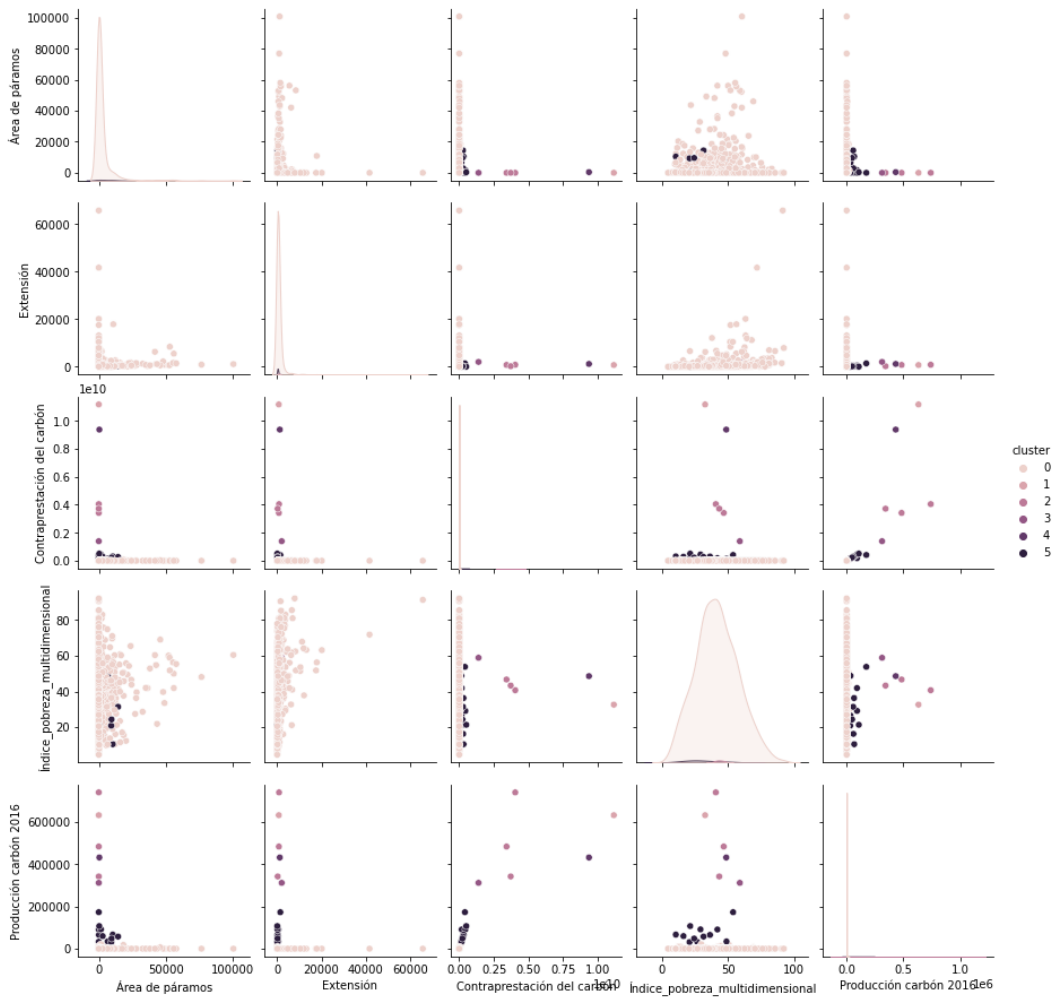


Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de características de municipios

Las variables elegidas se tomaron con corte al 2018 debido principalmente a que varios de los índices ambientales tomados de Terridata como el área de páramos, la vulnerabilidad y riesgo por cambio climático, área total de ecosistemas estratégicos se actualizaron hasta ese año, sin embargo, al cotejar la información con el Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Pisba 2020 – 2025 se evidencia que los cambios en términos de área del páramo

dentro de Socha así como las principales actividades económicas, no son significativos por lo cual a partir de dicha información y los grupos de municipios se infieren actividades económicas que pueden ser reproducidas en Socha y los municipios que tienen características similares. Posterior al agrupamiento se procedió a hacer el análisis de distribución dentro de cada uno de los grupos lo cual es el principal insumo para el análisis de municipios similares a Socha, como muestra a continuación:

Gráfico 3 - Correlograma de cada variable según el clúster



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de características de municipios

Otro de los factores determinantes en la comprensión de la problemática alrededor de la delimitación del páramo y que se debe tener en cuenta para el análisis de las variables

sobre las cuales se realiza la segmentación son los diversos servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte que presta el ecosistema lo cual se pretende conservar en el marco de la ley 1930 de 2018 pero que entra en conflicto directo con la actividad minera, específicamente de carbón que se realiza en la región y que desde hace más de dos décadas se configura como la principal actividad económica en Socha y municipios con características similares dentro del complejo de Pisba (Guio, Pinilla, Ballesteros, & Espíndola, 2020). Por lo tanto, antes de seleccionar las variables se procedió a identificar los servicios ecosistémicos que presta el ecosistema y en este sentido se han adelantado diversos ejercicios con la comunidad que habita el páramo e incluso en el marco de la nueva delimitación que se exigió a partir del fallo 2018-00016-01 se documentó este ejercicio en el micrositio web en el que reposan las actas de los diversos acercamientos y actividades con los habitantes de la zona para realizar la nueva delimitación pero al mismo tiempo para encontrar salidas a los conflictos entre conservación y minería junto con otras actividades económicas que también deterioran la provisión de otros servicios ecosistémicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

Es importante aclarar que la valoración de los servicios ecosistémicos que se revisó fue la realizada en el plan de manejo ambiental de Pisba 2020 – 2025, sin embargo, para la clusterización no se tuvieron en cuenta variables de prestación de servicios ecosistémicos dado que este tipo de datos no se encontraron a nivel de municipio, es decir, en formato de base de datos, no obstante, puede ser una variable determinante para nuevos ejercicios.

En este orden de ideas y con base en la valoración realizada en el estudio técnico para la delimitación del páramo de Pisba en el 2018, que aplicó la metodología propuesta en VIBSE (Corporación Autónoma Regional de Boyacá , 2016), se seleccionaron las variables iniciales para hacer la clusterización: Porcentaje de área de páramos, Porcentaje del área departamental deforestada que ocurrió en el departamento, vulnerabilidad y riesgo por

cambio climático. Al mismo tiempo que se estudiaron variables como la producción de agua y la huella hídrica que sirven como instrumento para medir los servicios ecosistémicos que presta el páramo (Rincón Ruiz, y otros, 2014). En la elección de las variables para tener en cuenta como se introdujo con anterioridad fue de vital importancia la clasificación realizada en el plan de manejo del parque nacional natural Pisba 2020 – 2025 que es preciso ilustrar en detalle.

Los servicios ecosistémicos que presta complejo de páramos de Pisba son los siguientes (Corporación Autónoma Regional de Boyacá , 2016):

- Oferta y regulación hídrica
- Calidad del aire
- Regulación climática
- Servicios culturales

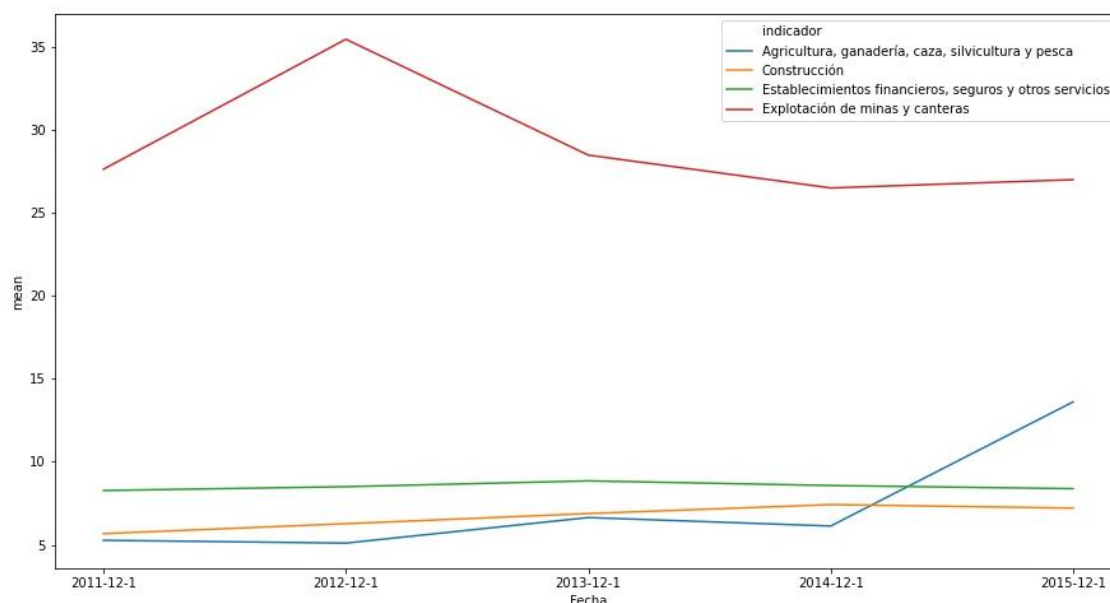
Así mismo los principales actores que se encuentran en el medio y que se benefician directamente de los servicios ecosistémicos que ofrece el páramo son: comunidades campesinas dentro del área protegida, comunidades campesinas de la zona con función amortiguadora, alcaldías de los municipios que tienen jurisdicción dentro del área protegida, iglesia, Corpoboyacá, Corporinoquia, fuerza pública, colegios, universidades, ONG (Guio, Pinilla, Ballesteros, & Espíndola, 2020). La oferta y regulación hídrica se configura como el servicio ecosistémico de mayor relevancia, dada la dependencia de municipios tanto de Boyacá como de Casanare para desarrollar actividades domésticas y productivas-industriales con el recurso hídrico producido en el complejo de páramos de Pisba. A partir de un análisis de integridad y diferencial se clasificaron los servicios ecosistémicos hídricos que ofrece el páramo de Pisba, así como la clasificación de actores que intervienen en el páramo (Guio, Pinilla, Ballesteros, & Espíndola, 2020).

## Caracterización del municipio de Socha – Boyacá

### Caracterización socioeconómica

En Boyacá durante el periodo 2010 – 2014 la rama de actividad productiva que mayor crecimiento presentó fue la explotación de minas y canteras (9,3%), le siguió la construcción (8,4%) y la actividad con menor crecimiento en este período fue la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (2,5%). Socha refleja la tendencia del departamento al ser la minería la principal actividad económica que en promedio es una tercera parte de la generación de ingresos, lejos de la tercera fuente de ingresos que son los establecimientos financieros como se evidencia en el siguiente gráfico (Departamento Nacional de Planeación, 2021):

Gráfico 4 - Principales actividades económicas en Socha – Boyacá



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de características de municipios

El último censo minero realizado en 2011 ilustra que el 70% de las explotaciones de minas y canteras en el departamento de Boyacá tienen bajo nivel tecnológico y altos niveles de

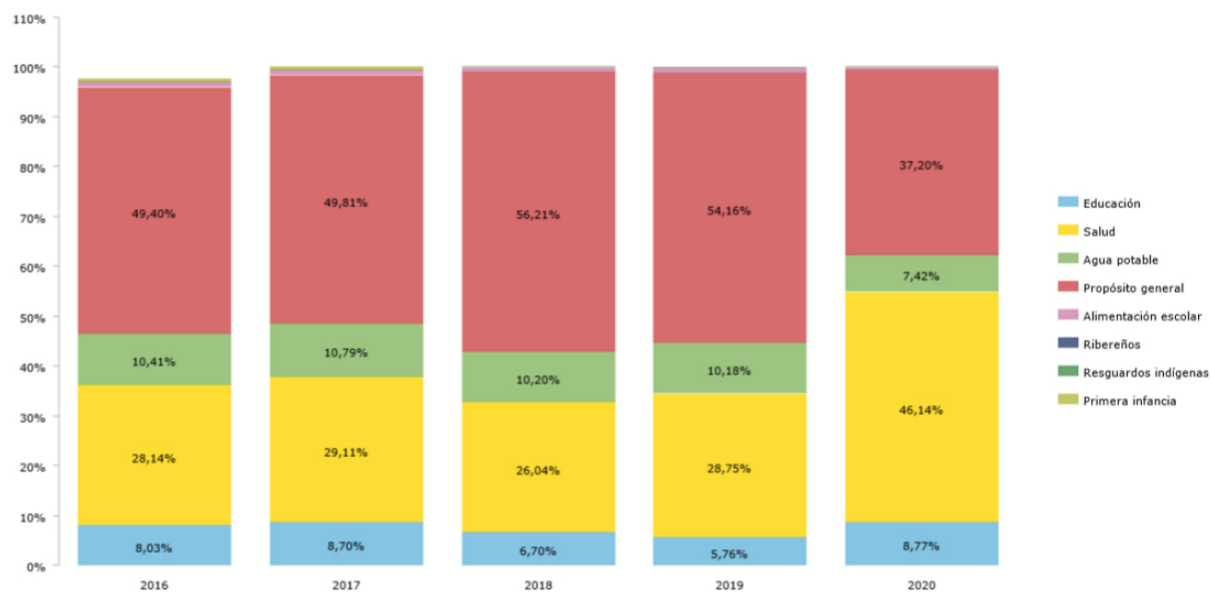
informalidad, lo cual influye en altos índices de accidentalidad, deterioro del tejido social y bajo nivel en la calidad de vida de la población minera. Por lo tanto y como se muestra en el plan de manejo del parque, el municipio de Socha se encuentra clasificado dentro de los municipios con menores ingresos en promedio debido a la alta concentración de las rentas mineras (Guio, Pinilla, Ballesteros, & Espíndola, 2020). Lo anteriormente expuesto es congruente con el comparativo entre provincias expulsoras y receptoras de población, que sitúa a Chita, Socotá, Tasco y Socha en la categoría de provincias expulsoras con base en los datos del censo del DANE que se realizó en 2018.

La alcaldía de Socha destina el 37% del presupuesto general de una vigencia para funcionamiento lo cual es viable desde el punto de la perspectiva de la ley 617 del año 2000, sin embargo, la contraprestación que recibe el municipio por concepto de explotación de los títulos mineros es inferior al 6% del presupuesto de funcionamiento (Gobernación de Boyacá, 2020), la tasa de contraprestación económica es baja comparada con la cantidad de títulos mineros otorgados en el municipio lo cual se traduce en una oportunidad de reconversión productiva en la zona alineada con los parámetros de conservación del ecosistema de páramo.

De otra parte se evidencia que los grandes rubros del presupuesto se los llevan los sectores de generales, es decir, funcionamiento, cultura, recreación, deporte, entre otros generales y el sistema de salud del municipio (Departamento Nacional de Planeación, 2021), lo cual evidencia el rezago en términos de recursos para el desarrollo de programas de conservación, sin embargo, hay que tener en cuenta que tanto Parques Nacionales Naturales como la Corporación Autónoma de Boyacá hacen presencia en el municipio y área de páramo para brindar asistencia técnica, más aún en el marco de la delimitación con participación social que se adelanta para concretar la delimitación final del ecosistema de páramo. De otra parte, es importante resaltar que Socha es el municipio de la región del

páramo de Pisba con la mayor cobertura de educación básica y media, lo cual es coherente con el porcentaje que se destina del Sistema General de Participación (SGP) a este rubro tanto en educación como en alimentación escolar (Guio, Pinilla, Ballesteros, & Espíndola, 2020):

Gráfico 5 - Distribución del presupuesto SGP



Fuente: Sistema de Información y Consulta de Distribución de Recursos Territoriales (SICODIS) 2021

El índice de pobreza multidimensional sitúa al municipio por debajo del promedio nacional, con 20,8 puntos, en donde, a medida que el índice se acerca a 100 se tiene un mayor número de necesidades básicas insatisfechas y caso contrario a medida que se acerca a 0. Por lo tanto, existe un amplio margen de acción por parte de las instituciones nacionales y territoriales que hacen presencia en el municipio para destinar recursos en torno a la conservación del ecosistema de páramo junto con el desarrollo de actividades económicas con menos impacto ambiental.

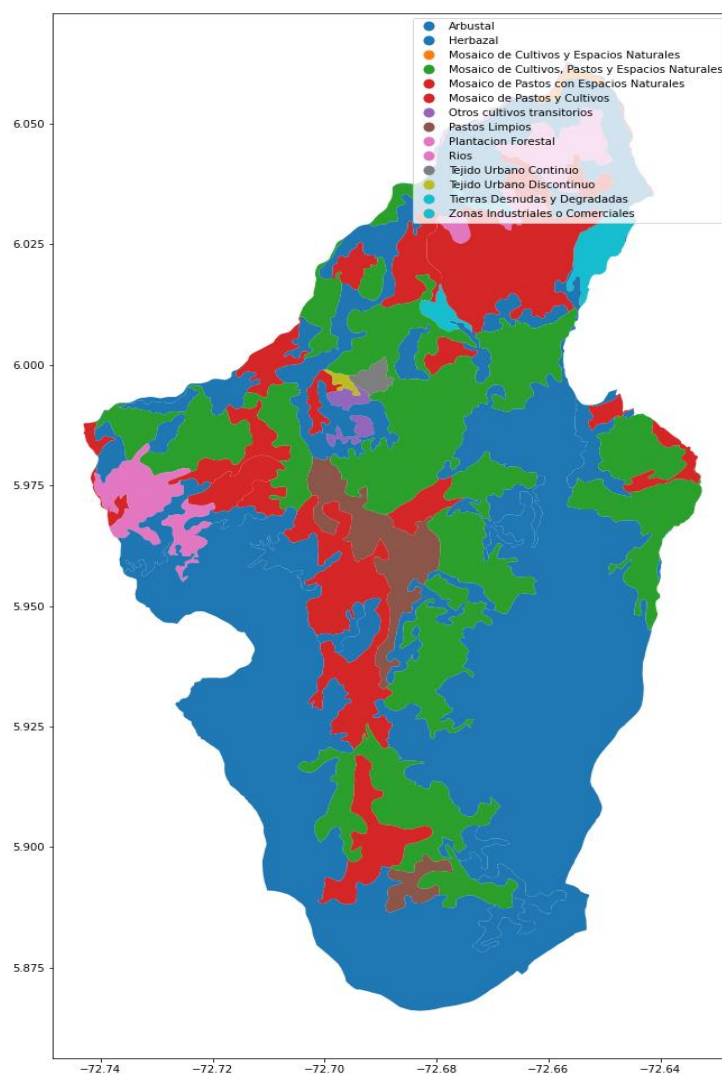
## Caracterización ambiental

Con base en imágenes satelitales y trabajo en campo se realizó en 2013 la caracterización de flora, edafofauna epigea y anfibios del complejo de páramos de Pisba Boyacá por parte del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, lo cual es un insumo fundamental para el proceso de delimitación del páramo y la prohibición de ciertas actividades productivas dentro del ecosistema. En este sentido y con base en las imágenes satelitales se definieron tres gradientes altitudinales los cuales correspondían a los municipios de Socotá, Socha y Tasco, con lo cual se definieron 75 m estaciones de muestreo de acuerdo con: tipo de cobertura de vegetación y tipo de suelo, lo último traduce áreas en dónde no se evidencia procesos extractivos o actividades que ocasionen cambios en la cobertura vegetal (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2014).

La cantidad de especies y familias que habitan el páramo destacan por la variedad dado que se registraron 54 especies de plantas: *Achyrocline bogotensis*, *Ageratina tinifolia*, *Miconia lingustrina*, *Lippia hirsuta*, entre otras; con 1121 individuos que pertenecen a 49 géneros: *Cuphea*, *Cyperus*, *Habaneria*, *Myrsianthes*, *Senecio*, *Solanum*, siendo las más representativas dentro del ecosistema. De otra parte, se reportaron 54 especies de aves correspondientes a 49 géneros: *Aguililla*, *Golondrina*, *Comprapan*, *Toche*, *Colibrí cometa*, *Rastrojero de montaña*, entre otros, correspondientes a 22 familias y 7 órdenes. Finalmente se encuentran representadas 46 familias de artrópodos pertenecientes a 13 órdenes como: *Acari*, *Diplopoda*, *Psocoptera*, *Scorpiones*, *Thysanoptera*, entre otras, que a su vez corresponden a 475 registros biológicos. El estudio desarrollado por el IAVH por el alcance y la información dispuesta en bases de datos se considera el más completo disponible para el análisis biológico – ambiental de Pisba (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2014).

De otra parte en el mapa de cobertura de la tierra dispuesto en el SIAC para todo el país con corte al 2018 y recortado para el municipio de Socha muestra la predominancia de arbustales y herbazales las cuales según la definición del IDEAM “son comunidades vegetales típicas de las zonas altoandinas por encima del límite de bosques y el límite entre ambos depende de las condiciones locales de temperatura, la longitud de la estación seca y la masa reactiva de las cadenas montañosas” (Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales , 2018).

Mapa 3 - Coberturas de la tierra Socha - Boyacá



Fuente: Elaboración propia a partir de mapa de coberturas de la tierra IDEAM 2018

Finalmente, y como se muestra en el mapa anterior, Socha tiene el 62,2% del municipio dentro del páramo según la delimitación impugnada por la comunidad y realizada por el IAvH. Por lo tanto, es uno de los casos más críticos dado que la minería legal e ilegal tienen lugar dentro del páramo lo cual queda prohibido al entrar en vigencia la ley 1930 de 2018 “Ley de páramos” y para entender mejor la problemática se ilustra la distribución de títulos mineros con corte a 2020 dentro del municipio de Socha, es importante aclarar que la

minería ilegal no se registra en este tipo de mapas precisamente por su condición lo cual significa que probablemente existen más explotaciones mineras en conflicto directo con el ecosistema.

#### Títulos mineros en el páramo – Área del municipio de Socha

El municipio de Socha posee 14.983 hectáreas de ellas 9.334 se encuentran dentro del páramo (el 62,2%) y dentro del municipio a 2020 se habían otorgado 45 títulos mineros en total de ellos 25 se encontraban en área de páramo, es decir, que el 40,99% de los títulos legales estaban funcionando dentro de la jurisdicción del páramo de Pisba lo cual queda prohibido en la ley 1930 de 2018 y la razón principal de los habitantes para objetar la delimitación realizada por el IAvH adoptada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en 2018. El mapa a continuación muestra la distribución de los títulos mineros dentro del municipio en dónde se visualiza gráficamente el conflicto entre los títulos otorgados y el área de conservación principalmente en la parte inferior del gráfico (Agencia Nacional de Minería, 2020).

Mapa 4 - Títulos mineros en Socha - Boyacá

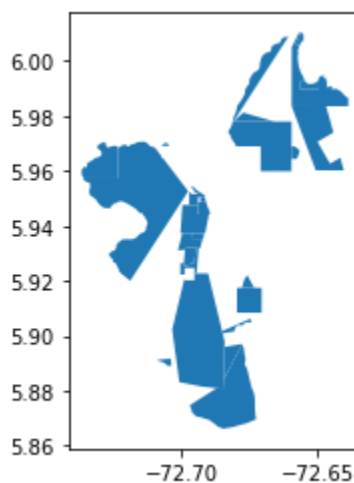


Tabla 2 - Caracterización páramo contra títulos mineros en Socha - Boyacá

Area Municipio (ha)	Area Municipio en el paramo (ha)	Porcentaje del Mpio, en el Páramo (%)	Porcentaje del Páramo en el Mpio (%)	Titulos Mineros en el municipio	Area de los Titulos Mineros en el municipio (ha)	Titulos Mineros en el paramo	Area de los Titulos Mineros en el paramo (ha)	Porcentaje del paramo municipal con titulos mineros (%)
14983	9334	62,29	8,8	45	9147,42	25	3826	40,99

Fuente: Elaboración propia a partir de mapa de títulos mineros 2020

## Gobernanza local

Los conflictos socioambientales en Colombia han sido una constante asociados entre otras cosas a la propiedad de la tierra, la explotación de esta y la violencia que ha jugado un papel determinante en la construcción de los territorios, las comunidades que los habitan y la relación de estos con el medio natural, por lo tanto, los diferentes sistemas políticos y últimamente la democracia han pasado por diferentes crisis entre ellas la crisis de gobernabilidad principalmente por sistemas centralistas en Latinoamérica que carecen de aprobación por parte de las comunidades que habitan las periferias en estos territorios (Pérez-Niño & Leguizamon-Arias, 2020). La falta de aprobación y el conflicto entre centro – periferia se enmarca en la lógica global de producción y consumo, es decir, dentro del proceso globalizador en el cual se estimula el libre comercio, la supresión de barreras financieras y una serie de medidas que promueven Estados austeros para privilegiar a la iniciativa privada, sin embargo, la figura de centro – periferia aplica a diferentes escalas, por ejemplo a nivel Colombia entre ciudades capitales y municipios de sexta categoría se visualiza la figura citada y a nivel global también se evidencia entre los países desarrollados (centros) que tienen industrias desarrolladas, grandes capitales, mano de obra calificada, subvenciones estatales, entre otras cosas, y países en desarrollo (periferias) que dependen de sectores primarios como la agricultura, la producción de materias primas y se

caracterizan principalmente por altos índices de pobreza multidimensional, informalidad, desempleo, baja cualificación por parte de trabajadores, entre otras características.

Por lo tanto, de parte de los territorios en conflicto socioambiental y en general de los diferentes territorios han surgido diferentes visiones de gobernanza que se alejan de las visiones puramente centralistas y propenden por el desarrollo de una labor autónoma en cuestiones como las actividades productivas a desarrollar en los territorios y la organización política para enfrentar disyuntivas económico – ambientales, sin embargo, en el departamento de Boyacá la radicalización de posiciones entre quienes promueven la actividad extractiva y los que buscan la protección ambiental han trasladado los ejercicios de gobernanza a las autoridades judiciales. Lo que genera como consecuencia inmediata que los ejercicios de gobernanza ambiental sean transferidos a organismos judiciales volviendo a poner el poder decisivo en instituciones del nivel central con visiones de normatividad tradicional en los territorios en conflicto (Pérez-Niño & Leguizamón-Arias, 2020). A pesar de las problemáticas mencionadas existen a nivel global y local ejemplos de exitosos procesos de gobernanza colaborativa como por ejemplo la experiencia satisfactoria en dónde, a partir de la gestión de la comunidad, se logró la articulación de la mayoría de las autoridades del orden local, departamental y nacional para la protección del páramo de Pisba y su bosque alto andino.

En este orden de ideas, los desafíos para llevar a cabo procesos de gobernanza articulados con más posibilidades de incidir en las decisiones socioambientales son: permitir un diálogo en igualdad de condiciones y procurar que las acciones de diálogo lleven a acciones concretas que evidencien el efecto de los diálogos adelantados sobre las decisiones tomadas. En este sentido el ejemplo de Santurbán y Pisba está marcando la pauta para el resto del país en cuanto a la participación de las comunidades en normatividad aplicable a conflictos sociales, ambientales y económicos.

## Análisis de resultados

En función de las variables anteriormente descritas: área de páramos, producción de carbón, contraprestación del carbón, pobreza multidimensional y extensión en hectáreas del municipio, así como el valor que maximizaba del índice de Dunn, se obtuvieron seis grupos de municipios posicionándose Socha dentro del quinto grupo con once municipios similares, es decir, que compartían características que los hacía similares entre sí y distantes de los municipios agrupados en los demás clústeres. Como se enfatizó anteriormente se consideraron diferentes variables para realizar la agrupación, sin embargo, las variables que se visualizan en la tabla 3 cumplieron los criterios de: completitud (datos para más del 90% de los municipios del país), información con corte entre 2017 a 2020 y maximización del índice de Dunn, sin embargo, al incluir variables como el índice de pobreza monetaria o el índice de calidad de vida, por municipio, los grupos se mantuvieron sin variaciones (lo cual se traduce en que para este modelo no explicaban las diferencias entre municipios), por lo tanto, en la siguiente tabla se detallan las características de los grupos luego de implementar la metodología de clustering:

Tabla 3 - Resultados metodología de clustering - Quinto grupo

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	CLÚSTER	EXTENSIÓN (HA)	POBLACIÓN TOTAL	VULNERABILIDAD Y RIESGO POR CAMBIO CLIMÁTICO - CAPACIDAD ADAPTATIVA	ÁREA DE PÁRAMOS	ÁREA TOTAL DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS	PRODUCCIÓN CARBÓN	CONTRAPRESTACIÓN DEL CARBÓN	ÍNDICE_POBREZA_MULTIDIMENSIONAL
Bochalema	Norte De Santander	5	171	8.845	81	108	5.301	65.171	\$ 305.801.758	36
Corrales	Boyacá	5	59	2.545	79	-	-	32.713	\$ 156.561.612	27
El Zulia	Norte De Santander	5	528	29.392	83	-	2.348	90.936	\$ 180.319.122	42
Lenguazaque	Cundinamarca	5	160	10.794	79	1.631	2.934	91.392	\$ 444.771.737	29
Paipa	Boyacá	5	395	34.679	77	2.937	3.198	59.717	\$ 284.916.894	16
Salazar	Norte De Santander	5	480	10.728	80	6.625	6.858	34.147	\$ 147.624.837	49
Sardinata	Norte De Santander	5	1.435	26.804	77	-	6.128	172.818	\$ 412.079.192	54
Socha	Boyacá	5	163	8.086	79	9.318	9.387	31.260	\$ 158.644.144	21
Sogamoso	Boyacá	5	214	131.105	84	10.459	10.777	66.711	\$ 312.776.693	10
Sutatausa	Cundinamarca	5	67	6.441	80	343	553	107.172	\$ 506.812.567	21
Tasco	Boyacá	5	210	5.792	78	14.429	14.539	57.527	\$ 271.232.395	31
Tausa	Cundinamarca	5	194	8.654	80	9.564	10.459	48.091	\$ 231.808.659	24

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del ejercicio de clustering

Luego de tener las agrupaciones óptimas en función de las variables escogidas para la clusterización se procedió a hacer un análisis cualitativo según la similitud de los municipios, es decir, al comparar los datos que se filtraron mediante la metodología de clustering. En este sentido es evidente la similitud entre el complejo de páramos de Pisba y el complejo de páramos de Santurbán razón por la cual la mayoría de los municipios de este grupo pertenecen a alguno de esos dos grandes complejos paramunos, sin embargo, variables como la población o la producción de carbón marcaron la pauta para elegir al municipio con características de mayor similitud. Al agregar los datos para visualizar los componentes de este grupo se evidencia que: en promedio tienen 23.000 habitantes, 4.618 hectáreas de páramo, producen al año 71.417 toneladas de carbón, obtienen una contraprestación económica de COP\$284.445.801 y tienen un bajo índice de pobreza multidimensional 30 puntos. Sin embargo, el objetivo es proponer actividades productivas alternas a la minería y conciliar estas propuestas con la conservación del ecosistema que se enmarca en la ley 1930 de 2018, específicamente para el municipio de Socha.

Una característica de los municipios agrupados en el mismo clúster que Socha es que se encuentran en alguno de los tres complejos de páramos en los cuales se concentran la mayoría de los conflictos ambientales como se mencionó al principio de este trabajo, es decir, Santurbán (Santander y Norte de Santander), Pisba (Boyacá y Casanare) y Cundinamarca – Bogotá. En este sentido, varios de los municipios del grupo tienen problemáticas similares a las de Socha, por ejemplo, en el municipio de Tausa que tiene parte de su jurisdicción en el páramo de Guerrero, la minería de carbón ha contribuido a la transformación de más del 40% del páramo según el IAvH que lo convierte en el páramo más afectado del país, en este sentido y según las variables del análisis los municipios con mayor similitud social, económica y ambiental con Socha son Tausa, Sardinata y Salazar

de las Palmas, lo cual sirve para referenciar iniciativas que han funcionado para reemplazar actividades productivas o tener referentes para evitar el colapso del ecosistema en Pisba.

En este orden de ideas el ejercicio de clustering garantizó que los municipios clasificados en el mismo grupo con Socha compartían ciertas características ambientales, sociales y económicas, aun así fue necesario comparar cada uno de los municipios en términos de población, hectáreas del municipio en ecosistema de páramo, producción de carbón, entre otras variables, para identificar a Salazar de las palmas como el municipio del cual se podrían seguir ciertas iniciativas productivas y de gobernanza que posterior a la delimitación del páramo de Pisba permitan al municipio de Socha tener alternativas ya transitadas y con experiencias palpables en la práctica. En este sentido, Salazar de las palmas se encuentra en Norte de Santander y según el último censo del DANE cuenta con 10.728 habitantes, la actividad económica se encuentra enfocada principalmente en los sectores agropecuario, minero, forestal y el turismo (Alcaldía de Salazar de las palmas, 2022), el municipio tiene dentro del complejo de páramos de Santurbán 6.625 hectáreas pero a diferencia de Socha la actividad productiva tiene un nivel mayor de diversificación lo cual limita las dependencias de actividades prohibidas en páramo como la minería.

Es importante señalar que las actividades productivas deben financiarse en primera instancia por instituciones públicas para incentivar después la iniciativa privada en armonía con lo estipulado en la ley 1930 de 2018, en este sentido Salazar de las Palmas tiene un camino recorrido desde el plan de ordenamiento territorial formulado en el 2002 en el cual se estructuraron proyectos y se otorgó presupuesto en torno a actividades productivas que propendían por la conservación del páramo, allí se estipula “El municipio de Salazar de las Palmas será un municipio de gran atractivo turístico, paisajístico, de vocación forestal ...” y por se financiaron iniciativas como: proyecto de adquisición y protección de los ecosistemas estratégicos de las microcuencas y subcuencas hidrográficas (COP\$690.000.000 de la

época y financiado por el municipio y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental – CORPONOR), proyecto del diseño paisajístico del río Salazar (COP\$92.000.000 de la época, financiado por el municipio de Salazar con apoyo institucional de CORPONOR), proyecto para el fomento a cooperativas para el estímulo de proyectos ecoturísticos caracterizando senderos ecológicos en zonas ambientales creando condiciones para el desarrollo de actividades ecoturísticas (COP\$100.000.000 de la época financiado por el municipio y con apoyo institucional del SENA), proyecto para la capacitación del recurso humano en atención turística, planificación, promoción, formulación y evaluación de proyectos turísticos (COP\$10.000.000 de la época financiado por el municipio) (Alcaldía de Salazar de las Palmas, 2002).

En la actualidad y con la entrada en vigor de la ley de páramos Salazar de las Palmas es uno de los municipios del páramo de Santurbán con los cuales el proceso ha sido más eficiente en tiempos y con desarrollos a gran escala como por ejemplo la puesta en funcionamiento del Sistema de Información para la conservación y el Desarrollo Sostenible, se encuentra también este municipio dentro del grupo con mayor grado de conservación del páramo junto con Cucutilla, Arboledas y Labateca (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Por lo tanto, a pesar de que la actividad minera en Salazar representa el uno de los ingresos para la región más altos junto con la agricultura y el turismo, se ha venido trabajando desde 2002 en los planes de ordenamiento territorial para reconvertir actividades productivas en el ecosistema siendo el ecoturismo y los pagos por servicios ambientales las principales alternativas para la generación de ingresos en la región.

En este sentido se propone que en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio se incorpore la visión alrededor de la conservación del páramo y en consecuencia se establezcan proyectos y presupuestos orientados a la conservación, pero también a la reconversión de actividades mineras específicamente en ecoturismo dado el gran potencial

de senderismo, paisajismo, y el desarrollo de cultivos sostenibles para la cual también se requiere asistencia técnica institucional y financiación, así como los pagos por servicios ambientales teniendo como insumo el camino recorrido por el municipio de Salazar de las Palmas.

Con los resultados obtenidos se encontraron diversos patrones que se repiten en los municipios agrupados en el clúster cinco y que podrían ser tomados en cuenta para la actualización del Plan de Manejo Ambiental 2020 – 2025 que actualmente se ejecuta en Socha, por ejemplo, la similitud con el municipio de Bochalema en cuanto a población y porcentaje de áreas protegidas dentro del municipio permite integrar alternativas de generación de ingresos bajo un esquema de conservación del ecosistema dentro del Plan de Manejo Ambiental de Socha similar a como se realizó en Bochalema, es decir, priorizando la conservación de las fuentes hídricas mediante la adecuación de espacios paisajísticos, de avistamiento, y balnearios que minimizaban el impacto ambiental sin dejar la población del municipio de recibir ingresos.

## Recomendaciones de política

El análisis diferencial para el diseño de política pública en Colombia es necesario debido a la heterogeneidad de condiciones y características que tiene el país en los diferentes territorios que lo componen, en este sentido, ha habido diversos avances como la metodología de componentes principales desarrollada en el 2015 por el Departamento Nacional de Planeación para la categorización de municipios en entornos de desarrollo lo cual abre las puertas en ese caso específico a asignaciones presupuestales y apoyo técnico (Departamento Nacional de Planeación, 2015), sin embargo, por las diversas naturalezas jurídicas que tienen las entidades nacionales y territoriales lo cual implica el desarrollo de diferentes sistemas y bloqueos en la facilidad de acceder a información pública o datos de interés para la aplicación de metodologías robustas que permitan hacer la diferenciación

referida, se pierden ejercicios o proyectos para el diseño de política pública diferencial. Un claro ejemplo de lo anterior es la creación de los municipios beneficiados con la figura de Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial – PDET que surgieron después de la firma de los acuerdos de paz en 2017. Por lo tanto, se recomienda al conjunto de instituciones que componen el sector ambiente y desarrollo sostenible el diseño y desarrollo de lineamientos con enfoques metodológicos diferenciales reconociendo la heterogeneidad del territorio y los posibles conflictos que estos decretos, leyes, resoluciones y herramientas normativas puedan tener al publicarse.

El diseño e implementación de este tipo de metodologías, como se ha ilustrado a lo largo del documento, permite construir herramientas focalizadas para mejorar la eficacia e integrar a las comunidades en la construcción de política pública, en este caso, en torno a la protección del ecosistema de páramo, de esta forma, se sugiere revisar a profundidad los resultados descritos a lo largo del documento e integrarlos en el Plan de Manejo Ambiental del Páramo de Pisba, específicamente en lo relacionado al municipio de Socha que comparte características sociodemográficas, económicas y ambientales con Tasco, Sogamoso, Monguí, entre otros municipios que se encuentran dentro del páramo de Pisba. Así como robustecer en los planes de desarrollo y los planes de ordenamiento territorial del municipio de Socha, a manera de piloto, los programas e inversión destinados a priorizar la conservación de las fuentes hídricas mediante la adecuación de espacios paisajísticos, de avistamiento, balnearios y actividades económicas que minimicen el impacto ambiental y puedan reemplazar las actividades de extracción minera.

Es importante resaltar que los ejercicios de diseño de política pública diferencial se han realizado para distribuciones de presupuesto generalmente o programas focalizados de inversión, sin embargo, en la literatura consultada este tipo de ejercicios no se han formulado e implementado desde instituciones líderes del sector ambiente y desarrollo

sostenible, por lo cual este trabajo puede servir de insumo para el diseño diferencial de política pública, la verificación y medición de su implementación. De otra parte, es importante definir, en los casos en los que aplique, la periodicidad, los formatos y los repositorios en los cuales se publican los datos ambientales del país, debido a las barreras que persisten pese a la creación de plataformas como el SIAC y Datos Abiertos, entre otras cosas, porque existe información que solo se publicó una vez o se dejó de publicar lo que dificulta la toma de decisiones basadas en datos como habilitador de la Política de Gobierno Digital del decreto 1008 de 2018 (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2018) y que todas las entidades públicas sin excepción deben aplicar en su funcionamiento y en el diseño de política pública.

Otro factor importante dentro de los múltiples rezagos que existen entre ciudades y territorios es la brecha digital que quedó en evidencia en medio de la pandemia por COVID-19, lo cual significó la pérdida o desactualización de información clave para el desarrollo de metodologías robustas para el diseño de política pública diferencial principalmente en territorio dada la forma tradicional en la que se levantaba información antes del 2020, sin embargo, con el desarrollo del campo del aprendizaje automático y con iniciativas como el Portal Nacional de Datos Abiertos o el Sistema de Información Ambiental de Colombia, se avanza desde lo técnico para proponer alternativas a los territorios frecuentemente rezagados y olvidados en el diseño de política pública en el país. A la par que las metodologías y los sistemas de información se robustecen para el lograr en menos tiempo resultados de beneficio nacional es importante incentivar los procesos de gobernanza local por medio de capacitación y asistencia institucional integral con el fin de que los diálogos como en Socha o en Salazar de las Palmas para la delimitación pueda visualizarse bajo la óptica de un gana – gana en términos de conservación y de generación de ingresos para los habitantes de la zona bajo los lineamientos de la ley 1930 de 2018. Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda el diseño e implementación de política pública diferencial, a partir

de metodologías de clustering o análisis de componentes principales entre otras, para el abordaje de problemáticas ambientales en ecosistemas de páramo dadas las particularidades que tienen lugar en estos territorios en términos económicos, sociales y culturales, entre otras cosas, para la implementación de la ley 1930 de 2018 y la reconversión de actividades productivas sin dejar de lado las demás variables que puedan afectar cada páramo en cuestión.

Finalmente, es importante y necesario integrar en un solo sitio o herramienta el diseño e implementación de este tipo de metodologías para el agrupamiento de municipios o individuos en función de variables específicas, en el caso de la metodología y resultados descritos a lo largo del documento que al mismo tiempo, sirven para contrastar, por medio de indicadores, la implementación de alternativas como las realizadas en Bochalema, Salazar de las Palmas u otros municipios que hagan parte del grupo cinco que comparte características con Socha. La herramienta propuesta debe estar articulada con los estudios técnicos de delimitación del páramo y los que considere la autoridad competente integrar siguiendo los estándares nacionales para la publicación y uso de este tipo de información.

## Discusión y limitantes de este tipo de metodologías

Los análisis que se construyen a partir de los datos y sistemas de información dispuestos en formatos digitales tienen las ventajas expuestas a lo largo del presente trabajo, sin embargo, es importante resaltar que este tipo de ejercicios pueden estar alejados de la realidad de los objetos de estudio, en este caso el municipio de Socha Boyacá y los demás municipios del país, principalmente porque los datos utilizados pueden estar desactualizados o venir estos con errores lo cual puede sesgar las conclusiones. De otra parte, las comunidades que habitan este tipo de territorios y que llevan décadas comprendiendo el medio en el que transcurren poseen diferentes perspectivas

generalmente con mayor aplicación que los formuladores de política pública en un país fuertemente centralizado.

Las metodologías de aprendizaje automático requieren para su desarrollo avanzados entornos digitales y/o virtuales, sin embargo, en países como Colombia en el que sólo el 39,3% de los hogares tiene computador o tableta y el 56% tiene acceso a internet, principalmente en las grandes ciudades (DANE, 2021), es insuficiente concluir en función de los resultados expuestos por metodologías de este tipo en aspectos sociales, económicos y principalmente ambientales, debido a las barreras que existen para acceder a información específica de ciertos municipios (las bases de datos pueden estar desactualizadas, en formatos poco legibles o simplemente no existir) así como a las limitaciones de las técnicas estadístico – computacionales para concluir en función de los datos. Por lo tanto, enfoques multidisciplinarios poseen mayores herramientas para abordar las problemáticas desde diferentes perspectivas y ramas de estudio, como se menciona en la Valoración integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos, lo cual se ha evidenciado precisamente en la resolución de conflictos socioambientales (Rincón Ruiz, y otros, 2014).

## Conclusiones

Colombia al ser el segundo país más biodiverso del mundo según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) tiene a disposición todos los servicios ecosistémicos para su uso, sin embargo, los conflictos que se han desarrollado a lo largo y ancho del país por cuestiones sociales, políticas, económicas y ambientales hacen que la investigación para la construcción de alternativas incorpore múltiples visiones de un mismo fenómeno al tiempo que los diferentes actores, es decir, el Estado, la sociedad civil y la empresa privada se integren en diálogos en torno a posibles salidas consensuadas que propendan por el bienestar social y ambiental a corto, mediano y largo plazo. En este

sentido el ejercicio de clustering brinda insumos para el análisis de municipios económica, social y ambientalmente similares, en este caso Socha, Tausa y Salazar de las Palmas que pese a las características comunes han planteado diferentes alternativas de dialogo y política pública para hacer frente a sus respectivas problemáticas, lo cual puede converger para adaptar soluciones a las realidades propias de cada municipio. Sin embargo, es necesario enfatizar en que los resultados a partir de la metodología desarrollada en este documento deben complementarse a partir de los diálogos con los habitantes de estos territorios, así como visiones y metodologías multidisciplinarias.

Las particularidades de los dos páramos que se encuentran en proceso de delimitación y concertación con las comunidades que los habitan, es decir, Pisba y Santurbán, también se recogieron en que la mayoría de los municipios que quedaron agrupados en el clúster cinco, es decir, nueve de los doce municipios hacían parte de Pisba o Santurbán, lo cual es coherente con la realidad nacional, entre otras cuestiones porque lo que se defina legalmente en términos de la delimitación y las actividades productivas que allí se desarrollen marcarán la pauta para la resolución de otros conflictos socioambientales similares. De otra parte, al tomar los resultados del ejercicio realizado queda en evidencia que, en municipios medianamente diversificados productivamente, como Salazar de las Palmas, la ley 1930 de 2018 no afecta significativamente la generación de ingresos para los habitantes del municipio, lo cual es coherente con la propuesta de Salazar al Ministerio de Ambiente en la cual no quedarían títulos mineros dentro del ecosistema de páramo y se cumpliría con lo dispuesto en la ley de páramos, lo cual puede tomarse por parte del municipio de Socha que se encuentra en un proceso más temprano de concertación con las autoridades ambientales.

En este sentido, la metodología de clustering empleada brinda insumos importantes para el entendimiento de la heterogeneidad de los múltiples territorios del país, por ejemplo, los

municipios del clúster cinco comparten poblaciones similares, actividades productivas en páramo similares y una serie de características comunes que brindan insumos para el diseño de política pública específicamente en el sector de ambiente y desarrollo sostenible. Es decir, la categorización de municipios vulnerables o priorizados en función de la ley 1930 de 2018 u otros conflictos ambientales que puedan tener lugar, para que se les brinde asistencia antes de la formulación o diseño de política pública y evitar o hacer frente a los reprocesos actuales. Por lo tanto, las alternativas productivas propuestas y que surgen luego de la agrupación ya se han implementado satisfactoriamente en otros municipios con entornos de desarrollo similares, lo que ahorra recursos dentro de las curvas de aprendizaje a la hora de implementarse en municipios como Socha y demás que se encuentran dentro del ecosistema de páramo, sin embargo, queda claro que desde lo técnico aún falta profundidad en el desarrollo de herramientas para el entendimiento de las problemáticas en torno a conflictos productivos y su interacción con la conservación.

Finalmente, es evidente que falta potenciar los procesos de gobernanza local y descentralización del poder administrativo en el país para la construcción de alternativas socioeconómicas viables y eficientes, lo cual es un proceso en constante mejora y construcción, evidente en el caso de Betas en Santurbán. En cuanto a las alternativas productivas en Socha bajo la ley 1930 de 2018, se propone la convergencia con los municipios que hacen parte del clúster cinco para construir un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial que incorpore la diversificación de ingresos para reemplazar la minería de carbón a mediano y largo plazo, como se ha hecho en varios de los municipios de Santander y Norte de Santander que comparten grupo con este municipio a la luz de la metodología descrita en este documento.

## Bibliografía

- Agencia Nacional de Minería. (20 de 10 de 2020). *Titulos mineros vigentes. Distribución de títulos mineros en Colombia*. Bogotá.
- Aggarwal , C., & Reddy, C. (2014). *Data clustering algorithms and applications*. New York: CRC Press.
- Alcaldía de Salazar de las Palmas. (2002). *Esquema de ordenamiento territorial municipio de Salazar de las Palmas*. Salazar de las Palmas.
- Alcaldía de Salazar de las palmas. (02 de 02 de 2022). *Cucuta nuestra*. Obtenido de Cucuta nuestra: <https://www.cucutanuestra.com/temas/geografia/municipios/region-centro/salazar/salazar.htm>
- Biesbroek, R., Badloe, S., & Athanasiadis, L. (2020). Machine learning for research on climate change adaptation policy integration: an exploratory UK case study. *Regional Environmental Change*, 13.
- Carlos Sarmiento, A. O. (10 de Agosto de 2017). <http://revistas.humboldt.org.co/>. Obtenido de Portal de revistas - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt: [revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/download/480/469](http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/download/480/469)
- Congreso de Colombia. (2018). *Ley 1930 de 2018: Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia*. Bogotá D.C.: Congreso de la República de Colombia.
- Contaduría General de la Nación. (2022). *Categorización de Departamentos, distritos y municipios*. Bogotá.
- Corporación Autónoma de Boyacá. (2015). Capítulo V - Aspectos socio - económicos. En C. A. Boyacá, *Reforestación - Corpoboyacá* (pág. 169). Tunja.
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá . (2016). *ESTUDIOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES PARA LA IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL COMPLEJO PARAMOS PISBA A ESCALA 1:25.000*. Tunja: CORPOBOYACÁ.
- Corporinoquia. (2017). *Estudio técnico, económico, social y ambiental para la identificación y delimitación del complejo de páramos de Pisba*. Yopal, Casanare: Corporinoquia.
- DANE. (2021). *Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Hogares (ENTIC Hogares)*. Bogotá.
- Delgado, A. (2016). Environmental conflict analysis using an integrated grey clustering and entropy-weight method: A case study of a mining project in Peru. *Science Direct*, 121.
- Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Tipologías Departamentales y Municipales*. Bogotá: DNP.

- Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Tipologías Departamentales y Municipales*. Bogotá: DNP.
- Departamento Nacional de Planeación. (2021). *Sistema General de Participaciones - Colombia*. Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación. (2021). *Terridata*. Bogotá.
- Gobernación de Boyacá. (2020). *Informe de viabilidad fiscal y financiera de los municipios del departamento de Boyacá*. Tuja.
- Guio, P., Pinilla, A., Ballesteros, H., & Espíndola, J. (2020). *Plan de manejo parque nacional natural Pisba 2020-2025*. Parques Naturales de Colombia.
- IDEAM. (2012). <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>. Obtenido de ideam.gov.co: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales . (2018). *Mapa de cobertura de la tierra 2018*. Bogotá.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2014). *Caracterización de flora, edafofauna epigea, anfibios y aves del complejo de páramos de Pisba, Boyacá*. Bogotá.
- Instituto de Investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos*. Bogotá.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2018). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn: IPBES.
- IPBES. (2021). Summary of the Eighth Session of the Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: 14-24 June 2021. *Earth Negotiations Bulletin*, 15.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Pisba avanza*. Obtenido de <https://pisba.minambiente.gov.co/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2 de 11 de 2020). *Pisba avanza*. Obtenido de [pisba.minambiente.gov.co:](https://pisba.minambiente.gov.co/) <https://pisba.minambiente.gov.co/index.php/comunicaciones/multimedia/11-pisba>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (02 de 02 de 2022). *Santurbán avanza*. Obtenido de Santurbán avanza: <https://santurban.minambiente.gov.co/index.php/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (02 de 11 de 2012). *Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*. Bogotá. Obtenido de [www.minambiente.gov.co:](http://www.minambiente.gov.co) <https://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/politica-nacional-de-biodiversidad>

- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2018). *Decreto 1008 de 2018*.  
Obtenido de Gestor Normativo:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=86902>
- Monsalve Gómez, S. (2018). *Competencia bajo equilibrio de Nash*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Princeton university.
- Oviedo - Gómez, A., & Candelo - Viafara, J. M. (2020). Efectos de los precios de los commodities minero-energéticos sobre la economía colombiana. *Cuadernos de Administración - Universidad del Valle*.
- Pérez-Niño, W. F., & Leguizamon-Arias, W. Y. (2020). Gobernanza local en Boyacá: Un análisis <<glocal>>. *Entramado*, 218.
- Rincón, A., Duarte, G., Agudelo, C., Riaño, A., & Sánchez, Z. (Agosto de 2020). *Análisis de escenarios y retos de la inclusión en conflictos socioambientales: páramo de Santurban*. Obtenido de Documentos escuela de economía:  
<http://fce.unal.edu.co/media/files/CentroEditorial/documentos/documentosEE/documentos-economia-110.pdf>
- Rincón Garavito, L. N. (2015). Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. *INGENIARE - Universidad Libre de Barranquilla*, 136.
- Rincón Ruiz, A., Echeverry Duque, M., Piñeros Quiceno, A., Tapia Caicedo, C., Drews, A., Arias Arevalo, P., & Zuluaga Guerra, P. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: aspectos conceptuales y metodológicos*. Bogotá: Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Tapas, K., Mount, D., Netanyahu, N., Piatko, C., Silverman, R., & Wu, A. Y. (2002). An Efficient k-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation. *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*.
- UN Environment - World Conservation Monitoring Centre. (2017). *Comercio de vida silvestre en los países amazónicos*. Cambridge, Reino Unido: UN Environment - World Conservation Monitoring Centre.
- United Nations Secretary-General. (2005). *Millennium ecosystem assesment - Syntesis report*.