



# Universidad **Mariana**

Identificación de los impactos ambientales generados por los cambios de cobertura de suelo, en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel – PNNCVDJC, en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, Nariño

Elizabeth Herrera Solarte

Universidad Mariana

Facultad Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

San Juan de Pasto

2024

Identificación de los impactos ambientales generados por los cambios de cobertura de suelo, en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel – PNNCVDJC, en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, Nariño

Elizabeth Herrera Solarte

Propuesta de trabajo de investigación para optar al título de Ingeniera Ambiental

Asesores:

Mg. Cristian Javier Pinza Jiménez.

Mg. Daisy Gabriela Guerrero Obando.

Coasesora:

Dra. Teresita del Rocío Canchala Nastar.

Universidad Mariana

Facultad Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

San Juan de Pasto

2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007

Universidad Mariana

## **Agradecimientos**

Primero, quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Universo y a la vida misma, por haberme dado la oportunidad de crecer, aprender y enfrentar los retos que me han conducido hasta este punto. Este proceso ha sido un viaje de descubrimiento, tanto personal como académico, y sin la energía vital que todo lo envuelve, este logro no habría sido posible. A la Universidad Mariana, que me ha formado en un ambiente impregnado de ética y valores.

A mis asesores: Mg. Gabriela guerrero, Dra. Teresita Canchala y Mg. Christian Pinza, quienes con su paciencia y conocimiento guiaron cada paso de esta investigación. Sus orientaciones fueron clave para mantener el rumbo en este proceso, y siempre recordaré sus consejos con gratitud.

A mis amigos Rosa María Ibarra, Sandra Urbano a mi prima Martha Yela, a mis compañeros Edwin Jojoa, Yeiner Castillo y Cielo Mueses, quienes han estado a mi lado en los momentos de alegría y también en los más difíciles. Su apoyo incondicional, su compañía en largas jornadas de estudio han sido fundamentales.

A mis profesores, Margarita Portilla, Paola Guerrero, Nathalia Torres y Jenny Huertas, que no solo me han enseñado conocimientos técnicos, sino también el valor del esfuerzo, la curiosidad y el compromiso. Gracias por creer en mí.

A mis cuñados, Omaira Urbano, Albeiro Urbano, Edward Ordoñez, José Martines, por su cariño, apoyo y por estar siempre dispuestos a ofrecerme una palabra de aliento o un consejo cuando más lo necesitaba.

Al Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel, especialmente a sus funcionarios Leonardo Martínez, Wilfer Muñoz y Eduardo Botina, por su colaboración y contribución en este proceso.

## **Dedicatoria**

A mis padres, segundo Herrera y Socorro Solarte, por ser el pilar fundamental en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por enseñarme el valor del trabajo duro y por nunca dejar de creer en mí. Ustedes me mostraron que, con esfuerzo, dedicación y fe, los sueños se pueden hacer realidad. Cada logro que alcanzo es también suyo, porque sin su sacrificio y apoyo, nada de esto hubiera sido posible. Les dedico esta meta con todo mi corazón.

A mis hermanos, Legardo, Omaira, Jairo, Fernanda, Milena, Arianna y Lizeth, por ser mis compañeros de vida, por cada palabra de aliento y por estar a mi lado en los momentos de alegría y en los más difíciles. Gracias por su paciencia y por compartir conmigo risas, consejos y aprendizajes. Su presencia constante y su fortaleza me han dado la energía para continuar, recordándome siempre la importancia de la unión familiar.

A mis sobrinos - hijos, Juliana Carolina, Pedro Luis, Luis Danilo, Andrés Felipe, Diego Andrés, Claudia Lucia, María Camila, María José, Luisa María, María Valentina, María Salome y José Fernando, que con su inocencia, risas y energía me llenan de alegría y me inspiran a ser un mejor ejemplo para ustedes. Verlos crecer me ha recordado la belleza de soñar y creer en un futuro lleno de posibilidades. Mi deseo es que, al igual que yo, sigan sus sueños con valentía y nunca dejen de aprender y explorar el mundo con curiosidad y entusiasmo.

Esta dedicatoria es para ustedes, que han sido mi más grande fuente de inspiración y apoyo a lo largo de este camino.

Elizabeth Herrera Solarte

## **Contenido**

Introducción .....	14
1. Resumen de proyecto .....	16
1.1 Descripción del problema .....	17
1.1.1 Formulación del problema .....	18
1.2 Justificación .....	18
1.3 Objetivos .....	20
1.3.1. Objetivo general .....	20
1.3.2 Objetivos específicos .....	20
1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos .....	21
1.4.1. Antecedentes .....	21
1.4.1.1. Internacionales .....	21
1.4.1.2. Nacionales .....	21
1.4.1.3. Regionales .....	22
1.4.2. Marco teórico .....	24
1.4.3. Marco contextual .....	25
1.5. Metodología .....	27
1.5.1. Búsqueda de información secundaria .....	29

1.5.2. Obtención de imágenes satelitales .....	29
1.5.3. Procesamiento de imágenes satelitales .....	30
1.5.4. Adaptación de la metodología corine Land Cover al área de estudio .....	31
1.5.5. Revisión de la metodología corine Land Cover .....	31
1.5.6. Definición de la leyenda .....	31
1.5.7. Clasificación de coberturas .....	32
1.5.8. Matriz de cambios de cobertura .....	33
1.5.9. Elaboración de mapas de cambios de cobertura de suelo .....	33
1.5.10. Visita de campo y aplicación de encuestas .....	34
1.5.11. Tratamiento de datos para análisis resultados de encuestas .....	35
1.5.12. Aplicación de matriz de evaluación de impactos ambientales .....	36
1.6. Línea de investigación .....	39
1.7. Enfoque de investigación .....	39
1.7.1. Población y muestra .....	39
2. Resultados y análisis de resultados .....	40
2.1. Caracterizar la cobertura de suelo en el área de estudio.....	40
2.2.1. Imágenes satelitales .....	40
2.1.2. Extracción zona de interés .....	41

2.1.3. Definición de leyenda .....	42
2.1.4. Clasificación supervisada .....	46
2.1.5. Generación de coberturas .....	47
2.1.6. Caracterización de cobertura de suelo .....	49
2.2 Determinar los cambios de cobertura del PNNCVDJC .....	53
2.2.1. Procesamiento de mapas .....	53
2.2.2. Aplicación de Matriz de cambios de cobertura .....	54
2.2.2.1 Matriz de cambios de cobertura .....	55
2.2.3. Generación de mapas de cambios Matriz de cambios de cobertura .....	56
2.2.4. Análisis e interpretación del segundo objetivo Matriz de cambios de cobertura .....	57
2.2.4.1. Declaratoria del Parque Nacional Natural Matriz de cambios de cobertura .....	63
2.3. Establecer impactos ambientales Matriz de cambios de cobertura .....	66
2.3.1. Aplicación de encuestas a habitantes de la zona Matriz de cambios de cobertura .....	66
2.3.2. Análisis de encuestas habitantes del PNN Matriz de cambios de cobertura .....	69
2.3.2.1 Código en Python ejecutado en Google colaboraty .....	70
2.3.3. Análisis de encuestas a funcionarios del Parque Nacional .....	74
2.3.4. Implementar matriz de evaluación e identificación de impactos .....	79
2.3.4.1. Identificación de impactos ambientales .....	80

2.3.4.2. Análisis de la identificación de impactos ambientales según matriz .....	85
3. Conclusiones .....	91
4. Recomendaciones .....	93
Referencias bibliográficas .....	94
Anexos .....	101

## **Índice De Tablas**

Tabla 1 Actividades metodológicas de acuerdo a los objetivos planteados.....	27
Tabla 2 Ficha de inscripción .....	30
Tabla 3 Criterios para la identificación y evaluación de impactos .....	37
Tabla 4 Leyenda según metodología corine land cover .....	43
Tabla 5 Clasificación de cobertura de suelo .....	47
Tabla 6 clases de cobertura de suelo en el PNNCVDC .....	49
Tabla 7 Matriz de cambios de cobertura .....	55
Tabla 8 Cambios en la cobertura de suelo .....	59
Tabla 9 Análisis de frecuencia de palabras .....	75
Tabla 10 Prioridad de impactos .....	82
Tabla 11 Impactos ambientales significativos .....	82
Tabla 12 Identificación de impactos negativos .....	90

## **Índice de Figuras**

Figura 1 Mapa base Cartografica .....	26
Figura 2 Zona de estudio 2022 .....	40
Figura 3 Zona de estudio 2022 .....	41
Figura 4 Zona de estudio <i>PNNCVDJC</i> .....	42
Figura 5 Arbustal zona de estudio .....	44
Figura 6 Cuerpo de agua zona de estudio .....	44
Figura 7 Bosque natural denso .....	45
Figura 8 Herbazal .....	46
Figura 9 Mapa cobertura de suelo 2002 .....	48
Figura 10 Mapa cobertura de suelo 2022 .....	48
Figura 11 Cobertura de suelo 2002 .....	50
Figura 12 Cobertura de suelo 2022 .....	52
Figura 13 Mapa de cambio de cobertura de suelo 2002 .....	57
Figura 14 Zona de cambios de cobertura de suelo .....	58
Figura 15 Diagrama de tortas cambios de cobertura de suelo .....	60
Figura 16 Estado actual de cobertura de suelo .....	61
Figura 17 Población residente en la zona donde se registraron cambios .....	67

Figura 18 Análisis de frecuencia de palabras encuestas habitantes .....71

Figura 19 Priorización de impactos ambientales .....85

**Índice de Anexos**

Anexo 1. Diseño de encuesta para habitantes de la zona donde se identificaron impactos ...101

Anexo 2. Encuestas para funcionarios del PNNCVDJC .....105

Anexo 3 Código Python .....108

## **Introducción**

El Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel (PNNCVDJC) es un ecosistema protegido de gran relevancia para la conservación de la biodiversidad en Colombia, desempeñando un papel crucial en la regulación de los procesos ecológicos regionales. Esta investigación se enfoca en la zona occidental del parque, que abarca los municipios de El Tablón de Gómez, La Cruz y San Bernardo, con el objetivo de analizar los cambios en la cobertura de suelo entre los años 2002 y 2022. Estos cambios, impulsados principalmente por factores climáticos y, en menor medida, por intervenciones antrópicas históricas, representan desafíos importantes para la sostenibilidad de estos ecosistemas de alta montaña. La declaración del parque como área protegida en 2007 ha sido fundamental para la preservación de sus recursos naturales, permitiendo mantener la estabilidad de ecosistemas clave como los páramos y los bosques andinos. La conservación de estos ecosistemas es esencial no solo para mitigar el cambio climático, sino también para asegurar servicios ecosistémicos vitales, como la regulación hídrica y la protección del suelo frente a la erosión, elementos cruciales para el equilibrio ambiental en la región.

Ahora bien, es primordial caracterizar la cobertura de suelo en los años seleccionados. Mediante la utilización de imágenes satelitales de Landsat y la metodología Corine Land Cover en ArcGIS 10.5, se puede obtener una clasificación precisa de los distintos tipos de cobertura presentes, como el bosque natural denso, arbustal, herbazal y cuerpo de agua. Esta caracterización permite establecer una línea base que facilita el análisis de los cambios ocurridos en el tiempo. La importancia de este proceso radica en la capacidad de identificar áreas que han permanecido estables y aquellas que han experimentado transformaciones, proporcionando una visión clara del estado actual del paisaje (Pardo, 2017).

Por otra parte, resulta esencial determinar los cambios de cobertura en los municipios estudiado. A través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), es posible identificar con precisión las zonas donde se han registrado alteraciones significativas. Los cambios de cobertura, especialmente la transición de arbustal a herbazal (paramización) en áreas de mayor altitud, son indicativos de procesos ecológicos y climáticos en la zona. Esto permite identificar patrones

geoespaciales clave que deben ser considerados para la gestión y conservación del parque, ya que revelan las áreas más vulnerables y aquellas que requieren una mayor atención (Patiño, 2016).

Finalmente, es imprescindible establecer los impactos ambientales asociados a estos cambios. Utilizando la metodología de Conesa (2006), se podrá evaluar tanto los efectos positivos como los negativos de los cambios de cobertura. El proceso de paramización, observado en ciertas áreas del parque, refleja un cambio natural que puede tener beneficios en términos de biodiversidad y resiliencia del ecosistema. Sin embargo, también es necesario considerar los posibles impactos negativos, como el conflicto de intereses entre pobladores y el PNN.

Dicho lo anterior, esta investigación es crucial para comprender los cambios en la cobertura de suelo en la zona occidental del PNNCVDJC y sus implicaciones para la conservación del PNN. Utilizando herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), se proporciona información valiosa que puede guiar una planificación ambiental más eficiente y sostenible (Gómez-Limón et al., 2019). Estos hallazgos son esenciales para fortalecer la gestión de los ecosistemas protegidos, asegurar su resiliencia y contribuir a la mitigación del cambio climático (CBD, 2020), alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## **1. Resumen del proyecto**

El presente trabajo de investigación analiza los impactos ambientales generados por los cambios de cobertura de suelo en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC), enfocado en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, en el departamento de Nariño. El estudio abarca un período de 20 años, comprendido entre 2002 y 2022, y emplea herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar cambios en la cobertura del suelo, en especial la estabilidad del bosque natural denso y los procesos de paramización detectados.

Mediante el análisis multitemporal, se identificó que el 97.4% del área de estudio permaneció sin cambios, lo que refleja una notable estabilidad ecosistémica, favorecida por la declaratoria del área como parque nacional natural en 2003. Sin embargo, un 2.6% del área experimentó una transición de arbustal a herbazal, un fenómeno evidenciado particularmente en las veredas María Inmaculada y El Silencio, ubicadas en el municipio de El Tablón de Gómez, entre los 2.800 y 3.900 msnm. Este proceso se atribuye a factores climáticos y ecológicos más que a actividades antrópicas, dados los estrictos mecanismos de conservación vigentes en la región.

Además, el componente social del estudio incluyó encuestas aplicadas a habitantes locales y funcionarios del PNN, que proporcionaron datos cualitativos clave sobre la percepción de los impactos ambientales, tales como mejoras en la recarga hídrica, la regulación del clima y la conservación de la biodiversidad. Estos resultados se complementan con datos cuantitativos derivados de análisis geoespaciales para ofrecer una evaluación integral.

La investigación concluye que las estrategias de conservación implementadas han tenido impactos ambientales positivos sobre componentes como el agua, suelo, aire, flora y fauna. No obstante, se resalta la importancia de continuar estudiando las causas del proceso de paramización, dadas las implicaciones ecológicas que este fenómeno podría tener en el largo plazo. Asimismo, se sugiere utilizar los hallazgos de este trabajo como insumo para la actualización y fortalecimiento del Plan de Manejo del PNNCVDJC, garantizando así una gestión sostenible y alineada con los objetivos de desarrollo sostenible.

Este estudio no solo contribuye al entendimiento de los cambios de cobertura de suelo en áreas protegidas, sino que también promueve un enfoque integral para la toma de decisiones ambientales en el contexto de los Parques Nacionales Naturales de Colombia.

### **1.1. Descripción del problema**

Los problemas ambientales que existen sobre áreas de especial importancia ecosistémica obedecen a la influencia de factores socioculturales, económicos y políticos; y se consideran como situaciones negativas que afectan el desarrollo integral, sostenible y sustentable de las comunidades que se benefician de su oferta ambiental. Uno de estos problemas es el cambio en la cobertura del suelo, su trascendencia tiene referentes históricos, tal vez más acentuados en tiempos de la colonia, cuando los espacios naturales fueron sometidos a la presión antrópica para hacer de ellos espacios agrícolas, que, en muchos casos, terminaron degradados debido al desarrollo de sistemas productivos y prácticas poco sostenibles para el manejo de los recursos naturales (Pinza y Leyton, 2017).

En el pasado, dicho problema marcó la transformación de los espacios naturales causando impactos ambientales negativos en este caso puntual en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel en los Municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, donde la desaparición de varias especies de flora nativa, producto de la intervención humana sobre el entorno natural con fines productivos, puso en peligro los hábitats de la fauna silvestre y disminuyó considerablemente la oferta del recurso hídrico para las comunidades asentadas en su zona de influencia ya que la pérdida de la vegetación, pudo alterar el clima y el ambiente físico de la zona (Plan de Manejo PNNCVDC, 2015).

Es de esperar entonces, que al disminuir o desaparecer las coberturas de suelo naturales como los ecosistemas estratégicos de páramo y de bosque altoandino, en esta zona, el suelo quede expuesto a los procesos erosivos, causando variaciones en su estructura; y por otra parte, que las áreas desprovistas de vegetación queden susceptibles para que el ser humano ejerza sobre ellas cualquier tipo de actividad productiva, y con esto, se incremente la frontera agrícola y cambie el uso potencial del suelo, trayendo consigo impactos ambientales significativos tales como la

emisión de gases de efecto invernadero, pérdida de biodiversidad, alteración de la calidad hídrica y erosión del suelo (Vicente et al., 2018).

Lo anterior ratifica la importancia en torno local, regional y nacional de la declaratoria del Parque Nacional Natural Complejo Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC), en cuanto a la conservación de paramo, por la importancia en el abastecimiento, retención y regulación del recurso hídrico; preservación del bosque alto andino ya que es uno de los principales sumideros de carbono por su densidad, ramificaciones, mantener el buen estado de sus suelos, provisión y mantenimiento de hábitat para flora y fauna en especial para especies en riesgo., además, almacenaje y reciclaje de nutrientes, materia orgánica y contaminantes. (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - Fondo Adaptación, 2022)

Teniendo en cuenta lo anterior, mediante esta investigación se identifican los impactos por cambio de cobertura de suelo empleando la matriz para su identificación, de esta manera conocer cuáles son los impactos ambientales más significativos en los municipios antes mencionados para este estudio, los cuales pertenecen al Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC).

### ***1.1.1. Formulación del problema***

¿Cuáles son los impactos ambientales que se presentan por el cambio de cobertura de suelo en el PNNCVDJC en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez?

## **1.2. Justificación**

Los páramos y las selvas altoandinas en Colombia, se han considerado como un mecanismo ecológico de gran importancia para la regulación de los flujos de agua, pues debido a su constitución de reservorios naturales son capaces de retener en sus suelos hidro mórficos grandes cantidades de agua y controlar su flujo a través de infiltraciones en el suelo a aguas subterráneas y las cuencas hidrográficas (Ministerio de Ambiente, 2002). De acuerdo con lo anterior se toman algunas leyes y decretos que serán de gran utilidad para ejecutar la investigación en la zona de estudio.

La Ley 388 de 1997, proporciona a los municipios que se encuentran en el área de influencia del PNNCVDJC, en este caso en particular a los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, las bases necesarias para el Ordenamiento Territorial. Por tanto, en el artículo 3 señala que, “en cumplimiento de la función pública del urbanismo, se atenderán los procesos de cambio en el uso del suelo y su adecuación en aras del interés común, procurando su utilización racional en armonía con la función social de la propiedad, buscando el desarrollo sostenible”. También dispone en el artículo 8 que “las entidades distritales y municipales en común acuerdo con la autoridad ambiental, serán encargadas de identificar y caracterizar los ecosistemas de importancia ecológica para los municipios”.

Según el Plan de manejo ambiental Doña Juana Cascabel, un gran porcentaje de estos ecosistemas han sido deforestados y se ha causado daños por la expansión agrícola y ganadera en esta zona, ya que no hay un control por parte de las autoridades competentes llevando al desacato del plan de ordenamiento territorial además se incumple la Resolución 0886 del 18 de mayo del 2018 del Ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible, donde estipula que “la zonificación y los programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias identificadas en las áreas de páramos delimitados, deberán cumplir con los principios de gobernanza y participación social en la gestión del territorio”, consignado en artículo 4 del decreto ley 2811 de 1974.

Los páramos y sus zonas circundantes se han convertido en forma de vida para los habitantes de los municipios de la zona de estudio, debido a los servicios ecosistémicos que ofrece, los cuales se mencionan en la Ley 99 de 1993 creada por el Ministerio del Medio Ambiente, el cual reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, así mismo la Ley 233 de 2018 por medio de la cual se dictan disposiciones relacionados con la gestión integral de los páramos en Colombia, que tiene como propósito generar un marco normativo que sirva de referencia para todas las actividades que sean realizadas en las zonas cercanas y dentro de los páramos, gestionando de manera efectiva su integralidad, restauración, uso sostenible, y fomentando la generación de conocimiento.

Dado a la importancia de esta área El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante la Resolución 485 de 2007 declara, reserva y alindera el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel, del cual hacen parte los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, con un 11.6 % de la totalidad del parque y los cuales albergan una gran parte de flora y fauna de la zona protegida.

Dentro de este orden de ideas, el estudio se realizó mediante metodología Corine Land Cover, la cual se define como una estrategia de trabajo para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La cual se especifica en los siguientes pasos (descripción, caracterización), interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media, para la construcción de mapas de cobertura a una escala (IDEAM, 2014). Por último, el Decreto 2150 de 1995, reglamenta la licencia ambiental y otros permisos. Define los casos en que se debe presentar diagnóstico ambiental de alternativas, Plan de Manejo Ambiental y estudio de impacto Ambiental; con estos parámetros se asegura que la afectación a ambiental en cualquier terreno sea mínima.

Los resultados que se obtuvieron permiten conocer mejor el área de estudio, tanto entidades gubernamentales y no gubernamentales podrán acoger información aportada por esta investigación, fortaleciendo procesos de recuperación, control, mitigación de los impactos ambientales enmarcados en este estudio, de esta manera conservar los servicios ambientales y ecosistémicos que ofrece esta zona.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Identificar los impactos ambientales más significativos generados por los cambios de cobertura de suelo, en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel, en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, mediante herramientas SIG.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Caracterizar la cobertura de suelo en el área de estudio correspondiente a los años 2002 y 2022.
- Determinar los cambios de coberturas del PNNCVDJC, en la zona occidental en los municipios de El Tablón de Gómez, La Cruz y San Bernardo.
- Establecer los impactos ambientales en las zonas que registran cambio de cobertura de suelo.

#### **1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos**

Para la presente investigación, se revisaron documentos relacionados con la aplicación de metodologías de análisis multitemporal, clasificación de coberturas del suelo, caracterización de ecosistemas de alta montaña, problemáticas ambientales e impactos ambientales.

##### **1.4.1. Antecedentes**

**1.4.1.1 Internacionales.** En el ámbito internacional se tuvo en cuenta a Brenes (2009) el cual realizó el Análisis de cambio de uso del suelo y dinámica del paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica, analizó la dinámica de las transiciones de cambio de uso del suelo y su incidencia sobre su composición. Utilizó la técnica de análisis multitemporal con imágenes satelitales para identificar y clasificar coberturas en un periodo de 22 años, de igual manera diseñó mapas de cambios y representó en diferentes matrices, la pérdida o ganancia de superficie. Así mismo, a GEOPLADES, (2009) en el estudio multitemporal del Nororiente del Ecuador, analizó los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo, entre los años 1990 a 2008, se utilizaron herramientas como la teledetección y el análisis cartográfico para caracterizar, cuantificar y monitorear el comportamiento de las coberturas vegetales expuestas a procesos naturales y antrópicos. Los resultados de la investigación mostraron pérdidas de bosque primario y de páramo debido a la expansión de la frontera agropecuaria y otros factores.

**1.4.1.2 Nacionales.** De esta manera se acogieron teorías en el ámbito nacional las cuales pretenden conocer las causas y factores que repercuten en los cambios de coberturas del suelo, especialmente en zonas de importancia ecosistémica, tomando como ejemplo a Bermúdez (2015),

quien en el análisis multitemporal de los cambios en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento del Chocó 1990 - 2014, identificó tres variables relacionadas con esta problemática ambiental: la explotación forestal, la ampliación de la frontera agrícola y ganadera, y el uso de cultivos de uso ilícito. El análisis multitemporal realizado por Patiño Martínez (2019) en el Parque Nacional Natural Chingaza se destaca por su enfoque en determinar el estado de restauración ecológica de dos ecosistemas dentro del Parque Nacional Natural, que para el transcurso de esta investigación se tomara con las siglas PNN. Este estudio ofrece una evaluación detallada de los cambios en la cobertura del suelo y otros indicadores ambientales a lo largo del tiempo, lo que proporciona información valiosa para comprender la dinámica del paisaje en el área protegida. Los hallazgos más relevantes de este análisis pueden contribuir significativamente a la gestión y conservación del Parque Nacional Natural Chingaza, así como servir de referencia para la investigación que se está llevando a cabo en PNNCVDC.

**1.4.1.3 Regionales.** Considerando la importancia de investigaciones en esta región, se tuvo en cuenta el la publicación de Guerrero y Ortega (2012), el cual representa una referencia fundamental para esta investigación, al abordar detalladamente los cambios en la cobertura vegetal del Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel en un período superior a dos décadas. Este análisis exhaustivo revela patrones y tendencias clave en el cambio del paisaje, lo cual resulta esencial para una comprensión integral de la dinámica ecosistémica en el área. Al compartir la misma área de influencia, sus hallazgos aportan una base significativa que enriquece y complementa el enfoque y los objetivos de la presente investigación. "

Además, destaca cómo ha evolucionado la cobertura vegetal en el área protegida, el estudio proporcionó una base sólida para evaluar los posibles impactos ambientales en la región. Esta investigación identifica áreas de pérdida o ganancia significativa de cobertura vegetal, indicando la presencia de procesos ambientales o actividades humanas que están afectando el paisaje. Estos descubrimientos pueden guiar la investigación actual al resaltar áreas de interés o preocupación que requieren una mayor atención.

El estudio mencionado destaca como principal hallazgo en la zona occidental del PNNCVDC, que serán de mucha importancia para la presente investigación: Durante el período de 1989 a

2011 en los municipios de La Cruz, El Tablón de Gómez y San Bernardo, se registraron cambios significativos en la cobertura vegetal. De acuerdo con Guerrero y Ortega, (2012), hubo un incremento notable en la extensión de bosques densos, aumentando del 30% al 40% durante ese lapso. Paralelamente, la cobertura de herbazal, asociada al páramo, se mantuvo estable en torno al 30%. Sin embargo, se evidenció una disminución en la cobertura de pastos, descendiendo del 20% al 10% en el mismo período. Estas observaciones sugirieron una posible recuperación del bosque denso y una estabilidad en la cobertura de páramo, indicando una mejora en la salud del ecosistema en estos municipios.

Durante el período de 1995 a 2002, se observaron intervenciones agrícolas, pecuarias y agropecuarias en los municipios mencionados, así como procesos de regeneración y restauración de áreas naturales. Estos cambios representaron aproximadamente el 3.0% del paisaje, con áreas que transitaban de bosques densos a pastizales y cultivos, y viceversa, influenciados principalmente por actividades como cultivos ilícitos y tala indiscriminada.

En el período 2002-2011, se destacan cambios significativos en la cobertura vegetal, con una intervención agropecuaria que representó el 0.5% del total de cambios y una regeneración/restauración que alcanzó el 1.3%. La deforestación y la intervención pecuaria tuvieron un impacto mínimo, reflejando una tendencia hacia la conservación y la recuperación de áreas naturales en la región, lo que deja prever como será la dinámica de la cobertura de suelo en los años de interés.

Por su parte, Pinza y Leyton (2017), destaca la importancia de monitorear los cambios en la cobertura del suelo cerca de volcanes activos como el Galeras, ofreciendo información valiosa para comprender la dinámica del paisaje en la presente investigación. La metodología empleada, que incluye teledetección y herramientas SIG, es aplicable al monitoreo en el área de estudio, permitiendo una evaluación detallada de la cobertura del suelo a lo largo del tiempo. Asimismo, el estudio reveló cambios significativos en la cobertura del suelo, como el aumento en áreas urbanas y la disminución en bosques y pastizales. Estos hallazgos son relevantes para la gestión ambiental ya que proporciona información sobre posibles impactos ambientales asociados con cambios en la cobertura del suelo los cuales son desafíos ambientales en el PNNCVDJC.

#### **1.4.2. Marco teórico**

**Ecosistemas de páramos y selva altoandina:** Los páramos son ecosistemas únicos en el mundo, muy sensibles, vulnerables al daño y difíciles de restaurar (Agudelo 2019). Los páramos, además de registrar una alta diversidad, generan servicios ambientales que benefician a la sociedad, principalmente en la regulación del ciclo hídrico (Cortez et al, 2013). Estos ecosistemas al enfrentarse a la ampliación de la frontera agrícola, pierden sus espacios naturales. Por otra parte, la selva altoandina en ecosistemas estratégicos de alta montaña, según Parques Nacionales Naturales está ubicado entre 2.800 y 3.200 msnm.

La selva altoandina es un ambiente supremamente húmedo, lo cual permite que crezca una variedad de epífitas que son reservorios naturales. En la zona de estudio, estas selvas altoandinas son las que más sufren desgaste por la intervención antrópica, debido a la introducción de ganadería.

**Cobertura y uso de suelo:** La cobertura es un factor para el éxito de la producción agrícola en la siembra directa, principalmente, en lo referente a la economía de agua, las plantas deben proteger el suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas para el cultivo (Furlani et al. 2008). Por lo cual, dependiendo de su cobertura indicara su estado. Ahora bien, el suelo es sustituible bajo ciertas condiciones, y por eso ciertos terrenos o lugares son más deseables que otros (Graizbord, Boris, 2002). La modificación del uso de suelo con vegetación inducida hace que se utilice el suelo de manera errónea, para el cual no es apto, perdiendo así los servicios ecosistémicos que él nos brinda.

**Frontera agrícola:** La ampliación de la frontera agrícola está condicionada por grupos económicos y políticos que pretendían canalizar nuevos recursos de áreas despobladas. (Guerrero y Ortega 2012). Los factores que han acelerado el proceso de degradación, se explican por la deforestación o el desmonte con fines agrícolas, la cual ha sido una constante en la historia del país (Campaña, 2002). La implementación de la ganadería y cultivos en esta zona se convierte en una problemática no solo ambiental sino social.

**Teledetección:** Es un método para obtener información sobre la superficie terrestre sin

contacto directo, utilizando sensores remotos montados en plataformas como satélites, aviones o drones. Según Emilio Chuvieco en su libro *Teledetección Ambiental*, estos sensores capturan la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie, la cual se transmite a estaciones terrestres o bases de datos para su posterior análisis e interpretación. (Chuvieco, E. *Teledetección Ambiental*). La teoría del uso del espectro electromagnético en teledetección, según Chuvieco (2006), se basa en la capacidad de las distintas bandas de este espectro para capturar información específica sobre la superficie terrestre, lo cual es fundamental para la clasificación de coberturas. Cada tipo de cobertura (vegetación, agua, suelo desnudo, áreas urbanas), refleja y absorbe la radiación de manera única en diferentes longitudes de onda. Así, por ejemplo, las bandas del infrarrojo cercano son altamente eficaces para identificar la vegetación debido a su alta reflectancia en este rango, mientras que las bandas en el espectro visible ayudan a diferenciar características como el color y la textura de la superficie. Esta teoría permite la aplicación precisa de técnicas de clasificación y análisis en estudios de cambios de cobertura a lo largo del tiempo.

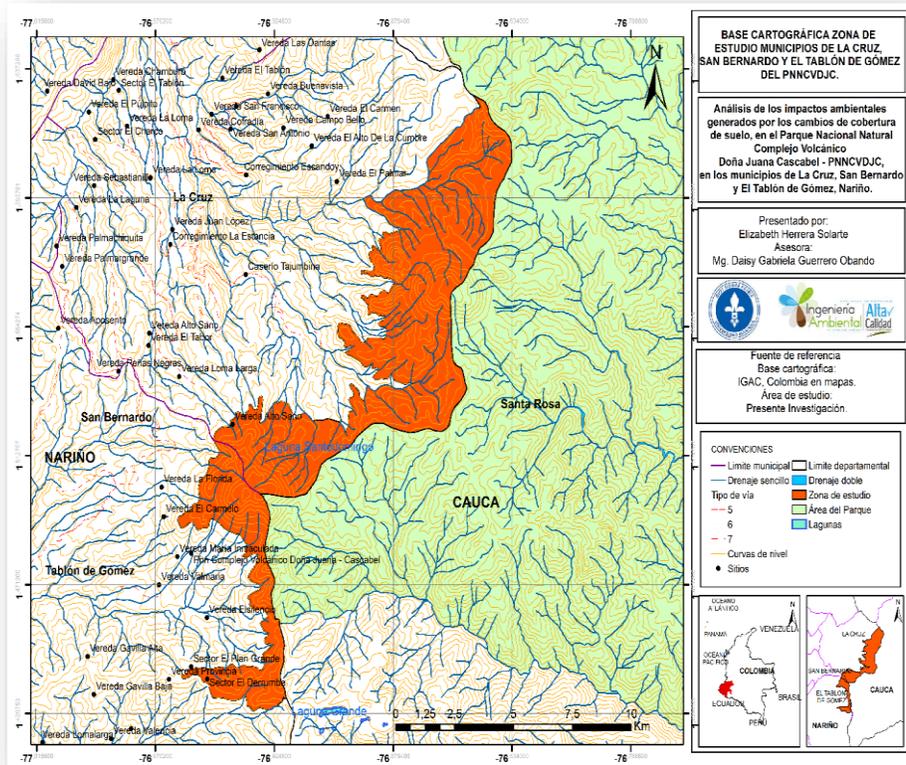
**Impactos ambientales:** Es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza. Puede describirse como la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada. (Loustaunau, 2014).

### ***1.4.3. Marco contextual***

El MAVDT, en la actualidad llamado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible declara el Complejo Volcánico Doña Juana- Cascabel como Parque Nacional Natural, siendo esta el área protegida número 52 del Sistema Nacional de Parques Nacionales mediante resolución 485 del 21 de marzo del 2007, con un área estimada de 65.858 has, con jurisdicción en municipios en el departamento del Cauca y en el departamento de Nariño (Plan de Manejo 2015- 2019). Cabe resaltar que en el departamento de Nariño es donde se ejecutará la presente investigación, en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, con un área de 6.944 has de área protegida, los cuales altitudinalmente están entre los 2800 y 4200 m.s.n.m., siendo este un 11,22 % del área total del PNNCVDJC, el cual se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Mapa: Base cartográfica zona de estudio municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez del PNNCVDJC



En los municipios antes mencionados en la zona de influencia del Parque se presentan climas que varían entre templado, extremadamente frío, frío, muy frío; con rangos de temperatura que oscilan entre 1,5 a 24 °C (Plan de Manejo 2015).

Asimismo, se presenta ganadería extensiva y de doble propósito principalmente en los municipios de la zona de estudio generando efectos o impactos como la erosión, remoción de cobertura vegetal, sedimentación, contaminación por agroquímicos, pérdida de hábitat, compactación de suelos, disminución de las poblaciones de especies silvestres, afectación de ciclos ecológicos, transformación de hábitat. Lo anterior tiene un impacto directo en la

modificación de los ciclos biogeoquímicos del suelo, introducción de especies invasoras, producción de metano, contaminación por heces, contaminación de fuentes hídricas y transformación del paisaje, una alteración que se ve reflejada con el acelerado crecimiento de la frontera agrícola. (Plan de Manejo 2015).

## **1.5. Metodología**

La metodología de esta investigación se basa en el uso de herramientas SIG y la participación de la comunidad local para analizar los cambios de cobertura de suelo en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel, en los municipios de El Tablón de Gómez, La Cruz y San Bernardo. El proceso incluye la caracterización de la cobertura en los años 2002 y 2022 mediante imágenes satelitales y la metodología Corine Land Cover, la elaboración de mapas de cambios, y la identificación de los impactos ambientales asociados a dichos cambios. Además, se complementa con trabajo de campo y encuestas a los habitantes del área, con dichos datos se elabora un matriz de evaluación e identificación de impactos los cuales realzan un valor de prioridad de cada componente para proporcionar una visión integral de los impactos ecológicos y socioambientales.

Las actividades metodológicas presentadas en la tabla 1, están diseñadas para cumplir con los objetivos específicos de esta investigación. Cada actividad responde a una etapa clave en el análisis de la cobertura de suelo y la identificación de impactos ambientales en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC). A través de una combinación de trabajo de campo, procesamiento de imágenes satelitales y recopilación de información primaria y secundaria.

### **Tabla 1**

*Actividades metodológicas de acuerdo a los objetivos planteados.*

---

<b>Objetivo General</b>	<b>Identificar los impactos ambientales generados por los cambios de cobertura de suelo, en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel, en los municipios de La Cruz, San Bernardo y</b>
-------------------------	---

---

**El Tablón de Gómez, mediante herramientas SIG.**

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividad</b>	<b>Producto</b>
<b>Caracterizar la cobertura de suelo en el área de estudio correspondiente a los años 2002 y 2022.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda de información secundaria.</li> <li>• Obtención de imágenes satelitales.</li> <li>• Procesamiento de imágenes satelitales.</li> <li>• Adaptación de la metodología Corine Land Cover al área de estudio.</li> <li>• Definición de leyenda.</li> <li>• Clasificación de coberturas.</li> <li>• Validación de coberturas en trabajo de campo.</li> <li>• Ajustes de la clasificación a través de la verificación en campo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de Mapas de Clasificación de coberturas.</li> <li>• Descripción de las coberturas.</li> <li>• Fotos de cada cobertura en trabajo de campo.</li> </ul>
<b>Determinar los cambios de coberturas del PNNCVDJC, en la zona occidental en los municipios de El Tablón de Gómez, La Cruz Y San Bernardo.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de mapas de cambios de cobertura de suelo.</li> <li>• Elaboración de la matriz de cambios.</li> <li>• Verificación en territorio de los cambios de cobertura de suelo identificados con la metodología Corine Land Cover.</li> <li>• Realizar un registro fotográfico en territorio de la cobertura de suelo actual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa de cambios.</li> <li>• Definición de coberturas.</li> <li>• Cuantificación en hectáreas las coberturas.</li> <li>• Ubicación donde se encuentran los cambios de coberturas.</li> </ul>

---

<b>Establecer los impactos ambientales en las zonas que registran cambio de cobertura de suelo.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recopilación de información primaria con la comunidad que vive en el territorio mediante la aplicación de encuestas que buscan determinar los impactos ambientales evidenciados según su percepción como habitantes del área de estudio.</li><li>• Implementar matriz de identificación de los impactos ambientales.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Impactos ambientales más significativos identificados en las zonas que registraron cambio de cobertura de suelo</li></ul>
---	--	---

---

A continuación, se hace una descripción detallada de dicha metodología:

### ***1.5.1 Búsqueda de información secundaria***

Se utilizaron bases de datos académicas como Google académico, estas bases de datos contienen artículos revisados por pares y son fuentes confiables. Se recurrió a repositorios de universidades donde se encuentran investigaciones a fines con el tema de interés; además se consultaron el Plan de Manejo Ambiental del Parque Nacional Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel, y los Esquemas de Ordenamiento Territorial que hacen parte del área de estudio, cabe destacar que se organizan y gestionan la información recolectada mediante herramientas de gestión de referencias como Mendeley.

### ***1.5.2. Obtención de Imágenes Satelitales***

Para la obtención de imágenes satelitales se tuvo en cuenta la página oficial de Servicio Geológico de los EEUU, USGS Science for a Changing World. Las imágenes se descargaron a partir de la creación de usuario en la página, lo primero que se realizó fue especificar path y row según el programa donde proporciona las coordenadas donde se encuentra la zona de estudio, para el caso en particular path 9, row 59, luego se especificó la fecha, como es día mes y año,

(ver tabla 2), del área para su clasificación, el paso a seguir fue escoger el satélite con el cual se iba a trabajar, se tuvo en cuenta la calidad de las imágenes, y se seleccionaron de la siguiente manera:

➤ *Selección de satélites y periodos.*

Para resaltar las características del análisis de cambio de cobertura de suelo, se seleccionan las bandas de Landsat 7 y Landsat 8 en función de sus propiedades espectrales, lo que permite capturar información específica sobre la vegetación y el suelo. En 2002, se emplearon las bandas 4 (rojo), 5 (infrarrojo cercano) y 3 (verde) de Landsat 7, ya que esta combinación resalta la vegetación y permite diferenciarla del suelo desnudo y otras superficies. En 2022, para Landsat 8, se seleccionan las bandas 5 (infrarrojo cercano), 6 (infrarrojo medio) y 4 (rojo), lo que mejora la identificación de la vegetación y la humedad del suelo, resaltando cambios en la cobertura y permitiendo una mejor comparación temporal, cómo se describe en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Ficha de descripción.*

<b>Imagen satelital (año)</b>	<b>Satélite</b>	<b>Fecha</b>	<b>Descarga</b>	<b>Sensor</b>
2002	Landsat 7	14 de octubre	USGS	OLI
2022	Landsat 8	18 de agosto	USGS	TMT

**1.5.3. Procesamiento de imágenes satelitales.**

En este proceso se manipulan los datos capturados por satélites para extraer información útil que permita llegar al objetivo planteado, de esta manera ya obtenidas las imágenes satelitales se seleccionaron las bandas espectrales específicas para destacar características particulares en la imagen se procede a realizar una combinación de bandas de la siguiente manera: Para Landsat 7 en el año 2002, se utilizaron las bandas 4, 5 y 3 en ese orden para generar una imagen que

permita un análisis de las coberturas, además esta combinación de bandas es útil para distinguir y poder clasificar cierto tipo de bosques, así como la intensidad de la vegetación. Para los años 2022 – 2023, Landsat 8, se utilizó las bandas 5, 6 y 4 para la combinación de colores, se procedió a realizar la descarga de las imágenes satelitales donde se tienen en cuenta las bandas espectrales, las cuales captan frecuencias donde se adquiere la información de la superficie terrestre. De acuerdo con Muñoz (2013), dice que las bandas espectrales tienen relación con la cantidad de la vegetación presente en un píxel dado. Estos índices, son utilizados para mejorar la discriminación entre el suelo y la vegetación, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes coberturas, para el presente estudio la combinación se realiza ArcGis 10.5, software que permite la visualización de la imagen satelital.

#### ***1.5.4. Adaptación de la metodología Corine Land Cover al área de estudio***

La metodología Corine Land Cover (CLC) es un sistema europeo de clasificación de cobertura y uso de la tierra que se utiliza para la cartografía a nivel nacional y continental. Para la adaptación de esta metodología se tuvieron en cuenta características específicas del país, como se describe a continuación

#### ***1.5.5. Revisión de la Metodología Corine Land Cover***

Se evaluó las características específicas de CLC, para determinar cuáles son aplicables a la zona de estudio, teniendo en cuenta aspectos como altura sobre el nivel del mar, las características geográficas, climáticas y ecológicas. De esta manera, elaborar una tabla que documente los datos encontrados para su respectiva incorporación a los mapas de coberturas.

#### ***1.5.6. Definición de leyenda***

Para esta definición se tuvo en cuenta la metodología CLC, donde se especifica los colores para cada cobertura de suelo encontrada en la zona de estudio. Se puede señalar que la leyenda es esencial para la interpresentación y análisis adecuado de la información presentada y entender el significado de los elementos visuales utilizados en el mapa (IDEAM, 2023). Además, se clasificó de acuerdo a la información que proporcionaron las imágenes de satélite Landsat 7 y 8, de

acuerdo con los contextos locales del territorio nacional. La adaptación y validación de esta metodología permitirá comparar estadísticas de ocupación de la tierra, crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que adopten el sistema, y, además, facilitar la homologación de información (IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA, 2008).

### ***1.5.7. Clasificación de coberturas.***

Por otra parte, de acuerdo a la información dada y siguiendo las actividades establecidas en la metodología se elaboraron los mapas de cobertura de suelo de los años 2002 y 2022, lo cual corresponde al alcance del primer objetivo. A continuación, se describe La creación de mapas de cobertura a partir de imágenes satelitales en ArcGIS:

Mediante la opción ArcToolbox, se carga la imagen para su procesamiento, se debe tener en cuenta la georreferenciación de la imagen para asignar coordenadas, se procede a recortar la imagen utilizando la herramienta recortar ráster, para que las imágenes se puedan procesar más rápido y solo trabajar en la zona de interés, así, conocer el área en hectáreas de la zona de estudio. Se prosigue a crear un Shapefile (Shp), de puntos, donde manual y visualmente mediante colores y curvas de nivel se guía para clasificar cobertura de acuerdo a la Tabla 2. Además, en la tabla de atributos se crearon filas de texto donde se colocaron las coberturas ya encontradas mediante metodología Corine Land Cover, los puntos de cada cobertura se los designo al inicio por número, luego por el nombre de cada cobertura. Al obtener las coberturas utilizando la herramienta, Calculadora Ráster, se calculó el área de cada una de ellas.

De esta manera se realizó la clasificación Supervisada donde se corrigió manualmente mejorando la precisión. Al obtener la imagen en formato ráster se utilizó la herramienta ArcToolbox para transformarla en vector, donde se corrigió eliminando las coberturas fuera del rango de área. Para esta investigación, cabe resaltar que la escala para este trabajo se evaluó de acuerdo a las los requerimientos para clasificación, ya que se necesita detalle y precisión, fue la escala 1:50.000. Esta escala representa características con mayor detalle, siendo fundamental para la clasificación de cobertura, ya que muchas clases de cobertura pueden tener patrones y características distintivas a nivel local o regional que solo se pueden capturar a escalas más detalladas. Dicho lo anterior, aplicando un método de proporcionalidad directa, se obtuvo que la

unidad mínima mapeable es de 6.25 hectáreas, con este dato se adjuntó a áreas que estaban por debajo de este rango, se seleccionó la opción ArcToolbox, luego Data management tools y se selecciona eliminate, este proceso se lo realizó 6 veces hasta unir todas las áreas inferiores a la deseada.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se obtuvo el mapa de coberturas, se le asignó el color correspondiente con la metodología Corine Land Cover.

#### ***1.5.8. Matriz de cambios de cobertura***

Para la adecuación de la matriz de cambios, se tomó como referencia el trabajo de investigación de (Ortega y Guerrero 2012), complementándolo con nuevos conceptos desarrollados en el presente estudio. A partir de este análisis, se asignaron nombres específicos a los diferentes tipos de cambio de cobertura de suelo, lo que permitió un cruce de información más preciso y la identificación detallada de los cambios en la zona de estudio.

#### ***1.5.9. Elaboración de mapas de cambios de cobertura de suelo***

Con los elementos generados previamente, se utilizó ArcGIS para crear el mapa de cambio de cobertura de suelo. En el menú Geoprocesamiento, seleccionó la herramienta Intersect, donde se agregó primero el mapa de cobertura de 2002 y luego el de 2022, guardando el archivo en la carpeta deseada. Una vez generado el mapa, este se visualizó en la parte izquierda de la tabla de contenido. Desde allí, se accedió a la tabla de atributos, la cual contiene los datos de intersección de ambos mapas.

Igualmente, se creó una columna denominada cambios de cobertura, en la que se cruzaron los datos de los dos mapas, asignando nombres a los cambios de cobertura según la matriz de cambios en el numeral 1.5.8. Por ejemplo, un área clasificada como arbustal en el mapa de 2002 y como herbazal en el de 2022, se categoriza como paramización. Este procedimiento se aplicó a todas las coberturas identificadas. Además, se definieron los colores correspondientes a cada cambio detectado, siguiendo la metodología de Ortega y Guerrero (2012).

### ***1.5.10. Visita de Campo y Aplicación de Encuestas para la Evaluación de Impactos Ambientales.***

Para alcanzar el tercer objetivo, se llevó a cabo una visita de campo en el área de estudio del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel, documentando detalladamente las observaciones realizadas en el territorio. Durante esta visita, se aplicaron 35 encuestas a los habitantes locales, para garantizar la validez estadística de los resultados, lo que asegura un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, considerando una población total de 37 personas en las áreas seleccionadas. Además, se encuestaron a 4 funcionarios vinculados con la gestión del parque, específicamente personal de PNN. La muestra de encuestas fue seleccionada considerando la diversidad de sectores y veredas presentes en el área, con el fin de garantizar la representatividad de las percepciones tanto de la comunidad como de los actores técnicos.

Las encuestas se aplicaron en las zonas donde se identifican los cambios en la cobertura de suelo, con el fin de obtener una comprensión clara y detallada de las percepciones de los habitantes locales sobre los impactos ambientales observados. Estas encuestas abarcan tanto los efectos positivos como negativos sobre la flora, fauna, recursos hídricos y otros componentes clave del ecosistema. Posteriormente, el análisis se centrará en las áreas donde se registraron los cambios más significativos en la cobertura de suelo, permitiendo un estudio más detallado de dichas zonas.

Con el objetivo de obtener una perspectiva integral sobre los impactos ambientales generados por los cambios en la cobertura de suelo, así como la percepción comunitaria y las acciones de gestión implementadas en el área protegida, se realizaron encuestas dirigidas a la población las cuales se enfocaron en conocer su relación con el PNN, su percepción sobre el uso y conservación de los recursos naturales, y los cambios observados en el ambiente a lo largo de los años de la declaratoria de la zona protegida. En el caso de los funcionarios, las preguntas exploran los principales retos, logros y desafíos en la gestión ambiental, así como su percepción sobre la efectividad de las políticas de conservación implementadas. Las preguntas específicas dirigidas a ambas partes se encuentran detalladas en el Anexo 1 y 2

### ***1.5.11. Tratamiento de datos para el análisis resultados de las encuestas.***

Se utilizó una metodología basada en el análisis de frecuencia de palabras, la cual permitió identificar los términos más recurrentes entre los encuestados. Este proceso se llevó a cabo utilizando la programación en Python en la plataforma Google Colaboratory, donde las respuestas fueron procesadas y codificadas para identificar patrones de respuesta predominantes. Las palabras con mayor frecuencia de uso fueron resaltadas y organizadas según su repetición, asignándoles colores para facilitar la visualización y análisis de los resultados.

Esta metodología fue especialmente útil para identificar términos claves relacionados con los principales componentes ambientales (agua, suelo, flora, fauna, aire), así como para captar las percepciones sobre la gestión del Parque Nacional, los conflictos y las oportunidades de mejora. El análisis de la frecuencia de palabras facilitó una interpretación rápida de los resultados y permitió identificar las preocupaciones más apremiantes tanto de los funcionarios como de la comunidad local.

Asimismo, para realizar el análisis de frecuencia de palabras, empleando el procesamiento de datos con mediante las herramientas mencionadas, ejecutadas en lenguaje Python en la plataforma Google Colab; se recolectaron las respuestas de las encuestas de los habitantes y funcionarios del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC) y se usaron como los datos de entrada. Las respuestas abiertas de estas encuestas fueron compiladas en un archivo de texto o en formato CSV. Este archivo sirvió como contiene base para el análisis de frecuencia de palabras.

El segundo paso fue el procesamiento de los datos. Antes de analizar las palabras; se realizó una limpieza eliminando las palabras vacías o stopwords (artículos, preposiciones, pronombres.) que no aportan significado semántico al análisis. Además, se normalizan las palabras eliminando acentos y caracteres especiales para evitar duplicidad.

El tercer paso es la tokenización, un proceso que divide el texto en palabras individuales (tokens). Lo que permite identificar la frecuencia de repetición de cada palabra en las respuestas. Esto proporciona una lista de las palabras más mencionadas por los encuestados.

El cuarto paso consistió en la visualización de los resultados de frecuencia de palabras, mediante gráficos de barras que destacan las palabras más comunes en el conjunto de datos. Esta ayuda a la representación, interpretación y el análisis visual de los resultados

Como quinto punto, se codificó los resultados; Se crea una lista de códigos que agrupan las palabras similares o con significados relacionados. Estos códigos son utilizados para el análisis posterior y se relacionan con las temáticas estudiadas en la investigación, como cobertura vegetal, cuidado del medio ambiente, agua, animales silvestres, talleres, reuniones entre otros. Como sexto paso se realiza la ejecución del modelo en Google Colab, una plataforma en línea para ejecutar código Python.

#### ***1.5.12. Aplicación de la matriz de evaluación de impactos ambientales mediante metodología Conesa (2006).***

Asimismo, el análisis de los impactos ambientales se desarrolló aplicando la metodología de evaluación de Conesa (2006). que ofrece un enfoque sistemático para identificar y clasificar los impactos ambientales derivados de actividades humanas o cambios en el entorno. El primer paso de esta metodología consistió en la identificación de los principales componentes y aspectos ambientales a estudiar, como el ciclo hidrológico, la cobertura vegetal, los corredores biológicos y la biodiversidad. Posteriormente, se construyó una matriz donde se evaluó cada componente en función de los impactos observados, clasificándolos según su magnitud, duración, extensión y reversibilidad.

Para calcular el puntaje total según matriz se multiplica los valores asignados a las características según la fórmula: (Probabilidad x Severidad x Alcance x Reversibilidad x Frecuencia x Sensibilidad pública x Legislación aplicable). Para obtener el rango de prioridad se clasifica el impacto según su puntaje total en tres niveles Alto, Medio, Bajo; teniendo en cuenta la fórmula:  $\frac{S-I}{3} = \text{prioridad}$ , donde S: puntaje máximo, I: puntaje mínimo. Como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Criterios para la evaluación e identificación de impactos*

<b>CRITERIOS PARA EVALUAR LA MATRIZ</b>			
<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Opciones</b>	<b>Valor asignado</b>
<b>Medio afectado</b>	Identifica el medio donde ocurre el impacto.	W: Agua, A: Aire, S: Suelo, T: Trabajadores, O: Otros.	No aplica
<b>Situación</b>	Define el estado de operación en el cual ocurre el impacto.	N: Operación normal, A: Operación anormal, I: Incidente, E: Emergencia/Accidente	No aplica
<b>Acción</b>	Identifica si la acción es directa o indirecta.	D: Directa, I: Indirecta	No aplica
<b>Impacto</b>	Determina si el impacto es positivo o negativo.	+: Positivo, -: Negativo	No aplica
<b>Frecuencia</b>	Frecuencia con la que ocurre el impacto.	A: Una vez al año o más, M: Mensual, S: Semanal, D: Diario, C: Continuo	A:1 - M:2 - S:3 - D:4 - C:5
<b>Probabilidad</b>	Evalúa la probabilidad de que ocurra el impacto.	SE: Segura, BP: Bastante probable, PP: Poco probable, PI: Prácticamente improbable	PI:1 - PP:2 - BP:3 - SE:4
<b>Severidad</b>	Clasifica la severidad del impacto según la cantidad y peligrosidad generados.	MA: Muy alta, AL: Alta, ME: Media, MO: Moderada, BA: Baja	BA:1 - MO:2 - ME:3 - AL:4 - MA:5
<b>Alcance</b>	Determina el área afectada por el impacto.	L: Local, Z: Zonal, G: Global	L:1 - Z:2 - G:3
<b>Reversibilidad</b>	Evalúa si el impacto puede	R: Reversible, I:	R:1 - I:2

	ser revertido.	Irreversible	
<b>Sensibilidad pública</b>	Determina si el impacto podría generar sensibilidad o preocupación en el público o la prensa.	S: Sí, N: No	N: 1, S:2
<b>Legislación aplicable</b>	Evalúa si existe una regulación o legislación aplicable y si la empresa la cumple.	EC: Existe y cumple, ENC: Existe, no cumple, No sabe si cumple, NE: No existe	NE:1 - EC:2 - ENC:3
<b>Puntaje total</b>	Se obtiene multiplicando los valores asignados a las características según la fórmula: (Probabilidad x Severidad x Alcance x Reversibilidad x Frecuencia x Sensibilidad pública x Legislación aplicable).	Se calcula un valor numérico total.	Valor total en la formula.
<b>Rango de prioridad</b>	Clasifica el impacto según su puntaje total en tres niveles de prioridad para definir la importancia del impacto ambiental.	Alto, Medio, Bajo	Valor máximo - valor mínimo/3:la prioridad es el resultado, Media: rango entre I y S, bajo: S.

Cabe aclarar que los numerales del 1 al 3 que se utilizan en la Tabla 3, son dados por metodología de la matriz de identificación de impactos utilizada para esta investigación; esto debido a que se le debe dar un valor numérico al ítem seleccionado según corresponda.

## **1.6. Línea de investigación**

Este trabajo se enmarca en la línea de investigación de Gestión Ambiental considerando que relaciona tanto a ecosistemas como a la sociedad y cómo influye esta última en los cambios de cobertura de acuerdo a las actividades socioeconómicas, se realizará un diagnóstico ambiental para determinar estos cambios.

## **1.7. Enfoque de investigación**

El enfoque de esta investigación es mixto, ya que tiene datos cualitativos y cuantitativos, se generarán mapas y datos espaciales para identificar áreas con características únicas como son mapas de coberturas y mapa de cambios, estos mapas permitirán generar un análisis de los diferentes impactos ambientales generados por los cambios de cobertura de suelo, en el PNNCVDJC, en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez.

Además, se realizará verificaciones de terreno o trabajo de campo y encuestas con líderes comunitarios sobre los cambios de uso y coberturas de suelo y tomar referencias geográficas de puntos donde sea más notorio sus cambios.

### ***1.7.1. Población y muestra***

La población en esta investigación está dada por los tres municipios los cuales son: La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, los cuales aportan áreas significativas al Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC). La muestra se la tomo teniendo en cuenta los resultados de los cambios de cobertura de suelo realizado en la presente investigación, en el cual se identificarán los lugares en donde se encuentran focalizados los impactos ambientales más significativos.

## **2. Presentación de resultados**

### **2.1. Caracterizar la cobertura de suelo en el área de estudio correspondiente a los años 2002 y 2022**

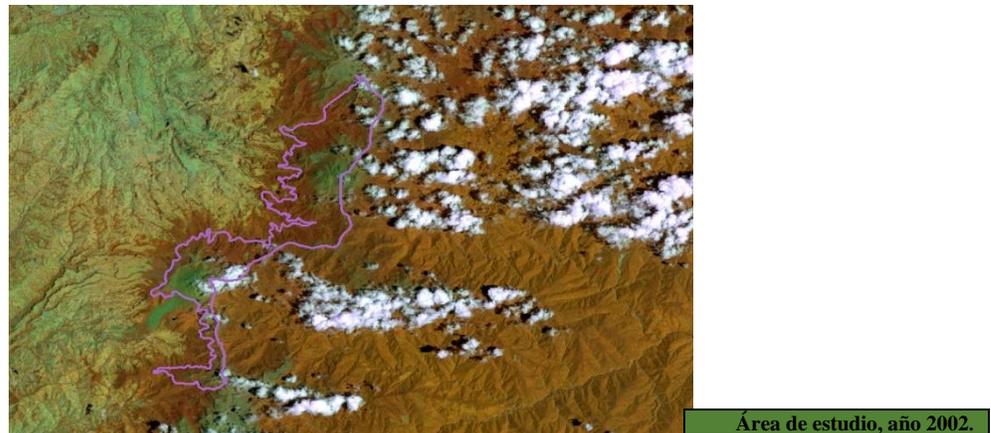
El análisis de resultados encontrados previamente utilizando información secundaria, mediante la herramienta ArcGis, con metodología CLC, aplicada a la zona de estudio y su respectiva leyenda, es interpretada mediante los mapas de cobertura de suelo y los cambios que se han generado entre los años 2002 y 2022 como se detalla a continuación.

#### **2.1.1. imágenes satelitales**

A partir de la selección de imágenes satelitales y con la delimitación de la zona de estudio, se realizó la clasificación de cobertura vegetal la cual consiste en identificar los tipos de coberturas que se encuentra en el esta área, para esta clasificación se utilizaron dos imágenes satelitales las cuales se eligieron por su claridad y poca nubosidad. De esta manera, en las Figuras 2 y 3 se observa las imágenes satelitales con la zona de estudio delimitada de la siguiente manera.

#### **Figura 2**

*Zona de estudio en imagen satelital del año 2002*

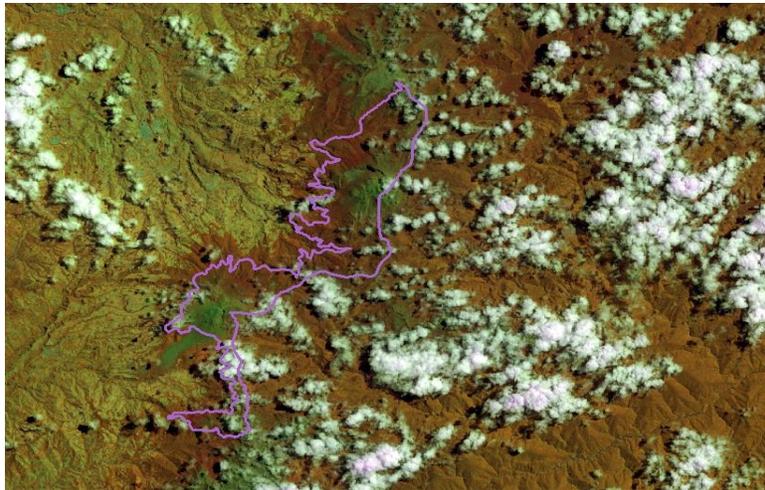


Fuente: Landsat7

La Figura 2, resulta de la combinación de bandas 4, 5 y 3, lo que permiten observar en falso color de la superficie: El color café indica bosques naturales densos, el color verde amarillento arbustales y el verde intenso herbazales (páramo). (Hinestroza, 2021).

**Figura 3:**

*Zona de estudio en imagen satelital del año 2022*



Área de estudio, año 2022.

Fuente: Landsat 8.

La Figura 3, mediante combinación de bandas 5, 6 y 4 permite identificar falso color de la superficie, de ciertos tipos de cobertura como bosques densos, herbazales, arbustales y cuerpos de agua, (Hinestroza, 2021). Para este caso se apoyó en imágenes en tiempo real de Google Earth.

**2.1.2. Extracción de la zona de interés**

Para seguir con la ejecución del primer objetivo, se llevó a cabo la extracción del área de interés, que en este caso corresponde a el PNNCVDJC, en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez. Para ello, se utilizó el programa ArcGIS en conjunto con un archivo Shapefile de polígono, mediante el cual se delimitó la zona de estudio. Una vez realizada esta delimitación, se procedió a cargar el polígono, se realizó un recorte y así se obtuvo el área de trabajo para esta investigación, como se presenta en la Figura 4.

**Figura 4**

*Zona de estudio PNNCVDJC, municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez Nariño.*

*Clip imagen 2002.*



*Clip imagen 2022.*



Avanzando en el tema, es fundamental para diversos tipos de estudios y análisis conocer la superficie en hectáreas, debido a que proporciona una medida cuantitativa de la extensión geográfica de la zona de estudio permitiendo cálculos precisos y análisis detallados en este caso de clases de coberturas de suelo que son esenciales para el debido manejo de un Parque Nacional. Dicho lo anterior mediante la herramienta ArcGIS, se calculó las hectáreas para la zona de estudio, implicando 6944 hectáreas.

**2.1.3. Definición de la leyenda según la metodología corine Land Cover**

A partir de la aplicación de la metodología se identificaron las siguientes coberturas en la zona de estudio, cómo se indica en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Leyenda según la metodología Corine Land Cover*

<i><b>NIVELES</b></i>		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<i><b>1. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b></i>	<b>1.1.</b> Bosques	<b>1.1.1.</b> Bosque natural denso
	<b>1.2.</b> Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	<b>1.1.2.</b> Herbazal  <b>1.2.2.</b> Arbustal
<b>2.</b> <i><b>AGUAS SUPERFICIALES</b></i>	<b>2.1.</b> Aguas continentales	<b>2.1.2.</b> Lagunas, lagos y ciénegas naturales

Además de la identificación de leyenda según la metodología utilizada, se establecieron conceptos que se desarrollan según bibliografía; Conocimientos de mucho interés para esta investigación, los cuales están catalogados como Figuras 5, 6 y 7 de la presente investigación.

**Arbustal:** Un arbustal puede variar en densidad y composición dependiendo de la ubicación geográfica, el clima y el tipo de suelo. Estos arbustales pueden encontrarse en una variedad de hábitats, desde regiones áridas y semiáridas hasta bosques y áreas de transición entre diferentes tipos de vegetación (MINAMBIENTE, 2002). Como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5**

*Arbustal zona de estudio, sector valle de las orquídeas, PNNCVDJC*



**Cuerpo de agua:** Área o extensión de agua sobre la tierra, de origen natural o artificial que debido a su área se la puede clasificar como río, canal, humedal pantano lago, laguna (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Bogotá, 2021). Como se muestra en la Figura 6.

**Figura 6**

*Cuerpo de agua zona de estudio PNNCVDJC*



Fuente: plan de manejo ambiental PNNCVDJC, Laguna Ánimas.

**Bosque natural denso:** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999). Como se muestra en la Figura 7.

### **Figura 7**

*Bosque natural denso, zona de estudio PNNCVDJC*



**Herbazales:** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación).

Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).

### **Figura 8**

*Herbazal, zona de estudio PNNCVDJC*



#### ***2.1.4. Clasificación supervisada***

La clasificación supervisada de cobertura de suelo, se logra mediante la extracción y análisis de características espectrales y espaciales de las imágenes satelitales o datos ráster utilizados. Esta clasificación de cobertura, en el área de estudio es importante, puesto que es una forma eficiente de identificación en grandes terrenos, el cual es el requerimiento para la presente investigación, ver Tabla 5.

**Tabla 5**

*Clasificación de Coberturas de suelo*

<i>COBERTURA DE SUELO</i>	
	<b>Arbustal</b>
	<b>Bosque natural denso</b>
	<b>Cuerpo de agua</b>
	<b>Herbazal (Páramo)</b>

Con base en lo anterior, se utilizó la metodología Corine Land Cover con lo cual se llevó a cabo la clasificación supervisada, donde según Toribio (2019), se define como la clase de cobertura del suelo, los cuales se identifican a través de polígonos que se trazan sobre áreas homogéneas que se superponen a píxeles pertenecientes a la misma clase de la cobertura del suelo, identificada por sus colores la cual posteriormente se la diferencia a través del nombre de cada cobertura, la clasificación se realizó utilizando la herramienta ArcGIS 10.5

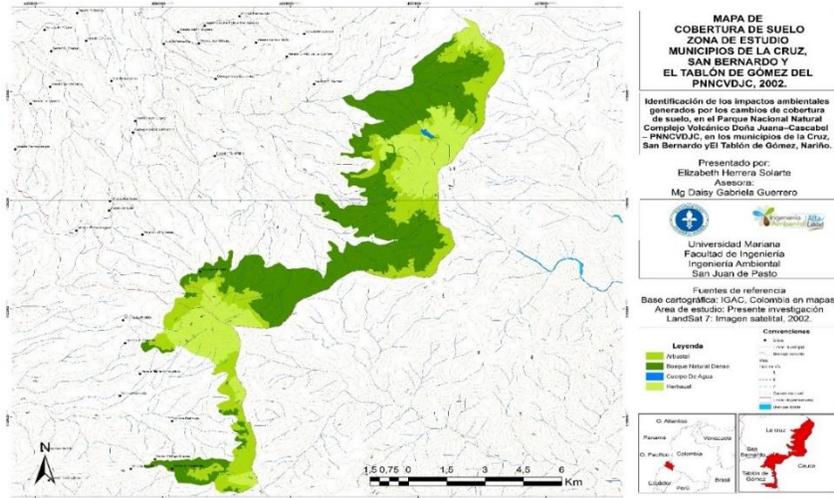
Por otra parte, se determina una leyenda la cual explica el significado de las coberturas representadas en el mapa donde depende de aspectos como altura y densidad de coberturas.

**2.1.5. Generación de los mapas de cobertura**

Una vez obtenida la clasificación supervisada de las imágenes satelitales de los 2 años de interés (2002 y 2022), se generaron los mapas de cobertura con ayuda de la metodología Corine Land Cover y la herramienta ArcGIS 10.5, como se puede observar en la Figura 9.

**Figura 9.**

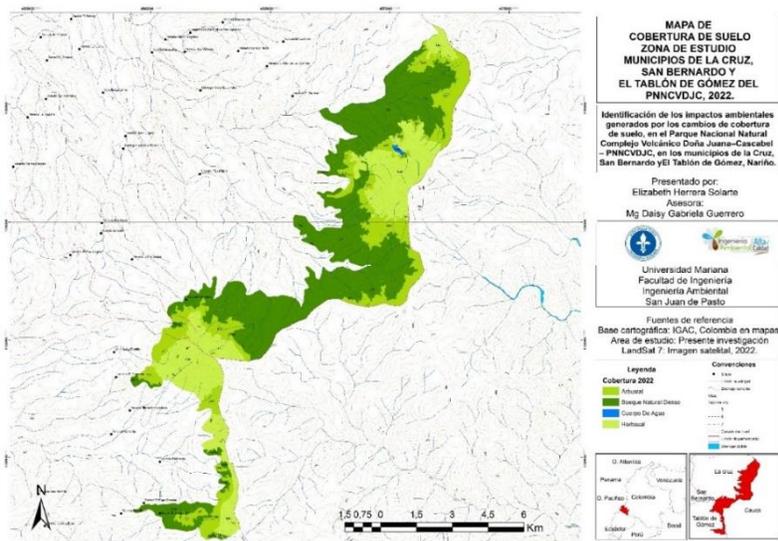
*Mapa de cobertura zona de estudio (2002)*



En la Figura 9, mapa de cobertura zona de estudio (2002), se observa una cobertura de suelo total de 6.944 ha, la cual corresponde a un porcentaje de cobertura de bosque denso natural de 52,05 %, Arbustal 24.32 %, herbazal 23, 54 % y cuerpos de agua 0, 15%.

**Figura 10**

*Mapa de cobertura zona de estudio (2022)*



En la Figura 10, Mapa de cobertura zona de estudio (2022), se observa una cobertura de suelo total de 6.944 ha, la cual corresponde a un porcentaje de cobertura de bosque denso natural de 52,15%, arbustal 21.86%, herbazal 25, 97% y cuerpos de agua 0, 15%.

### 2.1.6. Caracterización de la cobertura de suelo

La interpretación de mapas de coberturas de suelo en el PNNCVDJC, en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, se realizó mediante imágenes satelitales y la metodología Corine Land Cover en ArcGIS 10.5. Las imágenes de los satélites Landsat 7 y 8 permitieron capturar detalles específicos de la cobertura del suelo en la zona de estudio. La metodología Corine Land Cover proporcionó categorías predefinidas, como bosque natural denso, herbazal, arbustal y cuerpo de agua. ArcGIS 10.5 se utilizó para procesar estas imágenes y generar mapas de cobertura correspondientes a los años de interés, basados en la clasificación mencionada.

Se realizó una clasificación de coberturas como se especifica en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Clases de cobertura de suelo en periodo de 20 años, en hectáreas (ha)*

Niveles	Clase de cobertura	2002		2022	
		ha	%	ha	%
<b>1. Bosques y áreas seminaturales</b>	Bosque natural denso	3611.98	52.01	3611.29	52.15
	Arbustal	1688.2	24.31	1518.28	21.79
	Herbazal	1633.6	23.52	1804.22	25.99
<b>2. Aguas superficiales</b>	Cuerpo de agua	10.69	0.15	10.69	0.15
	<b>Total</b>	<b>6944.47</b>	<b>100</b>	<b>6944.47</b>	<b>100</b>

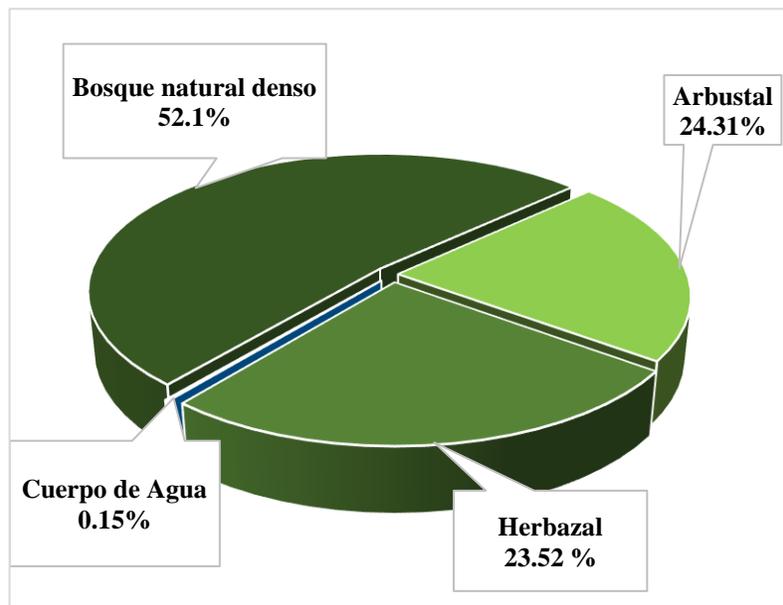
En este contexto sobre la clasificación de cobertura de suelo y mapas de cobertura, se resalta la importancia de esta metodología, ya que permite identificar y monitorear los diferentes tipos de coberturas presentes en cualquier superficie terrestre, incluyendo los Parques Nacionales Naturales de Colombia. Esto es esencial para la conservación de la biodiversidad. Al conocer la diversidad de coberturas de suelo, se pueden implementar estrategias específicas para proteger y preservar los ecosistemas y especies que dependen de esas coberturas particulares.

Además, esta metodología permite interpretar amenazas como la deforestación, la urbanización y la expansión de actividades humanas. A partir de esta evaluación, se pueden desarrollar planes efectivos de uso del suelo, determinando áreas prioritarias para la conservación, zonas adecuadas para la recreación humana y sectores donde pueden llevarse a cabo actividades controladas. También facilita el monitoreo de cambios ambientales, permitiendo el seguimiento de modificaciones en la cobertura del suelo, como los cambios en la vegetación propia de las zonas de protección (Patiño, 2016).

Para realizar un análisis más detallado se incorporan diagramas de tortas como se muestra en las Figuras 11 y 12.

### **Figura 11**

*Cobertura de suelo año 2002*



Como se observa en la Figura 11, la cobertura de suelo predominante en el área de estudio es el bosque natural denso, ubicado entre las cotas de 3100 a 3300 msnm, y se identifica por su color verde oscuro en los mapas. De acuerdo con la figura 10, los porcentajes más altos de esta cobertura se encuentran en los municipios de San Bernardo y La Cruz, lo que indica que más de la mitad del área evaluada está cubierta por este tipo de bosque. El bosque natural denso, característico del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel (PNNCVDJC), alberga una rica diversidad de especies vegetales, muchas de las cuales son endémicas y de gran valor ecológico. Entre las especies predominantes se encuentran árboles como el roble (*Quercus humboldtii*), el encenillo (*Weinmannia tomentosa*) y el arrayán (*Myrcianthes leucoxyla*). También son comunes los matorrales como la gaque (*Clusia multiflora*), y diversas epífitas, como orquídeas y bromelias, que prosperan gracias a la alta humedad y a las condiciones de luz filtrada, (Plan de Manejo 20015).

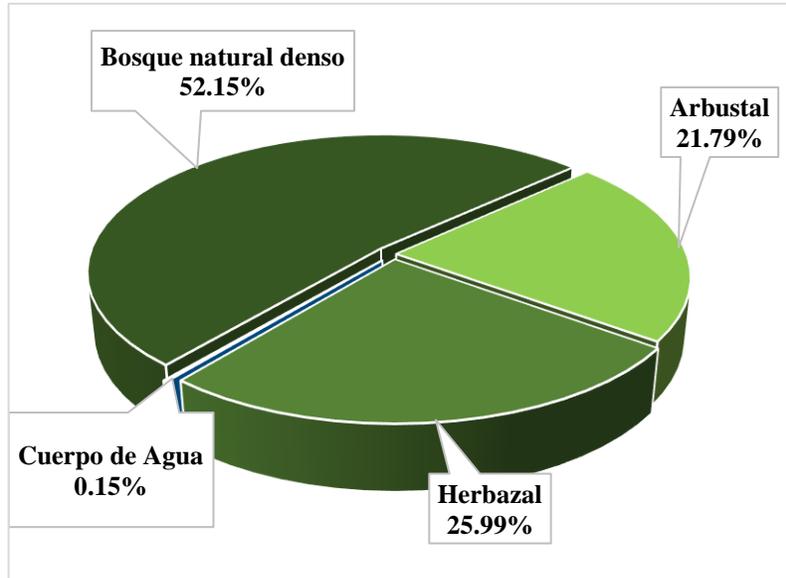
Igualmente, estos bosques presentan helechos arborescentes (*Cyathea spp.*) y una densa capa de musgos y líquenes que cubren tanto el suelo como los troncos de los árboles. Esta vegetación contribuye a mantener un microclima húmedo y fresco, esencial para la biodiversidad local (Rangel-Ch., 2004).

La clasificación de cobertura, en este caso, proporciona información sobre la composición del paisaje y la predominancia de un tipo particular de ecosistema. Este porcentaje tan alto expone que esta área en particular alberga un bosque bien desarrollado y saludable, lo que puede tener importantes implicaciones para la conservación de la biodiversidad y la función del ecosistema. (Patiño, 2016),

Asimismo, el porcentaje de cobertura herbazal y arbustal, ratifica el buen estado de la zona de estudio. En áreas de Parque Nacional, se busca promover la biodiversidad y mantener un ecosistema saludable, pero es crucial considerar la flora y fauna nativas, así como las interacciones ecológicas en la región específica.

## Figura 12

### Cobertura de suelo 2022



En la Figura 12; En el año 2022 predominó el bosque natural denso, aunque se observa un aumento, no es muy significativo a la hora de evaluarlo. En cuanto a los arbustales y herbazales predominan en los municipios de La Cruz y El Tablón de Gómez, Nariño, entre cotas 3400 y 4100, además se observa que la cobertura herbazal, tuvo un importante aumento de acuerdo al año 2002.

El análisis de los resultados obtenidos a través de la interpretación de mapas de coberturas de suelo en el PNNCVDC, revela la importancia de conocer con precisión las hectáreas de cada clase de cobertura, su localización y las clases específicas de cobertura presentes en el área de estudio. Este enfoque, permite identificar y monitorear los diferentes hábitats presentes en el PNNCVDJC, lo que es esencial para la conservación de la biodiversidad; Los hallazgos indican que la cobertura predominante en el área de estudio es el bosque natural denso, seguido de cerca por herbazales y arbustales.

Este análisis detallado de la composición del paisaje proporciona información valiosa sobre la salud y la diversidad del ecosistema en la zona evaluada, lo cual es fundamental para orientar

estrategias de conservación efectivas (Chuvieco, 2016). Además, la capacidad de evaluar amenazas como la deforestación y la urbanización, y desarrollar planes de uso del suelo adecuados, se ve facilitada por esta metodología de análisis de cobertura de suelo. El monitoreo de cambios ambientales a lo largo del tiempo también se vuelve más efectivo, lo que permite una gestión más proactiva de los recursos naturales.

## **2.2. Determinar los cambios de cobertura del PNNCVDJC, utilizando la herramienta de SIG.**

El segundo objetivo se direccionó a los cambios de cobertura de suelo generados en los periodos determinados, para la obtención de esta información se realizó un análisis comparativo entre los mapas de cobertura del suelo generados en los periodos 2002- 2022, utilizando la metodología Corine Land Cover y ArcGIS. A continuación, se describe los resultados de manera detallada.

### **2.2.1 *Procesamiento de los mapas de cambios generales de cobertura en ArcGIS.***

El procesamiento de mapas desempeña un papel fundamental al permitir la generación de estadísticas y análisis espaciales, los cuales son de gran utilidad en diversas áreas y aplicaciones. Además, proporciona una sólida base para la toma de decisiones informadas. A través de este proceso, es posible comprender patrones, tendencias y relaciones espaciales que son críticas para la formulación de estrategias efectivas (Camacho-Sanabria et al., 2015). La capacidad de analizar datos geoespaciales permite identificar cambios en el paisaje, evaluar la distribución de recursos naturales y humanos, así como también comprender la interacción entre diferentes variables ambientales. Esta comprensión profunda del entorno espacial es esencial para desarrollar enfoques integrados y sostenibles en la gestión del medio ambiente y la planificación del territorio.

Con la obtención de los mapas de cobertura de suelo generados utilizando el software ArcGIS, se llevó a cabo un proceso de intersección mediante la función de "Intersección". Este proceso consistió en combinar las dos capas de cobertura de suelo obtenidas previamente: una que representaba la cobertura del suelo para el año 2002 y otra para el año 2022. La función de intersección en ArcGIS permite superponer estas capas para identificar las áreas comunes y

comparar los cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo. Este análisis facilita la evaluación de cómo ha cambiado la cobertura del suelo y permite observar las transformaciones y tendencias en la vegetación y el uso del suelo dentro del área de estudio.

Una vez obtenida esta nueva capa con la intersección de las coberturas de suelo de ambos años, se procedió a crear una nueva columna denominada "Cambios de cobertura". Esta columna se creó para registrar el resultado de la comparación entre las coberturas de los dos años propuestos. A través de esta comparación, se pudo identificar y cuantificar los cambios específicos que ocurrieron en dichas áreas entre los años analizados.

### ***2.2.2. Aplicación de matriz de cambios***

Para analizar estos cambios de manera sistemática, se utilizó una matriz de cambios, esta matriz compara las categorías de cobertura identificadas en el objetivo anterior y muestra cómo cada tipo de cobertura ha cambiado a lo largo del tiempo. Permite visualizar y cuantificar las transiciones entre diferentes coberturas, como la conversión de bosques en áreas de herbazal o la expansión de áreas urbanizadas. (López & García, 2012). La matriz proporciona una visión clara de la dinámica de cambio en la cobertura del suelo, facilitando la interpretación de los datos y la planificación de estrategias de manejo y conservación en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel.

La matriz de cambios de cobertura se utilizó como una herramienta clave para analizar la dinámica del suelo en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel entre los años 2002 y 2022. Adaptada de un modelo preexistente, esta matriz permitió identificar los cambios entre distintas categorías de cobertura, como bosque natural denso, arbustal, herbazal y cuerpos de agua. La construcción de la matriz implicó la comparación de los mapas de cobertura de ambos años, donde las filas representan las categorías de 2002 y las columnas las de 2022. Cada celda reflejó las transformaciones ocurridas, como la "paramización", en la que áreas de arbustal se convirtió en herbazales. Esta herramienta proporcionó una visión detallada de los cambios significativos en el uso del suelo, facilitando una evaluación precisa del impacto de las actividades humanas y naturales en la región y ofreciendo medidas cruciales para la planificación de conservación y manejo (Guerrero y Ortega, 2012).

### 2.2.2.1. Matriz de cambios de cobertura

**Tabla 7**

*Matriz de cambios de cobertura.*

<b>Cobertura de suelo</b>	<b>Bosque Natural Denso</b>	<b>Arbustal</b>	<b>Herbazal</b>	<b>Cuerpos de Agua</b>	—
<i>Bosque natural denso</i>	Sin Cambios	No aplica	No aplica	No aplica	—
<i>Arbustal</i>	No aplica	Sin Cambios	Paramización	No aplica	—
<i>Herbazal</i>	No aplica	No aplica	Sin cambios	No aplica	—
<i>Cuerpos de agua</i>	No aplica	No aplica	No aplica	Sin cambios	—

En la matriz de cambios de cobertura de suelo, como se muestra en la tabla 7, se observa que las coberturas previamente identificadas se encuentran en la columna izquierda y se repiten en la fila superior. Este formato se utiliza para cruzar la información entre las diferentes clases de cobertura. A partir de este cruce, se deriva un criterio que indica si ha habido un cambio entre las clases de cobertura.

En los casos donde se detecta un cruce dentro de la misma capa de cobertura, se aplica el criterio de 'sin cambios'. Si no se observa tal cruce de datos, se designa como 'No aplica'. Finalmente, cuando se identifica un cruce entre diferentes clases de cobertura, se utiliza una metodología desarrollada específicamente para esta investigación, basada en los principios propuestos por Guerrero y Ortega (2012). Esta metodología es esencial para analizar las interacciones entre distintas coberturas dentro del contexto del estudio.

La categoría que aplica en este contexto para la presente investigación es:

**Paramización:** Hernández Camacho (1997), abordó este concepto como un fenómeno que se refiere a la aparición de áreas dentro del ámbito climático del orobioma de selva andina, donde el bosque original, que caracteriza a esta zona, es reemplazado por etapas subserales. Estas etapas

tienen una composición de plantas y una estructura que se asemejan a las que definen el orobioma páramo (Vargas Ríos, 2011, p. 230).

En relación con los factores que influyen en los procesos de paramización, se centra en los procesos naturales que afectan la cobertura de suelo, incluyendo la dinámica de crecimiento y transformación de los ecosistemas, así como el aumento significativo de las temperaturas. Es fundamental analizar cómo cambian las variables ambientales utilizando datos climáticos históricos, para estimar la velocidad de los cambios naturales en el ecosistema y determinar las acciones necesarias para comprender y gestionar estos procesos. (Sarmiento et al., 2010).

Este estudio multitemporal utilizando la teledetección en ecosistemas sensibles en Colombia se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible adoptados en septiembre de 2015. Este artículo está directamente relacionado con el objetivo 13, "Acción por el Clima", y el objetivo 15, "Vida de Ecosistemas Terrestres", contribuyendo a la creación de una línea base para gestionar de manera sostenible los ecosistemas naturales, combatir la desertificación, detener la degradación de las tierras y conservar la biodiversidad (ONU, 2022).

Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para obtener una mejor comprensión del estado actual del territorio y de los cambios naturales en la cobertura de suelo, especialmente en la transición de arbustal a páramo.

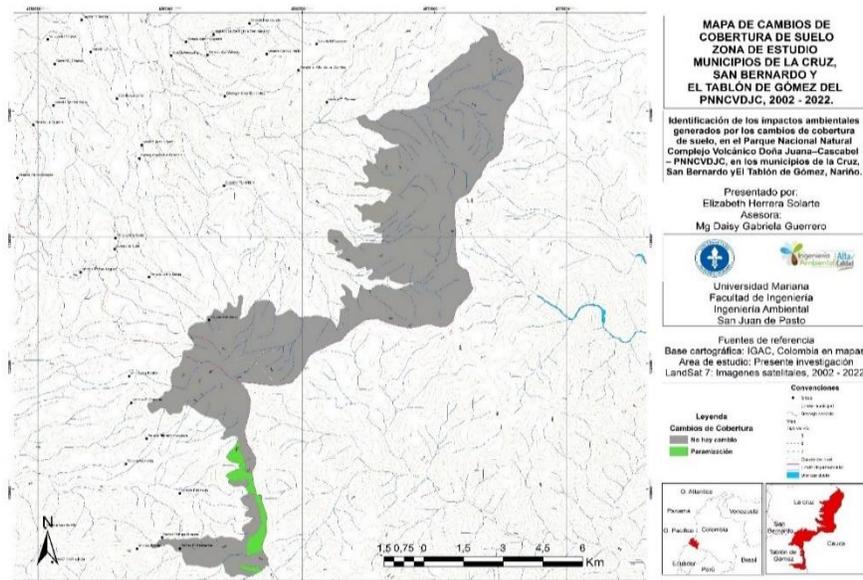
### ***2.2.3. Generación de los mapas de cambios de cobertura de suelo.***

Después de realizar el procesamiento de los mapas de cobertura de suelo en ArcGIS, es fundamental también presentar los de cambios de cobertura correspondientes a los años establecidos. Los cuales son esenciales para la toma de decisiones y su planificación, ya que ofrecen una visión detallada de cómo ha cambiado la cobertura del suelo en la zona de estudio. Además, la identificación y comprensión de estos cambios son cruciales para la gestión y conservación efectiva del área, lo que permite tomar medidas adecuadas para preservar su integridad. A continuación, se muestra la Figura 13, que ilustra el mapa de cambios de cobertura de suelo generado a partir del procesamiento realizado. Esta representación cartográfica proporciona una herramienta visual para entender las dinámicas del paisaje y facilita la

identificación de áreas de cambio significativo en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo. Utilizando esta información, se pueden desarrollar estrategias y acciones específicas para la gestión sostenible del territorio.

### Figura 13

Mapa de cambio de cobertura de suelo 2002 - 2022 PNNCVDJC

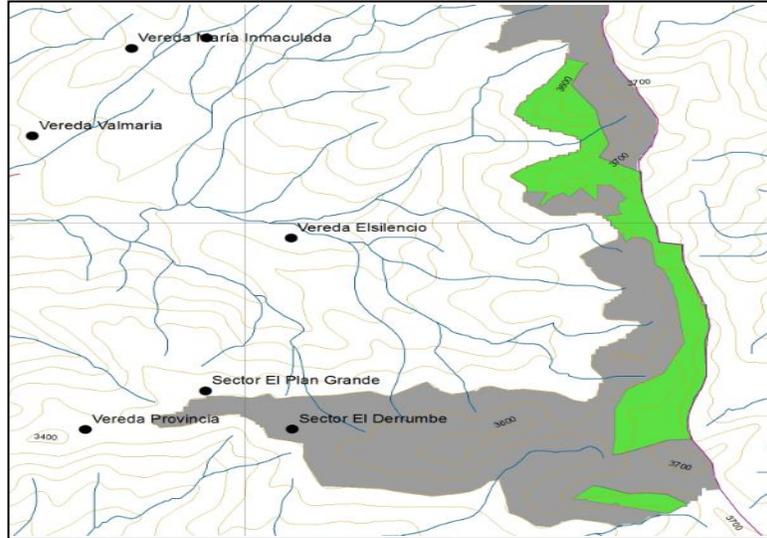


#### 2.2.4. Análisis e interpretación del segundo objetivo

En esta sección, se presentarán los resultados obtenidos mediante el análisis de los mapas de cobertura del suelo, utilizando ArcGIS. El análisis involucró la superposición y cruce de capas de información geoespacial, lo que permitió identificar los cambios en la cobertura de suelo entre los años 2002 y 2022 en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel. A partir de esta metodología, se evaluaron las áreas de mayor transformación, destacando los sectores que han experimentado procesos de paramización.

## Figura 14

*Zona cambios de cobertura de suelo.*



La Figura 14, proporciona una visión integral de los cambios en la cobertura de suelo en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel, centrándose en el municipio de El Tablón de Gómez, que limita con el departamento del Cauca. En esta área se han observado transformaciones significativas de arbustal a herbazal en sectores clave como El Plan Grande, El Derrumbe y la vereda El Silencio. Estos cambios son cruciales no solo para el ecosistema local, sino también para las comunidades aledañas, dado que estas áreas son el nacimiento del río Resina y se encuentran a altitudes entre 3600 y 3800 msnm.

La Figura 14, utiliza un esquema de colores para diferenciar las áreas afectadas: las zonas en verde indican cambios de arbustal a herbazal, mientras que las áreas en gris representan zonas estables que no han experimentado alteraciones significativas en los últimos 20 años. Este contraste subraya la efectividad de las restricciones implementadas en el PNN para mitigar actividades antrópicas, preservando áreas vitales para la biodiversidad de la zona protegida.

El análisis debe considerar que estos cambios no solo están determinados por la actividad humana, sino que también pueden ser influenciados por factores naturales como la altitud y las

condiciones climáticas específicas de la región. Por lo tanto, es fundamental explorar la relación entre la elevación y los cambios en la cobertura de suelo, lo que podría ofrecer valiosas perspectivas sobre las dinámicas ecológicas en el PNN. En conformidad con los objetivos de la investigación, se analizó el total de hectáreas que experimentaron cambios durante el periodo estipulado. Los resultados, presentados en la siguiente tabla, proporcionan una visión clara de la magnitud y localización de estos cambios, lo cual es esencial para la toma de decisiones informadas en la planificación y gestión del territorio.

**Tabla 8**

*Cambios en la cobertura de suelo años (2002 – 2022)*

<i>Cambios de cobertura de suelo</i>	<b>Años 2002 - 2022 ha</b>	<b>%</b>
<i>No hay cambios</i>	6.763	97.4
<i>Paramización</i>	181,01	2.6
<b>Total, Área</b>	<b>6.944</b>	

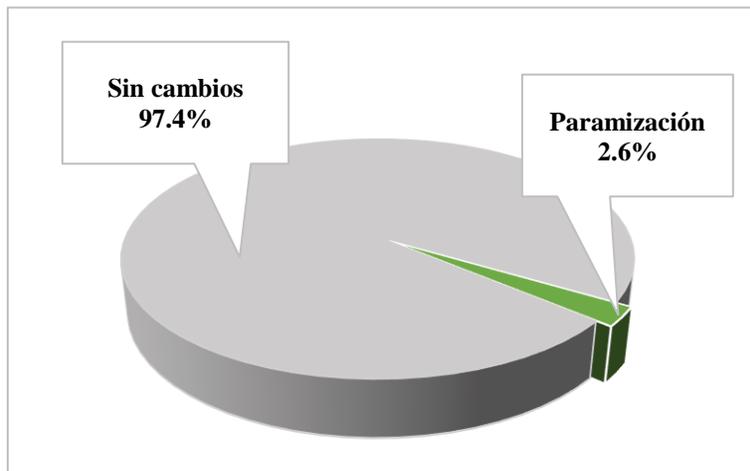
El 97.4% del área de estudio no experimentó cambios, mientras que el 2.6% fue percibido como proceso de paramización. Dada la fragilidad de los páramos, la declaración del Parque como zona protegida ha jugado un rol vital en la conservación de estos ecosistemas. En este contexto, es fundamental comprender que la protección efectiva y la gestión adecuada de estos espacios representan inversiones en la salud a largo plazo de nuestro planeta. La declaración de esta área como Parque Nacional en 2007 brindó una serie de beneficios, como la preservación de la biodiversidad y la protección de ecosistemas vulnerables. Estos logros también han permitido el control de la erosión, el mantenimiento de servicios ecosistémicos cruciales y la promoción de la investigación científica en el área. Además, la gestión sostenible fomenta la educación ambiental y fortalece la conservación a largo plazo, como se detalla en el Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel.

Uno de los aspectos clave en este estudio es el proceso de paramización, que influyo un total de 181.01 hectáreas, lo que representa el 2.6% del área analizada. Este proceso se refiere a la restauración de la biodiversidad en áreas previamente alteradas de forma natural o antrópica (UPRA, 2018). En el caso de esta investigación, se observó que esta dinámica en la zona de estudio se debe principalmente a la recuperación natural de las coberturas vegetales nativas, sin intervención humana significativa. Esta regeneración puede estar impulsada por el abandono de áreas agrícolas y el cese de prácticas de manejo por parte de las comunidades, permitiendo que los ecosistemas se reorganicen de manera autónoma (Rangel-Ch., 2004).

El análisis mediante herramientas SIG permitió mapear de manera precisa los cambios en la vegetación y topografía del terreno, fundamentales para la implementación de estrategias de conservación. Además, la participación de las comunidades locales ha sido clave en la restauración y preservación de estos ecosistemas, integrando el conocimiento tradicional con las acciones de gestión, ver figura 15.

### **Figura 15**

*Diagrama de torta, cambios de cobertura.*



Finalmente, la Figura 15, ilustra los cambios en la cobertura del suelo durante el periodo de estudio, mostrando que el 97.4% del área no ha experimentado cambios, mientras que el 2.6% ha sido afectado por procesos de paramización. Esta estabilidad en la cobertura del suelo resalta el

éxito de las medidas de conservación implementadas en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel. Para entrar en contexto, se puede visualizar la Figura 16, que muestra el estado actual de la cobertura de suelo.

### **Figura 16**

*Estado actual de cobertura de suelo*



La Figura 16, evidencia cómo la vegetación arbustiva, caracterizada por matas leñosas que no superan los dos metros de altura, da paso gradualmente a plantas más pequeñas y con hojas más blandas, propias de los herbazales. Este cambio, que se presenta en áreas ubicadas a altitudes entre 2,800 y 3,900 msnm, en las veredas María Inmaculada, y El Silencio, a límites con el Departamento del Cauca, sugiere una alteración en las condiciones ambientales, posiblemente influenciada por factores como el aumento de la temperatura y variaciones en las condiciones climáticas (Vargas Ríos, 2011).

La observación directa de estos cambios en el terreno es fundamental para comprender el alcance y la naturaleza de la paramización en el PNN. Los registros fotográficos no solo documentan este proceso, sino que también permiten realizar comparaciones visuales a lo largo del tiempo, proporcionando una base sólida para el análisis del cambio en la cobertura de suelo.

Además, estas imágenes ofrecen una evidencia tangible que refuerza los datos obtenidos a través de otras metodologías, como el análisis de imágenes satelitales y el NDVI, complementando y validando los hallazgos científicos (Gómez-Limón et al., 2019). Cabe destacar que la imagen fue capturada durante salida de campo de verificación de los cambios de cobertura encontrados en el mapa de cambio. Esto garantiza que las observaciones realizadas estén respaldadas por la experiencia y el conocimiento de expertos en la materia.

En ecosistemas sensibles como los de alta montaña, donde los procesos de cambio pueden ser sutiles y graduales, la observación directa en el terreno se vuelve aún más importante para identificar y entender estos fenómenos. Las salidas de campo y los registros fotográficos asociados son, por tanto, componentes esenciales en la investigación ambiental, proporcionando una base sólida para el análisis y la gestión sostenible de los ecosistemas, ya que permitieron la verificación y aceptación de estos cambios de coberturas en la zona de estudio,

Para proporcionar una comprensión más clara de los cambios en la cobertura del suelo, se llevó a cabo un análisis utilizando un diagrama de tortas. Esta herramienta visual permite una representación más concisa y comprensible de los cambios ocurridos durante el período de estudio establecido. De acuerdo con el mapa de cambios, que se muestra en la Figura 13, se identifica una cobertura total de suelo de 6944 hectáreas, lo que equivale al 97.4% sin cambios y al 2.6 % de paramización. Esta distribución se representa visualmente en la Figura 16. Este enfoque gráfico facilita la interpretación de los resultados y destaca la importancia de los cambios identificados en el área de estudio.

**2.2.4.1 Declaratoria de Áreas Protegidas: Impactos y Beneficios.** La designación de PNN, ha sido una estrategia clave para la conservación de la biodiversidad y la protección de ecosistemas a nivel mundial. Estas zonas juegan un papel crucial en la preservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la captación de carbono, la regulación del ciclo hídrico y la protección de suelos. A nivel global, se estima que aproximadamente el 15% de la superficie terrestre está bajo alguna forma de protección, lo que incluye parques nacionales y otras áreas protegidas. La Convención sobre Diversidad Biológica (CBD, 2020) destaca que la creación y mantenimiento de estos espacios es una de las estrategias más efectivas para combatir la pérdida de biodiversidad y mantener ecosistemas saludables que son críticos para el bienestar humano.

En el caso de Colombia, la importancia de los PNN, es aún más relevante debido a su estatus como uno de los países más biodiversos del mundo. Con más de 59 áreas protegidas bajo el Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN), que abarcan cerca del 12.6% del territorio nacional, el país ha sido pionero en la región en términos de conservación. En esta región no solo protegen la biodiversidad, sino que también cumplen un papel fundamental en la regulación de los recursos hídricos y en la protección de especies endémicas y en peligro de extinción. Roa-García (2020) señala que la creación de parques nacionales ha contribuido significativamente a la conservación de ecosistemas críticos, como los páramos, que son esenciales para la captación de agua dulce y abastecen a millones de personas en el país.

En este contexto, el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel es un ejemplo emblemático de cómo la declaratoria del área protegida puede tener un impacto positivo en la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales. Esta zona protegida, ubicado en la región andina del suroeste de Colombia, cubre una extensión de más de 65,000 hectáreas y protege una diversidad de ecosistemas que van desde los bosques de niebla hasta los páramos. Rodríguez (2017) resalta que, en esta área, la protección ha permitido mantener el 97.4% de la cobertura vegetal original, lo cual es un indicador del éxito de las políticas de conservación implementadas desde su declaración.

A nivel regional, la designación de estas áreas ha sido decisivo para evitar la expansión de actividades agrícolas y ganaderas no sostenibles, que históricamente han representado una amenaza para los ecosistemas de montaña. La región enfrentó problemas graves en las décadas pasadas, como la deforestación y la degradación causada por la propagación de cultivos ilícitos, especialmente durante los años 90. Sin embargo, con la implementación de la política de Seguridad Democrática en 2005 y la posterior creación del parque, se lograron erradicar estos cultivos y se restauró gran parte del ecosistema (Rodríguez, 2017). Esto permitió un acceso más seguro para investigadores y autoridades ambientales, quienes pudieron implementar medidas de manejo más efectivas para la conservación del área.

En este sentido, la paramización del 2.6%, encontrada en el área del PNN, especialmente en sectores El Plan Grande y la Vereda El Silencio del municipio de El Tablón de Gómez, evidencia cambios en la cobertura de suelo que, aunque naturales, reflejan la dinámica propia de ecosistemas montañosos. Estas transformaciones, de arbustal a herbazal, son un recordatorio de que los ecosistemas están en constante cambio, y su estudio es esencial para entender mejor los impactos del cambio climático y las variaciones ecológicas a largo plazo. Este proceso, aunque localizado, no ha afectado significativamente la biodiversidad ni ha generado una pérdida sustancial de cobertura, lo que refuerza la idea de que las estrategias de conservación están funcionando de manera efectiva (Pérez & Salcedo, 2018).

Finalmente, en el caso del Parque Doña Juana-Cascabel, las comunidades rurales cercanas, como las de municipio de El Tablón de Gómez, han experimentado un cambio positivo en su relación con el entorno. Si bien antes dependían en gran medida de actividades extractivas y agrícolas que degradaban el medio ambiente, ahora han encontrado nuevas oportunidades económicas en el ecoturismo y en proyectos de conservación participativa. Pérez & Salcedo (2018) destacan que la inclusión de las comunidades en los proyectos de conservación ha sido un factor clave para garantizar la sostenibilidad del parque, asegurando que los beneficios de la conservación se repartan equitativamente entre los habitantes locales.

Llevando a cabo el desarrollo de esta investigación y teniendo en cuenta la articulación del plan de manejo ambiental del PNNCVDJC y Corponariño se identificaron las siguientes iniciativas de conservación en el área de estudio.

- **Reforestación con especies nativas:** Se han implementado programas de reforestación en áreas degradadas o afectadas por actividades humanas. Esto implica la plantación de especies nativas adaptadas a las condiciones climáticas y del suelo de la zona alta del complejo, con el objetivo de restablecer la cobertura vegetal y fomentar la recuperación de los ecosistemas.
- **Control de especies invasoras:** Se han desarrollado estrategias para controlar y manejar especies de plantas invasoras que compiten con la vegetación nativa y pueden obstaculizar la regeneración natural de los ecosistemas. Esto incluye métodos de control biológico, el manejo integrado de plagas y el monitoreo regular para detectar y controlar la propagación de especies invasoras.
- **Restauración de hábitats acuáticos:** Se han llevado a cabo acciones para restaurar y proteger los hábitats acuáticos presentes en la zona alta del complejo, como ríos, arroyos y lagunas. Esto implica la revegetación de las márgenes de los cuerpos de agua y la implementación de prácticas de manejo sostenible del agua.
- **Monitoreo y seguimiento ambiental:** Se han establecido programas de monitoreo ambiental para evaluar el estado de los ecosistemas en la zona alta del complejo volcánico y el impacto de las acciones de restauración y manejo. Esto proporciona información importante para ajustar las estrategias de manejo y garantizar la efectividad a largo plazo de estas medidas.

Por lo tanto, estas iniciativas emergen como herramientas esenciales en la gestión de los Parques Nacionales Naturales, desempeñando un papel crucial en la conservación de la biodiversidad, la restauración de la salud de los ecosistemas y la promoción de la sostenibilidad a largo plazo de estos espacios naturales protegidos. Enfocarse especialmente en la cobertura del suelo asegura la preservación de un componente fundamental del ecosistema y de sus funciones asociadas, lo que fortalece la resiliencia de estos hábitats ante las presiones ambientales y humanas. Este enfoque integral refleja un compromiso con la conservación ambiental y el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

### **2.3. Establecer los impactos ambientales en las zonas que registran cambio de cobertura de suelo.**

Para alcanzar el objetivo tres, se llevó a cabo un análisis detallado de encuestas realizadas en las áreas donde se identificaron los cambios más significativos. Estas zonas fueron establecidas utilizando mapas detallados de cambios de cobertura, los cuales proporcionaron una base sólida para la selección de las áreas de estudio. Las encuestas se realizaron con actores clave de las comunidades locales, quienes ofrecieron información valiosa y específica sobre las alteraciones observadas en su entorno. Estos actores, con su conocimiento y experiencia en el área, aportaron perspectivas cruciales que complementaron los datos obtenidos mediante la teledetección.

#### ***2.3.1. Aplicación de encuestas donde se identificaron los impactos ambientales más significativos.***

Se realizaron encuestas estructuradas para recopilar datos sobre las percepciones de la comunidad respecto a los cambios ambientales y su impacto en las actividades cotidianas. Al comparar los resultados de las encuestas con los datos derivados de los mapas de cambios de cobertura, se logró una comprensión más profunda de los fenómenos que han propiciado estas alteraciones. Este enfoque permitió identificar patrones y tendencias en la transformación del paisaje, así como las posibles causas subyacentes, tales como variaciones climáticas, cambios en el uso del suelo y dinámicas ecológicas naturales. En última instancia, este análisis conjunto proporcionó una visión integral de los impactos ambientales asociados con los cambios en la cobertura de suelo en la zona de estudio.

Dicho lo anterior, Se aplicaron 35 encuestas (ver anexos 1 y 2), a la población de la zona de estudio para evaluar cómo las actividades humanas han influido en los cambios en la cobertura de suelo. Estas encuestas fueron diseñadas para obtener una comprensión detallada de las percepciones locales sobre las transformaciones en el paisaje y las posibles causas subyacentes. Se indagó sobre el impacto de algún evento natural o antrópico significativo durante el periodo de tiempo 2002 – 2022 y que clase de cambios de cobertura de suelo ha percibido.

Conjuntamente, se investigó el papel que ha desempeñado Parques Nacionales Naturales en la gestión y protección del área, así como la importancia de la declaración del área como protegida. Los resultados proporcionaron una visión general de cómo las medidas de protección y gestión del área han contribuido a la conservación de la biodiversidad y al mantenimiento de la integridad ecológica en el contexto de las actividades humanas y los cambios ambientales observados.

### **Figura 17**

*Población residente en zonas con registro de cambios de cobertura*



En la Figura 17, se observa a los habitantes de la zona periférica del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC), en el municipio de El Tablón de Gómez, participando en la encuesta diseñada para esta investigación. Un alto porcentaje de los encuestados se dedica a la agricultura y la cría de truchas, las actividades económicas predominan en la región. Entre los participantes destacan un trabajador de la estación del IDEAM y un docente de la vereda El Silencio del municipio de El Tablón de Gómez, quienes, gracias a sus roles en la comunidad, aportan una perspectiva técnica y educativa relevante. La combinación de experiencia profesional y los más de 20 años de residencia de los encuestados en la región, ofrece

un contexto enriquecido que facilita la comprensión de los cambios en la cobertura de suelo. Estos actores clave no solo aportan información sobre los aspectos ambientales, sino también sobre los factores socioeconómicos que influyen en las dinámicas de transformación del territorio, proporcionando así un análisis más profundo y detallado para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación.

Dicho lo anterior, el cuestionario aplicado tanto a los funcionarios como a los habitantes del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC), se centró en recopilar información clave sobre la percepción y el conocimiento que tienen estas dos partes sobre su estado, el manejo de los recursos naturales y las problemáticas ambientales locales.

Para los habitantes, las preguntas se enfocaron en aspectos como el uso del suelo, la disponibilidad de agua, tipo de la flora y fauna local, y el impacto de las actividades humanas en el entorno. Las preguntas también indagaron sobre la percepción de la declaratoria de la zona como Parque Nacional Natural, eventos significativos en la zona en cuanto a cambios de cobertura de suelo en los últimos 20 años, medidas de conservación, interacción funcionarios habitantes, beneficios afectaciones de su declaratoria entre otras.

En el caso de los funcionarios, el cuestionario fue diseñado para obtener una perspectiva más técnica sobre la gestión de los recursos naturales, el monitoreo de la fauna la implementación de medidas de conservación y los desafíos que enfrentan para garantizar la protección del área. Se abordaron también temas como la relación entre la comunidad y el parque, el manejo de conflictos y las estrategias para mantener los corredores biológicos y la cobertura vegetal.

El objetivo de estas encuestas fue identificar las preocupaciones y sugerencias de ambas partes para mejorar la conservación y manejo del PNNCVDJC. Sus resultados permitieron realizar un análisis comparativo de las visiones de las comunidades locales y las instituciones, resaltando puntos de convergencia y divergencia. Además, fueron insumos para establecer los componentes ambientales más destacados de esta manera realizar la identificación de los aspectos e impactos ambientales en el área protegida.

### **2.3.2. Análisis de encuestas a habitantes del PNN.**

Para llevar a cabo este análisis, se aplicó una metodología que combina enfoques cualitativos y cuantitativos, con el objetivo de analizar las percepciones de las comunidades rurales del municipio de El Tablón de Gómez, específicamente en las veredas María Inmaculada y El Silencio; Y sectores como La Lava, El Humedal y El Salado, donde se evidenciaron los cambios de cobertura de suelo del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC). El diseño de la investigación consideró el uso de encuestas como principal instrumento de recolección de datos, las cuales fueron aplicadas a 35 residentes de estas comunidades como muestra, capturando información clave sobre sus experiencias y opiniones sobre el parque y el medio ambiente.

En primera instancia, se procedió con la recolección de los datos mediante la aplicación de encuestas compuestas por 10 preguntas, las cuales se adjunta en anexo 1. Estas se estructuraron para incluir tanto preguntas cerradas, que permitieran un análisis estadístico directo, como preguntas abiertas que captaran respuestas más detalladas y cualitativas. Las respuestas obtenidas fueron organizadas en una hoja de cálculo, facilitando su análisis posterior mediante herramientas como Excel y el modelo de procesamiento de datos Python. Este enfoque garantizó un manejo eficiente de los datos y permitió la integración de diferentes técnicas de análisis. La precisión en el manejo de los datos fue crucial para garantizar la validez de los resultados obtenidos (Álvarez & Muñoz, 2020).

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de frecuencia sobre las preguntas cerradas, para identificar patrones y tendencias relevantes en las respuestas de los encuestados. Este análisis cuantitativo ayudó a revelar aspectos clave, como el conocimiento general sobre la existencia del parque y la percepción de los residentes sobre las políticas de conservación implementadas en la zona. A través de técnicas, se examinaron las respuestas para detectar patrones que revelaran preocupaciones comunes entre los participantes. Las palabras más repetidas, como "conservación", "aire limpio", "talleres", "agua", "reforestación", "educación ambiental" y "vegetación", destacaron como términos clave, reflejando una preocupación por la calidad del medio ambiente y el impacto positivo del parque en la región. Utilizando Python, se generaron

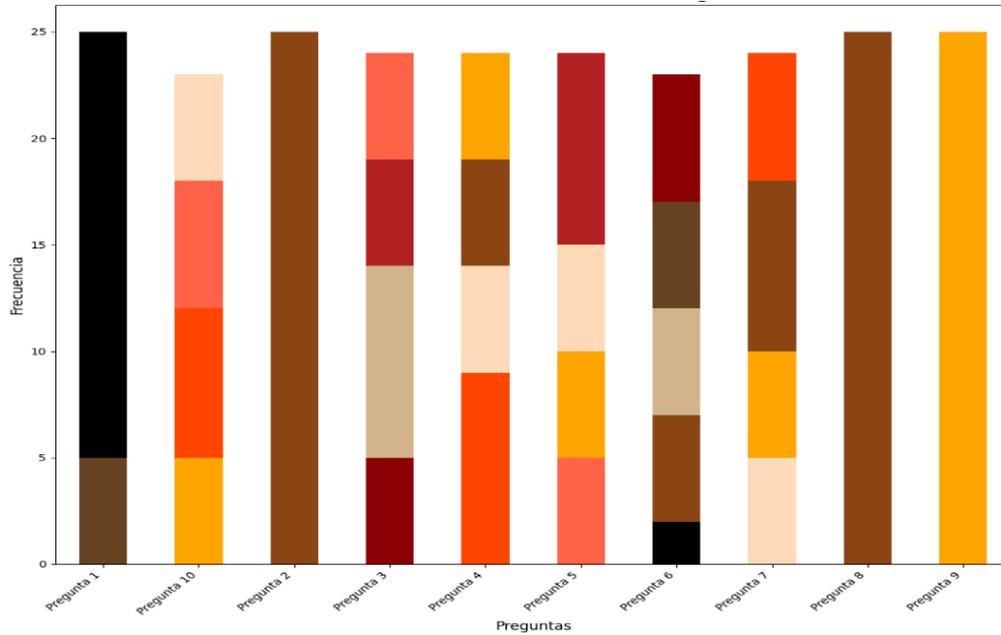
tablas de frecuencia y gráficos, permitiendo una visualización clara de los resultados, lo que facilitó su interpretación. Este paso fue fundamental para establecer las bases del análisis posterior, al ofrecer una primera visión sobre la percepción comunitaria de la protección ambiental en la región.

**2.3.2.1. Código en Python ejecutado en Google colaboraty.** Google Colaboraty es una herramienta que facilita la implementación del modelo del procesamiento de los datos generando resultados que permitan la interpretación cuantitativa como cualitativa; los resultados son presentados mediante gráficos que permite realizar análisis eficientes y visualizaciones claras a partir de los datos recolectados, Anexo 3. En este caso, ha permitido identificar las palabras más frecuentes en las respuestas obtenidas en las encuestas aplicadas, reflejando los temas predominantes en las percepciones de los encuestados sobre los cambios en la cobertura de suelo y los impactos ambientales en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel.

Asimismo, se muestra una gráfica generada, en la que se destacan las palabras más recurrentes, como "cambio", "cobertura", "suelo", y "paramización", entre otras. Esta visualización no solo permite identificar los conceptos más importantes mencionados por los encuestados, sino también realizar un análisis cualitativo más profundo, relacionando las palabras clave con los factores ambientales y sociales presentes en el estudio. Además, este tipo de gráfico refuerza el análisis cualitativo al facilitar una comprensión más clara de las tendencias observadas en las respuestas. Al interpretar estos resultados, es posible vincular los conceptos más frecuentes con las áreas geográficas y los cambios en la cobertura documentados, proporcionando una perspectiva más holística sobre el impacto ambiental en el PNN. Esto complementa y valida los datos satelitales y otros indicadores utilizados para el análisis.

**Figura 18**

*Análisis de frecuencia de palabras*



<b>ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PALABRAS - RESPUESTAS.</b>			
	15 - 20 años		Mejor conservación de recursos
	Ambiente más saludable		Mejor calidad del aire
	Aumentar vigilancia y educación		Mejoras en el aire y deforestación
	Bueno para animales y plantas		Más actividades e incentivos
	Cambios positivos en la biodiversidad		Mas talleres y apoyo
	Charlas sobre conservación		Preserva biodiversidad y reduce deforestación
	Cuidado del parque		Programas de incentivos
	Importancia de participación		Protege el agua y el bosque
	Interés en asistir		Protege la zona y medio ambiente
	Interés en cuidar la tierra		Protege árboles y agua
	Interés en la naturaleza		Sí
	La protección del área es esencial		Talleres educativos
	Mayoría a participado		Talleres sobre manejo sostenible
	Mejor calidad del agua y el suelo		Toda la vida

La Figura 18, presenta la frecuencia de palabras clave relacionadas con las respuestas obtenidas en las encuestas realizadas a los habitantes de la zona rural del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC). Los diferentes colores en las barras de la gráfica representan las palabras que están en la y tabla, lo que facilita la identificación de los temas predominantes en cada pregunta. Este análisis visual permite una comprensión rápida de cómo los encuestados perciben los cambios y beneficios asociados a la declaratoria del parque. Las barras más altas indican una mayor frecuencia de ciertos temas, como la protección del agua, la biodiversidad, la calidad del aire y suelo, y la participación comunitaria. De esta forma, se puede observar claramente qué aspectos son más valorados por la comunidad y cuáles podrían requerir mayor atención en futuras gestiones.

La representación gráfica de los resultados permitirá interpretar de manera eficiente cómo las respuestas varían entre las preguntas, destacando los temas más relevantes en cada caso. Esto es esencial para la toma de decisiones sobre el manejo del PNN, y para orientar las acciones de conservación, educación y participación comunitaria, al priorizar los temas que la población considera más importantes.

El análisis de las encuestas sobre la percepción comunitaria del impacto de la declaratoria del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC) permite identificar patrones significativos en cuanto a la relación de los habitantes con el entorno, los beneficios ambientales percibidos y su nivel de participación en actividades de conservación. Para un abordaje más coherente, se han reagrupado las preguntas 1 y 2; 3, 4, 8 y 9; y 5, 6, 7 y 10, según la temática y pertinencia de las respuestas para este ítem se definieron colores de la siguiente manera: preguntas 1 y 2: colore café y negro; preguntas 3,4, 8, y 9 colores marrones, amarillo y café claro; para las preguntas 5, 6 7 y 10 rosa, rojo y naranja.

**Residencia y conocimiento sobre el PNNCVDJC:** (preguntas 1 y 2). En primer lugar, es fundamental destacar que la mayoría de los encuestados ha residido toda su vida en las zonas rurales del parque. Este aspecto no solo les otorga un conocimiento profundo del entorno, sino que también posiciona a los residentes como observadores claves de los cambios a largo plazo en la cobertura del suelo. El tiempo prolongado de residencia contribuye a una visión detallada sobre

la evolución del paisaje, permitiendo a los habitantes identificar transformaciones que de otro modo pasarían desapercibidas. A este factor se suma un alto grado de conocimiento sobre la existencia y el propósito del parque, lo que sugiere que las campañas educativas y de difusión han sido exitosas. Este nivel de concienciación es crucial para la efectividad de las políticas de conservación, pues las comunidades informadas son más propensas a colaborar en las iniciativas de protección ambiental (Kareiva et al., 2011).

**Beneficios ambientales y cambio en la cobertura del suelo:** (preguntas 3, 4, 8 y 9). Las preguntas relacionadas con los beneficios de la declaratoria, la calidad ambiental y los cambios en la cobertura de suelo ofrecen una visión integral sobre el impacto ambiental positivo percibido por las comunidades locales. Los encuestados han señalado mejoras notables en la calidad del suelo y el agua desde la creación del PNN, lo que se alinea con estudios que confirman que la protección de áreas naturales favorece la regeneración de ecosistemas y la estabilidad de los recursos hídricos (Postel & Thompson, 2005). De manera más específica, se observan cambios en la cobertura vegetal, con una recuperación progresiva de áreas que previamente estaban afectadas por actividades antrópicas como la tala, la agricultura intensiva y la expansión de cultivos ilícitos. La reducción de estas actividades ha permitido la regeneración natural del ecosistema, favoreciendo la biodiversidad y la calidad del hábitat, tal como lo documentan estudios recientes sobre la eficacia de las áreas protegidas (Sánchez y Rojas, 2017). Así, los encuestados perciben una mejora en la estructura del suelo, la estabilidad de los recursos hídricos y un aumento en la diversidad biológica, lo que refuerza la importancia de las políticas de conservación implementadas en la zona.

**Participación comunitaria y medidas de conservación:** (preguntas 5, 6, 7 y 10). Un aspecto clave que emerge del análisis es el alto nivel de participación comunitaria en iniciativas de conservación, lo cual se manifiesta en actividades como talleres, mingas y capacitaciones. Esta involucración activa de los habitantes refleja una comprensión y compromiso con la protección del PNN, que es fundamental para el éxito de cualquier política de manejo de áreas protegidas (Castillo & Delgado, 2018). Las iniciativas de educación ambiental han desempeñado un papel crucial en este proceso, ya que han empoderado a las comunidades locales con el conocimiento necesario para participar de manera efectiva en la conservación del PNN. Estas actividades han

permitido no solo una mayor conciencia sobre la importancia de preservar la biodiversidad, sino también el desarrollo de capacidades técnicas para realizar acciones de restauración y control de impactos antrópicos.

Además, los encuestados han propuesto medidas concretas de conservación, como la reforestación y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. Estas sugerencias reflejan un interés por implementar enfoques basados en la naturaleza que busquen un equilibrio entre la conservación del medio ambiente y las necesidades económicas de las comunidades. La promoción de prácticas agrícolas sostenibles, en particular, es vista como una oportunidad para reducir la degradación del suelo y la deforestación, al tiempo que se asegura el sustento de las familias rurales (FAO, 2021). En síntesis, el análisis general revela que la declaratoria del PNNCVDJC ha tenido un impacto significativo y positivo tanto en el entorno natural como en la comunidad local. A través de la integración de políticas de conservación, reforestación y educación ambiental, se ha logrado no solo mejorar la cobertura del suelo y la calidad del agua, sino también aumentar la participación activa de los habitantes en las actividades de protección de la zona protegida.

La regeneración de la cobertura vegetal y la mejora en la calidad del suelo, mencionadas en estos estudios, se relacionan con la restricción de actividades antrópicas dentro de las áreas protegidas, lo cual favorece la restauración de los ecosistemas. Este fenómeno también es corroborado por los encuestados, quienes reconocen el papel positivo del PNNCVDJC en la preservación de la biodiversidad y los recursos hídricos. La alta frecuencia de palabras clave como protección del agua, biodiversidad y calidad del suelo, en las respuestas sugiere una comprensión comunitaria del valor de las políticas de conservación y su impacto en la calidad de vida local.

### ***2.3.3. Análisis de encuestas a funcionarios de PNN de los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez.***

Las encuestas dirigidas a los funcionarios del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel, se enfocaron en obtener información clave sobre su experiencia laboral en el parque, las acciones de manejo y conservación de la cobertura del suelo, así como las

estrategias de sensibilización hacia la comunidad local. Se indagó sobre los beneficios tangibles de estas medidas para las comunidades, la integración de políticas ambientales nacionales y las herramientas empleadas para el monitoreo de la cobertura del suelo. También se exploraron los cambios observados en la cobertura y las medidas de restauración implementadas en las áreas más vulnerables del parque. Las preguntas completas se encuentran adjuntadas en el anexo 2.

## Tabla 9

### *Análisis de frecuencia de palabras*

<b>FRECUENCIA DE PALABRAS CLAVES POR PREGUNTA</b>	
Años de experiencia como funcionario: entre 5 y 10 años	—
Proceso de manejo y conservación: monitoreo y control, imágenes satelitales, verificación, presión antrópica, restauración, zonas aledañas.	—
Acciones implementadas en la zona protegida y participación de la comunidad: educación ambiental, programas radiales, talleres, monitoreo, ArcGIS.	—
Cobertura de suelo para mitigación de cambio climático, servicios ecosistémicos críticos: Paramos, bosque alto andino, captura de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), recarga hídrica.	—
Beneficios tangibles mediante flora, fauna y vegetación: recurso hídrico, investigación, regulación climática, purificación del aire, limpieza de La Laguna El Silencio.	—
Gestión ambiental del Parque Nacional en cuanto a cobertura de suelo: No vocación turística, sendero para investigación, salidas guiadas, conectividad, protección, valores paisajísticos.	—
Estrategias de monitoreo control, coordinación interdisciplinaria: Imágenes satelitales, coordinación, monitoreo oso andino, oso- gente, disponibilidad de los funcionarios.	—
Integración de la gestión, conflicto de intereses: Recuperación zonas aledañas, conservación, Corponariño, CRC.	—
Monitoreo y evaluación de cobertura de suelo, fiabilidad de datos: imágenes satelitales, planet scop, vigilancia en campo, no herramientas, verificación en campo.	—
Importancia de cobertura de suelo, interacción cobertura con fauna, flora, procesos	—

---

hidrológicos: Suelos volcánicos, manto orgánico, comida mamíferos, equilibrio, recarga hídrica.

---

Cambio de cobertura observado, posibles causas: Verano prolongado, lluvias, — deslizamientos, remoción en masa.

---

Áreas de mayor vulnerabilidad: zonas aledañas, Restauración, regeneración, zonas de fácil acceso, no cambios antrópicos negativos.

---

Este análisis revela varios puntos importantes sobre la percepción y el enfoque de las actividades de conservación en la zona protegida. A continuación, se presenta un análisis de los componentes claves de acuerdo a la frecuencia de palabras más relevantes por cada pregunta, las cuáles se asocian según su pertinencia con el tema:

**Conservación de la cobertura del suelo y mitigación del cambio climático:** (preguntas 4 y 10). La conservación de la cobertura del suelo en el PNNCVDJC es crucial para la mitigación del cambio climático, ya que ayuda a capturar y almacenar carbono en los ecosistemas de alta montaña, especialmente en áreas de páramo y bosques andinos (IDEAM, 2015). Estos ecosistemas son fundamentales para la regulación del clima global y regional, evitando la liberación de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y promoviendo la estabilidad climática. Además, la conservación del suelo evita la erosión y la pérdida de biodiversidad, favoreciendo la retención de agua en los suelos, lo que mejora la resiliencia del ecosistema frente a eventos extremos como sequías y lluvias intensas (Rodríguez et al., 2018). La interacción de la cobertura del suelo con la flora y fauna es vital para la biodiversidad del PNN. Los arbustales y herbazales no solo actúan como hábitats para especies endémicas, sino que también regulan los flujos de agua, apoyando procesos hidrológicos cruciales para la supervivencia de la fauna local y para la disponibilidad de agua en las zonas aledañas (Cárdenas et al., 2017).

**Beneficios socioeconómicos para las comunidades locales:** (preguntas 5 y 8). Los esfuerzos de conservación en el PNNCVDJC, han permitido asegurar servicios ecosistémicos clave, como la regulación del ciclo hidrológico, beneficiando directamente a las comunidades locales. Estas acciones han sido fundamentales para garantizar el suministro de agua potable y para actividades agrícolas en zonas rurales como El Tablón de Gómez y La Cruz (MADS, 2017). La vegetación

nativa actúa como regulador natural de los caudales hídricos, asegurando la calidad y cantidad del agua que llega a las comunidades. Además, las políticas de conservación y restauración han permitido que las comunidades participen activamente en proyectos de reforestación, mejorando el bienestar socioeconómico y creando nuevas oportunidades a través del ecoturismo (PNN, 2021).

La integración de políticas ambientales nacionales, como la Ley 99 de 1993, ha facilitado la implementación de estrategias de conservación y restauración en el parque. A nivel regional, los POT y los PMA, han promovido una gestión más eficiente de los recursos naturales, lo que ha resultado en un fortalecimiento de la gobernanza ambiental y en la participación activa de las comunidades locales en la protección de la biodiversidad (Parra, 2019).

**Monitoreo y restauración: Herramientas tecnológicas y participación comunitaria:** (preguntas 6 y 7). Uno de los objetivos prioritarios del PNN, es mantener la cobertura vegetal intacta, ya que es crucial para la regulación hídrica y la estabilidad del ecosistema en general. La zona protegida, ha implementado programas de restauración ecológica, enfocados en la regeneración de áreas afectadas por la erosión, a través de la reforestación con especies nativas, como el frailejón (*Espeletia* spp.) y el roble (*Quercus humboldtii*) (Cárdenas et al., 2017). Estas acciones están alineadas con los esfuerzos nacionales de conservación de los ecosistemas de páramo y alta montaña, los cuales se consideran estratégicos para la captación de agua y la reducción de la vulnerabilidad frente al cambio climático (IDEAM, 2018).

Para el monitoreo de los cambios en la cobertura del suelo, el PNN ha adoptado herramientas tecnológicas avanzadas, como la teledetección y el uso de drones para la obtención de imágenes de alta resolución. Estas herramientas permiten un seguimiento detallado de las áreas críticas y la evaluación de la efectividad de las medidas de restauración (MADS, 2017). Además, la participación comunitaria ha sido clave en la implementación de proyectos de restauración, lo que ha fomentado una mayor corresponsabilidad en la protección de los recursos naturales (Rodríguez et al., 2018). Además, los funcionarios realizan sus recorridos para verificación en campo alguna anomalía sugerida por imágenes satelitales.

**Desafíos y oportunidades en la gestión del PNN:** (preguntas 9 y 12). Áreas como las cercanías al Derrumbe y El Plan Grande del municipio de El Tablón de Gómez, han sido identificadas como especialmente vulnerables a la erosión y a la pérdida de cobertura vegetal debido a su topografía y su cercanía a sectores con presión antrópica. Para mitigar estos riesgos, se han implementado estrategias de restauración ecológica que incluyen la reforestación con especies nativas y la construcción de barreras naturales que estabilizan los suelos y previenen deslizamientos (IDEAM, 2018). La reforestación en estas zonas ha mostrado resultados positivos en términos de recuperación de la cobertura y la biodiversidad (Cárdenas et al., 2017).

El uso de herramientas como los SIG y la teledetección ha sido esencial en la evaluación y monitoreo continuo de los cambios en la cobertura del suelo. Estas tecnologías permiten identificar tendencias a largo plazo y evaluar la efectividad de las intervenciones de restauración, facilitando la toma de decisiones basada en datos (Rodríguez et al., 2018).

**Experiencia y gestión del PNN:** (preguntas 1 y 2). La experiencia acumulada de los funcionarios del PNN, ha sido esencial para implementar estrategias de manejo adaptativo que respondan a las necesidades cambiantes del ecosistema. El conocimiento local ha permitido identificar áreas prioritarias para la restauración y ejecutar planes de manejo que han resultado en una mejora significativa de la cobertura del suelo (PNN, 2021). La gestión eficiente de las coberturas naturales ha permitido la conservación de especies emblemáticas del parque y ha contribuido a la resiliencia del ecosistema frente al cambio climático (MADS, 2017).

El manejo de las coberturas naturales ha sido un proceso integral que incluye la zonificación ecológica, la limitación de actividades antrópicas en áreas clave y la promoción de prácticas sostenibles en las comunidades aledañas. Estas medidas han sido fundamentales para garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales en el parque y la preservación de su biodiversidad (Parra, 2019).

En conclusión, el análisis de las encuestas muestra que las actividades de conservación en el PNNCVDJC, se enfocan principalmente en el monitoreo, la restauración y la protección de la cobertura del suelo, con un alto uso de tecnologías remotas y la colaboración entre instituciones. Los esfuerzos conjuntos han permitido un manejo más eficiente de los recursos, contribuyendo a

la preservación del Parque Natural y su biodiversidad. La identificación de áreas vulnerables y los cambios en la cobertura del suelo siguen siendo los principales desafíos a enfrentar, lo que requiere un monitoreo constante y la implementación de medidas preventivas efectivas. Las percepciones de los funcionarios destacan la importancia de las políticas de conservación implementadas, así como la participación activa de la comunidad y las instituciones en la protección de este valioso ecosistema.

#### ***2.3.4. Implementación de matriz de identificación de los impactos ambientales.***

La implementación de la matriz de evaluación e identificación de impactos ambientales, basada en la metodología de Conesa V. (2006), resultó clave para analizar los efectos de las actividades humanas y las políticas de conservación en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC). Este enfoque permitió clasificar de manera ordenada los impactos en función de su magnitud y relevancia, proporcionando una visión clara tanto de los efectos positivos como de los negativos sobre el medio ambiente. Así, se facilitó la planificación y la toma de decisiones en cuanto a la gestión ambiental (Gómez, 2018).

El proceso metodológico seguido en la aplicación de esta matriz comprendió varios pasos esenciales. En primer lugar, se definió el contexto del estudio, donde se identificaron las acciones a evaluar y los factores ambientales que podrían verse afectados. En este caso, el análisis se centró en las actividades de conservación implementadas en el PNNCVDJC, tales como la reforestación, la educación ambiental y otras intervenciones orientadas a la protección del ecosistema. Para enriquecer este análisis, se consideraron tanto las encuestas realizadas a funcionarios del parque y a los habitantes locales, como las visitas de campo, las cuales brindaron una perspectiva integral y datos específicos sobre la situación en terreno. Aunque, esta investigación se fundamenta en la identificación de impactos debido a cambio de cobertura de suelo, esta matriz permite realizar un análisis de otros componentes que permiten realizar un mejor estudio en la interacción de la comunidad con el PNN, y sus efectos ya sean positivos o negativos en el área de estudio.

**2.3.4.1. Identificación de impactos ambientales.** A continuación, se procedió a identificar los impactos sobre factores clave como la cobertura del suelo, la calidad del aire, la biodiversidad y otros aspectos encontrados en el análisis de las encuestas a actores directos en la zona, como son a habitantes y funcionarios del área protegida. Estos impactos fueron evaluados en función de varios criterios: la magnitud del impacto, que mide la intensidad de los cambios observados o proyectados en el ambiente, desde muy leves hasta críticos; la duración, que determina si los impactos son temporales, permanentes o de largo plazo; la reversibilidad, que analiza si dichos impactos pueden ser mitigados o revertidos a través de acciones de restauración, o si son irreversibles; y, finalmente, la importancia, que estima la relevancia de cada impacto según su magnitud y las características del área protegida. Además, uno de los criterios que cobra relevancia es si el impacto es positivo o negativo puesto que esta investigación se enfoca en este ítem de manera más amplia.

Por otro lado, para el ajuste de esta matriz se tuvo en cuenta el análisis de encuestas tanto de los habitantes de zona aledaña del área protegida, como también a funcionarios del mismo; esta fusión de conocimientos tradicionales y técnicos permitieron encontrar el medio, componente, aspecto e impacto con mayor facilidad ya que son ellos quienes conocen de primera mano el funcionamiento ambiental del Parque Nacional. Además, su convivencia y estadía permanente en la zona, permite visualizar el comportamiento tanto en el medio físico, biótico y social, para poder comprender los impactos positivos en cuanto a cobertura de suelo identificados.

Estos resultados fueron representados en una matriz que permitió evaluar cada impacto de manera cualitativa y cuantitativa (García & Rodríguez, 2017). Este enfoque sistemático no solo facilitó una mayor comprensión de los efectos de las actividades en el PNNCVDJC, sino que también orientó la identificación de medidas de gestión y conservación más eficaces, descrita en la Tabla 3, en metodología utilizada.

Los análisis sugieren que las políticas de conservación han contribuido de manera positiva a la recuperación del ecosistema, especialmente en términos de mejora de la biodiversidad y regeneración del suelo. Este tipo de observación ha sido aplicado en diversas áreas protegidas de Colombia, apoyando a las autoridades en la implementación de políticas más eficientes de

conservación y manejo de los recursos naturales (Sánchez & Mejía, 2016). Este será retomado con mayor rigor más adelante.

Por consiguiente, se procedió a la identificación de impactos ambientales en el PNNCVDJC, bajo la metodología Conesa (2006). La matriz de evaluación e identificación de impactos ambientales, es una herramienta fundamental que permite analizar de manera sistemática los efectos generados por las actividades de conservación en el PNNCVDJC. A través de este instrumento, se identificaron los impactos positivos y negativos sobre los componentes ambientales clave, como el agua, el suelo, la cobertura vegetal, la fauna, la comunidad, proporcionando una visión integral de los avances y desafíos en la gestión sostenible de este valioso ecosistema protegido.

Para brindar mayor claridad en la identificación de los impactos ambientales evaluados en el PNNCVDJC, se presenta a continuación un enlace que dirige a la matriz de identificación de impactos utilizada en este estudio. Esta matriz detalla los aspectos e impactos ambientales asociados al cambio de cobertura de suelo, facilitando la comprensión de los resultados obtenidos y la relación entre los componentes evaluados.

#### Matriz de identificación de impactos PNNCVDJC

A continuación, se identificaron los impactos ambientales más significativos y valorados, ver tabla 10.

**Tabla 10**

*Prioridad de impactos: Altos, medios, bajos*

VALOR MS)	VALOR MÍNIMO (I)	PRIORIDAD
1440	54	Alta (A) > 924
<b>PRIORIDAD =</b>		Media (M) 924 - 462
<b>P</b>	462	Baja (B) < 462

La Tabla 10, clasifica la prioridad de los impactos positivos identificados en la matriz de identificación de impactos ver matriz en drive, destacando los efectos benéficos sobre el área de estudio. A través de la fórmula  $(S-I) / 3$ , donde S es el puntaje máximo (1440) e I es el puntaje mínimo (54), se obtuvo una clasificación que divide los impactos en altos, medios y bajos. Los impactos con un puntaje superior a 924 tienen una prioridad alta, lo que indica que generan los beneficios más significativos y directos, como la mejora en la calidad del agua, la regeneración de la cobertura vegetal y la conservación de la fauna. Los impactos con una prioridad media (462-924) y baja (<462) siguen contribuyendo positivamente, aunque con menor intensidad, permitiendo un enfoque escalonado en la implementación de acciones que continúen potenciando estos efectos positivos a largo plazo.

**Tabla 11**

*Impactos ambientales significativos*

IMPACTOS AMBIENTALES POSITIVOS - PRIORIDAD ALTA - MEDIA			
Componente	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Valor Matriz
AGUA	Capacidad de retención del suelo.	Mejora la regulación climática local al	1080

			almacenar agua.	
	Preservación de áreas hídricas.		Incremento en la conservación del agua para uso comunitario y ecosistémico.	<b>1080</b>
	Agua subterránea		Mayor disponibilidad de agua subterránea para consumo y ecosistemas.	<b>1080</b>
<b>AIRE</b>	Crecimiento de vegetación.	de	Mayor captura de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).	<b>1440</b>
<b>PAISAJE</b>	Estética del entorno natural.		Conservación de la biodiversidad visual, manteniendo el atractivo natural del área protegida.	<b>540</b>
<b>SUELO</b>	Calidad del suelo.		Mejora la retención de agua y nutrientes.	<b>720</b>
	Presencia de nutrientes en áreas de protección.		Incremento de la fertilidad en zonas protegidas, favoreciendo la regeneración natural.	<b>540</b>
<b>FAUNA</b>	Creación y conservación		Mejora de la conectividad de especies y de la	<b>540</b>

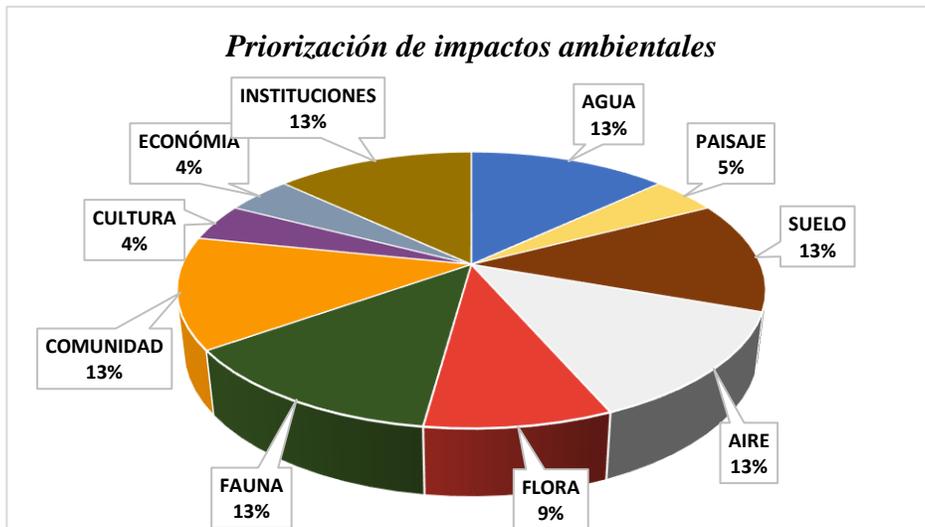
	de corredores biológicos.	migración.	
<b>FLORA</b>	Protección del entorno nativo.	Promoción de la conservación de la cobertura vegetal y la continuidad del hábitat.	<b>540</b>
<b>COMUNIDAD</b>	Sensibilización y aprendizaje.	Mayor participación de la comunidad en proyectos sostenibles	<b>540</b>
<b>INSTITUCIONES</b>	Evaluación de estrategias de conservación.	Mejora la planificación y ajuste de estrategias.	<b>720</b>
	Sinergia institucional.	Mejoramiento de la coordinación entre entidades.	<b>540</b>
<b>CULTURA</b>	Integración de la sostenibilidad en las costumbres.	Fomento de la adopción de prácticas ambientales en la cultura local.	<b>540</b>

En la Tabla 11, se realizó la priorización de aspectos e impactos ambientales, donde el color verde oscuro se refiere a la prioridad alta, teniendo en cuenta la tabla 10 este rango reseña valores mayores a 924; de la misma manera el color verde claro define la prioridad media, este valor esta entre el rango de 462 a 924, los valores bajos de color azul claro son aquellos que se encuentran en un rango menor a 462, los cuales no se los tiene en cuenta para la valoración de la Tabla 12.

**2.3.4.2. Análisis de la identificación de impactos ambientales según matriz de evaluación e identificación de impactos ambientales, implementando metodología Conesa (2006).** La identificación y evaluación de los impactos ambientales es fundamental para comprender las derivaciones de las actividades humanas sobre los ecosistemas del PNNCVDJC. Para este análisis, se implementa la metodología de Conesa (2006), ampliamente utilizada en estudios de impacto ambiental. Esta metodología permite una evaluación sistemática mediante una matriz de identificación de impactos ambientales, que clasifica y pondera los efectos potenciales de distintas acciones sobre los componentes naturales del área protegida, como la cobertura de suelo, la biodiversidad y los recursos hídricos. La aplicación de este enfoque facilita la toma de decisiones informadas para mitigar, prevenir o restaurar los daños ambientales ocasionados por la presión antrópica y otras amenazas. Utilizando la valoración obtenida, se llevó a cabo una priorización de aspectos ambientales, como se muestra en la Figura 19.

**Figura 19**

*Priorización de impactos ambientales.*



La Figura 19, muestra los impactos positivos de diversas actividades de conservación en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC), teniendo en cuenta los componentes ambientales clave como agua, suelo, aire, flora, fauna, y aspectos

sociales y económicos. De esta manera, cada componente será analizado en función de aspectos ambientales específicos como: Capacidad de retención del suelo, preservación de áreas hídricas, agua subterránea, crecimiento de vegetación, estética del entorno natural, calidad del suelo, presencia de nutrientes en áreas de protección, creación y conservación de corredores biológicos, protección del entorno nativo, sensibilización y aprendizaje, evaluación de estrategias de conservación, sinergia institucional, integración de la sostenibilidad en las costumbres.

El análisis integral de los impactos positivos en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel, basado en la matriz de impactos y las encuestas aplicadas a habitantes locales y funcionarios, resalta la importancia de los componentes agua, suelo, fauna y comunidad. Las acciones de conservación han favorecido la recuperación de fuentes hídricas, la mejora en la fertilidad del suelo, la protección de especies clave como el oso de anteojos, y el fortalecimiento de prácticas sostenibles entre la población local. Estos avances refuerzan la sostenibilidad del parque y la relación armónica entre los ecosistemas y las comunidades. A continuación, el análisis de cada componente, ver gráfica 20.

**Agua (13%),** Según la matriz de impactos, el agua es uno de los componentes más beneficiados por las intervenciones de conservación, representando un 13% del total de impactos positivos. Este hallazgo está respaldado por las respuestas de las encuestas, donde tanto los habitantes como los funcionarios mencionan la conservación de cuencas hidrográficas como uno de los principales logros. Los habitantes perciben que el acceso a fuentes hídricas ha mejorado considerablemente, sobre todo en términos de la recarga de acuíferos y la retención de agua en los suelos, lo cual ha beneficiado tanto las actividades agrícolas como el abastecimiento doméstico. Los funcionarios del PNN por su parte, resaltan que la reforestación y la protección de cuencas han permitido una mayor estabilidad hídrica y una reducción de la presión sobre los recursos hídricos de la zona de estudio (Pardo, 2017). Esto corrobora lo señalado en la matriz, donde el agua es uno de los elementos mejor conservados y más valorados por todos los actores involucrados.

**Suelo (13%),** el suelo también presenta un impacto positivo importante en la matriz (13%), lo cual está alineado con los comentarios tanto de los habitantes como de los funcionarios en las

encuestas. Los habitantes destacan la reducción de la erosión y la mejora en la fertilidad de las tierras, especialmente en las zonas cercanas a las áreas de restauración ecológica, lo que ha permitido una regeneración más rápida de la vegetación nativa. Los funcionarios refuerzan esta observación al mencionar que la prevención de la erosión y la restauración de suelos degradados ha sido una de las prioridades del parque, contribuyendo a la estabilidad general del ecosistema y facilitando la retención de nutrientes (Moreno & Ramírez, 2018). En ambos casos, se observa un consenso sobre la importancia del suelo como base para el funcionamiento de los ecosistemas protegidos y como soporte para las actividades agrícolas en las áreas circundantes.

**Fauna (13%),** según matriz también representa un 13% de los impactos positivos, ha mostrado una recuperación importante en el PNN. Esto se refleja claramente en los comentarios de los habitantes, quienes han notado un aumento en la presencia de especies locales, en especial de aves y mamíferos, lo cual es un indicativo de la mejora en los ecosistemas. Este cambio también ha sido destacado por los funcionarios, quienes mencionan que las intervenciones para proteger y restaurar el hábitat han facilitado la repoblación de especies clave, algunas de ellas en peligro de extinción como el oso andino o de anteojos (Sánchez & Rojas, 2017). El impacto sobre la fauna es reconocido como uno de los logros más significativos en la protección la zona protegida, lo que coincide con la valoración asignada en la matriz.

**Comunidad (13%),** aparece en la matriz como uno de los componentes más beneficiados (13%), lo que está en línea con los resultados obtenidos en las encuestas. Los habitantes han resaltado su participación en proyectos de conservación y actividades de educación ambiental, lo cual ha incrementado la conciencia ecológica y ha fomentado la adopción de prácticas sostenibles. Por otro lado, los funcionarios destacan que la colaboración con las comunidades locales ha sido clave para el éxito de las políticas de conservación, ya que estas han permitido un mayor sentido de pertenencia y responsabilidad hacia los recursos naturales del PNN (García & López, 2016). Esto subraya la importancia de la participación comunitaria no solo en la protección de los ecosistemas, sino también en la generación de prácticas sostenibles que puedan ser replicadas en otras áreas rurales.

**Aire (13%),** el componente del aire muestra un impacto positivo del 13% en la matriz, lo cual está relacionado con los efectos de la reforestación sobre la calidad del aire. Las encuestas reflejan que tanto los habitantes como los funcionarios reconocen mejoras en las condiciones atmosféricas, asociadas con la mayor cobertura vegetal que actúa como sumidero de carbono. Los funcionarios han destacado que la conservación de la vegetación y los bosques del parque ha jugado un papel importante en la captura de CO<sub>2</sub> y en la mitigación de los efectos del cambio climático (Gómez & Torres, 2019). Aunque los habitantes no mencionan directamente el impacto sobre la calidad del aire, muchos reconocen que la mayor presencia de vegetación ha contribuido a mejorar las condiciones ambientales generales.

**Flora (9%),** ha mostrado impactos positivos moderados. Tanto los habitantes como los funcionarios reconocen la importancia de la conservación de la vegetación nativa, especialmente en términos de la regeneración de especies clave y la reducción de la tala ilegal. Las encuestas indican que la reforestación ha sido fundamental para mejorar la estabilidad de los ecosistemas y la provisión de servicios ecosistémicos como la regulación del clima y la protección del suelo (Ruiz & Pérez, 2015). Sin embargo, el impacto en la flora ha sido percibido como menor en comparación con otros componentes, debido a que las intervenciones han estado más centradas en la protección de fauna y suelos.

**Paisaje (5%),** es un componente que, aunque de menor relevancia en comparación con otros, sigue siendo importante tanto desde una perspectiva ecológica como económica. Los habitantes mencionan que el paisaje natural ha atraído a visitantes y turistas que disfrutan de la belleza escénica del PNN, lo que ha generado ingresos indirectos para las comunidades locales. Los funcionarios enfatizan que la conservación del paisaje es crucial para fomentar el ecoturismo, una actividad económica en crecimiento que puede traer beneficios a largo plazo para la región (Martínez & León, 2016). Esto coincide con la valoración en la matriz, donde el paisaje es visto más como un componente económico potencial que como un factor de conservación directa.

**Instituciones (13%),** lo cual refleja la importancia de las políticas públicas y la gobernanza ambiental. Tanto los habitantes como los funcionarios coinciden en que las instituciones han jugado un papel crucial en la implementación de programas de conservación. Las encuestas

muestran que la educación ambiental y los programas de capacitación impulsados por las instituciones han fortalecido la participación comunitaria, mientras que el monitoreo constante ha permitido mejorar la planificación de las estrategias de conservación (Mejía & Sánchez, 2016). Este componente es clave para asegurar la sostenibilidad de las acciones realizadas en el parque y su entorno.

**Cultura (4%),** también ha sido beneficiada por las actividades de conservación. Tanto habitantes como funcionarios mencionan que las tradiciones locales relacionadas con el uso sostenible de los recursos naturales han sido revitalizadas. Los habitantes indican que las prácticas tradicionales han sido respetadas y se han adaptado a las políticas de conservación, mientras que los funcionarios valoran la conexión cultural de las comunidades con el territorio (Castillo & Delgado, 2018). La cultura es un componente importante para asegurar la continuidad de las acciones de conservación, integrando conocimientos ancestrales con prácticas modernas.

**Economía (4%),** aunque con un impacto positivo limitado, ha comenzado a mostrar avances gracias al ecoturismo y a los proyectos de conservación. Los habitantes reconocen que el turismo en zonas aledañas al PNN y la presencia de investigadores han generado ingresos para la comunidad. Los funcionarios también ven en el turismo sostenible una oportunidad para desarrollar proyectos a largo plazo que beneficien tanto al entorno como a las comunidades locales (Pérez & Gómez, 2017). Aunque el impacto económico es menor, tiene el potencial de crecer conforme se fortalezcan las actividades sostenibles en la región.

En síntesis, el papel de las instituciones ha sido esencial en la coordinación de acciones de conservación, trabajando estrechamente con las comunidades locales, quienes han desarrollado una mayor conciencia ambiental y han adoptado prácticas sostenibles. Las encuestas realizadas a la parte rural y técnica del área protegida corroboran esta visión, resaltando la cooperación entre entidades gubernamentales y no gubernamentales para proteger los recursos hídricos, la cobertura de suelo, la fauna, flora, corredores biológicos y el componente paisajístico, incluyendo la preservación del oso de anteojos. La declaratoria del PNN, ha generado un impacto positivo integral que beneficia tanto al medio ambiente como a las comunidades locales. Aunque, los

impactos ambientales en su mayoría son positivos se identificó un componente en la comunidad que generó un impacto negativo, Tabla 12.

**Tabla 12**

*Identificación de impactos negativos.*

<b>IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS</b>			
<i>Componente</i>	<i>Aspecto</i>	<i>Impacto</i>	<i>Valor</i>
	<i>Ambiental</i>	<i>Ambiental</i>	<i>Matriz</i>
<i>Comunidad</i>	Conflictos	Intereses económicos	<b>540</b>

El análisis de los impactos ambientales negativos relacionados con los conflictos en la comunidad, derivados de las restricciones impuestas por la declaratoria del PNNCVDJC, revela una tensión entre la conservación y los intereses económicos locales. La matriz de impactos, con una valoración de 540 y de prioridad media, subraya que, aunque la protección ambiental es vital, es fundamental equilibrar esta con el bienestar económico de los residentes, quienes dependen de actividades tradicionales como la agricultura.

### **3. Conclusiones**

Como punto de partida, la caracterización de las coberturas de suelo en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC) entre 2002 y 2022 evidencia la estabilidad del bosque natural denso, que permanece como la cobertura dominante con 3,611.29 hectáreas (52.15%) en 2022, reduciéndose apenas 0.69 hectáreas en 20 años. Esta estabilidad es crucial para la conservación de la biodiversidad, la regulación hídrica y la captura de carbono. Por otro lado, la cobertura arbustiva disminuyó significativamente en 169.92 hectáreas, lo que ha sido compensado por el aumento del herbazal en áreas de mayor altitud, que creció en 170.62 hectáreas. Los cuerpos de agua permanecieron constantes, lo cual asegura la continuidad de los ciclos hidrológicos esenciales. Si bien el ecosistema del PNN, muestra un equilibrio general, es necesario monitorear la dinámica de estos cambios vegetativos, especialmente la transición de arbustal a herbazal, para garantizar la conservación a largo plazo y evitar impactos negativos sobre la funcionalidad del ecosistema.

A partir de esto, el análisis de los cambios en la cobertura de suelo en la zona occidental del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNNCVDJC) reveló transformaciones en el municipio de El Tablón de Gómez, específicamente en las veredas María Inmaculada y El Silencio, en cotas comprendidas entre los 2,800 y 3,900 msnm. En los años 2002 y 2022, 97.4% del área de estudio permaneció sin cambios, lo que refleja una notable estabilidad en la cobertura del suelo. No obstante, un 2.6% del área fue favorecida por procesos de paramización, caracterizados por la transición de arbustal a herbazal. Estos cambios se concentraron en áreas de alta altitud, donde las condiciones climáticas y ecológicas propias de la montaña influyeron en la dinámica del suelo. La efectividad de las estrategias de conservación en el PNNCVDJC ha permitido mantener una vasta porción del ecosistema sin alteraciones significativas, mientras que los cambios observados en la vereda El Silencio indican una evolución natural de la vegetación, sin intervención humana directa.

Finalmente, la identificación y evaluación de los impactos ambientales en el PNNCVDJC revelan, en su mayoría, efectos positivos sobre componentes clave del ecosistema como el agua, suelo, aire, flora y fauna. Las medidas de conservación, como la reforestación y la protección de

cuencas, han mejorado la recarga de acuíferos y garantizado la disponibilidad de agua para las comunidades y ecosistemas. El suelo ha mostrado mayor estabilidad, previniendo la erosión y facilitando la restauración de áreas degradadas. Estas mejoras están directamente vinculadas a la declaratoria del parque como área protegida y a las políticas de conservación que han restringido las actividades antrópicas, favoreciendo la recuperación de la biodiversidad. Sin embargo, los impactos negativos no son menores. Las restricciones a actividades tradicionales como la agricultura han generado tensiones económicas en la comunidad, reflejando la dificultad de equilibrar la conservación con las necesidades socioeconómicas locales. Para mitigar estos conflictos, es crucial promover alternativas sostenibles, como el ecoturismo o la reconversión productiva, que permitirían una convivencia más armoniosa entre la protección ambiental y el bienestar comunitario.

#### **4. Recomendaciones**

Es fundamental profundizar en el estudio de las causas del proceso de paramización, en especial el cambio de cobertura de arbustal a herbazal en áreas del PNNCVDJC. Este fenómeno, observado sin intervención antrópica directa, requiere una investigación detallada para identificar los factores climáticos y ecológicos que lo están generando, como posibles variaciones en la temperatura, la humedad y los patrones de precipitación. Comprender las razones detrás de este cambio permitirá implementar estrategias de conservación y restauración más efectivas, asegurando la estabilidad de los ecosistemas en el largo plazo.

Se sugiere utilizar los resultados de esta investigación como insumo clave para la actualización y fortalecimiento del Plan de Manejo del PNNCVDJC. La combinación de datos cualitativos, obtenidos a través de las encuestas aplicadas a habitantes y funcionarios, y datos cuantitativos, como los análisis de cambios de cobertura de suelo y monitoreo ambiental, ofrece una base sólida para la toma de decisiones. Estos datos pueden ser de gran relevancia para diseñar estrategias específicas de conservación y restauración, garantizando una gestión integral y adaptada a las condiciones actuales del parque y su entorno.

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo y participativo, que involucre tanto a las comunidades locales como a los funcionarios del PNN, para seguir evaluando los cambios en la cobertura de suelo, la conservación de los recursos hídricos y la biodiversidad en el PNNCVDJC. Esto permitirá no solo detectar tempranamente posibles alteraciones en los ecosistemas, sino también ajustar las estrategias de manejo con base en evidencia científica y la experiencia empírica de los actores locales. Este enfoque colaborativo fomentará una mayor cohesión entre las comunidades y las autoridades ambientales, promoviendo una protección más efectiva y sostenible del PNN.

Se propone, que, para mitigar los conflictos socioeconómicos en la zona aledaña al PNN, implementar programas de compensación o alternativas económicas sostenibles que promuevan una coexistencia más armónica entre la conservación y los intereses de la comunidad.

### **Referencias bibliográficas**

- Adler P. y Morales J., (1999). *Influence of environmental factors and sheep grazing on an Andean grassland*, *Journal of Range Management*, vol. 52, pp. 471-480.
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (1994) *CORINE Land Cover Comisión de las Comunidades Europeas*.
- Álvarez, J., & Muñoz, F. (2020). *Metodología para el análisis de datos en investigaciones socioambientales*. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*. 12(1), 67-79.
- Álvarez, L., & Rodríguez, C. (2017). *El papel de la Seguridad Democrática en la conservación de la biodiversidad en Colombia: Análisis de casos en áreas protegidas*. *Biodiversidad y Conservación*. 26(4), 220-235.
- Alda, Arcos (2008), *Evaluación de impacto ambiental ocasionado por las actividades ecoturísticas en el sendero “El agua y la Vida” y diseño de un plan ecoturístico*. 232 p
- Ariza A. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM*. *Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi Bogotá. Colombia.
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. (2002). *Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable*.
- Backoulou GF, Elliott NC, Giles KL, Mirik M. (2015). *Imágenes Multiespectrales Procesadas Diferencian el Estrés del Cultivo de Trigo Causado por la Chinche Verde de Otras Causas*. *Informática y Electrónica En Agricultura*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.008>.
- Bermúdez. (2015). *Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento Del Chocó*. 1990 – 2014.

- Brenes (2009). *Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y dinámica del paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca*. Costa Rica 2,009.
- Bürgi, M., Hersperger, A. M., & Schneeberger, N. (2004). *Driving forces of landscape change—current and new directions*. *Landscape Ecology*, 19(8), 857-868.
- Castillo, J., & Delgado, M. (2018). *Cultura y conservación en áreas protegidas: Un enfoque desde las comunidades rurales*. *Revista de Estudios Rurales*.
- Conesa, V. (2006). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa Libros.
- CONPES. (2020). *"Estrategias de monitoreo de áreas protegidas en Colombia."* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- CORPONARIÑO. (2013). *Informe de monitoreo ambiental en la zona de amortiguación del PNNCVDJC*.
- CBD. (2020). *Global Biodiversity Outlook 5*. Secretaría de la Convención sobre Diversidad Biológica.
- Chuvieco, E. (2016). *Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio*. Ariel Ciencia, Barcelona.
- De Paulo Rodríguez da Silva, V., Silva, M. T., Singh, V. P., de Souza, E. P., Braga, C. C., de Holanda, R. M., Almeida, R. S. R., de Assis Salviano de Sousa, F., & Braga, A. C. R. (2018).
- FAO. (2020). *Los ecosistemas y su papel en la mitigación del cambio climático*. FAO
- Foody, G. M. (2002). *Status of land cover classification accuracy assessment*. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185-201.
- García, M. & Rodríguez, L. (2017). *Conservación y manejo sostenible en áreas protegidas de Colombia: El caso del Parque Nacional Doña Juana*. Cali: Fundación EcoAmbiental.

García, L., & López, F. (2016). *Participación comunitaria en la conservación del medio ambiente en Colombia*. Editorial Universidad Nacional.

Gómez, J. (2018). *Análisis de los impactos de la conservación en áreas protegidas en Nariño: El rol de la matriz de Leopold*. *Revista de Gestión Ambiental*, 24(3), 112-130.

Gómez, R., & Torres, H. (2019). *La importancia de la calidad del aire en áreas rurales de Colombia*. Ediciones Ambientales.

González, J. (2017). *Conflictos socioambientales en áreas protegidas: Retos y soluciones*. Bogotá: Editorial Ambiental.

Guerrero y Ortega (2012) “*Estudio del cambio de la cobertura vegetal en el área de influencia Occidental del Parque Nacional Natural (p.n.n.) complejo volcánico Doña Juana - Cascabel período 1989-2011*.”

Hinostroza Medina, Luis Fernando (2021) *Análisis del grado de fragmentación del paisaje herramientas de información geográfica y teledetección en el distrito de Huaricolca (Tarma-Junín)*

<https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/paramos/>

<http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesSistemaInfoGeografica.do>

IDEAM (2014). *Monitoreo de suelo y coberturas de la tierra (2.014)*

IPCC. (2021). *Reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. IPCC.

Instituto Geográfico Nacional. (2016). I. G. Nacional, Productor. Recuperado de:

Instituto Humboldt. (2014) *Informe Final Componente Coberturas De La Tierra En Los Páramos Priorizados A Escala 1:25.000 (Metodología Corine Land Cover Adaptada Para Colombia)*

- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- López, J., & García, M. (2012). "Métodos para el análisis de cambios en la cobertura del suelo usando imágenes satelitales y sistemas de información geográfica." *Revista de Tecnología y Ciencias Ambientales*, 14(2), 105-120.
- Martínez, P. (2020). *Análisis cuantitativo de la precisión de datos de cobertura de suelo*. *Geografía Aplicada*, 8(1), 56-67.
- Martínez, P., & Rodríguez, L. (2019). *Economía y conservación en zonas rurales de Colombia*. Cali: Universidad del Valle.
- Mas J.F. y Flamenco Sandoval A. (2010). *Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México*. Recuperado de GeoTropico, 5 (1), Artículo 1: 1-24
- Meyer, W. B., & Turner, B. L. (1992). *Human population growth and global land-use/cover change*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23(1), 39-61.
- Mejía, S., & Sánchez, P. (2016). *Políticas de conservación en parques nacionales de Colombia: Impacto y gestión institucional*. Universidad de Antioquia.
- Ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible (2002). *Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Recuperado de: <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Normatividad/Nacional/Leyes/Decreto-Ley2811-74-Codigo-Recursos-Naturales-Renovables-y-Proteccion-Medio-Ambiente.pdf>
- Morales M., Otero J., Van Der Hammen T., Torres A., Cadena C., Pedraza C., Rodríguez N., Franco C., Betancourth J. C., Olaya E., Posada E. y Cárdenas L. (2007). *Atlas de páramos de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 208 pp.

- Moreno, J., & Ramírez, E. (2018). *Estrategias para la conservación del suelo en ecosistemas rurales*. Revista Ambiental Colombiana.
- Patiño Martínez, J. C. (2019). *Análisis multitemporal del Parque Nacional Natural Chingaza para determinar el estado de restauración ecológica de dos ecosistemas*. Díaz, A. (2018). *Evaluación de la precisión de datos de cobertura de suelo*. Revista de Geografía, 10(2), 45-56.
- Patiño Narváez, N. A. (2016). *Clasificación de la cobertura de la tierra en el suelo rural del municipio de Pupiales–Nariño mediante la aplicación de herramientas SIG*.
- Pardo, C. (2017). *Conservación de recursos hídricos en áreas protegidas de Colombia*. Revista Hídrica.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2011). *Resolución 075 del 03 de noviembre de 2011, mediante la cual se adoptan los objetivos de conservación de las 56 áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales*. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2023). *Gestión y conservación del Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel*.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2011). *Resolución 075 del 03 de noviembre de 2011: Objetivos de conservación de las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales*.
- Pérez, A., García, M., & Díaz, A. (2018). *Mejoras en datos de cobertura de suelo mediante análisis cuantitativo*. Boletín de Investigación Geográfica, 29(3), 176-189.
- Pérez, L., & Gómez, M. (2017). *Turismo ecológico y desarrollo económico en áreas rurales de Colombia*. Economía Verde.
- Pérez, A., & Salcedo, F. (2018). *Comunidades y conservación en los parques nacionales de Colombia*. Editorial Ambiental.

Plan de manejo (2015 – 2019). *Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel, plan de manejo 2015 – 2019.*

Pinos Arévalo N (2016). *Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial -Caso cantón Cuenca. Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación Universidad de Cuenca-Ecuador.*

Pinza y Leitón (2017). *Cambios en la cobertura del suelo en el volcán Galeras; departamento de Nariño, periodo 1.989 – 2.015.*

Revelo, C. (2019). *Los Parques Nacionales en Colombia: Gestión y conservación.* Universidad del Rosario.

Rodríguez, J. (2017). *Impacto de la geografía en la conservación del Parque Doña Juana.* Revista Andina de Geografía, 24(1), 85-98.

Rodríguez, J., Pérez, M., & Martínez, F. (2021). *Evolución de la cobertura de suelo en áreas protegidas de Colombia: Un análisis multitemporal.* Revista Colombiana de Geografía, 30(2), 45-67.

Roa-García, C. (2020). *Conservación de ecosistemas montañosos en Colombia.* Editorial Universidad Nacional.

Ruiz, D., & Pérez, C. (2015). *Conservación de la biodiversidad en Colombia: Un enfoque sobre flora y fauna.* Ediciones Científicas.

Rivera, J., & Castaño, A. (2019). *Impactos de la normatividad ambiental en la gestión de áreas protegidas en Nariño.* Revista de Estudios Ambientales.

Sánchez, F. & Mejía, R. (2016). *Evaluación del impacto ambiental en ecosistemas de montaña: Un enfoque metodológico aplicado.* Bogotá: Editorial Universidad de los Andes.

Sánchez, M., & Rojas, A. (2017). *Recuperación de fauna en áreas protegidas de Colombia: Un estudio de caso.* Revista de Ciencias Biológicas.

Sarmiento C., Cadena C., Sarmiento M., Zapata J. y León O. (2013). *Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100,000*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 46 pp.

Sarmiento, G., Montoya, J., & León, R. (2010). *Impactos del cambio climático en la dinámica de los ecosistemas naturales*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 6(2), 45-56.

Sistema de Información Geográfica del PNN CVDJC. (2020). *Mapa de Ecosistemas del Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel*.

Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2003). *Landscape ecology in theory and practice*. Springer.

## **Anexos**

### **Anexo 1.** Diseño de encuesta para habitantes de la zona donde se identificaron impactos ambientales.

Encuesta sobre Impactos Ambientales en el PNNCVDJC, Contribuye a la Investigación sobre Cambios de Cobertura de Suelo en El municipio de El Tablón Gómez.

Esta encuesta forma parte de un proyecto de investigación liderado por una estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana. El objetivo principal es identificar los impactos ambientales más significativos provocados por los cambios en la cobertura de suelo en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana – Cascabel (PNNCVDJC), específicamente en el municipio de El Tablón de Gómez. Tus respuestas serán fundamentales para comprender mejor la situación ambiental en nuestra región.

1. ¿Cuánto tiempo ha vivido en la zona rural de los municipios del Tablón de Gómez, La cruz y San Bernardo?
  - a. Toda la vida
  - b. 0-4 años
  - c. 5-9 años
  - d. 10-14 años
  - e. 15-20 años
  
2. ¿Está usted enterado que en esta zona existe un Parque Nacional Natural?
  - a. Si
  - b. No

3. En caso afirmativo, ¿Podría compartir su opinión sobre los beneficios o afectaciones que ha traído la declaratoria de un Parque Natural Nacional?

---

---

---

---

---

4. El 21 de marzo del 2007, fue declarada esta zona como Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel, ¿De qué manera esta declaratoria ha contribuido específicamente a mejorar la calidad del medio ambiente, desde su perspectiva como residente de la comunidad?

---

---

---

---

---

5. ¿Qué iniciativas específicas se han implementado por parte de operarios de Parque Nacional Natural de Colombia para promover la educación ambiental en la comunidad de El Tablón de Gómez?

---

---

---

---

---

6. ¿La comunidad se ha interesado por ser parte de quienes promueven estas iniciativas, asistiendo a estos espacios de aprendizaje?

---

---

---

---

---

---

7. ¿Qué eventos significativos recuerda que hayan ocurrido durante ese periodo de tiempo y que posiblemente desencadenaron los cambios observados en la cobertura del suelo en el parque nacional?

---

---

---

---

---

---

8. ¿Ha notado algún cambio en la cobertura de suelo desde la declaración del parque nacional natural en el año 2007?

a. Si

b. No

¿Cuáles cambios ha observado?

---

---

---

---

9. ¿Cómo perciben que estos cambios en la cobertura del suelo han impactado la biodiversidad y el hábitat de especies locales en el parque nacional? Elija una de las siguientes opciones:

- a. Impacto negativo a la biodiversidad local.
- b. Impacto Positivo a la biodiversidad local.
- c. No ha percibido impactos significativos.

10. ¿Qué medidas o acciones sugiere usted para conservar y proteger la cobertura del suelo en el parque nacional y garantizar la sostenibilidad de las actividades locales? Por favor, seleccione una de las siguientes opciones:

- a) Implementar programas de reforestación y restauración de ecosistemas.
- b) Promover prácticas agrícolas sostenibles y métodos de cultivo respetuosos con el medio ambiente.

d) No estoy seguro/a o no tengo conocimiento suficiente sobre posibles medidas de conservación y protección de la cobertura de suelo.

**Anexo 2.** Encuestas para funcionarios del PNNCVDJC, de los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gomes.

El Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel (PNNCVDJC) es vital para la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales en Colombia. Este estudio se centra en los municipios de La Cruz, San Bernardo y El Tablón de Gómez, con el objetivo de identificar los impactos ambientales más significativos generados por los cambios en la cobertura del suelo entre los años 2002 y 2022. Utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se caracterizó la cobertura del suelo en estos periodos, se determinaron los cambios ocurridos en esta área del parque, y se evaluaron los impactos ambientales en las áreas afectadas. También se analizará la importancia de Parques Nacionales en la mitigación del cambio climático y la protección de servicios ecosistémicos, así como las estrategias de manejo y conservación implementadas para restaurar las áreas más vulnerables del parque. Según lo anterior responda:

1. ¿Cuántos años lleva trabajando en el Parque Natural Nacional Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel (PNNCVDJC) y contribuyendo a su conservación y gestión? Seleccione la opción que mejor refleje su experiencia laboral en el parque:

- |    |                |       |    |    |      |
|----|----------------|-------|----|----|------|
| a) |                | Menos | de | 5  | años |
| b) | Entre          | 5     | y  | 10 | años |
| c) | Entre          | 10    | y  | 15 | años |
| d) | Entre          | 15    | y  | 20 | años |
| e) | Más de 20 años |       |    |    |      |

2. El Complejo Volcánico Doña Juana, como área natural protegida, desempeña un papel crucial en la preservación de la biodiversidad y la protección de recursos naturales a nivel regional y nacional. Considerando la extensión y la ubicación estratégica del parque, ¿podría

detallar los principales aspectos relacionados con los procesos de manejo y conservación de las coberturas naturales?

3. ¿Qué acciones específicas han implementado los funcionarios del parque para comunicar y sensibilizar a la comunidad local sobre la importancia del área protegida, sus recursos naturales y las medidas de conservación? Además, ¿cómo se han adaptado estas acciones para llegar a distintos grupos demográficos dentro de la comunidad y promover su participación y apoyo en la preservación del parque?

4. La cobertura del suelo en el parque es fundamental para la mitigación del cambio climático y la protección de los servicios ecosistémicos. ¿Podría explicar en detalle cómo la conservación de la cobertura del suelo en el Complejo Volcánico Doña Juana contribuye a la mitigación del cambio climático? Además, ¿cuáles son los servicios ecosistémicos más vulnerables o críticos que se protegen mediante esta conservación?

5. La conservación de la cobertura del suelo en el parque no solo aporta beneficios ambientales, sino también un impacto socioeconómico significativo en las comunidades locales y la sociedad en general. ¿Podría describir cómo se traducen estos esfuerzos de conservación en beneficios tangibles para las comunidades locales en términos de recursos hídricos, fauna, flora y vegetación? Además, ¿cómo se promueve la participación de las comunidades locales en las actividades de conservación del parque?

6. La gestión ambiental del parque debe centrarse en objetivos claros y específicos para garantizar la conservación efectiva de la cobertura del suelo y otros recursos naturales. ¿Podría compartir cuáles son los principales objetivos de gestión ambiental que persigue el Complejo Volcánico Doña Juana en relación con la conservación de la cobertura del suelo? Además, ¿cómo se priorizan estos objetivos en el contexto de otras necesidades de gestión del parque, como la atención al visitante y la seguridad?

7. El monitoreo y control de los cambios en la cobertura del suelo son fundamentales para la gestión efectiva del parque. Considerando el valor académico y la importancia local de este estudio, ¿podría detallar algunas de las estrategias específicas que el Complejo Volcánico Doña

Juana ha implementado para realizar este monitoreo y control? Además, ¿cómo se asegura la coordinación y colaboración con otras entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales o instituciones académicas para fortalecer estos esfuerzos de monitoreo?

8. Las políticas y regulaciones ambientales establecidas a nivel nacional y regional deben integrarse de manera efectiva en la gestión diaria del parque para garantizar la protección adecuada de la cobertura del suelo y otros recursos naturales. ¿Podría explicar cómo se asegura esta integración en la gestión diaria del Complejo Volcánico Doña Juana? Además, ¿cómo se abordan los desafíos o conflictos potenciales entre las políticas de conservación y otros intereses, como el desarrollo económico o la infraestructura?

9. La evaluación y el monitoreo de la cobertura del suelo requieren el uso de métodos y herramientas adecuadas para obtener datos precisos y actualizados. ¿Podría describir cuáles son los métodos o herramientas específicas que se utilizan con mayor frecuencia en el Complejo Volcánico Doña Juana para evaluar y monitorear la cobertura del suelo? Además, ¿cómo se asegura la calidad y fiabilidad de los datos recopilados mediante estos métodos o herramientas?

10. La cobertura del suelo desempeña un papel fundamental en la ecología y el equilibrio del ecosistema dentro del parque. ¿Podría profundizar en la importancia de este elemento en el contexto del Complejo Volcánico Doña Juana? ¿Cómo interactúa la cobertura del suelo con otros componentes del ecosistema, como la flora, la fauna y los procesos hidrológicos, para mantener la salud y funcionalidad del ecosistema en su conjunto?

11. Es importante comprender los cambios en la cobertura del suelo en el parque y las posibles causas que los generan para mejorar la toma de decisiones en materia de conservación y manejo. ¿Podría compartir algunos de los cambios observados en la cobertura del suelo en el Complejo Volcánico Doña Juana en los últimos años? Además, ¿cuáles son algunas de las posibles causas de estos cambios, como la deforestación, eventos climáticos extremos o incidentes de regeneración?

12. ¿Cuáles son las áreas dentro del parque que presentan mayor vulnerabilidad en términos de cambio de cobertura del suelo? ¿Qué medidas se están tomando para restaurar y regenerar estas

áreas, ya sea de manera natural o antropogénica? Además, ¿en qué lugares específicos dentro del parque se ha observado este proceso de restauración y regeneración, y cuáles son los resultados hasta ahora?

### **Anexo 3:** Código Python para ejecutar en el Google colaboraty.

```
import matplotlib.pyplot as plt

import pandas as pd

import numpy as np

# Datos de frecuencia

frecuencias = {

    'Pregunta 1': {'Toda la vida': 20, '15-20 años': 5},

    'Pregunta 2': {'Sí': 25},

    'Pregunta 3': {

        'La protección del área es esencial': 9,

        'Bueno para animales y plantas': 5,

        'Protege la zona y medio ambiente': 5,

        'Protege árboles y agua': 5

    },

    'Pregunta 4': {

        'Mejor calidad del suelo y agua': 9,

        'Protege el bosque y el agua': 5,

        'Mejora la calidad del aire': 5,
```

```
'Preserva biodiversidad y reduce deforestación': 5
},
'Pregunta 5': {
  'Talleres sobre manejo sostenible': 9,
  'Charlas sobre conservación': 5,
  'Cuidado del parque': 5,
  'Talleres educativos': 5
},
'Pregunta 6': {
  'Importancia de participación': 2,
  'Interés en naturaleza': 5,
  'Interés en asistir': 5,
  'Interés en cuidar la tierra': 5,
  'Mayoría ha participado': 6
},
'Pregunta 7': {
  'Mejoras en aire y deforestación': 6,
  'Cambios positivos en biodiversidad': 5,
  'Ambiente más saludable': 5,
  'Mejor conservación de recursos': 8
},
'Pregunta 8': {'Sí': 25},
```

```
'Pregunta 9': {'Cambios positivos en biodiversidad': 25},

'Pregunta 10': {

    'Más actividades y incentivos': 7,

    'Más talleres y apoyo': 6,

    'Aumentar vigilancia y educación': 5,

    'Programas de incentivo': 5

}

}

# Crear un DataFrame a partir de los datos

df = pd.DataFrame({(outerKey, innerKey): values

                    for outerKey, innerDict in frecuencias.items()

                    for innerKey, values in innerDict.items()},

                  index=['Frecuencia'])

df = df.T.reset_index()

df.columns = ['Pregunta', 'Respuesta', 'Frecuencia']

# Crear la gráfica

plt.figure(figsize=(15, 10))

# Definir los colores personalizados para cada respuesta
```

```
color_map_respuestas = {  
  
    'Toda la vida': '#000000',          # Negro  
  
    '15-20 años': '#654321',          # Café oscuro  
  
    'Sí': '#8B4513',                  # Café medio claro  
  
    'La protección del área es esencial': '#D2B48C', # Café claro  
  
    'Bueno para animales y plantas': '#8B0000',     # Rojo oscuro  
  
    'Protege la zona y medio ambiente': '#B22222', # Rojo medio  
  
    'Protege árboles y agua': '#FF6347',           # Rojo claro  
  
    'Mejor calidad del suelo y agua': '#FF4500',   # Naranja oscuro  
  
    'Protege el bosque y el agua': '#FFA500',     # Naranja medio  
  
    'Mejora la calidad del aire': '#FFDAB9',       # Naranja claro  
  
    'Preserva biodiversidad y reduce deforestación': '#8B4513', # Café  
medio claro (reutilizado)  
  
    'Talleres sobre manejo sostenible': '#B22222', # Rojo medio  
(reutilizado)  
  
    'Charlas sobre conservación': '#FF6347',       # Rojo claro  
(reutilizado)  
  
    'Cuidado del parque': '#FFA500',               # Naranja medio  
(reutilizado)  
  
    'Talleres educativos': '#FFDAB9',             # Naranja claro  
(reutilizado)  
  
    'Importancia de participación': '#000000',     # Negro (reutilizado)  
  
    'Interés en naturaleza': '#654321',           # Café oscuro  
(reutilizado)  
  
    'Interés en asistir': '#8B4513',              # Café medio claro  
(reutilizado)
```

```
'Interés en cuidar la tierra': '#D2B48C',           # Café claro
(reutilizado)

'Mayoría ha participado': '#8B0000',               # Rojo oscuro
(reutilizado)

'Mejoras en aire y deforestación': '#FF4500',     # Naranja oscuro
(reutilizado)

'Cambios positivos en biodiversidad': '#FFA500',   # Naranja medio
(reutilizado)

'Ambiente más saludable': '#FFDAB9',               # Naranja claro
(reutilizado)

'Mejor conservación de recursos': '#8B4513',     # Café medio claro
(reutilizado)

'Más actividades y incentivos': '#FF4500',       # Naranja oscuro
(reutilizado)

'Más talleres y apoyo': '#FF6347',                # Rojo claro
(reutilizado)

'Aumentar vigilancia y educación': '#FFA500',    # Naranja medio
(reutilizado)

'Programas de incentivo': '#FFDAB9'                # Naranja claro
(reutilizado)

}

# Asignar colores a cada respuesta en función de la lista

colors = [color_map_respuestas[respuesta] for respuesta in
df['Respuesta'].unique()]

# Crear el gráfico de barras apiladas
```

```
df_pivot = df.pivot(index='Pregunta', columns='Respuesta',
values='Frecuencia')

ax = df_pivot.plot(kind='bar', stacked=True,
color=[color_map_respuestas[col] for col in df_pivot.columns], figsize=(15,
10))

# Personalización de los gráficos

plt.title('Análisis de Frecuencia de todas las Preguntas', fontsize=16)

plt.xlabel('Preguntas', fontsize=12)

plt.ylabel('Frecuencia', fontsize=12)

plt.legend(title='Respuestas', bbox_to_anchor=(1.05, 1), loc='upper left',
fontsize='small')

plt.xticks(rotation=45, ha='right')

plt.tight_layout()

plt.show()

# Imprimir un resumen de los datos

print(df.groupby('Pregunta').agg({'Frecuencia': ['sum', 'mean', 'count']}))
```