

**DINÁMICAS DE TRANSFORMACIÓN Y SUSCEPTIBILIDAD A LA
DEGRADACIÓN POR CAMBIO DE USO DEL SUELO EN UNA ECO-
REGIÓN ALTO-ANDINA (CAUCA-COLOMBIA)**



Universidad
del Cauca

FERNANDO ANDRÉS MUÑOZ GÓMEZ

**PROGRAMA DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE,
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

2018

**DINÁMICAS DE TRANSFORMACIÓN Y SUSCEPTIBILIDAD A LA
DEGRADACIÓN POR CAMBIO DE USO DEL SUELO EN UNA ECO-
REGIÓN ALTO-ANDINA (CAUCA-COLOMBIA)**

FERNANDO ANDRÉS MUÑOZ GÓMEZ

**TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

DIRECTOR

EDIER HUMBERTO PÉREZ Ph.D

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN´
TERRITORIO Y GESTIÓN AMBIENTAL**

**PROGRAMA DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE,
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

2018

ACTA DE ACEPTACIÓN

AGRADECIMIENTOS

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN ESTRUCTURADO	10
STRUCTURED ABSTRACT	11
ESTRUCTURA DE TESIS	12
CAPÍTULO 1.....	13
Contextualización de las Ciencias Ambientales y los ecosistemas de la franja alto-andina	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Pregunta de investigación	20
1.3 Hipótesis	20
1.4 Objetivos	21
1.5 Justificación	22
CAPÍTULO 2.....	25
Caracterización ambiental de los ecosistemas de la franja alto-andina.....	25
CAPÍTULO 3.....	32
Dinámicas de transformación de uso del suelo en la franja alto-andina	32
Dinámicas de transformación de uso del suelo	32
3.2 Cambio de uso del suelo	45
3.3 Factores socioeconómicos y del ambiente natural	49
CAPÍTULO 4.....	62
Enfoque metodológico.....	62
4.1 Procesamiento de imágenes de satélite	62
4.2 Cambio de cobertura y deforestación	63
4.3 Determinación de las dinámicas de cambios de cobertura en términos de modificación y conversión (conservación y perturbación).....	64
4.4 Fragmentación	66
4.5 Unidades cartográficas de suelos (UCS).....	66
4.6 Talleres de cartografía social	67
4.7 Identificación de actores sócales.....	67
4.8 Mapeo de los actores sociales.....	68
4.9 Historia ambiental de Gabriel López.....	69
4.10 El análisis socioeconómico	71
4.11 Definición de indicadores ambientales de susceptibilidad a la degradación	71

CAPÍTULO 5.....	74
Análisis de resultados de las dinámicas de transformación y susceptibilidad a la degradación por cambio de uso del suelo	74
5.1 Factores asociados a las coberturas vegetales de la franja alto-andina en la zona de estudio.....	74
5.2 Patrones de fragmentación	87
5.3 Dinámica del CUS en los ecosistemas de la franja alto-andina	90
5.5 Cambio de coberturas y variables biofísicas.....	94
5.6 Susceptibilidad de los suelos en la franja alto-andina a procesos de erosión hídrica.....	106
5.7 Dinámica social en el territorio.....	118
CAPÍTULO 6.....	139
Estrategia metodológica para la gestión sostenible del suelo en ecosistemas de la franja alto-andina ...	139
6.1 Presión	141
6.2 Estado.....	142
6.3 Respuestas.....	143
6.4 Etapa 1. Identificación y caracterización de actores que permitan planificar y gestionar el uso del suelo en la franja alto-andina	145
6.5 Fase 2. Territorio	147
CONCLUSIONES	150
BIBLIOGRAFÍA	152
ANEXOS.....	163
Anexo 1. Entrevista semiestructurada	163
Anexo 2. Entrevistas dirigidas a las familias	164
Anexo 3. Caracterización de actores	166
Anexo 4. Variables y métodos de muestreo.	167

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Abordaje desde las ciencias ambientales.....	15
Figura 2. Características ambientales de la franja alto-andina	27
Figura 3. Aspecto de las coberturas vegetales.....	27
Figura 4. Dinámicas en la eco-región de la franja alto-andina	29
Figura 5. Ubicación geográfica a) Colombia, Departamento del Cauca; b) Cauca, Municipio de Totoró.....	30
Figura 6. Franja alto-andina de la subcuenca del río Palacé.	31
Figura 7. Zona urbana corregimiento de Gabriel López, Municipio de Tutoró.	31
Figura 8. Modelos para el estudio de los procesos de CUS	47
Figura 9. Impulsores de la dinámica de US/CUS.	49
Figura 10. Dinámica de los ambientes transformados.....	57
Figura 11. Taller comunidad de Gabriel López.....	69
Figura 12. Indicadores de Presión, Estado y Respuesta, sobre un ecosistema. ..	72
Figura 13. Dinámica de cambio de uso del suelo periodo 1989-1999-2008-2017	75
Figura 14. Esquema de la trayectoria de cambio de uso del suelo entre los tipos de vegetación para 1989-1999, 1999-2008 y 2008-2017.	81
Figura 15. Dinámicas de US/CUS para los periodos 1989, 1999, 2008, 2017.....	81
Figura 16. Unidades cartográficas de suelo para el área de estudio	95
Figura 17. Distribución de pendientes del terreno en la zona de estudio.....	99
Figura 18. Nivel de erosión para la zona de estudio.....	100
Figura 19. Distribución de pH del suelo en la zona de estudio	100
Figura 20. Rangos de Densidad aparente para la zona de estudio.	101
Figura 21. Nivel de elevación para los suelos de Gabriel López	101
Figura 22. Evaluación de susceptibilidad a la degradación por erosión hídrica de los suelos.....	107

Figura 23. Composición de los perfiles de suelos	108
Figura 24. Perfil de suelo característico de la franja alto-andina	108
Figura 25. Toma de muestras de suelo	110
Figura 26. Comparación de suelo erodado y escorrentía para los dos usos de suelo durante el mes de septiembre 2012.....	115
Figura 27. Comparación de suelo erodado y escorrentía para los dos usos de suelo durante el mes de noviembre 2013.....	115
Figura 28. Comparación de suelo erodado y escorrentía para los dos usos del suelo durante el mes de noviembre 2014.....	116
Figura 29. Erosión de suelos por compactación o efecto de pata de vaca	118
Figura 30. Socialización de historia ambiental del territorio	118
Figura 31. Línea de tiempo, a partir de hechos históricos que han marcado la dinámica de transformación en Gabriel López.	120
Figura 32. Población que habita el territorio	124
Figura 33. Esquema organizativo del corregimiento de Gabriel López.	125
Figura 34. Nivel educativo de la población	126
Figura 35. Principales actividades económicas.....	127
Figura 36. Dinámica del área para el cultivo de papa en el municipio de Totoró	130
Figura 37. Rutas de transporte para los productos.....	132
Figura 38. Principales conflictos presentados en el territorio.....	133
Figura 39. Agricultor preparando y cosechando papa	135
Figura 40. Esquema de agricultura migratoria para el territorio.	136
Figura 41. Introducción de maquinaria	136
Figura 42. Actividad ganadera	137
Figura 43. Diferentes usos del bosque.....	138
Figura 44. Controladores de cambio en la franja alto-andina.	140
Figura 45. Esquema de dinámica de presión, estado, respuesta para el corregimiento de Gabriel López.	140

Figura 46. Estrategia metodología para la gestión integral de suelos en la franja alto andina	144
Figura 47. Árbol de problemas en la franja alto-andina	146
Figura 48. Actores para la gestión de suelos en la franja alto-andina.....	147
Figura 49. Interacción de componentes como estrategia de gestión.	149

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estudios de Erosión y degradación en Colombia	35
Tabla 2. Variedades de papa (<i>Solanum Tuberosum</i>)	39
Tabla 3. Costos para la producción en una hectárea de suelo destinada al cultivo de papa de pequeños productores.....	41
Tabla 4. Costos para la producción en una hectárea de suelo destinada al cultivo de papa de grandes productores.....	42
Tabla 5. Cambio de coberturas en el corregimiento de Gabriel López.	44
Tabla 6. Coberturas vegetales y su área, identificadas para los años 1979 - 1987 - 1999 en la zona de estudio a partir de fotografías aéreas e imagen satelital.	45
Tabla 6. Categorías que condicionan el cambio de uso de suelo	54
Tabla 8. Dinámica de coberturas, tasa de cambio e índice de deforestación para 1989, 1999, 2008, 2017	75
Tabla 9. Trayectorias de tabulación cruzada para uso del suelo en Gabriel López Matriz durante 1989, 1999, 2008, 2017.....	79
Tabla 10. Métricas del paisaje en los 6 clases de cobertura /uso del suelo para 1989, 1999, 2008, 2017 en la parte alta de la cuenca del río Palacé.....	87
Tabla 11. Unidades cartográficas de suelo y sus características	96
Tabla 12. Unidades cartográficas de suelo y sus características	99
Tabla 13. Relación coberturas/tipo de suelo para 1989, 1999, 2008, 2017	104
Tabla 14. Propiedades físicas y químicas de los suelos	109
Tabla 15. Productos de comercialización en el corregimiento de Gabriel López.	127
Tabla 16. Perfil productivo de la franja alto-andina caucana	128
Tabla 17. Cobertura y uso del suelo detallado para cada vereda	129
Tabla 18. Resultado de la evaluación financiera y social para la papa	131
Tabla 19. Agroquímicos utilizados por la comunidad	134

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Entrevista semiestructurada	163
Anexo 2. Entrevistas dirigidas a las familias.....	164
Anexo 3. Caracterización de actores.....	166
Anexo 4. Variables y métodos de muestreo.	167

RESUMEN ESTRUCTURADO

Esta investigación permitió determinar las dinámicas de transformación y degradación que se han generado por el cambio de uso del suelo en una eco-región alto-andina del departamento del Cauca, Colombia, que en cuatro décadas (1970-2017) ha pasado de tener una agricultura familiar a una agricultura intensiva con el mono cultivo de papa, donde se han generado implicaciones económicas, culturales y ambientales en espacio y tiempo. El análisis parte de la caracterización ambiental de la eco-región presente en la franja alto-andina; el cual incluye el modelamiento de las dinámicas sociales a través de impulsores de cambio que han generado transformación por cambio de uso del suelo y susceptibilidad a la degradación de los suelos. Finalmente presenta un abordaje teórico y experimental propio de las ciencias ambientales para relacionar la influencia de factores biofísicos, sociales y económicos que permitieron diseñar una estrategia metodológica para la gestión sostenible de los suelos presentes en la región alto-andina. Como resultado se pudo determinar qué factores biofísicos como (altura, pendiente, clima, suelos, coberturas vegetales) y socioeconómicos (políticas agropecuarias, de protección y asociatividad) han generado en el territorio, procesos de transformación, degradación y conservación de la eco-región alto-andina; a través de dinámicas propias del metabolismo social. La determinación y caracterización de estos factores permitieron generar las bases conceptuales y contextuales para el desarrollo de una estrategia metodológica sobre la gestión del uso del suelo, en ecosistemas alto-andinos.

STRUCTURED ABSTRACT

This research determined the dynamics of transformation and degradation that have been generated by the change of land use in a high Andean ecoregion of the department of Cauca, Colombia, that in four decades (1970-2017) has gone from having a family farming to Intensive agriculture with monkey potato cultivation, where economic, social, cultural and environmental implications have been generated in space and time. The analysis starts from the environmental characterization of the eco-region present in the high Andean fringe. Next, a modeling of the dynamics of transformation by land use change is carried out and finally an analysis of data and theoretical and experimental inferences of the environmental sciences that relate biophysical, social and economic factors is presented; Which allowed to characterize the drivers of change that have generated dynamics of transformation and susceptibility to the degradation by the change of the use of the ground. As a result he was able to determine which biophysical factors such as height, slope, climate, soils, vegetation cover, socioeconomic (agricultural policies, protection policies, associativity) have generated both transformation, degradation and conservation of the high Andean eco-region; Which allowed to generate the conceptual and contextual bases for a methodological strategy on land use management in high Andean ecosystems.

ESTRUCTURA DE TESIS

La tesis titulada “Dinámicas de transformación y susceptibilidad a la degradación por cambio de uso del suelo en la eco-región alto-andina (CAUCA-COLOMBIA)”, en su **primer capítulo** introduce los conceptos de las ciencias ambientales y el contexto ambiental de los ecosistemas de la franja alto-andina de Colombia y Cauca; que permiten plantear la pregunta de investigación, la hipótesis, los objetivos y la justificación. En el **segundo capítulo** se realizan una caracterización ambiental de los ecosistemas de la franja alto-andina, desde las problemáticas el contexto y el estado del arte. El **tercer capítulo** se enfoca en las dinámicas de transformación y cambio de uso del suelo. El **cuarto capítulo** presenta y describe el área de estudio, la metodología empleada para la toma de datos y análisis de muestras. En el **quinto capítulo** se analizan las dinámicas de cambio de uso del suelo en la eco-región y en el **sexto capítulo** se presenta las dinámicas de transformación, susceptibilidad a la degradación y la estrategia metodológica para la gestión ambiental de la franja alto-andina. Finalizando con las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO 1.

Contextualización de las Ciencias Ambientales y los ecosistemas de la franja alto-andina

1.1 Introducción

Para caracterizar los ecosistemas presentes en la franja alto-andina como eco-región, es necesario iniciar definiendo las bases conceptuales sobre las cuales se soporta el presente documento como son:

Los términos **ambiente y ciencias ambientales**, los cuales son derivados de la de la ecología; definida por Haekel en el año 1866 como: “la ciencia que comprende la relación de los organismos y el medio ambiente” donde ambiente hace referencia a los factores físicos y químicos del ecosistema que mantienen a los organismos. Las ciencias ambientales integran los conceptos de la biológica, química, físicas (Ciencias Naturales) y los conceptos de política, economía, filosofía, geografía (Ciencias Sociales) de un entorno cambiante que ha establecido dinámicas e interacciones con el ser humano. Cuando se alude a lo ambiental hace referencia a la relación que existe entre **sociedad - naturaleza** o entre el **ecosistema y la cultura**. dichas interrelaciones consideran al hombre como quien determina las características y evolución del medio natural, y la humanidad es producto de determinaciones culturales relacionadas con aspectos históricos, religiosos, políticos, económicos, y científico-tecnológicos, los cuales regulan el grado de intervención de la sociedad sobre la naturaleza (Cubillos, 2010). Por lo anterior es claro cuando Boersema y Reijnders (2009), asumen a las ciencias ambientales como el estudio de los problemas ambientales generados por el hombre. Es importante aclarar que los diferentes problemas ambientales

que se presentan en la actualidad no se solucionan con simples prácticas de conservación o reduciendo los niveles de contaminación; lo ambiental es un enfoque ambicioso que intenta integrar los componentes naturales de un territorio a nivel global, regional y local junto a las poblaciones que los habitan comprometidos como un solo equipo, con un fin ético que es propender por la continuidad de toda expresión de vida. Lo anterior propuesto es corroborado por Leff, (2004), al plantear que la problematización del conocimiento desde el campo de lo ambiental, “significa pensar el ambiente no solo como el espacio de la externalidad del conocimiento científico y el representante de los saberes subyugados, sino como un concepto positivo que moviliza la reconstrucción del conocimiento”; que implica repensar la crisis ambiental como un problema de conocimiento, para ver los cambios ya sea en procesos de conservación o degradación como efecto de las formas en que conocemos las dinámicas y desde esa comprensión aportamos en la gestión sostenible de los recursos naturales.

Las ciencias ambientales permiten un abordaje sistémico de las problemática de un territorio, entendiendo la complejidad que se establece entre los factores del ambiente natural (Ciencias naturales) y las poblaciones que usufructúan los recursos naturales desde los metabolismos sociales (Ciencias sociales) y su racionalidad (Saberes) (Figura 1). Esta interdisciplinariedad de ciencias y conocimiento permitirán la gestión, planificación y apropiación del territorio.

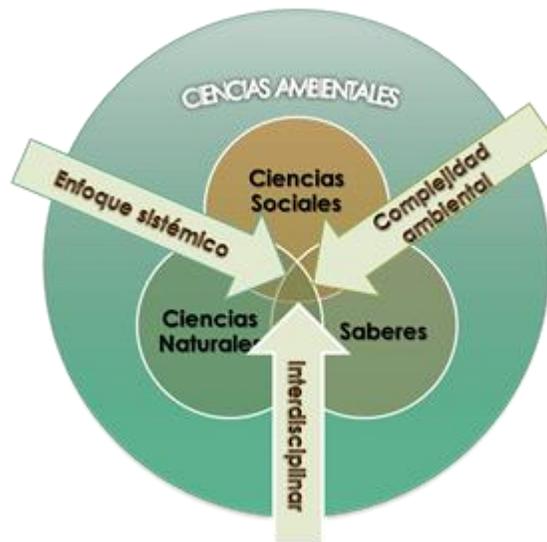


Figura 1. Abordaje desde las ciencias ambientales.

Colombia para buscar una estrategia de gestión sostenible del territorio, fue clasificada en cinco eco-regiones: Andina, Caribe, Pacífica, Amazónica y Orinoquía; de acuerdo a características de geología, suelos, clima, flora, fauna y ecosistemas; donde se han creado dinámicas sociales, culturales y ecosistémicas propias de cada región. En el presente documento nos enfocaremos en la región andina, la cual es considerada como una de las eco-regiones terrestres HotSpot¹ o de ecosistemas estratégicos². por tener 100 tipos de ecosistemas, 45000 plantas vasculares (20000 endémicas) y 3400 especies de vertebrados (Castaño, 2002); prioritarias para la conservación de la biodiversidad a nivel mundial. Además esta zona por sus características biofísicas como: fertilidad de suelos, clima, diversidad de flora y fauna y alta oferta hídrica; concentra el 77,4% de la población colombiana donde el 85% de su actividad económica es la agricultura (Rincón, 2007). Esta eco-región influye directamente sobre los ciclos hidrológicos,

¹ Área de la superficie terrestre donde se encuentra una alta concentración de especies, también denominado punto caliente de biodiversidad.

² Estratégicos, a partir de una definición de lo estratégico como aquello de lo cual depende la viabilidad de un proceso, en este caso el aporte ecosistémicos de bienes y servicios ambientales fundamentales para posibilitar el bienestar y el desarrollo de la sociedad. (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

climáticos, de estructura y funcionamiento de las especies y las sociedades humanas que derivan de allí bienes (agua, madera, suelos, caza, pesca, especies útiles), y de servicios, que incluyen en la oferta climática, hídrica, energética y edáfica, fundamentales para la agricultura, la ganadería y la mayoría de las actividades humanas.

El entendimiento de las características y dinámicas ambientales que se han desarrollado en la eco-región Andina y específicamente en los territorios ubicados en la franja alto-andina³, permitirán abordar el concepto de región ambiental o eco-región propuesto por Pérez y Rojas (2008), el cual involucra a estos ecosistemas como unidad física, biótica y cultural para el análisis de las problemáticas ambientales y servirá como eje para la planificación y gestión del territorio.

Basados en el concepto de eco-región y sus ecosistemas estratégicos se asumirá e interpretará la complejidad de la franja alto andina como un sistema abierto con continuos flujos energéticos, donde los impactos ambientales ocasionados en estos sistemas pueden ser trasladados desde el sistema local al global o viceversa. Comprender las dinámicas y el impacto que se han generado por la agricultura en este tipo de sistemas desde su contexto y el ambiente global; representan un gran reto, teniendo en cuenta que el desarrollo social del territorio ha sido el resultado de una compleja interacción de factores que requieren una profunda comprensión para abrir nuevas puertas en el manejo de los sistemas naturales propios de la franja alto-andina y agricultura verdaderamente sustentable, donde se involucra a la población, a partir de reconocer sus experiencias productivas, estableciendo una comparación entre las características del territorio y las actividades de la agricultura tradicional e industrializada. Como

³ Franja alto andina: Entre 2800 – 3200m. constituye una zona ecotónica entre, la vegetación cerrada de la media montaña y la abierta de la parte alta; las comunidades incluyen bosques altos dominados por especies de *Weinmannia* (encenillos) *Hesperomeles* (mortiños) de *Clethra* y de *Escallonia* (tibar, rodamonte), (Rangel Ch, 2000).

lo plantea Sevilla, (2003), desde la otra manera de interpretar la sociedad a partir de una “otra modernidad”; ya que los cambios que experimenta el planeta por sí mismo más los inducidos, se presentan al tiempo con profundas variaciones en los hábitos y forma de vivir y pensar de las últimas generaciones de humanos (Duque, 2010).

Considerando que los territorios de la franja alto-andina desde el año 1500 hasta la actualidad han sido impactados por la agricultura migratoria (AM) que se desarrollan en tres fases básicas: (1) conversión, (2) cultivo, y (3) barbecho, con prácticas de roza, tumba y quema; que tienen periodos de duración de 3 a 5 años, han permitido el establecimiento de actividades productivas intensas como el cultivo de papa, donde los ecosistemas más afectados por este cambio de uso del suelo (CUS) son los bosques de la franja alto-andina (Barrios *et al.*, 2005; Etter *et al.*, 2008; Ribeiro *et al.*, 2013). Se estima que el área sembrada de papa en Colombia es de 160.000 ha al año, con un rendimiento que ha presentado mejoras sustanciales, pasando de 17,48 ton/ha en el año 2005 a 19,13 en el año 2010 (Fedepapa 2013) y una producción total anual cercana a 3.060.800 ton. Lo que ha generado procesos de transformación de los ecosistemas andinos (páramos, subpáramos y zonas de bosque alto-andino) (Buytaert *et al.*, 2006; Castaño, 2002; Hofstede, 2003; Fedepapa, 2004) .

Investigaciones realizadas por Almorox *et al.*, (2010); Etter *et al.*, (2006); Rangel,(2002); Van der Hammen, (2002a) afirman que son los grandes “paperos” quienes destruyen con maquinaria, amplias áreas de bosque, pero también la ganadería y sus quemadas han tenido una influencia muy negativa sobre el suelo, la vegetación y la biodiversidad en muchas zonas andinas. Lo cual ha cambiado la configuración natural de las coberturas vegetales que ahora están dominadas por cultivos, pasturas, matorrales y suelos erosionados.

En la actualidad para Colombia no se conocen investigaciones sobre los procesos o dinámicas de CUS, ni sobre la influencia de la agricultura migratoria en ecosistemas de la franja alto-andina, los cuales se caracterizan por ser zonas de ecotonía entre la vegetación de bosque andino y sub-páramo, con rangos altitudinales de 2800 a 3200 msnm (idealmente) y comunidades vegetales dominadas por especies de *Weinmannia* (encenillos), de *Hesperomeles* (mortiños), de *Clethra* y de *Escallonia* (tibar, rodamonte).

Para estos ecosistemas se ha generado información principalmente para las zonas bajas, encontrando tasas de deforestación (0,8%) para bosque andino, vinculadas con algunas variables del paisaje y el contexto socioeconómico (densidad de población y establecimiento de actividades productivas intensivas como café y ganadería) (Etter *et al.*, 2008). Donde se ha reconocido que las actividades agropecuarias son los principales impulsores de la dinámica de (CUS) y tienen una relación de tipo "proximal" como la accesibilidad a suelos y "exógenos" con los mercados mundiales de productos básicos y las políticas nacionales e internacionales; procesos que han generado transformación y degradación a escala, regional y local (Armentaras y Rodríguez, 2014; Etter *et al.*, 2008; Lambin y Meyfroidt, 2010; Wyman y Stein, 2010).

El país tiene mucha incertidumbre sobre la dinámica de CUS en la franja alto-andina y su relación con la intensificación agropecuaria, el abandono de tierras y los patrones de fragmentación del paisaje. Un primer paso para comprender las dinámicas de CUS y su relación espacial, es identificar los tres tipos de impulsores de cambio: i) causas proximales (acciones físicas humanas que alteran directamente el paisaje) ii) fuerzas motrices subyacentes (fuerzas socio-políticas, económicas y culturales que sustentan las causas próximas) y iii) controladores espaciales de patrones (características biofísicas del paisaje); estos últimos, aunque no sean las causas fundamentales ni las acciones directas que impactan un cambio de uso del suelo, determinan donde se producirán los

cambios (Echeverría *et al.*, 2012; Geist y Lambin, 2001; Mitsuda y Ito, 2011; Newman *et al.*, 2014).

En segunda instancia es prioritario relacionar a nivel espacial los procesos humanos y del ambiente natural que coexisten sobre el tiempo y el espacio del CUS (An *et al.*, 2008; Putz y Redford, 2010), a través de las causas raíz y el metabolismo social rural que se desarrolla en cada territorio; de esta forma, se podrá determinar la vulnerabilidad de los ecosistemas de la franja alto-andina a procesos de degradación por CUS, no solo en términos de estructura, si no, también en relación a la complejidad de las interacciones humano-medioambiente que ocurren y varían a lo largo del tiempo (Ferrier y Drielsma, 2010).

Para abordar este tipo de análisis se seleccionó como zona de estudio la parte alta de la subcuenta río Palacé o Corregimiento de Gabriel López, ubicada en la cordillera central de los andes colombianos y caracterizada como ecosistema de la franja alto-andina, donde se presenta una alta producción de papa y ganadería extensiva que ha transformado el US y la oferta de servicios ecosistémicos.

1.2 Pregunta de investigación

¿Qué factores biofísicos e impulsores de cambio (directo o indirecto) son determinantes en las dinámicas de transformación y susceptibilidad a la degradación, por cambios de uso del suelo en los ecosistemas de la franja alto-andina?

1.3 Hipótesis

En los ecosistemas de la franja alto-andina caucana las características biofísicas como: relieve, suelo, clima y tipo de cobertura vegetal son un determinante de las dinámicas de transformación y cambio de uso del suelo.

Impulsores directos e indirectos como las políticas de ordenamiento y manejo del territorio (ley 200 de 1936), la economía de máxima producción en menor tiempo (revolución verde) y los movimientos sociales han configurado las dinámicas de US/CUS.

La susceptibilidad de los suelos a procesos de degradación por cambio de uso del suelo en ecosistemas de la franja alto-andina está determinada por la intensificación de la agricultura migratoria que modifican el nivel de fertilidad evidenciado en propiedades del suelo como: pH, carbono orgánico, densidad aparente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar las dinámicas de transformación y degradación que se han generado por el cambio de uso del suelo en los últimos 50 años en una eco-región de la franja alto-andina del departamento del Cauca.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar las características biofísicas que determinan la dinámica de transformación y cambio de uso de suelo en el corregimiento de Gabriel López, Totoró, Cauca, Colombia.
- Caracterizar los impulsores directos e indirectos que han configurado el US/CUS.
- Determinar la susceptibilidad a la degradación de los suelos por actividades antrópicas.

1.5 Justificación

Un indicador de cambios ambientales y procesos de degradación es la cobertura y estructura del bosque, la cual a nivel global disminuyó en 1.4 millones de kilómetros cuadrados entre 1990 y el 2010. En Colombia durante esa misma década la cobertura de bosques naturales pasó de 56.5% a 51.4% (MADS, 2014). Donde los ecosistemas naturales han sido transformados para el establecimiento de praderas para ganadería, áreas agrícolas, cultivos de uso ilícito, extracción de madera, minería a cielo abierto, el desarrollo urbano, la construcción de obras de infraestructura y urbanización e introducción de especies que en algunos casos son invasoras, afectando el equilibrio de los sistemas ecológicos. Sin embargo recientemente se ha visto que la tasa de deforestación ha disminuido, mientras aumenta la degradación del bosque (Cabrera y Ramírez 2014)

Se ha reconocido que los impulsores o motores de transformación y degradación de las coberturas naturales hacen referencia a la manera en que la sociedad se desempeña en el territorio y define la relación sociedad – naturaleza.

Los principales impulsores están relacionados con:

- 1) Cambio de uso de suelo: a nivel nacional involucra tres aspectos el establecimiento de actividades agropecuaria en laderas empinadas y franjas de los ríos; la ocupación por parte de las comunidades pobres de tierras con productividad agropecuaria marginal expuestas a la violencia. Además, se estima que el 73.3% de la deforestación en Colombia es causada por la expansión de la frontera agrícola y la colonización; siendo la conversión para uso ganadero la principal causa (Ospina y Vanegas 2012).
- 2) Disminución, pérdida o degradación de elementos de los ecosistemas nativos y agro-ecosistemas. El proyecto Reducción de Emisiones por

Deforestación y Degradación (REDD) estima que la transformación de coberturas vegetales tiene una pérdida anual de 336.581 ha, por año. Estas dinámicas de transformación degradan aproximadamente 2.000 ha, de suelo al año en la región andina y afectan la competitividad del sector agrícola, la disponibilidad de alimentos, calidad y cantidad de agua. Así mismo, se estima que la degradación ambiental en Colombia representa pérdidas equivalentes al 3,5% del PIB (MADS 2014).

De acuerdo a los resultados del diagnóstico de la problemática del recurso suelo en Colombia, en el proyecto Gestión Integral Ambiental del Recurso Suelo GIARS (IDEAM, MAVDT y IGAC, 2010), el problema central se define como la “Afectación de la calidad del recurso suelo y sus bienes y servicios ecosistémicos” y la “Creciente afectación de los suelos por procesos de degradación en Colombia”.

En el departamento del Cauca sobresale el Corregimiento de Gabriel López, donde se evidencia la implementación de prácticas agrícolas fundamentadas en la explotación, uso excesivo de agroquímicos y mecanización para el cultivo de papa atentando contra la calidad del suelo, agua, flora, fauna y la población; lo que ha generado procesos de degradación del suelo, disminución y sustitución de coberturas vegetales (bosques, paramos y especies invasoras).

La carencia de estudios sistémicos e interdisciplinarios que involucren información biofísica, socioeconómica y cultural han dificultado el entendimiento de la problemática y la toma de decisiones acertadas que sean acordes con la situación de sus pobladores. Por todo lo anterior se hace necesario para develar las problemáticas ambientales presentes en esta eco-región de la franja alto-andina determinar las dinámicas de transformación que se desarrollan en el corregimiento de Gabriel López, caracterizando los impulsores de cambio a escala espacio temporal que han generado transformación y degradación de los

suelos a partir de metodologías descriptivas y experimentales que sean consideradas en el diseño de estrategias metodológicas para la gestión sustentable del suelo. El abordar la complejidad de las problemáticas ambientales presentes en esta eco-región permitirá determinar la susceptibilidad a la degradación de los suelos por actividades antrópicas, utilizando diferentes herramientas metodológicas (indagación, datos de campo de las propiedades biofísicas del suelos historia y dinámica) como fundamento de indagación, historia y dinámica, que den las pautas para diseñar un marco conceptual de gestión del uso del suelo y se constituya en un elemento básico para la toma de decisiones y un eje central en los temas relacionados con la gestión y planificación ambiental de los territorios en ecosistemas de la franja alto-andina.

En este sentido, la presente investigación está acorde con los objetivos de milenio al enfocar estudios en sistemas de alto riesgo o hotspot como los de la franja alto-andina, que propendan por el aprovechamiento y conservación de recursos naturales, sin atentar con los conocimientos o prácticas tradicionales y tecnificadas; donde los problemas de la degradación ambiental generados por actividades agropecuarias sean evaluados de forma sistémica y abordados desde una perspectiva técnica y sociocultural de cada región.

CAPÍTULO 2.

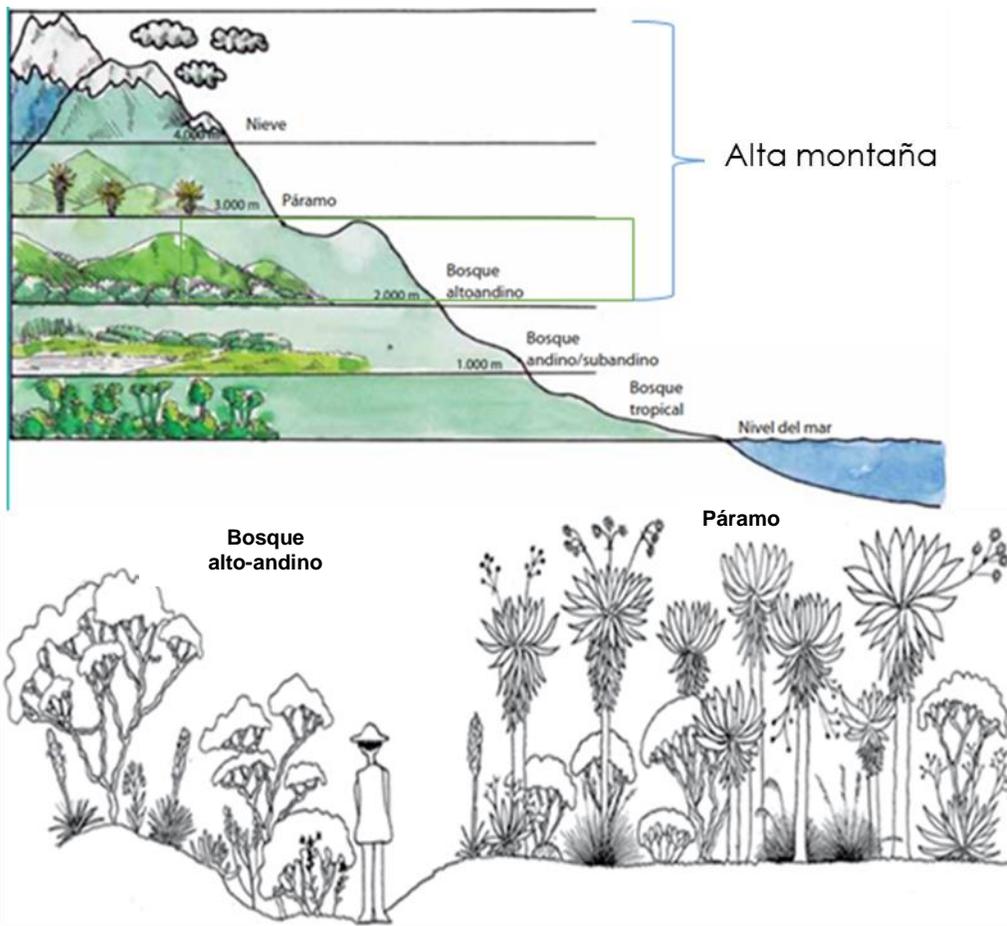
Caracterización ambiental de los ecosistemas de la franja alto-andina

La cadena montañosa de los Andes ha sido denominada como una de las cordilleras más importantes del mundo por su extensión, altitud, diversidad biológica, climas, geología, suelos y presencia de grupos sociales. Tiene una extensión aproximada de 7.400 km y una superficie de 200 millones de has, desde la costa del caribe hasta tierra del fuego, con alturas que llegan casi a los 7000 m.s.n.m. Recorre países denominados andinos como Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Entre estos se pueden diferenciar los plenamente andinos como Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, de aquellos que poseen un ámbito andino marginal, tal es el caso de Venezuela, Chile y Argentina. Los Andes tienen una población que sobrepasa los 30 millones de habitantes y se caracteriza a la vez por tener las condiciones de pobreza más bajas de Latinoamérica,(Tapia, 1993).

Los Andes constituyen una sola cadena montañosa hasta llegar a Colombia en el nudo de los Pastos donde se divide en dos cordilleras llamadas Occidental y Central, de esta última se desprende la cordillera Oriental. La especificidad de sus ambientes han dado origen a un conjunto de ecosistemas y paisajes que son delimitados altitudinalmente bajo la expresión de alta montaña, que agrupa, las culminaciones altitudinales del sistema cordillerano Andino, o áreas de mayor levantamiento orogénico (Flórez, 2003).

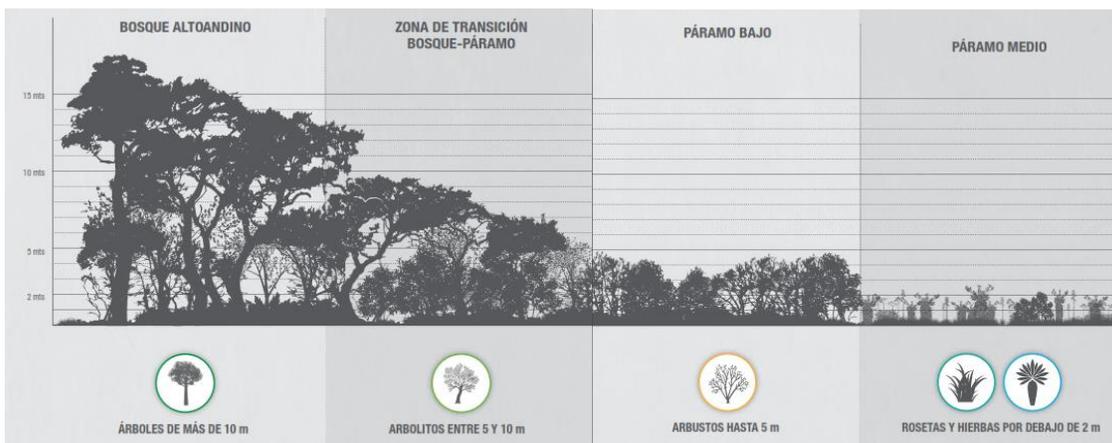
Rangel, (2000), en su caracterización de los ecosistemas de alta montaña describe a la franja alto-andina como un ecotono entre los ecosistemas de la región paramuna (altitudinalmente ubicados entre 3.300 hasta 4.600 ó 4.800 msnm) y el bosque subandinos (altitud menor a 2800 msnm). La franja alto-andina o bosques de niebla, ubicada generalmente entre 2.800 y 3.200 msnm (Figura 2 y 3). Holdridge (1978) describe esta franja por como una zonas de vida de Bosque húmedo montano (bh-M), Bosque muy húmedo montano (bmh-M) y Bosque pluvial montano (bp-M). Cuatrecasas (1958) también clasifica esta franja alto-andina como formaciones vegetales de Páramo, Subpáramo, Superpáramo y nival. Sanabria (2006) según el conocimiento local de los habitantes de estos territorios lo clasifica como Piso frio o Paramo. Sin embargo, los límites altitudinales en que se ubican estos ecosistemas no se deben generalizar a nivel nacional, debido a la diversidad de geoformas y topografía que se presenta en las cordilleras de los Andes (Rangel, 2000).

Los ecosistemas de la franja alto-andina se caracterizan por la formación a partir del vulcanismo, condiciones climáticas, formaciones vegetales, fauna, recursos hídricos y demás servicios ecosistémicos que ha dado forma a la orografía, estructura de suelos, coberturas vegetales y a las poblaciones humanas. En especial los suelos, que se han tipifican como andisoles, formados a partir de rocas ígneas volcánicas y metamórficas recubiertas por cenizas volcánicas superficiales, con frecuentes afloramientos rocosos en los sectores más escarpados. Son bien drenados y con buena capacidad de retención de humedad, presentan deslizamientos localizados, soliflucción y sectores erosionados. En general son ricos en materia orgánica, ácidos, de baja fertilidad con alta saturación de aluminio (IGAC 2009).



Fuente: Vásquez y Buitrago, (2012)

Figura 2. Características ambientales de la franja alto-andina



Tomado de Sarmiento y León, (2015)

Figura 3. Aspecto de las coberturas vegetales

El clima en los ecosistemas de la franja alto-andina está influenciados por los vientos Alisios y por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), que han generado altos niveles de humedad y lluvias anuales del orden de los 5.000 mm. Estas condiciones climáticas han permitido el establecimiento de una singularidad biológica, física y estructural de los procesos ecológicos, que proveen de bienes y servicios ambientales imprescindibles e insustituibles para el desarrollo sostenible y armónico de la sociedad (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Morales y Estévez, 2006). Servicios ecosistémicos que van desde la regulación hídrica, climática, abastecimiento de productos agrícolas, recursos genéticos, productos bioquímicos, agua potable y cultura relacionados con la espiritualidad, identidad, turismo, donde los impactos ambientales ocasionados en estos ecosistemas pueden ser trasladados desde el sistema local, al global o viceversa; como un sistema abierto que tienen continuos flujos energéticos de entrada y salida (Cabrera y Ramírez 2014).

Gran parte de los ecosistemas presentes en la franja alto-andina han sido considerados como sitios prioritarios para la conservación global de la biodiversidad, debido a su riqueza específica, concentración de endemismos, especies raras o especies amenazadas (Castaño, 2002; Tabeni *et al.*, 2004). Sin embargo esta franja se encuentra en un alto grado de amenaza antrópica debido al establecimiento de actividades agrícolas relacionadas con el cultivo de papa y la ganadería (Rodríguez *et al.*, 2010) que han provocado la disminución progresiva de estos escenarios naturales (Morales y Estévez 2006), donde existen fuertes interacciones no lineales, que determinan el nivel de intensidad de una actividad y las dinámicas de transformación. Comprender estos procesos sistémicamente significa colocarlos en un contexto y establecer la naturaleza de sus relaciones (Capra y Sempau, 1998; Tommasino, 2006).

En esta propuesta, dada la importancia de los ecosistemas de la franja alto-andina toma el concepto de eco-región, propuesto por las ciencias ambientales para entender las dinámicas que se han establecido entre el hombre y la naturaleza en una unidad territorial caracterizada por condiciones biofísicas similares e interdependientes con capacidad de mantenerse en el tiempo (Figura 4). Este abordaje permitirá establecer las relaciones que en un espacio determinado, dentro de un país, se han desarrollado entre la naturaleza y la sociedad que la habita y usufructúa (Pérez y Rojas, 2008) por su valor natural o su importancia para la actividad económica y el bienestar de la población, cuya oferta de bienes y servicios ambientales depende en gran medida de la dinamización, sostenibilidad del desarrollo regional y la viabilidad económico-social (Arango Gaviria, 2011).

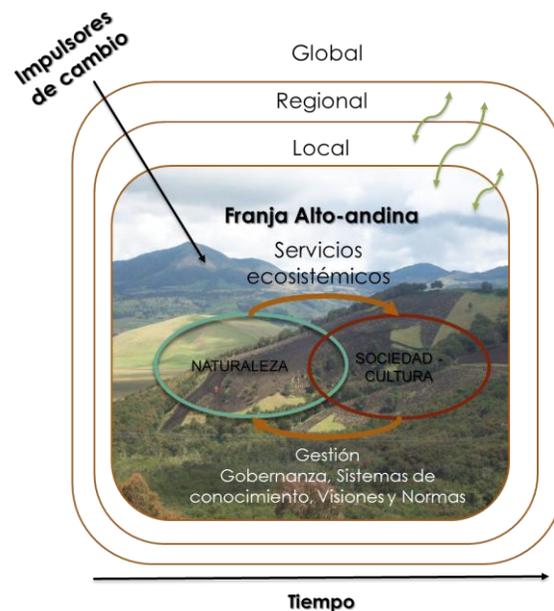


Figura 4. Dinámicas en la eco-región de la franja alto-andina

En este caso la franja alto-andina ubicada entre las coordenadas geográficas a $76^{\circ} 20' 53''$ W; $2^{\circ} 31' 20''$ N del corregimiento de Gabriel López, departamento Cauca (Figura 5, 6, 7) se define como eco-región por la gran oferta de servicios ecosistémicos que le brinda a la población. Donde las principales actividades

económicas son la agricultura; especialmente el cultivo de papa y la ganadería desarrollada de forma tradicional y tecnificada en la cual interactúan latifundio y minifundio (Gonzalez, 1982), generando procesos de transformación que afectan los suelos, fuentes hídricas y pérdida de especies (CRC y ACUC-GL, 2010).

Los suelos en esta eco-región geomorfológicamente, pertenecen a las llamadas colinas inter montañas de la cordillera central, su relieve es ondulado a fuertemente ondulado, presenta disecciones profundas, con pendientes cortas y medias, rectilíneas de 7-12-25-50%. Algunos sectores tienen relieve suavemente ondulado, y otros, llegan a ser fuertemente quebrados. Son colinas situadas entre 2800 y 3200 msnm, de clima muy frío (páramo) y corresponden a las zona de vida de bosque muy húmedo Montano (bmh-M), afectadas por frecuentes heladas y muy fuertes vientos. Las temperaturas varían entre 0° C y 22° C y la precipitación tiene una media anual de 1082, 21 mm.

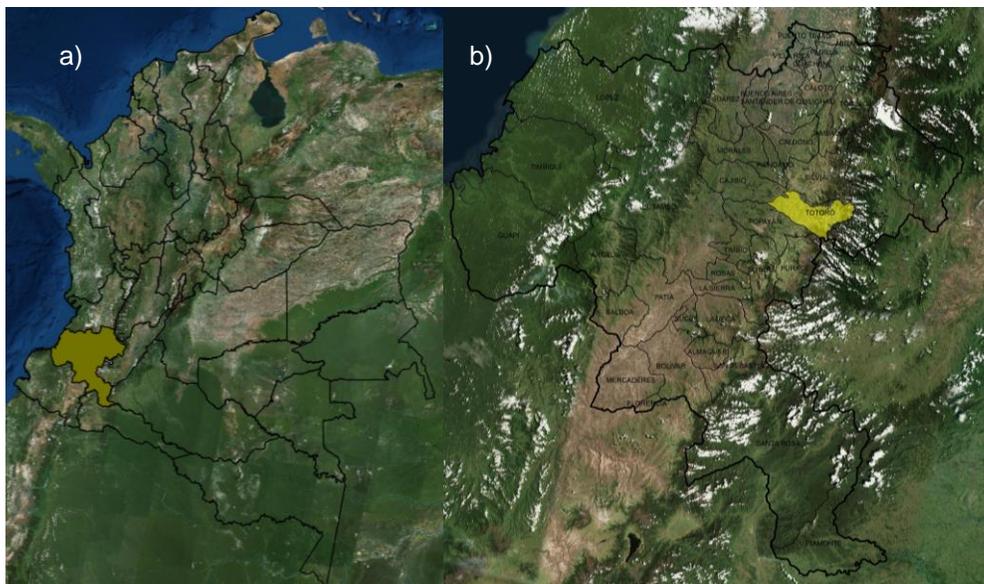


Figura 5. Ubicación geográfica a) Colombia, Departamento del Cauca; b) Cauca, Municipio de Totoró.

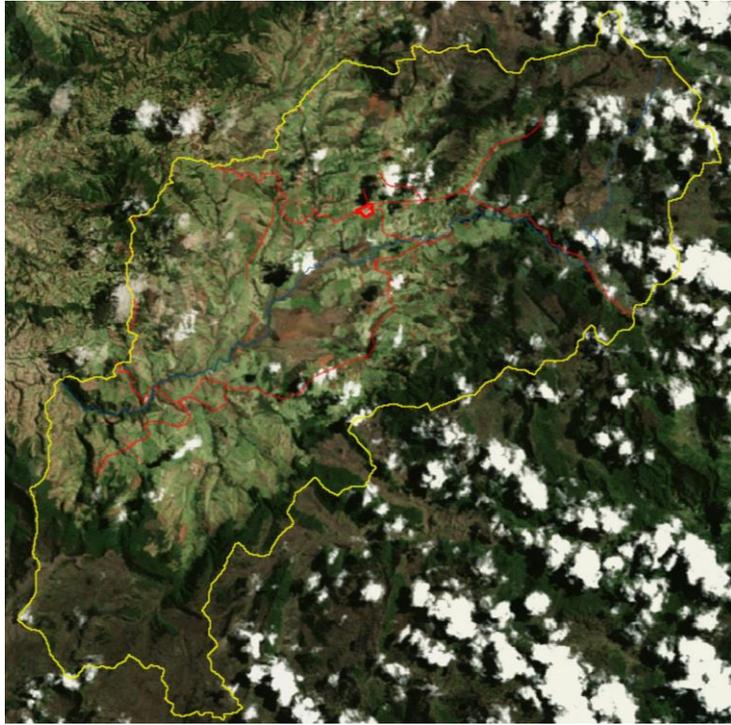


Figura 6. Franja alto-andina de la subcuenca del río Palacé.



Figura 7. Zona urbana corregimiento de Gabriel López, Municipio de Tutoró.

CAPÍTULO 3.

Dinámicas de transformación de uso del suelo en la franja alto-andina

Dinámicas de transformación de uso del suelo

Las regiones montañosas como los Alpes, el Himalaya y los Andes son de particular interés debido a que contienen atributos físicos y biológicos que responden rápidamente y de forma visible al estrés ambiental, a diferencia de otras regiones geográficas de áreas bajas. Los impactos más visibles se identifican en la pérdida y transformación de áreas glaciares, zonas ecotonales, transformación de la cobertura de suelo, junto con cambios en los rangos climáticos de temperatura y precipitación (López, Wright, y Costanza, 2016).

En los Andes, las condiciones ambientales propias de cada territorio juegan un papel clave en la función, distribución y definición de los ecosistemas; algunos estudios sugieren que un indicador de proceso de transformación es el estado de la vegetación tropical de montaña; la cual es muy sensible a las perturbaciones ya sean de tipo natural o antrópico, principalmente las relacionadas con el uso intensivo del suelo para urbanizar, actividades agrícolas y pecuarias, tala de bosque; que han provocado cambios significativos a nivel de estructura del paisaje, disminución de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos relacionados (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Rindfuss et al., 2004). Los anteriores procesos de transformación en los Andes son producto de un largo periodo de desarrollo humano, donde gran parte de la cobertura natural fue convertida a uso de suelo humano. Esta historia de cambios en la superficie del suelo ha impactado fuertemente aspectos locales, regionales y globales en términos ecosistémicos, creando cambios en el clima, degradación de la

biodiversidad y fluctuación de los ciclos biogeoquímicos e hidrológicos en una escala global (Mitsuda y Ito, 2011; Salazar et al. 2015); de esta forma el cambio de uso del suelo no solo es un problema local, si no también un problema global (Bradshaw *et al.*, 2008; Chowdhury, 2006).

En este orden de ideas, es claro que históricamente en la región alto-andina colombiana se ha desarrollado una intensa actividad antrópica desde épocas prehispánicas como lo evidenciaron (Etter *et al.*, 2008; Etter y van Wyngaarden, 2000), donde la ocupación antes de la colonia fue relativamente escasa y por lo tanto ecológicamente más estable, con la colonización española se introdujeron sistemas nuevos de apropiación de tierras, desplazamiento de poblaciones a mayores altitudes e introducción de nuevas especies animales que ocasionaron una pérdida gradual de las formas tradicionales de subsistencia basadas en recolección, pesca, caza, las cuáles eran tendientes al nomadismo y al sedentarismo. La agricultura se valía de herramientas especializadas para aquel momento, como los palos escaradores de siembra, macanas de piedra o hueso y el azadón muy empleado hoy por los pequeños agricultores en ladera, que no afectaron drásticamente las características de estos suelos (Cantor y Morales, 2008).

Tras la llegada de los colonos al nuevo mundo, se introdujo una transformación en los procesos productivos, ambientales, sociales, económicos, políticos y científicos motivados por la búsqueda de oro, perlas, maderas, durante el periodo de 1492 a 1740 que lo denominó Márquez, (2001) colapso demográfico, restauración natural, introducción de exóticas. En los años 1740-1850 durante la independencia y los albores de la revolución industrial, la producción agropecuaria adquiere importancia, basada en haciendas y plantaciones, con mayor participación de población mestiza libre. Además la Expedición Botánica promovida para buscar nuevos recursos naturales, pone en evidencia su riqueza, sin necesidad de cultivar o preocuparse por conservar.

En el periodo de 1850-1950, Márquez, (2001) propone que la oferta de recursos naturales útiles disminuye, generando exceso de mano de obra, tierras abandonadas e introduce el término “deterioro ambiental” para referirse a los procesos de transformación y degradación de ecosistemas. A partir de 1920 los emigrantes transformaron las laderas en tierras arables y pastos; en este periodo surgió la ley 200 de 1936 que reglamenta el otorgamiento de terrenos baldíos por el INCORA, esta ley incentiva el desmonte o tala de las selvas tropicales andinas que no tienen un título de propiedad, otorgándoles este derecho a quienes logren dejar estas tierras aptas para la agricultura o la ganadería.

Después de 1940, al extenderse los cultivos de caña de azúcar, algodón, soya y maíz hacia los valles, se creó una presión hacia las laderas, ya que los ganaderos se retiraron hacia estos terrenos generalmente con suelos de origen volcánico, lo que incrementó la demanda sobre la tierra y como consecuencia mayor intensidad de los procesos de la erosión (Feijoo *et al.*, 2007). De aquí en adelante el auge de cultivos como el café, papa, trigo, maíz, frijol cambiaron la configuración de las coberturas vegetales de la franja alto-andina, donde los relictos de selva disminuyeron dejando solo franjas de protección para fuentes de agua y se maximizaron los espacios para cultivos, presentándose los primeros indicios de degradación por erosión del suelo (IDEAM, 2001) (Tabla 2), donde se reporta que en Colombia durante tres décadas más de 2'300.000 has, son erosionadas, a una escala superior a 1.8 ton/km²/año.

Tabla 1. Estudios de Erosión y degradación en Colombia

ORGANISMO	Década	Escala	Intensidad de degradación (%)	Erosión (%)	
INDERENA	70	1: 1'000.000	Sin erosión	24,8	75,2
			Erosión hídrica	51,4	
			Remoción en masa	23,5	
			Erosión eólica	0,3	
IGAC	80	1: 3'400.000	Sin erosión	50,51	49,6
			Muy ligera	4,96	
			Ligera	23,11	
			Moderada	12,9	
			Severa	7,9	
			Muy severa	0,73	
IDEAM	90	1: 500.000	Sin degradación	52	48
			Muy baja	4,6	
			Baja	9,5	
			Moderada	8,9	
			Alta	10,8	
			Muy alta	14,2	

Los cambios ocasionados en los suelos de la franja alto-andina a nivel estructural y funcional están relacionados con alteración de los patrones espaciales de la vegetación, geometrización del territorio, alteración de los ciclos hidrológicos, reducción de la capacidad productiva y alteración aparente de cambios locales y regionales del clima (Etter *et al.* 2006).

Castaño, (2002) y Morales (2006) consideran que los ecosistemas de la franja alto-andinos son los de mayor afectación antrópica del continente, debido a las actividades humanas ligadas a sistemas de producción extensiva, bien sea de tipo agrícola, ganadero o minero. La disminución de los períodos de descanso del suelo después del cultivo, el aumento de la frecuencia de las quemas y el sobre pastoreo, son algunos de los factores que conducen a una degradación de sus condiciones originales y a la introducción de formaciones vegetales secundarias (Rodríguez *et al.*, 2010). Estas actividades han generado dinámicas de

transformación que son el resultado de un cambio de forma o estado ya sea en el ambiente natural o social, que hacen susceptible o sensible estos ecosistemas a procesos de degradación ambiental (Bakr et al., 2012).

En Colombia se registra que los ecosistemas más afectados por el cambio de uso del suelo desde el año 1500 hasta la actualidad son los bosques andinos y secos, donde los impulsores directos de cambio están relacionados con la densidad poblacional y el establecimiento de actividades productivas intensas (el arroz con 21 %, la papa con 19 %, pastos con 14%, el banano con 7 %, la caña de azúcar 6%, el café 5%, las hortalizas 5%, el algodón 4%, las flores 4%, el maíz 4%, el tomate 3%, los frutales 3% y otros 5% que además en su orden son los cultivos de mayor demanda de agroquímicos) (Andrés Etter, McAlpine y Possingham 2008).

El cultivo de papa, ubicado generalmente en la franja alto-andina por presentar la mayor aptitud agrícola; Fedepapa, (2013) afirma que en la mayoría de las zonas productoras se hace un uso inadecuado de los agroquímicos, especialmente en lo concerniente a plaguicidas y que el 95 % de los agricultores de papa del país realiza aplicaciones de plaguicidas parcial o totalmente desprotegidos de indumentaria apropiada.

En los últimos años los cultivos de papa han transformado drásticamente los ecosistemas andinos (páramos, subpáramos y zonas de bosque alto-andino) (Buytaert et al., 2006; Castaño, 2002; R Hofstede, 2003), donde se identifica que la relación de explotación del Páramo para el cultivo de papa ha llevado a una significativa transformación y profundos cambios en la composición, estructura y dinámica en ecosistemas de montaña de clima frío, básicamente por la tumba y quema de la vegetación natural para el establecimiento de los cultivos de papa en condiciones óptimas u homogéneas para las variedades Parda Pastusa, Diacol Capiro, Criolla, Tuquerreña, Ica Unica, Ica Puracé y otras variedades regionales

sembradas en menor proporción, como se realizan en los departamentos de mayor producción Cundinamarca, Boyacá Nariño y Antioquia que constituyen el 90% de la producción total nacional, el porcentaje restante se distribuye en la franja alto-andina de los departamentos de Caldas, Cauca, Norte de Santander, Quindío, Santander y Tolima, en los cuales se encuentra el 31.3% de las áreas de Páramos del país (Fedepapa, 2004).

Se estima que el área sembrada de papa en Colombia es de 160.000 ha, al año con un rendimiento que ha presentado mejoras sustanciales, pasando de 17.48 ton/ha en el año 2005 a 19.13 en el año 2010 (FEDEPAPA, 2013a) y una producción total anual cercana a 3.060.800 ton. En el país existen unas 90.000 familias que se dedican al cultivo de la papa generándose en él, a su vez, alrededor de 20 millones de jornales al año. A lo largo del país los agricultores se encuentran dispersos en cerca de 250 municipios con diversidad de condiciones ambientales, una amplia gama de prácticas de tipo técnico y cultural para el manejo del cultivo producto.

Con la expansión del cultivo de papa y su tecnificación se ha destruido amplias áreas de bosque alto-andino y páramo que han tenido una influencia muy negativa sobre el suelo, la vegetación y la biodiversidad; lo que ha generado una influencia negativa sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales, además de graves consecuencias ambientales que permiten concluir que el uso inadecuado de los ecosistemas de franja alto-andina está llegando a límites alarmantes (Almorox et al., 2010; Etter et al., 2006; Van der Hammen, 2002b).

Actualmente se reconoce que el modelo productivo del monocultivo de papa, asociado a pastos, es una de las principales amenazas para los bosques alto-andinos, los páramos; los suelos, el recurso hídrico, la diversidad biológica. Sin embargo el modelo productivo de monocultivo y pastizales es una característica productiva de los agricultores en la franja alto-andina y está en función del tipo de

activos que poseen; lo cual plantea un enorme reto en términos de manejo ambiental, adopción de buenas prácticas y tecnologías apropiadas, así como la redefinición de la relación cultural de los cultivadores de papa con los ecosistemas de la franja alto-andina (FEDEPAPA y MAVDT, 2004; Agudelo et al., 2003).

En el departamento del Cauca los municipios ubicados en la franja alto-andina (Almaguer, Jambaló, La Vega, San Sebastián, Silvia, Totoró y Puracé) basan la producción agrícola en el cultivo de papa, con especies comerciales como: Parda Pastusa, Diacol, Capiro, Ica, Chitagá, Tuquerreña o Sabanera, Salentina, Argentina, Papa Criolla (FEDEPAPA, 2013a; IGAC, 2009). El uso y manejo de los suelos para cultivos de papa y pasturas para ganadería ha sido insostenible en varios de los anteriores municipios, generando deterioro de los ecosistemas de la franja alto-andina e impactos directos en la actividad productiva, la población, los recursos naturales y al sistema económico; pues los agricultores para compensar la infertilidad de los predios hacen uso excesivo de insumos agrícolas para satisfacer las necesidades de los cultivos afectando no sólo al parcelario o pequeño agricultor y su economía familiar, sino además se traslada probablemente al sistema macroeconómico de Colombia.

En el departamento la franja alto-andina con mayor producción de papa se encuentra en el municipio de Totoró, Corregimiento de Gabriel López, también llamado Valle de Malvazá, ubicado en la parte alta de la subcuenca río Palacé (Figura 7), donde sus pobladores campesinos e indígenas están asentados en este territorio desde 1930 y han centrado su actividad económica en prácticas agropecuarias en torno al cultivo de papa y cultivos de clima frío, además de la ganadería extensiva. Tiene un área de 17.050 ha, donde 1.167,4 ha se encuentran en uso agrícola de las cuales 1.165 ha, corresponden al cultivo de papa (99.98%), con variedades Parda, Amarilla (Criolla o Yema de huevo), Colorada y Malvaceña, siendo esta última una variedad mejorada para las características climáticas, edafológicas y ambientales de la zona. Sanabria, 2006

describe las variedades cultivadas en la franja alto-andina (Tabla 3) de acuerdo a su nombres comunes, rango altitudinal y los ciclos. La producción abastece los mercados de los municipios de la Plata (Huila), Páez, Inzá y las plazas de mercado de la ciudad de Popayán. El resto de cultivos está representados en menor área para hierbas medicinales manzanilla, caléndula; cultivos de ullucos, mostaza, cebolla y hortalizas (CRC. y GL, 2010).

Tabla 2. Variedades de papa (*Solanum Tuberosum*)

NOMBRE COMUNES/VARIANTES	LOCALIDAD	ALTITUD	CICLOS (meses)	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Amarilla ka' ka bah (nasa)	Tierradentro	2300-2500	3, 5	Amarilla	
Batata ka' ka u' th (nasa)	Tierradentro	2300-2400	4, 5	Color café	
Bi'ch ka'ka (nasa)	Tierradentro	2300-2400		pocas veces se planta	Silvestre semilla escasa
Colorada ya (guambianos) ka' ka(nasa)	Silvia,Totoro, Tierradentro	2300-2500	3, 6	Redonda, mediana, amarilla	Frecuente, blanda al cocinar.Autoconsumo y venta
Colorada	Tierradentro	2400-3000	9, 10	Flor morada pequeña	Llamada "la chiquita" . Auto consumo y venta
Colorada careta	Tierradentro	2400-3000	3		Introducida
Guata ka'ka wata (nasa)	Tierradentro, Totoró	2500-2800	5, 7	Color café y oscura	Introducida.Autoconsumo y venta
Guata Monserrate	Totoró	2500-2800	5, 6	Semilla grande café oscura	Dura, introducida y comercial
Guata San Jorge	Totoró, Silvia	2400-2900	3	Color morado con manchas claras, semillas grandes	Introducida comercial
Guata Roja	Totoró, Silvia	2400-2600	5	Roja	Comercial y autoconsumo
Guativa	Totoró, Silvia	2400-2900	6, 8		Introducida de cundinamarca comercial
Morazurco	Totoró, Silvia	2400, 3000	4		Introducida comercial
Papa silvestre tornillo o rosquilla, negra Bi' h ka' ka (nasa)	Tierradentro	2400, 2600		Pocas veces se planta	Parecida a la Guata, poco frecuente. Autoconsumo
Parda	Totoró, Silvia	2500-2800	5, 6	Café, rosada. Pulpa blanca, grande	Sabrosa blanda

Malvaceña	Totoró	2800-3200	5, 6	Grande Café	
Parda pastusa	Totoró, Silvia	2400-3000	6, 8		Introducida de Pasto (Nariño). Comercial
Yema de huevo	Totoró, Silvia, Tierradentro	2300-2500	4, 5	Amarilla, de flor morada	Auto consumo

Modificado de (Sanabria, 2006)

Por otra parte, existen 5.215 has, de pastos, para actividades pecuarias representadas principalmente para levante y ceba, como también para ganado de leche, desarrolladas de forma exclusiva en áreas superiores a 60 ha, en algunos casos con mejoramiento de praderas en periodos cortos con Ray Grass, Poa, Falsa Poa y Nudillo. Estas prácticas agropecuarias han afectado directamente las características de las coberturas vegetales y los suelos generando procesos de degradación.

“Para comprender las dinámicas de transformación generadas por el cultivo de papa en el territorio, es necesario llegar hasta los años 1955-1960 con la llegada de los sembradores de papa provenientes de Cundinamarca, Boyacá y Pasto. Anterior a ellos el cultivo se realizaba de forma tradicional utilizando abonos orgánicos, mezclados con cenizas y cal agrícola, estiércol de caballo para variedades de papa amarilla y papa batata”. Relatado por los habitantes de la zona y corroborado en CRC y ACUC-GL 2010).

En la actualidad al comparar los diferentes sistemas de producción en la zona se encontró que las fincas con sistema productivo manejado empresarialmente genera mensualmente los mayores excedentes, que no superan en mucho a los generados por las fincas campesinas multifuncionales, y el capital necesario para sostener tales fincas no es muy diferente; lo cual llevo a concluir que las fincas multifuncionales campesinas de pequeños productores pasaron de ser más eficiente, no solo económica, sino social y ambientalmente según Cadena (2011) a un sistema industrializado y dependiente del mercado (Tabla 3).

Tabla 3. Costos para la producción en una hectárea de suelo destinada al cultivo de papa de pequeños productores.

SIEMBRA DE UNA HECTAREA DE PAPA				
DETALLE	MEDIDA	CANTIDAD ha	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
INSUMOS SIEMBRA				
Calfos	bultos	20	32.000	640.000
Semilla	bultos	20	80.000	1.600.000
Abono 10-30-10	bultos	20	84.000	1.680.000
Eltra	litros	2	58.000	116.000
Kazunin	litros	2	43.000	86.000
Carbendazim	litros	2	25.000	50.000
SUBTOTAL SIEMBRA				4.172.000
INSUMOS DESHIERBA				
Cipermectrina	litros	2	22.000	44.000
Fitoraz	libras	3	22.500	67.500
Irricol Inicio	litros	6	12.500	75.000
Eltra	litros	2	58.000	116.000
Humita 15	litros	2	18.000	36.000
10-20-20	bultos	20	83.000	1.660.000
SUBTOTAL SIEMBRA				1.998.500
INSUMOS APORQUE				
Pirestar	litros	2	88.000	176.000
Foscrop	litros	3	40.000	120.000
Curzate	libra	40	19.000	760.000
Manzate	kilos	40	18.500	740.000
Azuco	litros	15	16.000	240.000
Rambler	litros	12	22.000	264.000
Abafed	litros	10	48.000	480.000
Trivia	libras	10	23.000	230.000
Gramozone	litros	4	23.000	92.000
Empaque	bloques	700	800	560.000
Hilos	conos	1	11.500	11.500
SUBTOTAL DE INSUMOS				3.673.500
MANO DE OBRA				
Arado y rotavitiado (4 Horas)	hora	1	20.000	20.000
Siembra de papa parda	contrato	1	200.000	200.000
Desyerba	contrato	1	300.000	300.000
Aporque	contrato	1	300.000	300.000
Control de plagas	contrato	1	300.000	300.000

Control de enfermedades	contrato	1	300.000	300.000
Costos de cosechada	jornal	45	25.000	1.125.000
Arrendo	contrato	1	600.000	600.000
SUBTOTAL MANO DE OBRA				3.145.000
Otros gastos imprevistos				
TOTAL COSTOS DE PRODUCCION				12.989.000

Tabla 4. Costos para la producción en una hectárea de suelo destinada al cultivo de papa de grandes productores.

SIEMBRA DE UNA HECTAREA DE PAPA				
DETALLE	MEDIDA	CANTIDAD ha	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ANALISISDESUELO				
Análisis de suelo	Muestra	1,000	98.500	98.500
PREPRACIÓNDETERRENO				
Preparación	ha	1		800.000
SEMILLA				
Semillas	Bultos50Kg.	40	35.000	1.400.000
FERTILIZANTES				
Fertilización Retape(Rafos)	Bultos50Kg	24	83.000	1.992.000
Elementos menoresVicor3	Bultos50Kg	5	65.000	325.000
Calfos o Cal agrícola	Bultos50Kg	20	27.000	540.000
Reabone Produmag	Bultos50Kg	4	72.000	288.000
Reabone(10.20.30)	Bultos50Kg	12	75.000	900.000
INSUMOS DE SIEMBRA				
Insecticidas				80.000
Regent	Litros	0,5	160.000	80.000
Fungicidas				350.000
Pulsor	Litros	2,0	150.000	300.000
Validacin	Litros	1,0	50.000	50.000
Insumos Foliares				
Irricolinicio	Kg	10,0	10.000	100.000
Tracite	Litros	4,5	30.000	135.000
Klikcalcioboro	Litros	2,4	14.000	33.600
Nutrifoliar	Litros	2,0	20.000	40.000
Irricolflores y frutos	Kg	10,0	10.000	100.000
Insecticidas				624.100
Regent	Litros	0,5	145.000	72.500
Engeo	Litros	2,0	156.000	312.000

Lannate	Litros	1,4	70.000	98.000
Decisflux	Litros	0,2	50.000	10.000
Curacron	Litros	1,2	33.000	39.600
Orthene	Kg	2,0	18.000	36.000
Lorsban	Litros	2,0	28.000	56.000
Herbicidas				239.500
Select	Litros	1,3	71.000	92.300
Sencor	Litros	0,6	112.000	67.200
Roundup	Litros	3,0	16.000	48.000
Gramoxone	Litros	2,0	16.000	32.000
Fungicidas				2.050.500
Rhodax	Kg	4,0	18.000	72.000
Foruim	Litros	3,0	75.000	225.000
Revus	Litros	3,0	111.000	333.000
Daconil	Litros	13,0	28.000	364.000
Infinito	Litros	4,5	99.000	445.500
Trivia	Kg.	8,0	18.500	148.000
Fotasio	Litros	3,0	30.000	90.000
Sangotan	Litros	3,6	50.000	180.000
Azucro	Litros	4,5	14.000	63.000
Nativo	Litros	1,0	130.000	130.000
Adherentes				80.000
Efiaguas	Litros	4,0	20.000	80.000
LABORES CULTURALES				2.040.000
Siembra	ha	1	400.000	400.000
Deshierba	ha	1	220.000	220.000
Aporque	ha	1	300.000	300.000
Riego	ha	-		-
Fumigación	ha	16	70.000	1.120.000
ARRENDAMIENTO				1.500.000
Arrendamiento	ciclo	1	1.500.000	1.500.000
OTROS				300.000
Combustible	ha	1	300.000	300.000
COSTOSTOTALES				14.016.200

Este nuevo sistema de producción ha generado pérdida de áreas destinadas a la conservación como son las coberturas de bosque alto-andino y páramos durante 17 años comprendidos entre 1989-2006 (Tabla 5) y un aumento considerable en áreas de producción (CRC y ACUC-GL 2010).

Tabla 5. Cambio de coberturas en el corregimiento de Gabriel López.

Cobertura	1989(ha)	%	2006(ha)	%	TC	Diferencia en áreas 2006-1989	Incremento porcentual
Bosque Natural	6397,5	37,5	5844,3	34,3	-1,5	-553,2	-8,6
Páramos	6964,1	40,9	3633,7	21,3	-8,1	-3330,4	-47,8
Cultivos	1632,0	9,6	1868,6	11,0	2,5	236,6	14,5
Pastos	1376,7	8,1	5205,6	30,6	47,3	3828,9	278,1
Área total producción	3008,8	17,6	7074,2	41,5	23,0	4065,5	135,1
Área total conservación	13361,6	78,4	9478,0	55,6	-9,6	-3883,6	-56,5

Fuente (CRC. y GL, 2010)

Se ha identificado que los efectos de la utilización de agroquímicos como clorpirifos y diazinón usados en el cultivo de papa, tienen un alto riesgo de movimiento por escorrentía a lugares diferentes del aplicado como son las fuentes hídricas (Pérez, 2010). Los incrementos en los niveles de escorrentía superficial por la exposición de suelos al eliminar la cobertura vegetal y dejarlo expuesto a lluvias de alta intensidad han generado pérdidas de suelo superiores a 1,2 ton/ha/mes; este tipo de fenómenos han dejado los suelos del corregimiento de expuestos a procesos erosivos que modifican severamente las condiciones físicas, químicas, biológicas y la productividad de los ecosistemas alto-andinos, representando los síntomas visibles de la degradación de tierras (MAVDT *et al.*, 2010; Muñoz *et al.*, 2010,2009;Muñoz, Perez y Otero 2014).

Tandioy (2008), para la misma zona de estudio registró la transformación de coberturas vegetales de bosque alto-andino a sistemas de producción agrícola de papa y pastizales para las tres temporalidades (1979, 1987,1999), indicando que es un sistema intervenido con altos niveles de degradación (Tabla 6).

Tabla 6. Coberturas vegetales y su área, identificadas para los años 1979 - 1987 - 1999 en la zona de estudio a partir de fotografías aéreas e imagen satelital.

Coberturas	ÁREA(ha)		
	1979	1987	1999
Arbustos	122,87	101,85	189,33
Bosque Abierto	56,78	39,14	36,99
Bosque Denso	350,23	296,36	273,89
Cultivos	34,85	46,35	542,99
Frailejonal-Pajonal	202,83	200,35	149,47
Humedal	374,22	423,14	362,10
Pastizales	1073,84	1108,40	660,84

Fuente (Tandioy, 2008)

3.2 Cambio de uso del suelo

Los territorios a lo largo del tiempo han establecido una relación directa con sus habitantes a través del uso del suelo, creando procesos de cambios y transformación acordes a las necesidades del momento ya sea para madera, agricultura y urbanizar. Un ejemplo de estos procesos cambio de uso de suelo es la conversión de la cobertura vegetal natural a una de uso humano como los cultivos y las plantaciones forestales. Estas dinámicas de cambio se establecen de acuerdo a la concepción de las formas de adaptación, apropiación e identidad que se dan en cada territorio. Sin embargo, en las últimas décadas estos CUS han representado transformaciones de forma rápida y profunda en los ecosistemas estratégicos como son los de la franja alto-andina; lo que ha creado una disminución de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos relacionados (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Rindfuss et al., 2004); temas que en la actualidad son de interés para las disciplinas ambientales que pretenden interpretar la complejidad de las dinámicas en un territorio (Guevara y Montalvo 2015).

Es importante establecer que los usos de suelo en cada territorio hacen referencia al conjunto de actividades que el ser humano desarrolla con cierto tipo de coberturas y está asociado con fines sociales y económicos (agricultura comercial, ganadería intensiva); donde la sustentabilidad de los recursos naturales es fundamental para soportar estas actividades productivas. Por lo tanto la permanencia de un ecosistema está determinada por la intensidad en que se modifica la cobertura vegetal (Rodríguez *et al.*, 2010) y las dinámicas socio-económicas de transformación y cambio de uso que establecen los habitantes de un territorio; donde el cambio de uso del suelo (CUS) incluye tanto la conversión directa de la superficie de la tierra y cambios en las prácticas de gestión de la tierra (DeFries *et al.* 2004).

El más extenso fenómeno de CUS es la deforestación para expansión agrícola, la extracción de madera y la expansión de infraestructura, que han establecido una relación directa entre el humano y la conversión de la superficie del suelo (Geist y Lambin 2001). Entre los efectos directos de estas actividades se encuentra la emisión de carbono derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques especialmente en las regiones tropicales (Achard *et al.* 2014). Por otro lado, los cambios en las prácticas de gestión de la tierra que están relacionados con el cambio de agricultura tradicional a una intensiva que necesita adecuación de suelos, fertilización intensiva y que finalmente cuando el suelo deja de ser productivo genera abandono de sistemas agrícolas (Hendrickx *et al.* 2007). Estas prácticas agrícolas se han convertido en un objetivo importante para el análisis de las dinámicas de CUS. En Japón, la despoblación de las zonas rurales se ha traducido en un aumento de las zonas agrícolas abandonadas, que ha cambiado el paisaje rural (Kamada y Nakagoshi 1997). Las dinámicas de transformación de territorios de áreas agrícolas a urbanas es de gran importancia para entender los procesos de degradación, deforestación y el abandono de la tierra rurales (Wood, Rhemtulla, and Coomes 2016).

En la actualidad se han promovido diferentes aproximaciones metodológicas para estudiar los procesos de CUS y los impactos que el ser humano realiza sobre los sistemas naturales o ecológicos como son: evaluaciones de causa-efecto, matrices o listas de chequeo, modelos de región, multi-región, análisis de ciclos de retroalimentación y modelos de simulación (Wiedmann *et al.*, 2007). Geist y Lambin, (2001) proponen cuatro tipos de modelos para explicar los patrones de US/CUS: modelos de estadística empírica, que se basan en el conocimiento que tiene el investigador sobre los diferentes fenómenos que ocurren el territorio usando ecuaciones matemáticas. Los modelos estocásticos toman datos en un momento y lugar para explicar los procesos y son más de tipo puntual. Los modelos de optimización retoman los datos de tipo estocástico para realizar simulaciones a partir logaritmos matemáticos que permiten hacer predicciones y por ultimo están los modelos dinámicos que tratan de tomar la información de los anteriores ya sea del conocimiento propio de los habitantes, entidades, fenómenos ocurridos y algún modelo para conocer a través del tiempo y un sin números de variables denominadas físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales que permiten generar una aproximación más real de los procesos que suceden en un territorio con datos, mecanismos y estrategias que serán de importancia para las entidades gubernamentales y los habitantes del territorio (Figura 8).



Figura 8. Modelos para el estudio de los procesos de CUS

Los modelos dinámicos son los que mejores resultados ha generado en la actualidad porque inician su análisis con la distribución espacial de US/CUS teniendo en cuenta atributos del sistema que determinan las áreas de CUS y las estrategias de gestión del paisaje más eficaces para el territorio.

El análisis parte de la distribución espacial de los usos del suelo y las unidades del paisaje; a través de métricas del paisaje que consideran al territorio como un sistema adaptativo complejo en aspectos ecológicos y socioeconómicos, que han sido alterados por perturbaciones naturales y antropogénicas (Forman y Godron, 1986; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Turner et al., 2007). Generalmente las perturbaciones humanas ocurren con más frecuencia, sobre áreas más extensas, y con mayor intensidad que las perturbaciones naturales. Además de los estudios sobre efectos de las perturbaciones ecológicas naturales en patrones del paisaje, estructura y función, encuentran que están conducidas por la influencia humana, que es uno de los principales objetivos de la ecología del paisaje (Grecchi et al. 2014; Michetti 2012) .

De otro lado los impulsores directos de US/CUS están relacionados de tres formas según Geist y Lambin 2001: 1) los llamados controladores espaciales de patrón (Tasser, Leitinger, y Tappeiner 2017; Echeverría et al. 2012) o características físicas del área de estudio como altura, pendiente, clima, suelo. 2) las fuerzas conductoras próximas que están relacionados con las acciones humanas que realizan las diferentes poblaciones a partir de su fuerza de trabajo como son talar, quemar, adecuar el terreno etc, que alteran directa o indirectamente el paisaje y las fuerzas subyacentes de tipo socio-políticas, económicas y culturales (Geist y Lambin, 2001) como las relacionadas con políticas públicas de producción y conservación. Estas características biofísicas y socio-económicas son propias del paisaje y determinan las dinámicas de transformación (Carmona et al., 2010; Newman et al., 2014) (Figura 9).



Figura 9. Impulsores de la dinámica de US/CUS.

3.3 Factores socioeconómicos y del ambiente natural

Los factores socioeconómicos o causas próximas para la presente investigación apoyan el análisis de las dinámicas de US/CUS al capturar las condiciones del suelo y la incidencia humana como también el desarrollo de infraestructura y la comunidad local, restricciones o soporte de políticas etc. Además los atributos de la tierra, los factores que representan el espacio y la configuración del uso del suelo, como proximidad y adyacencia a la deforestación, deben ser considerados, porque ellos reflejan los procesos de expansión espacial de uso del suelo. Como plantea Forman, (1995) las perturbaciones antropogénicas, a menudo progresan con los procesos de ampliación espacial.

Indicadores como la accesibilidad, permite determinar la distancia a la carretera más cercana, mercados y asentamientos; los cuales, reflejan la incidencia de procesos de deforestación como es el caso de la Amazonia Brasileira (Pfaff 1999; Mertens et al. 2002; Kirby et al. 2006; Aguiar et al. 2007), Cameroon (Mertens and Lambin 1997), Chile (Echeverria et al. 2008), Honduras (Nagendra et al. 2003), and Nigeria (Brimoh and Onishi 2007). Por el contrario Muller and Zeller (2002), muestra que la construcción de carreteras previene la deforestación en Vietnam. También como la construcción de carreteras facilita el desarrollo de

infraestructura tales como reservorios y sistemas de irrigación y consecuentemente incremento la productividad agrícola, esto alentó un cambio en las prácticas agrícolas como la agricultura migratoria, que causaba deforestación, por el cultivo de arroz. Algunos modelos de regresión han adoptado variables relacionadas con carreteras para explicar la distribución espacial del abandono de la agricultura y subsecuentemente obtienen resultados que indican que la agricultura de tierras localizadas lejos de las carreteras tenía más probabilidad de ser abandonada (e.g., Gellrich and Zimmermann 2007). En adición a la distancia más cercana a las carreteras, fue usada la distancia al río más cercano para evaluar la superioridad de transporte por ejemplo en la Amazonia brasileña (Pfaff 1999; Mertens et al 2002; Aguiar et al., 2007) y Chile, por (Echeverría et al., 2008). Variables que indican conectividad a los mercados muestran algunos efectos en los modelos de deforestación y fueron discutidos en relación a los costos de transporte (Aguiar et al. 2007). Las anteriores variables fueron profundamente relacionadas con el US/CUS que han influido en los procesos de desarrollo de la comunidad local.

Mertens y Lambin (1997) reportan que la ocurrencia de la deforestación en los alrededores de las ciudades donde tenían recursos forestales alrededor era bastante bajo, y la ocurrencia aumentó con la distancia entre 3-10 km de la ciudad, luego disminuyó con la distancia. Mertens et al. (2002) demostraron que el efecto de la distancia de los pueblos y ciudades fue inversa en algunos de sus modelos de la deforestación del Amazonas brasileño. Además, Aguiar et al. (2007) reportaron que la distancia a los centros urbanos se podría considerar como un indicador de la conectividad para el mercado y la población.

El desarrollo de la comunidad local se indicó, no sólo por la población y la fuerza de trabajo, sino también por el desarrollo tecnológico en la agricultura, la silvicultura, la construcción, y así sucesivamente. Mertens et al. (2002) demostraron que la presión para convertir en cultivo y pastos en terrenos de

bosque marginales aumentó con el aumento de la población local, y Kirby et al. (2006) mostraron el mismo resultado de la deforestación en la Amazonia brasileña. La proporción de fuerza de trabajo para cada sector económico también fue utilizada como variables explicativas. Por ejemplo, una menor proporción de agricultores a tiempo completo, incremento la proporción de los viajeros, y una mayor proporción de los sectores secundario y terciario aumentó la probabilidad de abandono de tierras en las zonas montañosas de Suiza (Gellrich y Zimmermann 2007; Rickebusch et al., 2007). Como los datos de población se obtiene probablemente un nivel de unidad administrativa y no tiene resolución espacial fina, los métodos para interpolar la distancia ponderada entre resolución más fina (por ejemplo, cuadrícula) se han adoptado en varios casos (por ejemplo, Braimoh y Onishi 2007). Para representar el desarrollo tecnológico en la agricultura, se identifica la propiedad del vehículo como variable explicativa en un análisis de supervivencia de los recursos forestales en México, lo que indica su efecto de aumentar la probabilidad de deforestación (Vance y Geoghegan 2002).

La distancia al borde del bosque fue un factor crucial para la deforestación en muchos estudios (por ejemplo, Mertens y Lambin 1997; Mertens et al 2002;.. Echeverría et al 2008). El estado del uso del suelo en tierras circundantes fue usado como variable para tener en cuenta el efecto de la vecina (Braimoh y Onishi 2007). Los índices de fragmentación (por ejemplo, Forman 1995) se discutieron con frecuencia en relación a los proceso de deforestación espacial (por ejemplo, Nagendra et al., 2003); Además, Mertens y Lambin (1997) utilizaron índices de fragmentación como una variable explicativa de áreas altamente fragmentadas que posteriormente tenderán a ser deforestados con mayor frecuencia.

Las restricciones políticas están orientadas a zonas de protección y a las zonas no protegidas. En la Amazonia brasileña la política de zonificación para delinear las áreas protegidas impedía la deforestación (Mertens et al 2002; Aguiar et al.,

2007). Por otro lado, los proyectos de desarrollo gubernamentales estimulan la tala de bosques (Pfaff, 1999). Del mismo modo, algunos informes mostraron efectos significativos de las restricciones políticas en contra de la deforestación en otras regiones (por ejemplo, Müller y Zeller, 2002).

Otras características a tener presente al realizar un análisis de US/CUS son los factores del ambiente natural que toma las condiciones del suelo, como productividad potencial, relieve topográfico etc. En muchos casos, la principal motivación para iniciar un uso del suelo es el beneficio económico (Mertens et al. 2002). Sin embargo factores socio-económicos pueden ayudar a entender estas relaciones directas, pero también pueden los factores del ambiente natural, porque las condiciones naturales limitan las actividades humanas y regulan las condiciones sociales y económicas hasta cierto punto.

Las variables más representativas del ambiente natural usadas son la elevación y la pendiente (por ejemplo, Iverson 1988; Turner et al 1996), que son consideradas variables sinópticas incluyendo climática, utilidad (por ejemplo, el costo para el desmonte de tierras), y efectos hidrológicos (por ejemplo, el riesgo de erosión del suelo). Generalmente, baja elevación y suave pendiente del suelo fueron preferidas para la deforestación (por ejemplo, Müller y Zeller 2002; Vance y Geoghegan 2002). Bosques en suaves pendientes del suelo tienden a estar en proceso de deforestación en el sur de Chile (Echeverría et al. 2008). Nagendra et al. (2003) muestra que la deforestación tiende a ocurrir en las zonas de bajas elevaciones en el occidente de Honduras y discutido esto en el contexto de la accesibilidad, el cual fue determinado por la elevación y la distancia a la carretera más cercana. En los modelos de abandono de la tierra, la pendiente es un factor importante y se observó una mayor probabilidad de abandono de las tierras en las pendientes más pronunciadas a través de análisis de modelo (Gellrich y Zimmermann 2007; Rickebusch et al., 2007).

El rendimiento agrícola de la tierra es la principal determinante de las dinámicas de US/CUS; por lo tanto, las condiciones naturales del suelo como: clima, profundidad, pedregosidad y la fertilidad son fundamentales para un análisis de transformación (Muller y Zeller, 2002). Frecuentemente usaron variables de productividad para representar condiciones como eran las precipitaciones anuales (Muller y Zeller, 2002) y el índice de la temperatura acumulada (Gellrich y Zimmermann 2007; Rickebusch et al 2007). El relieve topográfico relacionado con la dinámica suelo-agua también se utiliza para indicar la productividad potencial (Muller y Zeller 2002; Rutherford et al 2008). En general, la tierra con alto potencial de productividad tiende a estar deforestada (por ejemplo, Aguiar et al., 2007) y no abandonada (por ejemplo, Rickebusch et al. 2007). Se adoptan las variables climáticas como la duración de la estación seca (Kirby et al. 2006) y humedad (Aguiar et al., 2007) en los modelos de regresión para representar las condiciones de trabajo favorables para la tala de bosques o de las condiciones de vida favorables.

Estos factores denominados impulsores de cambio (directo, indirecto y subyacente) tienen una importancia relativa y varían de una región a otra por su relación con la política, tecnología, cultura y factores demográficos. En las selvas tropicales de América Latina, donde se ha producido la mayor parte de la investigación sobre los impulsores de cambio en la cobertura del suelo (H.J Geist y E.F Lambin, 2001; Kaimowitz et al., 2002) las variables ambientales, demográficas y socio-económicas han sido factores explicativos del cambio de la cubierta del suelo, incluyendo la idoneidad de los suelos para la agricultura, la migración rural-urbana, la riqueza relativa, el nivel de vida, los niveles de desempleo y la demanda mundial de alimentos (T. Mitchell Aide et al., 2013; H.J Geist y E.F Lambin, 2001).

A continuación se presenta una revisión de literatura sobre los factores que condicionan los patrones de uso y cambio de uso del suelo.

Tabla 7. Categorías que condicionan el cambio de uso de suelo

Factores que condicionan los patrones de uso y cambio de uso del suelo				
Categoría	Subcategoría	Variable	Literatura	
Ambiente natural	Cobertura y uso del suelo	Tipo de cobertura	Rangel 2008; IDEAM, 2010; IGAC, 2015	
		Distancia de US	Echeverría <i>et al.</i> (2008)	
		US circundante	Braimoh y Onishi (2007)	
	Topografía	Fragmentación	Forman y Godron, 1986; Turner <i>et al.</i> , 2007; Galicia, 2007	
		Elevación	Vance and Geoghegan (2002)	
	Productividad	Pendiente	Muller and Zeller (2002) Gellrich and Zimmermann (2007)	
		Suelo	Aguiar <i>et al.</i> (2007)	
	Factor socio-económico	Accesibilidad	Clima	Rickebusch <i>et al.</i> (2007)
			Distancia a carreteras	Mertens <i>et al.</i> (2002) Gellrich and Zimmermann (2007)
			Conectividad a mercados	Aguiar <i>et al.</i> (2007)
Desarrollo de la comunidad local		Distancias asentamientos	Muller and Zeller (2002)	
		Población	Kirby <i>et al.</i> (2006)	
		Fuerza de trabajo	Rickebusch <i>et al.</i> (2007)	
Configuración espacial		Tecnología	Vance and Geoghegan (2002)	
		Distancia al borde CUS	Echeverría <i>et al.</i> (2008)	
		Uso del suelo circundante	Braimoh and Onishi (2007)	
Restricciones políticas		Fragmentación	Mertens and Lambin (1997)	
	Protección	Mertens <i>et al.</i> (2002)		

Modificado de Mitsuda y Ito 2011

Los estudios a escala nacional de uso del suelo (Campos *et al.*, 2012; Etter *et al.*, 2006) proporcionan información limitada acerca de las fuerzas motrices que operan a nivel local. Adicionalmente la agregación de datos a escalas geográficas más grandes puede conducir a conclusiones falsas acerca de los factores que influyen en los agentes de cambio (Etter *et al.*, 2006; H.J Geist y E.F Lambin, 2001; Turner *et al.*, 2007). Estudios de cambio de uso del suelos a nivel local arrojan información para la planificación, conservación y proporcionan estimaciones más realistas y precisas de los impactos de las tendencias sociales,

políticas y económicas, así como los cambios en el paisaje físico, los cuales influyen en las decisiones para el uso (Etter *et al.*, 2006; Kaimowitz *et al.*, 2002; Verburg *et al.*, 2009).

Los estudios locales del ambiente biofísico se han enfocado en las dinámicas del uso del suelo y cambio de cobertura (US/CUS) utilizando imágenes de satélite Landsat para analizar e identificar las transiciones sistemáticas del paisaje, su relación con los cambios poblacionales y las actividades económicas. El método convencional para evaluar los cambios del uso del suelo es comparar mapas bi-temporal sobre la base de imágenes satelitales para producir matrices de cambio de uso del suelo (V. Muñoz y López, 2008).

Newman *et al.* (2014) en su investigación sobre los factores locales que determinan el uso del suelo, involucra variables biofísicas y socioeconómicas para entender las dinámicas de transformación que se han generado en países del trópico y concluyen que las características biofísicas del paisaje eran particularmente significativas. Los factores socio-económicos considerados, como demografía fueron los más importantes en la deforestación, mientras que los factores económicos y la situación de reserva de bosque fueron más significativos como motores de la reforestación. Por lo tanto, la deforestación ha sido limitada por la inaccesibilidad a mano de obra y las restricciones de capital, mientras que la reforestación ha sido restringido por la disponibilidad de capital y la rentabilidad de la producción agrícola (Yackulic *et al.*, 2011). La dinámica de los impulsores de cambio de la cobertura del suelo se debe tanto a procesos endógenos, como a la degradación física, química y biológica del suelo. Los procesos exógenos, tales como los niveles de empleo nacionales y la ampliación de los mercados internacionales ponen en evidencia la importancia de examinar cambios en el uso del suelo a través de escalas temporales.

En Colombia estudios realizados por Armenteras *et al.*, (2003); Dolors Armenteras *et al.*, (2006); Etter *et al.*, (2008) y Etter *et al.*, (2006) relacionan el cambio de cobertura del suelo, con la influencia del ambiente biofísico y socioeconómico para determinar los impulsores de cambio, encontrando que hay una relación de tipo "proximal" como la accesibilidad a suelos y "exógenos" como los mercados mundiales de productos básicos y las políticas nacionales e internacionales.

Las anteriores investigaciones dan a conocer como los principales cambios de uso de suelo en la franja alto-andina colombiana se dan por actividades agropecuarias relacionadas con el cultivo de papa, cultivos de uso ilícito y ganadería extensiva, desarrollo de infraestructura (vías de comunicación, instalaciones comerciales e industriales) que han generado desplazamiento y llegada de la población, presión sobre los ecosistemas naturales y aumento de la demanda de alimentos.

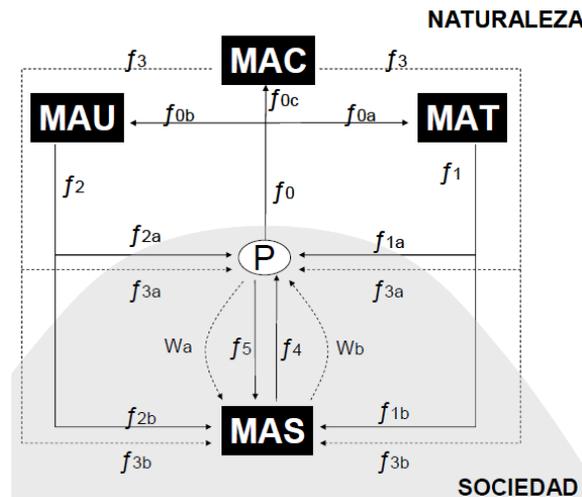
Con esta investigación se determinan las dinámicas de transformación del uso del suelo en una eco-región alto-andina considerando: el ambiente biofísicos (Coberturas naturales y antrópicas, Pendiente, Geología y Geomorfología, Suelos, Clima, Fauna, Flora, Agua) y socioeconómico (Accesibilidad, Población, educación, empleo, servicios básicos, políticas, cultivos ilícitos y el conflicto armado) para determinar la susceptibilidad a la degradación del suelo y proponer un marco conceptual contextual para la región.

Lo anterior requiere un análisis descriptivo⁴ junto a las inferencias teóricas y experimentales⁵, como las planteadas por Víctor. M. Toledo (2008), en las cuatro unidades de análisis para abordar el estudio de la dinámica de los ambientes

⁴ Metodología no controlada que describe un fenómeno en un momento de tiempo o en forma periódica. Permite caracterizar una población o un fenómeno e identificar las variables que pueden describir a un proceso (Amézquita, 2011).

⁵ Inferencia teórica y experimental aluden a cómo y cuándo se generan y procesan los datos, o qué teoría de las propuestas predice y explica mejor su funcionamiento (León, 2001).

transformados, donde divide la población en: el medio ambiente utilizado (MAU), el medio ambiente transformado (o domesticado) (MAT), el medio ambiente conservado (MAC) y el medio ambiente social (MAS), propuesto esquemáticamente en la figura 10.



Fuente Toledo (2008)

Figura 10. Dinámica de los ambientes transformados

El MAU hace referencia a fragmentos de naturaleza que se apropian sin provocar un quiebre en la estructura ecosistémica como: vegetación, suelo, agua, etc. MAT son los sistemas artificiales o creados por el hombre como agricultura, ganadería, piscicultura, plantaciones forestales etc. MAC son las “reservas naturales” que no ofrecen bienes sino diversos servicios y MAS está constituido por todos aquellos sectores de la totalidad social que estando fuera de los límites de P (unidad de básica de apropiación) realizan algún tipo de intercambio con dicha unidad.

El flujo f_0 , representa la fuerza que toda unidad P ejerce con el fin de realizar la apropiación, de vencer una resistencia intrínseca en los ecosistemas y apropiarse los recursos potenciales que permanecen en ellos. W, es la cantidad de trabajo que P vende al MAS (flujo W_a) y (flujo W_b) es la cantidad de trabajo que P compra del MAS

El estudio de la complejidad de los ambientes transformados en la eco-región Alto-andina se abordan desde el concepto de coevolución es decir; las relaciones que ocurren no solo en la unidad productiva sino en la matriz comunitaria en la que se inserta el agricultor, al conjunto de relaciones que ocurren entre él y su medio social y natural, dotándolo de una praxis intelectual y política (E. Sevilla, 2007), se les denomina “co-evolución”⁶ social y ecológica.

De ahí la importancia de utilizar indicadores ambientales como piezas de información útil y sintetizada, para relacionar dos o más variables que se consideran explicativas de un proceso, una acción, una política pública, fenómenos complejos y hagan posible valorar el estado general de un sistema, ya que el propósito fundamental de un indicador es enviar una señal a un agente (ciudadano, dependencia gubernamental, empresa u organización civil), de tal forma que le ayude a evaluar una situación y le permita tomar decisiones pertinentes, de manera oportuna. En este sentido, no puede separarse al indicador de su grupo de usuarios objetivo. Una colección de indicadores puede combinarse para crear un valor único llamado índice (Fernández y García, 2005).

Por lo anterior los indicadores se tornan un elemento importante para la integración de propuestas y estrategias alternativas desde los grupos sociales y no solo desde la base económica. Se pretende desde lo endógeno, crear una conexión del conocimiento local, tanto con los recursos naturales (potencial natural) y con la organización de las fuerzas sociales (potencial humano) (Alonso Mielgo et al., 2001; P. Tapia, Nelson, 2008).

⁶ El principio de co-evolución implica que cualquier sistema agrario e incluso cualquier finca que se analice es producto de las relaciones entre los seres humanos y la naturaleza (Gliessman, 2002; Guzman et al., 2000; V.M. Toledo, 2002; V. M. Toledo y Barrera, 2008)

Al estimular el diálogo y la cooperación entre los distintos actores sociales⁷ de conocimiento, será más fácil llegar a la coevolución de distintas formas de pensamiento como los planteados en las ciencias ambientales, cuando se alude a lo ambiental como el fruto de la relación entre sociedad - naturaleza o entre ecosistema y cultura; considerando al ser humano como quien determina las características y evolución del medio natural, y la humanidad es producto de determinaciones culturales, donde tales determinaciones culturales, desde aspectos históricos, religiosos, políticos, económicos, y científico-tecnológicos, son los que regulan el grado de intervención de la sociedad sobre la naturaleza (Cubillos, 2010), o como plantea Boersema, (2009) las ciencias ambientales como el estudio de los problemas ambientales generados por el ser humano y esas problemáticas ambientales evidencian una crisis de la racionalidad social del proyecto civilizatorio, ya que la Tierra ha entrado en una nueva época geológica, denominada Antropoceno término que ha sido acuñado por el premio Nobel Paul Crutzen para capturar la idea de que los seres humanos actualmente representan las fuerzas rectoras de la naturaleza (PNUMA, 2012).

En este sentido es importante abordar la problemática de cambio de uso del suelo, desde una triple perspectiva: ecológico-productiva, socioeconómica y sociopolítica como lo plantea (Guzman et al., 2000; G. E. Sevilla, 2003).

Así los tres niveles de indagación o perspectivas de investigación son:

Ecológico-productivo (distributivo): en esta perspectiva juega un papel central la caracterización sistemática del conjunto de datos obtenidos de la realidad que permite describirla en forma tal que pueda ser posible entender la situación de los hechos, sean estos sociales o naturales. Se sitúa aquí la información aportada por

⁷ Actores sociales: hace referencia a grupos organizaciones o instituciones que interactúan en la sociedad y que, por iniciativa propia, lanzan propuestas que tienen incidencia social.

las ciencias ambientales, respecto al uso y manejo de los recursos naturales, y los contextos sociales en los que se inscriben.

Socioeconómica de acción local (Estructural): consiste en el intento de explicar las relaciones existentes entre los fenómenos analizados, en términos de la percepción de los sujetos que intervinieren en los mismos, a través de los discursos y acciones ejecutados por éstos. Se genera así una información cualitativa y cuantitativa que dota de sentido sociocultural a los procesos generados en la realidad, sean naturales o sociales. Ésta perspectiva constituye la operativización del plano socioeconómico y cultural por lo que busca generar dinámicas participativas, desde los intereses de los propios participantes, tal como ellos los definen y obtener el discurso de los actores para incorporarlo a las metodologías participativas, dotando de un sentido sociocultural a los procesos generados ya sean estos naturales o sociales.

Sociopolítica (dialéctica): esta perspectiva constituye la culminación del proceso de investigación ya que articula las dos perspectivas anteriores, que para la presente investigación se han denominado unidad biofísica y socioeconómica- e incorpora una nueva situación en la relación que se establece en todo proceso de investigación entre los investigadores, la población y los sistemas naturales presentes en la franja alto-andina del Municipio de Totoró-Colombia. En esta “instancia” han sido incorporados al proceso investigador, el conocimiento del funcionamiento de los sistemas naturales, los aspectos tecnológicos respecto al manejo ecológico; y la caracterización de los actores colectivos involucrados en el “problema”. Igualmente se cuenta ya con el conjunto de explicaciones obtenidas de la interrelación cualitativo-cuantitativa acumulada en el proceso de investigación sobre las estructuras integrantes del “problema” aportadas por la perspectiva socioeconómica que trata de mezclar cambios mentales y sociales de una localidad que la hace competente para aumentar su nivel de vida de forma progresiva y permanente, a través de la utilización de sus propios recursos

naturales y humanos. Con los resultados se pretende; dialécticamente, intervenir y articularse con el objeto investigado para incidir conjuntamente, en forma crítica, en el curso de las dinámicas de transformación antrópica y la degradación de los suelos en la eco-región.

CAPÍTULO 4.

Enfoque metodológico

La metodología básica utilizada en esta investigación se fundamentó en los enfoques cuantitativos, cualitativos o mixtos de la estadística, para la selección de un área de estudio que tuviera la configuración típica de un ecosistema de la franja alto-andina. De esta forma se seleccionó el Corregimiento de Gabriel López o parte alta de la cuenca del río Palcé con un área de 15.650 ha. Territorio al cual se le realizó un análisis de coberturas y uso del suelo para determinar la tasa de cambio de sus coberturas vegetales, la dinámica espacial de uso del suelo, los patrones de fragmentación y su relación con factores físicos y químicos del suelo.

Los procedimientos metodológicos se describen a continuación:

4.1 Procesamiento de imágenes de satélite

Con ayuda de Imágenes de satélite se realizó el análisis de cambio de coberturas a nivel espacial y temporal, utilizando dos tipos de datos: 1) conjunto de bases de datos. GIS derivados de tres escenas satelitales (1989,1999, 2008) Landsat Thematic Mapper (TM imágenes) descargadas en el año 2012 de science for a changing⁸ que constan de siete bandas espectrales con una resolución espacial de 30x30 metros para las bandas de 1 a 5 y 7 (IGAC, 2005, 2015) y 2) puntos de control en tierra (PCT).

⁸ <http://glovis.usgs.gov/>

Con ayuda del software ERDAS IMAGINE 9.1 se realizó la corrección geométrica y la remoción de la oscuridad en las áreas montañosas utilizando un modelo digital de elevación (MDE). Seguidamente se realizó una clasificación supervisada partiendo de la codificación de las unidades de paisaje, propuestas por CORINE Land Cover a escala 1:100000 adaptada para Colombia (IDEAM et al., 2008) y el tipo de intervención antrópica que se presentan en el área de estudio con lo cual se agrupó las coberturas vegetales más representativas de la siguiente forma:

1. Páramo Bajo: cobertura vegetal de bajo porte compuesta por gramíneas de tipo pajonal, entremezclada con frailejones y otras especies.
2. Bosque Natural Denso Bajo: cobertura de bosque alto-andino primario o casi bosque maduro.
3. Bosque Fragmentado: cobertura de árboles o arbustos producto de tala, rosa y quema que se encuentran en algún grado de sucesión natural debido al abandono del suelo.
4. Humedal natural: cobertura sobre suelo pantanoso con alta presencia de turberas.
5. Pastizal: cobertura vegetal dominada por especies de gramíneas, uso pastoreo del ganado o barbecho.
6. Cultivos transitorios: cobertura de corta duración con variedades de papa, ulluco y hortalizas).

4.2 Cambio de cobertura y deforestación

A cada cobertura del suelo se le estimó la tasa de cambio mediante la aplicación del indicador denominado “Cambio multitemporal del área de páramos, bosques, sabanas, agro-ecosistemas y humedales”, (IDEAM et al., 2008), que se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta A = (A2 - A1) / (T2 - T1)$$

ΔA = Cambio en la superficie de la cobertura de ecosistemas analizados.
A1 = Superficie total de la cobertura analizada para el año inicial.
A2 = Superficie total de la cobertura analizada para el año final.
T1 = Tiempo inicial.
T2 = Tiempo final.

La tasa anual de deforestación fue obtenida a partir de la ecuación propuesta por (Trejo y Dirzo 2000).

$$r = 1 - (1 - (A1 - A2) / A1)^{1/t}$$

r = Tasa de deforestación
A1 = Área deforestada en el inicio del periodo
A2 = Área deforestada al final del periodo
t = intervalo de tiempo (en años).

Esta ecuación permite identificar el patrón espacial de degradación del bosque analizado y su conversión a i) páramo, ii) bosque natural y ii) Bosque intervenido.

4.3 Determinación de las dinámicas de cambios de cobertura en términos de modificación y conversión (conservación y perturbación).

Para determinar las dinámicas de cambio en los tipos de cobertura del suelo se utilizó como herramienta matrices de transición con los datos observados en los periodos de estudio (1989-1999; 1999-2008), conteniendo en uno de los ejes las clases de uso del suelo del primer año y en el otro las clases del segundo año. De esta forma, los datos de la diagonal principal indican las áreas que han permanecido intactas en el tiempo para cada clase y las que se encuentran fuera, representan la transición de una clase a otra en forma de ganancia, si se encuentra en las filas o perdidas si se encuentra en las columnas (Berlanga

Robles et al., 2010). Las coberturas vegetales se reagruparon de acuerdo a su dominancia en dos procesos a) Modificación, incluye procesos de conservación e intensificación; y b) Conversión, cuando involucra procesos de perturbación y regeneración.

Modificación de coberturas y uso del suelo se utilizó para agrupar los cambios en la condición de cualquier tipo de cobertura que no diera lugar a una transformación sustancial de la vegetación (entre natural o agrícola) o el sistema de uso de la tierra asociado a este; para lo cual se identificaron dos tipos principales de modificación en el área de estudio: Conservación, que se refiere a la continuidad y, por lo tanto, una alta resiliencia de los tipos de vegetación madura (Bradley et al. 2016) e Intensificación que se refiere a la continuidad de la agricultura, usos urbano, industriales; por lo tanto, las presiones agrícolas que actúan en contra de la resiliencia de las áreas afectadas. La intensificación resulta de la permanencia de las actividades humanas a través del tiempo, que empeoró los problemas ecológicos y tiene efectos irreversibles, limitando la resiliencia en gran parte a través del tiempo (Dumbrovský et al. 2014). Las coberturas en proceso de conservación se basaron en la madurez del sistema a través de su estructura física. En el caso del bosque alto andinos se diferenciaron las comunidades de árboles, arbustos, vegetación de páramo y el humedal.

La conversión de la cobertura incluye cualquier cambio en la cobertura del uso del suelo que implica una alteración de la intensidad de los tipos de manejo de recursos y, por lo tanto, puede favorecer o dificultar ambientalmente la estabilidad y resiliencia en los bosques.

Los diferentes tipos de cambio se evaluaron con criterios cualitativos que consideran la relación entre tipo de cobertura, extensión de la vegetación en conservación y tipo de perturbación e intensidad (Galicia y García-Romero 2007; Toledo 2008). Para el cálculo se los procesos de perturbación se prestó especial

atención a la permanencia de las coberturas de tipo antrópico y los procesos que condujeron a situaciones desfavorables; en el caso de la regeneración hace referencia a procesos de recuperación o resiliencia.

4.4 Fragmentación

El patrón espacial de fragmentación del bosque se evaluó con el software FRAGSTATS 4.2, utilizando los índices de fragmentación: a) tamaño de parche representa el área de cada cobertura, b) número de parches, permite identificar el número de fragmentos de cada cobertura, c) densidad de parche, proporciona el número de fragmentos por unidad de área, d) longitud del parche hace referencia a el área contenida a lo largo del parche, e) Índice de forma calcula la complejidad de forma del fragmento el cual incrementa en la medida que el parche se torne más irregular o cuando la longitud del borde del mismo se incremente, f) Índice de conectividad, representa la distancia a un fragmento de la misma clase, cuyo radio fue definido a una distancia de 300 m. Los patrones a nivel de parche y paisaje permitirán identificar el grado de intervención o fragmentación que presentan las coberturas vegetales (Forman y Godron 1986; Galicia *et al.* 2008).

4.5 Unidades cartográficas de suelos (UCS)

Se utilizó la clasificación cartográfica propuesta por (IGAC 2009) basada en metodología USDA (1985), para integrar 1) tipo paisaje M (Montaña); 2) clima ambiental H (muy frío húmedo: altitudes entre los 3000 a 3200 m, con temperatura media anual de 10°C y una precipitación promedio anual de 2750 mm), K (frío muy húmedo: se ubica en altitudes entre los 2800 a 3000 m, temperatura media anual entre 10°C a 12°C y precipitación promedio anual entre 1750 a 2375 mm), L (frío húmedo: en altitudes entre los 2700 y 2900 m, con una temperatura media anual entre 13°C a 15°C y precipitación promedio anual entre 1050 a 1200 mm), 3) Asociación de suelos A (Typic placudands, lithic fulvudands y

Lithic Melanudands); D (Acrudoxic Hapludands, Pachic Melanudands, Typic Placudands); A (Typic Hapludands, Typic Fulvudands, Andic Dystrudepts y afloramientos rocosos); B (Typic Fulvudands, Acrudoxic Fulvudands y Typic Dystrudepts); F (Typic Melanudands, Thaptic Hapludands y Typic Placudands); y 4) subíndices que indican pendiente b (4 a 8%), d (8 a 12), e (12 a 17), g (>20%) y 5) nivel erosión 1(ligeramente), 2(moderado)(IGAC 2009).

4.6 Talleres de cartografía social

En talleres con la comunidad fue validada la información espacial generada y se realizaron algunas encuestas semi-estructuradas (ver Anexo 1 y 2) para entender la dinámica social del territorio y su relación con el cambio de uso del suelo. Esta interacción permitió conocer de forma directa las relaciones que existen en el corregimiento con las características del suelo, los métodos de siembra, manejo de cultivo tradicional y tecnificado; con los cuales se caracterizó el ambiente biofísico, socioeconómico y cultural, para determinar las dinámicas de transformación y degradación de suelos que se han generado por actividades antrópicas y su incidencia en la relación hombre-naturaleza en la eco-región definida. La anterior información permitió proponer la estrategia metodológica para la gestión sostenible del suelo en ecosistemas de la franja alto-andina. Las actividades realizadas se describen a continuación:

4.7 Identificación de actores sócales

Inicialmente se realizó un mapeo de actores⁹ comunitarios e institucionales que desarrollan actividades en la zona de estudio y tienen incidencia en las dinámicas de transformación y degradación por cambio de uso del suelo, de acuerdo a la metodología planteada por Döll et al., 2013; Santos, 2009, donde los actores se

⁹Determina los actores y las relaciones sociales existentes y su situación de poder con respecto a una situación determinada (consigna: afinidad a una institución, conformidad con un proyecto, uso de los recursos naturales)(Santos, 2009).

caracterizan ya sea por ausencias y presencias, desbloquear procesos e incentivar a determinados actores.

Se elaboró un listado completo de personas, grupos y organizaciones que puedan cumplir con alguna las actividades planteadas. Para esto se utilizaran cuatro categorías básicas: actores gubernamentales, actores privados, organizaciones de la sociedad civil, y actores comunitarios. El siguiente paso fue identificar algunas características importantes de los actores (Anexo 3), donde se identifican cuáles son los intereses de cada uno de los actores y se marcara la casilla correspondiente a la posición que pueden asumir, su nivel de interés en el problema y la influencia.

4.8 Mapeo de los actores sociales

Se organiza a los actores seleccionados según su nivel de apoyo u oposición a la propuesta que se está presentando. Estos elementos permitirán ubicar los actores y su influencia en la eco-región. Donde se verifica y evalúa la disponibilidad y el compromiso de los actores seleccionados. Por último se diseña las estrategias para movilizar la participación de los actores sociales y sostenerla a lo largo del proceso

Con los actores sociales identificados se realizaron tres talleres grupales que fueron apoyados por INCODER, Grupo de Estudios Ambientales y Grupo de Agroquímica de la Universidad del Cauca y los líderes comunitarios del Municipio de Totoró y Corregimiento de Gabriel López; donde se convocó a la comunidad en general para socializar la investigación y el trabajo a realizar (Figura 9).



Figura 11. Taller comunidad de Gabriel López

4.9 Historia ambiental de Gabriel López

Para conocer los procesos de transformación en el territorio fue necesario retomar los conceptos de la historia ambiental y la etnografía basada en la investigación acción participante IAP¹⁰, para crear una línea de tiempo, usando como herramientas entrevistas semi-estructuradas (Anexo 1 y 2), conversatorios e historias de vida con los actores y la población en general; con los cuales se logró reconstruir los momentos que han generado transformación de los recursos naturales, las prácticas agropecuarias que realizan y en general el uso y manejo del suelo. A partir de vivencias y preguntas orientadoras como: ¿Qué acontecimientos considera importantes en la historia de cambio de uso del suelo? ¿Cuáles fueron los grandes procesos históricos relacionados con la producción y subsistencia, y donde se localizaban? para el taller realizado el 10 de marzo de 2013 al cual asistieron 123 personas, se organizaron dos grupos uno historia ambiental y el otro sistemas productivos con el fin de identificar las relaciones

¹⁰Proceso basado en la inserción del investigador en la comunidad, el análisis de las condiciones históricas y la estructura social de la comunidad, el desarrollo del nivel de conciencia de los miembros de la comunidad, el desarrollo de organizaciones políticas y grupos de acción y lo que ellos llamaron la investigación militante, caracterizada por su énfasis en la solución de problemas y el compromiso con la comunidad o grupo (Fals-Borda, 1985, citado por (Balcázar, 2003 #259).

entre los sistemas productivos y los cambios que han llevado al territorio al estado actual, como lo plantea (Fikret Berkes 2003; Redo et al. 2012). Con la información generada se construyó una línea de tiempo de los procesos que han generado transformación en el US/CUS en el corregimiento de Gabriel López. El 12 de octubre de 2015 se socializó y validó la línea de tiempo; para lo cual se contó con la participación de 38 personas.

Otras fuentes de información utilizadas para recrear la línea de tiempo fueron: Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Totoró (CRC, 2002); Plan de Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca Alta Palace (CRC y ACUC-GL 2010); Diagnóstico Plan Municipal "Totoreños Unidos Si Podemos Gobernar", 2008-2011; Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2005); Estudio General de Suelos y Zonificación de tierras Departamento del Cauca, 2009; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, (2015). Los anteriores documentos proporcionaron información correspondiente a: densidad de población, infraestructura, políticas, actividades productivas y variables biofísicas.

Posteriormente se realizó una selección de áreas de muestreo, teniendo en cuenta, el patrón de distribución de las diferentes geoformas (paisajes, tipos de relieve o formas del terreno) y las variables cuantitativas a evaluar (densidad de población, precipitación, áreas de cobertura vegetal) y cualitativas (pendiente, suelo, erosión, degradación). Con los resultados obtenidos en las zonas de muestreo se determinó el impacto ambiental generado por la degradación de los suelos y las dinámicas de uso del suelo que se han presentado en el territorio. Las anteriores metodologías están descritas por Instituto Geográfico Agustín Codazzi en (IGAC 1998, 2009, 2015).

4.10 El análisis socioeconómico

Se realiza según lo propuesto por (Newman, McLaren y Wilson 2014; Su et al. 2014; Toledo 2008) (Anexo 4), utilizando datos censales del DANE a nivel del corregimiento de Gabriel López para determinar las características de la población y la influencia relativa de accesibilidad a mercados midiendo las distancias a las carreteras, ciudades, capitales y la disponibilidad de oportunidades económicas (Geist y Lambin 2001).

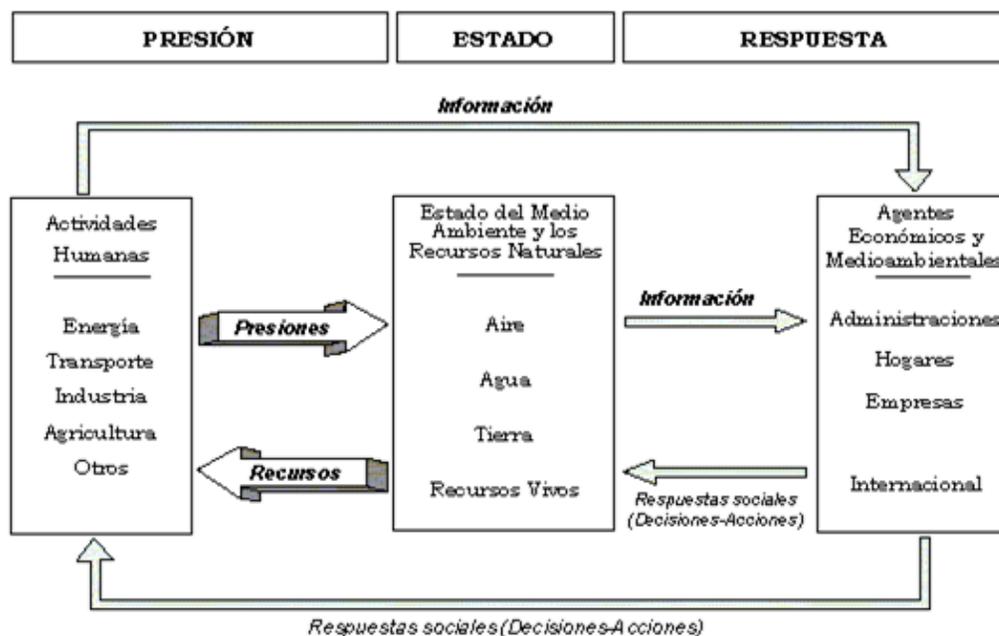
4.11 Definición de indicadores ambientales de susceptibilidad a la degradación

A partir de la información base estructurada y documentada de los procesos biofísicos y socioeconómicos se definieron los indicadores ambientales de susceptibilidad o sensibilidad a la degradación (ESAI), utilizando la metodología denominada “causa raíz” desarrollada por el Fondo Mundial para la Naturaleza-WWF (FAO, 2001). Dicha metodología permite ligar los procesos biofísicos con los factores socioeconómicos a diferentes escalas desde lo local hasta lo regional, es decir, se necesitan indicadores¹¹ de productividad, erosión de suelo, uso de fertilizantes y agroquímicos, afectación de suelos y aguas, pérdida de biodiversidad (Anexo 4). Esta actividad permitió generar un sistema de indicadores que involucra variables y metodologías para cuantificar, evaluar y conocer las tendencias de oferta, demanda, cantidad, calidad, bienes y servicios disponibles en el territorio y las necesidades de los sectores económicos y

¹¹Los indicadores construyen piezas de información útil y sintetizada, cuyo objetivo es relacionar dos o más variables que se consideran explicativas de un proceso, una acción o una política pública. Los indicadores intentan simplificar los fenómenos complejos y hacen posible valorar el estado general de un sistema. El propósito fundamental de un indicador es enviar una señal a un agente (ciudadano, dependencia gubernamental, empresa u organización civil), de tal forma que le ayude a evaluar una situación y le permita tomar decisiones pertinentes, de manera oportuna. En este sentido, no puede separarse al indicador de su grupo de usuarios objetivo. Una colección de indicadores puede combinarse para crear un valor único llamado índice, (Fernández y García 2005).

sociales, donde los efectos e impactos están integrados en la forma como afectan la naturaleza, para determinar la susceptibilidad a la degradación del ecosistema. Esta metodología se orientó para dar respuesta a tres preguntas básicas: ¿cuáles son las fuerzas socioeconómicas y las circunstancias que conducen a la degradación de suelo?, ¿cómo se relacionan entre sí? y, ¿qué factores son clave a nivel local, regional, nacional o internacional?

El modelo de indicadores utilizado se basó en la lógica causal del modelo Presión, Estado y Respuesta (PER) que relaciona el desarrollo socioeconómico de un territorio y el estado ambiental y físico en el que se encuentran los recursos naturales que al mismo tiempo puede actuar como un agente político de gestión. A continuación se describen el esquema metodológico (Figura 9):



Fuente: (FAO 2001).

Figura 12. Indicadores de Presión, Estado y Respuesta, sobre un ecosistema.

En el diseño de un marco conceptual para la gestión del uso del suelo a partir de las dinámicas de transformación y degradación presentes en el territorio. Para el diseño del marco conceptual se tomaron los resultados sistematizados y

tabulados en los talleres, entrevistas y jornadas de interacción con la comunidad; con lo cual se construyó un marco conceptual participativo que permitió validar las variables e indicadores propuestos en la metodología. Estos indicadores o herramientas metodológicas fueron fundamentales para abordar la discusión intercultural sobre lo que se tiene, lo que se puede mejorar o puede llegar a ser esta eco-región alto-andina, respecto a las expectativas de crecimiento agropecuario, desarrollo de la población, proceso de degradación, conservación y las políticas públicas; desde un ambiente de diálogo de saberes (Pulido y Bocco, 2011). El mapeo de actores fue fundamental en este proceso, pues son ellos quienes tomaron parte en la definición del marco conceptual, a partir de discusiones y validación de los resultados encontrados y las posibles estrategias a seguir. Por esta razón a cada actor se le asignó una responsabilidad en todo el proceso de la investigación la cual se retroalimentada con los pobladores.

CAPÍTULO 5.

Análisis de resultados de las dinámicas de transformación y susceptibilidad a la degradación por cambio de uso del suelo

El análisis de las dinámicas de transformación y susceptibilidad a la degradación de los suelos parten con la descripción del territorio desde sus factores biológicos, físicos y sociales, como se presentan a continuación:

5.1 Factores asociados a las coberturas vegetales de la franja alto-andina en la zona de estudio

La dinámica de cambio y uso del suelo en la franja alto-andina de la subcuenca del río Palacé o Corregimiento de Gabriel López en espacio y tiempo fue heterogénea, como lo indica la magnitud y la intensidad de cambio de sus coberturas vegetales para los años 1989 – 1999 – 2008 - 2017 (Figura 13 y Tabla 8). El territorio para el último año (2017) muestra una dominancia de las coberturas vegetales de pastizal con un 33,6% del área total; seguido de las coberturas de Bosque Denso Bajo (25,8%) y Páramo Bajo (23,9%). En menor porcentaje de área se encuentran los Cultivos Transitorios (12%), Bosque Fragmentado (3,0%) y Humedal Natural (2%). Estos datos corroboran la descripción de las características del paisaje y distribución de coberturas vegetales presentes en la franja alto-andina realizados por Cabrera y Ramírez (2014); Andrés Etter, McAlpine y Possingham (2008).

La caracterización de estas coberturas vegetales permite agruparlos en tres categorías: áreas de conservación (Páramo bajo y bosque denso bajo); áreas altamente intervenidas (Bosque fragmentado y Humedal natural) y áreas transformadas (Pastizal y Cultivos transitorios). Las áreas de conservación representan el 50% del territorio, mientras que las transformadas tienen un 46%; el 4% restante hace referencia a las áreas que están próximas a desaparecer porque están altamente intervenidas (Tabla 8).

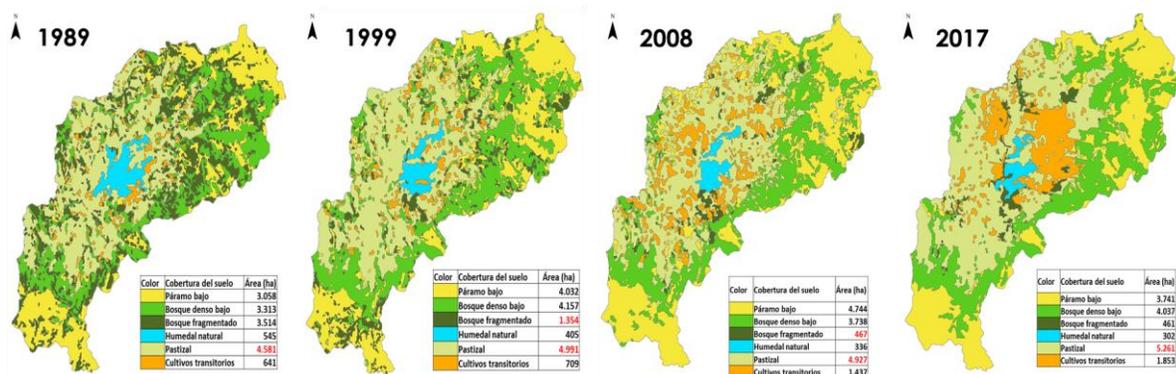


Figura 13. Dinámica de cambio de uso del suelo periodo 1989-1999-2008-2017

Tabla 8. Dinámica de coberturas, tasa de cambio e índice de deforestación para 1989, 1999, 2008, 2017

Clases de Vegetación	Área(ha)				Cambio anual (ha)			Índice de deforestación (R)
	1989	1999	2008	2017	1989-1999	1999-2008	2008-2017	1999-2017
Páramo Bajo	3057,7	4032,3	4743,9	3741	97,5	79,1	-111,43	-0,017
Bosque Denso Bajo	3313,2	4157,4	3737,8	4037	84,4	-46,6	33,23	0,011
Bosque Fragmentado	3514,5	1354,3	466,6	461,3	-216	-98,6	-0,58	0,11
Humedal Natural	544,5	404,6	335,9	302,3	-14	-7,6	-3,73	0,02
Pastizal	4580,9	4990,5	4927,2	5260,9	41	-7	37,08	0,001
Cultivos Transitorios	640,9	709,5	1436,7	1853,1	6,9	80,8	46,27	-0,08
Total	15652	15649	15648	15656				

5.1.1 Tasa de cambio

El páramo en los dos primeros periodos (1989-1999 y 1999-2008) presentó una tasa de cambio positiva 97 y 79 ha/año respectivamente; en el último periodo la tasa de cambio fue negativa (-111,4 ha/año); donde el área total de esta cobertura es de 3.741 ha. El Bosque Denso Bajo para el periodo 1989-1999 presentó una tasa de cambio de 84,4 ha/año, mientras que para 1999-2008 tiene una tasa negativa de -46,6 ha/año y finalmente para el periodo 2008-2017 mostro una tasa de cambio positiva de 33,2 (Tabla 8); en la totalidad de los periodos 1989-2017 presento una ganancia de 723,77 ha. El Bosque Fragmentado mostró en el periodo 1989-1999 una pérdida de cobertura a una tasa de -216 ha/año, que continuó en los periodos 1999-2008 (-99 ha/año) y 2008-2017 (-0,6), representando una pérdida total de cobertura de 3.053 ha para todo el periodo (1989-2017). El humedal natural en el periodo 1989-1999 presentó una tasa de cambio de -14 ha/año que disminuyó en los periodos 1999-2008 (-7 ha/año) y 2008-2017 (-3,7) representando un total de pérdida de 242,2 ha en los 28 años analizados.

El Pastizal en el periodo 1989-1999 presento una tasa de 41 ha/año, en el siguiente periodo (1999-2008) presentó una tasa negativa (-7 ha/año), para el periodo 2008-2017 volvió a mostrar ganancia en términos de área (37,1 ha/año). Los pastizales tienen para los 28 años de análisis un incremento de 680 ha. Los cultivos transitorios en los tres periodos (18989-1999, 1999-2008, 2007) crecieron a una tasa de 6,9; 81 y 46 ha/año que representaron un ampliación en área de 1212 ha.

El Bosque Denso Bajo no presentó tasa de deforestación por su valor positivo (0,011) y es el reflejo del aumento en área de su cobertura vegetal. Este dato es un indicador importante del estado de conservación que mantiene la cobertura respecto a las demás y corrobora lo planteado por Vásquez y Buitrago 2012 al afirmar que en Colombia para la zona andina se encuentran procesos de

conservación de relictos de bosque. El bosque alto-andino Fragmentado presento los niveles más altos de deforestación con 0,11 ha/año; valor que está dentro valores más altos reportados a nivel nacional según Armentaras y Rodríguez 2014; Rodríguez Eraso 2011.

5.1.2 Dinámica espacial de uso del suelo

La interpretación de imágenes de satélite para los periodos 1989, 1999, 2008 y 2017 permitió analizar las seis clases de coberturas vegetales desde los dos procesos de Modificación y Conversión:

5.1.2.1 Procesos de Modificación

Conservación: las coberturas vegetales que presentaron mayor nivel de permanecía y que son características de la vegetal natural de la franja alto-andina se agruparon dentro de este proceso como son: Páramo bajo o Subpáramo, Bosque denso bajo o alto-andino, estas agrupaciones vegetales son indicadores de altos niveles de resiliencia en el territorio (Figura 14 y Tabla 9); a pesar de los daños generados por la ganadería extensiva y los monocultivos de papa que se desarrollan de manera tradicional e intensiva.

Páramo bajo o Subpáramo: este tipo de cobertura para el primer periodo (1989-1999) presenta un nivel de permanencia de 76%, donde los mayores aportes en área están relacionados directamente con el Bosque Fragmentado (21,6%) y el Bosque Denso (201,4%) (Figura 14a, Tabla 9); sin embargo esta cobertura tiene intercambios o proceso de transición con las otras coberturas a excepción del humedal. Para el siguiente periodo (1999-2008) el nivel de permanencia incrementa en un 3,5%; notándose que las áreas provenientes del Bosque Fragmentado (40,1%) incrementan el doble respecto al periodo anterior, caso contrario del Bosque Denso (12,7%) (Figura 14b, Tabla 9); sin embargo se sigue determinado un relación directa (Páramo-Bosque Denso-Bosque-Bosque Fragmentado) que han representado procesos de conservación y resiliencia. Para el tercer periodo 2008-2017 (Figura 14c) presenta el nivel de permanencia, más

alto (85,3) representando una alta homogeneidad de esta cobertura que implica altos niveles de conservación.

Bosque denso bajo o alto-andino, en el primer periodo (1989-1999) esta cobertura presento un nivel de permanencia alto (60,9%) respecto de las otras coberturas donde las principales ganancias provienen del Bosque Fragmentado (44,3%); es de resaltar que esta cobertura tiene relaciones (perdida-ganancia) a un nivel más bajo con las demás coberturas. En el segundo periodo (1999-2008) la permanencia de sus coberturas incrementa un 7,2 %, pero disminuye a casi la mitad (25,4%) las ganancias respecto al periodo anterior provenientes del Bosque Fragmentado y se identificó una pérdida de conectividad con el Humedal (Figura 14b). Para el tercer periodo 2008-2017 la cobertura presento los niveles más bajos de permanencia respecto a los años anteriores; sin embargo su nivel de conservación es alto, pues se evidenciaron procesos de conservación/regeneración que mantienen la continuidad de este sistema.

Bosque alto-andino fragmentado, esta cobertura en el primer periodo (1989-1999) mostro una permanencia baja (13,1%) respecto a las demás coberturas, donde las mayores ganancias se relacionan con las coberturas de Paramo Bajo (13,8%) y las pérdidas de área se dan en todas las direcciones pero se establece un vínculo mayor con Bosque Denso (44,3%), Páramo (21,6%) y Pastizal (18,3). En el segundo periodo (1999-2008) el nivel de permanencia de la cobertura disminuye 4,4% donde las pérdidas aumentan hacia el Páramo bajo (40,1), Bosque Denso (25,4%) y Pastizal (20,8%). En el último periodo (2008-2017) se pudo identificar en las trayectorias de cambio que esta cobertura es la que presentó mayores procesos de conversión hacia sistemas perturbados o en regeneración hacia los sistemas de Bosque Denso y Páramo Bajo (Figura 14c).

Vegetación de humedal, este tipo de vegetación aunque es notoria la disminución de su área, el nivel de permanencia es alto (57,7%), las trayectorias de cambio se

dan principalmente hacia los Pastizales (29,5%) y las ganancias son muy pocas principalmente de los Cultivos (3,1%). En el segundo periodo (1999-2008) la permanencia se incrementa en un 16,5% y las trayectorias de cambio son menores perdiendo conectividad con las áreas de Bosque Denso. Para el tercer periodo esta cobertura presento el nivel de permanencia más bajo respecto de las anteriores temporalidades, comprobando los altos niveles de perturbación respecto a la unidad de área que representa.

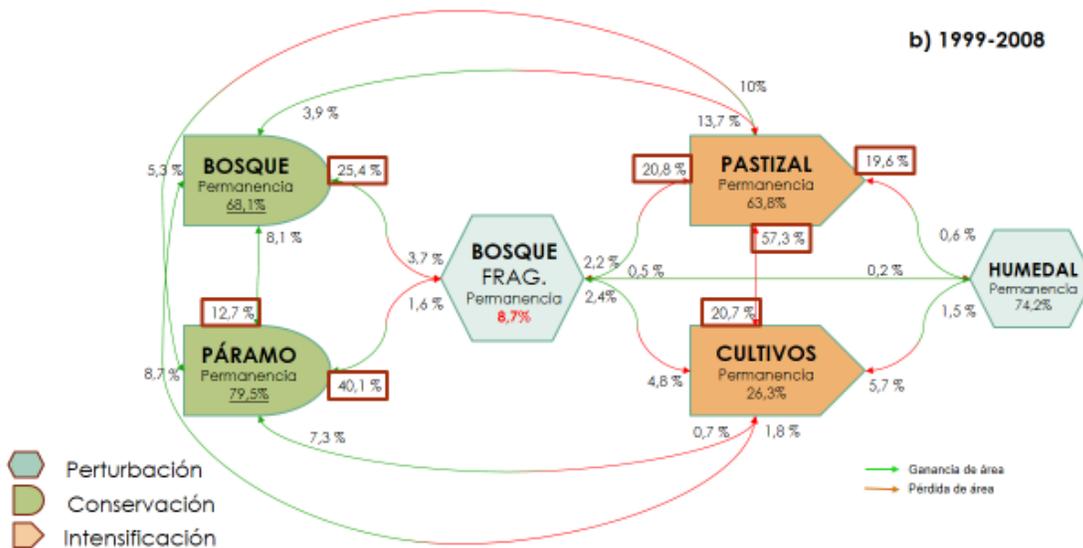
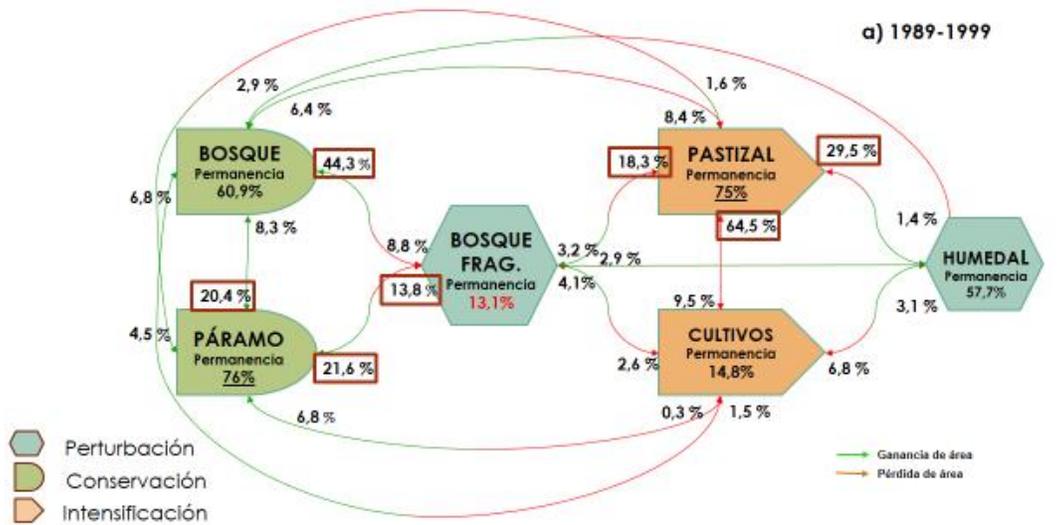
La dinámica de US/CUS para los periodo 1989-1999, 1999-2008 y 2008-2017 muestran que las zonas de cobertura vegetal natural (Páramo Bajo, Bosque Denso Bajo) tienen los más altos índices de permanencia que representa procesos de conservación y regeneración de los sistemas naturales..

Tabla 9. Trayectorias de tabulación cruzada para uso del suelo en Gabriel López Matriz durante 1989, 1999, 2008, 2017

1989/1999	Páramo Bajo	Bosque Denso B	Bosque Frag.	Humedal	Pastizal	Cultivo Trans.	Total
Páramo Bajo	2323,9	252,9	422,9	2,1	48,0	8,0	3057,7
Bosque Denso Bajo	676,2	2016,7	290,9	2,0	277,0	50,0	3312,9
Bosque Fragmentado	760,9	1557,3	460,8	1,1	644,6	90,0	3514,5
Humedal Natural	0,0	16,1	16,1	314,4	160,7	37,2	544,5
Pastizal	206,1	294,6	146,1	64,6	3434,8	434,7	4580,9
Cultivos Transitorios	43,3	43,3	26,2	20,1	413,2	94,7	640,9
Total	4010,4	4180,8	1362,9	404,3	4978,2	714,6	15651,4
1989/2008	Páramo Bajo	Bosque Denso B	Bosque Frag.	Humedal	Pastizal	Cultivo Trans.	Total
Páramo Bajo	2607,0	225,0	15,0	2,1	190,8	18,0	3058,0
Bosque Denso Bajo	746,5	1764,9	221,7	0,0	506,6	73,2	3312,9
Bosque Fragmentado	924,0	1540,8	107,9	1,1	759,1	181,7	3514,5
Humedal Natural	0,0	0,0	1,0	285,3	210,0	48,2	544,5
Pastizal	440,7	198,8	98,5	51,8	2849,3	941,4	4580,4
Cultivos Transitorios	29,2	22,2	28,2	4,0	405,1	152,1	640,9
Total	4747,3	3751,7	472,2	344,3	4920,9	1414,7	15651,2
2008/2017	Páramo Bajo	Bosque Denso B	Bosque Frag.	Humedal	Pastizal	Cultivo Trans.	Total
Páramo Bajo	3206,9	326,6	66,5	0,0	402,4	30,2	4032,7

Bosque Denso Bajo	527,2	2830,4	153,0	0,8	571,2	74,8	4157,4
Bosque Fragmentado	542,7	344,5	118,5	2,0	281,8	64,7	1354,3
Humedal Natural	0,0	0,0	2,0	300,2	79,3	23,1	404,6
Pastizal	432,7	195,1	113,8	29,9	3183,9	1034,5	4990,0
Cultivos Transitorios	51,5	37,7	16,8	10,9	406,3	186,3	709,5
Total	4747,9	3734,3	470,6	343,9	4925,0	1413,8	15648,5

Las pérdidas de una categoría a otra se expresan en las filas y las ganancias en las columnas



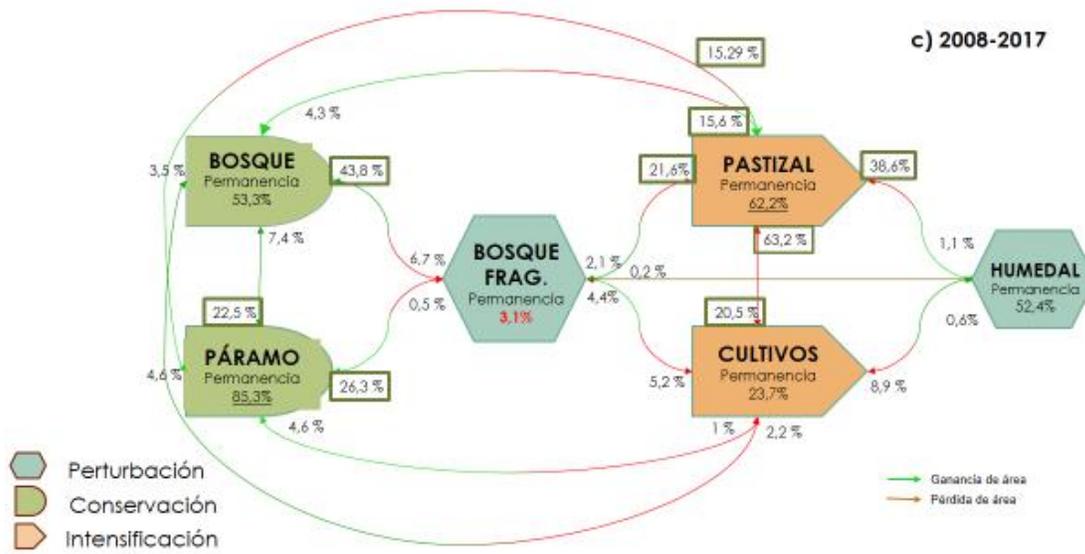


Figura 14. Esquema de la trayectoria de cambio de uso del suelo entre los tipos de vegetación para 1989-1999, 1999-2008 y 2008-2017.

Los números dentro de las cajas indican el porcentaje de permanencia y los números en las líneas el porcentaje de transformación rojo (pérdida de área) y verde (ganancia de área). Con los datos de permanencia se agruparon las coberturas vegetales en dos procesos (Modificación y Regeneración) y cuatro procesos según el nivel de cambio que presenta la cobertura vegetal (Figura 15).

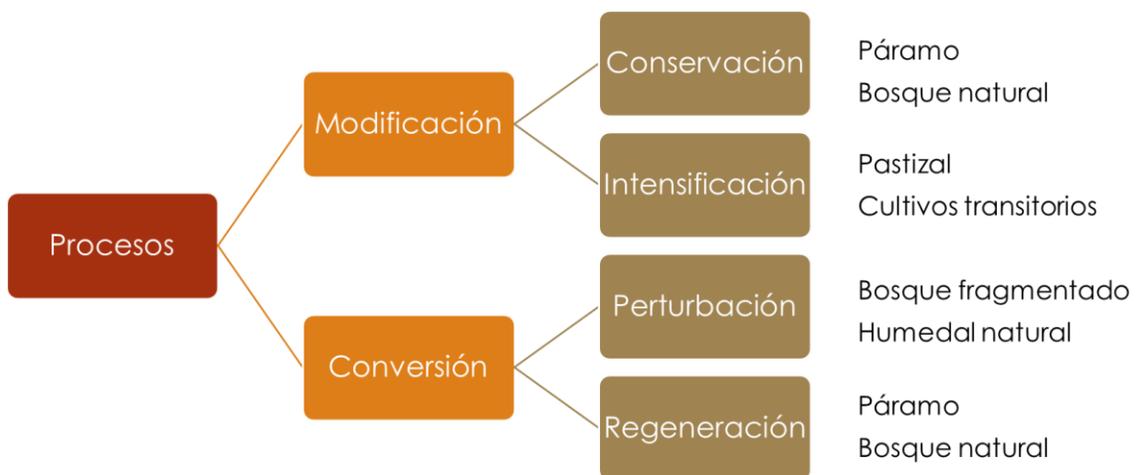


Figura 15. Dinámicas de US/CUS para los periodos 1989, 1999, 2008, 2017

Intensificación: estos procesos están representados por las coberturas de tipo antrópico que se han aumentado en extensión como son los pastizales extensivos y cultivos transitorios que en los periodos analizados mostraron un incremento en área. Los Pastizales extensivos en el primer periodo (1989-1999) tienen el segundo nivel de permanencia (75%), con ganancias o ampliación hacia los Cultivos Transitorios (64,5%), el Humedal (29,5%) y el Bosque Fragmentado (18,3%), con pérdidas pequeñas hacia Cultivos Transitorios (9,5%), el Páramo (4,5%) y las demás coberturas. Para el segundo periodo la permanencia de esta cobertura disminuye en un 11,2%, pero mantiene la ampliación hacia Cultivos Transitorios (57,3%), Humedal (19,6%), Bosque Fragmentado (20,8%) y también se observa un cambio significativo de esta cobertura a cultivos transitorios. Para el periodo 2008-2017 la permanencia de estas coberturas se mantiene respecto al periodo anterior sin embargo se presenta un incremento en el intercambio de áreas de Cultivos Transitorios a Pastizales (Figura 14c). Los Cultivos Transitorios en el primer periodo (1989-1999) tienen una permanencia del 14,8% con la mayor trayectoria de ampliación hacia las coberturas de Pastizal (9,5%) y Humedal (6,8%). En el segundo periodo (1999-2008) la permanencia se incrementa en 11,5% hacia las coberturas de Pastizal (20,7%), Humedal (5,7%) y Bosque Fragmentado (4,8%). En esta última temporalidad (2008-2017) los Cultivos presentan un modelo de tipo intensivo; pues se mantienen los niveles de permanencia y las áreas son más homogéneas como se pudo visualizar en los análisis de fragmentación.

Tanto las coberturas de Pastizal y Cultivos Transitorios presentaron una relación directa de cambio ya sea de pérdida o ganancia de área, estas dinámicas han logrado una ampliación de estas coberturas hacia otras, generando un sistema dominado por una matriz antropizada.

La dinámica de US/CUS para las áreas antrópicas (Pastizal y Cultivos transitorios) están marcadas por los procesos de intensificación dados por el alto nivel de

permanencia 75% (1989-1999), 64% (1999-2008) y 62,2 (2008-2017) durante los tres periodos. Sin embargo se identifica una marcada transformación de áreas de cultivo hacia pastizal 64,5% (1989-1999), 57,3% (1999-2008) y 63,2(2008-2017).

Como se observa en los niveles de permanencia de las áreas antropizadas han generado procesos de intensificación de pastizales para ganadería extensiva y cultivos transitorios. Aunque a principios de los años sesenta y setenta, sólo 5% del territorio de Gabriel López (795,02 km²) había sido despejado para una agricultura tradicional, en los 20 años siguientes el sistema de US estaba dominado por pastizales que involucró un 65% del territorio (12,135.48 km²). Cabe destacar que la expansión de los pastizales ha afectado tanto a las áreas de bosque alto-andino como a los antiguos campos agrícolas, los cuales prácticamente han desaparecido para dar paso a cultivos intensivos de papa. La intensificación incluye procesos de regresión / progresión del cuerpo de agua (Q), que tienen el potencial de afectar a varios tipos de cobertura (principalmente bosque alto-andinos y humedales), con consecuencias en términos de alteración y resiliencia). Lo anterior se pudo evidenciar en la línea de tiempo realizada donde aparecen los hechos políticos y sociales que han influido directamente en los procesos de cambio; como son la política agropecuaria, la revolución verde, la determinación de áreas protegidas. (Ver línea de tiempo corregimiento de Gabriel López).

Los anteriores valores indican una relación de procesos de modificación y conversión entre las coberturas vegetales naturales y antrópicas; que en algunos casos como el bosque denso permite una continuidad de los procesos de conservación e intensificación para las áreas con pasturas y cultivos de papa que han afectado directamente los procesos resilientes del bosque fragmentado.

5.1.2.2 Procesos de conversión

Perturbación

La vegetación representativa de estas coberturas vegetales son las áreas de Bosque Fragmentado y Humedal natural; pues son las que mayores cambios a nivel de estructura muestran. El bosque fragmentado en el primer periodo (1989-1999) mostró una permanencia del 13,1 % del total, siendo estos procesos de cambio indicadores de perturbación de las condiciones naturales del sistema; donde las principales áreas de cambio se presentan con las coberturas de Bosque Denso, Páramo bajo y el Pastizal. Para el segundo periodo la permanencia es mucho más baja (8,7%); donde se pierda casi la totalidad de esta cobertura quedando algunas áreas solo como zonas de protección de fuentes hídricas y el humedal. La cobertura de Bosque Fragmentado tiene una permanencia del 3,1%, es decir solo quedan unos relictos de bosque, los cuales han migrado principalmente al Bosque Denso bajo (43,8%), Páramo Bajo (26,3%) y Pasturas (21,6). Los anteriores son claros ejemplos de los procesos de perturbación al cambiar estructura, área y dinámicas ecosistémicas propias de estos territorios. En el caso del Humedal natural en el primer periodo (1989-1999) presentó los niveles de permanencia más bajos (57,7%), que son claro ejemplo de pérdidas de área hacia las coberturas de Pastizal (29,5%). En el segundo periodo las coberturas vegetales del humedal pierden conectividad con el Bosque Denso Bajo, representando serios problemas para la dinámica ecosistémica y la oferta de servicios de abastecimiento y regulación. Finalmente para el tercer periodo (2008-2017) se sigue perdiendo un área considerable con las coberturas de pastizal, ya que estas zonas son de tránsito de ganado y de adecuación para el cultivo de papa (Tabla 9 y Figura 14).

Es importante aclarar que todas las coberturas tienen interacción de cambio de área, sin embargo muchas de estas pérdidas de coberturas no son considerables.

Procesos de regeneración

Los procesos de regeneración siguen estando representados por las coberturas de Páramo Bajo y Bosque Denso Bajo quienes presentaron las mayores ganancias en término de área cedidas por otras coberturas vegetales para los tres periodos. Durante el periodo 1989-1999, cerca del 86,9% del área total transformada se convierte a subpáramo (21,7%), bosque denso (44,3%); en el segundo periodo (1999-2008) el bosque fragmentado sede 40, 1% a subpáramo y 25, 4 a bosque denso y solo un 0,2% al humedal natural (2, 6%) y para 2008-2017 aproximadamente el 60% del bosque Fragmentado perdido se convirtió en áreas de Bosque Denso Bajo y Pastizal (Tabla 9 y Figura-14c).

La regeneración de coberturas antrópicas (Cultivos transitorios y pastizales a coberturas naturales), según los niveles de cambio de Cultivos transitorios-Bosque Natural son bajos en los tres periodos (6,8; 5,3; 3,5%) lo que indica una permanencia y expansión de los pastizales extensivos. Esta dinámica de cambio se muestra de igual forma para las coberturas del Humedal natural; donde en los tres periodos es más grande el área de cobertura vegetal perdida que la que muestra procesos de regeneración.

Pastizal a coberturas naturales, los pastizales presentaron un alto nivel de permanencia para los tres periodos (75, 64, 62%), con unos pequeños procesos de regeneración hacia el Páramo 4,5%, Bosque denso 6,4 y Humedal 1,4%. En el segundo periodo hay un incremento con el Páramo (8,7%) y una leve disminución con Bosque denso 3,9% y Humedal 0,6%. Este proceso de regeneración hacia las coberturas naturales se sigue presentando en el tercer periodo con 4,6% a Páramo, 4,3% a Bosque Denso, 1,1% a Humedal.

Las coberturas vegetales presentes en la franja alto-andina muestran dinámicas de cambio hacia procesos de modificación y conversión; donde las áreas de Páramo bajo y Bosque Denso, de acuerdo a su nivel de permanencia y trayectoria

de cambio (ganancia de áreas) en el periodo analizado representan las zonas en proceso de conservación y regeneración. La intensificación representada claramente en las áreas de Pastizal extensivo y Cultivos transitorios; que en el caso de los Pastizales es la matriz dominante del paisaje de la franja alto-andina; mientras tanto los Cultivos transitorios se amplían e intensifican en las zonas con menor pendiente hacia el centro y entorno al humedal. Hay una fuerte interacción entre los Pastizales y los Cultivos, pues cuando estos últimos dejan de ser productivos se convierten en áreas abandonadas donde la cobertura vegetal dominante son los pastizales extensivos. Las coberturas de Bosque Fragmentado y Humedal por la pérdida de áreas y los bajos niveles de recuperación están ubicadas dentro de las zonas con mayor nivel de perturbación.

En general para todo el periodo de evaluación 1989-20017 las coberturas vegetales naturales presentaron los mayores procesos de conservación representados en una permanencia del 63,6%, donde la vegetación de Páramo bajo mantiene 3.207 ha, seguida del bosque natural (2.830 ha) y el humedal (300,2 ha); contrario al bosque fragmentado que solo mantiene 118,5 ha. Es importante resaltar que la cobertura de pastizal presento el segundo nivel de permanencia (3.183,9 ha) marcados con procesos de intensificación.

Un aspecto importante de resaltar en estos sistemas alto-andinos son las características de su topografía, clima y suelos; además de los controladores espaciales que han determinado la dinámica de expansión de las actividades agropecuarias y en muchos casos estos valores de transformación son similares en áreas tropicales de América como lo reportan (Etter *et al.*, 2008; Lambin y Meyfroidt, 2010).

5.2 Patrones de fragmentación

El análisis del paisaje y sus patrones de fragmentación y cambio, mostró que para la franja alto-andina la matriz dominante son las coberturas de pastizal, seguidas del Páramo bajo y Bosque Denso; con procesos de fragmentación y cambio en los periodos analizados. Para el periodo 1989-1999 se identificó un incremento a nivel de gran paisaje en los índices de: número de parches (69), densidad de parches (0,2), longitud de parches (1,11 ha) y un decrecimiento en: forma del paisaje (1,47) y la conectividad (0,05) (Tabla 10).

Tabla 10. Métricas del paisaje en los 6 clases de cobertura /uso del suelo para 1989, 1999, 2008, 2017 en la parte alta de la cuenca del río Palacé.

	Cobertura /uso del suelo	Tamaño de parche (ha)	Numero parches	Densidad parches	Índice longitud parche (ha)	Índice forma	Índice conectividad
1989	Páramo Bajo	3058	60	0,2	3,1	13,5	1,9
	Bosque Denso Bajo	3313	313	0,9	12,5	27,0	0,6
	Bosque Fragmentado	3514	173	0,5	1,8	20,1	0,8
	Humedal Natural	545	3	0,0	1,6	4,0	100,0
	Pastizal	4581	39	0,1	12,3	15,5	3,9
	Cultivos Transitorios	641	171	0,5	0,2	15,2	0,6
	Gran paisaje	15652	759	2,2	31,5	95,4	107,8
1999	Páramo Bajo	4032	178	0,5	2,3	17,1	0,9
	Bosque Denso Bajo	4157	182	0,5	3,8	18,8	0,7
	Bosque Fragmentado	1354	265	0,8	0,4	20,3	0,4
	Humedal Natural	405	4	0,0	0,8	3,9	50,0
	Pastizal	4981	43	0,1	13,4	13,8	3,8
	Cultivos Transitorios	709	156	0,5	0,1	15,1	0,7
	Gran paisaje	15638	828	2,4	20,9	89,0	56,5
2008	Páramo Bajo	4744	153	0,5	5,2	15,2	1,0
	Bosque Denso Bajo	3738	111	0,3	7,9	16,5	1,4
	Bosque Fragmentado	467	71	0,2	0,2	10,2	0,6
	Humedal Natural	336	4	0,0	0,7	3,3	50,0
	Pastizal	4927	102	0,3	12,7	18,6	1,6
	Cultivos Transitorios	1437	144	0,4	0,6	16,5	1,0
	Gran paisaje	15649	585	1,7	27,3	80,2	55,6
2017	Páramo Bajo	3741	146	0,5	4,8	13,4	0,8
	Bosque Denso Bajo	4037	109	0,4	6,6	15,7	0,9

Bosque Fragmentado	461	62	0,2	0,2	8,6	1,8
Humedal Natural	302	4	0,0	0,8	3,4	50,0
Pastizal	5261	126	0,2	13,5	14,3	1,3
Cultivos Transitorios	1853	152	0,5	0,7	15,4	0,7
Gran paisaje	15655	599	0,9	15,2	40,7	52,8

A nivel de coberturas el Bosque denso en el año 1989 respecto a 1999 pierde 131 fragmentos, disminuye la densidad (0,39), longitud (8,75 ha) y forma (8,28) pero aumenta la conectividad (0,1). Los anteriores resultados marcan un proceso de unificación de los parches, pues en este periodo (1989-1999) incrementa el área y la conectividad. En el caso de las coberturas de Páramos bajo para el año 1999, respecto a 1989 hay un aumento número de parches (118), densidad (0,34) y forma (3,64) con un decrecimiento en longitud (0,78 ha) y conectividad (93). Esto representa que la cobertura se está fragmentando y perdiendo conectividad entre los parches al interior del sistema. El Bosque fragmentado para el año 1999 presenta un alto grado de fragmentación respecto a 1989 por, el incremento de 92 parches, el aumento en la densidad de parches (0,27); la perdidas en longitud (1,2 ha) y conectividad (0, 43); pues la forma (0,19) continua siendo muy irregular. El Humedal presenta para el año 1999 un aumento en el número de parches respecto a 1989, pero una disminución en longitud (0,74 ha) y conectividad (50), lo que corrobora la perdida de área en la temporalidad.

El pastizal para el año 1999 presenta un aumento progresivo respecto a 1989 en número de parches (4), densidad (0,02) y longitud (1,11 ha), pero decrece en forma (1,7) y conectividad (0,2) (Tabla 10). Esto significa que se está incrementado las áreas de pastura hacia otras coberturas. Los cultivos transitorios presentan una pérdida de parches (15), densidad (4), longitud (9 ha) y forma (15) pero tienen un gran en el índice de conectividad, representando que algunas áreas de cultivo se han perdido y otras se están unificando

Para el periodo 1999-2008 a nivel de gran paisaje se pierden en 2008 respecto de 1999, 243 parches, disminuyó la densidad (0,71) y la forma (8,8) de los parches.

Al mismo tiempo se incrementa longitud (6,04 ha) y la conectividad (0,9). Esto representa que se están unificando algunos parches aumentando la conectividad entre ellos.

Las coberturas vegetales de Bosque denso en 2008 respecto a 1999 pierde en número de fragmentos (71), densidad (0,2) y forma (2,27) pero aumentan en longitud (4,1 ha) conectividad (0,74) (Tabla 3). Los anteriores resultados marcan un proceso de unificación de los parches incrementando su longitud y conectividad. Las áreas de Páramo bajo 2008 respecto a 1999 presentan pérdidas en número de parches (25), densidad (0,07) y forma (1,9) con un decrecimiento en longitud (2,86 ha). Esto representa que la cobertura se está unificando y aumentando en longitud. El Bosque fragmentado en 2008 respecto a 1999 presenta una reducción en número de parches (194), densidad (0,58), longitud (0,2 ha) y la forma; la cual se torna más regular (10,1) e incrementan la conectividad (0, 14) de esta cobertura. El humedal natural para 2008 respecto de 1999 disminuyo en longitud (0,14 ha) y forma (0,62), siendo una constante para esta cobertura la pérdida de área en los periodos analizados.

El pastizal en 2008 respecto de 1999 presento un incremento de parches (59), densidad (0,16) y forma (4,8) y pero decrece en área (64 ha), longitud (0,76 ha), y conectividad (2,19). Esto significa que hay incrementado de las pequeñas áreas de pastura hacia otras coberturas. Los cultivos transitorios en 2008 respecto de 1999 presentaron una ligera pérdida de parches (12), pero incrementan longitud (0,54 ha), forma (1,4) y conectividad (0,5), representando que algunas áreas de cultivo se han unificado y alargado de una forma irregular.

Para el periodo 2017 se reporta a nivel de gran paisaje un aumento en el número de parches respecto a 2008; donde las coberturas de Paramo bajo muestra una tendencia a la unificación por la disminución en número de parches (7), longitud (4), forma (2) y conectividad (2). Similar a lo que presenta el Bosque fragmentado

donde la cobertura tiende a procesos de unificación. Las coberturas de origen antrópico como los pastizales incrementan en número de parches (24), Longitud (1,2) y disminuye en densidad de parches (0,2), forma (2,3) y conectividad (0,3); esta dinámica se presenta en las áreas de Cultivo transitorio donde aumenta el número de fragmentos de cultivo (8), la densidad por unidad de área (0,1), longitud (0,1); la forma es más regular e incrementa la conectividad.

5.3 Dinámica del CUS en los ecosistemas de la franja alto-andina

El análisis de tres temporalidades permitió determinar la relación que existe entre los procesos de Modificación y Conversión de las coberturas vegetales propias de la franja alto-andina y las antrópicas; que están determinados por dinámicas de US/CUS en ecosistemas, a través de actividades directas como la ganadería extensiva y la agricultura migratoria (AM), las cuales han generado procesos de conservación, intensificación, perturbación y regeneración de la franja alto-andina.

5.3.1 Coberturas vegetales de Páramo y Bosque denso

De acuerdo a los resultados obtenidos de área y cambio de cobertura se pudo establecer como la vegetación representativa de la franja alto-andina son el Páramo bajo y Bosque denso bajo; las cuales tiene un porcentaje alto de permanencia a pesar de los continuos procesos de intervención antrópica generados por la AM que se mantienen desde tiempos prehispánicos en centro américa y américa del sur, creando procesos de Modificación y conversión como lo plantea (Armentaras y Rodríguez, 2014; Mukul y Herbohn, 2016). Sin embargo hay determinantes de patrón como el grado de inclinación, la altura, el tipo de suelo y el clima que impiden la intensificación de áreas de pastizales y ganadería extensiva hacia las coberturas remanentes de la zona de estudio.

Se encontró también una relación directa con las Fuerzas motrices subyacentes como la ley No 032 del 2003 que declara estas áreas como zonas de uso especial

donde: “no se podrán adelantar actividades agropecuarias, ni de exploración o explotación de hidrocarburos y minerales, ni construcción de refinerías de hidrocarburos”, esta ley ha permitido darle un estatus de zonas de conservación, lo que permite garantizar una infinidad de servicios ambientales de regulación (hidrológica, climática, erosión diversidad flora y fauna), abastecimiento (agua, madera, alimentos) y culturales (espiritualidad, paisaje, turismo). Adicionalmente en américa del sur y en Colombia estas zonas han sido consideradas como territorios sagrados. Al mismo tiempo esta franja ha sido considerada como punto de frontera del conflicto armado Colombiano. Los anteriores determinantes subyacentes, directos y de patrón de CUS en el área de estudio han permitido que coberturas naturales o remanentes de la franja alto-andina creen estructuras de emergencia a través de asociaciones vegetales, ya sea con procesos de paramización o estados maduros del bosque fragmentado. Sin embargo a nivel de paisaje se presentan altos niveles de fragmentación y pérdida de conectividad.

Caso especial representan las coberturas de **Bosque alto-andino fragmentado**, ya que presentan la mayor pérdida de área y cambios a nivel de tamaño, forma, densidad y número de especies a escala del paisaje; lo cual, afectó los procesos de regeneración, conservación y la complejidad estructural. Muchas áreas con este tipo de cobertura se han mantenido por fuerzas subyacentes presentes en alguna figura legal (reservas forestales) o factores biofísicos como las pendientes pronunciadas, difícil acceso, la baja fertilidad, proceso de paramización y protección de fuentes hídricas. Sin embargo las dinámicas de CUS de esta cobertura se relacionan con fuerzas directas o próximas de la AM (tala, rosa y quema) que fragmentan el bosque continuamente por su fácil acceso. En el primer periodo (1989-1999) se observa un proceso resiliente hacia la conservación del bosque natural; mientras que en el segundo periodo (1999-2008) hay una dinámica de transformación marcada por procesos de paramización y AM. En el tercer periodo (2008-2017) es clara la intensificación de los cultivos y los pastizales. Lo anterior se debe a que este tipo de cobertura

intervenida es más fácil de transformar a cultivos y no existe una normatividad clara que los proteja.

La vegetación natural o remanente de la franja alto-andina (Páramo bajo y Bosque denso) presenta una mejor adaptación a las dinámicas de los ecosistemas alto-andinos, que le ha permitido tener un nivel de permanencia garantizando de esta forma la oferta de servicios ecosistémicos de regulación (hidrológica, climática y diversidad flora y fauna), abastecimiento (agua) y culturales (espiritualidad, paisaje, turismo). Sin embargo fuerzas motrices directas relacionadas con la AM y la ganadería extensiva han ido dando una forma regular al humedal desplazando la vegetación riparia y el espejo de agua.

5.3.2 Sistema de agricultura y ganadería extensiva (AM)

La llegada de nuevos procesos a la agricultura tradicional en el territorio, motivados por fuerzas subyacentes como la revolución verde, (la política agropecuaria) y la globalización de mercado; incentivaron la AM por la fertilidad transitoria de los suelos con características andicas que luego un uso intensificado se abandona y abren nuevas tierras de cultivo como se visualiza en el periodo 1989-1999 donde la mayor área de cobertura vegetal está en pastizal (descanso relativo del suelo) y el bosque fragmentado ha dado paso a cultivos transitorios como se identificaron en el periodo (1999-2008) a través un alto nivel de permanecía y forma regular de los parches que indican procesos de intensificación agrícola (periodo 2008-2017). Este tipo de procesos fue denominados por Etter, McAlpine y Possingham, (2008) como la recolonización de los andes o colonización antioqueña, donde se introdujeron pastos exóticos (*Pennisetum clandestinum*) que cubrían un área aproximada de 1.700.000 ha de la zona andina colombiana; con lo cual se empieza a observar patrones geométricos o difusos asociados a la consolidación de la frontera agrícola en territorios donde no existían vías de acceso y la densidad poblacional es baja. (Etter *et al.*, 2008; Lambin y Meyfroidt, 2010). Otro determinante subyacente que

ha generado abandono o descanso de tierras, migración, aumento de áreas con pastizales en la zona de estudio y Colombia es el conflicto armado (Etter *et al.*, 2008). Los anteriores datos corroboran lo planteado por (Armentaras y Rodríguez, 2014) para este periodo, al determinar que el factor de cambio más frecuente de américa del sur es el establecimiento de pastizales y en Colombia la bonanza de los cultivos ilícitos; que han incrementado los procesos de deforestación que son móviles y dependen de las fuerzas del mercado (T Mitchell Aide y Grau, 2004). Además el crecimiento poblacional en Gabriel López que paso de 1000 a 3.500 habitantes acelero los procesos de perturbación. Los anteriores datos son importantes si tenemos en cuenta que el 70% de la población colombiana vive en la zona andina, dependiendo de la oferta de servicios de abastecimiento (alimentos) y regulación del agua que están siendo afectados por falta de sistemas integrales de gestión del suelo en ecosistemas alto-andinos. En los últimos años (después del 2000) diferentes instituciones han entrado a mediar sobre el impacto ambiental que se está generando en ecosistemas de la franja alto-andina, buscando alternativas para el cultivo de papa a través de estrategias como los cultivos asociados y huertas caseras que permitan una seguridad alimentaria, la rotación de cultivos y mantengan las áreas de conservación como se observa en este periodo a través de la conservación del páramo bajo, el bosque natural y las zonas del humedal, sin embargo hay un impacto grande en los bosques fragmentados y los humedales naturales por la ampliación de las zonas de pastizal y cultivo.

Con esta investigación se pudo establecer la dinámica de los procesos de modificación y conversión que se desarrollan en los ecosistemas alto-andinos, donde los determinantes de patrón de tipo biofísicos como: pendiente, temperatura, altitud, fertilidad y uso del suelo crean procesos de conservación y perturbación entre el ecotono de paramo bajo – bosque alto-andino. Adicionalmente determinantes subyacentes como el código de recursos naturales, la ley de páramos han logrado incrementar las áreas de conservación y por ende

la oferta de servicios ecosistémicos de regulación, abastecimiento, hábitat y culturales. Sin embargo, aún se mantienen prácticas de la AM intensiva que están llevando a la pérdida del bosque fragmentado, que en la dinámica del sistema actúa como un tensor que regula el impacto sobre las coberturas naturales y los CUS.

5.5 Cambio de coberturas y variables biofísicas.

El US/CUS representado en las coberturas vegetales y su relación con la estructura física del territorio se le denominó controladores espaciales; los cuales fueron evaluados a partir de características del suelo como pH, Carbono Orgánico, Densidad Aparente, Fertilidad, Textura, Nivel de Erosión; aspectos topográficos como el rango de pendiente, altitud y clima; que permitieron determinar las preferencias que establecen las coberturas vegetales (dinámicas US/CUS) por ciertas condiciones propias del ambiente biofísico en ecosistemas de la franja alto-andina como explica a continuación:

En el área de estudio se identificó ocho unidades cartográficas de suelo, de las cuales se registraron cinco asociaciones¹² (MHD, MKB, MLA, MLB, MLF) con un área aproximada de 11.966 ha correspondientes a paisajes de montaña fluvio-volcánico, volcánica estructural erosionado; dos complejos (MHE, MHF) con 729 ha de paisajes de montaña fluvio-volcánico y un grupo indeterminado (MHA) con 2.979 ha de paisaje de montaña glacio-volcanico (Figura 16, Tabla 11).

¹² Las **Asociaciones** y los **Complejos**, son unidades conformadas por dos o más componentes (clases taxonómicas de suelos), que comparten límites geográficos y taxonómicos, para cada suelo es posible establecer su ubicación (como se distribuye en el paisaje) y estimar su proporción (%) en la unidad. Los componentes principales son suficientemente diferentes en morfología o comportamiento, de tal forma que la unidad toma el nombre de los dos componentes dominantes.

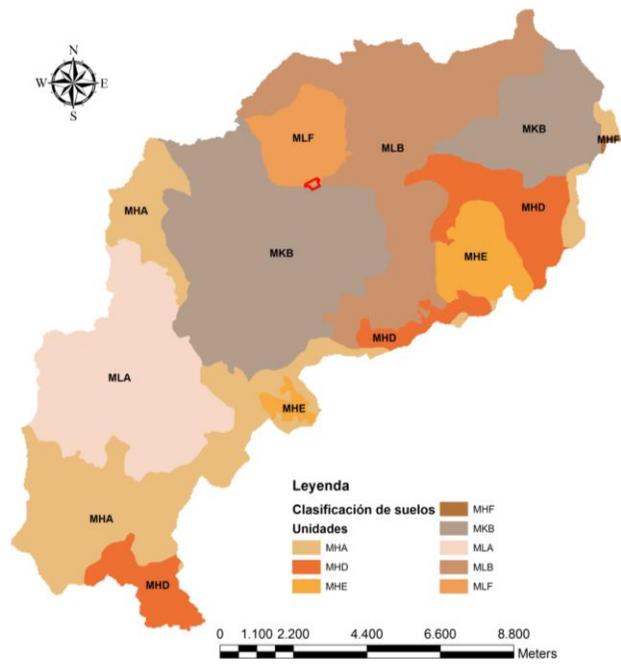


Figura 16. Unidades cartográficas de suelo para el área de estudio

Tabla 11. Unidades cartográficas de suelo y sus características

Paisaje	Clima	Precipitación (mm Anuales)	Temperatura (°C)	Relieve	Material Parental	Característica	Unidad Cartográfica	Composición taxonómica	%	Símbolo
Montaña glacio-volcánica	Muy frío húmedo y muy húmedo	1.000-2.000	08 - 12.	Filas y vigas	Capas de cenizas volcánicas continuas que cubren total o parcialmente rocas ígneas y metamórficas.	Moderadamente profundos a superficiales, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, extremada a fuertemente ácidos, erosión moderada y fertilidad baja.	Grupo indiferenciado	Typic Placudands		MHA
Montaña fluvio-volcánica	Frío húmedo y muy húmedo	1.000-2.000	8-12.	Glacís coluviales,	Derivado de mantos de cenizas volcánicas que cubren materiales coluviales de diferente litología	Superficiales a profundos, bien drenados, de texturas gruesas, muy fuerte a fuertemente ácidos, y fertilidad natural baja.	Asociación	Acrudoxic Hapludands	40	MHD
Montaña fluvio-volcánica	Muy frío húmedo	1.000-2.000	8-12.	Vallecitos intramontanos.	Depósitos coluvio-aluviales heterogéneos	Moderadamente profundos, texturas predominantemente gruesas, muy fuerte a moderadamente ácidos hacia los horizontes inferiores, y erosión moderada y fertilidad baja.	Complejo	Fluvaquentic Humaquepts	50	MHE
				Depresiones glaciares	Depósitos orgánicos poco descompuestos	Muy pobremente drenados, muy superficiales, texturas orgánicas, extremadamente ácidos, fertilidad baja, heladas frecuentes y encharcamientos permanentes.		Hemic Haplofibrists	50	
Montaña volcánica estructural erosionada	Frío muy húmedo	2.000-4.000	dic-18	Lomas y colinas	Capas de cenizas volcánicas que cubren tobas y brechas	Profundos a muy profundos, bien drenados, texturas moderadamente	Asociación	Acrudoxic Fulvudands	50	MKB
								Pachic Fulvudands	40	

						gruesas y gruesas, extremada a fuertemente ácidos, alta saturación de aluminio, erosión ligera a moderada y		Typic Hapludands	10	
Montaña volcánica estructural erosional	Frío húmedo	1.000-2.000	12-18.	Filas vigas y	Capas de cenizas volcánicas discontinuas que cubren diabasas y basaltos.	Profundos, bien drenados, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, muy fuerte a fuertemente ácidos, erosión ligera a severa y fertilidad moderada a baja.	Asociación	Typic Hapludands	40	MLA
								Typic Fulvudands	35	
								Andic Dystrudepts	20	
								Afloramientos Rocosos	5	
Montaña volcánica estructural erosional	Frío húmedo	1.000-2.000	6-12.	Filas vigas y	Derivado de cenizas volcánicas que cubren rocas ígneas como diabasas, basaltos y en algunos sectores sobre esquistos poco alterados, o sobre rocas sedimentarias y metamórficas.	Bien drenados, profundos a moderadamente profundos, texturas varían de medias a gruesas a través de todo el perfil, muy fuerte a fuertemente ácidos, y fertilidad natural baja	Asociación	Typic Fulvudands	40	MLB
								Acrudoxic Fulvudands	30	
								Typic Dystrudepts	30	
Montaña fluvio- volcánica	Frío húmedo	1.000-2.000	12-18.	Vallecitos	Capas de cenizas volcánicas que cubren andesitas, basaltos o diabasas.	Moderadamente profundos a superficiales, bien drenados, texturas gruesas a moderada- mente finas, extremada a fuertemente ácidos, erosión moderada y fertilidad baja a moderada.	Asociación	Typic Melanudands	40	MLF

Las anteriores unidades cartográficas de suelo fueron agrupadas de acuerdo al nivel de preferencia de cada US.

Páramo Bajo: este tipo de cobertura esta soportada principalmente bajo asociaciones de suelo Acrudoxic Hapludands (40%) – Pachic Melanudands (30%) – Typic Placudands (30%). Símbolo (MHD) (Tabla 12), cubren un área de 1.501 ha, se localizan en glacis coluviales, de relieve moderadamente ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes de 4 a 21%, sin erosión (Figura 17 y 18). Están derivados de cenizas volcánicas que cubren materiales coluviales de diferente litología. Son superficiales a profundos con horizontes O de 20 centímetros, color negro, bien drenados, textura gruesa generalmente orgánica, pH promedio de 4,1 a 5 clasificados como fuertemente ácidos (Figura 19), Carbono Orgánico de 27%, Densidad Aparente de 2,9 g/cc (Figura 20), nivel de fertilidad bajo (4,5). Se encontró una estrecha relación con el complejo Fluvaquentic Humaquepts (50%) – Oxic Hapludands (50%). Símbolo MHE, con una extensión de 716 ha, localizadas en valles intramontanos, de relieve moderadamente ondulado con pendientes que varían entre los 4 y 8%. Se han originado de depósitos coluvio-aluviales heterogéneos, son bien drenados, superficiales a moderadamente profundos, textura orgánica. Estas coberturas vegetales se encontraron distribuidas principalmente a elevaciones entre los 3.400 y los 3.700 msnm (Figura 21).

Tabla 12. Unidades cartográficas de suelo y sus características

UNIDADES	ÁREA (ha)	pH	CO	Da (g/cc)	FERTILIDAD	EROSIÓN	COBERTURA
MHD	1.501	4,1 - 5,0	27	2,9	Baja (4,5)	No	Páramo Bajo
MHE	716	5,5	10	2,8	Baja (4,5)	No	Paramo Bajo
MHA	2.979	4,1 - 4,8	15	2,8	Baja (4-5)	Ligera	Bosque Denso Bajo
MLB	2.947	4,8 - 5,2	7,5	2,77	Baja (4,6 - 5,4)	Moderada	Bosque Fragmentado
MKB	4.458,70	4,6 - 4,9	23	2,37	Baja (4,5)	No	Sistema lagunar
MHF	13,7	4,8	7,5	2,4	Baja (4,5 - 4,6)	No	Sistema lagunar
MLA	2.426,20	4,9 - 5,8	23	1 - 2,72	Baja a moderada (4,6 - 6,5)	Moderada a severa	Cultivos transitorios y pastizales
MLF	634,5	6,7	6,7	2,8	Baja a moderada (4,4 a 6,3)	Moderada a severa	Cultivos transitorios y pastizales

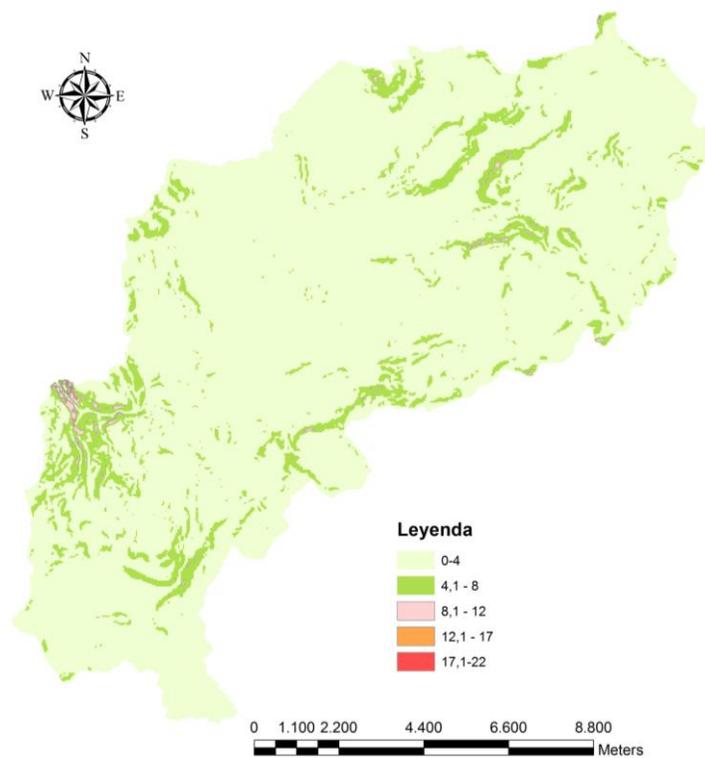


Figura 17. Distribución de pendientes del terreno en la zona de estudio.

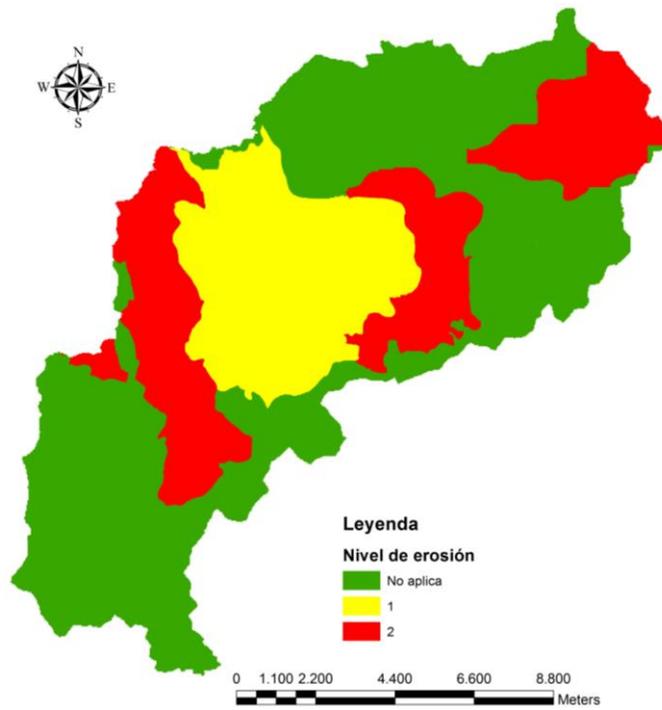


Figura 18. Nivel de erosión para la zona de estudio

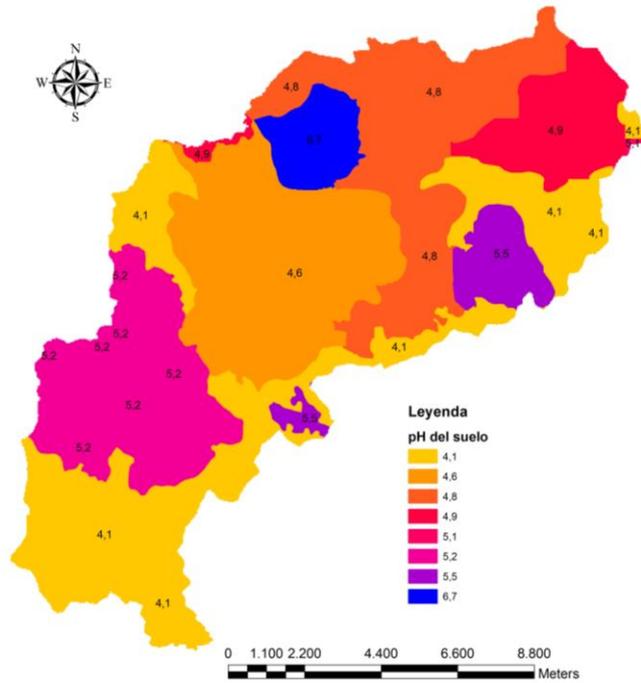


Figura 19. Distribución de pH del suelo en la zona de estudio

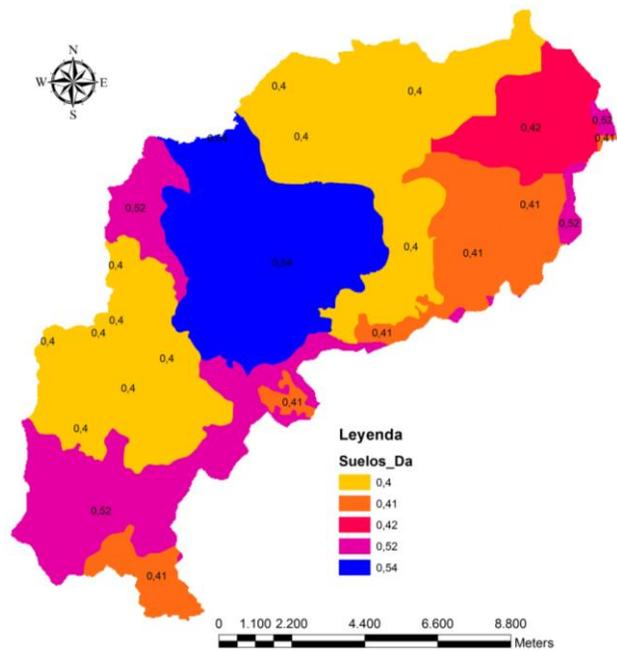
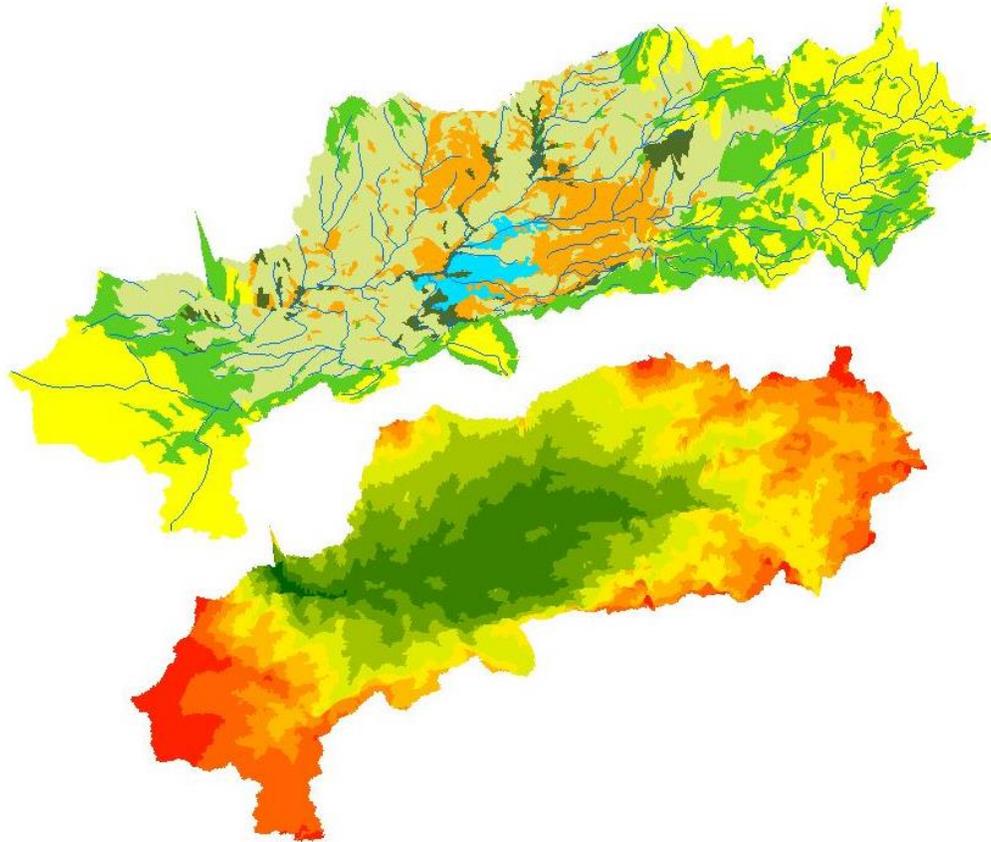


Figura 20. Rangos de Densidad aparente para la zona de estudio.



Figuran 21. Nivel de elevación para los suelos de Gabriel López

Bosque Denso Bajo: esta cobertura presento una preferencia por suelos de la asociación Typic Placudands (40%) - Lithic fulvudands (30%) - Lithic Melanudands (30%) (MHA) (Tabla 12); con una extensión de 2.970 ha; relieve de filas, viga moderadamente inclinada de pendientes que fluctúan entre los 4 y 21% en las vertientes se pudo identificas movimientos en masa o cicatrices de derrumbes (Figura 21). Los suelos son derivados de cenizas volcánicas, profundos (15, 50 y >1m), color pardo grisáceo muy oscuro, bien drenados, textura Franco Arenosa, fuerte mente ácidos con un pH de 4,1 a 4,8; Carbono Orgánico 15%, Densidad Aparente de 2,8 g/cc; Nivel de Fertilidad Bajo (4 a 5). La cobertura de Bosque Denso Bajo se ubicó sobre los 3.100 y 3.400 msnm.

Bosque Fragmentado: los tipos de suelo de relacionados con esta cobertura son los perteneciente a la asociación Typic Fulvudands (40%) – Acrudoxic Fulvudands (30%)- Typic Dystrudepts (30%), Símbolo MLB. Con una extensión de 2.947 ha. Esta unidad se caracteriza por tener un relieve quebrado hasta fuertemente escarpado con pendientes rectas y ligeramente convexas de 12 a mayores de 22% con presencia de procesos de erosión hídrica y movimientos en masa. Los suelos son derivados de mantos de cenizas volcánicas que cubren rocas ígneas con diabasas, basaltos y sobre rocas sedimentarias y metamórficas. Son suelos profundos con un horizonte A de aproximadamente 26 cm, color pardo muy oscuro, bien drenados de textura Franca; pH de 4,8 a 5,2 muy fuerte a fuertemente ácidos (Figura 16), Carbono Orgánico de 7,5%, Densidad Aparente de 2,77 g/cc y baja fertilidad (4,6 a 5,4).

Laguna Natural: esta cobertura se encuentra sobre la asociación Acrudoxic Fulvudands (35%) – Pachi Fulvudands (35%) – Typic Hapludands (30%), símbolo MKB (Tabla 11). Tiene una extensión de 4.458,7 ha. El relieve de esta estructura es plano con pendientes que van desde 0 al 4% con presenciá de encharcamientos por las lluvias. Los suelos son formados por cenizas volcánicas, diabasas y flujos volcánicos, profundos a muy profundos con textura franco

limosa, fuertemente ácidos con pH de 4,6 a 4,9 (Figura 16); Carbono Orgánico de 23%, Densidad Aparente de 2,37 g/cc, fertilidad baja (4,5). En esta cobertura también se encuentra en menor proporción el complejo Hemic Haplofibristis (50%) – Terric Haplohemists (50%), símbolo MHF. En una extensión de 13,7 ha. Los suelos presentan una textura orgánica con un bajo nivel de descomposición, extremadamente ácidos con pH menores a 4,8, Carbono Orgánico 7,5 %, Densidad Aparente 2,4 y fertilidad baja (4,6). Las coberturas de origen lagunar dominadas por turberas se encontraron sobre elevaciones de 2.800 a 3.000 msnm

Cultivos transitorios y pasturas: conformados por las asociaciones Typic Hapludands (40%) – Typic Fulvudands (35%) – Andic Dystrudepts (20%), símbolo MLA (Tabla 12). Tiene una extensión de 2.426,2 ha, El relieve es ligeramente ondulado hasta fuertemente escarpado con pendientes desde 4 a mayores del 22%, con presencia de erosión hídrica en grado moderado a severo en las zonas de mayor pendiente con suelos desnudos. Los suelos igualmente se han formado de cenizas volcánicas, son profundos con un horizonte A de aproximadamente 23 cm, color pardo muy oscuro, texturas Franco Limosa y Franco Arenosa, pH de 4,9 a 5,8 fuertemente ácidos Carbono orgánico de 23%, Densidad Aparente de 1 a 2,72 g/cc; fertilidad baja a moderada (4,6 a 6,5). También se encuentra la asociación Typic Melanudands (40%) – Thaptic Hapludands (35%) – Typic Placudands (25%). Símbolo MLF, con una extensión de 634,5 ha. Los suelos de esta unidad se ubican en áreas con un relieve ligeramente ondulado con pendientes de 4 a 17%, son suelos originados de cenizas volcánicas que cubren materiales como andesitas, diabasas, filitas y esquistos; son moderadamente profundos a superficiales, con horizontes cementados o endurecidos. Textura Franco Arenosa, con pH básicos de 6,7; Carbono Orgánico de 6,7; Densidad Aparente de 2,8, fertilidad moderada (4,4 a 6,3). Estas coberturas de origen antrópico se distribuyen en toda la zona de estudio.

5.5.1 Trayectoria de cambio relacionada con el tipo de suelo

Páramo bajo: en el periodo 1989 presentaron suelos de unidades MHA y MLB en un (97%). Para 1999 y 2008 los suelos MHA ocupando el 51% del esta cobertura y el resto se distribuyó en MHD, MLB (42,8%) y las demás unidades. El bosque denso bajo para el periodo 1989 presento un 85% de su área total en las unidades (MHA), (MHD), (MKB) y (MLB). Para 1999 y 2008 se identificó MHA y MLB representaban en área el 54% y 58%. En 2008-20017 la mayor área de páramo bajo (1.027ha) se encontró en la asociación de suelos MHA, seguida de MHD (938ha) y MKB (876ha) (Tabla 13).

Tabla 13. Relación coberturas/tipo de suelo para 1989, 1999, 2008, 2017

US 1989	Tipo de suelo (ha)							Total
	MHA	MHD	MKB	MLA	MHE	MLF	MHF	
Páramo Bajo	974	699	571	54	724	36		3058
Bosque Denso Bajo	741	717	630	427	729	69		3313
Bosque Fragmentado	710	476	677	493	1029	129		3514
Humedal Natural	2		530				13	545
Pastizal	524	12	1705	1499	484	357		4581
Cultivos Transitorios	52	1	316	141	89	42		641
Total	3003	1905	4429	2614	3055	633	13	15652
<hr/>								
US 1999								
Páramo Bajo	986	1124	735	91	1031	65		4032
Bosque Denso Bajo	998	622	643	551	1258	85		4157
Bosque Fragmentado	346	213	355	147	250	43		1354
Humedal Natural			392				13	405
Pastizal	563	16	1892	1689	434	387		4981
Cultivos Transitorios	33	0	408	144	70	54		709
Total	2926	1975	4425	2622	3043	634	13	15638
<hr/>								
US 2008								
Páramo Bajo	1311	1189	957	150	1039	98		4744
Bosque Denso Bajo	1045	622	407	489	1156	19		3738
Bosque Fragmentado	76	27	182	80	83	19		467
Humedal Natural			323				13	336
Pastizal	474	70	1847	1484	652	400		4927
Cultivos Transitorios	103	1	704	419	112	98		1437
Total	3009	1909	4420	2622	3024	634	13	15649
<hr/>								
US 2017								

Páramo Bajo	1027	938	876	83	743	74		3741
Bosque Denso Bajo	1249	642	357	493	1274	22		4037
Bosque Fragmentado	82	25	186	74	78	16		461
Humedal Natural			285				17	302
Pastizal	628	76	1949	1447	705	416		5261
Cultivos Transitorios	146	0	935	470	196	106		1853
Total	3132	1681	4558	2567	3036	634	17	15665

Bosque Fragmentado: para el periodo 1989 los suelos de esta cobertura están representados en las unidades MHA, MLB, MHD en un (68%). Para 1999 los suelos dominantes fueron MHD, MHA, en (51%). Para el periodo 2008 su distribución fue MHD 38%; MHA y MLB (35%). En 2017 estas coberturas se encuentran distribuidas en las unidades de suelo MKB (186 ha), seguida de MHA (82ha).

La cobertura de humedal natural en un 100% para los tres periodos pertenece a suelos MKB,

Los pastizales en las cuatro temporalidades 1989,1999, 2008, 2017 el 70% está sobre las unidades de suelo MKB y MLA..

Las áreas de cultivo transitorio pertenecen a suelos MKB y MLA (78%) presentaron condiciones similares a las de pastura en las tres temporalidades (Tabla 13).

Las anteriores características de la reacción cobertura vegetal/tipo de suelo en la franja alto-andina, corrobora el planteamiento que el suelo representa un controlador espacial del patrón de distribución; además de otras condiciones como altitud, pendiente, clima que han determinado la ubicación de las diferentes coberturas como es el caso de las áreas de conservación que se encuentran entre los rangos altitudinales de 3200 a 3600 msnm, limitados por pendientes mayores al 20%, temperatura menor a 10°C, precipitación promedio de 2750 mm

y suelos de asociación Typic Fulvudands – Acrudoxic Fulvudands – Typic Dystrudepts y Acrudoxic Hapludands – Pachic Melanudands – Typic Placudands, con simbolos MLB y MHD de montaña derivados de ceniza volcánica, superficiales a profundos, fuerte mente acidos y fertilidad baja. Las áreas de intensificación con cultivos de papa y pasturas para ganadería se encuentran principalmente entre los 2800 y 3200 msnm, con pendientes menores al 9%, temperatura promedio de 11 a 15°C, precipitación promedio 1050 a 2375 mm y suelos de asociaciones Acrudoxic Fulvudands – Pachic Fulvudands – Typic Hapludands con simbolos MKB, derivados de cenizas volcánicas, moderadamente profundos a muy profundos, textura moderadamente fina, alta saturación de aluminio, fertilidad baja

5.6 Susceptibilidad de los suelos en la franja alto-andina a procesos de erosión hídrica

Para corroborar los procesos de degradación en la franja alto-andina se realizó un análisis de susceptibilidad a la erosión hídrica de los usos de suelo que marcan la dinámica de transformación en esta franja como son los cultivos transitorios de papa y las pasturas extensivas. Se realizó un monitoreo con la utilización de simuladores de lluvia en condiciones propias de ecosistemas alto-andinos, estableciendo las características físicas y química de los suelos y los niveles de suelo erodado en estos agro- ecosistemas (Figura 22).

Se elaboró un diseño experimental completamente aleatorio identificando las áreas con usos de suelos para cultivos de papa y pasturas; pendientes más representativas (5, 15, 25%) a una intensidad de lluvia promedio para la zona 100mm^{-1} tal como lo plantea Muñoz, Perez y Otero (2014); Otero et al. (2011).



Figura 22. Evaluación de susceptibilidad a la degradación por erosión hídrica de los suelos.

5.6.1 Análisis de las propiedades físicas de los usos de suelo antrópico.

Perfil del suelo

Las características del perfil del suelo están representadas por una alta presencia de materia orgánica compuesta por raíces y hojas producto de cosechas y de cobertura vegetal natural como lo muestra la figura 23 y 22. En estos perfiles de suelo se pudo identificar como los horizontes se han modificado en cada uno de los suelos dominantes, en el caso del horizonte A0 se observa una reducción respecto a los bosques por pérdida de hojarasca y material en descomposición. Igualmente sucede con el horizonte A1 (materia orgánica en descomposición) donde el CUS redujo su espesor considerablemente. El horizonte B1 presentó procesos de translocación encontrándose en otros estratos del suelo por la continua mecanización y actividades agrícolas.

PERFIL DEL SUELO				
Pastura <50%		Cultivo		Bosque <50%
10 cm	A0	10 cm	A0	10 cm
20 cm	A1	20 cm	A1	20 cm
30 cm		30 cm	A1	30 cm
40 cm		40 cm		40 cm
50 cm	B1	50 cm		50 cm
60 cm		60 cm		60 cm
70 cm		70 cm	B1	70 cm
80 cm	B2	80 cm		80 cm
90 cm		90 cm		90 cm
100 cm		100 cm		100 cm

Figura 23. Composición de los perfiles de suelos



Figura 24. Perfil de suelo característico de la franja alto-andina

Textura

Los resultados obtenidos a partir de las muestras de suelo (Figura 25) de cada uso seleccionado permitió determinar las características texturales a partir del método de Boyoucos (Tabla 14) donde se identifica una alta variación entre tratamientos (Cultivo y Pastura) para los tamaños de partículas arena, limo y arcilla. Para las pasturas la familia textural más dominante es **limosa** y en cultivos **franco limosa**. Las diferencias entre tratamientos para cada tamaño de partícula se observa en las arenas, las pasturas tienen porcentajes menores siendo muy bajos para ambos tratamientos.

Las arcillas se encuentran en niveles muy bajos para ambos tratamientos pero con mayor dominancia en el tratamiento de cultivo. En suelos con alto contenido de materia orgánica como son los Andisoles de esta zona, se puede presentar una variación en la determinación de sus características. Para la textura puede asociarse con una nueva superficie formada por materiales **franco limosos**, transportados por el agua de escorrentía ricas en lodo, las cuales pueden modificar la textura de la capa superficial. Que en épocas de lluvia pueden generar incrementos en los flujos de escorrentía y en épocas de verano puede inducir la remoción de partículas finas por acción del viento causando erosión hídrica y eólica en los suelos que no cuentan con cobertura vegetal.

La erosionabilidad de un suelo depende de la combinación de muchos factores y es evidente, que uno de los más importantes es la textura, por su estrecha relación con la cohesión del material así como con la permeabilidad del mismo, de esta manera en estudios realizados por la USDA comprueban que los suelos más erosionables corresponden a las texturas intermedias (fracción de limo más abundante) de los tipos **fr**, **frLi (franco limoso)**, **Li (limoso)**. Por lo tanto podemos asumir que los suelos con predominios de arenas muy finas y limos presentan una baja estabilidad al impacto de las gotas de lluvia por la baja cohesión de las partículas dentro de las unidades estructurales. Reflejando en la formación de sellos superficiales que generan un descenso en la permeabilidad del suelo.

Tabla 14. Propiedades físicas y químicas de los suelos

Variables	Pastura	Cultivo	Sig
%Arena	7,45	19,94	0,05
%Limo	87,4	72,5	0,05
%Arcilla	5,14	7,53	0,15
Textura	Li	FrLi	
Porosidad total %	78,15	75,75	0,28
Dr g/cc	2,19	2,17	0,12
Da g/cc	0,48	0,53	0,3
Permeabilidad cm/seg	$4,5 \times 10^{-4}$	$3,3 \times 10^{-4}$	0,44
Humedad % de campo	152,8	95,8	0,44
MO%	29,43	28,16	0,21

pH	4,92	4,96	0,1
Al ³⁺ Intercambiable(meq/100g)	3,25	1,88	0,04



Figura 25. Toma de muestras de suelo

Humedad

En los dos tratamientos se presentaron diferencias estadísticas con porcentajes altos de humedad que son acordes a las características que presentan los ándisoles, pues sus agregados se expanden con facilidad permitiendo la acumulación de gran cantidad de agua. La diferencia que presentan los tratamientos se encuentra posiblemente en la exposición que presenta el suelo desnudo ante el sol facilitando la erosión eólica o hídrica, permitiendo la evaporación y por ende menores valores de humedad, caso contrario del suelo con cobertura en pastos, pues este tipo de vegetación permite la infiltración del agua que a veces alcanza hasta 2-3 veces la masa seca del suelo y permite acumulación de la misma.

Densidad aparente

Los valores reportados para esta variable son bajos¹³ (Tabla 14), lo cual se puede atribuir a que estos suelos son de origen volcánico y de alto contenido de materia orgánica. Afectados por labores agrícolas en los horizontes **Ao**. Se presentaron diferencias entre pastura y el suelo desnudo pero que no alcanzan a ser significativas estadísticamente, con valores bajos y altos respectivamente. Esto es acorde con la porosidad total ya que al existir un mayor espacio aéreo la densidad aparente tiende a disminuir, porque la macroporosidad es la responsable del movimiento gravitacional del agua en el suelo.

La densidad aparente refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire. A medida que se aumenta la densidad aparente se reducen la porosidad total, la humedad del suelo, la conductividad del agua y la actividad de los microorganismos a través del perfil.

Porosidad

La porosidad total para todos los tratamientos es alta con valores superiores al 74.91% (Tabla 14). También se deduce que los tratamientos de pasturas y suelo desnudo se comportan en diferente forma; esto es acorde a los altos valores de infiltración y humedad determinados en el sistema con cobertura vegetal, ya que este medio le brinda al suelo una mayor macroporosidad que es la encargada de facilitar el movimiento del agua. Se puede asumir que la porosidad total y la densidad aparente son inversas o sea que a mayor porosidad total menor es la densidad aparente.

¹³ Condiciones de suelo para Densidad Aparente entre 0,04 – 0,007 g/cm³: débilmente drenado, suelto, descomposición baja.

De igual forma los valores de la tabla 13, indican que hay diferencias estadísticas respecto a este parámetro ya que la preparación del terreno para cultivo hace que se destruya la estructura del suelo y lo expone a los factores ambientales como la lluvia y el sol. Al mismo tiempo se comprobó a través de las simulaciones de lluvia como el suelo a formado una capa impermeable en la parte subsuperficial del suelo por las prácticas agrícolas con uso de tractor y el pisoteo del ganado. El impacto de las gotas de lluvia y la saturación del mismo, han generado altos niveles de escorrentía y la alta exposición del suelo crea altos niveles de erosión hídrica.

Permeabilidad

Los tratamientos frente a la permeabilidad presentan una diferencia estadística significativa que oscilan entre $2,63 \times 10^{-4}$ y $4,93 \times 10^{-4}$ cm/s, que es una permeabilidad baja para un tipo de suelo de arena fina. El tratamiento de pastura presenta un nivel ligeramente mayor de permeabilidad, pues es claro el papel fundamental que cumplen las coberturas vegetales con toda su estructura, lo cual permite la infiltración del agua que impide la formación de flujos superficiales. Caso contrario del suelo desnudo que se puede saturar fácilmente con lluvias debido a la eliminación de la cobertura vegetal, y la destrucción de su estructura y la macro porosidad durante la preparación de los suelos para el cultivo, formando capas impermeables en los estratos del suelo que facilitan el aumento de los niveles de escorrentía superficial.

Densidad real

La densidad real se encuentra dentro de un rango alto para suelos orgánicos¹⁴, indicado la presencia de suelos en estado de mineralización por la pérdida de materiales orgánicos (Tabla 14). De igual forma la presencia de materiales

¹⁴ rango de Densidad Real para suelos orgánicos 1.4 y 2.0 g cm³.

piroclásticos y de origen volcánico pueden generar dicha característica en suelos ándicos. Es claro que para este tipo de agro-ecosistemas el mayor efecto lo generan las prácticas agrícolas, creando procesos de transformación como se puede evidenciar en el cambio de familia textural.

Al realizar una comparación con otras variables se puede observar como los menores valores de materia orgánica coinciden con los valores bajos de densidad real, con lo cual se puede asumir que la materia orgánica afecta la densidad real. Ya que la gravedad específica de la materia orgánica se encuentra cerca de 1.4 g/cc, y parece ser el factor que más influye.

5.6.2 Análisis de las propiedades químicas del suelo.

Materia orgánica

Los resultados obtenidos en la Tabla 14 muestran que el contenido de materia orgánica a la profundidad de 0–5 cm es de 27.58%; el cual es considerablemente alto. La diferencia que presenta la materia orgánica ante los tratamientos de cultivo y pastura, indica que el laboreo y las prácticas agrícolas empleadas al igual que la erosión disminuyen el contenido de esta en función del tiempo e intensidad de uso del suelo pero no alcanzan a tener diferencias estadísticas entre tratamientos.

pH

El pH determinado en los dos tratamientos se encuentra dentro de la categoría de suelos ácidos como la mayoría de la zona andina colombiana, esta característica está relacionada con el material parental originado de cenizas volcánicas.

El tratamiento que presentó los valores más bajos de pH fue pastura, y se presentó un leve incremento en suelo desnudo debido principalmente a el encalamiento para la preparación de suelos.

Aluminio intercambiable

Los resultados indican que hay una alta diferencia entre los tratamientos respecto al aluminio intercambiable, donde los valores bajos están asociados a suelos o arcillas que se han encalado y alcanzan poca acidez intercambiable. Por esta razón se analiza los tratamientos asumiendo que la poca presencia del aluminio intercambiable en el sistema de cultivo está asociado a las prácticas agrícolas.

Las actividades de agricultura migratoria (AM) de corte, tumba y quema del bosque, hacen que ocurran cambios significativos en las propiedades químicas y físicas del suelo. Estos cambios son beneficiosos porque aumentan el contenido de elementos disponibles, tales como calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y potasio (K), neutralizándose parte del aluminio intercambiable. Sin embargo estas dinámicas de cambio dependen de la duración y el tipo de vegetación que se ha talado, clima y las propiedades del terreno.

5.6.3 Susceptibilidad de los usos de suelos de origen antrópico a procesos de erosión hídrica

Para el análisis de susceptibilidad a la erosión fue necesario ubicar los puntos de muestreo de investigaciones anteriores como las de Muñoz, Perez y Otero 2014; Muñoz et al. 2010; Pérez, Paez y Figueroa 2013; Perez 2010 para verificar los cambios en los niveles de erosión hídrica en la zona. Se realizaron tres años de monitoreo (2012, 2013, 2014) para los usos de suelos de origen antrópico (Cultivo de papa y pasturas) los más altos niveles de erosión hídrica y suelo erodado se presentaron en los suelos preparados para el cultivo de papa en pendientes superiores al 50%, otros factores que producen estas diferencias entre usos fue el manejo del suelo, pues al dejar el suelo descubierto favorece la disgregación y su consecuente arrastre por efecto de la escorrentía superficial, además la pérdida de la estructura genera cambios como el sellamiento o la rápida saturación de los poros. En algunos casos las pendientes pronunciadas tienen longitudes mayores

de 15 metros favoreciendo la velocidad de la escorrentía superficial, pasando de un factor de transporte a uno de desprendimiento provocando una erosión más severa (Figuras 26, 27, 28). Estos datos son acordes a los reportados en investigaciones de Muñoz et al. (2010); Otero et al. (2011) que muestran como los suelos de la franja alto-andina al cambiar su estructura y cobertura vegetal son expuestos a efectos climáticos como lluvias de alta intensidad y fuertes temperaturas que favorecen los procesos de erosión hídrica y eólica.

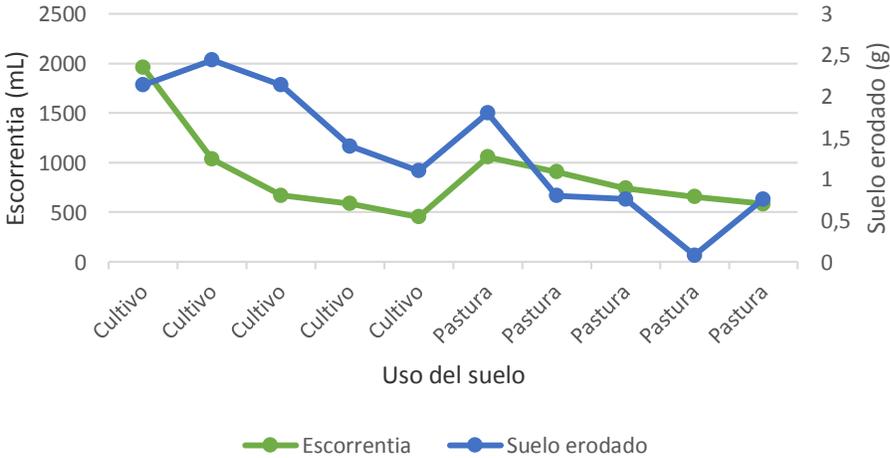


Figura 26. Comparación de suelo erodado y escorrentía para los dos usos de suelo durante el mes de septiembre 2012

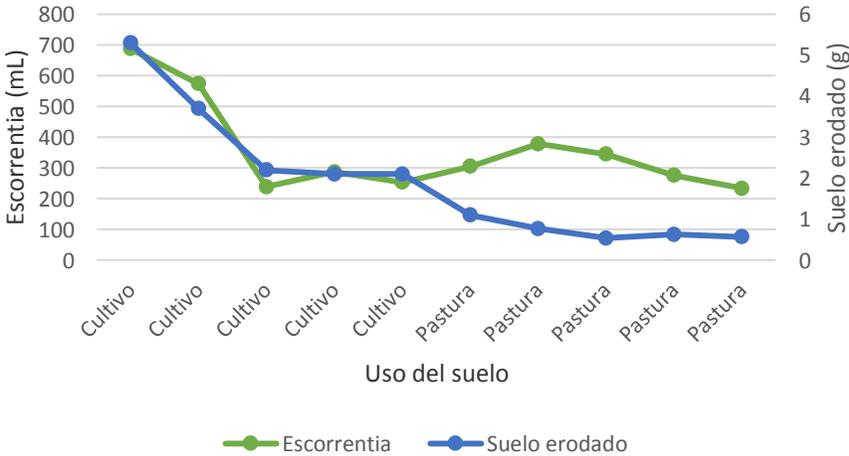


Figura 27. Comparación de suelo erodado y escorrentía para los dos usos de suelo durante el mes de noviembre 2013

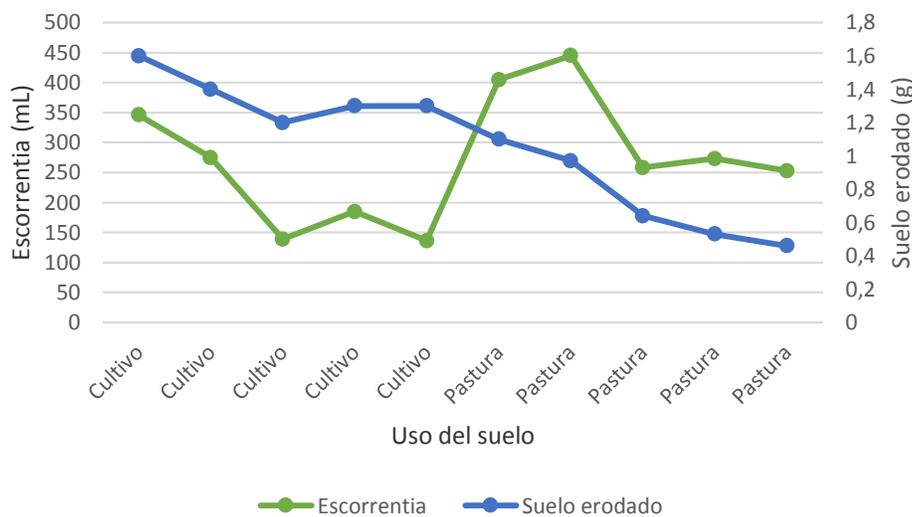


Figura 28. Comparación de suelo erodado y escorrentía para los dos usos del suelo durante el mes de noviembre 2014

En los años 2013 y 2014 (Figura 26, 27) se presentó un comportamiento similar durante el muestreo a pesar que en los talleres de sensibilización se les indicó a los campesinos algunas estrategias para mitigar los altos niveles de escorrentía (que pueden generar pérdidas de 1 Ton/ha/año). Algunas de las estrategias socializadas fueron programar los cultivos teniendo en cuenta el comportamiento climático de la zona, la organización del predio según las características del suelo y en especial la pendiente para ubicar los cultivos en sentido contrario. Se reiteró la importancia de mantener al máximo vegetación acompañante o en descomposición. Sin embargo estos suelos presentan una alta susceptibilidad a la erosión si se considera el tiempo de recuperación que necesita un suelo de la franja alto-andina. La magnitud de este efecto se puede deducir de las investigaciones de Bennett 1939 en (Hudson, 1982) donde indica que bajo condiciones no alteradas son necesarias del orden de 300 años para producir 25 mm de suelo. Estas cifras también pueden ser comparadas con los valores promedios de los procesos de formación del suelo reportados por la (FAO, 1996) que se acercan a una tonelada $ha^{-1}año^{-1}$.

Los anteriores datos presentan diferencias significativas respecto al año 2012 debido principalmente a los altos niveles de precipitación, acompañados de prácticas culturales que permiten la entrada de ganado que generó un proceso de compactación de la parte superficial del suelo. En general el suelo erodado está relacionado con la escorrentía, es decir el uso del suelo que presenta alta escorrentía presenta también altos niveles de arrastre de suelo ver Figuras 27, 28, 29. Estos altos niveles de suelo desplazado en 2012, 2013, 2014, son equivalentes a los encontrados por Muñoz, Perez, y Otero (2014); Otero et al. (2011) y son ocasionados fundamentalmente por la baja capacidad de infiltración del suelo y la falta de cobertura vegetal que genera láminas de escorrentía que arrastran el suelo desprendido por las gotas de lluvia.

Las actividades de la AM para implantar cultivos y ganadería han incrementado los procesos de Cambio de Uso del Suelo (CUS) generando efectos directos sobre las características de los suelos de la franja alto-andina. La tala, quema, adecuación de terrenos inicialmente para pastoreo del ganado dejan la vegetación a ras del suelo ya sea al comerlo o por sus pesuñas relativamente cortantes; además de la compactación y pérdida casi total del horizonte A₀₀ y A₁. Ejemplo de estos procesos es el efecto de pata de vaca (Figura 29); lo cual acelera la pérdida de macroporos, altera la permeabilidad, la estabilidad estructural que causan remociones masales. Estos procesos en conjunto incrementan la susceptibilidad de los ándisoles a la erosión y alteran la relación suelo-planta en cuanto a la disponibilidad de agua, suelos aptos para la actividad productiva.



Figura 29. Erosión de suelos por compactación o efecto de pata de vaca

5.7 Dinámica social en el territorio

De acuerdo a la información obtenida en los talleres, las entrevistas y la recopilación histórica de documentos, se identificó una línea de tiempo con tres periodos (1900-1950, 1950-1970, 1970,2013) los cuales se socializaron (Figura 30) y definieron con el acompañamiento de personas de las diferentes veredas de la parte alta de la cuenca del rio Palacé.



Figura 30. Socialización de historia ambiental del territorio

5.7.1 Otorgamiento de terrenos baldíos y reducción de bosques andinos (1900-1950)

En el año 1900 Gabriel López solo era un área de paso por caminos y trochas hacia Silvia y Puracé dominada por coberturas de bosque alto-andino y páramo que le pertenecían a los indígenas Totoroes (Figura 31). La producción en estos territorios se basaba en la servidumbre para las haciendas, en las que los terrajeros cultivaban pancoger para su manutención, y también adecuaban terrenos para la ganadería que producía insumos para la economía minera, dentro de una relación esclavista; además la guerra de los mil días, impulsó la transformación del territorio, por los que huyeron de las confrontaciones y reclutamientos forzados. Hacia 1916 los Totoroes, donan 8 hectáreas para establecer la cabecera municipal de Totoró. Posteriormente tras el establecimiento de la ley 200 de 1936 “otorgamiento de terrenos baldíos” por el INCORA y la necesidad de nuevas tierras para agricultura y ganadería, se propició la llegada de campesinos por parte de los terratenientes hacia las zonas altas para despejar el bosque alto-andino y el páramo mediante prácticas como tala, rosa y quema y dejar el suelo apto para la agricultura o ganadería, es así como, según relatos, empieza la migración de personas provenientes de Popayán y Puracé quienes traen los cultivos de papa (variedad roja o sabanera), ulluco, magua y haba. Hacia las partes más bajas las comunidades indígenas tenían cultivos de coca, cebolla, maíz y trigo, productos que se intercambiaban y cultivaban. Es de resaltar que en esta época no se utilizaban abonos o fertilizantes químicos, los cultivos eran de poca extensión pero de muy buena calidad.

Con el paso del tiempo estas tierras pasaron a manos de grandes terratenientes, donde los predios tenían grandes extensiones de bosque y para poder expandir los cultivos, estos terratenientes pedían a sus obreros que tumbaran el bosque, realizando actividades de Agricultura Migratoria (AM). En este periodo cuando los

suelos dejaban de ser productivos se abandonaban o se usaban para ganadería extensiva con el fin de producir leche y carne de consumo familiar. No existían carreteras, la única vía de comunicación con el municipio de Popayán era el camino de herradura, el Hatico, por donde los paperos comercializaban sus productos.

En 1947 se conforma la primera junta de acción comunal, en donde los campesinos obreros de los terratenientes empiezan a adquirir legalmente sus pequeñas fincas.

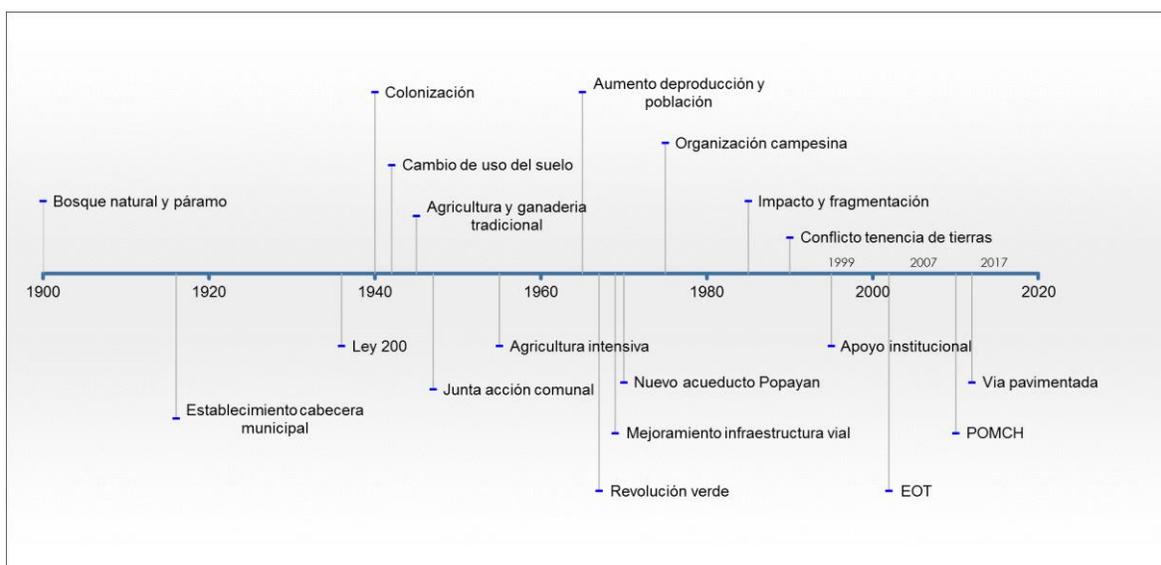


Figura 31. Línea de tiempo, a partir de hechos históricos que han marcado la dinámica de transformación en Gabriel López.

5.7.2 Mejoramiento del cultivo de papa e infraestructura (1950 a 1970)

Esta época está marcada por el cambio de coberturas vegetales naturales a pastizales, bosque intervenido y cultivos; por la potencialidad de los suelos para producir papa. En este periodo se inicia la llegada entre 1955 y 1960 de los papicultores, provenientes de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño, que introdujeron nuevos procesos para el cultivo de papa, con la

utilización de agroquímicos y tecnificación del proceso de antes y después de la siembra, uso de tractores para la labranza de la tierra y la inclusión de semillas mejoradas. Por ejemplo la utilización en un 86% de agroquímicos para desinfectar el terreno con herbicidas e insecticidas como Nurelle, Furadan, Eltra, Curacron, Pirestar, Goldzim, Revus, Ridomil Gold, Curzate M-8, arar, surcar, encalar y fertilizar con Humifert, cal dolomita, 10- 20-20, 10-30-1. Se empiezan a realizar alianzas entre terratenientes, con la finalidad de expandir el cultivo y obtener mejores ganancias. Se inicia un proceso de expansión de la frontera agrícola hacia áreas de bosque natural y de páramo.

Los productos de la ganadería extensiva (leche y carne) empiezan a ser comercializados con los principales municipios (Popayán, Cali). La ganadería solo se realiza si el suelo disminuye su fertilidad o si el agricultor no tiene los suficientes recursos económicos para invertir en la agricultura tecnificada. Dentro de las prácticas asociadas a la ganadería, el 93% de la población hace rotación de cultivos después de 3 a 5 siembras (aproximadamente 3 años), luego dejan descansar el suelo de 5 meses a 1 año o lo abandonan, para introducir ganado (en algunos casos no hay periodos de descanso). Prácticas como la tala y la quema indiscriminada se continúan realizando para obtener leña, postes y despeje de áreas boscosas. Solo el 39% de la población conserva el bosque para protección de fuentes de agua.

Este pico alto de producción genero el aumento de población y la mezcla entre culturas. Además de elevar los costos de producción que solo están al alcance de los grandes terratenientes que empieza a hacer alianzas entre ellos con la finalidad de expandir el cultivo, obtener mejorar rentabilidad (el cultivo deja entre 50 y 70% de ganancias), comprar y arrendar la tierra de campesinos. Adicionalmente las diferentes reformas del gobierno que incentivaron la producción, junto a la revolución verde y las altas utilidades del cultivo, propician el mejoramiento de la infraestructura vial entre Popayán-Gabriel López y Gabriel

López-Departamento del Huila, la utilización de la sub-cuenca río Palacé como nuevo acueducto de la ciudad de Popayán. Lo cual generó dinámicas en USCUS, pues la frontera agrícola se amplió hasta llegar a zonas de conservación como son el bosque alto-andino, el páramo y el humedal natural.

5.7.3 Organizaciones sociales y degradación de recursos naturales (1970 a 2015)

Durante esta época (1970 y 1980) las organizaciones sociales logran tener un apoyo gubernamental e inician a proponer proyectos productivos y de comercialización promovidos por las políticas del gobierno a través del INCORA. Se plantean el manejo de las zonas de conservación (páramo, bosque y humedal natural). La asociación de campesinos que corresponden al 97% del total del territorio (80% oriundos y 20% foráneos); donde identifican que los principales problemas están relacionados en un 17% por el manejo de los recursos naturales y 83% por tenencia de tierras. El impacto ambiental que está generando las actividades agropecuarias al llegar a las zonas de páramo, fragmentado el bosque alto-andino, ampliando las áreas de pastizales, colmatando el humedal natural, alterar la calidad de los suelos y agua. Las prácticas agrícolas han generado problemas de salud en 92% agricultores pues son ellos la mano de obra y quienes asumen todo el impacto ambiental.

Por lo anterior mencionado a partir del año 2000 diferentes instituciones han entrado a mediar el conflicto social y el impacto ambiental que se está generando, buscando alternativas para el cultivo de papa; ya que, se han dado cuenta que muy poco de lo que se cultiva es para su propio consumo. Las huertas caseras serán una estrategia que permitan una seguridad alimentaria, la rotación de cultivos y el mantenimiento de las áreas de conservación. Durante este periodo se evidencian procesos de conservación del páramo y el bosque natural, sin

embargo hay un impacto grande en los bosques naturales y el humedal por la ampliación de las zonas de pastizal y cultivo.

El conflicto social permanece y se acentúa más, debido a que los terratenientes son los que obtienen mejores dividendos de sus cultivos y el campesino sigue siendo la mano de obra. Los terratenientes al pertenecer a asociaciones grandes de productores de papa como FEDEPAPA y FEDEGAN tienen el mayor apoyo financiero y logran intensificar la actividad agrícola en el territorio; sin embargo el conflicto por tierras se mantiene entre indígenas y campesinos. En la actualidad instituciones como el INCODER, SENA y FEDEGAN han entrado a mediar y capacitar a la comunidad para lograr un manejo sostenible de los recursos naturales y sus negocios. Es de resaltar que han llegado instituciones nacionales, academias y gubernamentales como la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) a la zona para tratar de ordenar y gestionar los recursos naturales presentes, como es el caso del agua del río Palacé que será utilizada para el nuevo acueducto de la ciudad de Popayán, además se están realizando múltiples estudios para comprender las problemáticas y dinámicas del territorio frente a los procesos de degradación que se continúan presentando.

5.7.4 Análisis socio-económico

La franja alto-andina de la presente investigación tiene al corregimiento de Gabriel López, reconocido por sus habitantes como la Zona Campesina del Municipio de Totoró; la cual representa el centro de comercialización, puesto que allí los habitantes de esta eco-región venden y compran productos e insumos de primera necesidad, además de servicios de comunicación (Telecom), Salud (Centro de atención básica), Educación Básica Secundaria (Técnico Agropecuaria) y Religiosa. El corregimiento de Gabriel López es el único del Municipio, además de la Cabecera Municipal, que cuenta con infraestructura institucional de servicios como Matadero y Plaza de Mercado.

Características de la población

El total de la población asciende a 3.746 habitantes, que se auto denomina como campesina; sin embargo en estos territorios coexisten indígenas y mestizos. Esta población representa el 0,26% de la población del departamento, y guarda un relativo equilibrio en términos de género, reflejado en el hecho de que 1.909 habitantes son hombres, es decir el 51%, frente a un 49% de mujeres (n=1837), constituyendo un elemento positivo al garantizar el relevo generacional (CRC y ACUC-GL 2010).

Lo anterior se corrobora al realizar las encuesta y conversatorios con la comunidad, donde se develó que la población dominante es de origen campesino (95%) y habitan el territorio hace más de 40 años; aproximadamente el 80% son oriundos de la zona y el 20% restante provienen de otros lugares principalmente Nariño con un 12%, Popayán con un 6%, Córdoba y Piendamó 1% (Figura 32).



Figura 32. Población que habita el territorio

El territorio presenta se reconocen las siguientes organizaciones o grupos organizados: Juntas de Acueductos veredales, Truchifactoría, Colegio Víctor Manuel Chaux, Cultivos de fresas, Granero y tienda agrícola, Cementerio, Grupo de mujeres agroindustriales, Iglesias católica y cristiana, Fensuagro, Asociación Corregimental de Usuarios Campesinos de Gabriel López (ACUC GL), Escuela Mixta de Chuscales, Grupo Juvenil, Puesto de salud, Comunidad de Malvasá,

Esquema organizativo, Junta de Acción comunal de Chuscales, Junta de Acción comunal de Aguas Vivas, Alcaldía de Totoró, Radio libertad, Transtotoró, Hospital, Organizaciones nacionales que influyen en la comunidad: ICBF, Familias en Acción, Madres comunitarias, Fuerzas Militares, Alpina, Organizaciones departamentales que inciden en la comunidad: Sotracaucá, CRC (Figura 33). Dentro de sus reuniones los temas más tratados son los de tipo escolar, proyectos productivos, servicios públicos de energía, acueducto y de infraestructura vial para cada una de las veredas; donde según los entrevistados las problemáticas ambientales o de degradación y contaminación pasa a un segundo plano y muy esporádicamente se abordan.

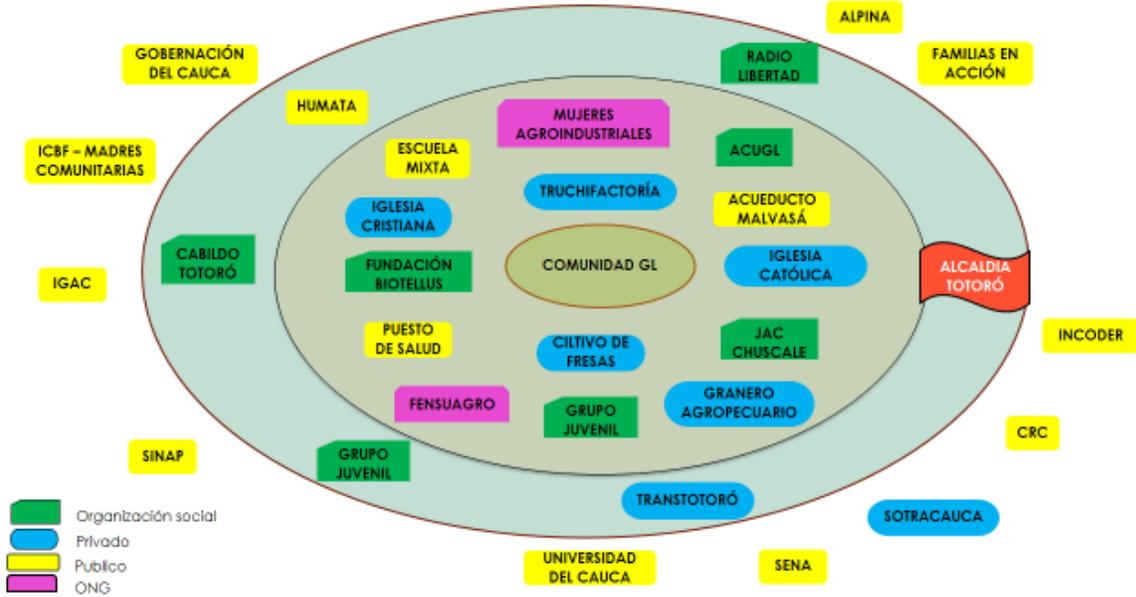


Figura 33. Esquema organizativo del corregimiento de Gabriel López.

El centro poblado de Gabriel López dispone del servicio de acueducto con una cobertura del 90% del sistema construido, la toma de agua que surte a la población es la quebrada Cazadores, posee una bocatoma y tanque de almacenamiento, cuenta con una tarifa mensual aproximada de \$4000 de acuerdo al consumo de cada habitante, dicho servicio lo brinda la empresa de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Popayán. En los demás centros poblados y veredas,

no se cuenta con el servicio de agua potable, pese a la existencia de acueductos veredales (CRC y ACUC-GL 2010).

Grupo familiar y educación

El núcleo familiar está compuesto generalmente de 5 miembros (3 hombres y 2 mujeres), en cuanto al nivel educativo el 46% de los habitantes cursaron primaria, el 36% bachillerato, 12% una carrera técnica, 5% una carrera universitaria y el 1% no tiene estudios de ningún tipo (Figura 34). Una de las principales problemáticas que presento el sector educativo fue la amenaza que sufrían las infraestructuras educativas con impactos directos y destrucción en algunos casos, por parte de los grupos armados ilegales que los usaban para pernoctar y como trinchera. Estas instituciones son utilizadas también como refugios de personas desplazadas víctimas de la violencia Cortés, Bonilla y Caicedo, (2009).

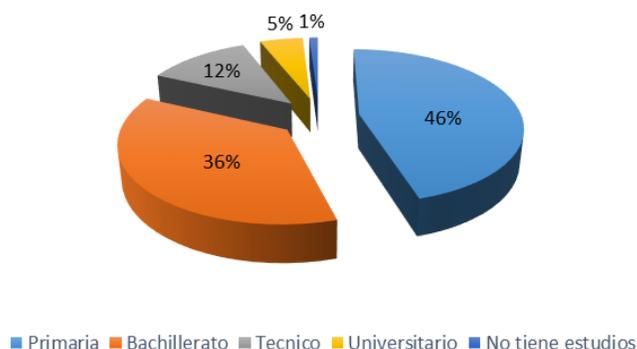


Figura 34. Nivel educativo de la población

Se estima una deserción escolar de aproximadamente 30%, al parecer por la difícil situación económica de la zona, lo cual enfrenta a los niños y jóvenes ante la opción de trabajar en los cultivos con usos ilícitos y por el reclutamiento de los grupos armados.

Esta situación se ve reflejada en el registro de población escolar en las zonas de conflicto en los grados 9 y 10, donde se llega sólo a un promedio de 8 estudiantes, mientras en otras zonas del Departamento la población escolar en esos mismos grados en una sola institución llega a 40 o 50 alumnos.

Actividad económica

Las actividad económica que sustenta las familias, son la agricultura, con monocultivo de papa (74%), la ganadería multipropósito (25%) y el transporte (1%), estas actividades son desarrolladas en su gran mayoría por el padre e hijos varones, mientras que la madre e hijas mujeres se dedican a las labores del hogar (Figura 35). Lo anterior es acorde con el Esquema de Ordenamiento Territorial de Totoró donde indica que los sistemas productivos predominantes son agricultura, ganadería bovina, piscicultura, plantas aromáticas, espárragos y fique, y una poca representativa explotación minera.

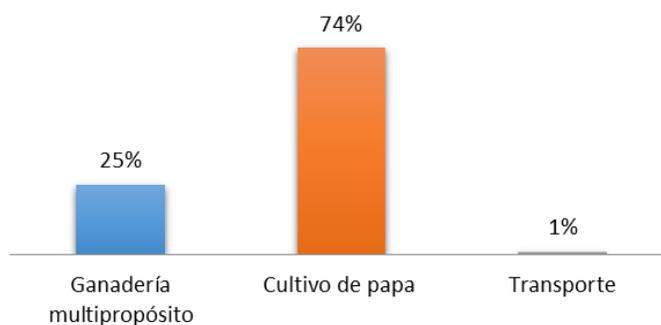


Figura 35. Principales actividades económicas.

A las diferentes veredas del corregimiento las recorre dos veces por semana un camión que vende productos de primera necesidad y alimentos. Sin embargo muchos de sus habitantes prefieren ir a Gabriel López a comercializar sus productos que son el perfil productivo de la franja alto-andina caucana (Tabla 15, 16).

Tabla 15. Productos de comercialización en el corregimiento de Gabriel López.

Ganadería	Cultivo asociados a la papa	Hortalizas	Especies menores	Otros
Leche Carne Quesos Arequipe Yogurt	Ulluco	Cilantro Acelga Lechuga Repollo Cebolla Remolacha Zanahoria Habas Nabos Arveja Coliflor	Trucha Conejos Curies Cerdos Pollo	Leña y madera Arena Transporte de pasajeros Turismo (Termales y Lagunas) Restaurantes Tiendas Almacenes agropecuarios

Tabla 16. Perfil productivo de la franja alto-andina caucana

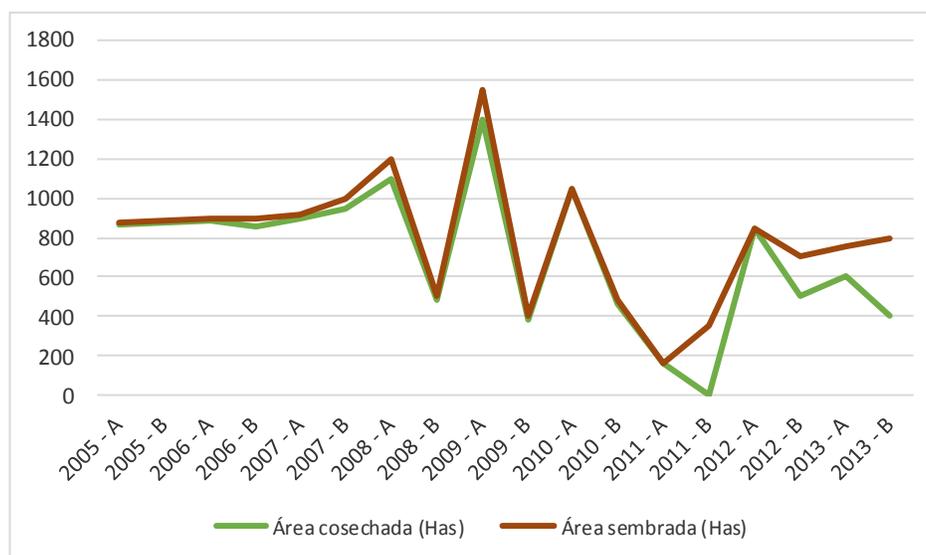
CANTIDAD	PRODUCTO	MANO DE OBRA											AGROQUÍMICOS		
		VENTA	AUTOCONSUMO	INTERCAMBIO	SEMILLA PROPIA	SEMILLA COMPRADA	SEMILLA INTERCAMBIADA	HOMBRE	MUJER	FAMILIAR	CONTRATADA	TIEMPO CAMBIADO		LOCAL	REGIONAL
1	Papa	x	x			x	x	x	x			X	x		X
	Ganado														
2	bovino	X					x	x				X	x		
3	Trucha	x				x	x	x	x			X	x		X
4	Fresa	x				x	x	x	x			X	x		X
	Cebolla														
5	larga	x	x		x	x	x	x				x	x		
6	Ullucos	x	x		x	x	x	x				x	X		x
7	Arveja	x	x	x		x	x	x				X			X
8	Coliflor	x	x			x			x			X			
9	Repollo		x			X		x	x						x
10	Maíz	x	x		x	x	x	x				X			
11	Frijol	x	x		x		x	x	x			X			
	Hiervas														
12	aromáticas	x	x		x	x			X			x	X		
13	Coles		x	x	x			x	x			X			

La economía de esta franja alto-andina se ven reflejadas en los tipos de Uso del Suelo (US) que presentan las diferentes veredas donde las coberturas de bosque ya sea natural o fragmentado cubren una gran extensión de tierra; al igual que las pasturas que generalmente son áreas que han sido abandonadas luego de la actividad agrícola y por ultimo están los coberturas para cultivo de papa que se van rotando y expandiendo en el territorio de acuerdo a las características productivas del suelo y la disponibilidad de recursos económicos (Tabla 17).

Tabla 17. Cobertura y uso del suelo detallado para cada vereda

Vereda	uso /hectáreas				
	Bosque	Paramo	Pastura	Cultivo	Humedal
Agua Bonita	688	433	213	88	0
Aguas Vivas	790	463	846	273	22
Bejucal	511	475	345	3	0
Calvache	981	336	549	240	206
Carmen de Sabaletas	147	0	147	27	
Chuscales	967	905	33	42	0
Malvazá	104	0	322	89	0
Núcleo Urbano Gabriel López	249	0	1069	530	89
Portachuelo	96	0	296	86	0
San Pedro	128	0	209	212	0
Siberia	437	263	223	66	0
Tabaco	606	89	359	113	213
Total	5704	2964	4611	1769	530

La papa como renglón principal de la economía de la franja alto-andina presenta a nivel departamental 3.720 hectáreas sembradas para el año 2014, representando el séptimo puesto en producción a nivel nacional. El municipio de Totoró tiene en promedio 850 hectáreas preparadas para el cultivo de papa que representan una producción de 22.950 toneladas, donde el rendimiento en toneladas por hectárea en promedio es del 20,3 por ciento, distribuido en aproximadamente en 854 unidades productivas.



Elaboración propia a partir de datos de EVAS 2005-2013.

Figura 36. Dinámica del área para el cultivo de papa en el municipio de Totoró

A nivel del análisis financiero y social de la papa se observa con proyección de ocho años y bajo la hipótesis de un crecimiento esperado mínimo de producción del 1% en cada municipio que presenta cultivo de papa (Tabla 17). Revela que en los diez municipios el Valor Presente Neto tanto financiero como social es positivo ya que es mayor a 1, la TIR es positiva a nivel financiero y a nivel social, también mayor a 1 y la Relación Beneficio Costo tanto a precios de mercado como a precios sociales es mayor a 1; por lo tanto se puede concluir que el cultivo de papa es rentable y genera bienestar social en la comunidad.

Sin embargo en los últimos años se ha incrementado el uso de semillas certificadas de papa y el interés por parte de los agricultores por el uso de fuentes orgánicas y fuentes simples para fertilización basada en resultados de análisis de suelos, insumos biológicos para manejo de plagas, monitoreo y control de insectos-plaga mediante trampas y adopción de nuevas variedades que incorporan beneficios como menores costos de producción. En Colombia y especialmente en el departamento del Cauca, la papa tiene un lugar importante en la canasta familiar, lo cual, sumado al hecho de que es un alimento presente

en todas las escalas sociales, la hace especialmente relevante. En la cadena de comercialización de la papa, el mercado mayorista constituye el principal eslabón de la estructura en razón a que concentra los mayores volúmenes comercializados de papa en Colombia, es por esto que en el Cauca se está trabajando por la industrialización y el mejoramiento de este cultivo, para llegar al mercado industrializado y así ir abriendo camino hacia el exterior.

Tabla 18. Resultado de la evaluación financiera y social para la papa

TUT	MUNICIPIOS	ANÁLISIS FINANCIERO			ANÁLISIS SOCIAL			Viabilidad S = Si N = No
		VPN	TIR	RBC	VPN a precios sociales	TIR a precios sociales	RBC a precios sociales	
PAPA	Almaguer	\$ 428.121	35%	1,12	\$ 297.777	29%	1,11	S
	Bolívar	\$ 119.565	35%	1,12	\$ 83.163	29%	1,11	S
	La Vega	\$ 438.704	34%	1,12	\$ 300.144	28%	1,10	S
	Páez	\$ 128.916	37%	1,13	\$ 91.602	31%	1,12	S
	Popayán	\$ 134.126	45%	1,16	\$ 101.094	38%	1,15	S
	Puracé	\$ 186.451	40%	1,14	\$ 136.343	34%	1,13	S
	San Sebastián	\$ 562.162	27%	1,09	\$ 338.047	22%	1,08	S
	Silvia	\$ 1.281.849	40%	1,14	\$ 937.361	34%	1,13	S
	Sotará	\$ 447.749	31%	1,10	\$ 290.745	25%	1,09	S
	Totoró	\$ 1.476.224	40%	1,14	\$ 1.079.499	34%	1,13	S

Otro factor importante a tener en cuenta son las rutas de transporte de productos en especial la papa, desde el origen de la cosecha, hasta la plaza de mercado; pues muchos de estos productos van directo a Popayán que tiene una distancia promedio de 50 kilómetros (1 hora 14 minutos) por ser la cabecera municipal y otras ciudades como Cali (166, 3 horas 17 minutos) y Neiva (222, 4 horas 58 minutos). Es necesario tener en cuenta que este cultivo es de consumo familiar o local (Figura 37).

El estado de las vías es un factor determinante en los costos del producto, ya que estas se encuentran en un excelente estado en la cabecera del Corregimiento pero sin pavimentar y en mal estado para las veredas del mismo; si bien el resto de las vías se encuentran pavimentadas no quiere decir que se encuentren en

óptimas condiciones, pues generalmente tienen huecos y desniveles además de caídas de banca, haciendo que su recorrido se demore más del tiempo estimado. Es necesario mejorar las condiciones de las vías ya que este es un obstáculo importante para la comercialización de los productos en el Cauca, limitando su competitividad.

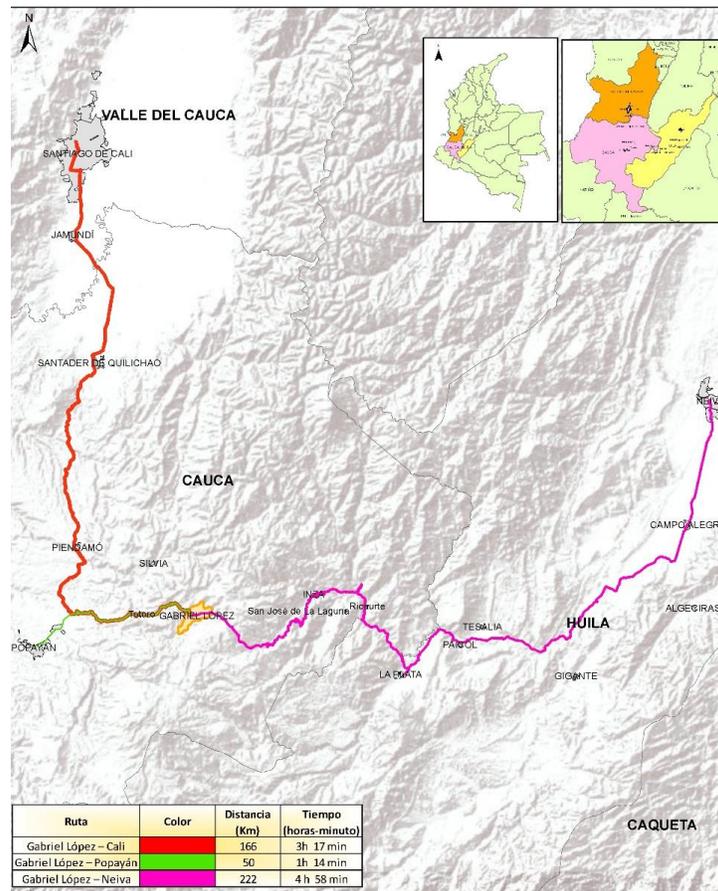


Figura 37. Rutas de transporte para los productos.

La caracterización del mercado de la papa en la zona puede describir, para los últimos años, una generación de un ambiente propicio para la inversión, básicamente porque la percepción sobre la seguridad ha mejorado. Específicamente en el sector agrícola, se presenta para los productores un ambiente propicio para la toma de decisiones de inversión, cuando variables como la situación presente y esperada sobre las condiciones climáticas, el costo

de los insumos y el nivel de oferta disponible del producto en cuestión, entre otros, son favorables.

Conflictos ecológicos productivos

La comunidad campesina indagada expresa que el mayor conflicto que existe en la zona es por tenencia de tierra con un 83%; esta problemática se debe a diferencias entre indígenas, terratenientes y campesinos por la posesión del territorio en la zona de estudio (Figura 38). Los anteriores resultados son corroborados en CRC y ACUC-GL, (2010) al afirmar que el 9% de las familias propietarias controlan el 78% de la tierra; al tiempo que los grupos indígenas mantienen a la expectativa de recuperación de tierras por la fuerza y los campesinos malvaseños en proteger la pequeña propiedad e incrementar la rentabilidad media de los cultivos tradicionales. El manejo de los recursos naturales con un 10%, se está realizando de manera inadecuada; ya que es visible en recorridos por la zona y análisis de suelo y agua que las características de estos recursos se ha ido degradando mostrando sus efectos en las condiciones del clima, suelos degradados y aumento de enfermedades en la población. Ya se hace visible problemas por disponibilidad de agua con un 4%, en épocas de verano es necesario colocar sistemas de riego para los cultivos, con lo cual la demanda de agua se incrementa y en algunos lugares no le llega suficiente o les llega contaminada. Una proporción de los suelos (3%), se encuentran con indicios de degradación ya sea por compactación, erosión, poca vegetación natural, pérdida de fertilidad y abandono.

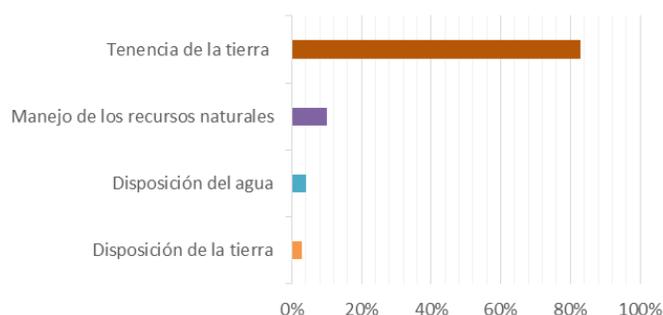


Figura 38. Principales conflictos presentados en el territorio

De forma general las dos actividades que ponen en riesgo las características naturales de la franja alto-andina y los sistemas productivos son la ganadería y la agricultura; en cuanto a la agricultura, se trata principalmente del cultivo de la papa que se expande hacia las zonas de protección y altera las condiciones del suelo y clima; ya que esta actividad productiva aún se realiza con prácticas de la agricultura migratoria con cultivos de rotación, después de una cosecha el área cultivada puede quedar en barbecho, pero también se siembra pastos introducidos como el Poa, para el pastoreo del ganado. Principalmente en las zonas de San Pedro, Gabriel López, vereda Tabaco, Portachuelo y Quebrada Chuscales; la destrucción de la capa vegetal y de humus, así como la utilización de pesticidas y maquinaria pesada han influido considerablemente en la capacidad de regulación de esta eco-región.

Para la implantación del cultivo de papa en el territorio se desarrolla basada en actividades relacionadas con la adecuación de terrenos para cultivar, desinfección, arar, surcar, encalar, y usar matamalezas, cenizas y herbicidas. Los entrevistados respondieron que utilizan agroquímicos y sólo el 14% usan abono orgánico (estiércol de ganado), este último solo se utiliza en cultivos pequeños como las huertas caseras (Tabla 19 y Figura 39).

Tabla 19. Agroquímicos utilizados por la comunidad

Tipo de químico	Nombre comercial
Insecticida	Nurelle
	Furadan
	Eltra
	Curacron
	Pirestar
Fungicida	Goldzim
	Revus
	Ridomil Gold
	Curzate M-8
Fertilizante	Humifert
	DOL
	10- 20-20
	10-30-10



Figura 39. Agricultor preparando y cosechando papa

En cuanto a las practicas asociadas a la agricultura y la ganadería, el 48% respondió que hacen rotación de cultivos, después de 3 a 5 siembras aproximadamente en 3 años, dejan descansar el suelo 1 año, para luego introducir ganado (Figura 40). El 29% dijo que hacen dos siembras y se deja descansar el suelo de 3 a 5 años y se cambia a pasto; el 14% no deja descansar el suelo y el 7% lo deja descansar cada 5 meses. Los entrevistados respondieron que las prácticas como la tala y la quema indiscriminada todavía se realizan; la tala con la finalidad de obtener leña, y la quema se realiza muy esporádicamente en épocas de verano, en donde se prende fuego a la laguna de Calvache para que llueva, son prácticas que ya son prohibidas dentro de la misma comunidad, cada una con un 1%.

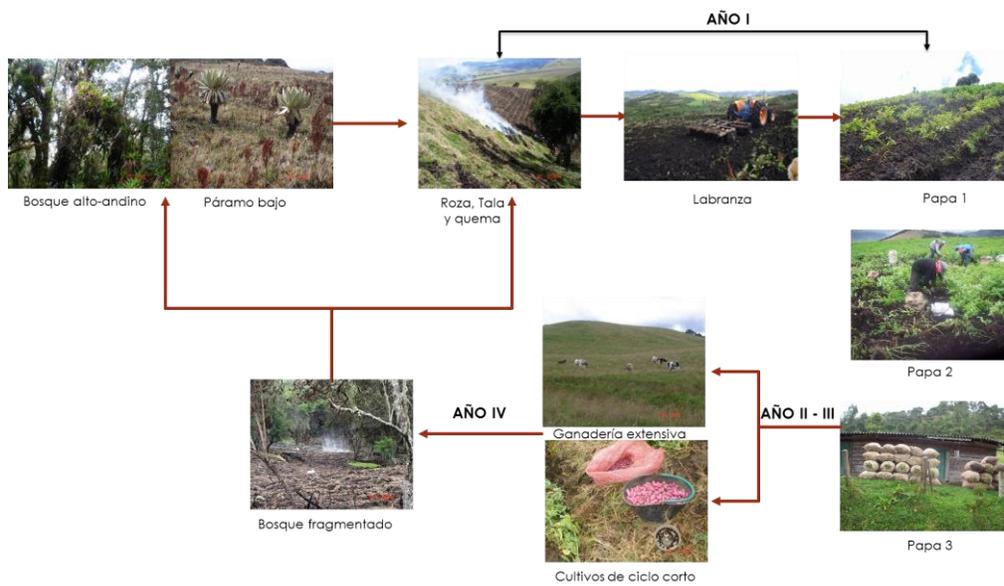


Figura 40. Esquema de agricultura migratoria para el territorio.

Se identificó en los entrevistados que el 92% han realizado modificaciones a sus prácticas agrícolas, siendo la más importante la introducción de agroquímicos, con la finalidad de mejorar sus cosechas y evitar el daño por parte de las plagas; además la introducción de maquinaria pesada usadas en el arado del terreno y la cosecha, pero por sus costos solo están al alcance de los grandes productores, esta actividad obtuvo un 8% (Figura 41).



Figura 41. Introducción de maquinaria

Respecto a la actividad ganadera, opinaron que no hay sobrepastoreo y que por lo general son dos vacas lecheras por hectárea y de 4-5 no lecheras por hectárea. (Figura 42)



Figura 42. Actividad ganadera

Frente a los usos que se le dan a la vegetación propia de la franja alto-andina, el 39% de los entrevistados respondieron que conservan el bosque para la protección de fuentes de agua; el 14 % usa el bosque como fuente de energía en forma de leña, aclaran que en los últimos años solo toman las ramas secas que caen, árboles muertos o utilizan madera de árboles como el chilco y manzano. Solo un 17% respondió que tiene árboles frutales. El 23% de los entrevistados respondió que utilizan las plantas aromáticas como la manzanilla, tomillo, orégano, cilantro, altamisa romero, menta de olor, alfalfa y mostaza y algunas cortezas de árboles como medicina natural. El 7% de los encuestados respondieron que utilizan la madera para construcción, además mencionaron que no se hacen artesanías, ni se utiliza madera para industria, uso ornamental o de forraje.

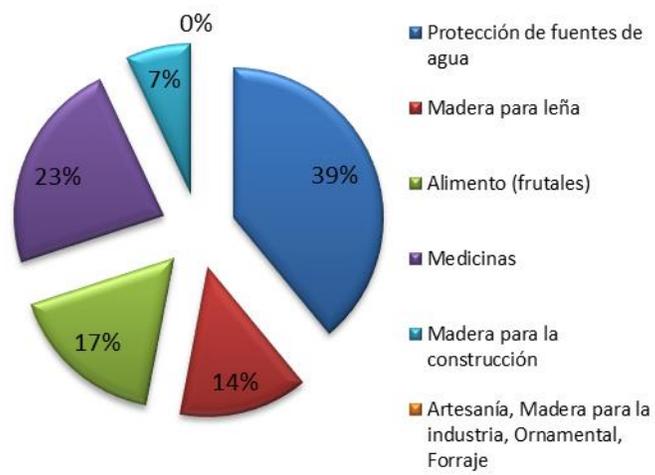


Figura 43. Diferentes usos del bosque

CAPÍTULO 6.

Estrategia metodológica para la gestión sostenible del suelo en ecosistemas de la franja alto-andina

La importancia de las funciones y servicios ecosistémicos de la franja alto-andina asociados al suelo, y la falta de reglamentación, evidencian la necesidad de generar acciones para la gestión sostenible del suelo y así, disminuir los procesos de degradación del suelo y demás componentes de la eco-región.

Una forma de abordar estas dinámicas de transformación y susceptibilidad a la degradación en la franja alto-andina, es buscar un mejoramiento en la gestión sostenible del suelo, que asegure el mantenimiento y uso de los recursos naturales a largo plazo; y de esta forma garantizar la producción de alimentos y el bienestar económico de las comunidades asentadas en la franja alto-andina. Para lograr lo anteriormente planteado fue necesario conocer los aspectos dinámicos del ambiente biofísico y socio-económico que se han establecido entorno al manejo de los suelos andinos desde un enfoque participativo, sostenible e integral como lo plantea el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016).

Ya que en la actualidad muchos de los procesos de gestión y planificación de los recursos naturales son entorpecidos por la calidad de los datos, la falta de información que en muchas ocasiones es inconsistente en espacio geográfico y tiempo.

Una estrategia metodológica para la gestión es reconocer la existencia de unos impulsores de cambio en la franja alto andina (Figura 45) y definir los indicadores de cambio y diseñar métodos para supervisarlos en condiciones de campo (FAO

2001); de esta forma se podrá comprender el cambio o impacto en cualquier dirección que este ocurra; ya sea de transformación-degradación o conservación. Ya con el modelamiento de las características biofísicas y socio-económicas de la franja alto-andina se plantea un esquema de presión, estado, respuesta (PER) para mostrar las dinámicas de CUS (Figura 45).

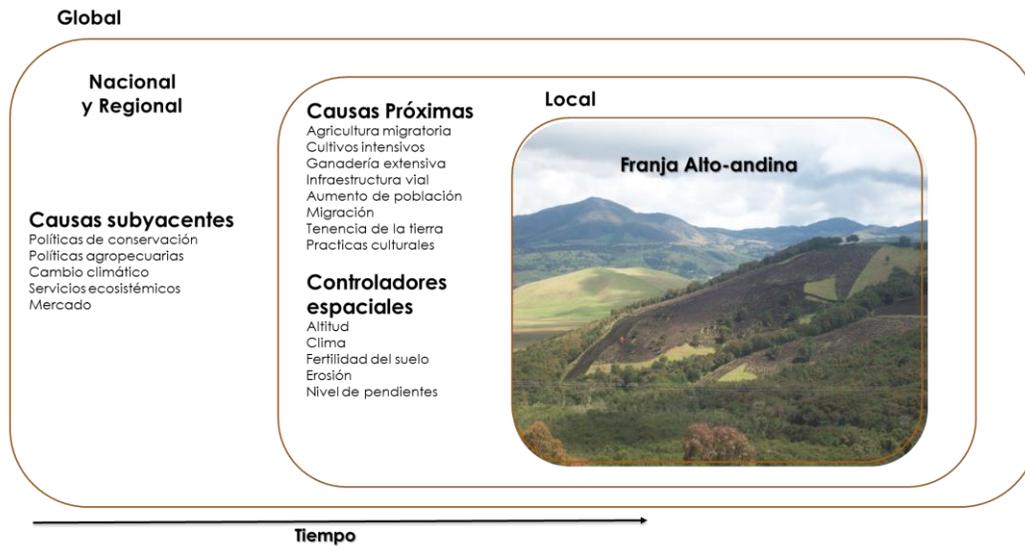


Figura 44. Controladores de cambio en la franja alto-andina.

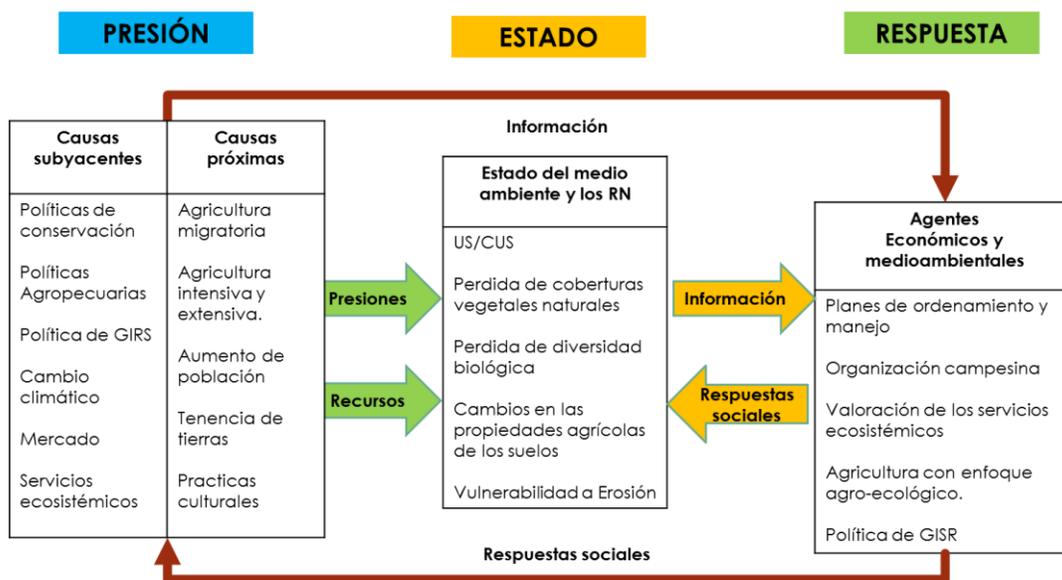


Figura 45. Esquema de dinámica de presión, estado, respuesta para el corregimiento de Gabriel López.

6.1 Presión

Se ubican las actividades humanas que generaron mayor impacto o estrés ambiental que conducen a cambios en los sistemas bajo estudio. Responde a las preguntas: ¿Por qué? ¿Cuáles son las causas de daño?

Las principales presiones identificadas fueron:

- Expansión de la frontera agrícola con actividades agrícolas y pecuarias.
- Actividades de agricultura migratoria (roza, tumba, quema y barvecho)
- Uso excesivo de productos químicos y maquinaria pesada
- Agricultura intensiva y extensiva
- Aumento de la densidad del población

Los agricultores de la franja alto-andina identificaron como sus principales actividades económicas el cultivo de papa y ganadería extensiva, que con prácticas relacionadas con la agricultura migratoria (AM), agricultura Intensiva y extensiva (AI, AE) han generado una expansión de la frontera agrícola, por la potencial y transitoria fertilidad de sus suelos. Estas actividades destruyen la cobertura del suelo dejándolo en alto riesgo de degradación por erosión, pérdida de biodiversidad, de materia orgánica, de biota y de agua en el suelo. La ausencia de cobertura vegetal natural en suelos, es un indicador del riesgo de degradación de los suelos alto-andinos; ya que en estos sistemas las precipitaciones de alta intensidad constituyen un factor de presión sobre los suelos desnudos con altas pendientes. De otro lado el incremento en los rendimientos de producción con la utilización de agroquímicos y maquinaria pesada en los sistemas de producción agrícola que utilizan labranza convencional con preparación intensiva del suelo y alto tránsito de maquinaria, presentan problemas de erosión, daño en la estructura del suelo, reducción de la materia orgánica y del agua y procesos de compactación, que además de afectar la producción de cultivos, conllevan impactos ambientales en términos de contaminación por sedimentos, aumento en el uso de energía y en las emisiones de gases de efecto invernadero, daño en la

estructura del suelo, salinización y efectos negativos sobre cantidad y calidad de agua disponible. Además es claro como la composición social del corregimiento cambio por la llegada de personas de otras regiones, lo que se refleja en el aumento de la población.

6.2 Estado

El estado hace referencia a indicadores de las características ya sean cualitativas o cuantitativas del ambiente natural en la franja alto-andina, como son: cobertura vegetal, condiciones climáticas, suelos etc., que se vieron perturbados a lo largo del tiempo por actividades antrópicas genero impactos sobre la oferta de servicios ecosistémicos.

Los indicadores de estado son:

- Cambio de uso del suelo
- Erosión, compactación
- Contaminación
- Perdida de materia orgánica
- Pérdida de biodiversidad
- Perdida de fertilidad
- Cambios en las condiciones climáticas
- Cambios del paisaje
- Disminución de servicios ecosistémicos
- Afectación de la salud humana y animal

Cambio de uso del suelo (CUS): como se mencionó anteriormente y en el análisis de línea de tiempo la cobertura vegetal de la franja alto-andina se caracteriza por la dominancia de bosque de niebla o alto-andino y vegetación de páramo. Sin embargo en el territorio se han establecido vínculos entre la cobertura del suelo y

las poblaciones que lo habitan; cambiando paulatinamente la dominancia de los bosques de niebla y vegetación de páramo por áreas extensas de pasturas, cultivos transitorios y bosques fragmentados. Estos últimos son indicadores de cambio y degradación de las coberturas vegetales naturales, Ya que se presentaron cambios en la configuración de la cobertura vegetal natural, aumentando las áreas de origen antrópico (Cultivos y Pasturas), incrementando los niveles de deforestación del bosque alto-andino, fragmentación, pérdida de coberturas protectoras de fuentes de agua y aumento de procesos de paramización; donde los más afectados son la diversidad biológica de esta región y la calidad ambiental para los habitantes de la zona.

Los suelos con características andicas al cambiar su cobertura natural por cultivos de papa y ganadería extensiva, se les altera la estructura y características del suelo, generando una reducción de los niveles de fertilidad, disminución de la regulación y almacenamiento de agua, disminución de la biodiversidad, aumento de los sedimentos que han creado impactos adversos en el humedal por colmatación y contaminación. Además muchas de esas prácticas agrícolas se realizan sin tener en cuenta condiciones de pendiente y ciclos climáticos; lo cual deja al ecosistema expuesto a procesos erosivos que generan desplazamiento de la materia orgánica; creando impactos negativos relacionados con la pérdida de la biota, disminución de la capacidad de retención de humedad y pérdida de la capacidad de mitigación del cambio climático por la disminución considerable de captura de carbono (FAO, 2007).

6.3 Respuestas

Las respuestas se refieren a las reacciones políticas y sociales que reducen las fuerzas motrices y se ven reflejadas en la necesidad de planes de ordenamiento y manejo del territorio, la conformación de veedurías rurales a través de las juntas

de acción comunal y las instituciones gubernamentales, la aplicación de la normatividad para la conservación de ecosistemas estratégicos a través de estrategias con enfoques de agro-ecología propias para el desarrollo de la franja alto-andina.

Con la investigación realizada hasta el momento, el análisis de PER, la política para la gestión integral de suelos (MINAMBIENTE, 2016) y la metodología general de evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional (UPRA, 2013); se plantea la siguiente estrategia metodológica para la gestión integral de suelos en la franja alto-andina (Figura 46)

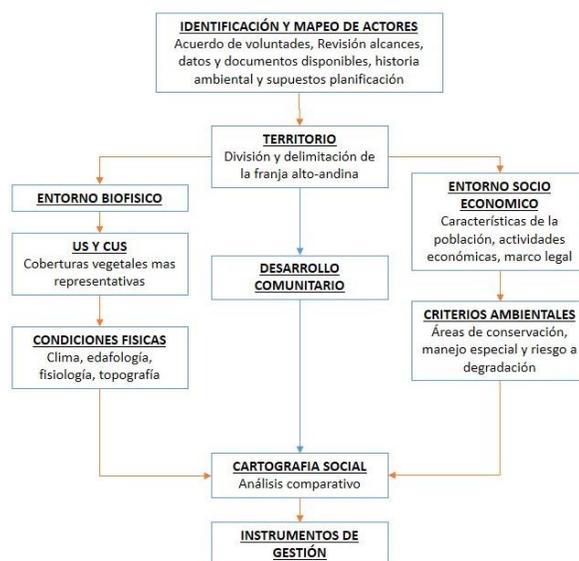


Figura 46. Estrategia metodológica para la gestión integral de suelos en la franja alto andina

6.4 Etapa 1. Identificación y caracterización de actores que permitan planificar y gestionar el uso del suelo en la franja alto-andina

Esta etapa se desarrolló con los habitantes del territorio para determinar e identificar objetivos, alcances, datos y documentos disponibles y supuestos para la gestión sostenible del suelo; a través de un árbol de problemas sobre el uso del suelo se identificó como problema central que el deterioro de las características de los suelos y sus factores ecológicos, sociales, culturales y económicos, han puesto en riesgo la seguridad alimentaria y la oferta de servicios ecosistémicos de la franja alto-andina, por la desarticulación entre los instrumentos de planificación y ordenamiento, uso del suelo sin criterios de vocación y una falta de información sobre el uso y manejo de los suelos. Esta falta de coherencia y vacíos en las normas y políticas con relación a la gestión sostenible del suelo, así como la débil coordinación institucional para la formulación y aplicación de dichas normas y políticas (debido entre otros aspectos, a la existencia de multitud de entidades con competencia o influencia en la toma de decisiones referentes al suelo y a la falta de comunicación efectiva entre dichas entidades), fueron aspectos críticos identificados por los actores en el proceso de construcción del diagnóstico o árbol de problemas (Figura 47)

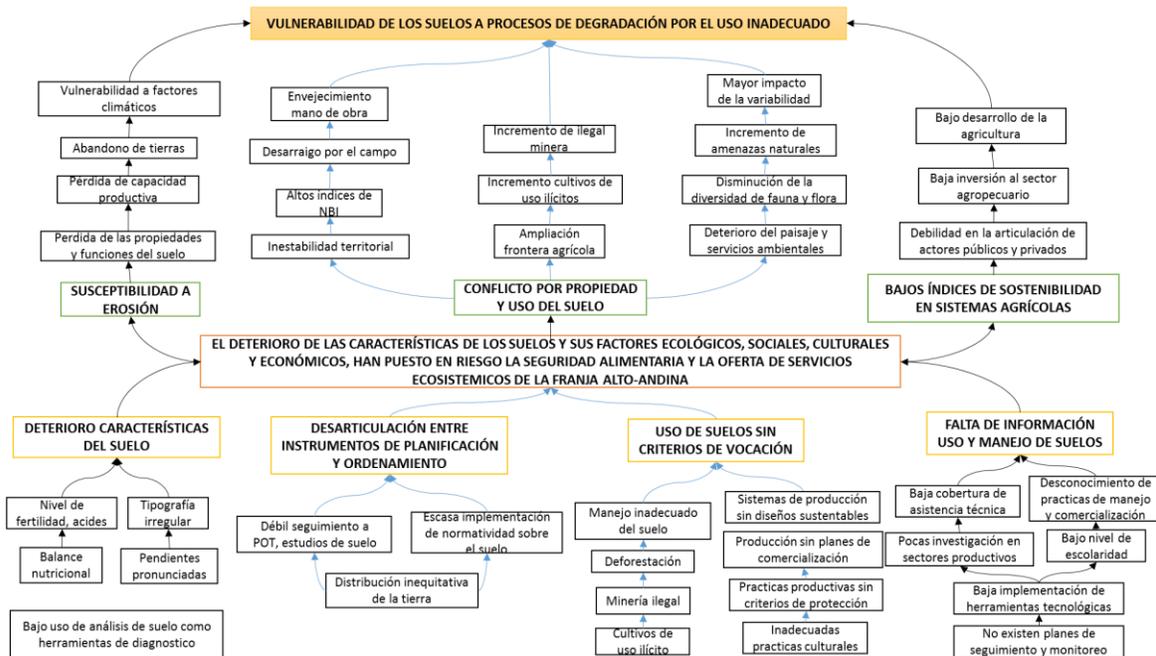


Figura 47. Árbol de problemas en la franja alto-andina

En esta fase se identifican las entidades participantes, los usuarios grupos, gremios etc, que utilizarán los resultados de forma directa o indirecta; con el proposito analizar la toma de decisiones en la actuación pública y social en el territorio y debe ser analizado de manera integral con el contexto político – institucional. Siempre se debe identificar y precisar el rol de los actores involucrados o interesados y los beneficiarios finales (a veces denominados grupos de interés) (UPRA 2013).

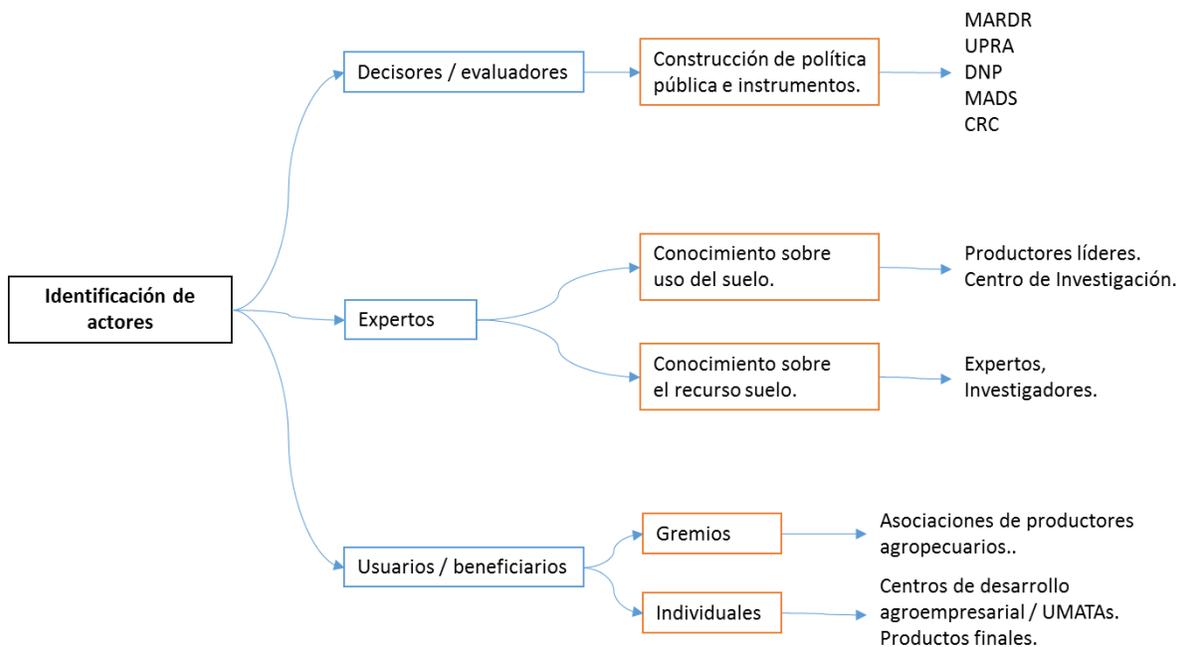


Figura 48. Actores para la gestión de suelos en la franja alto-andina.

6.5 Fase 2. Territorio

Hace referencia a la caracterización del territorio desde los componentes biofísico y socio-económico; a partir de información oficial disponible en las unidades de planificación, ordenamiento rural y las unidades de manejo, que hacen una propuesta de ordenamiento del territorio mediante los POMCA (Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas), a diferentes niveles de detalle (cuena, sub-cuena y micro-cuena); las áreas municipales que se circunscriben al suelo rural; y por último, a grupos veredales sobre los que se llevan a cabo propuestas de ordenamiento. En el caso de los POMCA y de los POT, evalúa el territorio definiendo y delimitado las áreas para producción agropecuaria, siguiendo la clasificación del suelo en los POT. En los mecanismos de articulación de estos dos instrumentos de planificación, se tiene que las áreas definidas para protección o conservación y las áreas para restauración en los POMCA, van incluidas en los POT como suelos de protección y se articulan vía determinantes ambientales que

establezcan las CAR. A su vez, las áreas de producción definidas en los POMCA, se incorporan en los POT como zonas de producción, de tal manera que se garantiza que en municipios que comparten una cuenca, las diferentes zonas establecidas en los primeros, no sean clasificadas e incorporadas de manera diferente en los POT de cada municipio, garantizando así, la integridad de la cuenca, en su ordenamiento y manejo. Por su parte, las unidades de manejo son aquellas en las cuales se toman decisiones de manejo a nivel de un productor o planificador, si bien por lo regular se refieren a fincas o predios, para su abordaje, se agrupan según características homogéneas (UPRA 2013).

Los tres componentes conceptuales (determinantes biofísicos, socioeconómicos y desarrollo comunitario) se interrelacionan de tal forma que plantean la necesidad de abordar la gestión integral de suelos en la franja alto-andina de manera integral (Figura 44). En toda área cuyos suelos vayan a ser evaluados hay unos actores sociales e institucionales que toman decisiones sobre el uso y manejo que determinan el futuro de los mismos, en términos de las consecuencias que estas decisiones generan en su calidad biofísica y ambiental.

Sin embargo, muchas de estas decisiones están sujetas a unas características del suelo y las condicionan el tipo de uso. Si bien las decisiones que tomen los diferentes grupos pueden no tener en cuenta estas características en su totalidad, las consecuencias se verán en la degradación futura del suelo y en los costos que se deben asumir en procura de mantener unos niveles de productividad. Los tipos de uso tienen unos requerimientos biofísicos y socioeconómicos, los que a su vez están en función del desarrollo comunitario a través de la apropiación de estos conocimientos o la validación de la información.

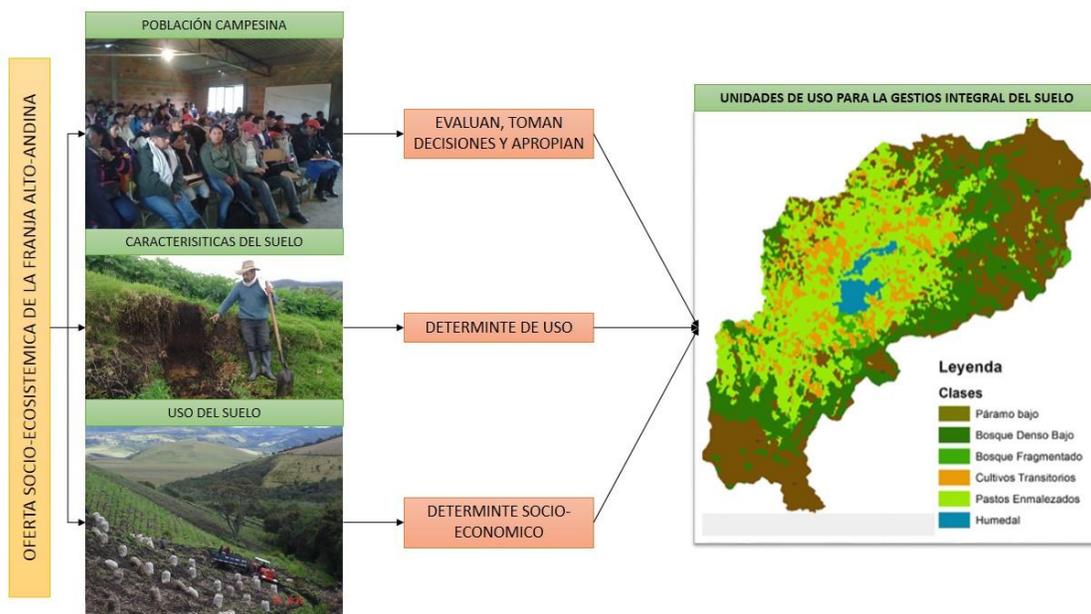


Figura 49. Interacción de componentes como estrategia de gestión.

CONCLUSIONES

1. Se identificó que las características biofísicas o de tipo proximal que tienen mayor incidencia en las dinámicas de transformación y cambio de uso de suelo en ecosistemas de la franja alto-andina están relacionados directamente con: altitud, pendiente y fertilidad; factores que han determinado el establecimiento de zonas de conservación en las zonas altas (mayores a 3200), con pendientes superiores a 17% y fertilidad baja.
2. Las áreas con procesos de intensificación agropecuaria se ubicaron sobre los 2800 a 3200 con pendientes de 4 a 17 % y suelos de moderada fertilidad.
3. Los impulsores de US/CUS directos e indirectos que han configurado el US/CUS en el corregimiento de Gabriel López están relacionados con las políticas agropecuarias de colonización y expansión con cultivos de papa, pasturas doble propósito e incentivos para una agricultura. Sin embargo los procesos sociales como la organización campesina ha logrado establecerse e iniciar actividades hacia la recuperación y buenas prácticas de manejo agro-pecuario, también las políticas para el manejo y conservación de ecosistemas estratégicos como los páramos ha permitido un mantenimiento de estas coberturas a pesar de los continuos procesos de fragmentación.
4. Se determinó que la franja alto-andina de este corregimiento presentan una alta susceptibilidad a la degradación por las características de sus suelos y las continuas actividades antrópicas relacionadas con los cultivos limpios de papa que utilizan gran cantidad de agroquímicos y maquinaria;

lo cual ha generado pérdida de continuidad de sistemas naturales, aumento de los procesos de erosión hídrica y compactación superficial de los suelos.

5. Se identificó un cambio de agricultura tradicional de rotación de campos a un sistema de cultivos intensivos/pastizales extensivos que han impedido la regeneración del bosque fragmentado.
6. Se debe enfocar los procesos de planificación y uso del suelo en recuperar no solo las coberturas propias de la franja alto-andina, si no también los bosques fragmentados que mantienen la oferta de servicios ecosistémicos y la identidad del territorio.
7. La generación de datos a nivel local será una herramienta eficaz para derivar indicadores regionales, nacionales y globales, aclarando que es necesario mantener estándares de calidad de los datos que lleven a una planificación adecuada de los recursos naturales, los cuales serán mantenidos y retroalimentados por los actores locales
8. Las interacciones entre los componentes ambientales, sociales y económicos necesitan apoyo de la investigación de campo para comprender mejor como se afectan los servicios ecosistémicos de la franja alto-andina a través de las diferentes fuerzas que los causan.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, C., Rivera, B., Tapasco, J., y Estrada, R. (2003). Designing Policies to Reduce Rural Poverty and Environmental Degradation in a Hillside Zone of the Colombian Andes. *World Development*, 31(11), 1921-1931. doi: 10.1016/j.worlddev.2003.06.007
- Aide, T. M., Clark, M. L., Grau, H. R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., . . . Muñiz, M. (2013). Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). *Biotropica*, 45(2), 262-271. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x> doi:10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x
- Aide, T. M., y Grau, H. R. (2004). Globalization, migration, and Latin American ecosystems. *Science*, 305(5692), 1915.
- Almorox, A. J., López, B., y Rafaelli, S. (2010). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación* (1^o Edición, 2010 ed.). Murcia- España: Universidad de Murcia.
- Almorox Alonso, J., Garcia, R. D. A., Requejo, A. S., Alvarez, M. D., y Montes, J. G. (1994). *Métodos de estimación de la erosión hídrica*.
- Alonso Mielgo, A. M., Guzmán, E. S., Romera, M. J., y Casado, G. G. (2001). Rural development and ecological management of endogenous resources: the case of mountain olive groves in Los Pedroches comarca (Spain). *Journal of Environmental Policy & Planning*, 3(2), 163-175. doi: 10.1002/jepp.80
- Amézquita, M. C. (2011). *Manejo de Datos Ambientales*. Cali-Colombia.
- An, S., Zheng, F., Zhang, F., Van Pelt, S., Hamer, U., y Makeschin, F. (2008). Soil quality degradation processes along a deforestation chronosequence in the Ziwuling area, China. *Catena*, 75(3), 248-256. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.003>
- Arana Ysa, V. A. (2007). *Enfoque y analisis ecorregional: Reabriendo la discusion* (pp. 61). Retrieved from http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Cp4LoKtPOZ8C&oi=fnd&pg=PA7&dq=definici%C3%B3n+de+ecorregion&ots=M_pPy0wbb_&sig=skS_kHtDsSHVkpTN_Rj6idyni4OE#v=onepage&q=definici%C3%B3n%20de%20ecorregion&f=false

- Arango Gaviria, O. (2011). Eco-región Eje Cafetero: una experiencia de desarrollo regional en Colombia. http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/5651/1/12_OSCAR-ARANGO.pdf
- Armentaras, D., y Rodríguez, N. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en Bosque de Latino América: una revisión desde 1990. *Colombia Forestal*, 12(2), 233-246.
- Armenteras, D., Gast, F., y Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113(2), 245-256.
- Armenteras, D., Rudas, G., Rodriguez, N., Sua, S., y Romero, M. (2006). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators*, 6(2), 353-368. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.014>
- Bakr, N., Weindorf, D. C., Bahnassy, M. H., y El-Badawi, M. M. (2012). Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecological Indicators*, 15(1), 271-280. doi: 10.1016/j.ecolind.2011.09.034
- Barrios, E., Cobo, J. G., Rao, I. M., Thomas, R. J., Amézquita, E., Jiménez, J. J., y Rondón, M. A. (2005). Fallow management for soil fertility recovery in tropical Andean agroecosystems in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 110(1-2), 29-42. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2005.04.009>
- Berlanga Robles, C. A., García Campos, R. R., López Blanco, J., y Ruiz Luna, A. (2010). Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones geográficas*, (72), 7-22. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112010000200002>
- Boersema, J. J., y Reijnders, L. (2009). Principles of Environmental Sciences. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(5), 604-604. doi: 10.1007/s11356-009-0212-7
- Bradshaw, C. J. A., Sodhi, N. S., y Brook, B. W. (2008). Tropical turmoil: a biodiversity tragedy in progress. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(2), 79-87. <http://dx.doi.org/10.1890/070193> doi:10.1890/070193
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., y Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72. doi: 10.1016/j.earscirev.2006.06.002

- Cadena, D. O. L. (2011). [Caracterización socioeconómica y ambiental Totoró- Gabriel López].
- Campos, M., Velázquez, A., Verdinelli, G. B., Skutsch, M., Juncà, M. B., y Priego-Santander, Á. G. (2012). An interdisciplinary approach to depict landscape change drivers: A case study of the Ticuiz agrarian community in Michoacan, Mexico. *Applied Geography*, 32(2), 409-419. doi: 10.1016/j.apgeog.2011.06.004
- Cantor, K. M., y Morales, H. A. (2008). La formación del campesinado en Colombia. *ASODOBLE*. <http://www.asodoble.com/doc/campesinado.pdf>
- Capra, F., y Sempau, D. (1998). *La trama de la vida: una nueva perspectiva de los sistemas vivos* (A. SA Ed.): Anagrama Barcelona.
- Carmona, A., Nahuelhual, L., Echeverría, C., y Báez, A. (2010). Linking farming systems to landscape change: An empirical and spatially explicit study in southern Chile. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(1–2), 40-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.015>
- Castaño, U. C. (2002). *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición hotspot y global climatic tensor*.
- CRC., y GL, A. (2010). *Plan de ordenación y Manejo de la parte alta de La subcuenca Hidrográfica del río Palacé*. Gabriel López-Municipio de Totoró-Cauca-Colombia.
- Cubillos, Q. L. F. (2010). Supuestos epistemológicos de las ciencias ambientales frente a la gestión del territorio: esbozos y comentarios. *Universidad de Tecnológica de Pereira*, 1-14.
- Chowdhury, R. R. (2006). Driving forces of tropical deforestation: The role of remote sensing and spatial models. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 27(1), 82-101. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9493.2006.00241.x> doi:10.1111/j.1467-9493.2006.00241.x
- Döll, C., Döll, P., y Bots, P. (2013). Semi-quantitative actor-based modelling as a tool to assess the drivers of change and physical variables in participatory integrated assessments. *Environmental Modelling & Software*, 46, 21-32. doi: 10.1016/j.envsoft.2013.01.016
- Duque, A. A. (2010). Agroecología Posmodernidad y Cambios Globales.
- Echeverría, C., Coomes, D. A., Hall, M., y Newton, A. C. (2008). Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern

- Chile. *Ecological Modelling*, 212(3-4), 439-449. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2007.10.045
- Echeverría, C., Newton, A., Nahuelhual, L., Coomes, D., y Rey-Benayas, J. M. (2012). How landscapes change: Integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. *Applied Geography*, 32(2), 822-831. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.014>
- Etter, A., McAlpine, C., y Possingham, H. (2008). Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: a regionalized spatial approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1), 2-23. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00045600701733911#.U9GW2vmSy2>
- Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S., y Possingham, H. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(2-4), 369-386. doi: 10.1016/j.agee.2005.11.013
- Etter, A., y van Wyngaarden, W. (2000). Patterns of landscape transformation in Colombia, with emphasis in the Andean region. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(7), 432-439. <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1579/0044-7447-29.7.432>
- FAO. (2000). Marco de Referencia e Indicadores Medioambientales de Presión - Estado - Respuesta. <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/Refer/EnvIndi.htm>
- Fedepapa. (2004). Guía ambiental para el cultivo de papa. <http://www.minambiente.gov.co/documentos/papa.pdf>
- FEDEPAPA. (2013a). Oportunidades ante posibles tratados de comercio con países de Asia. *REVISTA PAPA: Órgano informativo de la federación colombiana de productores de papa*, 27, 50. <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/revistas/ed27.pdf>
- Fedepapa. (2013b). Oportunidades ante posibles tratados de comercio con países de Asia. *REVISTA PAPA*, 27. <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/revistas/ed27.pdf>
- FEDEPAPA, y MAVDT. (2004). *Guía ambiental para el cultivo de la papa*: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo territorial.

- Feijoo, A., Zúñiga, M. C., Quintero, H., y Lavelle, P. (2007). Relaciones entre el uso de la tierra y las comunidades de lombrices en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Pastos y Forrajes*, 30, 1-1. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942007000200005&nrm=iso
- Fernández, J. C., y García, M. (2005). Marco teórico y práctico para el análisis económico de los problemas de conservación de los recursos naturales en México CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS TEMPLADOS DE MONTAÑA EN MÉXICO (pp. 77). Retrieved from http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Jj31w4vRNdkC&oi=fnd&pg=PA77&dq=MARCO+TE%20C3%93RICO+Y+PR%20C3%81CTICO+PARA+EL+AN%20C3%81LISIS+ECON%20C3%93MICO+de+los+PROBLEMAS+DE+CONSERVACI%20C3%93N+D+E+LOS+RECURSOS+NATURALES+EN+M%20C3%89XICO&ots=uU6x6SG2nQ&sig=F3AG8WHRxIVZ_kqdJjta3aAFNEo#v=onepage&q=MARCO%20TE%20C3%93RICO%20Y%20PR%20C3%81CTICO%20PARA%20EL%20AN%20C3%81LISIS%20ECON%20C3%93MICO%20de%20los%20PROBLEMAS%20DE%20CONSERVACI%20C3%93N%20DE%20LOS%20RECURSOS%20NATURALES%20EN%20M%20C3%89XICO&f=false.
- Ferrier, S., y Drielsma, M. (2010). Synthesis of pattern and process in biodiversity conservation assessment: a flexible whole-landscape modelling framework. *Diversity and Distributions*, 16(3), 386-402. doi: 10.1111/j.1472-4642.2010.00657.x
- Flórez, A. (2003). *Colombia: evolución de sus relieves y modelados* Retrieved from <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bOZIGkStun8C&oi=fnd&pg=PA15&dq=Sistemas+morfog%20C3%A9nicos+del+territorio+colombiano&ots=5XHTnGHLcy&sig=SF8qR4u7Iz90eMTJ52mDxe2Fw#v=onepage&q=Sistemas%20morfog%20C3%A9nicos%20del%20territorio%20colombiano&f=false>
- Geist, H. J., y Lambin, E. F. (2001). What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. . 1348. <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC>
- Geist, H. J., y Lambin, E. F. (2001). What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence., 136. <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC>

- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible* (Eric Engles ed.). Turrialba-Costa Rica: Catie.
- Gonzalez, A. y. C., A., . (1982). *Estudio general de suelos de la región nor Oriental del Departamento del Cauca.* . Popayán.
- Guzman, C. G., Gonzales, M. M., y Sevilla, G. E. (2000). Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible In Mundi-Prensa (Ed.), *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*. Reis (Vol. 95, pp. 213-225). Madrid- España. Retrieved from [http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Rvx5qPJIYC&oi=fnd&pg=PA213&dq=Guzm%C3%A1n+C,+G.,+Gonz%C3%A1lez+de+Molina,+M.+y+G.+E.+Sevilla+\(2000\).+Introducci%C3%B3n+a+la+agroecolog%C3%ADa+como+desarrollo+rural+sostenible.&ots=-uaJqmQfGC&sig=MS7yAOVCS-Vz6L2iCgi6tyN53Xc#v=onepage&q&f=false](http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Rvx5qPJIYC&oi=fnd&pg=PA213&dq=Guzm%C3%A1n+C,+G.,+Gonz%C3%A1lez+de+Molina,+M.+y+G.+E.+Sevilla+(2000).+Introducci%C3%B3n+a+la+agroecolog%C3%ADa+como+desarrollo+rural+sostenible.&ots=-uaJqmQfGC&sig=MS7yAOVCS-Vz6L2iCgi6tyN53Xc#v=onepage&q&f=false).
- Hofstede, R. (2003). El impacto de las actividades humanas sobre el paramo. Quito.
- Hofstede, R. (2003). Los paramos en el mundo: su diversidad y sus habitantes. *Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia*, 15-38.
- IDEAM. (2001). La erosión del suelo *IDEAM*.
- IDEAM, IGAC, y CORMAGDALENA. (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*: Bogotá, DC.
- IGAC. (1998). *Suelos y bosques de Colombia subdirección agrícola* (Vol. 2). Bogota Colombia.
- IGAC. (2009). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Cauca*. Bogotá.
- IGAC, I. G. A. C. (2005). *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*. Bogotá
- Kaimowitz, D., Mendez, P., Puntodewo, A., y Vanclay, J. K. (2002). Spatial regression analysis of deforestation in Santa Cruz, Bolivia.
- Lambin, E. F., y Meyfroidt, P. (2010). Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, 27(2), 108-118. doi: 10.1016/j.landusepol.2009.09.003
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental: la reapropiación social de la naturaleza* Retrieved

from[http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=igF_kdwY3MMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Leff,+E+\(2004\)+Ciencias+Ambientales&ots=Jx3MAFEDiP&sig=TO2dpUU6PdRLQx1lyOPQxu94g#v=onepage&q=Leff%2C%20E%20\(2004\)%20Ciencias%20Ambientales&f=false](http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=igF_kdwY3MMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Leff,+E+(2004)+Ciencias+Ambientales&ots=Jx3MAFEDiP&sig=TO2dpUU6PdRLQx1lyOPQxu94g#v=onepage&q=Leff%2C%20E%20(2004)%20Ciencias%20Ambientales&f=false)

- León, J. A. (2001). Las inferencias en la comprensión e interpretación del discurso: un análisis para su estudio e investigación. *Revista signos*, 34(49-50), 113-125. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-09342001004900008&script=sci_arttext
- León T, y Rodríguez L. (2002). Ciencia, tecnología y ambiente en la agricultura colombiana. *Cuadernos de tierra y justicia. Publicaciones ILSA, Bogotá.*
- Márquez, G. (2001). De la abundancia a la escasez: La transformación de ecosistemas en Colombia. http://www.idea.unal.edu.co/public/docs/abund_escasez.pdf
- Márquez, G. (2005). Ecosistemas estratégicos para la sociedad: Bases conceptuales y metodológicas. *Región, ciudad y áreas protegidas: manejo ambiental participativo. Cárdenas, F., Correa, Hernán Darío y Mesa, Claudia (compiladores). FESCOL, Ecofondo, Acción Ambiental y CEREC. Bogotá, 31.*
- MAVDT, IGAC, y IDEAM. (2010). Proyecto plan de seguimiento y monitoreo de los procesos de degradación de suelos y tierras de Colombia en el marco de la gestión ambiental nacional y el cambio climático (Vol. Primer informe, pp. 15). Bogotá D.C.: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial - MAVDT, Instituto geográfico Agustín Codazzi– IGAC, Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – IDEAM.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. In I. d. I. E. d. I. E. d. Milenio (Ed.).
- Mitsuda, Y., y Ito, S. (2011). A review of spatial-explicit factors determining spatial distribution of land use/land-use change. *Landscape and Ecological Engineering*, 7(1), 117-125. doi: 10.1007/s11355-010-0113-4
- Morales, B. J. A., y Estévez, V. J. V. (2006). El Páramo: ¿ ecosistema en via de extinción? *Revista Luna azul*, (22), 39-51. [file:///C:/Users/Dieguito/Downloads/Paramos%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Dieguito/Downloads/Paramos%20(1).pdf)
- Morales, B. J. A., y Estévez, V. J. V. (2006). EL PÁRAMO:¿ ECOSISTEMA EN VÍA DE EXTINCIÓN? *Revista Luna azul*(22).
- Mukul, S. A., y Herbohn, J. (2016). The impacts of shifting cultivation on secondary forests dynamics in tropics: A synthesis of the key findings and spatio temporal

- distribution of research. *Environmental Science & Policy*, 55, Part 1, 167-177. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.005>
- Müller, K., y Restrepo, J. (1999). *Conservación de Suelos y Aguas en la Zona Andina: Hacia un Concepto Integral con más Interacción, más Adopción y más Impacto* (Karl M. Müller-Sämman y José M. Restrepo ed. Vol. 309). Cali-Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Muñoz, G. F. A., Figueroa, C. A., y Perez, E. H. (2009). Evaluación de la susceptibilidad a la erosión en dos agroecosistemas alto andinos en la cuenca del río Palacé In C. A. Figueroa y R. M. P. Valencia (Eds.), *Fragmentación y coberturas vegetales de ecosistemas andinos, Departamento del Cauca* (Vol. I, pp. 285-299). Popayan Cauca: Universidad del Cauca.
- Muñoz, G. F. A., Figueroa, C. A., Perez, E. H., y Cañizalez, E. R. (2010). Susceptibilidad a la erosión en dos agroecosistemas altoandinos del Cauca. *Rev. Invest. Univ. Quindío*, 20, 9-17.
- Muñoz, V., y López, B. J. (2008). Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 29(1), 71-93. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160701280967#.U9lhUvI5M5k>
- Nearing, M. A. J., V. Baffaut, C. Cerdan, O. Couturier, A. (2005). Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *science direct*.
- Newman, M. E., McLaren, K. P., y Wilson, B. S. (2014). Long-term socio-economic and spatial pattern drivers of land cover change in a Caribbean tropical moist forest, the Cockpit Country, Jamaica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186, 185-200. doi: 10.1016/j.agee.2014.01.030
- Perez, E. (2010). *Comportamiento y dinámica de los plaguicidas organofosforados clorpirifos y diazinón en suelos con características ándicas del humedal de Calvache, Cauca, Colombia. Predicción de posible contaminación.*, Universidad del Valle, Cali.
- Pérez, M. A., y Rojas, J. (2008). Desarrollo sostenible: Principios, aplicaciones y lineamientos de política para Colombia. 17.
- PNUMA. (2012). *GEO5, Perspectivas del medio ambiente mundial, medio ambiente para el futuro que queremos* San Jose - Costa Rica: PNUMA.

- Pulido, J., y Bocco, G. (2011). ¿Cómo se evalúa la degradación de tierras? panorama global y local. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 36(2), 96-103.
- Putz, F. E., y Redford, K. H. (2010). The Importance of Defining 'Forest': Tropical Forest Degradation, Deforestation, Long-term Phase Shifts, and Further Transitions. *Biotropica*, 42(1), 10-20. doi: 10.1111/j.1744-7429.2009.00567.x
- Rangel, C. J. O. (2000). *Colombia diversidad biótica III: La región de vida paramuna de Colombia*: Universidad Nacional de Colombia
- Rangel Ch, O. J. (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia *Colombia Diversidad Biótica III La región de vida paramuna* (Vol. 1). Bogota: Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Instituto de ciencias naturales.
- Rangel, O. (2002). Biodiversidad en la región del páramo con especial referencia a Colombia. 25.
- Ribeiro Filho, A. A., Adams, C., y Murrieta, R. S. S. (2013). The impacts of shifting cultivation on tropical forest soil: a review. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*.
- Rincón, M. A. P. (2007). *Comercio internacional y medio ambiente en Colombia: Mirada desde la economía ecológica*: Universidad del Valle.
- Rodríguez, E. N., Pabón, C. J. D., Bernal, S. N. R., y Martínez, C. J. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos*. Bogotá, D. C., Colombia. .
- Sanabria, D. O. L. (2006). *Manejo de germoplasma nativo en agroecosistemas tradicionales de la region andina de Tierradentro, Cauca, Colombia, Suramerica* (Doctora en Ciencias (Biología)), Universidad Autonoma de Mexico Mexico. D. F.
- Santos, C. (2009). Actores sociales: el mapeo como herramienta de diagnóstico socioambiental participativo., 25. http://www.academia.edu/1736412/Actores_sociales_el_mapeo_como_herramienta_de_diagnostico_socioambiental_participativo
- Sevilla, E. (2007). *De la sociología rural a la agroecología* (Vol. 1): Icaria Editorial.
- Sevilla, G. E. (2003). *El desarrollo rural de la "otra modernidad": Elementos para recampesinizar la agricultura desde la agroecología* (Vol. 6).

- Tabeni, S. M., Bender, B. J., y Ojeda, R. A. (2004). Puntos calientes para la conservación de mamíferos en la provincia de Tucumán, Argentina. *Mastozoología neotropical*, 11(1), 55-67.
- Tandiou, W. (2008). *Análisis comparativo de los patrones de cambio naturales y antrópicos en un ecosistema altoandino, en la parte alta de la cuenca río Palacé*. (Biologo), Universidad del Cauca, Popayán.
- Tapia, E. M. (1993). Visión general y características del agroecosistema Andino. In L. H. Rincon (Ed.), *El agroecosistema andino: problemas, limitaciones, perspectivas: anales del Taller Internacional sobre el Agroecosistema Andino: International Potato Center*. Retrieved from http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=f3A9qY9F9u0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Visi%C3%B3n+general+y+caracteristicas+del+agroecosistema+Andino&ots=zL-dcIW_QK&sig=BryOJ5U0OS7z_wF3w0u5ExPyXC8#v=onepage&q=Visi%C3%B3n%20general%20y%20caracteristicas%20del%20agroecosistema%20Andino&f=false.
- Tapia, P., Nelson. (2008). *Aprendiendo el desarrollo endógeno sostenible: construyendo la diversidad bio-cultural*: COMPAS. AGRUCO. PLURAL.
- Toledo, V. M. (2002). Agroecología, sustentabilidad y reforma agraria: la superioridad de la pequeña producción familiar. *Agroecología e Desenvolvimento Rural Sustentavel*, 3, 10.
- Toledo, V. M. (2008). Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (REVIBEC)*, 7, 1-26. http://www.redibec.org/IVO/rev7_01.pdf
- Toledo, V. M. (2008). Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7.
- Toledo, V. M., y Barrera, N. B. (2008). *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales* (Icaria editorial, s.a. ed.). Barcelona-España.
- Tommasino, H. (2006). *Extensión: reflexiones para la intervención en el medio urbano y rural*. Montevideo - Uruguay.
- Turner, K., Lenzen, M., Wiedmann, T., y Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 1: A technical note on combining input–output and ecological footprint analysis. *Ecological Economics*, 62(1), 37-44. doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.12.002

- Van der Hammen, T. (2002a). Diagnóstico, cambio global y Conservación
- Van der Hammen, T. (2002b). *Diagnóstico, cambio global y conservación.*
- Verburg, P. H., van de Steeg, J., Veldkamp, A., y Willemen, L. (2009). From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1327-1335. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.08.005
- Von Bertalanffy, L. (2006). *Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones* F. d. C. Economica (Ed.)
- Walker, R., Drzyzga, S. A., Li, Y., Qi, J., Caldas, M., Arima, E., y Vergara, D. (2004). A BEHAVIORAL MODEL OF LANDSCAPE CHANGE IN THE AMAZON BASIN: THE COLONIST CASE. *Ecological Applications*, 14(sp4), 299-312. doi: 10.1890/01-6004
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K., y Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 2: Review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 61(1), 15-26. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906005945>
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.003>
- Wyman, M. S., y Stein, T. V. (2010). Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize. *Applied Geography*, 30(3), 329-342. doi: 10.1016/j.apgeog.2009.10.001
- Yackulic, C. B., Fagan, M., Jain, M., Jina, A., Lim, Y., Marlier, M., . . . Uriarte, M. (2011). Biophysical and Socioeconomic Factors Associated with Forest Transitions at Multiple Spatial and Temporal Scales. *Ecology & Society*, 16(3). <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss3/art15/>

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista semiestructurada

INFORMACIÓN GENERAL DE LA ZONA

¿De qué grupo étnicos proviene la zona?

Indígenas _____

Campeños _____

Afros _____

Gitanos _____

Número de familias que ocupan la zona

Campeños _____ Indígena _____ Otros _____

¿Las organizaciones existentes en la zona se involucran con el manejo y uso de los recursos naturales?

Sí _____ No _____

De qué manera? _____

Existen conflictos en la zona por:

Tenencia de la tierra _____

Manejo de recursos naturales _____

Disposición del agua _____

Disposición de la tierra _____

Disposición de los recursos forestales _____

Otros _____ Cuáles?

¿Cuál es la forma de tenencia de la tierra?

—

—

¿Cuáles son las normas para el manejo de suelos?

Anexo 2. Entrevistas dirigidas a las familias

Número de personas que conforman el núcleo familiar

	♀	♂
Mayores (>65 años)	_____	_____
Adultas (>30 años)	_____	_____
Jóvenes (<30 años)	_____	_____
Niños (<15 años)	_____	_____

Nivel educativo que tienen los miembros de la familia

	Número de miembros
Ninguno	_____
Primaria	_____
Bachillerato	_____
Técnico	_____
Profesional	_____

¿Cuáles son las actividades económicas de las cuales se sustenta la familia?
(agricultura, comercialización de algo, trabajo fuera de Totoró)

La familia desarrolla actividades agropecuarias como:

Ganadería	_____	
Cultivos de papa	_____	
Cultivos de pancoger	_____	
Piscicultura	_____	
Otros	_____	¿cuáles?

En su terreno usted tiene:

Vivienda	_____
Cultivos anuales o transitorios	_____
Cultivos permanentes	_____
Pastos	_____
Bosques o áreas naturales	_____

Utiliza bonos Químicos _____ Orgánicos _____
Mas químicos que orgánicos _____ más orgánicos que químicos _____

Cuáles son los usos que le da a la vegetación nativa o al bosque?

Protección de fuentes de agua _____
Madera para leña _____
Alimento (frutales) _____
Medicinas _____
Madera para la construcción _____
Artesanía _____
Madera para la industria _____
Ornamental _____
Forraje _____
Otros _____

Cuáles?

Identifica procesos de degradación o deterioro de los recursos naturales

Agua _____
Suelo.._____
Aire...._____
Fauna _____
Flora _____

De qué tipo y hace cuánto tiempo

Anexo 3. Caracterización de actores

	ACTORES ¹⁵	INTERESES	LÓGICA O INTERÉS PRINCIPAL QUE ORIENTA LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y DEGRADACIÓN	PRINCIPALES CONFLICTOS CON OTROS ACTORES SOCIALES	POSICIÓN EN TÉRMINOS DE CAPACIDAD DE INCIDENCIA (+,-) ¹⁶	PARTICIPACIÓN (Ausente, presente, desbloqueo procesos, incentiva actores)
Gubernamentales						
Privados						
Sociedad civil						
Comunitarios						

¹⁵ Esta tabla es una adaptación del instrumento “Stakeholder Identification” extraído de Participation and Social Assessment: Tools and Techniques, Jennifer Rietbergen-McCracken y Deepa Narayan (compiladoras). Banco Mundial (1996)

¹⁶ El rango (+) va de +:positivo, ++ medianamente,+++ muy positivo y (-)negativo, (--)medianamente, (---)muy negativo

Anexo 4. Variables y métodos de muestreo.

UNIDAD	VARIABLE	SUBVARIABLE	DATOS NECESARIOS	FUENTE DE INFORMACIÓN	PROCEDIMIENTO O ANALÍTICO	RESULTADOS PARCIALES	RELACIONES
BIOFÍSICO	1. Cobertura y usos del Suelo (ha)	Natural	Paramos	Fotografías aéreas (1967-1999) Imágenes de satélite LANSAT (2006-2009-2013). CRC, IGAC, GEA	Fotointerpretación y procesamiento de imágenes de satélite	Índice de cambio de coberturas	
			Bosque Denso				
			Bosque Abierto				
			Galería				
			Matorral				
			Ríos				
			Lagunas				
		Ciénaga					
		Antrópico	Construcciones y edificaciones				
			Cultivos Anuales				
			Cultivos bianuales				
			Tierras en transición				
			Pastos				
	Rastrojo						
	2. Pendientes (%)	Distribución de Pendientes	Curvas de nivel	IGAC, CRC, SRTM	Cotas de nivel y Promedio de pendiente	Mapa de unidades de pendiente	
			Pendientes de área				
		3. Geología y geomorfología	Distribución de Formaciones	Geología estructural	Mapa Geológico y litológico	Descripción y Ubicación	Mapa Formaciones
Geología económica							
unidades geomorfológicas							
Unidades litológicas							
4. Suelos	Distribución de tipos de suelos	Clasificación de suelos	Estudio de Suelos del Nor Oriente del Cauca, IGAC, CRC	Caracterización y Ubicación	Mapa de suelos, Índice de fertilidad del suelo y degradación		
	Características físicas de suelos	Textura, estructura, Densidad					
	Características Químicas de Suelos	MOS, CT, NT, AN, PT, AP, AK					
	Procesos de degradación de suelos (%)	Fertilidad, Erosión, Contaminación					
5. Clima	Precipitación (media anual)	Promedio de Precipitación	IDEAM	Temporalidad promedio	Mapa de isoyeta e isotermas		
	Temperatura (media anual)	Promedio de Temperatura					
	Humedad relativa (media anual)	Promedios de Humedad					
6. Fauna y	Listados de	Composición	CRC, GEA	Distribución de	Mapa de		

Mapas de Potencialidades, Limitantes, Riesgos y Amenazas

	flora	especies			especies	distribución de especies
	7. Agua	Propiedades	Caudal, STDS, NT/año	CRC, GEA	Descripción	Índice de calidad del agua
SOCIOECONÓMICA	8.Socioeconómica	Accesibilidad (m)	Distancia a carreteras	DANE, CRC, GEA	Descripción	Caracterización social del territorio
			Distancia a Ciudades			
		Densidad de Población (#/km)	Hombres, Mujeres, Población total			
			Viviendas			
		Demografía (%)	Sexo (hombre/mujer)			
			Edad (menores 15, 15-64, mayores 64)			
		Educación (%)	primaria, secundaria, universidad			
		Empleo (%)	Empleado, Desempleado, Discapacitado, Jubilado, Otros			
		Servicios Básicos (%)	Agua pública, Privada, letrina, Alcantarillado, otro			
Política	Presencia, ausencia, cual					

Carbono total (CT), Materia orgánica en el suelo (MOS), Nitrógeno total (NT), Nitrógeno disponible (AN), Fosforo total (PT), Fosforo disponible (AP), Potasio total y disponible (KT y AK).