

EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN COBERTURA VEGETAL EN LA
MICROCUENCA LAS PIEDRAS, MUNICIPIO DE TANGUA, A TRAVÉS DE UN
ANÁLISIS MULTITEMPORAL ENTRE LOS AÑOS
1989 – 2002

OSVALDO EDUARDO ARCOS PATIÑO
ESTHER JULIA PASICHANÁ SOLARTE
CARLOS ALBERTO TORRES BURBANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES Y POSTGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN ECOLOGÍA CON ÉNFASIS
EN GESTIÓN AMBIENTAL
SAN JUAN DE PASTO
2011

EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN COBERTURA VEGETAL EN LA
MICROCUENCA LAS PIEDRAS, MUNICIPIO DE TANGUA, A TRAVÉS DE UN
ANÁLISIS MULTITEMPORAL ENTRE LOS AÑOS
1989 – 2002

OSVALDO EDUARDO ARCOS PATIÑO
ESTHER JULIA PASICHANÁ SOLARTE
CARLOS ALBERTO TORRES BURBANO

Trabajo de grado, presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Ecología con Énfasis en Gestión Ambiental.

Asesor:
JOHN JAIRO CALDERON LEYTON
Msc. Ciencias Biológicas

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES Y POSTGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN ECOLOGÍA CON ÉNFASIS
EN GESTIÓN AMBIENTAL
SAN JUAN DE PASTO
2011

“Las ideas y conclusiones aportadas en el presente trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1º del acuerdo No. 324 del 11 de octubre de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Agosto de 2011

Gracias Dios por llenar mi vida de bendiciones.

A mis padres que con su lucha constante y su apoyo incondicional han sido el ejemplo de vida a seguir.

A mi querido esposo, quien con su amor y comprensión ha movido el deseo de salir adelante.

A mis Hijas Mariana y Laura Sofía que son el motor de mi vida, de mis sueños y la esperanza de seguir luchando mi mañana.

A mis Hermanos y sobrinos que de alguna u otra forma han estado allí, apoyando mis ideales.

Esther Julia

A Mi madre, velero de mi vida, ejemplo de alegría y tenacidad.

A Mi padre, sembrador de conocimientos y apoyo infinito de mis locuras.

A mi gordita, la princesa de mis sueños y aventuras.

A mis hijos: Laurita, Abril y Samuel, mi fuerza, mi vivir y mi inmensa felicidad.

A mis hermanas, primo y sobrinos, su apoyo incondicional.

Oswaldo Eduardo

*Por la luz que nunca faltó en el camino
y la fuerza para seguir caminando...
a ti Dios, en tu grandeza infinita.*

*Por cada uno de tus consejos,
y en tu esmero y afán incondicional...
a ti Madre, en tu bondad y amor.*

*Por la guía que siempre me acompaña
y en el arduo transcurrir de la vida...
a ti Padre, por lograr lo que soy.*

*Por la felicidad en sus rostros
y la inocencia que a diario me inspiran...
a mis hijos, que hacen los sueños reales.*

*Por lograr que nunca falte el tiempo
y en la nobleza de tu compañía...
A ti, en cada uno de tus gestos de apoyo.*

*Por la epifanía de tenerlos
y cada momento de alegría
a mis hermanos, en la alegría que me comparten.*

Carlos Alberto...

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La Universidad de Nariño, por concedernos la valiosa oportunidad de cumplir nuestros anhelos de superación profesional.

Al profesor Bernardo Ramírez, docente de la Universidad del Cauca por su incondicional colaboración en la identificación de las muestras vegetales.

A los profesores Jhon Jairo Calderón, Guillermo Castillo y a la profesora Martha Sofía Gonzales, por su ayuda y asesoría en la realización de este trabajo.

A la Comunidad de la Vereda Las Piedras por colaborar con sus conocimientos empíricos de la zona en estudio.

A Mario Suarez, estudiante de la Universidad de Nariño, por su compañía y valiosos conocimientos.

A todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron a la realización de nuestros propósitos personales y profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | |
| 1. OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.1 GENERAL..... | 3 |
| 1.2 ESPECÍFICOS..... | 3 |
| 2. MARCOREFERENCIAL..... | 4 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| 2.1.1 Componentes ecológicos del cambio de cobertura vegetal..... | 4 |
| 2.1.2 Teledetección y sistemas de información geográfica(SIG)..... | 16 |
| 2.1.3 Antecedentes de cambios de cobertura en cuencas hidrográficas..... | 22 |
| 2.2 MARCO LEGAL..... | 26 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 29 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDIO..... | 29 |
| 3.2 GEOLOGÍA..... | 29 |
| 3.3 GEOMORFOLOGÍA..... | 32 |
| 3.4 SUELOS..... | 34 |
| 3.5 CLIMATOLOGÍA..... | 38 |
| 3.5.1 Precipitación..... | 38 |
| 3.5.2 Temperatura..... | 39 |
| 3.5.3 Humedad Relativa..... | 40 |
| 3.5.4 Evaporación..... | 41 |
| 3.5.5 Brillo Solar..... | 42 |
| 3.5.6 Relación de parámetros analizados..... | 43 |
| 3.6 ZONAS DE VIDA..... | 44 |
| 3.6.1 Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB)..... | 44 |
| 3.6.2 Bosque muy húmedo Montano (bmh-M)..... | 44 |
| 3.6.3 Páramo Subalpino (p-SA)..... | 44 |
| 3.7 HIDROGRAFÍA..... | 46 |
| 3.8 HERRAMIENTAS SIG..... | 46 |
| 3.8.1 Preprocesamiento digital de imágenes..... | 47 |
| 3.8.2 Combinaciones con las bandas..... | 49 |
| 3.8.3 Procesamiento digital de las categorías..... | 52 |
| 3.8.4 Elaboración de los mapas finales..... | 55 |
| 3.8.5 Análisis de la información..... | 57 |

| | |
|--|-----|
| 3.8.6 Naturaleza de la investigación..... | 57 |
| 3.9 ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA..... | 60 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 63 |
| 4.1 EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA LAS PIEDRAS, MUNICIPIO DE TANGUA, A TRAVÉS DE UN ANÁLISIS MULTITEMPORAL ENTRE LOS AÑOS 1989 – 2002..... | 63 |
| 4.1.1 Identificación de categorías para la clasificación de coberturas vegetales en la microcuenca Las Piedras..... | 63 |
| 4.1.2 Clasificación supervisada de coberturas en la microcuenca Las Piedras..... | 66 |
| 4.1.3 Identificación de cambios en la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras..... | 88 |
| 4.2 RECUPERACIÓN, CONSERVACIÓN Y DETERIORO EN LA COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA LAS PIEDRAS..... | 97 |
| 5. PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA PARA LA OCUPACIÓN Y USO DEL SUELO DE LA MICROCUENCA LAS PIEDRAS..... | 100 |
| 5.1 ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA PARA EL MANEJO DE LA MICROCUENCA LAS PIEDRAS..... | 100 |
| 5.1.1 Zona de protección..... | 100 |
| 5.1.2 Zona de regeneración..... | 101 |
| 5.1.3 Zona de amortiguamiento..... | 102 |
| 5.1.4 Zona de producción..... | 103 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 106 |
| 7. RECOMENDACIONES | 108 |
| 8. BIBLIOGRAFIA | 109 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Suelos presentes en la microcuenca Las Piedras..... | 35 |
| Tabla 2. Estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca Las Piedras..... | 38 |
| Tabla 3. Categorías de entrenamiento para la clasificación de coberturas vegetales en la microcuenca Las Piedras..... | 63 |
| Tabla 4. Coberturas obtenidas de la clasificación supervisada en la microcuenca Las Piedras..... | 67 |
| Tabla 5. Vegetación encontrada en la cobertura de bosque arbóreo..... | 72 |
| Tabla 6. Vegetación encontrada en la cobertura de bosque en regeneración | 75 |
| Tabla 7. Vegetación encontrada en la cobertura de páramo | 80 |
| Tabla 8. Vegetación encontrada en la cobertura de subpáramo..... | 83 |
| Tabla 9. Porcentaje de cambio en la cobertura vegetal en la microcuenca las Piedras..... | 88 |
| Tabla 10. Áreas de cobertura vegetal sin cambios (sc) en la microcuenca las Piedras..... | 89 |
| Tabla 11. Cambios en la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras..... | 94 |
| Tabla 12. Estado actual de la cobertura en la microcuenca Las Piedras..... | 97 |
| Tabla 13. Áreas por categorías para la zonificación ecológica en la microcuenca las Piedras..... | 104 |

LISTA DE FIGURAS

| | | Pág. |
|------------|--|------|
| Figura 1. | Mapa de localización microcuenca Las Piedras..... | 30 |
| Figura 2. | Mapa base microcuenca Las Piedras..... | 31 |
| Figura 3. | Mapa geológico microcuenca Las Piedras..... | 33 |
| Figura 4. | Valle en U..... | 34 |
| Figura 5. | Formaciones Geológicas..... | 34 |
| Figura 6. | Formaciones Zona Sur..... | 34 |
| Figura 7. | Formaciones Zona Norte..... | 34 |
| Figura 8. | Mapa de suelos microcuenca Las Piedras..... | 36 |
| Figura 9. | Precipitación comparativa para las estaciones con Influencia en la microcuenca Las Piedras..... | 39 |
| Figura 10. | Temperatura media en el área de influencia de la microcuenca Las Piedras..... | 40 |
| Figura 11. | Humedad relativa media en el área de influencia de la microcuenca Las Piedras..... | 41 |
| Figura 12. | Evaporación media en el área de influencia de la microcuenca Las Piedras..... | 42 |
| Figura 13. | Brillo solar medio en el área de influencia de la microcuenca Las Piedras..... | 42 |
| Figura 14. | Cruce de los parámetros, humedad relativa y evaporación suministrados por la estación Sindagua para el área de influencia de la microcuenca Las Piedras..... | 45 |
| Figura 15. | Mapa de zonas de vida microcuenca las Piedras..... | 45 |
| Figura 16. | Banda TM4..... | 48 |
| Figura 17. | Histograma banda TM4..... | 48 |
| Figura 18. | Ecualización del histograma..... | 49 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 19. | Combinación Bandas 321..... | 50 |
| Figura 20. | Combinación Bandas 453..... | 51 |
| Figura 21. | CIV imagen 1989..... | 52 |
| Figura 22. | CIV imagen 2002..... | 52 |
| Figura 23. | Diagrama de flujo procesamiento de imágenes..... | 53 |
| Figura 24. | Modelo espacial Cartográfico..... | 58 |
| Figura 25. | Modelo Entidad Relación..... | 62 |
| Figura 26. | Imagen Landsat TM 19890807..... | 64 |
| Figura 27. | Imagen Landsat TM 20021014..... | 65 |
| Figura 28. | Categorías vegetales 1989 microcuenca Las Piedras..... | 68 |
| Figura 29. | Categorías vegetales 2002 microcuenca Las Piedras..... | 69 |
| Figura 30. | Cambios porcentuales de cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras entre los años 1989 – 2002..... | 70 |
| Figura 31. | Bosque Arbóreo (fotografía)..... | 71 |
| Figura 32. | Bosque arbustivo (fotografía)..... | 74 |
| Figura 33. | Cultivos permanentes (fotografía)..... | 76 |
| Figura 34. | Cultivos transitorios (fotografía)..... | 77 |
| Figura 35. | Charcas (fotografía)..... | 78 |
| Figura 36. | Páramo (fotografía)..... | 79 |
| Figura 37. | Subpáramo (fotografía)..... | 82 |
| Figura 38. | Pastos (fotografía)..... | 84 |
| Figura 39. | Sin cobertura (fotografía)..... | 85 |
| Figura 40. | Clasificación coberturas vegetales 1989..... | 86 |
| Figura 41. | Clasificación coberturas vegetales 2002..... | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 42. Mapa de cambios en la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras..... | 96 |
| Figura 43. Estado actual de la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras..... | 99 |
| Figura 44. Mapa de zonificación ecológica para el manejo de la microcuenca Las Piedras..... | 105 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág |
|--|-----|
| Anexo A. Bandas de imágenes LANDSAT TM..... | 117 |
| Anexo B. TM y ETM+ Bandas espectrales..... | 117 |
| Anexo C. Representación de datos espaciales: Vector y Ráster..... | 118 |
| Anexo D. Entrevista dirigido a la comunidad de la microcuenca Las Piedras..... | 119 |
| Anexo E. Mapa predial microcuenca Las Piedras..... | 122 |
| Anexo F. Modelo Digital del Terreno (DTM)..... | 123 |

RESUMEN

La microcuenca las Piedras localizada en el municipio de Tangua - Nariño, ha sido sometida en los últimos años a una mayor presión antrópica por el interés de sus recursos naturales por parte de las entidades oficiales del municipio de Pasto y de las comunidades que la habitan. El análisis multitemporal de los cambios de cobertura se realizó con base en dos imágenes de satélite tipo Landsat TM de enero de 1989 y septiembre de 2002. El procesamiento digital se desarrolló mediante el software ERDAS IMAGINE 8.1 versión académica y los procesos de edición y diseño de las coberturas topológicas en ArcGIS versión 9.3; la etapa siguiente fue la clasificación digital donde se realizaron ajustes mediante el método supervisado, determinándose 8 clases de cobertura que al ser analizadas en los años propuestos, proyectaron 35 topologías, de las cuales 28 presentaron cambios. La mayor proporción se presentó en zonas de páramo a subpáramo, con un área de 107,07 Ha (6,18%) ocasionados por la intervención antrópica y por factores ambientales externos. La propuesta de zonificación ecológica para el manejo de la microcuenca permite determinar que el área de protección debe ser del 75,58% (1308,74Ha), valor que se encuentra por encima del área que actualmente está en conservación, que es del 71,05% (1230.25Ha). Los resultados obtenidos permitieron determinar que la microcuenca aún se encuentra en más de un 70% en conservación, pero se debe iniciar con un manejo que impida el desplazamiento de la frontera agrícola y el incremento de la afectación de superficies de bosques para extracción de carbón vegetal, particularmente hacia áreas con problemas de estabilidad de suelos como son en las divisorias de aguas, en subparamos y páramos.

Palabras clave: Análisis multitemporal, cambios de cobertura, páramo, zonificación ecológica, transformación, uso del suelo, conservación, amortiguamiento y protección.

ABSTRACT

The catchment Stones located in the municipality of Tangua - Nariño has been subjected in recent years to more human pressure by government entities in the municipality of Pasto and the communities that inhabit the area due to interest over its natural resources. The coverage changes under multitemporal analysis were made based on two types of satellite images Landsat TM January 1989 and September 2002. Digital processing software was developed by the academic version 8.1 ERDAS IMAGINE and the editing and design of topological coverage in ArcGIS version 9.3. The next step was digital classification. Some adjustments were made using the method of supervision. 8 types of coverage were determined in the analysis through the years proposed. 35 topologies were projected and 28 were affected. The highest proportion occurred in areas high moor and moor, with an area of 107.07 ha (6.18%) caused by human intervention and environmental factors. The ecological zoning proposal for the management of the basin to determine the area of protection should be of 75.58% (1308.74 ha). The existing value is above the area that is currently in preservation, which is 71,05% (1230.25Ha). The results allowed determining that the conservation of the catchment is still more than 70%, but management to prevent displacement of the agricultural frontier should start and to avoid the increasing of areas of forests for charcoal extraction particularly to areas with problems such as soil stability in the watershed, in high moors and moors.

INTRODUCCIÓN

Existe una sustancial variabilidad en la cobertura vegetal en la microcuenca las Piedras, vereda las Piedras, Municipio de Tangua, generada principalmente por la intervención de los habitantes, expresada en deforestación, manejo inadecuado de los recursos naturales y expansión de la frontera agrícola.

Además dentro de los programas y proyectos del plan de acción de la agenda municipal 2004 – 2012 del municipio de Pasto, se contemplo como objetivo prioritario y a corto plazo el abastecimiento de agua para la ciudad, desde esta región; hasta el momento, en la microcuenca Las Piedras los procesos de planificación no son significativos, las autoridades competentes no aseguran en el futuro el establecimiento de sistemas de gestión y control, en cuanto al uso y manejo local de la cobertura vegetal; lo cual conllevará a una vulnerabilidad y deterioro acelerado de dichos recursos.

Para la conservación y el mantenimiento de los recursos naturales, es necesario estudiar y analizar toda la unidad hidrográfica en el sistema en el cual se desarrolla; contando para ello con el conocimiento adecuado de sus recursos y del sistema de relaciones entre elementos naturales y antrópicos.

En la búsqueda de este propósito se aplico un análisis multitemporal basado en el reconocimiento de firmas espectrales de imágenes de satélite LANDSAT TM de los años 1989 y 2002, determinando la clasificación y la supervisión en campo de las coberturas vegetales encontradas en la microcuenca en el lapso de tiempo estudiado.

Como resultado de este proceso se realizo una aproximación del estado actual de conservación en la microcuenca las Piedras, se identifico el 28,95% correspondiente a 501,27 Ha del total de 1.731,52 Ha que presentaron 28 cambios en la cobertura vegetal en el lapso de 13 años, para los que se analizo las causas de deterioro o regeneración en cada área. Además, el 4,18% (72,38 Ha) que pasaron de bosque arbóreo a bosque en regeneración, es indicativo que la extracción de madera y las practicas de manejo agropecuarias no son las más apropiadas para una microcuenca que en la actualidad abastece de agua potable a la vereda que lleva su nombre y a la ciudad de San Juan de Pasto, que según predicciones del DANE¹ asciende su población a 416.842 habitantes en el 2011.

Como etapa final se estableció una propuesta de zonificación ecológica que proporciona las pautas para el uso adecuado del territorio; herramientas de juicio

¹ DANE. Proyecciones municipales de población 2005 – 2011 sexo y grupos de edad. San Juan de Pasto. Consultado el 3 de junio de 2011. En: www.pasto.gov.co/index.php?...proyecciones...población-2005-2011...past...

que serán utilizadas en la toma de decisiones en las políticas que aseguren la permanencia y suficiencia de los recursos para los municipios de Tangua y Pasto.

1. OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Establecer los cambios de cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras, municipio de Tangua, mediante un análisis multitemporal entre los años 1989 – 2002.

1.2 ESPECÍFICOS

- Determinar los cambios de cobertura vegetal entre los años 1989 y 2002 en la microcuenca Las Piedras aplicando tecnologías de análisis geográfico.
- Identificar causas del deterioro y recuperación de la cobertura vegetal en esta microcuenca.
- Establecer una aproximación del estado actual y proyección de conservación de la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras.
- Establecer una propuesta de zonificación ecológica para la ocupación y uso adecuado del territorio.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Componentes ecológicos del cambio de cobertura vegetal.

2.1.1.1 Definición e importancia de cobertura vegetal. La cobertura vegetal se refiere a la vegetación ya sea natural o plantada que unida a construcciones antropicas cubre la superficie de la tierra Wijngaarden (1994)². Es el resultado de la asociación espacio temporal de elementos biológicos vegetales característicos los cuales conforman unidades estructurales y funcionales, se constituye en el bioindicador más sensible que permite identificar cambios leves en el paisaje Etter (1994)³. En un sentido estricto cobertura vegetal se refiere a la proyección de la copa de los árboles, arbustos y hierbas respectivamente PRG (1999)⁴. La cobertura vegetal interviene en mantener la calidad del suelo, al prevenir la erosión por el agua y por el viento, controla los niveles de agua, temperatura y viento. Ayuda a mantener la estructura del suelo y proporcionan una importante fuente de carbono y nitrógeno para los microorganismos que están involucrados en la descomposición de la materia orgánica (Ávila y Cruz, 1998)⁵. La cobertura vegetal especialmente los bosques cumplen un importante rol sobre la escorrentía, ya que disminuyen drásticamente las aportaciones de agua superficial, la velocidad de escorrentía y caudal punta de la descarga. (Pizarro, 2006)⁶.

2.1.1.2 Páramo. Según Rangel (2000)⁷ M.M.A. (2002)⁸ páramo es una “región de vida paramuna que comprende extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas, presentando una

² WIJNGAARDEN, Willen. Elaboración de mapas y clasificación de vegetación. Memorias del primer taller sobre cobertura vegetal. IGAC 1994. 25 -31p

³ ETTER, Andrés. Consideraciones generales para el análisis de la cobertura vegetal. . Memorias del primer taller sobre cobertura vegetal. IGAC 1994. 11- 24 p

⁴ PRG. Proyecto rio Guatiquía. Guía para determinar unidades de cobertura y uso del suelo. Villavicencio , 1999.Pág. 58.

⁵ ÁVILA Francy. y CRUZ, Alejandra. Efecto de coberturas vegetales y época climática sobre la densidad de microorganismos totales y heterótrofos en suelos de la eco región cafetera colombiana. Universidad pontificia Javeriana. Bogotá. 2008. 67p

⁶ PIZARRO, Roberto. caudales punta y los efectos del cambio de cobertura vegetal en la cuenca del rio Purapel (1960 – 2000) Región de Maule, Chile. 2006. Pág. 2.

⁷ RANGEL, Orlando. Colombia Diversidad Biótica III La región de vida paramuna y franja aledaña. Universidad Nacional de Colombia- Instituto de Ciencias Naturales, Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2000. Pág. 9-22.

⁸ M.M.A. Ministerio del medio ambiente. Resolución número 769 de 5 agosto de 2002.

relación directa entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana. El concepto de páramo es tan complejo y extenso que abarca muchos tópicos, Holfstade (2003)⁹ considera que es un ecosistema de alta montaña, un bioma, es un paisaje, un área geográfica, una zona de vida, es un espacio de producción, es un símbolo e incluso un estado de clima. Van der Hammen (1997)¹⁰ establece que es una zona donde la vegetación es abierta, semi-abierta, arbustiva y boscosa baja que se extiende más allá del límite altitudinal del bosque andino o la vegetación xerofítica que reemplaza este bosque.

Para Cuatrecasas (1958)¹¹ el páramo, son extensas regiones desarboladas que coronan las cumbres de las cordilleras por encima del bosque Andino, desde los 3.800 metros de altura (localmente desde 3.200 metros). Son fríos y húmedos sufriendo cambios meteorológicos bruscos, están casi siempre cubiertos por la niebla, reciben frecuentes precipitaciones y son a menudo azotados por los vientos. Los fríos días neblinosos y lluviosos pueden alternar con otros despejados, soleados y cálidos, pero las noches son siempre frías, nevando frecuentemente a una altura superior a 4.400 metros; definición que se adopta para la presente investigación ya que se ajusta muy bien para la zona de estudio.

Rangel (2003)¹². Menciona que para Colombia se reconoce las franjas alto andinas comprendidas entre los 3000 a 3200 msnm el paramo bajo o subparamo se define desde 3200 a 3500 (3600m) y el paramo propiamente dicho se prolonga hasta los 4100m. Los límites altitudinales en que se ubican estos ecosistemas en las cordilleras no se deben generalizar a nivel nacional, debido a la diversidad de geformas y topografía que se presentan en los Andes. Así, la cordillera Central presenta una gran cantidad de volcanes y relieve abrupto de contrastes topográficos, donde los páramos se inician aproximadamente entre los 3000 y 3400 msnm., mientras la cordillera Oriental, considerada el centro de los páramos húmedos de los Andes, es de topografía ondulada, con presencia de páramos entre 3200 -3600 msnm. En la cordillera Occidental las grandes áreas de páramo en su mayoría son escasas y pequeñas, sin embargo se presentan algunos páramos representativos, cuyos límites superiores alcanzan los 3960 y 4200 msnm.

⁹ HOFSTEDE, Robert. Los páramos del mundo. Proyecto Atlas mundial de los páramos. 2003. Pág. 12.

¹⁰ VAN DER HAMMEN, Thomas. 1997. Ecosistemas terrestres: Páramo. En: Chaves, M. E. y N. Arango (Eds.). 1997. Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Instituto Humboldt, PNUMA Minambiente. Pág 9-37

¹¹ CUATRECASAS, José. Aspectos de la vegetación natural de Colombia», vol. 10, n. 40, pág. 225 – 269. 1958.

¹² RANGEL, Orlando. biodiversidad en la región del paramo: con especial referencia a Colombia. Congreso mundial de paramos. 2003. Pag173. Banrepcultural.org/blaavirtual/geografia/congresoparamo/biodiversidad-en-la-region.pdfgt

En los trópicos de América, el ecosistema de páramo está distribuido discontinuamente entre los 11° Norte y 8° de latitud sur. Están concentrados al noroeste a un lado de Suramérica, la mayor parte se encuentra en Venezuela, Colombia y Ecuador con algunas áreas en Costa Rica, Panamá y Norte de Perú, (Luteyn, 1999)¹³.

Los páramos colombianos alcanzan una superficie de aproximadamente 1'443.425 ha, correspondiente al 1,3 % de la extensión continental del país, representada principalmente por páramos atmosféricamente húmedos. El departamento de Boyacá se destaca con la mayor extensión de este ecosistema en Colombia, alcanzando un 18,3 % del total nacional. Le siguen en representatividad los departamentos de Cundinamarca (13,3 %), Santander (9,4 %), Cauca (8,1%), Tolima (7,9%), y Nariño (7,5%) MMA (2002)¹⁴. En el Macizo Colombiano confluyen las Cordilleras en Colombia, sobre los volcanes de esta zona (entre Popayán y Pasto) formándose un complejo de páramos continuo y diverso. Sobre la frontera de Colombia con Ecuador está el complejo Chiles-El Ángel al lado occidental, y el complejo entre La Cocha y el Mirador en el lado oriental (Hofstede, 2001)¹⁵

Solarte (2007)¹⁶ teniendo en cuenta criterios relacionados con la división político administrativos del nivel departamental y municipal y los factores de intervención humana se establecen cuatro grandes zonas a nivel departamento de Nariño: la zona norte, centro, suroriente y suroccidente; La zona de páramos del suroriente del departamento de Nariño presenta dos áreas cordilleranas: la cordillera centro – oriental y la occidental. Teniendo en cuenta que en los dos ramales, existen ecosistemas paramunos, se establece un corredor de páramos que comprende la parte alta de los siguientes municipios: Tangua, Funes, Puerres, Córdoba, Potosí e Ipiales, distribuyéndose latitudinalmente entre 0° 32' norte y 1° 05' norte.

2.1.1.3 Características del páramo. El páramo es un ecosistema en el cual las condiciones ambientales son drásticas por consiguiente opera un tipo de selección abiótica. Un conjunto de factores climáticos, edafológicos y geomorfológicos que condicionan la presencia de los organismos que han logrado

¹³ LUTEYN, James. L. "Introduction to the Páramo ecosystem". En Páramos: A checklist of plant diversity. New York: Geographical distribution and Botanical literature mem. Bot. Gard. Vol. 84, 1999.

¹⁴ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Programa para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña Colombiana: PÁRAMOS. Bogotá D.C., Colombia.2002. pág. 52.

¹⁵ HOFSTEDE, Robert. Los páramos andinos; su diversidad, sus habitantes, sus problemas y sus perspectivas. Un breve diagnóstico regional del estado de conservación de los páramos. congreso mundial de paramos 2001. Memorias. pág. 86

¹⁶ SOLARTE, Mariaelena. RIVAS, G., BACA, Aida. E., CALDERÓN. John., NARVÁEZ German., RENGIFO. Julián., MUÑOZ, D., y TORRES, Carlos. Estado del Arte de los páramos del Departamento de Nariño: Componentes Físico Biótico y Socioeconómico. Vicerrectoría de Investigaciones Universidad de Nariño y Corponariño. Pasto, Colombia. Informe final Convenio Corponariño y Universidad de Nariño. 2007. Pág. 11 – 16.

adaptarse a estos ambientes extremos. Las principales características de los páramos son: la baja disponibilidad de oxígeno en el aire (debido a la baja presión atmosférica); cambios abruptos de temperatura en las fases noche día; acidez muy alta de los suelos, a tal punto de impedir la eficaz absorción radicular de las plantas (ósmosis adversa) y toma el agua de la humedad relativa del ambiente por “intercepción”; la lenta descomposición de la biomasa muerta (debido a la escasa disposición de oxígeno y a la temperatura promedio) que impide una adecuada incorporación de nutrientes al suelo; la desmineralización de los suelos, debido a la acidez; los fuertes vientos, inclementes y con bajas temperaturas ocasionando severas quemaduras a las plantas; la irritación solar muy tenue en períodos de nieblas y lluvias, o muy directa y extrema en días despejados o soleados; ecosistema sofisticado para el almacenamiento de agua y su filtración debido a la gran acumulación de materia orgánica y a la morfología característica de las plantas del páramo, que actúan con “efecto esponja” y presenta un alto grado de endemismo (el 60% de las plantas vasculares). Castaño (2001)¹⁷. Los páramos prestan uno de los más importantes servicios ambientales como es el almacenamiento y regulación del recurso hídrico del país.

2.1.1.4 Vegetación en los Páramos. La vegetación de los páramos de origen tropical, es donde se encuentran las más notables estrategias y adaptaciones morfofuncionales relacionadas con las economías del carbono, los nutrientes y el balance hídrico, lo que le permite a las rosetas gigantes colonizar los hábitat periglaciales más extremos: los páramos desérticos (Monasterio y Sarmiento 1991).¹⁸ Esta vegetación presenta una baja biomasa, crecimiento lento, productividad primaria baja, descomposición lenta de la materia orgánica, acumulación de necromasa tanto en pie como en el suelo y bancos de semillas superficiales y fácilmente degradables. Todos estos aspectos hacen que los procesos de sucesión y regeneración sean lentos.¹⁹

En los páramos se encuentra una gran variedad de asociaciones o comunidades vegetales específicas, las cuales a su vez contienen un número elevado de especies Rangel (2000)²⁰ en Colombia dominan los matorrales con especies de

¹⁷ CASTAÑO, Carlos. Colombia alto andina y la significancia ambiental del bioma páramo en el contexto de los andes tropicales: una aproximación a los efectos futuros por el cambio climático global (global climatic tensor).MMA. IDEAM. PNUD. 2002. Pág. 27 – 51.

¹⁸ MONASTERIO, Maximina. Evolución y transformación de los páramos en la cordillera de Mérida: paisajes naturales y culturales 1 evolución convergente de los páramos en los intertrópicos montanos. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, 104 pag.

¹⁹ VARGAS, Orlando. Propuesta de actividades de investigación para los páramos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia y Instituto De Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 2004. Pág. 5.

²⁰ RANGEL, Orlando. 2000. Tipos de vegetación. Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna.

Asteraceae y los bosques achaparrados con especies de *Polylepis*, formaciones abiertas, que incluyen los frailejonales (*Espeletia*), los pajonales con especies de *Calamagrostis* y los chuscales de *Chusaquea tessellata*. Se encuentran también pastizales, prados, turberas, tremadales o agrupaciones de plantas vasculares en cojín, chuscales, rosetas con especies de puya, y rosetales bajos. En los ecosistemas de páramo se encuentra el 8% del total de endemismos de la flora nacional. Sturm y Rangel 1985, mencionan que la mayoría de las especies del espectro típicamente paramuno de Colombia se encuentran en los volcanes de Nariño²¹

2.1.1.5 Transformaciones del páramo y cambios de uso. Los procesos antropicos de uso de los suelos que ocasionan cambios en las coberturas vegetales tanto de los páramos como de los bosques alto-andinos conduciendo a la praderización de los ecosistemas de alta montaña, ocasionándose una reducción, fragmentación y degradación. Los suelos primero se convierten a uso agrícola, ocasionándose erosión y terminando en cubrirse con praderas en menos de 20 años. Se presenta en ciertas áreas coberturas arboladas de rastrojos y procesos sucesionales tempranos y en otros casos aparecen coberturas forestales transitorias e inestables. Los páramos en Colombia se encuentran divididos en distritos, el que corresponde a Nariño y Putumayo, cuenta con un total de 602.605 Hectáreas, de las cuales 30.524 corresponden a un incremento en los agroecosistemas y se observa una pérdida en la cobertura boscosa cercana a 70.000 hectáreas. La superficie de paramos se reduce en 33.866 hectáreas de las cuales 50.300 se transforman en agroecosistemas y 10.276 sufren el proceso de praderización. (Castaño, 2002).²²

2.1.1.5.1 Uso del suelo. Hace referencia al conjunto de actividades que el ser humano desarrolla en relación con cierto tipo de cobertura, y está asociado con los fines sociales y económicos (la deforestación, la expansión de la agricultura y ganadería, la extracción de madera y el desarrollo de la infraestructura vial). En América Latina, se ha identificado que las características geográficas, los factores socioeconómicos y los parámetros biofísicos son los agentes directos del cambio de uso del suelo. Los cambios de cobertura y uso del suelo en escalas locales están ligados a una combinación específica de factores económicos, tecnológicos, institucionales, culturales y demográficos, que dependen de cada lugar y de cada contexto histórico, así como a la ubicación geográfica. (Rodríguez, 2010)²³

2.1.1.6 Paramización. Se presenta cuando la vegetación con especies de paramo se extienden remplazando bosque nativo. Este fenómeno, que puede

²¹RANGEL, Orlando. Colombia diversidad biótica I Universidad nacional de Colombia. ICN. INDERENA. FEN. Bogota.1987. Pág. 213.

²² CASTAÑO, Carlos. Paramos y ecosistemas andinos de Colombia en condición Hot spot global climatic tensor. Transformación y cambio de uso en los páramos de Colombia en las últimas décadas. MMA- IDEAM – PAUD. 2002. 211-322.

²³ RODRIGUEZ, Nelly. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto Alexander Von Humboldt. Colciencias y 2010. Pág.79.

presentarse incluso en una altitud de 3.000 msnm, aproximadamente; tiene relación con el lento crecimiento de las especies leñosas en estas altitudes, mientras que las especies de vegetación abierta se establecen mucho más rápido (Morales, 2007)²⁴.

Como resultado de la tala y quema del bosque altoandino se genera el proceso de paramización secundaria, que se explica por las adaptaciones de las plantas del páramo que les permiten prosperar expuestas a la radiación directa, a diferencia de las plántulas y plantas juveniles de los árboles que forman el dosel del bosque altoandino y de aquellas que prosperan en los diferentes estratos del sotobosque. Mora (1995)²⁵ la paramización se acentúa en los suelos rocosos, en laderas y en cuchillas con pendientes fuertes, expuestas al viento, la radiación y la erosión. Esto, conocido como efecto de cuchilla, permite la aparición de vegetación de subpáramo muy por debajo de los 2700msnm. Los efectos de paramización se acentúan en las partes altas rocosas o pendientes fuertes, bien drenadas. (DAMA, 2000)²⁶

En muchas partes el bosque superior que ha desaparecido por la acción del hombre se presenta el fenómeno de la “paramización”, siendo difícil establecer el límite original entre bosque y páramo, extendiéndose la vegetación con especies de páramo al reemplazar al bosque nativo. Este fenómeno, que puede presentarse incluso en una altitud de 3.000 msnm, aproximadamente, tiene relación con el lento crecimiento de las especies leñosas en estas altitudes, mientras que las especies de vegetación abierta se establecen mucho más rápido. Existe también una vegetación de páramo azonal (o extrazonal), en sitios que se ubican por debajo del propio límite altitudinal del bosque, en el fondo de valles donde se presenta inversión de temperaturas, o en lugares pantanosos (el páramo cerca a La Cocha, 2.850 msnm; el fondo de los grandes valles. (Morales, 2007)²⁷.

Los procesos antropicos de uso de los suelos que ocasionan cambios en las coberturas vegetales tanto de los páramos como de los bosques alto andinos están conduciendo a la praderización de los ecosistemas de alta montaña y no a

²⁴ MORALES, Mónica. Atlas de paramos de Colombia. Los páramos: archipiélagos terrestres en el norte de los Andes. Instituto Alexander von Humboldt. 2007. Pág. 25-32.

²⁵ MORA OSEJO, Luis Eduardo. Estudios ecológicos del paramo del bosque altoandino cordillera oriental de Colombia. 1995.

²⁶ DAMA. Departamento técnico administrativo del medio ambiente. Fundación ecológica Bachateros. Alteración meso climática. En : protocolo distrital de restauración ecológica, guía para la restauración de ecosistemas nativos en la áreas rurales de Santa Fe de Bogotá. Bogotá, 2000. Pag.218-222.

²⁷ MORALES, Mónica. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2007)pág. 22-31

una paramización, ya que no se están formando páramos de origen antropico ni los páramos naturales están aumentando su cobertura. (Castaño, 2002)²⁸

Velez (2004)²⁹, debido a que la alteración y destrucción de los sistemas de selva alto andina abre paso al descenso de los páramos, existen paramos atípicos como es el del Guamuez a 2800 msnm. en el suroccidente colombiano. En condiciones naturales no se presenta con facilidad debido a que las especies arbóreas dominantes recrean constantemente el suelo y el microclima ocasionando un hábitat hostil para las especies de altitudes de paramo (compiten por nutrientes y luz generándose un balance positivo de carbono y tasas de crecimiento relativamente rápidas. (Yanez, 1998)³⁰.

2.1.1.7 Subpáramo. Van der Hammen (2002)³¹ Rangel (2003)³². Mencionan que es una franja comprendida entre los 3200 a 3500 m (3600msnm) área de transición entre el páramo propiamente dicho y la selva alto-andina, sujeta a fuertes vientos, a una gran heterogeneidad de condiciones ambientales y fisiográficas, que generalmente son locales; se diferencian del bosque arbustivo por la presencia de una mayor humedad, de menor densidad y con promedios anuales de temperatura entre 6 y 12 °C.³³ Se halla caracterizado por bosque alto-andino bajo hasta arbustivo, con enclaves algo más abiertos y abundantes frailejones. Rangel (2002)³⁴, menciona que está dominado el subparamo por especies de las siguientes familias, *Diplostephium*, *Montacalia*, *Pentacalia* y *Gynoxis* (Asteraceae), *Hypericum* laricifolium, *H. ruscoides*, *H. juniperinum* (Hypericaceae), de *Pertenetia*, *Vaccinium*, *Bejaria* y *Gaultheria* (Ericaceae), *Weinmannia* (Cunoniaceae) y *Clusia* (Clusiaceae).

El subpáramo puede tener manchas de bosque alto-andino, la extensión de estas manchas hasta la cobertura completa puede depender de condiciones climáticas, exposición y de suelo local, pero además es evidente que la influencia humana

²⁸ CASTAÑO, Carlos. Colombia alto andina y la significancia ambiental del bioma páramo en el contexto de los andes tropicales: una aproximación a los efectos futuros por el cambio climático global (global climatic tensor). MMA. IDEAM. PNUD. 2002. Pág. 30-31.

²⁹ VÉLEZ, Hidelbrando. los páramos y la apropiación humana de la producción primaria neta. 2004. V Conferencia Nacional de Páramos en Colombia. <http://www.censat.org/component/attachments/download/438>.

³⁰ YANEZ, Patricio. Caracterización florística en un sector de cambio paramo – selva nublada en el parque nacional sierra nevada, Venezuela. Revista forestal 42(1) 1998, 51-62.

³¹ VAN DER HAMMEN. Thomas. Diagnóstico, cambio global y conservación. Congreso Mundial de paramos Tomo I, Paipa, Colombia. pág. 60 -71.

³² RANGEL, Orlando. biodiversidad en la región del paramo: con especial referencia a Colombia. Congreso mundial de paramos.2003.Pag173. Banrepultural.org/blaavirtual/geografía/congresoparamo/biodiversidad-en-la-region.pdf

³³ GUTIERREZ, Hilda. Modelo para evaluar la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando SIG con énfasis en las coberturas nival y de paramo. Cita la clasificación de Cuatrecasas 1958. UNAL 2001. Pág.125.

³⁴ RANGEL, Orlando. Biodiversidad en la región del paramo: con especial referencia a Colombia. Congreso mundial de paramos. Tomo I. Paipa, Colombia, 2002. Pág. 168-200.

(destrucción progresiva por tumba y quemadas), en otras áreas es difícil de diferenciar por que puede haber continuidad entre el bosque andino y altoandino hasta el páramo propiamente dicho. (Van der Hammen, 2002)³⁵.

2.1.1.8 Bosques Andinos y distribución en Colombia. Según la delimitación de subzonas de páramo de Rangel (2000)³⁶ la franja Altoandina-subpáramo o zona de ecotonía se encuentra entre 3.000 y 3.200 msnm. Leiva (2001)³⁷ ocupan un área de 9.108.474 Has en el país. La gran mayoría de estos bosques quedan como áreas relictuales localizadas principalmente en las cuencas del Sinú-Caribe, Caquetá, Meta, Patía, Catatumbo, alto y medio Magdalena, medio Cauca, Atrato y en la Sabana de Bogotá. Incluyen al bosque subandino de clima templado y se encuentran distribuidos a lo largo de las tres cordilleras, de la Sierra Nevada de Santa Marta, de la sierra de la Macarena y de la serranía del Darién. Los bosques andinos, se caracterizan por un estrato de árboles y arbustos entre 3 m y 8 m de alto, con predominio de compuestas. Representativos de estos bosques son los robledales y los bosques de niebla.

Entre la vegetación netamente altoandinoideas aparecen Mauria, Gaiadendron, Bucquetia y Chinchona. Entre los elementos Holárticos representados aparecen el Roble (Quercus), Laurel (Myrica), Nogal (Junglans), Aliso (Alnus) y Espino de Oro (Berberis). Finalmente, elementos de origen Australo Antárticos tales como los Encenillos (Weinmannia), el canelo (Deymis), Uvas de monte (Pernettya), el Chilco colorado (Escallonia), Romeros (Diplostephium), el Palo Colorado (Polilepis), carretillos (Calceolaria), el Espino. (Rangel, 2000)³⁸ (Castaño, 2002)³⁹.

2.1.1.9 Cuenca hidrográfica. El Ministerio de Agricultura de Colombia (1981)⁴⁰ define en el artículo 1 del decreto 2857 de 1981, lo que es una cuenca, mencionando que para los fines del artículo 312 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, se entiende por cuenca u hoya hidrográfica al área físico geográfica debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales, subterráneas y las que son producto de la precipitación se vierten a una red natural mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente que confluyen a su vez en un curso mayor que desemboca o puede

³⁵ VAN DER HAMMEN. Thomas. Diagnóstico, cambio global y conservación. Congreso Mundial de paramos. Tomo I. Paipa, Colombia, 2002. pág. 60 -71.

³⁶ RANGEL, Orlando. La región paramuna y franja aledaña en Colombia. Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna. Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencias Naturales, Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2002. 902 p.

³⁷ LEIVA, Pablo. El medio ambiente en Colombia. Ecosistemas. IDEAM. MMA. 2001. Pág. 278-346.

³⁸ RANGEL, O. Tipos de vegetación. Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna. 2000.

³⁹ CASTAÑO, C. Colombia alto andina y la significancia ambiental del bioma páramo en el contexto de los andes tropicales: una aproximación a los efectos futuros por el cambio climático global (global climatic tensor).MMA. IDEAM. PNUD. 2002. Pag. 30-31

⁴⁰ Decreto 2857 de 1981 MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA

desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. El artículo 2 determina que la cuenca hidrográfica se delimita por la línea de divorcio de las aguas. Entendiéndose por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas. Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea superficial de divorcio, sus límites se extenderán subterráneamente hasta incluir la de los acuíferos que confluyan hacia la cuenca deslindada por las aguas superficiales. Montoya y Montoya (2009)⁴¹. Los límites de la cuenca o divisorias de agua se definen naturalmente y corresponde a las partes más altas del área que encierra un río. (Rodríguez, 2006)⁴²

Medina (2008)⁴³, Menciona que las cuencas hidrográficas adquieren una mayor relevancia como tema ambiental internacional por las implicaciones geoestratégicas que de su manejo deriva y por la problemática global que representa la disponibilidad y calidad del agua para consumo humano. Es el caso de Venezuela “país de aguas abajo” o ribereño inferior, el 60% de las aguas del Orinoco venezolano provienen de Colombia, Medina, (1994). Por tal motivo desde hace varios años Venezuela ha firmado con Colombia acuerdos y declaraciones (D. de Sochagonta, 1969, declaratorias presidenciales en los años 1976, 1985, 2002, 2004; ministerios técnicos, 1980, 1981, 1982), para regular los posibles conflictos y las situaciones de cooperación que benefician a las comunidades y la sostenibilidad de los recursos. Lo anterior sin ningún efecto entre la población implicada por falta de conocimientos e interés de los gobiernos. Pese a las problemáticas de atentados guerrilleros al oleoducto, la deforestación, contaminación con residuos domésticos y el tráfico ilegal de madera, a nivel internacional se vienen estableciendo ejemplos de cooperación transfronteriza como es el caso del plan de ordenamiento y manejo de las cuencas de los ríos San Miguel y Putumayo (Ecuador y Colombia), la cuenca de la Plata (Argentina, Brasil, Bolivia, Paraguay y Uruguay), Cuenca del río Titicaca (Perú y Bolivia), Madre de Dios (Brasil y Perú) entre otras

Sales (2002),⁴⁴ La importancia de la microcuenca radica en lo que representa: producción de oxígeno y captación de bióxido de carbono mediante la cobertura arbórea y arbustiva; regulación del clima local, captación y filtración de agua

⁴¹ MONTOYA Yimmy y MONTOYA, Boris. caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia. En: revista de ingeniería universidad de Medellín Vol. 8 No. 15 julio diciembre de 2009. Pág. 2.

⁴² RODRIGUEZ, Francisco. Cuencas hidrográficas, descentralización y desarrollo regional participativo. Redylac. Sistema de información científica. Inter sedes. Vol.VII (12:2006) 113-125. ISSN. 1409-4746. PAG. 115.

⁴³ MEDINA, Mayra. Las cuencas hidrográficas internacionales: sistemas reservorio de agua dulce para la cooperación o el conflicto. Sapiens. Revista universitaria de investigación. Año 9 No. 2 diciembre 2008. Pag 153-165.

⁴⁴ SALES, Jesús, et al. Importancia de rescatar, mantener y cuidar la microcuenca la magdalena, distrito federal. Revista del centro de investigación, Universidad de la Salle. Julio diciembre año /vol.5 No. 19. 2002. Pág. 5-11.

pluvial (coeficientes de escurrimiento); protección y mejora del suelo; proporciona refugio y alimento a la fauna silvestre; embellecimiento del paisaje con elevaciones topográficas como la sierra volcánica de laderas escarpadas y la cubierta forestal; fuente de recursos no maderables (resinas, hongos, semillas etc.); provee áreas de esparcimiento y recreación; fuente de abastecimiento de agua potable y genera formas de subsistencia a la comunidad.

2.1.1.9.1 Funcionamiento de una Cuenca. El funcionamiento de una cuenca se basa en los principios del ciclo del agua y sus relaciones con suelos y aguas. Por eso, hablar de cuenca hidrográfica es hablar del comportamiento del agua. En la naturaleza existen dos fuentes de agua hacia la atmósfera: la evaporación de superficies de agua, como son los mares, ríos y lagos y la evaporación de suelos cubiertos con vegetación. En este último caso, la evaporación de agua del suelo y la transpiración de las plantas envían simultáneamente el vapor de agua hacia la atmósfera. Una vez en la atmósfera, el vapor regresa a la tierra en forma de lluvias. Las lluvias, que varían en intensidad de acuerdo al lugar y época del año, alimentan la red de drenajes de la cuenca. Aún cuando no siempre llueve por igual sobre toda la extensión de la cuenca, observamos que el cauce principal presenta variaciones que son el reflejo de las lluvias ocurridas en las subcuencas.⁴⁵

En las zonas lluviosas, el bosque es la formación vegetal que ofrece mejor defensa del suelo contra la erosión, ya que las hojas de los árboles detienen el impacto de las gotas de lluvia y ayudan a almacenar temporalmente el agua, regulando los caudales de los ríos. A esta intercepción de la lluvia por la capa vegetal, le sigue un proceso de infiltración del agua hacia dentro del suelo. Este proceso de infiltración forma las corrientes o ríos subterráneos, que ayudan a mantener la humedad del suelo y proveen de agua a los ríos superficiales durante el verano. Sin embargo, no toda el agua de lluvia se filtra hacia el subsuelo, pues llegado cierto momento la tierra se satura de agua, dando paso a la escorrentía, el agua fluye por la superficie de la tierra hacia los cauces de los ríos, aumentando su volumen a medida que llega el agua de las partes más lejanas. Si en la cuenca no existe vegetación suficiente para frenar la velocidad de las aguas de escorrentía, la fuerza de esta agua tiende a provocar desbordamientos e inundaciones en los ríos y procesos de erosión que destruyen los suelos agrícolas de la zona. El ciclo del agua termina donde empezó, es decir, con la transpiración de agua por las plantas que habitan los bosques y la evaporación del agua del suelo y de los ríos que forman la cuenca hidrográfica⁴⁶.

2.1.1.10 Microcuenca. Es toda área, en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; la subcuenca está dividida en varias microcuencas, estas a su vez se constituyen en unidades pequeñas, áreas donde se originan

⁴⁵ ERA ECOLOGICA. Disponible en: www.eraecologica.org/revista_16/era_agricola_16.htm?cuencahidrografica.htm-frm. 5 febrero 2007.

⁴⁶ Ibid. Pág. 1

quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas y se constituyen en unidades adecuadas para la planificación de acciones para su manejo Umaña (2002)⁴⁷. Desde el punto de vista de un análisis hidrológico se considera a una microcuenca como una pequeña cuenca hidrográfica que presentan una red de drenaje de primero o segundo orden, con un área drenada de 1 a 100 Has.

La microcuenca es donde ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (bienes y servicios producidos en su área), sociales (patrones de comportamiento de los usuarios directos e indirectos de los recursos de la cuenca) y ambientales. La microcuenca es el espacio donde ocurren las interacciones más fuertes entre el uso y manejo de los recursos naturales (acción antropica) y el comportamiento de estos mismos recursos (acción del ambiente).⁴⁸

2.1.1.11 Concepto de zonas de recuperación, conservación y deterioro en las coberturas vegetales. Teniendo en cuenta la metodología propuesta por Chuvieco (1990)⁴⁹; el análisis multitemporal permite establecer el estado actual en la cobertura vegetal de acuerdo a la recuperación, conservación y deterioro; la recuperación, refiriéndose a aquellas zonas intervenidas en la cual la vegetación típica de aquellos lugares volvió a establecerse; conservación, como aquellas áreas detectadas que no sufrieron cambios en su cobertura vegetal y el deterioro, refiere a las zonas intervenidas antrópicamente que perdieron su cobertura natural o típica.

2.1.1.12 Zonificación Ecológica. Por zonificación, en un sentido amplio, indica la subdivisión de un área geográfica, país, región en sectores, de acuerdo a ciertos criterios como son: la intensidad de la amenaza, el grado de riesgo, capacidad productiva, tipo de construcciones permitidas, etc.⁵⁰

En lo referente a recursos naturales renovables la zonificación, es la clasificación de usos que se realiza dentro de las unidades territoriales en un área de manejo integrado de los mismos, conforme a un análisis previo de sus aptitudes, características y cualidades abióticas, bióticas y antropicas.⁵¹

⁴⁷ UMAÑA, Edmundo. Manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. Universidad nacional agraria. Facultad de recursos naturales y del ambiente. Departamento de manejo cuencas y gestión ambiental. Nicaragua. 2002. Pág. 26.

⁴⁸ ALATORRE N. La microcuenca como elemento de estudio de la vulnerabilidad ambiental. Centro de Estudios en Geografía Humana El Colegio de Michoacán, A.C Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_03/25_norberto_alatorre.pdf. (Consultado el 15 de junio de 2011.)

⁴⁹ CHUVIECO Emilio. Fundamentos de la Teledetección Espacial. Ediciones RIALP S.A. Madrid 1990. Pág. 98.

⁵⁰ FAO. Zonificación Agroecológica, Guía General. Roma 1997. en: www.fao.org/docrep/w2962s/w2962s00. (Consultado el 15 de junio de 2011.)

⁵¹ Ibid.

2.1.1.12 .1 Zonificación ecológica económica. Puede definirse como un proceso de sectorización que permite dividir un área compleja, en subáreas, caracterizadas de acuerdo a factores físicos, biológicos, socioeconómicos y legales, los cuales son evaluados en cuanto a su potencial de uso sostenible y restricciones ambientales. Se constituye en un instrumento para plantear la ocupación racional de los espacios, redireccionando las actividades humanas no compatibles con la oferta ambiental del ámbito en cuestión. Sus resultados pueden utilizarse para diversos fines, como: la planificación de áreas naturales protegidas, desarrollo de una agricultura sostenible, determinación de la aptitud de las tierras para determinados usos y para el desarrollo de planes de ordenamiento territorial.^{52 53}

Velásquez (2004)⁵⁴. La propuesta de realizar una zonificación ecológica económica conlleva al análisis de la vocación y las condiciones ecológicas que tiene una localidad, con la finalidad de recuperar los ambientes afectados y desarrollar actividades antropicas sostenibles. La solución adecuada para el desarrollo sostenible de las comunidades es una ordenación territorial, asignando a cada territorio una actividad acorde a su vocación, lo cual lo proporciona la zonificación ecológica económica que se plantea a continuación:

Unidad bioecológica
Refugio de fauna silvestre
Refugio de especies hidrobiológicas.
Unidades productivas
Actividad agrícola
Actividad ganadera
Actividad forestal
Actividad pesquera
Actividad turística
Actividad minera
Unidades vulnerables
Vertientes agrestes de montaña
Vertiente agricultura en pendientes.

⁵² FAO. Zonificación Agroecológica, Guía General. Roma 1997. en: www.fao.org/docrep/w2962s/w2962s00

⁵³ MURCIA, Uriel Gonzalol. Zonificación ambiental (ecológica y económica) en la amazonia colombiana. Tratado de Cooperación Amazónica. Propuesta metodológica para la zonificación ecológica-económica para la Amazonia, memorias del seminario-taller, Santa Fe de Bogotá, 1996. 366.

⁵⁴ VELASQUEZ, Rincón Pascual. propuesta de zonificación ecológica y económica de la microcuenca del rio Pochccomayu y parte baja de la microcuenca del rio Antomayu. SISBIB, Sistema de bibliotecas. Perú. capítulo V y VII. 2004. Pag.150

2.1.2 Teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). La teledetección es una técnica aplicada, en el tiempo y espacio, permite obtener información sobre los objetos que se hallan en la superficie terrestre.⁵⁵

El SIG permite el análisis espacial de criterios biológicos y socioeconómicos, dirigidos a identificar áreas de acción para la conservación y el desarrollo sostenible. Como sistema integrador, el SIG trabaja con datos geográficos (geodatos) y datos alfanuméricos (no geográficos); los primeros con una representación típica gráfica (puntos, líneas, polígonos, o áreas) y los segundos como cuadros, (hojas de cálculo)⁵⁶.

Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1995)⁵⁷, los sistemas de información geográfica (SIG) son el conjunto de métodos, herramientas, y actividades que actúan coordinada y sistemáticamente para recolectar, almacenar, validar, actualizar, manipular, integrar, extraer y desplegar información, tanto gráfica como descriptiva de los elementos considerados, con el fin de alcanzar múltiples propósitos.

IGAC (1995)⁵⁸, menciona que un SIG genera mapas con variada información y visualiza patrones, relaciones y tendencias que no se pueden ver en una base de datos o en un listado. Representa una perspectiva dinámica para el manejo de la información con el fin de ayudar a tomar mejores decisiones.

Un sistema de información geográfica, es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada. El análisis espacial, es el procesamiento de datos espaciales generando nueva información acerca del mundo y que sirve para el apoyo a la toma de decisiones. Las decisiones finales suelen tratar de mejorar la calidad de vida del ser humano por ejemplo, a través de una gestión ambiental, dicha calidad en las decisiones tomadas, depende de la calidad de los datos ingresados y el modelo del espacio usado en el análisis. La implementación de los sistemas de información geográfica en las investigaciones constituye una herramienta fundamental con la cual se puede identificar las áreas estratégicas para formular y planificar actividades tendientes a la preservación y conservación de los recursos naturales.⁵⁹

⁵⁵ CHUVIECO, Emilio. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ed. Ariel Ciencia. Madrid – España. 2002. Pág. 28.

⁵⁶ Ibid.

⁵⁷ IGAC. Conceptos básicos sobre sistemas de información geográfica y aplicaciones en América latina. 1995. Pág. 11.

⁵⁸ Ibid. Pág. 11

⁵⁹ ESRI. Manual de ArcGis módulo spatial analyst. 2005. Pág. 4, 5.

2.1.2.1 Modelo de datos. Corresponde a la representación de la organización lógica en una base de datos y la relación entre ellos. El cómo se almacena y relacionan los datos espaciales; permite combinar las propiedades de los objetos con su "comportamiento". Ejemplos: Raster y Vector (Anexo 3).⁶⁰

2.1.2.2 Abstracción del mundo real. Un modelo de datos geográfico es una abstracción del mundo real que emplea un conjunto de objetos - datos, para soportar el despliegue de mapas, consultas, edición y análisis, presentan la información en representaciones subjetivas por medio de mapas y símbolos, que representan la geografía como formas geométricas, redes de triángulos (TIN), superficies, ubicaciones e imágenes, a los cuales se les asignan sus respectivos atributos que los definen y describen.⁶¹

2.1.2.3 Modelo de datos Vector y Raster. Incorporación y almacenamiento de datos: No existe una manera única de incorporación y almacenamiento de datos. Las formas variarán según el tipo de datos, los resultados deseados y el software disponible. Básicamente se emplean dos modos de representación de datos espaciales: Vector y Raster.⁶²

Los sistemas vectoriales son modelos en donde los objetos espaciales se representan de tal manera, que pueda definirse sus fronteras, dichas fronteras definen el límite entre el entorno y el objeto en cuestión. Las líneas fronteras son representadas mediante las coordenadas cartesianas de los elementos como puntos vértices que delimitan los segmentos rectos que la forman, además la estructura vectorial permite la generación de las relaciones topológicas del entorno.⁶³

El formato vectorial con este tipo de organización, genera una gran cantidad de archivos que relacionan las coordenadas con los distintos elementos además de sus relaciones topológicas, dependiendo del tipo de elemento generado como son:⁶⁴

Puntos: localización (X,Y), sin dimensiones. Ejemplo localización de una central de operaciones, un poste, un árbol, etc.

Líneas: construido por lo menos por dos puntos en los extremos de la línea (nodos), poseen longitud. Ejemplo camino, cerco, etc.

⁶⁰ Ibid. Pág. 8.

⁶¹ Ibid. Pag. 9.

⁶² Ibid. Pag. 9.

⁶³ Ibid. Pag. 10.

⁶⁴ Ibid. Pag. 11.

Áreas o polígonos: conjunto de puntos, donde el inicio es igual al de término, formando así un objeto cerrado con un interior y un exterior, poseen perímetro y área. Ejemplo área urbana, un lago.

Al emplear el modo vector cada característica geográfica se representa por medio de puntos, líneas y polígonos (Ver Anexo 3). Los mismos están definidos por un par de coordenadas X y Y referenciadas en un sistema cartográfico determinado (por ejemplo latitud – longitud) y los atributos de tales características geográficas están almacenados en una base de datos independiente.⁶⁵

La estructura raster consiste en la representación de nuestro mundo real o la representación de éste en una grilla compuesta de celdas (píxeles). Esta serie de datos raster, basado en celdas, está orientado para representar fenómenos tradicionalmente geográficos que varían continuamente en el espacio, como la elevación, inclinación o precipitación. Pueden ser utilizadas para representar tipos de información menos tradicionales, tales como densidad de población, comportamiento del consumidor y otras características demográficas.⁶⁶

Las celdas también son datos ideales de representación para el modelo espacial, el análisis de flujos y tendencias sobre los datos representados como superficies continuas, el modelado de vertientes o los cambios dinámicos de población sobre el tiempo.⁶⁷

La estructura es simple y fácil de manejar, tiene gran capacidad de sobreposición (overlay); esta representación raster se denomina imagen, generando un archivo que contiene las coordenadas en fila, columna y el atributo del píxel. (Ver Anexo 3).⁶⁸

2.1.2.4 El Análisis multitemporal. Permite el estudio de cambios en un área determinada utilizando imágenes de satélite tomadas en distintas fechas. Para los estudios multitemporales es necesario contar con información (imágenes) de distintas fechas y tener como patrón de comparación el análisis que se haya hecho a una de ellas, la mayoría de las veces es la fecha más vieja. Es aconsejable tomar un periodo de tiempo suficiente para registrar las causas del cambio.⁶⁹

El análisis multitemporal permite por medio de la comparación de información cartográfica y de sensores remotos, analizar la tendencia de usos del suelo o de transformación del paisaje a través del tiempo; permitiendo obtener como uno de

⁶⁵ Ibid. Pág. 12.

⁶⁶ Ibid. Pág. 13.

⁶⁷ Ibid. Pág. 13.

⁶⁸ Ibid. Pág. 13.

⁶⁹ WWF. Colombia, Estudio en el territorio Awa. 2002 en http://www.wwf.org.co/colombia/boletin_detalle.php?lang=es&ir

los resultados, el mapa de cobertura y uso actual del suelo, y así tener una visión inmediata del estado de los recursos de la superficie. Por medio de este se puede observar el porcentaje de áreas agrícolas, superficies de agua, pastizales, superficies artificiales, zona boscosa y la zona de páramo.

2.1.2.5 Programa espacial Landsat. Este programa fue desarrollado específicamente para los estudios de los recursos naturales de la Tierra y se inicio en julio de 1972. El programa opera con sensores pasivos (el sol es la fuente básica de energía), es decir que sus detectores captan la energía reflejada por las diferentes superficies terrestres, la registran en forma digital como niveles de gris, de 0 a 256 y envían estos datos a la Tierra⁷⁰.

Este satélite, está dotado de sensores empleados en teledetección (ETM+ y TM), diseñados para obtener datos terrestres; por tal razón se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin. El sensor ETM+ es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestales, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización medio ambiental; sobre todo, ligado a estudios territoriales en los que el parámetro fundamental es el medio ambiente. El sensor ETM+ dispone de lectura en ocho canales o bandas situadas en distintas zonas del espectro electromagnético (Anexo 1).⁷¹

2.1.2.6 Imágenes satelitales. Las imágenes satelitales son imágenes digitales obtenidas a partir de la captación de energía reflejada o emitida por los objetos localizados sobre la superficie terrestre. Están compuestas por un conjunto de píxeles (unidad mínima de identificación digital). Cada uno de estos píxeles está identificado por un valor que expresa la respuesta de los objetos situados en la superficie terrestre ante una fuente de energía. Esta respuesta varía de acuerdo a las características bio-físico-químicas de los objetos y es lo que permite diferenciarlos en una imagen.

2.1.2.7 Imágenes Landsat ETM+. Cada imagen de satélite Landsat TM (thematic mapper – mapeador temático) consta de ocho bandas o canales espectrales. Cada banda es una matriz (enrejado) de varios millones de valores radiométricos o píxeles (entre 7 y 15 millones), distribuidos en filas y columnas. La banda 1 corresponde al visible azul, la Banda 2 al visible verde, la banda 3 al visible rojo, banda 4 al infrarrojo próximo, la banda 5 al infrarrojo lejano, la banda 6 al térmico lejano, la banda 7 al térmico próximo y la banda 8 al visible (Anexo 2)⁷².

Los sensores que se encuentran en los satélites son los encargados de captar la energía reflejada o emitida por los objetos. Las imágenes generadas por los

⁷⁰ CHUVIECO, Emilio. Op. cit. Pág. 33.

⁷¹ FERNÁNDEZ Ignacio. y HERRERO Eliecer. El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del Sensor ETM+. Universidad de Valladolid. Valladolid 2001. Pág. 4.

⁷² Ibid pág. 4

sensores remotos pueden ser caracterizadas a partir de tres parámetros: resolución espacial, espectral y radiométrica⁷³.

Resolución espectral: Es la capacidad de un sensor remoto para registrar cierto número de bandas del espectro electromagnético y su rango de valor en el mismo. La importancia de la resolución espectral radica en la definición de una o varias coberturas como son: suelo, rocas, vegetación, agua, terreno húmedo, hielo y nieve en función de su respuesta espectral debido a su capacidad de reflexión de energía incidente menos los valores de energía absorbida y transmitida.

La energía que reflejan las diferentes coberturas y que son registradas por su sensor espectral puede ser definida en un rango de radiación como su “firma espectral”.

Resolución radiométrica: está definida en términos de sensibilidad de los fotodetectores y del sistema óptico de los sensores para registrar la energía electromagnética que proviene de la escena con sus variaciones en el espectro. Las variaciones de 256 códigos pueden observarse en un despliegue en pantalla y están agrupados en 8 bits y va del nivel (0) hasta (255); el cero equivale al color negro y el 255 al color blanco, existiendo una gama de grises en el rango indicado. Al conjunto de la resolución espectral y espacial se le conoce como resolución radiométrica.

Resolución espacial: este concepto designa al objeto más pequeño, el píxel, que puede ser identificado en una imagen. El píxel es la medida más generalizada de resolución espacial. Es la identificación de los objetos sobre la superficie tierra y la discriminación de los mismos.

2.1.2.8 Reflectancia de las superficies. Caracteriza el estado de las superficies naturales y ha sido medido en toda la gama del espectro solar, tanto en el laboratorio como en el terreno, para la mayoría de los objetos. Con estos valores de reflectancia se obtiene la firma espectral de cada una de las superficies (bosque, páramo, suelo desnudo, agua, etc.). Al diferenciar suelos desnudos de las superficies cubiertas por vegetación, hay que tener en cuenta que aunque la forma de la firma espectral es semejante, los niveles de reflectancia pueden variar en proporciones bastantes amplias.⁷⁴

2.1.2.9 Criterios visuales para la interpretación de imágenes. Entre las pautas visuales manejadas en teledetección espacial⁷⁵, los criterios más utilizables son: *Brillo:* hace referencia a la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro. En otras palabras, el brillo se relaciona con el

⁷³ Ibid pág. 5

⁷⁴ CHUVIECO, Emilio., Op. cit. Pág 56

⁷⁵.Ibid. pag. 56

comportamiento espectral de las distintas cubiertas, para la banda particular del espectro sobre cual se trabaje.

Tono: hace referencia a la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro. Los tonos oscuros indican aquellas áreas sobre las que el sensor detecto una señal baja, mientras las zonas claras son testigo de altos valores de radiancia.

Color: aquéllas superficies con alta reflectividad en longitudes de onda cortas, y baja en el resto, aparecen en color azul, mientras ofrecen un tinte rojo, si absorben las longitudes cortas y reflejan las largas.

Textura: esta cualidad se refiere a la aparente rugosidad o suavidad de una región de la imagen, en definitiva al contraste espacial entre los elementos que la componen. La textura de la imagen procede de la relación entre el tamaño de los objetos y la resolución del sensor.

2.1.2.10 Métodos de clasificación digital. La clasificación supone la fase culminante del tratamiento digital de imágenes. Como fruto de la clasificación digital se obtiene una cartografía e inventario de las categorías objeto de estudio. La información multi – espectral se condensa, en definitiva, en un documento cartográfico y en unas tablas estadísticas, que definen la localización y ofrecen el inventario superficial de las categorías de interés.⁷⁶

Tradicionalmente se dividen los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento.⁷⁷

2.1.2.11 Clasificación supervisada. Para realizar la clasificación supervisada, se sugiere tener un conocimiento somero de la cobertura y de los elementos circundantes de la zona o área donde se desarrollará el estudio. Son muy útiles las experiencias de campo que conlleven a levantamientos florísticos, edáficos y geológicos etc. Se delimitan áreas de entrenamiento, a partir de las cuales se caracterizan cada una de las clases, para asignar más tarde el resto de los píxeles de una imagen a una de esas categorías siendo esto una manera más puntual para realizar el análisis.⁷⁸

2.1.2.12 Clasificación no supervisada. En este caso mediante un Software se identifican patrones estadísticos en los datos, sin utilizar ningún dato introducido por el usuario. Se usa el algoritmo que utiliza la misma distancia espectral para formar grupos ó “clusters” de píxeles con similares características.

⁷⁶ CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de la teledetección espacial. Ediciones RIALP S.A.. Madrid 1990. Pág. 76.

⁷⁷ CHUVIECO, Emilio. Op. cit. Pág. 63.

⁷⁸ Ibid. Pág. 63.

En general se usa este método cuando se conoce poco sobre los datos antes del proceso de clasificación y se tiende a obtener el número de clases posibles, que luego pueden ser analizadas y reagrupadas para reducir el número final de clases. La clasificación no supervisada está en condición de ofrecer una información subjetiva, basándose en la realidad del área de estudio.⁷⁹

2.1.3 Antecedentes de cambios de cobertura en cuencas hidrográficas.

2.1.3.1 A nivel internacional. El análisis del cambio en la cobertura es uno de los indicadores más importantes, a nivel mundial y para nuestro medio, consiste en la cuantificación del cambio en la cobertura y uso del suelo, que resulta de la diferencia, mediante sobreposición cartográfica, entre los mapas de cobertura de una fecha base y de una fecha a comparar. Así se obtiene una matriz, con un valor de cada clase que ha cambiado, una indicación de aquellas clases que no han cambiado y otras que ceden territorio. Los datos obtenidos se relacionan con otros datos ambientales (relieve, suelos, etc.), o bien con estadísticas sociales y económicas, que ayudan a entender la causalidad de los procesos de cambio. Un resultado clave es la evaluación de la implementación de políticas ambientales, ya que los datos de cambio de cobertura y uso son independientes de los observadores. La naturaleza dinámica de patrones de cobertura vegetal/uso suelo y sus cambios es un fenómeno multiescala que afecta muchos procesos ecológicos y biofísicos, tales como la estructura trófica, la composición de las especies y su dispersión, el secuestro de carbono, los patrones climáticos y el balance de agua⁸⁰. En regiones tropicales, los cambios de cobertura vegetal a causa específicamente de la deforestación es una de las amenazas más graves a la biodiversidad⁸¹.

La cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, el segundo lago más grande de México, se localiza en el sistema volcánico transversal, en los estados de Michoacán y Guanajuato, y ocupa una superficie de aproximadamente 4,000 km². La interpretación de las fotografías aéreas se llevó a cabo a la misma escala que el mapa base (1:50,000). El 60% de la superficie total de la cuenca presentó en el año 2000 las mismas coberturas y usos que existían en 1975, el 40% restante sufrió cuatro principales transformaciones: la matorralización (11%), la reforestación (8%), la deforestación (7%) y la urbanización (3%). Los resultados

⁷⁹ Ibid. Pág. 64.

⁸⁰ KEPNER 2000 en DANIELS Amy E. Manejo del área protegida en el contexto de la cuenca hidrológica: un estudio de caso de Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. Universidad de Florida 2004. pág. 34.

⁸¹ VITOSUEK 1992 en DANIELS Amy E. Manejo del área protegida en el contexto de la cuenca hidrológica: un estudio de caso de Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. Universidad de Florida 2004. pág. 34.

indican que los procesos de reforestación y matorralización superan al proceso de deforestación de la cuenca. (López, Mendoza y Acosta, 2002)⁸²

Rodríguez (2004)⁸³. La zona de estudio está ubicada en la provincia Ayopaya, municipio de Independencia, Bolivia, se realizó un análisis multitemporal de las composiciones a color RGB-543 de las imágenes Landsat de los años 1995 y 1999 y se cruzó mapas generándose el mapa que ilustra las características de cambio de cobertura. Presenta una fuerte fragmentación en aproximadamente 36.9 Ha. 73.57% del área. La mayor pérdida de cobertura encontrada fue en bosques arbóreo de 35.6% a 27.5%, la mayor ganancia en cobertura fue la asociación de vegetación arbustiva y herbácea de 2.3% a 8.2%. Mediante observaciones realizadas en campo se pudo determinar que la causa más importante de la fragmentación del hábitat es la expansión de la agricultura.

Pinto (2005)⁸⁴ Menciona que en doce años la reserva forestal el Choré, departamento de Santa Cruz, Provincia Ichilo, Bolivia, ha perdido unas 105.418,45 hectáreas de bosque, transformadas principalmente de bosque a cultivos o áreas antropicas. Se utilizaron para este estudio imágenes Landsat TM y ETM las cuales se clasificaron para identificar la deforestación y el cambio ocurrido entre los años 1992 y 2004. La metodología empleada para la clasificación fue la no supervisada para identificar los cambios ocurridos en el paisaje, además se utilizó el programa Erdas Imagine versión 8.7 mapa de deforestación que permitió observar un aumento de la deforestación en un 13.62%.

Se analizó la deforestación y fragmentación del Parque Nacional Podocarpus (PNP) y su zona de amortiguamiento en el período 1976-2003, ubicado en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador, mediante el análisis de las coberturas de bosque obtenidas a través del análisis de 60 fotografías aéreas, a escala 1:60000, se realizó una fotointerpretación y la reclasificación. El PNP posee un rango altitudinal que va desde los 900 hasta los 3.600, msnm, y abarca una superficie total de 269.921 hectáreas, para el año 1976 contaba con un área de bosque de 144.527 hectáreas, área que para el año 2003 se redujo a 139.294

⁸² LÓPEZ. Ema, MENDOZA, Manuel y ACOSTA Alejandra. Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. el caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán Instituto Nacional de Ecología Distrito Federal, México pp. 19-34. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Universidad Autónoma. 2002. En: Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología. ISSN (Versión impresa): 1405-2849. Gaceta Ecológica, julio-septiembre, número 064.

⁸³ RODRÍGUEZ, Omar. Análisis del cambio de cobertura y fragmentación del hábitat en el municipio de Independencia - Una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Departamento de Geografía e Informática, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 2004. En: *Kempffiana* ISSN: 1991-4652. 11 (1):21-58.

⁸⁴ PINTO Jesús. Evolución del paisaje y estado de conservación de la reserva forestal el choré. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Departamento de Geografía e Informática, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia *Kempffiana* 2006 2(1):45-56. ISSN: 1991-4652. Pág.45-56.

hectáreas, deforestándose el 4 % de la totalidad del parque. Este porcentaje representa una pérdida de 5.233 hectáreas de bosque, a una tasa anual de deforestación de 0.15% equivalente a una pérdida de 196 hectáreas de bosque por año. Para la zona de amortiguamiento la tasa anual de deforestación fue de 0.76 %, provocando una reducción del área de bosque de 98.720 hectáreas a 80.272 hectáreas con una pérdida de 683 hectáreas anuales, es decir durante este período se perdió 20.5% (18.448 hectáreas) de la totalidad de la zona de influencia. (Guerrero, 2009)⁸⁵

La alianza JATUN SACHA / CDC-Ecuador(2002), realizó en la cuenca del río Cosanga que hace parte de la Reserva Ecológica Antisana (REA), un estudio de análisis multitemporal, mediante el cual se estableció que dentro de la vegetación natural, la formación vegetal que presentó mayor cambio o pérdida de superficie desde 1997 al 2001 fue el bosque de neblina montano con 4.118,65 Ha. La formación menos afectada fue el bosque siempre verde montano bajo con 1,03 Ha. En las áreas intervenidas, la zona agropecuaria se ha incrementado en el año 2001 en 153,09 Ha, mientras que en los frentes de expansión agropecuaria, el área de mayor incremento son los bosques naturales con pastizales en 3.511,38 Ha., fue importante conocer los cambios en el uso del suelo, principalmente, en los sectores más sensibles y causados fundamentalmente por la presión del hombre, dinámica que se presenta en las estribaciones exteriores de la cordillera oriental de los andes ecuatorianos, estos cambios se dieron principalmente por una mayor demanda de madera para la construcción del oleoducto de crudos pesados (OCP), que facilitó el ingreso de nuevos colonos y el aumento de la actividad agrícola y ganadera de la zona.⁸⁶

2.1.3.2 A nivel nacional. Castro (1991)⁸⁷, ejecutó un proyecto en Pácora, Caldas y Río Negro, Antioquia; en el cual hace énfasis al diagnóstico general del uso de la tierra, y sus aspectos socioeconómicos de acuerdo a las prácticas de planificación del uso y manejo del suelo en la microcuenca El Vergel; además, un diagnóstico biofísico, sanitario, económico y de mercado para mejorar el agua que abastece el acueducto del municipio de Pácora y realizar una reforestación adecuada de la microcuenca. Los principales tipos de cobertura encontrados fueron: vegetación arbustiva medianamente densa (27.5%), abierta (26.8%), tierras agropecuarias con énfasis pecuario (19.8%), cuerpos de agua (13.3%) y humedal reciente

⁸⁵GUERRERO, Galo. Análisis multitemporal de deforestación y fragmentación del Parque Nacional Podocarpus y su zona de amortiguamiento y las implicaciones para la conservación La Universidad Católica de Loja. Escuela de ciencias biológicas y ambientales. Carrera de ingeniería en gestión ambiental. Loja, Ecuador. 2009. pág. 1-53

⁸⁶ PEÑAFIEL, Marcía y TOASA, Germán. ALIANZA JATUN SACHA/ CDC-ECUADOR. Estudio multitemporal de la cobertura vegetal de la cuenca del río Cosanga (1997-2000). U.S. Geological Survey. 2002. Pág. 5.

⁸⁷ CASTRO, Ana. Prácticas sobre planificación del uso y manejo de los suelos en la microcuenca El Vergel. Río Negro, Colombia 1991. Pág.

(6.5%), que corresponden al 74.1% de la superficie total del área de estudio. otras coberturas que ocupan una menor proporción fueron: vegetación herbácea, vegetación de humedal antiguo y bosque natural. Esto sugiere que la expansión agrícola que conlleva a la deforestación en la zona de estudio está influenciada por el proceso de colonización humana y probablemente por un incremento en la comercialización de los rubros agrícolas en la zona.

El ministerio del medio ambiente de Colombia en 1994 realizó el estudio de una cuenca en relación al abastecimiento de agua potable, denominado: manejo de cobertura vegetal en base a un análisis multitemporal; cuyo objetivo principal fue el de asegurar la disponibilidad en cantidad y calidad de agua para el abastecimiento de acueductos veredales y/o municipales, además de controlar la problemática ambiental en áreas críticas generadas por la presión de la población sobre los recursos naturales. Su cobertura geográfica abarcó Tame, Arauquita y Saravena, Arauca; los principales tipos de cobertura encontrados fueron: cuerpos de agua (25.9%), praderas arbustivas (24.1%), tierras agropecuarias (15.3%), y arbustivo (14.1%); el análisis multitemporal de las imágenes permitió identificar dinámicas de intervención de la cobertura vegetal y patrones de expansión demográfica en la zona, en un lapso de 10 años. Los resultados más relevantes del estudio fueron: cambios en la cobertura vegetal, aparición de nuevas parcelaciones, aparición de nuevas vías y trochas, expansión urbana desordenada.⁸⁸

La fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta (2004), adelantó un proceso de clasificación de la cobertura vegetal de la ecorregión Sierra Nevada de Santa Marta, basado en el reconocimiento de firmas espectrales de imágenes de satélite LANDSAT 2001, 2002 y 2003. Como resultado se obtuvo una aproximación del estado de conservación de la ecorregión con el fin de identificar causas del deterioro y recuperación de la cobertura vegetal de la ecorregión.⁸⁹

Gómez (2002)⁹⁰. Se evaluaron el suelo del bioma para el páramo colombiano a partir de la información de los años 1970 y 1990. El área se determinó a partir de imágenes Landsat, interpretando las coberturas vegetales y por la información de áreas con categorías de Holdridge. Para los procesos de degradación de suelos se consideraron los obtenidos en el IDEAM, obteniéndose un escenario futuro con una reducción drástica del área en páramos; de 38.569 km² pasa a 18.861 km². Los suelos más afectados serán los de las vertientes húmedas. Los cultivos y los pastos se encuentran especialmente en suelos de vertientes secas, con 2.337 y 1.214 km² respectivamente.

⁸⁸ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Manejo de cobertura vegetal. Santa Fe de Bogotá. 1994. pág. 56.

⁸⁹ LOBATÓN, Gheyner. y POSADA, Virginia. Fundación Pro-Sierra Nevada. Clasificación de cobertura vegetal de la Sierra Nevada de Santa Marta, a partir de imágenes de satélite Landsat 2001, 2002, 2003. 2004. Pág. 4.

⁹⁰GÓMEZ, Carlos. Cambios y transformaciones en el suelo del bioma de páramo por el cambio climático. Congreso Mundial de Paramos. Tomo I. 2002. Pág. 72-78.

Franco (2005)⁹¹. En la región del Carare-Opón, Santander, Colombia, se realizó un estudio de análisis multitemporal de la cobertura forestal, mediante imágenes Landsat, obteniendo como resultados que se ha perdido entre 1991 y el 2002 unas 10 mil hectáreas que equivalen al 20,7% del bosque existente en 1991 (935 hectáreas perdidas al año) pero a su vez ha incrementado más de 20 mil hectáreas (unas 2 mil por año) en este mismo tiempo. En su mayoría estos nuevos bosques se originan sobre la sucesión de rastrojos. De los bosques existentes en 1991 permaneció estable un 79% hasta el 2002.

2.2 MARCO LEGAL

La legislación ambiental en Colombia, justifica jurídicamente la conservación del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales. El desarrollo de este aspecto se presenta según la jerarquización de la normatividad vigente en nuestro país.

Decreto Ley 2811 de diciembre 18 de 1974⁹², por el cual se dicta el código de los recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente. Decreto 1541 de 1978⁹³ por el cual se reglamenta la parte III del libro II del decreto-Ley 2811 de 1974: "de las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.

En su libro I, parte III, título IV artículos 20 a 24 consagra el sistema de información ambiental como uno de los medios de desarrollo de la política ambiental, al lado de los incentivos y estímulos económicos, las tasas retributivas, la zonificación Ambiental, las emergencias ambientales, entre otros instrumentos de intervención del Estado.⁹⁴

En este sentido, el artículo 70 del código ordenó organizar y mantener actualizado un sistema de información Ambiental con datos físicos, económicos, sociales, legales, y demás datos relacionados con el ambiente y los recursos naturales renovables, en el que se procese y analice por lo menos los siguientes tipos de información: cartográfica, hidrometeorológica, hidrológica, hidrogeológica, climática, edafológica y geológica, sobre usos no agrícolas de la tierra, inventario forestal, inventario faunístico, niveles de contaminación por regiones e inventario de fuentes de emisión y de contaminación.⁹⁵

⁹¹ FRANCO, Rodolfo. Análisis multitemporal de la cobertura forestal en la región del Carare-Opón, mediante imágenes Landsat de 1991 Y 2002. Bogotá 2005. Pág. 7.

⁹² Decreto Ley 2811 de 1974.

⁹³ Decreto 1541 de 1978

⁹⁴ Ibid

⁹⁵ Ibid.

Decreto 2857 de 1981⁹⁶ que trata sobre el manejo de cuencas hidrográficas: establece en el capítulo I, artículo 3 que por medio de un plan de manejo aprobado por las corporaciones regionales, en las cuencas solo se podrán ejecutar actividades agropecuarias, forestales o de infraestructura física; en todo caso utilizando técnicas y procedimientos que aseguren la conservación de los suelos, la cobertura vegetal y los recursos hídricos de la zona.

Constitución Política de Colombia (1991)⁹⁷. La carta fundamental establece aspectos esenciales del manejo, protección, ordenamiento y control de los recursos naturales renovables, coloca en un reto sin igual para asumir las nuevas responsabilidades, para atender la demanda futura de un ambiente sano para las generaciones venideras. Promueve la participación de la comunidad y del Estado como derecho y deber para la protección de los recursos naturales y el desarrollo sostenible; como elementos fundamentales de la planificación y el desarrollo de cualquier ente territorial (Título II, Capítulo 3, artículos 79 y 80; Título XII, capítulo 1, artículos 332, 332, 334; Capítulo 4, artículos 360).

Ley 99 de 1993⁹⁸ es el resultado de un momento histórico en el que coincidieron la aprobación de la Constitución Política en 1991 y la cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, las cuales dieron el punto de referencia obligado para la promulgación de la ley el 99 de diciembre de 1993. Por medio de esta, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se reorganiza el sistema Nacional ambiental y se dictan otras disposiciones (capítulo I, artículo 1, principio 3, artículo 5, numerales 13 y 14).

Ley 152 de 1994⁹⁹ Ley orgánica del plan de desarrollo: propone que mediante la presente ley los planes de desarrollo deberán considerar en sus estrategias, programas y proyectos, criterios que le permitan estimar los costos y beneficios ambientales para definir las acciones que garanticen a las actuales y futuras generaciones una adecuada oferta ambiental; posibilitando el desarrollo socioeconómico en armonía con el medio natural (capítulo I, artículos 3).

Ley 388 de 1997 Plan de ordenamiento territorial¹⁰⁰: establece las pautas para el ordenamiento del territorio de acuerdo a la jurisdicción correspondiente, contempla como aspecto fundamental las áreas con fines de conservación y recuperación

⁹⁶ Decreto 2857 de 1981.

⁹⁷ Constitución política de Colombia de 1991. (junio 24 de 2011)

Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/regimen/resoluciones/cp91.pdf>

⁹⁸ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Ley 99 de 1993 Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/download/ley99.pdf> (junio 24 de 2011)

⁹⁹ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Ley 152 de 1994 ⁹⁹Ley orgánica del plan de desarrollo. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=327> (junio 24 de 2011).

¹⁰⁰ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE y MINISTRO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Ley 388 de 1997. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=339> (junio 24 de 2011)

paisajística; permitiendo y garantizando una mejor armonía entre la naturaleza y el ser humano en el territorio en el que habita (Capítulo I, artículo 1 a 3; Capítulo II artículos 7, 10, 12, 14, 16; Capítulo VII, artículo 58).

Decreto No.1729 DE 2002 cuencas hidrográficas¹⁰¹: Establece los criterios en cuanto a definición, delimitación, ordenamiento y manejo de las cuencas, subcuencas y microcuencas en todo el territorio nacional (Capítulo I artículos 1 al 3; Capítulo II, artículo 4; Capítulo, artículo 11, Capítulo III artículos 19, 21, 22).

Resolución 769 de 2002¹⁰²: mediante esta resolución se dictan las disposiciones y reglamentaciones que permita contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos en Colombia, además de ofrecer una explicación, diferenciación de los diferentes tipos de franjas de páramos (capítulo I, artículos 1; Capítulo II, artículos 3, 4, 5)

Plan de ordenamiento territorial de Tangua (2002)¹⁰³: como directriz para este municipio, reconoce la importancia trascendental de llevar a cabo procesos de conservación, protección, manejo y control de los recursos naturales renovables para garantizar el derecho de las personas a disfrutar de un ambiente sano.

¹⁰¹ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Decreto 1729 de 2002. Bogotá 2002. Disponible en: http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/Decreto_1729_de_2002.pdf (junio 24 de 2011)

¹⁰² MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución 0769 del 5 de agosto de 2002. diario oficial 44916 del 29 de agosto de 2002. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/Colombia/R769-02.pdf> (junio 24 de 2011)

¹⁰³ POT. Plan de ordenamiento territorial Municipio de Tangua 2002.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca Las Piedras se encuentra en la vereda del mismo nombre, corregimiento de Opongoy, municipio de Tangua, al sur de la ciudad de San Juan de Pasto, departamento de Nariño, por la carretera que conduce hacia el embalse del río Bobo y la vereda Las Piedras. Limita por el norte con el Río Opongoy, al sur por la vereda Peñas Blancas, al oriente con la vereda Las Palmas y por el occidente con el río Uruyaco y la laguna La Aguada. (Figuras 1 y 2)

La información siguiente para la microcuenca Las Piedras fue calculada para esta investigación, obteniendo: un área de 1832,422 Ha (Figuras 1 y 2) y su localización entre las siguientes coordenadas:

| | | | | |
|----------------------|---|----------------|---|---------------|
| Geográficas: Latitud | N | 0° 58' 45,60" | a | 1° 04' 01,69" |
| Longitud | W | 77° 19' 14,86" | a | 77°18' 16,61" |

Planas: X = 599942 Y = 971555
X = 609445 Y = 975314

3.2 GEOLOGÍA

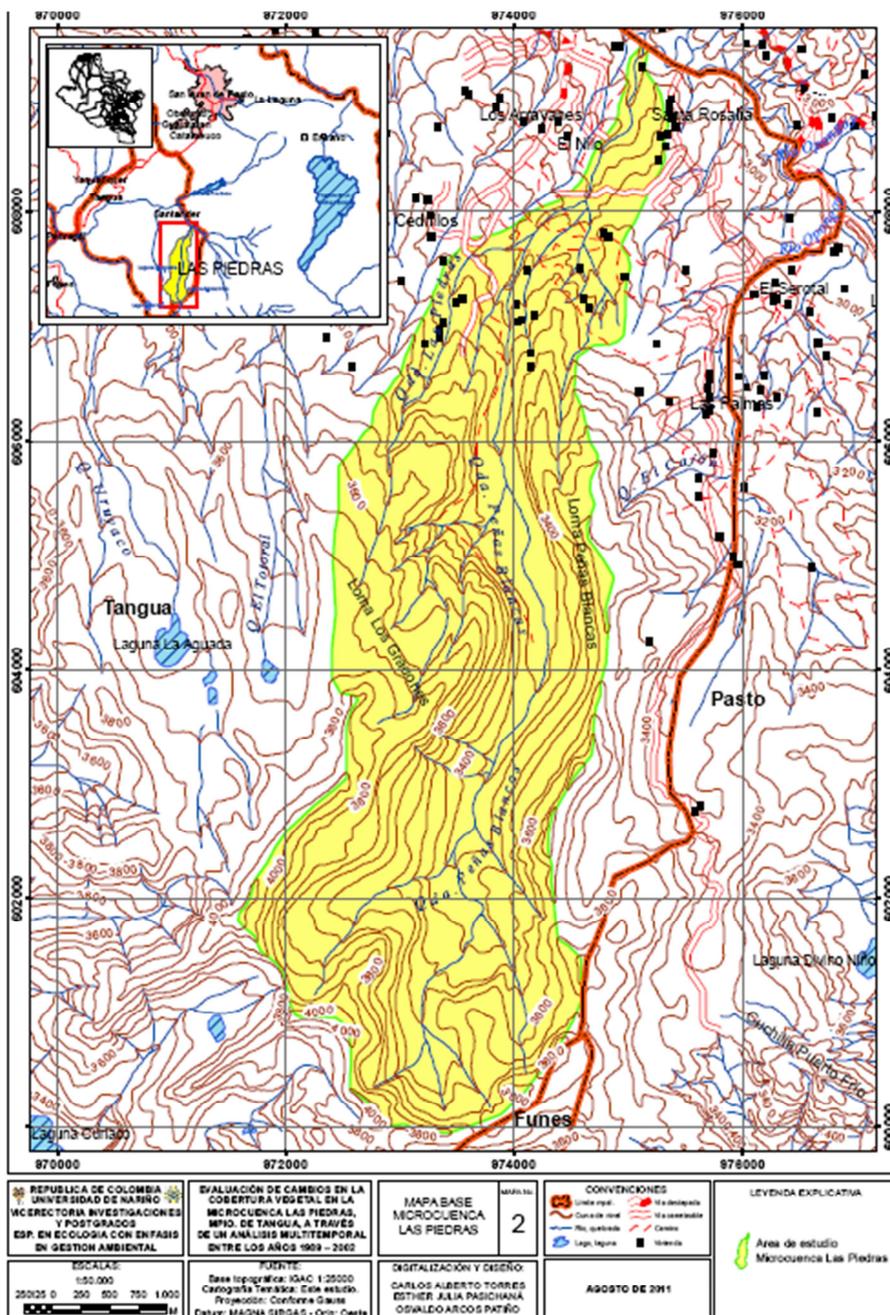
En la microcuenca Las Piedras, la estratigrafía está enmarcada principalmente dentro de las eras precámbrica y cenozoica. Para la precámbrica hacia el sur de la microcuenca, con una extensión no muy representativa, pertenece al complejo magmatítico de La Cocha – Río Tellez (*pEmct*); el cual, es pobre en afloramientos de roca fresca. Son rocas principalmente ígneas de formación granodiorítica, afectadas por el fenómeno de blastesis¹⁰⁴ y metamórficas, principalmente ortoneises, paraneises, granulitas y anfibolitas¹⁰⁴.

Por su parte, para la era cenozoica encontramos al norte de la microcuenca, formaciones principalmente vulcanitas; las cuales refieren a los depósitos relacionados con la actividad volcánica del terciario – cuaternario, asociados a diferentes centros de erupción. De acuerdo a las unidades litológicas para este territorio, se encuentran lavas y cenizas (*TQv/c*), conformada por lavas y flujos y/o cenizas no diferenciables, generalmente hay predominio de lavas que se hallan cubiertas por cenizas o tienen intercalaciones de ellas¹⁰⁵.

¹⁰⁴ INGEOMINAS. Mapa geológico de Colombia plancha 429 Pasto. 1991. Págs. 4 – 5.

¹⁰⁵ Ibid. INGEOMINAS. 1991. Págs. 12 – 13.

Figura 2. Mapa base microcuenca Las Piedras.



Fuente de esta investigación

Del mismo modo, hacia el sur se encuentran formaciones de depósitos glaciares y fluvio-glaciares (*Qsgñ*); precisados específicamente por INGEOMINAS, refiriéndose al sector de Peñas Blancas ubicado al sur este de la plancha 429 y al sur de la microcuenca (Figuras 3); donde se conservan muy bien los circos, valles en U, lagunas represadas por morrenas de recesión y morrenas laterales terminales y de recesión (Figura 4). Los depósitos netamente glaciares se encuentran totalmente cubiertos por vegetación de páramo y sólo se distinguen los de tipo fluvio-glacial, representados por gravas y arenas principalmente. A consecuencia del grado de conservación de la morfología glacial, no hay bases para creer que los depósitos correspondan a una edad diferente al cuaternario¹⁰⁶. (Figura 5)

3.3 GEOMORFOLOGÍA

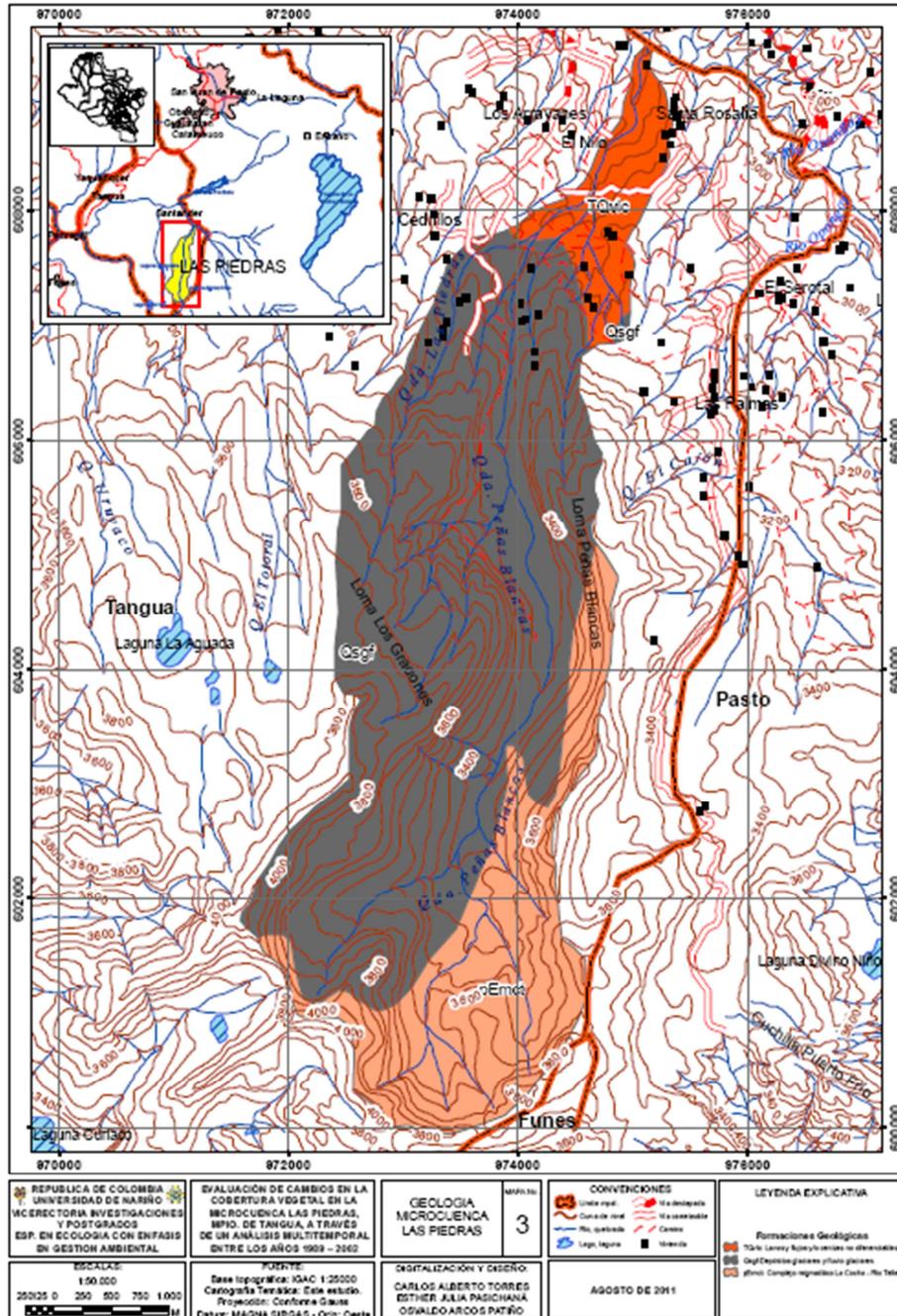
El modelado del paisaje es el resultado de los procesos geomorfológicos aluviales y fluvio-glaciales. La región sur es de tipo glacial, donde existen afloramientos ordovícicos, las formas resultantes de la erosión glacial, son serranías con crestas agudas que se encuentran hacia las estribaciones de Las Peñas Blancas. Al pie de estos farallones, se encuentran depósitos de talud por efecto de la gravedad (Figura 5).

La parte central posee depósitos glaciales, destacándose las morrenas laterales (Figura 6). En la parte centro tanto oeste como este, la acción fluvial sobre los sedimentos de till es bastante fuerte, ocasionando cárcavas profundas y zonas de deslizamiento recientes, aportando de material hacia el abanico.

Hacia el norte, de origen fluvial sobre depósitos de till, provocando deslizamientos antiguos y recientes, a esta acción ha contribuido el buzamiento de las rocas que coincide con la pendiente topográfica (Figura 7).

¹⁰⁶ Ibid. INGEOMINAS. 1991. Pág. 14.

Figura 3 Mapa Geológico microcuenca Las Piedras.



Fuente de esta investigación

Figura 4. Valle en U



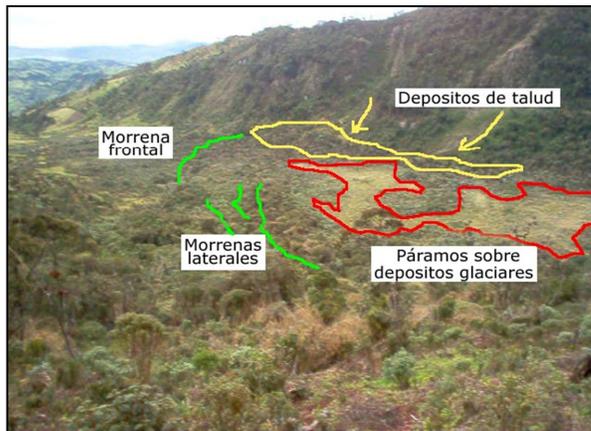
Fuente de esta investigación

Figura 5. Formaciones Zona Sur



Fuente de esta investigación

Figura 6. Formaciones Geológicas.



Fuente de esta investigación

Figura 7 Formaciones Zona Norte



Fuente de esta investigación

3.4 SUELOS

Según el estudio general de suelos realizado por el IGAC(2004)¹⁰⁷, se establecen ocho unidades cartográficas para la zona de estudio con sus respectivos símbolos; cada uno, constituido por tres letras mayúsculas, seguidas por una o dos letras minúsculas según sea el caso (Tabla 1). La primera letra refiere el tipo de paisaje, la segunda el clima y la tercera el nombre de la clase cartográfica y sus componentes taxonómicos; finalmente, la primera letra minúscula muestra el porcentaje de la pendiente y la letra "y" como representación de encharcamiento. (Figura 8)

¹⁰⁷ IGAC. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. Bogotá. 2004.

Tabla 1. Suelos presentes en la microcuenca Las Piedras

| SÍMBOLO | HECTÁREAS |
|---------|-----------|
| MEEg | 871,63 |
| MHAd | 1,95 |
| MHDay | 155,09 |
| MHEg | 433,34 |
| MLAc | 150,24 |
| MLAc | 1,62 |
| MLAg | 42,01 |
| MLEd | 75,60 |

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004.

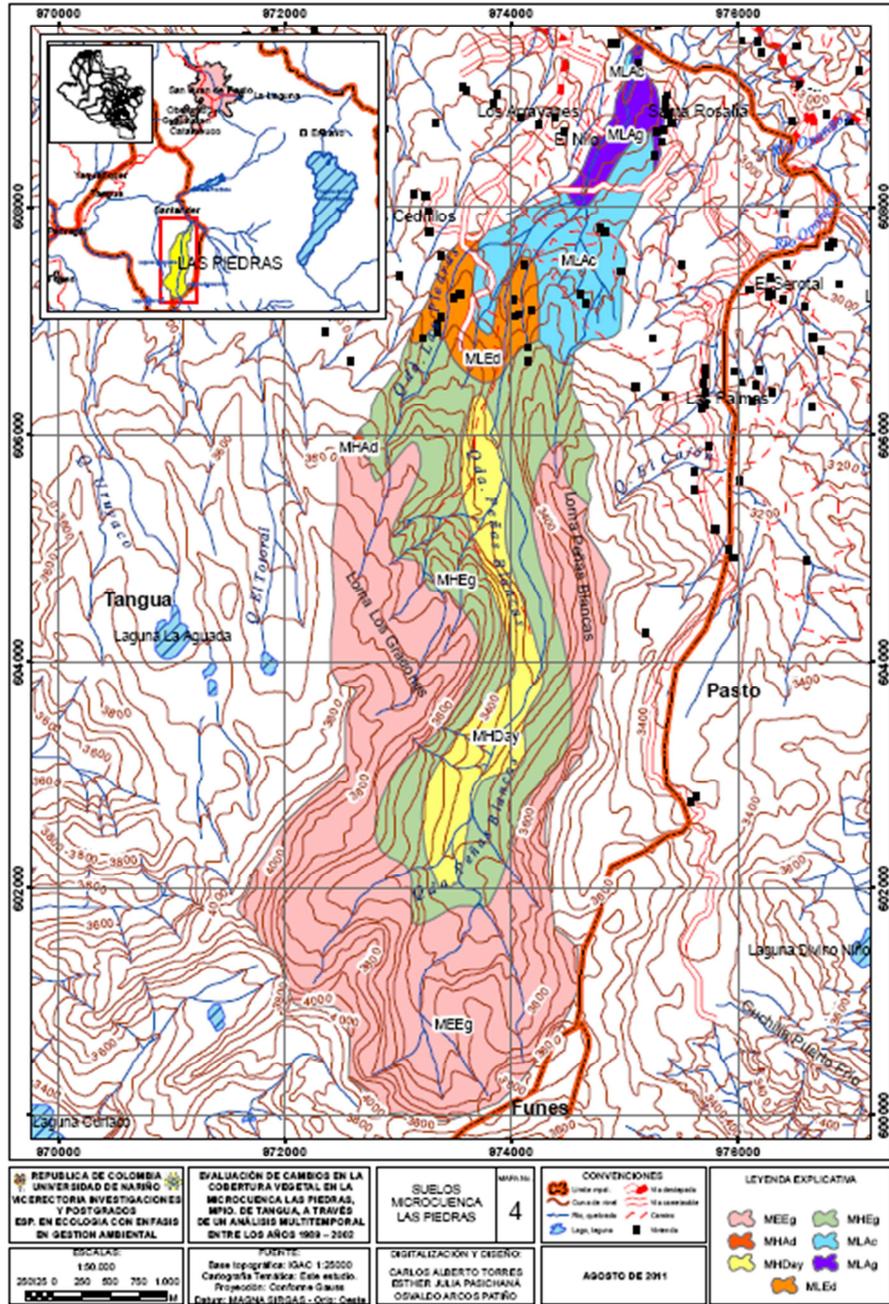
MEEg: este grupo nos muestra que se localiza en paisaje de montaña; con un clima extremadamente frío húmedo y muy húmedo tipo de relieve de filas; una litología y/o sedimentos superficiales y muy superficiales, texturas moderadamente gruesas, bien drenados, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja, alta saturación de aluminio, altos en materia orgánica sin desarrollo de suelos; cuya unidad cartográfica y componentes taxonómicos corresponden al grupo indiferenciado lithic melanocryands misceláneo rocoso, fase: fuertemente escarpados; pendiente mayor de 75%¹⁰⁸.

MHAd: paisaje de montaña; clima muy frío húmedo y muy húmedo; tipo de relieve coladas de lava; litología y/o sedimentos de mantos de ceniza volcánica sobre andesitas; características principales de los suelos muy profundos, texturas moderadamente gruesas, bien drenados, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja, alta saturación de aluminio, altos en materia orgánica, texturas moderadamente gruesas, sobre gruesas, bien drenados, fuertemente ácidos, fertilidad baja, alta saturación de aluminio, altos en materia orgánica, moderadamente profundos, texturas medias sobre moderadamente gruesas, bien drenados, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja, altos en materia orgánica, sin desarrollo de suelos; unidad cartográfica y componentes taxonómicos consociación acrudoxic melanudandsk, acrudoxic hapludands typic placudands misceláneo rocoso, fases: ligeramente inclinados moderadamente inclinados fuertemente inclinados ligeramente escarpados moderadamente escarpados fuertemente escarpados; pendiente del 12 al 25%¹⁰⁹.

¹⁰⁸ Op. Cit. IGAC.

¹⁰⁹ Op. Cit. IGAC.

Figura 8. Mapa de suelos microcuenca Las Piedras.



Fuente de esta investigación

MHDay: paisaje de montaña; clima muy frío húmedo y muy húmedo; tipo de relieve de artesa y campo morrénico; litología y/o sedimentos de depósitos orgánicos y lacustres con ceniza volcánica sectorizada; las características

principales de los suelos muy superficiales, texturas gruesas sobre moderadamente gruesas, pobremente drenados, fuertemente ácidos, fertilidad moderada, altos en materia orgánica, muy superficiales, material orgánico poco descompuesto, muy pobremente drenados, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja; la unidad cartográfica y componentes taxonómicos corresponden a grupo indiferenciado histic endoaquands hydric haplofibrists fase: planos, encharcables; pendiente de 0 a 3%¹¹⁰.

MHEg: paisaje de montaña; clima muy frío húmedo y muy húmedo; tipo de relieve de filas y vigas; litología y/o sedimentos mantos de ceniza volcánica sobre esquistos, neis y migmatitas; las características principales de los suelos corresponde a moderadamente profundos, texturas medias, bien drenados, extremadamente ácidos, fertilidad baja, alta saturación de aluminio, altos en materia orgánica. Superficiales y muy superficiales, texturas moderadamente gruesas, bien drenados, fuertemente ácidos, fertilidad baja, alta saturación de aluminio, altos en materia orgánica. No hay desarrollo de suelos; la unidad cartográfica y componentes taxonómicos pertenecen al grupo indiferenciado typic placudands lithic melanudands misceláneo rocoso, fases: moderadamente escarpados fuertemente escarpados; con una pendiente mayor al 75%¹¹¹.

MLAc y MLAG: paisaje de montaña; clima frío húmedo y muy húmedo; tipo de relieve coladas de lava; la litología y/o sedimentos pertenece a mantos de ceniza volcánica sobre andesitas; las características principales de los suelos corresponden a muy profundos, texturas moderadamente gruesas, bien drenados, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja, alta saturación de aluminio, altos en materia orgánica, profundos, texturas medias, bien drenados, moderadamente ácidos, fertilidad moderada, altos en materia orgánica, moderadamente profundos, texturas medias sobre moderadamente gruesas, bien drenados, muy fuertemente ácidos, fertilidad baja, alta saturación de aluminio, altos en materia orgánica; la unidad cartográfica y componentes taxonómicos pertenecen a la consociación acrudoxic melanudands, acrudoxic hapludands, acrudoxic placudands, fases: ligeramente inclinados moderadamente inclinados, fuertemente inclinados, ligeramente escarpados, moderadamente escarpados, fuertemente escarpados; con una pendiente de 7-12% inundabilidad, encharcamientos y mayor de 75% respectivamente¹¹².

MLEd: paisaje de montaña; clima frío húmedo y muy húmedo; el tipo de relieve de lomas; litología y/o sedimentos pertenecientes a mantos de ceniza volcánica sobre tobas de ceniza y lapilli; las características principales de los suelos corresponden a muy profundos, texturas moderadamente gruesas, bien drenados, extremadamente ácidos, fertilidad baja, alta saturación de aluminio, altos en

¹¹⁰ Ibid. IGAC.

¹¹¹ Ibid. IGAC.

¹¹² Ibid. IGAC.

materia orgánica, muy profundos, texturas medias, bien drenados, fuertemente ácidos, fertilidad moderada, altos en materia orgánica, superficiales, texturas finas, bien drenados, moderadamente ácidos, fertilidad moderada, bajos en materia orgánica; la unidad cartográfica y componentes taxonómicos pertenecen a la consociación acrudoxic fulvudands, typic fulvudands, typic palehumults, fases: fuertemente inclinados ligeramente escarpados ligeramente escarpados, erosión moderada; con una pendiente de 12-25%¹¹³.

3.5 CLIMATOLOGÍA

Para la determinación climatológica en la microcuenca Las Piedras, se dispone de información Solarte (2007)¹¹⁴ proveniente de las tres estaciones más cercanas a la misma, las cuales se registran en la Tabla 2 (Anexo 7, Mapa de localización de las estaciones cercanas al área de estudio).

Tabla 2. Estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca Las Piedras

| ESTACION | CODIGO | TIPO | MUNICIPIO | CORRIENTE | LAT. | LONG. | ALT. | PERIODO |
|----------|---------|------|------------|-----------|------|--------|--------|-----------|
| TANGUA | 5205008 | PM | Tangua (N) | Téllez | 1°5' | 77°23' | 2440 m | 1987–2005 |
| SINDAGUA | 5205509 | CP | Tangua (N) | Guaitara | 1°6' | 77°23' | 2763 m | 1988–2005 |
| RIO BOBO | 2505006 | PM | Pasto (N) | Téllez | 1°7' | 77°18' | 2693 m | 1987–2005 |

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2002.

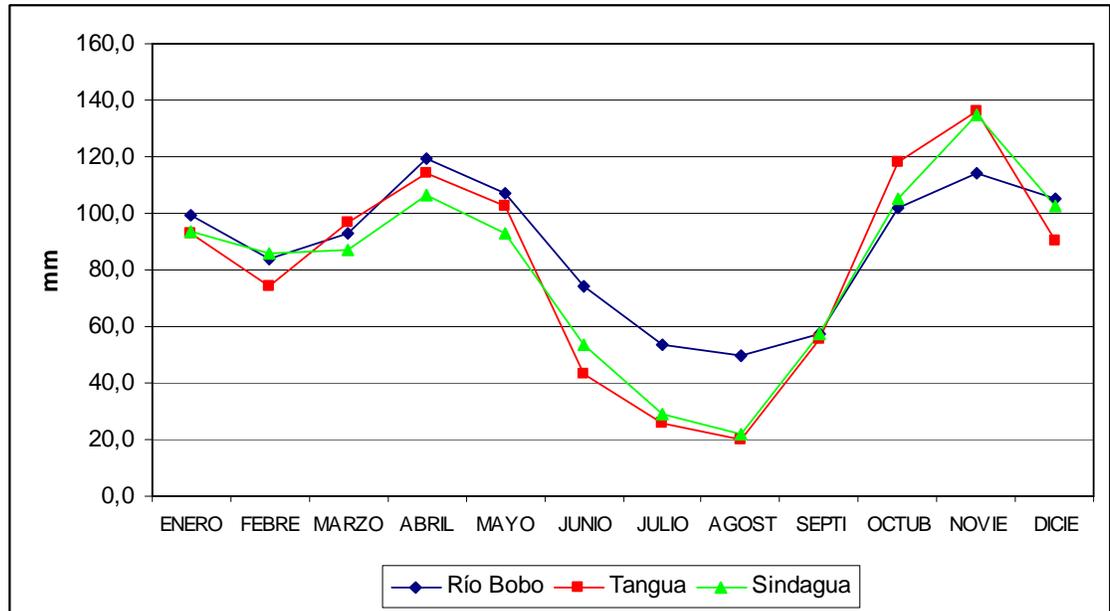
Es necesario tener en cuenta que la estación Sindagua (climatológica principal) ofrece información de las variables: precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación y brillo solar; mientras que las de Río Bobo y Tangua, al ser de tipo pluviométrico solo ofrece información de precipitación.

3.5.1 Precipitación. Esta variable se analiza de acuerdo a los datos obtenidos mensualmente en cuanto a la precipitación total media en las tres estaciones para los 12 meses del año como se muestra en la figura 9:

¹¹³ Ibid. IGAC.

¹¹⁴ SOLARTE, Mariaelena, RIVAS, G., BACA, Aida, CALDERÓN. John, NARVÁEZ German, RENGIFO. Julián., MUÑOZ, D., Y TORRES, Carlos, 2007. Estado del Arte de los páramos del Departamento de Nariño: Componentes Físico Biótico y Socioeconómico. Vicerrectoría de Investigaciones Universidad de Nariño y Corponariño. Pasto, Colombia. Informe final Convenio Corponariño y Universidad de Nariño.

Figura 9. Precipitación comparativa para las estaciones con influencia en la microcuenca Las Piedras



Fuente: datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2002, análisis de esta investigación

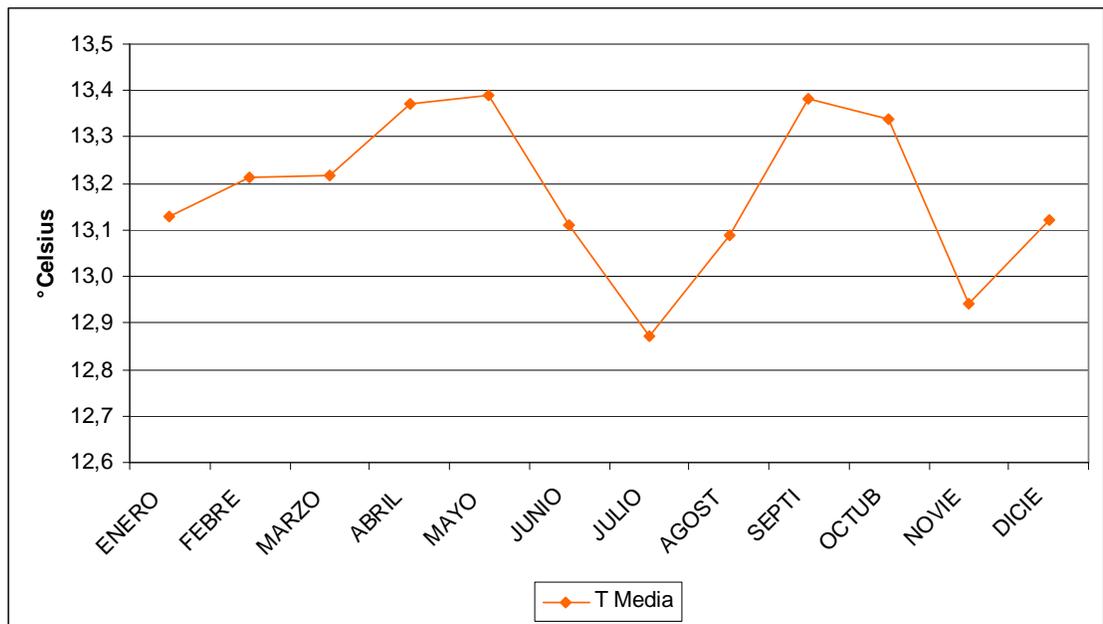
Puede observarse que en la zona se presenta un régimen bimodal, con dos periodos secos en los meses de diciembre a marzo y de junio a septiembre y dos periodos de lluvia en los meses de abril a mayo y octubre a noviembre respectivamente. Los periodos secos como los lluviosos no presentan algún tipo de semejanza en la intensidad de los datos y por el contrario, el periodo seco de mitad de año es más intenso que el anterior; el promedio de precipitación de acuerdo del total anual a las tres estaciones la precipitación para esta zona es de 997,9 mm al año; el promedio de precipitación máxima anual es de 351.53mm y la mínima es de 0.16mm de esta variable se determina principalmente como consecuencia de la influencia que ejerce la zona de convergencia intertropical (ZCIT), ocasionando la presentación durante el año, del mencionado doble máximo y doble mínimo de precipitaciones y, por supuesto, también de los demás elementos meteorológicos.

3.5.2 Temperatura. Según los datos del IDEAM para la estación Sindagua que es la única que nos ofrece datos de éste parámetro, la temperatura media anual es de 13,2 °C, siendo la máxima de 14.6°C y la mínima de 11.6°C pero teniendo en cuenta que la estación se encuentra a 2.763 msnm y a unos 13 Km. de distancia aproximada en línea recta, se considera que la temperatura en la microcuenca puede variar en tanto que la altitud oscila entre los 2800 y 4000 msnm pero en vista de no encontrar datos en el área de estudio se toman estos datos como

referencia (Figura 10). Este parámetro no presenta una alta variabilidad a lo largo del año debido a que provienen de una sola estación sin que se pueda triangular de manera más precisa datos promedios de temperatura ambiental.

Además de lo anterior, la localización geográfica de la microcuenca permite considerar que la temperatura no tenga variaciones importantes con respecto a los datos de la estación Sindagua, ya que se encuentran dentro del mismo rango altitudinal dentro del piso térmico frío hacia muy frío, si bien la gráfica de la temperatura media muestra que en términos generales este parámetro es muy estable, las oscilaciones durante el año no muestran variaciones considerables puesto que no superan el grado de diferencia.

Figura 10. Temperatura media en el área de influencia de la microcuenca Las Piedras (Estación Sindagua)

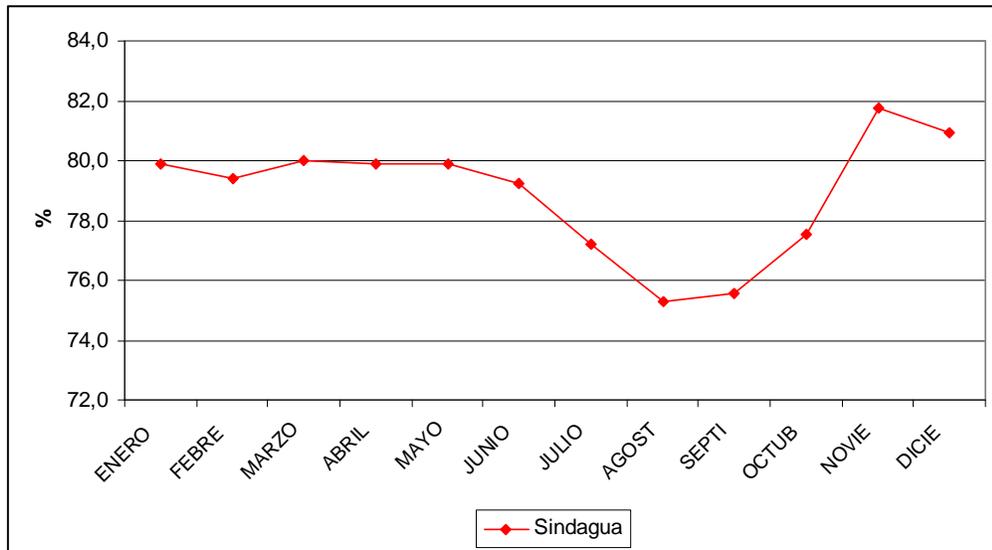


Fuente: datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2002, análisis de esta investigación

3.5.3 Humedad Relativa. Este parámetro va relacionado directamente con la precipitación, por lo tanto, los meses de mayor humedad se concentran a lo largo de todo el año con una cierta variación en la primera temporada seca hacia el mes de febrero y con una disminución mucho más representativa entre julio y octubre, siendo ésta la más seca del año, notándose la incidencia de mayor humedad hacia el mes de noviembre y un descenso considerable en los meses de agosto y

septiembre. El valor promedio anual de la humedad relativa en la microcuenca Las Piedras es de 79% presentando valores que fluctúan entre 58% y 91%, que indica que se mantienen valores altos y constante(Figura 11)

Figura 11 Humedad relativa media en el área de influencia de la microcuenca Las Piedras (Estación Sindagua)

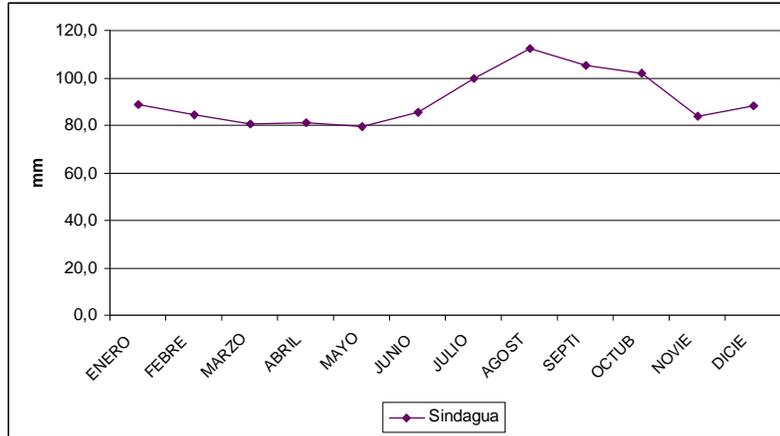


Fuente: datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2002, análisis de esta investigación

3.5.4 Evaporación. El comportamiento de este parámetro permite observar una mayor evaporación entre julio y octubre, relacionado con el segundo periodo seco del año (con un valor promedio de 110.1mm de evaporación) y una disminución en los meses de marzo a mayo y al fin de año hacia el mes de noviembre (con un valor mínimo de 49.6mm hacia el mes de febrero y la máximo de 147.3mm en octubre, para un total de 1079.7 mm anuales). Al relacionar estos datos con la precipitación se puede decir que en los meses de predominio seco habría la posibilidad para la presencia de déficit hídrico en la microcuenca (Figura 12).

Es evidente que la evaporación registra datos con variaciones durante todo el año, donde se puede determinar que el período seco muestra los valores más altos, mientras que el período húmedo los valores más bajos.

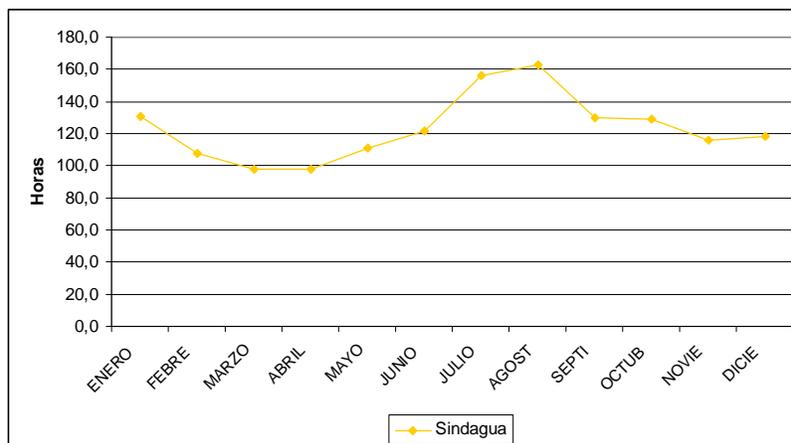
Figura 12. Evaporación media en el área de influencia de la microcuenca Las Piedras



Fuente: datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2002, análisis de esta investigación

3.5.5 Brillo Solar. Como resultado del régimen bimodal en la zona, la intensidad de radiación solar aumenta en los periodos secos y sobre todo en los meses de julio a septiembre, periodo en el cual puede verse el acumulado medio anual es de 1463 horas anuales, se pasa del mínimo que se registra en el mes de febrero con 51.6 horas a 211.8 horas de insolación o brillo solar en el mes de octubre. (Figura 13).

Figura 13. Brillo solar medio en el área de influencia de la microcuenca Las Piedras



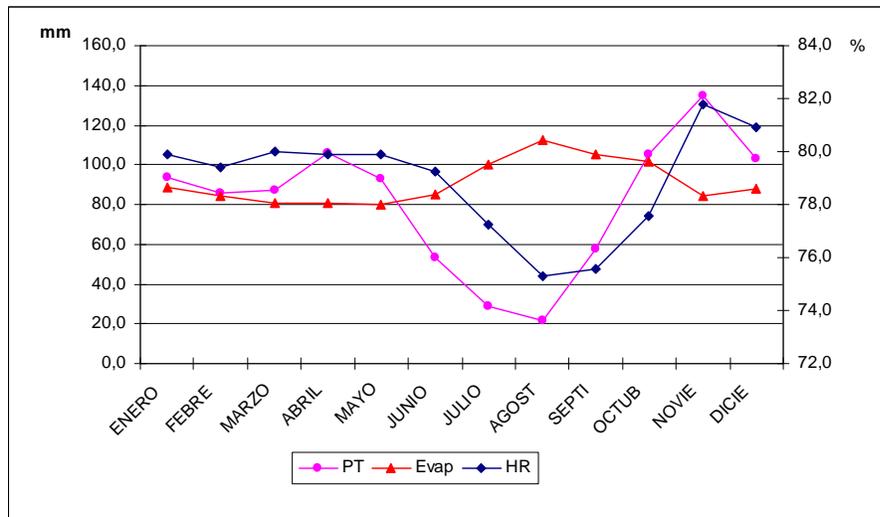
Fuente: datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2002, análisis de esta investigación

3.5.6 Relación de parámetros analizados. Este cruce permite observar que el comportamiento de la precipitación y de la humedad relativa presentan similitud en su régimen anual, disminuyendo para las épocas secas e incrementándose para las lluviosas; inversamente proporcional para la evaporación en las mismas épocas del año.

La clasificación de los parámetros climatológicos permiten determinar un comportamiento bimodal para la zona de influencia de la microcuenca Las Piedras; cabe resaltar que la influencia de los datos referidos a la estación Sindagua se generalizan para el área de estudio como consecuencia de la ausencia de estaciones meteorológicas que propicien datos promedios al realizar triangulaciones entre estaciones. (Figura 14).

Además de los procesos convectivos, térmicos y dinámicos que se presentan en la microcuenca Las Piedras, se da ascensos y descensos de aire que guardan una relación directa con la ZCIT, también se hacen presentes movimientos del aire, horizontales y verticales determinados por causas locales y condicionadas básicamente por la configuración del relieve, la vegetación y la relación tierra - agua que originan estabilización o inestabilizaciones de la atmosfera, lo que ocasiona la presentación de escasas o abundantes precipitaciones. También influyen en los efectos de la circulación local de brisas de la montaña - valle y valle - montaña o pendiente - arriba y pendiente - abajo, que refuerzan la influencia de los otros procesos meteorológicos actuantes y determinan el período en el cual se presenta una mayor precipitación.

Figura 14. Cruce de los parámetros, humedad relativa y evaporación suministrados por la estación Sindagua para el área de influencia de la microcuenca Las Piedras



Fuente de esta investigación

3.6 ZONAS DE VIDA

En la microcuenca Las Piedras encontramos tres zonas de vida que corresponden al bosque húmedo – Montano Bajo (bh-MB), bosque muy húmedo – Montano (bmh-M) y páramo – Sub Alpino (p-SA); las cuales, teniendo en cuenta que hasta el momento el modelo se encuentra aún vigente el mapa ecológico del IGAC, el cual está basado en el estudio de Holdridge¹¹⁵(Figura 15), se definen de la siguiente manera:

3.6.1 Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB). En esta zona de vida se localizan laderas con poca cubierta arbórea que son destinadas a la agricultura y ganadería¹¹⁶. Se encuentra esta zona desde los 2850 hasta los 3050 msnm.

3.6.2 Bosque muy húmedo Montano (bmh-M). Las plantas de esta región están conformadas por gramíneas con asociaciones de arbustos de hojas coriáceas y pequeñas. Los terrenos, en su mayor parte, tienen una topografía accidentada. La elevación para la faja altitudinal Montano en Colombia empieza a los 2100 metros sobre el nivel del mar¹¹⁷. En la microcuenca se localiza en altitudes que van desde los 2950 a 3650 msnm.

3.6.3 Páramo Subalpino (p-SA). Aquellas zonas donde la forma del relieve es escarpada con pendientes mayores del 50%. En estas fajas la vegetación es pobre, dispersa y de tamaño reducido, repartidas en pequeños grupos, donde predominan despeñaderos y en la parte inferior se encuentra dominado por valles de frailejones y musgos. El carácter distintivo de esta formación es su vegetación de tipo pajonal donde las especies dominantes son las gramíneas. Debido a su altitud, la influencia humana es mínima encontrándose aún animales silvestres como el venado y oso de anteojos según datos suministrados por los residentes de la zona¹¹⁸. Se encuentra en altitudes que inician desde los 3.300 a los 4.000 msnm.

¹¹⁵ IGAC. Ecología basada en zonas de vida. Mapa ecológico. Ministerio de Hacienda y crédito público. 1969.

¹¹⁶ Ibid.

¹¹⁷ Ibid.

¹¹⁸ Ibid.

3.7 HIDROGRAFÍA

La red hidrográfica en la microcuenca está determinada básicamente por el recorrido de las tres principales fuentes que son jerárquicamente: la quebrada Peñas Blancas, la quebrada Las Piedras o La Chiquita, y la quebrada Agua Clara, tributarias de la primera, además de 21 afluentes de menor extensión que depositan sus aguas a lo largo de su recorrido. Las corrientes llevan su recorrido en sentido sur – norte, depositando sus aguas en el río Opongoy, tributario de la subcuenca del río Bobo¹¹⁹

Todo el sistema de drenaje de la microcuenca genera agua que escurre a través de un sistema de drenaje "dendrítico", característico de ríos de "alta montaña". El uso del agua está destinado principalmente al consumo humano y en menor escala a la bebida de animales. Este sistema hídrico de cuarto orden, es el soporte de tres acueductos veredales, cuyas captaciones están en sus tributarios para las veredas de Las Piedras, Las Palmas, Santa Rosalía, y además la captación que abastece el acueducto de la ciudad de San Juan de Pasto.

La afectación sobre el sistema hídrico local está representado en la presión para extraer madera con fines domésticos y habilitar potreros. Igualmente se presenta la disposición permanente de basuras y excretas tanto de humanos como de animales.

3.8 HERRAMIENTAS SIG

El análisis de la dinámica del cambio de cobertura se realizó con base en dos imágenes de satélite tipo Landsat TM de enero de 1989 y septiembre de 2002 (path 9 row 59, 8 bandas, en formato BSQ, cuadrante II). El procesamiento digital se desarrolló mediante el software ERDAS IMAGINE 8.1 y los procesos de edición y diseño de las coberturas topológicas en ArcGIS 9.3. Como recurso en constatación de información se utilizaron aerofotografías de los años 1983 y 1997 correspondientes a los vuelos 2541 y 2570, respectivamente.

La imagen del año 1989, fue adquirida de forma gratuita gracias al Programa: Deforestation Mapping Group, patrocinado por la NASA y la Universidad de Maryland (USA), Department of Geography y el Institute for Advanced Computer Studies, descargadas desde su página en la Internet, Global Land Cover Facility¹²⁰.

¹¹⁹ IGAC. Plancha No. 429. Escala 1:100.000. Colombia, Nariño, Pasto. 1977.

¹²⁰ GLOBAL LAND COVER FACILITY. Disponible en: <http://glcf.umiacs.umd.edu> (consultado 7 febrero de 2007)

La imagen correspondiente al año 2002, fue facilitada por el proyecto de investigación páramos de Nariño de la Universidad de Nariño - CORPONARIÑO.

El trabajo con estas imágenes se relacionó con el hecho de detectar las bondades brindadas por dichas imágenes y desarrollar algunas capacidades para determinar cuáles bandas son más apropiadas para un determinado estudio, que para este caso son las coberturas vegetales.

Como fuente de información secundaria, se utilizó cartografía básica (IGAC y EMPOPASTO) y toda la información análoga disponible. La información primaria fue producto de seis salidas de campo, mediante la cual se comprobó las diferentes coberturas vegetales existentes en la microcuenca.

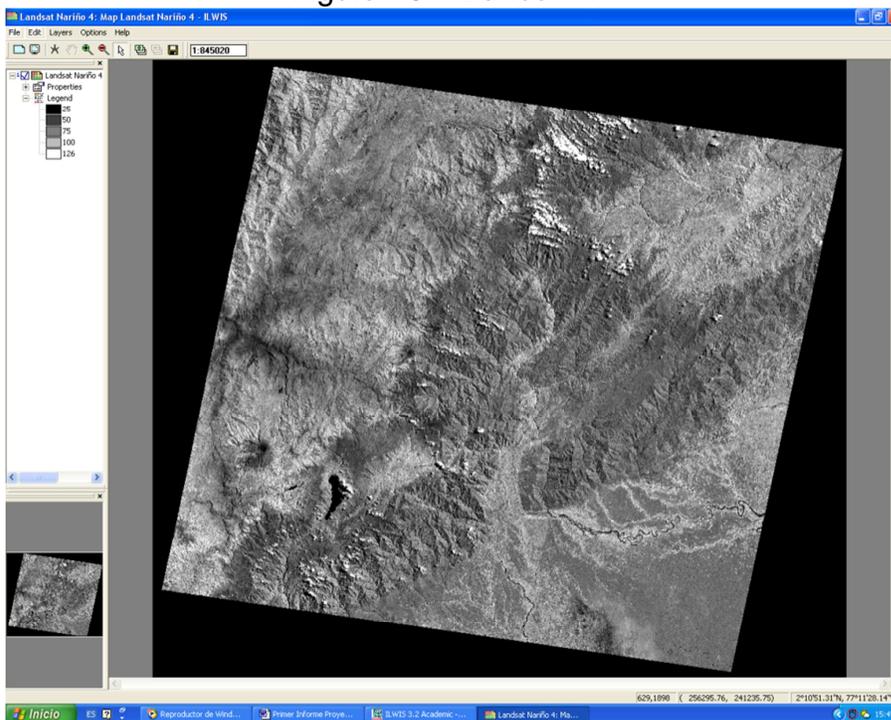
El modelo metodológico para la herramienta SIG utilizada, integra las técnicas del procesamiento digital de imágenes de satélite con el análisis espacial de la información temática georeferenciada, a través de un sistema de información geográfico. Los procesos desarrollados son los siguientes:

3.8.1 Preprocesamiento digital de imágenes. En un comienzo, se realizó una ventana de trabajo a partir del cuadrante II de las imágenes LANDSAT ETM+ de 1989 y 2002, donde se aplicaron algoritmos que permitieron hacer correcciones (de tipo radiométricas y geométricas), mejoramientos, análisis de componentes principales (ACP). Las correcciones geométricas utilizadas corresponden al sistema de proyección Transverse Mercator, dando lugar a una imagen georeferenciada, con un error medio cuadrático de 0.8, el cual se considera aceptable para la zona.

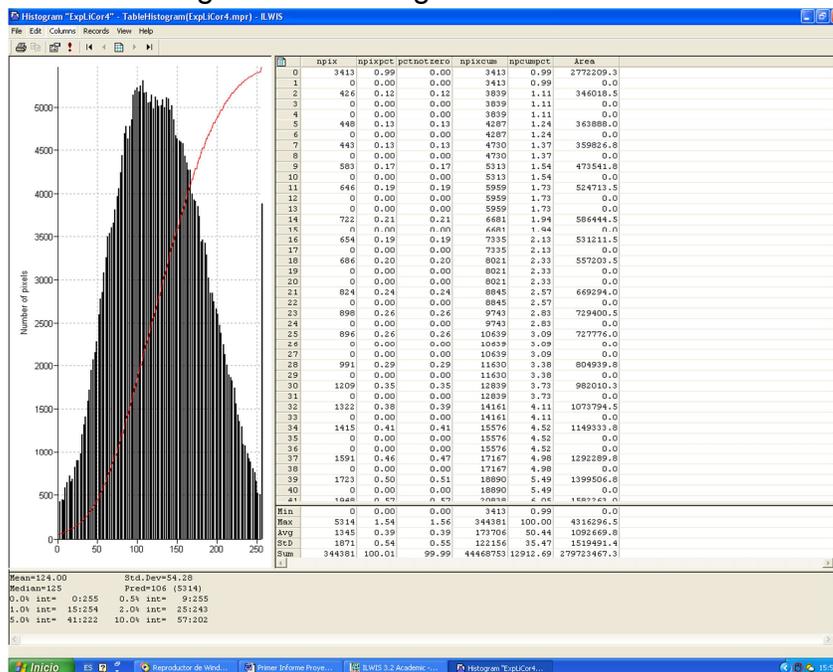
Al momento de establecer la banda de mayor contraste pudo determinarse que la TM4 es la que mejor presenta dicha condición, corroborado posteriormente con el cálculo estadístico de las imágenes mediante el análisis de la ecualización de los histogramas y la expansión lineal de cada imagen, determinando así que en comparación con las demás, ésta presenta mayor claridad para el trabajo digital; por lo tanto se puede decir que ésta banda, presenta un histograma más amplio y mejor distribuido. (Figura 16)

Al mejorar la resolución de las imágenes, se recurrió al procedimiento de expansión lineal que se aplicó al 1%, obteniendo así la ampliación del dominio a 256 niveles digitales visuales disponibles y sin afectar la forma del histograma, el cual se conservo adecuadamente. (Figura 17)

Figura 16. Banda TM4



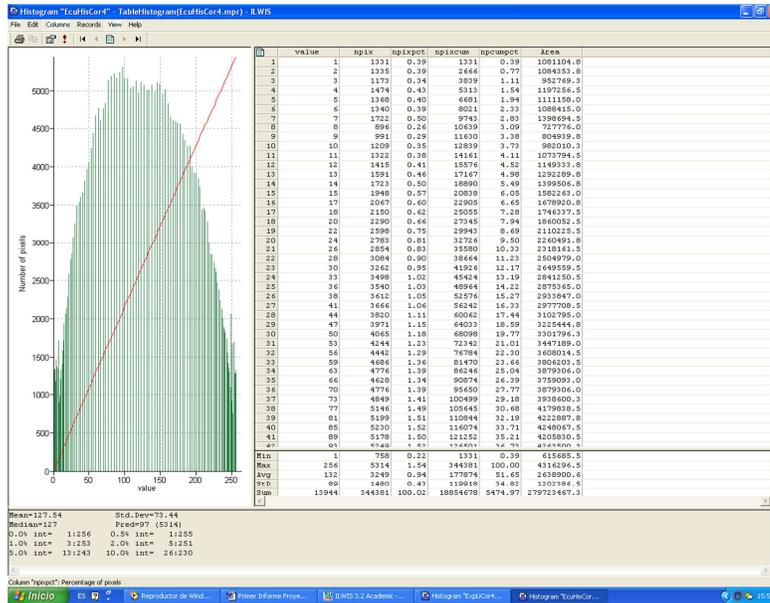
Fuente de esta investigación
Figura 17. Histograma banda TM4



Fuente de esta investigación

Además del procedimiento anterior se mejoró la calidad de las imágenes mediante la ecualización del histograma, logrando con esto mejorar el realce sin tener en cuenta solamente los valores de niveles digitales como sucede con la expansión lineal total; obteniendo como resultado un realce mucho más depurado; se puede observar que los valores se encuentran concentrados en el centro del histograma y disperso entre los valores intermedios de niveles visuales. (Figura 18)

Figura 18. Ecualización del histograma



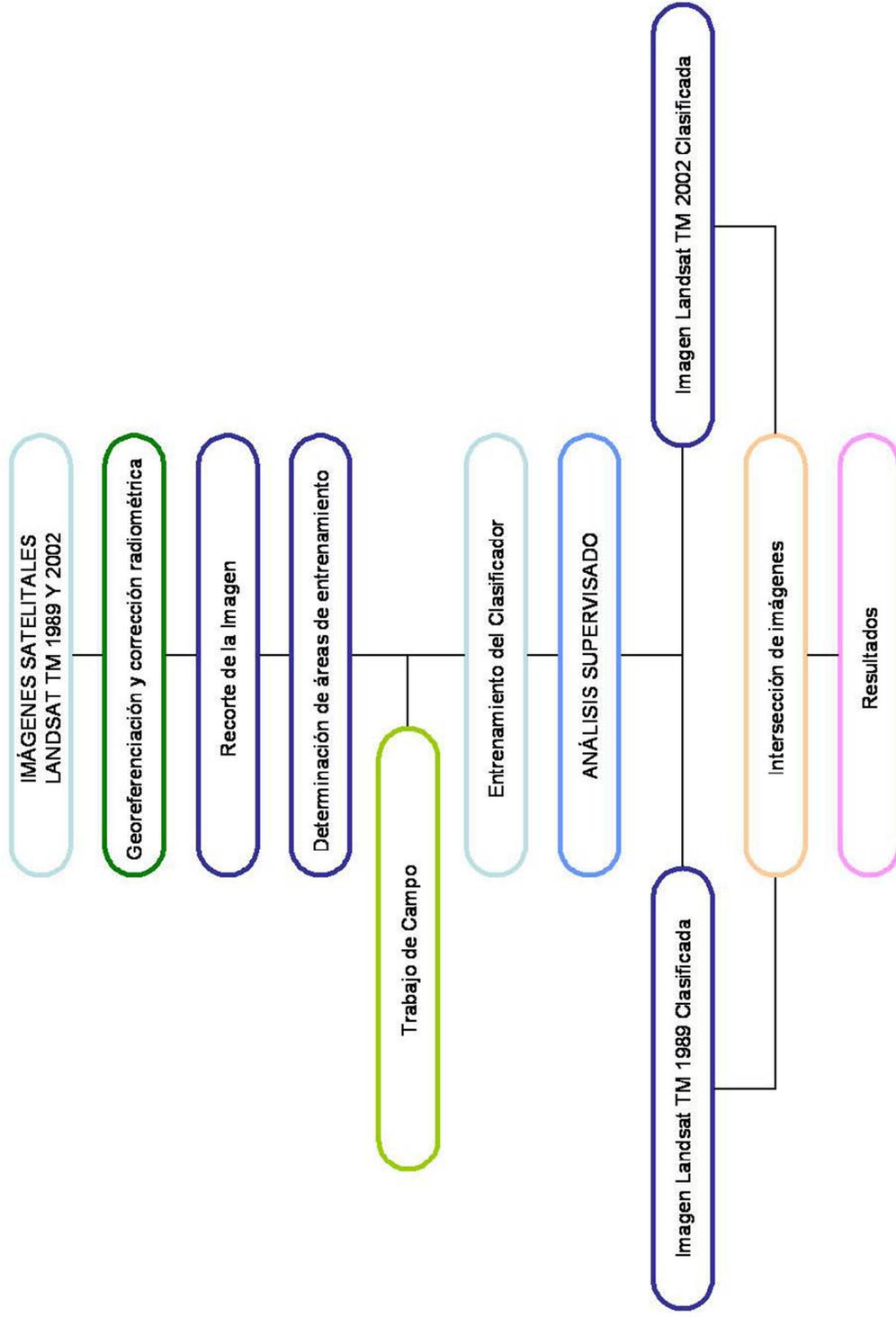
Fuente de esta investigación

3.8.2 Combinaciones con las bandas. La combinación de bandas permite el trabajo de interpretación de la información disponible en estas, dependiendo del tipo de análisis a realizar depende la combinación.

3.8.2.1 Combinación en color natural: RGB Bandas 321. Constituye la combinación más próxima a la percepción de la tierra con nuestros ojos desde el espacio, de ahí que se le denomine comúnmente como color verdadero. Las bandas visibles responden a la penetración de la luz en la superficie terrestre, y por lo tanto sirven para discriminar el agua poco profunda, aguas turbias, corrientes, batimetría y zonas con sedimentos. En esa dinámica, el color azul oscuro indica las aguas profundas; azul claro, aguas de media profundidad; la vegetación se muestra en tonalidades verdes y el suelo en marrones y ocres; el suelo desnudo en tonos amarillentos y plateados¹²¹(Figura 19)

¹²¹ FERNADEZ C. Ignacio A. y Herrero LI. Eliécer. Análisis visual de imágenes obtenidas del censor ETM+ satélite LANDSAT. Pags. 13 – 26.

Figura 23. Diagrama de flujo procesamiento de imágenes



Fuente: Esta investigación

3.8.3.2 Agrupación de los píxeles de la imagen por categorías (fase de asignación). A partir de la fase de entrenamiento se asignaron las categorías al resto de la imagen. El criterio empleado para definir los límites entre clases fue el de máxima verosimilitud, en donde el píxel se asigna a aquella clase con la que posee mayor probabilidad de pertenencia.

La clasificación supervisada por ser un proceso definido como una operación de relación y comparación, permite agrupar a todas las regiones que presenten características semejantes en un mismo grupo, definidas como clases; las cuales se definen en función del objeto de estudio.

Para esta fase, partiendo de las categorías establecidas en el paso anterior, se discriminan las clases de coberturas de una manera más detallada y acorde a la realidad, apoyada en el trabajo investigativo de campo.

En esta etapa se comparan diferentes algoritmos de clasificación con el fin de establecer el complejo comportamiento espectral de las diferentes coberturas vegetales presentes en la microcuenca y que se necesitan identificar. Al realizar la clasificación, el programa asigna a todos los píxeles de la imagen la clase que corresponda, así entonces, el programa de SIG ERDAS IMAGINE 8.1 posee unos clasificadores estandarizados y que de acuerdo al manual del usuario¹²³ se definen como:

Vecino más próximo: el sistema realiza un cálculo de la distancia representada por los valores espectrales, desde cada uno de los píxeles no clasificados al centro de cada grupo; cada píxel será asignado al grupo que le quede más próximo. es sencillo desde el punto de vista conceptual y en relación con los cálculos matemáticos y estadísticos, pero lento en la operación, como resultado del alto volumen de cálculos requeridos; puede presentar errores de asignación de píxeles demasiado alejados o muy cercanos de los clusters asignados.

Cajas o paralelepípedo: define el área de dominio para cada clase; cada píxel quedará dentro de una determinada clase si sus valores digitales en cada una de las bandas consideradas está dentro del área determinada. Es rápido y sencillo, se basa en operaciones lógicas y no en cálculos matemáticos. Su precisión es media ya que cuando la distancia de asignación es corta muchos píxeles quedaran fuera del rango sin clasificar, en otros casos, los paralelepípedos pueden traslaparse quedando algunos píxeles mal asignados.

¹²³ ERDAS IMAGINE. Configuration guide Erdas Imagine v 8.5. Contiene las versiones 8.1, 8.2, 8.02, 8.3. y 7.5. Julio 2 de 2011. En: <http://www.nr.usu.edu/unix/imagine/ConfigGuide.pdf>.

Máxima probabilidad o maxlike: ofrece la máxima precisión, pero así mismo es el más complejo, se basa fundamentalmente en el análisis estadístico. Se establecen las desviaciones típicas para cada clase y se calculan los valores críticos para la discriminación entre clases con valores muy próximos o que se traslapan. Así mismo se establece la probabilidad estadística de que cada píxel corresponda a una determinada clase y se asigna donde la probabilidad sea mayor. Es muy complejo y requiere demasiado tiempo en la capacidad de cálculo.

Máxima verosimilitud o mahalanobis: este clasificado asume que los histogramas de las clases tienen distribuciones normales. La forma geométrica de la nube de puntos que representa al conjunto de píxeles pertenecientes a una clase puede ser descrita por una elipsoide, dicha forma depende directamente de la covarianza entre las distintas variables; la localización, forma y tamaño de las elipses reflejan la media, varianza y covarianza de los datos. Es fundamental en el análisis estadístico, ofreciendo la máxima precisión dándole a cada píxel su correspondencia a una determinada clase y asignándole la probabilidad donde sea mayor.

Por este motivo este clasificador es el que mejor se ajusta para la realización de esta investigación, pues se acopla perfectamente a las diferentes coberturas en las imágenes.

El desarrollo en el procesamiento de las imágenes del sensor se resume mediante un diagrama de flujo en el cual se exponen todas las actividades realizadas para el caso, facilitando en cierto grado la comprensión del mismo. (Figura 23)

3.8.3.3 Elaboración del mapa preliminar. Las imágenes clasificadas y recodificadas fueron convertidas de formato raster a formato vector a través de un proceso automatizado, para originar las respectivas coberturas en relación con la delimitación del área de trabajo y su posterior edición. (Figuras 22 y 23).

3.8.4 Elaboración de los mapas finales

3.8.4.1. Verificación en campo. La verificación se realizó de forma estratificada, con énfasis en aquellas unidades cartográficas, donde la respuesta espectral de las clases no permitía su completa identificación y con menor detalle en aquellas unidades que no presentaban confusión espectral. Las áreas que en las imágenes aparecían cubiertas por nubes al igual que las sombras fueron verificadas estableciendo sus correspondientes coberturas con el fin de evitar el sesgo en el análisis multitemporal y por consiguiente tener datos reales de las coberturas.

Para el caso de la imagen de 1989, se recurrió a entrevistas con los pobladores con el fin de establecer información real a la época.

El sistema de GPS, se utilizó de manera integrada al SIG para tomar las áreas de entrenamiento (muestras de clase) en tiempo real y con sus respectivas coordenadas geográficas; estableciendo de este modo información georeferenciada, acorde a la realidad actual.

3.8.4.2 Ajuste de la clasificación. Para continuar el proceso anterior, se asignaron áreas de entrenamiento a las categorías establecidas, utilizando la técnica de la clasificación supervisada mediante el criterio de máxima verosimilitud. Posteriormente, se procedió a la aplicación de filtros de generalización y a la realización de una vectorización corregida.

Dicho procedimiento se realizó con el uso del GPS (sistema de posicionamiento global) estableciendo mediante coordenadas planas, puntos estratégicos para la ubicación de las coberturas presentes en la actualidad, permitiendo de esta manera identificar el color correspondiente a dicha cobertura en las imágenes satelitales (Figuras 24 y 25).

Cada cobertura ya georeferenciada e identificada por el establecimiento de sus límites según las diferencias en la vegetación, mediante un exhaustivo recorrido del área verificada se colectaron muestras botánicas de material existente en cada zona.

Inicialmente se asume la metodología enunciada por el Instituto Von Humboldt¹²⁴ de realizar colecciones generales de plantas para este estudio de tipo biogeográfico, posteriormente para determinar dominancia se aplicó una colecta para plantas leñosas con una unidad de muestra de 0.1 Ha., que equivale a 10 transectos de 0,2 x 50m para las áreas de bosques arbóreos, bosques en regeneración, subpáramo y para el páramo se hizo 10 cuadrantes de 5 x 5 m (25m²), la vegetación colectada fue tratada para su correspondiente identificación taxonómica, la cual fue realizada por el Profesor Bernardo Ramírez de la Universidad del Cauca.

3.8.4.3 Edición de la cartografía final. Como consecuencia de los dos anteriores procesos, se hizo necesaria la actualización de los datos gráficos, ya sea en cuanto, cartografía base, como datos gráficos específicos, ante los continuos cambios detectados en el terreno y la incorporación de los nuevos datos obtenidos por la revisión de campo.

¹²⁴ ALVAREZ, Mauricio. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigaciones de Recursos Hidrobiológicas Alexander Von Humboldt. Bogotá. 2004. 235p.

Una vez establecido el perfecto estado de la cartografía en su aspecto métrico y de información, se procedió a la incorporación de nuevos datos gráficos mediante su digitalización, los datos capturados se organizaron y estructuraron en niveles de acuerdo con las necesidades del proyecto, obteniendo de esta manera los correspondientes mapas que ilustran la presente investigación. (Figura 24)

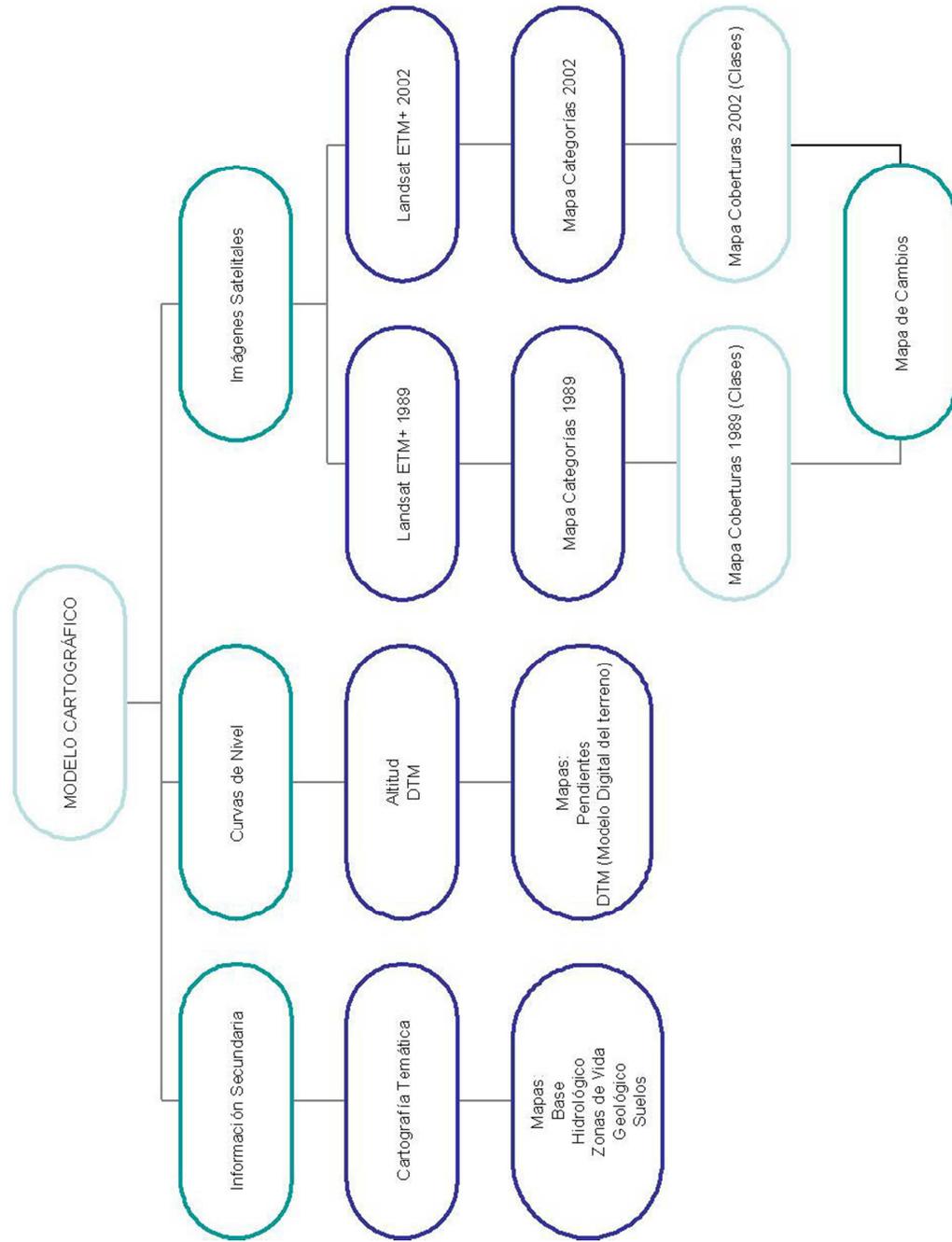
3.8.5 Análisis de la información. Las coberturas vectoriales resultantes de los mapas temáticos fueron introducidas en un SIG para su correspondiente análisis espacial y temporal, a partir de relaciones de unión e intersección de las coberturas como se muestran en los resultados con sus respectivos análisis. La metodología propuesta para esta investigación en la detección de los cambios en la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras, no se rige de acuerdo al modelo establecido por Chuvieco¹²⁵; este método se orienta a definir las clases espectrales presentes en la imagen sin reconocimiento del área de estudio, por lo que la intervención humana se centra más en la interpretación; además, establece tres clasificaciones en los cambios que se representan por: Cambios positivos, cambios negativos y sin cambios lo cual, implica una determinación muy general de los cambios en la cobertura vegetal.

Es necesario mencionar que para el análisis se estableció como unidad mínima de mapeo la hectárea ya que la distribución en la tenencia de la tierra según información predial, no existen propiedades menores a esta unidad de medida; por lo tanto, y teniendo en cuenta que el tamaño del pixel (30x30m) en las imágenes de satélite es menor a la hectárea facilita el análisis en las coberturas vegetales, principalmente en lo concerniente a cultivos y pastos.

3.8.6 Naturaleza de la investigación. Esta investigación se enmarcó dentro de la modalidad de proyecto descriptivo de campo, dado que comprende un análisis de variables ambientales, su descripción y situación actual en una unidad hidrográfica específica respecto a las actividades antropicas dentro de su territorio, desarrollando dos etapas: diagnóstico y resultados y evaluación del proyecto.

¹²⁵ CHUVIECO Emilio. Fundamentos de la teledetección espacial. Ediciones RIALP S.A.. Madrid 1990. 115 Pág.

Figura 24 Modelo Espacial Cartográfico



Fuente: Esta investigación

3.8.6.1 Fase I: Diagnóstico. En esta fase del proyecto, se establecieron las características generales de la unidad hidrográfica como tal; recopilando información bibliográfica y cartográfica, partiendo tanto, de una compilación de la información documental, territorial y análoga, así como sus rasgos fisiográficos, climatológicos, geológicos, geomorfológicos, hidrográficos y actividades antrópicas. Dicha revisión fue proporcionada por las instituciones oficiales a nivel regional como es la Universidad de Nariño¹²⁶, Empopasto¹²⁷¹²⁸, Corponariño, Alcaldías de Pasto¹²⁹¹³⁰ y Tangua¹³¹.

Las visitas a la comunidad asentada en esta región hidrográfica, fueron determinantes para poder detectar la problemática en los cambios de cobertura. Al aplicar el instrumento cualitativo (Anexo 4), entrevista estructurada dirigida a 20 personas representantes de familias que hacen parte de la vereda las Piedras, permitió el levantamiento de la información relacionada con las actividades de uso de la cobertura vegetal, que se han desarrollado en el periodo de tiempo analizado.

La información resultante a través del instrumento se procesó manualmente, relacionándola con la categorización obtenida como fase fundamental en la clasificación supervisada; es decir, la información levantada sobre las coberturas se amalgamó con el procesamiento de las imágenes y su correspondiente clasificación mediante los software ERDAS IMAGINE 8.1. y ArcGIS 9.3.; obteniendo clases con un resultado mucho más alto que en la clasificación no supervisada.

3.8.6.2 Fase II: Resultados y evaluación del proyecto. Compilada la información en la fase anterior, se tomaron los argumentos y elementos de juicio para la realización del análisis multitemporal de coberturas en la microcuenca Las Piedras; procediendo, a desarrollar y diseñar la forma de aproximación al análisis ambiental en términos de enfoque; criterios y procedimientos de acción en cuanto a recomendaciones dirigidas al manejo de los recursos naturales de dicha región.

En consecuencia, se trabajó en el análisis de los cambios de la cobertura vegetal entre los años propuestos, estableciendo tipos, porcentajes y razones, por las

¹²⁶ CORDOBA, Gustavo. Estimación de la capacidad hídrica de la quebrada Peñas Blancas, cuenca río las Piedras, departamento de Nariño. Universidad de Nariño. 2004. 37 p.

¹²⁷ EMPOPASTO. Plan de Manejo Ambiental para los Diseños de Captación y Conducción del Abastecimiento de la Quebrada Piedras para el Acueducto de Pasto. Pasto, 2000. 56 Pág.

¹²⁸ EMPOPASTO. Aprovechamiento de la quebrada las Piedras para el acueducto de Pasto. Colombia, Nariño, Pasto. 2008. Pág. 27

¹²⁹ ALCALDÍA DE PASTO – CORPONARIÑO – EMPOPASTO – CONIF. Formulación del Plan de ordenamiento y Manejo Integral del Río Bobo, Departamento de Nariño. Pasto, 2005. 58 pag.

¹³⁰ ALCALDÍA DE PASTO – CORPONARIÑO. Agenda Ambiental. Perfil Ambiental y Plan de Acción Municipio de Pasto 2004 – 2012. Pasto, 2005. 342 pag.

¹³¹ TANGUA. Esquema de Ordenamiento Territorial. Municipio de Tangua. 2002.

cuales se han dado dichos procesos, relacionando de esta manera, la información primaria proporcionada por la comunidad, los resultados del análisis de imágenes satelitales y la información relevante encontrada en las instituciones que intervienen con sus procesos en esta microcuenca; proceso que se apoyó en el modelo entidad relación, permitiendo llevar la investigación de acuerdo a los productos cartográficos esperados.

El modelo entidad-relación es el modelo conceptual más utilizado para el diseño conceptual de bases de datos. Fue introducido por Peter Chen en 1976. El modelo entidad-relación está formado por un conjunto de conceptos que permiten describir la realidad mediante un conjunto de representaciones gráficas y lingüísticas¹³².

La *Entidad* se refiere a cualquier tipo de objeto o concepto sobre el que se recoge información: para el caso de la presente investigación son todos los componentes que hacen parte de la dinámica biológica, social, económica, espacial de la microcuenca Las Piedras. Las entidades se representan gráficamente mediante rectángulos con su nombre al interior. Un nombre de entidad sólo puede aparecer una vez.

La *Relación* o interrelación, es una correspondencia o asociación entre dos o más entidades. Cada relación tiene un nombre que describe su función. Las relaciones se representan gráficamente mediante rombos y su nombre en el interior.

Las entidades que están involucradas en una determinada relación se denominan entidades participantes. El número de participantes en una relación es lo que se denomina grado de la relación. (Figura 25)

3.9 ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA

Dentro de la metodología asumida para este estudio y dando cumplimiento al cuarto objetivo específico se trabajó en el diseño de una propuesta de zonificación ecológica que permitió establecer pautas para la adecuada ocupación y uso del territorio.

Para delimitar las zonas de variación ecológica se requirió de un análisis integrado y una aproximación holística a la investigación y comprensión de la naturaleza de la microcuenca; las unidades por definición, corresponden a unidades geográficas donde los distintos atributos del territorio están integrados de tal manera que las unidades denoten o muestran una distinción ecológica y socioeconómica.

La información a manejar fue agrupada en aspectos físicos abióticos (Geomorfología, relieve, suelos, geología, clima), aspectos Bióticos (Flora) y aspectos socioeconómicos y antrópicos. Como antrópico se definieron los efectos

¹³² CHEN, Pin Shan Chen. The entity-relationship model-toward a unified view of data, ACM transactions on database systems, Vol. 1. 1976, Pág. 9 – 36.

de las actividades humanas sobre la tierra, tales como patrones de asentamientos humanos, usos del suelo, explotaciones económicas, ocupación sociocultural de las zonas ecológicas; aspectos que se cruzaron posteriormente para llegar a dicha zonificación.

Dicho proceso de zonificación, pretendió identificar unidades relativamente homogéneas desde el punto de vista físico, biológico y socioeconómico, con el propósito de facilitar la toma de decisiones para las diferentes alternativas de uso sostenible del territorio y de sus recursos naturales.

Unidades ecológicas: ¹³³Teniendo en cuenta todas las características físicas, biológicas y socioeconómicas, que permitieron elaborar la zonificación para un uso más adecuado del territorio, y siguiendo la metodología de la FAO se identificaron las siguientes unidades ecológicas:

*Unidad bio – ecológica*¹³⁴: Su finalidad es identificar ambientes con vocación para la conservación de la biodiversidad existente en el área de estudio, para lo cual se tuvo en cuenta la información de cobertura vegetal, topografía y población. Esta unidad se caracteriza porque puede ser aprovechada como hábitat y refugio de vida silvestre, principalmente en aquellas áreas ubicadas en las vertientes de las quebradas afluentes en cuya topografía agreste no permite actividades antrópicas.

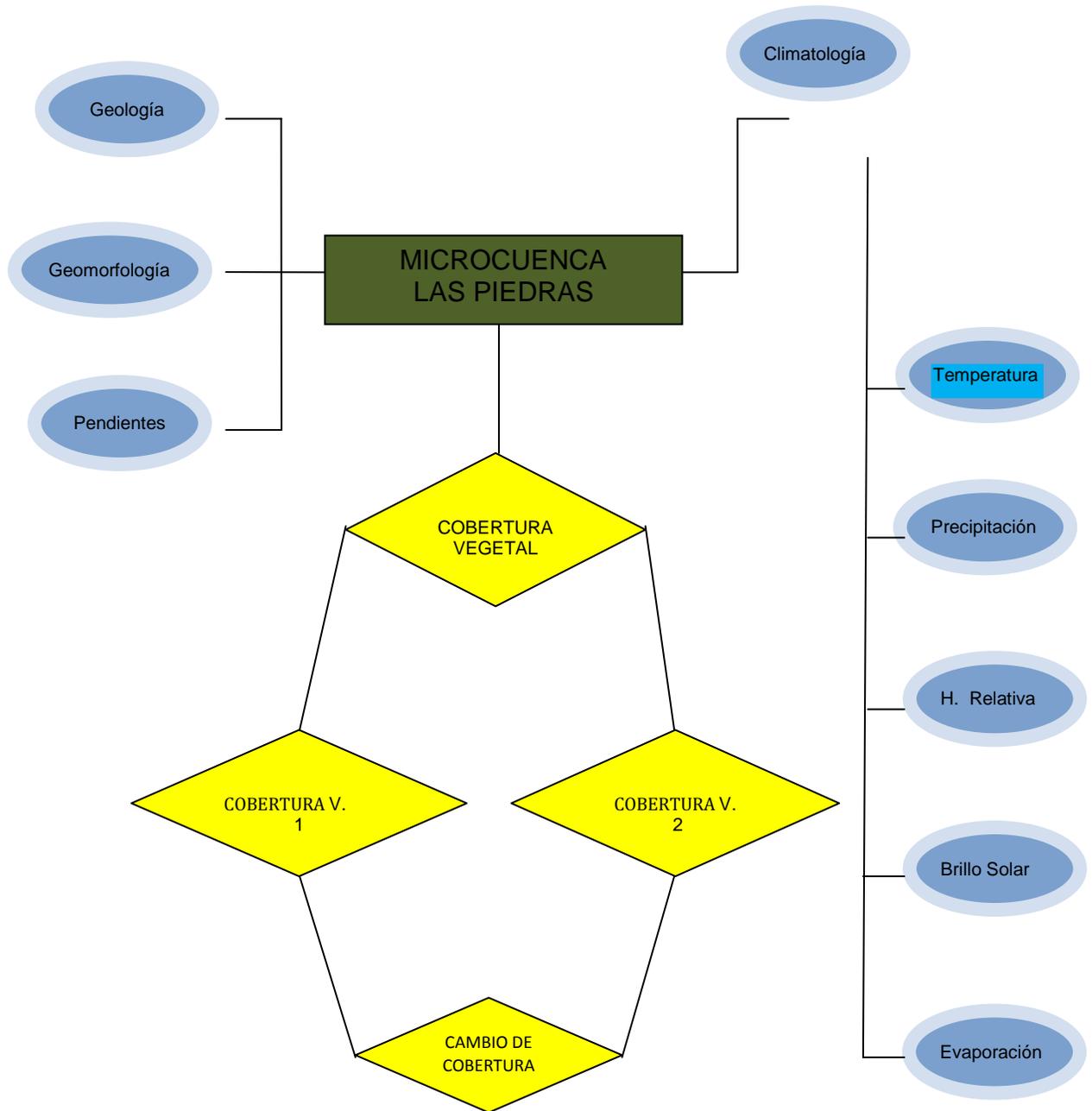
*Unidades productivas*¹³⁵: Considerando las diferentes características físicobióticas y socioeconómicas del área de estudio, se identificaron unidades relativamente homogéneas las cuales fueron evaluadas con el propósito de encontrar el uso más apropiado acorde a su vocación; principalmente en lo relativo a las actividades agrícolas, ganaderas y forestales (cultivos de eucalipto y pino).

¹³³ FAO. Zonificación Agroecológica, Guía General. Roma 1997. en: www.fao.org/docrep/w2962s/w2962s00 falta fecha de visita

¹³⁴ *Ibíd.* Pág. 2.

¹³⁵ *Ibíd.* Pág. 2.

Figura 25. Modelo Entidad Relación.



Fuente de esta investigación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA LAS PIEDRAS, MUNICIPIO DE TANGUA, A TRAVÉS DE UN ANÁLISIS MULTITEMPORAL ENTRE LOS AÑOS 1989 – 2002.

El análisis de las imágenes de satélite Landsat TM 19890807 y Landsat TM 20021014 (figuras 26 y 27) permitieron obtener datos de la microcuenca Las Piedras, estableciendo categorías, clases y la detección de los cambios en la cobertura vegetal entre los años 1989 y 2002.

4.1.1 Identificación de categorías para la clasificación de coberturas vegetales en la microcuenca Las Piedras. Al inicio se realizó la categorización de las coberturas vegetales tal y como se planteó anteriormente. El software definió tres categorías iniciales, las cuales posteriormente mediante la clasificación supervisada se establecieron ocho clases finales de cobertura. Las tres categorías de entrenamiento fueron definidas como Bosque, Páramo y Transformado (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías de entrenamiento para la clasificación de coberturas vegetales en la microcuenca Las Piedras

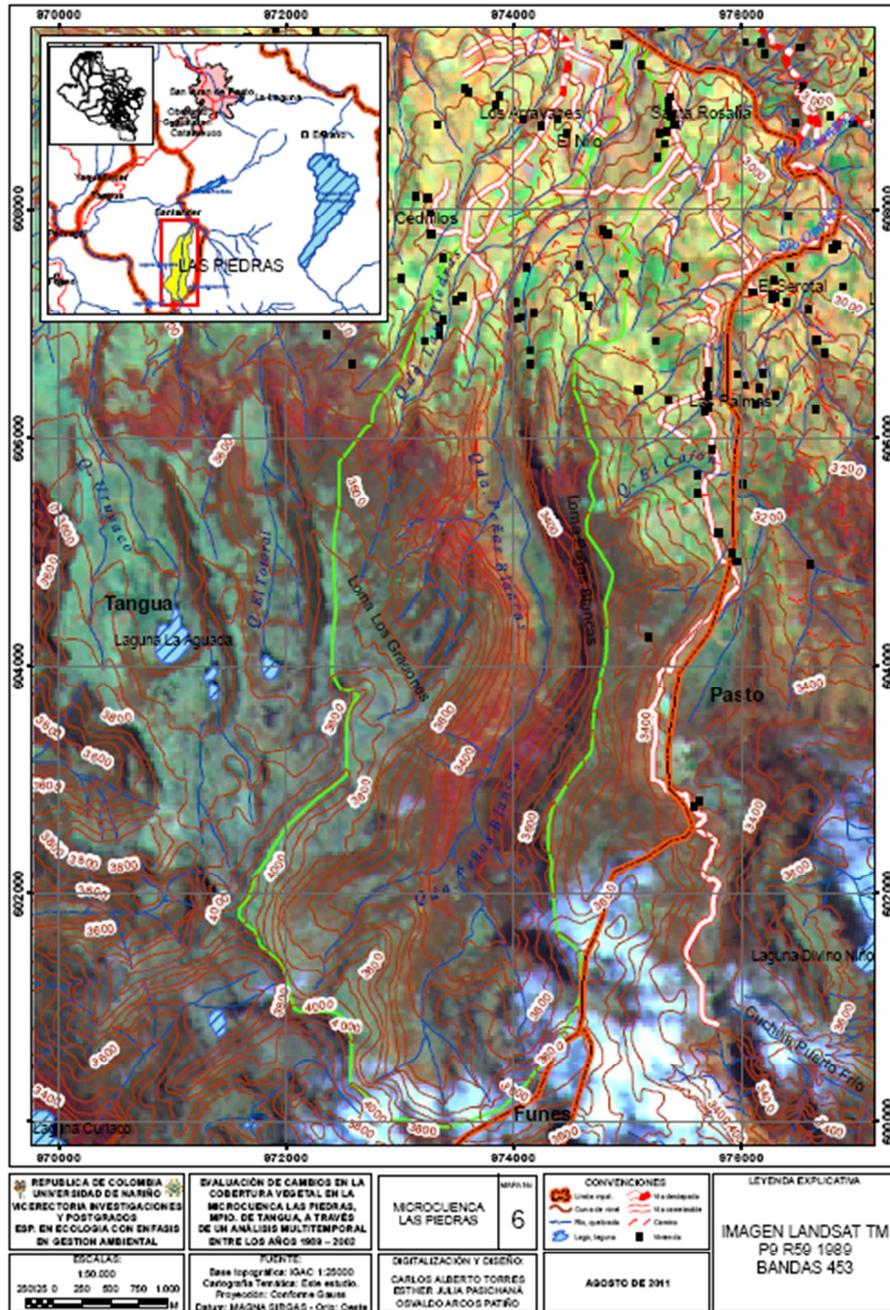
| CATEGORIAS DE ENTRENAMIENTO | 1989 | 2002 |
|-----------------------------|---------|---------|
| | AREA Ha | AREA Ha |
| Bosque | 456,94 | 466,76 |
| Páramo | 984,48 | 956,62 |
| Transformado | 290,10 | 308,13 |
| TOTAL | 1731,52 | 1731,52 |

Fuente de esta investigación.

El Bosque entendido como la cobertura vegetal que corresponde a la selva altoandina, se ubica entre los 2.300 y los 3.100 msnm. Está conformado por los bosques primarios y secundarios intervenidos, algunos en proceso de regeneración natural, la mayoría de los árboles presentan sus troncos cubiertos con musgo y epifitas¹³⁶

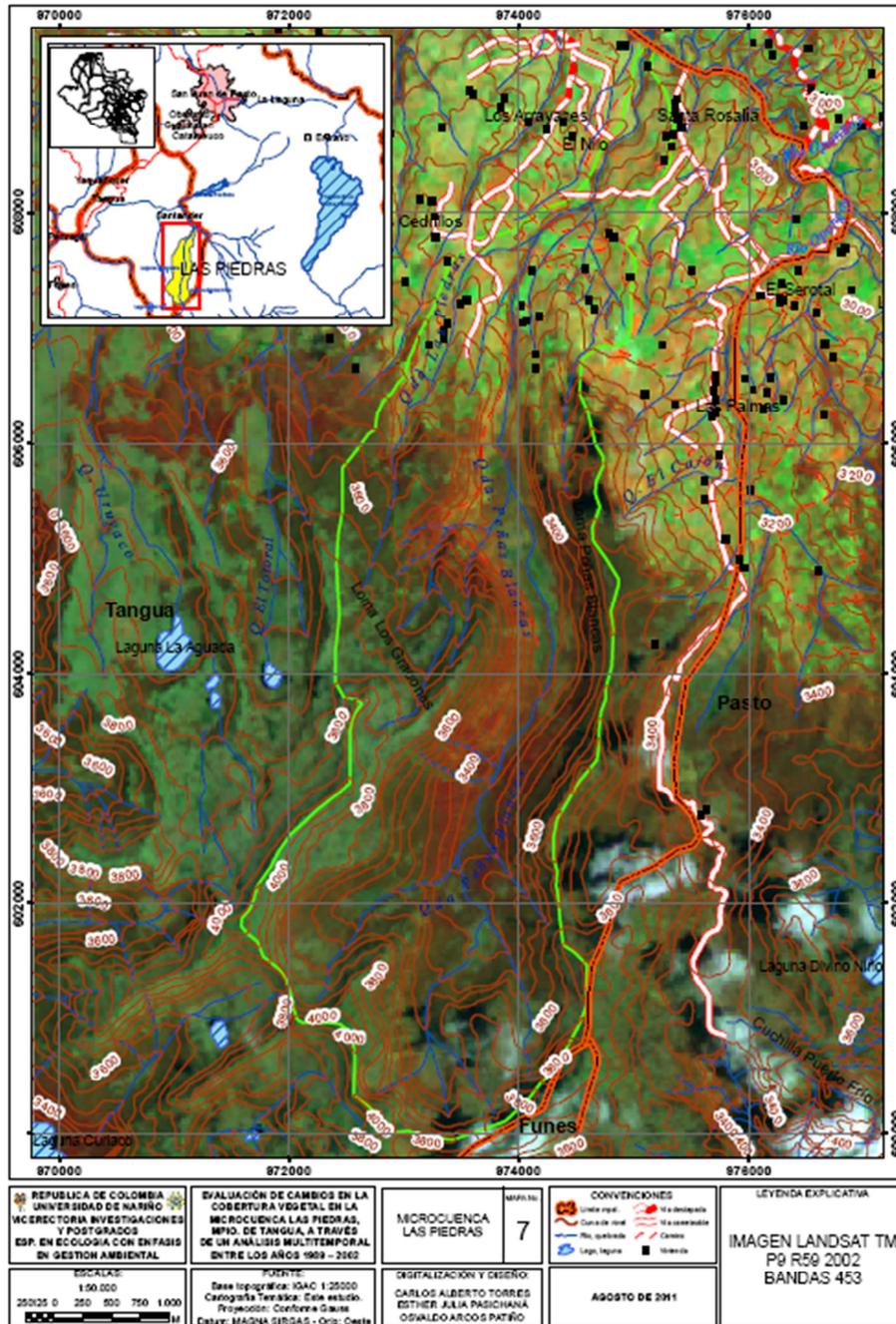
¹³⁶ LOPEZ DE VILES, Nancy. Plan de manejo 2006-2010 Santuario de Flora isla La Corota. UESPNN. Pasto 2005. Pág. 15

Figura 26. Imagen Landsat TM 19890807



Fuente de esta investigación.

Figura 27. Imagen Landsat TM 20021014



Fuente de esta investigación.

El páramo, como complejo de ecosistemas de alta montaña en América tropical, localizado por encima del límite altitudinal del bosque altoandino, diferenciado de otras zonas altitudinales tropicales por la composición taxonómica de su flora, y en ocasiones por diferencias en la precipitación y fisonomía¹³⁷ El desarrollo de un sistema montañoso que alcanza hacia el sur del departamento los 4764 m y 4719 m en los volcanes Cumbal y Chiles respectivamente, ha permitido la evolución de varias áreas de páramos, que en general se encuentran por encima de los 3200 m.¹³⁸

Transformada, como aquella área en donde las coberturas naturales han sido transformadas para el desarrollo directo de actividades antrópicas, principalmente agropecuarias (Figuras 28 y 29). Monasterio (2002)¹³⁹ menciona que la colonización agrícola del páramo se implementó en una franja comprendida entre los 2800 y 3800 m de altitud, reflejándose en ella todavía los paisajes agrícolas relictos de la época prehispánica y de la Independencia: la *cultura de la papa* y la *cultura del trigo*, que se influenciaron mutuamente. Estos enclaves culturales se interdigitan con paisajes contemporáneos surgidos durante la intensa transformación del páramo

Este primer proceso de forma general, evidenció cambios directos presentados en la microcuenca Las Piedras, como por ejemplo: el páramo que pasó de 984,48 Ha a 956,62 Ha, observándose una disminución de 27,86 Ha.

4.1.2 Clasificación supervisada de coberturas en la microcuenca Las Piedras. A partir del procesamiento digital de las imágenes del sensor, se obtuvieron ocho clases finales de cobertura (Tabla 4 y Figura 30), las cuales se explican con su correspondiente símbolo cartográfico de la siguiente manera:

¹³⁷ VAN DER HAMMEN, Tomas y RANGEL, Orlando. El Estudio de la vegetación en Colombia (recuento histórico-tareas futuras). En: RANGEL, Orlando y Otros. Colombia Diversidad biótica II. Instituto de ciencias naturales, Universidad Nacional de Colombia e IDEAM. Santafé de Bogotá 1997. Pág. 17-46.

¹³⁸ SOLARTE, M. RIVAS, G., BACA, A. E., CALDERÓN. J., NARVÁEZ G., RENGIFO. J., MUÑOZ, D., Y TORRES, C. Estado del Arte de los páramos del Departamento de Nariño: Componentes Físico Biótico y Socioeconómico. Vicerrectoría de Investigaciones Universidad de Nariño y Corponariño. Pasto, Colombia. Informe final Convenio Corponariño y Universidad de Nariño. 2007

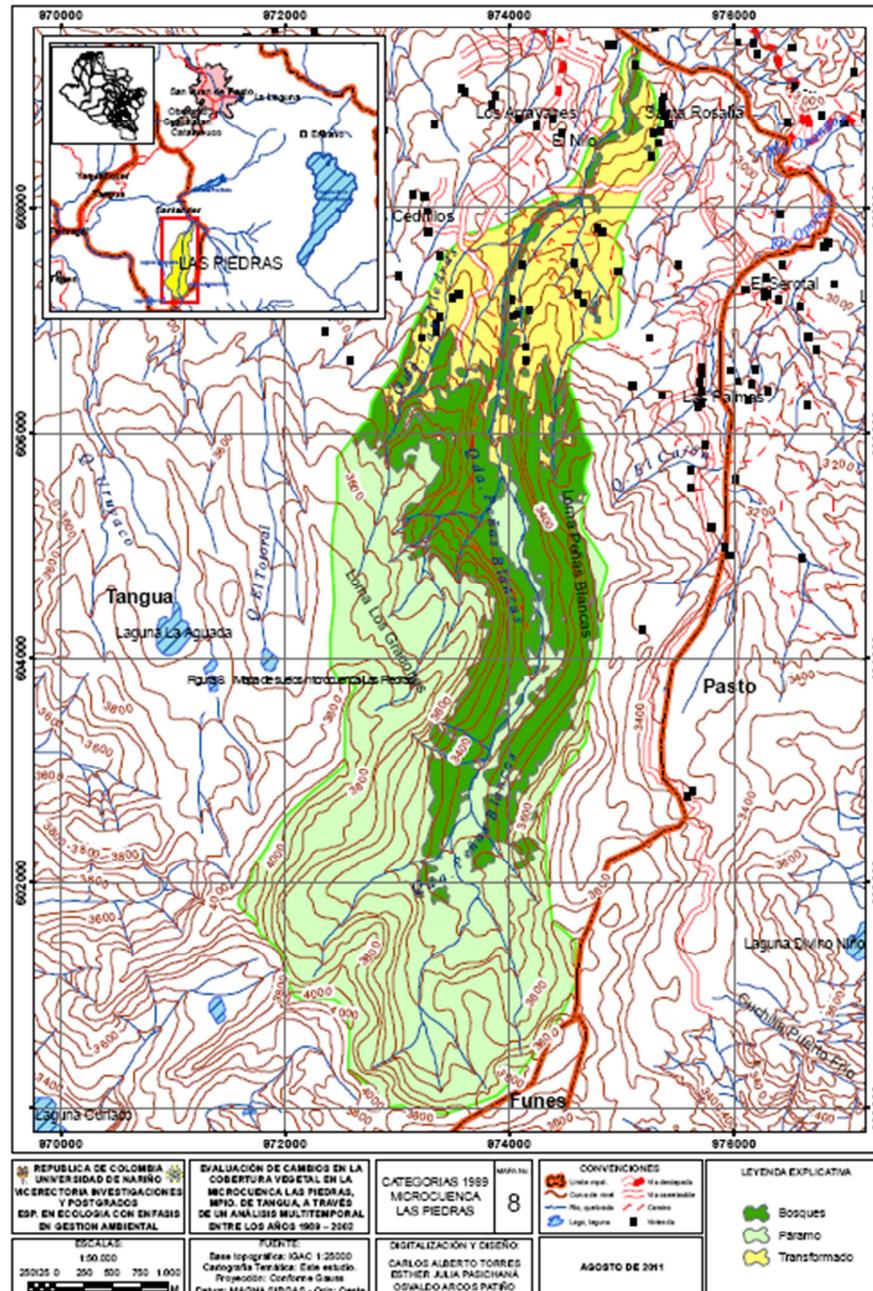
¹³⁹ MONASTERIO, Maximina. Evolución y transformación de los páramos en la cordillera de Mérida . Paisajes naturales y culturales. Venezuela. UNESCO. 2002. 99-109

Tabla 4. Coberturas obtenidas de la clasificación supervisada en la microcuenca Las Piedras

| CLASES | | 1989 | 2002 | CAMBIO |
|----------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| Símbolo Cartográfico | COBERTURA | AREA Ha | AREA Ha | AREA Ha |
| BA | Bosque Arbóreo | 215,89 | 145,76 | 70.13 |
| Br | Bosque en regeneración | 236,37 | 321,00 | 84.63 |
| Cl | Cultivos | 251,27 | 236,62 | 14.65 |
| Ch | Charcas | 1,10 | 0,90 | 0.2 |
| Pr | Páramo | 344,82 | 277,08 | 67.74 |
| SPr | Subpáramo | 638,56 | 678,64 | 40.08 |
| Ps | Pastos | 38,83 | 71,51 | 32.68 |
| Sc | Sin Cobertura | 4,68 | 0,00 | 4.68 |
| TOTAL | | 1731,52 | 1731,52 | |

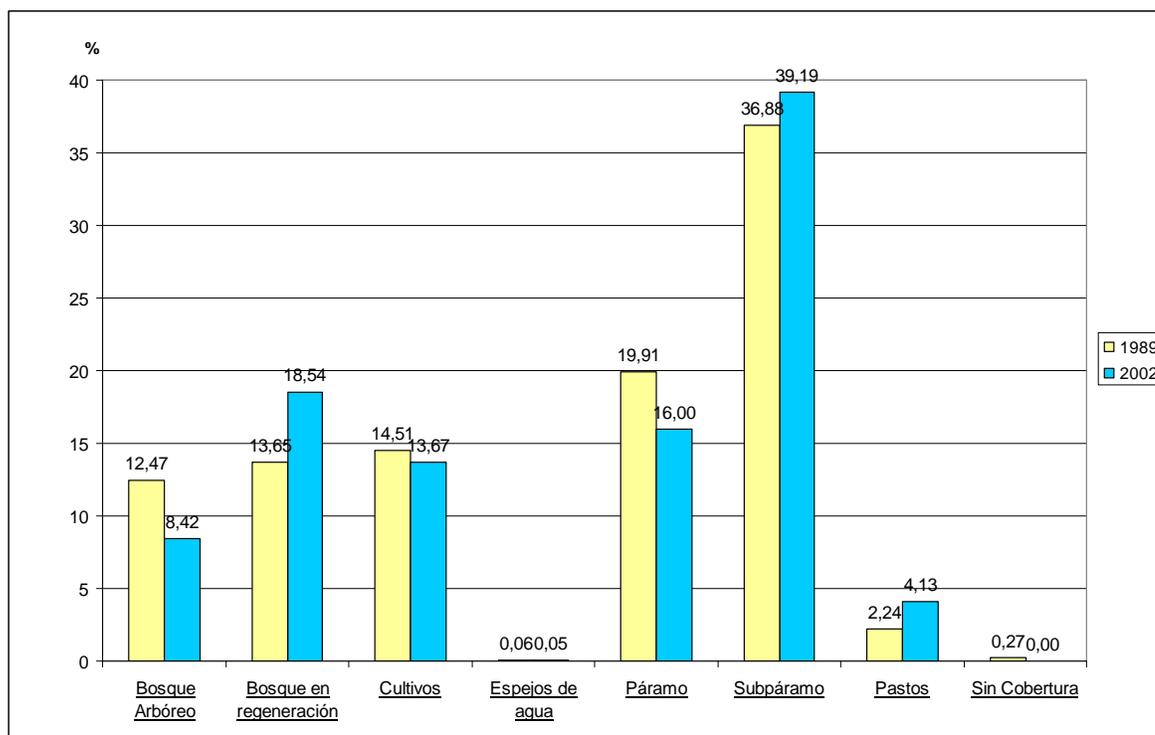
Fuente de esta investigación

Figura 28. Categorías vegetales 1989 microcuenca Las Piedras.



Fuente de esta investigación

Figura 30. Cambios porcentuales de cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras entre los años 1989 – 2002



Fuente de esta investigación.

4.1.2.1 Bosque Arbóreo (BA). En la microcuenca Las Piedras se encuentran estas unidades de vegetación de selva altoandina con distintos grados de intervención que muestran dominio de familias Ericaceae, melastomatáceae, Cunoniaceae y Asteraceae y un predominio de especies arbóreas de 18 m de altura en promedio, y con una altitud de 3330 a 3460 msnm. como es el caso de *Disterigma cf. acuminatum* (Kunth) Nied, *Tibouchina mollis* (Bonpl.) Cogn, *Ocotea infrafoveolata* Van der Werff, *Weinmannia mariquitae* Szyszylowicz, *Gaultheria erecta* Vent., *Clusia multiflora* Kunth y *Weinmannia rollottii* Killip. Por lo general de doseles superiores amplios, continuos y entramados; de diferentes edades; y con más de dos estratos verticales o pisos bien diferenciados¹⁴⁰ (Figura 31).

¹⁴⁰ ORTIZ, Consuelo. KOHLER Alois. y BOTERO Alvaro. Guía para determinar unidades de cobertura y uso del suelo. Proyecto Río Guatiquía. Pág. 30

Figura 31. Bosque Arbóreo (fotografía)



Fuente de esta investigación.

Cuentan con individuos de especies arbóreas, generalmente de fustes erguidos y una altura entre 10 a 20 metros, poseen sistemas radiculares anclados, evidenciando epifitismo en la mayoría de los individuos presentes en el área. Los bosques son de importancia estratégica para la producción de agua, estabilidad de suelos, conservación de biodiversidad, paisaje y refugio de fauna silvestre, entre otras formas¹⁴¹.

El sotobosque no presenta las mismas características en toda el área de estudio, en algunos lugares es denso sobre todo en áreas de regeneración y menos denso en aquellos lugares en donde la intervención antrópica es mínima.

Los relictos de bosque menos intervenidos, se ubican hacia la parte alta de la microcuenca, como resultado de las agrestes condiciones geográficas, no aptas para el establecimiento de actividades agropecuarias.

Esta clase de cobertura supervisada disminuyó en 70,13 Ha (4,05%), como resultado directo de la extracción de especies vegetales para la generación de carbón vegetal, leña y posteadura para cercas destinadas a las explotaciones extensivas de ganado bovino. Las áreas de influencia directa o de mayor explotación fueron los lugares en donde se presentaron los mayores cambios en su reducción, hacia la cuenca media en las estribaciones de la loma Los Gradones y la Loma Peñas Blancas.

¹⁴¹ Ibid. ORTIZ, Consuelo, KOHLER Alois y BOTERO Alvaro. Pág. 31.

Entre las especies vegetales más representativas de esta cobertura se encontraron las siguientes:

Tabla 5. Vegetación encontrada en la cobertura de bosque arbóreo

| No. | FAMILIA | GENERO ESPECIE |
|-----|------------------|---|
| 1 | Actinidiaceae | Saurauia ursina (Tr.& Pl) |
| 2 | Araceae | Anthurium sp. |
| 3 | Araliaceae | Schefflera marginata Cuatrec. |
| 4 | Araliaceae | Oreopanax argentatus (Kunth) Decne. & Planch. |
| 5 | Asteraceae | Ageratina tinifolia (Kunth) R.M. King & H. Rob. |
| 6 | Asteraceae | Diplostephium bicolor S.F. Blake |
| 7 | Asteraceae | Diplostephium floribundum (Benth.)Wedd |
| 8 | Berberidaceae | Berberis grandiflora Turcz. |
| 9 | Betulaceae | Alnus acuminata Kunth |
| 10 | Blechnaceae | Blechnum auratum. (Fée)R.M.Tryon &Stolze |
| 11 | Blechnaceae | Blechnum sp |
| 12 | Boraginaceae | Tournefortia fuliginosa Kunth |
| 13 | Bromeliaceae | Racinaea tetrantha.Ruiz &Pav.) Spencer &L.B. Sm |
| 14 | Clethraceae | Clethra fagifolia Kunth |
| 15 | Clusiaceae | Clusia multiflora Kunth |
| 16 | Cunoniaceae | Weinmannia brachystachya willd.ex Pamp |
| 17 | Cunoniaceae | Weinmannia multijuga Killip&Smith. |
| 18 | Cunoniaceae | Weinmannia mariquitae Szyszylowicz |
| 19 | Cunoniaceae | Weinmannia rollottii Killip |
| 20 | Dennstaedtiaceae | Hypolepis sp. |
| 21 | Dennstaedtiaceae | Histiopteris incisa Thunb |
| 22 | Dicksoniaceae | Sellowiana Hook. |
| 23 | Dicranaceae | Dicranum sp. |
| 24 | Ericaceae | Macleania rupestris (Kunth) A.C.Sm |
| 25 | Ericaceae | Bejaria glauca (H.B.K.) |
| 26 | Ericaceae | Cavendishia bracteata (R&P) Hoer. |
| 27 | Ericaceae | Gaultheria strigosa Benth var. |
| 28 | Ericaceae | Plutarchia angulata A.C.Smith. |
| 29 | Ericaceae | Disterigma cf. acuminatum (Kunth) Nied. |
| 30 | Ericaceae | Gaultheria erecta Vent. |
| 31 | Flacourtiaceae | Xylosma benthamii(Tul.)Triana & Planch |
| 32 | Hymenophyllaceae | Hymenophyllum sp |
| 33 | Hypericaceae | Hypericum ruscoides Cuatr. |
| 34 | Lauraceae | Ocotea infrafoveolata Van der Werff |

| | | |
|----|-----------------|---|
| 35 | Loranthaceae | Gaiadendron punctatum(R&P) G.Don |
| 36 | Melastomataceae | Miconia harlingii Wurdack |
| 37 | Melastomataceae | Miconia jahnii Pittier |
| 38 | Melastomataceae | Miconia polyneura Triana |
| 39 | Melastomataceae | Tibouchina mollis (Bonpl.) Cogn. |
| 40 | Orchidaceae | Elleanthus ensatus Rchb f. |
| 41 | Orchidaceae | Epidendrum frutex Rchb f. |
| 42 | Orchidaceae | Epidendrum frigidum Linden ex Lindl. |
| 43 | Orchidaceae | Cyrtochilum sp. |
| 44 | Plagiochilaceae | Plagiochilla sp. |
| 45 | Solanaceae | Solanum sp1. |
| 46 | Solanaceae | Solanum sp2 |
| 47 | Theaceae | Gordonia humboldtii H. Keng |
| 48 | Urticaceae | Pilea sp. |
| 49 | Viscaceae | Dendrophthora chrysostachya. (Presl) Urb. |

Fuente de esta investigación

4.1.2.2 Bosque en regeneración (Br). Unidades conformadas por una mezcla de arvenses y fustales jóvenes de especies arbóreas dominantes en unidades de bosque cercano, así como también por arbolitos y arbustos de especies leñosas colonizadoras. Generalmente se les denominan rastrojos¹⁴² (Figura 32).

¹⁴² Ibid. ORTIZ, Consuelo, KOHLER Alois y BOTERO Alvaro. Pág. 31.

Figura 32. Bosque arbustivo (fotografía)



Fuente de esta investigación.

Esta unidad se encuentra dispersa, generalmente cubierto por rastrojos en descanso para las áreas de directa intervención antrópica a razón de un estrés a que selectivo; aparecen como zonas de transición o cercas vivas entre unidades de bosque, pastos y cultivos permanentes. Hacia las zonas medias de la microcuenca en áreas de alta intervención, se hallan las áreas que fueron utilizadas para la extracción de leña y carbón vegetal y se encuentran en un proceso de regeneración natural, resultante de la búsqueda por satisfacer las necesidades personales o comunitarias, utilizando la madera como combustible (leña o carbón vegetal) para cocinar y calentar; del mismo modo, las actividades económicas en el campo requieren de áreas para el ganado o para cultivar diferentes productos, generando una gran presión sobre sus bosques.

Esta categoría, para el año 2002 aumentó en 84,63 Ha (4,89%) como resultado directo de los procesos económicos basados en la extracción vegetal de los bosques de la microcuenca; demostrando de esta manera que en 13 años han desaparecido 70,13 Ha de Bosque arbóreo. Las familias que dominan por número de especies se encuentran: Melastomatacea, Ericaceae y Rubiáceae. A nivel de especies dominantes encontradas fueron: *Maclenia rupestris* (Kunth) A.C.Sm, *Clusia multiflora* Kunth., *Gaultheria erecta*.Vent., *Miconia* sp., *Berberis grandiflora* Turcz., y *Weinmannia rollottii* Killip. Y en la tabla No. 6 se describe todo el listado de especies vegetales representativas de esta cobertura:

Tabla 6. Vegetación encontrada en la cobertura de bosque en regeneración

| No. | FAMILIA | GENERO ESPECIE |
|-----|------------------|---|
| 1 | Alstroemeriaceae | Bomarea linifolia (Kunth) Baker |
| 2 | Araceae | Anthurium sp. |
| 3 | Asteraceae | Baccharis buddlejoides. Kunth |
| 4 | Asteraceae | Oligactis coriacea (Hieron) H. Rob & Brettell |
| 5 | Berberidaceae | Berberis grandiflora Turcz. |
| 6 | Betulaceae | Alnus acuminata Kunth. |
| 7 | Campanulaceae | Siphocampylus giganteus (Cav) G.don |
| 8 | Clusiaceae | Clusia multiflora Kunth |
| 9 | Cunoniaceae | Weinmannia rollottii Killip |
| 10 | Dennstaedtiaceae | Hypolepis sp. |
| 11 | Dicranaceae | Dicranum sp. |
| 12 | Ericaceae | Pernettya prostrata (Cav) DC. |
| 13 | Ericaceae | Gaultheria erecta.Vent. |
| 14 | Ericaceae | Disterigma sp. |
| 15 | Ericaceae | Gaultheria foliolosa Benth |
| 16 | Ericaceae | Macleania rupestris (kunth)A.C.Sm |
| 17 | Fabaceae | Trifolium repens L. |
| 18 | Gunneraceae | Gunnera pilosa H.B.K. |
| 19 | Lamiaceae | Minthostachys tomentosa (Benth) Epling |
| 20 | Melastomataceae | Tibouchina mollis (Bonpl) Cogn |
| 21 | Melastomataceae | Brachyotum c.f. benthamium Tr. |
| 22 | Melastomataceae | Brachyotum ledifolium (Desr) Triana |
| 23 | Melastomataceae | Miconia harlingii Wurd |
| 24 | Melastomataceae | Miconia sp. |
| 25 | Phytolaccaceae | Phytolacca bogotensis (H.B.K.) |
| 26 | Polygalaceae | Monnina arborescens Ferreira |
| 27 | Pteridaceae | Eriosorus flexuosus (H.B.K.) Copel |
| 28 | Rosaceae | Rubus cf. Macrocarpus Benth |
| 29 | Rosaceae | Rubus compactus Benth |
| 30 | Rubiaceae | Palicourea amethystina. (Ruiz & Pav)DC. |
| 31 | Rubiaceae | Nertera granadensis (Mutis ex L.f.) |
| 32 | Rubiaceae | Palicourea angustifolia H.B.K. |
| 33 | Scrophulariaceae | Calceolaria perfoliata Lf |
| 34 | Solanaceae | Solanum sp. |
| 35 | Thelypteridaceae | Thelypteris sp. |
| 36 | Urticaceae | Bohemeria sp. |
| 37 | Urticaceae | Pilea sp. |
| 38 | verbenaceae | Verbena littoralis H.B.K. |

Fuente de esta investigación

4.1.2.3 Cultivos (CI). Dentro del área de estudio se establecen dos tipos de cultivos, permanentes y transitorios.

Los cultivos permanentes se identifican como áreas sembradas con especies de valor comercial o de autoconsumo cuya característica es su permanencia por un periodo mayor de dos años. En la zona se encuentran plantaciones de moras (*Rubus glaucus*), que la UMATA del municipio de Tangua trata de implementar pero con resultados no muy rentables por la baja escala en que se emprende este proyecto y la falta de acompañamiento. (Figuras 33).

Figura 33. Cultivos permanentes (fotografía)



Fuente de esta investigación.

Los cultivos transitorios comprenden áreas dedicadas al cultivo de especies de ciclo corto por tanto estos terrenos son sometidos a labranza por lo menos una vez al año en terrenos con pendientes son mayores al 40% y en muchas ocasiones con surcos no atravesados; Los más representativos cultivos son la papa, haba y hortalizas como las coles (*Brassica oleracea* var. *Viridis*). (Figuras 34)

Esta unidad en total, aumentó en 14,65 Ha (0,85%) como resultado de nuevas siembras sobre todo, de cultivos transitorios como la papa (*Solanum Tuberosum* L), el haba (*Vicia faba*) y coles (*Brassica oleracea* var. *Viridis*); después de dejar reposar el terreno por algún tiempo, cubierto generalmente de pastos naturales

como el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Los cultivos tanto permanentes como transitorios se ubican principalmente esparcidos en la parte baja y en dirección hacia el norte de la microcuenca, mostrándose muy bien diferenciados en las imágenes satelitales.

Figura 34. Cultivos transitorios (fotografía)



Fuente de esta investigación.

4.1.2.4 Charcas (Ch). Son pequeños reservorios de agua resultado del modelado glaciar que en sus avances y retrocesos les dio forma, presentan un tamaño reducido, al igual que su profundidad, localizados hacia la zona centro occidental de la microcuenca; constituidos como masas de agua procedentes de la lluvia que queda retenida en la superficie de terrenos impermeables, generalmente asociado a la noción de temporalidad.

Por lo tanto, nos encontramos con un humedal el cual se caracteriza por presentar áreas planas, en la que la superficie se inunda permanente o intermitentemente, dependiendo de la época del año, es una zona de la que está temporal ó permanentemente inundada, regulada por factores climáticos, ubicados en la zona media de la microcuenca, sobre la loma Los Gradones.

Los espejos de agua detectadas en la imagen satelital Landsat TM de 1989 disminuyeron para el año 2002 en 0,20 Ha (0,01%), indicando que de la época a la actualidad se presenta una disminución en estos reservorios naturales como resultado de la directa intervención humana y los cambios climáticos estacionarios que regulan la zona durante todo el año. (Figura 35)

Figura 35. Charcas (fotografía)



Fuente de esta investigación.

4.1.2.5 Páramo (Pr). Cuatrecasas¹⁴³ define al páramo como extensas regiones desarboladas que coronan las sumidades de las cordilleras por encima del bosque Andino, desde los 3.800 metros de altura (localmente desde 3.200 metros). Son fríos y húmedos sufriendo cambios meteorológicos bruscos, están casi siempre cubiertos por la niebla, recibe frecuentes precipitaciones y son a menudo azotados por los vientos. Los fríos días neblinosos y lluviosos pueden alternar con otros despejados, soleados y cálidos, pero las noches son siempre frías, nevando frecuentemente a una altura superior a 4.400 metros. Estos conceptos sobre páramo se adoptan para la presente investigación ya que se ajusta muy bien para la zona de estudio. (Figura 36); las áreas con cobertura específica de páramo en la microcuenca las Piedras se ubican principalmente en la zona sur en la cuenca alta, en las crestas o partes altas en las divisorias de aguas tanto en la loma los Gradones y la Loma Peñas Blancas.

¹⁴³ CUATRECASAS, José. Aspectos de la vegetación natural de Colombia», vol. 10, n. 40, pág. 225 – 269. 1958.

Figura 36. Páramo (fotografía)



Fuente de esta investigación.

De acuerdo a la investigación realizada, la altitud de esta zona se encuentra entre los 3650 y los 4000msnm, donde esta clase disminuyó en 67,74 Ha (3,91%), como resultado del incremento de la actividad humana por actividades tales como es el pastoreo intensivo de ganado bovino, cultivo de papa, la deforestación por tala y quema de grandes extensiones de áreas naturales, durante los últimos años en la microcuenca Las Piedras. Entre las especies vegetales más representativas de esta cobertura se presenta en la Tabla 7, las familias que presentan mayor dominancia son: Asteraceae, Ericaceae y Orchidaceae. De las especies de mayor dominancia son: *Hypericum aciculare* Kunth., *Pentacalia stuebelii* (Hieron.) Cuatrec., *Espeletias pycnophilla* Cuatrec., *Diplostephium glandulosum* Hieron. y *Calamagrostis effusa* (Kunth) Steud.

Tabla 7. Vegetación encontrada en la cobertura de páramo

| No. | FAMILIA | GENERO ESPECIE |
|-----|-----------------|--|
| 1 | Asteraceae | Espeletia pycnophylla. Cuatrec. |
| 2 | Asteraceae | Diplostphium cayambense. Cuatrec.Shrub |
| 3 | Asteraceae | Baccharis buddlejoides. Kunth |
| 4 | Asteraceae | Orithophium peruviana. Cuatrec. |
| 5 | Asteraceae | Ageratina tinifolia (Kunth) R.M. King & H. Rob.) |
| 6 | Asteraceae | Baccharis macrantha H.B.K. |
| 7 | Asteraceae | Conyza sp. |
| 8 | Asteraceae | Diplostephium floribundum (Benth) Wedd |
| 9 | Asteraceae | Diplostephium floribundum subsp. Putumayense (Benth) Wedd. |
| 10 | Asteraceae | Ginoxys sancti-antonii.Cuatrec. |
| 11 | Asteraceae | Pentacalia vaccinioides (H.B.K.) |
| 12 | Asteraceae | Diplostephium bicolor S.F. Blake |
| 13 | Asteraceae | Pentacalia stuebelii (Hieron.) Cuatrec. |
| 14 | Asteraceae | Diplostephium glandulosum Hieron. |
| 15 | Blechnaceae | Blechnum loxense. (Kunth) Hook ex salomon |
| 16 | Bromeliaceae | Puya sp |
| 17 | Clethraceae | Clethra ovalifolia Turcz |
| 18 | Clusiaceae | Hypericum lancioides Cuatrec. |
| 19 | Clusiaceae | Hypericum aciculare Kunth |
| 20 | Cunoniaceae | Weinmannia brachystachya willd.ex Pamp |
| 21 | Cyperaceae | Rhynchospora sp Vahl |
| 22 | Ericaceae | Pernettya prostrata (CAV)DC. |
| 23 | Ericaceae | Plutarchia angulata A:C:SM |
| 24 | Ericaceae | Gaultheria erecta.Vent. |
| 25 | Ericaceae | Gaultheria foliolosa Benth |
| 26 | Ericaceae | Thibaudia parviflora (Benth) Hoerold |
| 27 | Ericaceae | Vaccinium floribundum Kunth |
| 28 | Ericaceae | Semiramisia pulcherrima A.C. Smith |
| 29 | Eriocaulaceae | Paepalanthus sp. |
| 30 | Flacourtiaceae | Xylosma benthamii(Tul.)Triana & Planch |
| 31 | Gentianaceae | Gentianella sp |
| 32 | Gentianaceae | Halenia weddeliana. Gilg |
| 33 | Hypericaceae | Hypericum ruscoides Cuatr. |
| 34 | Isoetaceae | Isoetes novogranatensis H.P. Fuchs |
| 35 | Lophosoriaceae | Lophosoria quadripinnata (J.F. Gmel)C.Chr |
| 36 | Loranthaceae | Gaiadendron punctatum.(Ruiz & Pav)G.Don |
| 37 | Lycopodiaceae | Huperzia crassa(Humb & Bonph.ex willd)Rothm |
| 38 | Melastomataceae | Miconia ochracea.Triana shrub |

| No. | FAMILIA | GENERO ESPECIE |
|-----|------------------|--|
| 39 | Melastomataceae | Brachyotum ledifolium (Desr) Triana |
| 40 | Melastomataceae | Tibouchina grossa (L.F.) |
| 41 | Myrtaceae | Myrteola nummularia.(Poir.) O. Berg |
| 42 | Orchidaceae | Stelis pusilla. Kunth |
| 43 | Orchidaceae | Elleanthus aurantiacus. Lindl. Rchb.f. |
| 44 | Orchidaceae | Epidendrum paniculatum. Ruiz & Pav |
| 45 | Orchidaceae | Elleanthus ensatus Rchb f. |
| 46 | Orchidaceae | Epidendrum frutex Rchb f. |
| 47 | Poaceae | Coraderia nitida. (Kunth) Pilg |
| 48 | Poaceae | Calamagrostis sp |
| 49 | Poaceae | Poa annua L. |
| 50 | Poaceae | Calamagrostis effusa (Kunth) Steud. |
| 51 | Polygalaceae | Monnina sp. |
| 52 | Prionodontaceae | Prionodon densus |
| 53 | Scrophulariaceae | Castilleja fisifolia L.F. |
| 54 | Scrophulariaceae | Bartsia sp |
| 55 | Solanaceae | Solanum sp. |
| 56 | Urticaceae | Phenax sp |
| 57 | Viscaceae | Dendrophthora ambigua kuijt |
| 58 | Xyridaceae | Xyris subulata. Ruiz & Pav. |

Fuente de esta investigación

4.1.2.6 Subpáramo (SPr). Para la zona de estudio (Figura 37), el subpáramo puede considerarse como la faja muy bien diferenciada por una vegetación con características que permiten establecer una transición entre la selva altoandina y el páramo. Abundan los arbustos, los árboles pequeños, los chusques y además de epifitas, musgos y hepáticas. En algunos sitios el bosque cambia bruscamente a subpáramo, debido a condiciones topográficas o de protección, aunque en algunos lugares se debe a incendios y talas, dentro de los páramos se encuentran entre pajonales y frailejones, los cuales se localizan en los sitios más expuestos a la acción del viento. Podría decirse que en muchos casos representa partes de la selva altoandina destruida o degradada, razón por la cual en la zona, el subpáramo no se limita a su franja altitudinal si no que se presenta a diferentes altitudes, localizadas a lo largo de la cuenca media y la alta del área de estudio.

La franja subparamuna posee comunidades vegetales, producto de una alta heterogeneidad de condiciones ambientales y fisiográficas, en muchos casos determinadas por factores locales de temperatura, humedad, suelos, precipitación y contacto con el bosque altoandino; se destacan algunos árboles propios de los bosques achaparrados pero con densos matorrales principalmente ericáceas, chuscales y algunos frailejones¹⁴⁴.

¹⁴⁴ RIVERA O. David. Páramos de Colombia. Ed. I/M Editores. Cali 2001. Págs. 83 - 89.

Figura 37. Subpáramo (fotografía)



Fuente de esta investigación.

La cobertura de subpáramo aumentó en 40,08 Ha (2,31%) como resultado de la antropización de los páramos, transformando el paisaje y la fisonomía, además de los puntos donde se han presentado quemados ya sea accidentales o provocados permiten que se presenten parches de frailejones (*Espeletia pycnophylla*. Cuatrec.) dando origen a parches de vegetación típica del subpáramo que no superan los 5 metros, que se encuentra a una altitud de 3450msnm a 3620msnm, donde se encuentra la colonización de especies que se registran en la Tabla 8, Las familias que dominan en el subparamo se encuentran las Ericaceae, Asteraceae y las melastomataceae, de las cuales predominan las siguientes especies: *Myrsine dependens*(Ruiz & Pav.) Spreng, *Thibaudia parvifolia* (Benth.) Hoerold, *Weinmannia brachystachya* Willd. ex Pamp. y *Hesperomeles obtusifolia* (Pers.) Lindl.

Tabla 8. Vegetación encontrada en la cobertura de subpáramo

| No. | FAMILIA | GENERO ESPECIE |
|-----|-----------------|--|
| 1 | Asteraceae | Gynoxys sp |
| 2 | Asteraceae | Diplostephium floribundum (Benth.)Wedd. |
| 3 | Asteraceae | Oligactis sp |
| 4 | Asteraceae | Diplostephium bicolor S.F. Blake |
| 5 | Asteraceae | Diplostephium floribundum subsp. Putumayense (Benth) Wedd. |
| 6 | Asteraceae | Ginoxys sancti-antonii.Cuatrec. |
| 7 | Asteraceae | Espeletia pycnophylla. Cuatrec. |
| 8 | Asteraceae | Diplostephium cayambense Cuatrec. |
| 9 | Blechnaceae | Blechnum auratum. (Fée)R.M.Tryon &Stolze |
| 10 | Clethraceae | Clethra ovalifolia Turcz |
| 11 | Clusiaceae | Clusia multiflora Kunth |
| 12 | Cunoniaceae | Weinmannia brachystachya Willd. ex Pamp. |
| 13 | Cyperaceae | Rhynchospora sp. Vahl. |
| 14 | Ericaceae | Pernettya prostrata (CAV)DC. |
| 15 | Ericaceae | Gaultheria erecta.Vent. |
| 16 | Ericaceae | Gaultheria foliolosa Benth |
| 17 | Ericaceae | Gaultheria cordifolia H.B.K. |
| 18 | Ericaceae | Macleania rupestris (H.B.K.) A.C. Smith |
| 19 | Ericaceae | Vaccinium floribundum Kunth |
| 20 | Ericaceae | Plutarchia angulata A.C.Sm. |
| 21 | Ericaceae | Thibaudia parviflora (Benth.) Hoer. |
| 22 | Ericaceae | Semiramisia pulcherrima A.C.Sm. |
| 23 | Flacourtiaceae | Xylosma benthamii(Tul.)Triana & Planch |
| 24 | Hypericaceae | Hypericum laricifolium . Juss |
| 25 | Hypericaceae | Hypericum lancioides Cuatrec. |
| 26 | Juncaceae | Juncus effusus L. |
| 27 | Lophosoriaceae | Lophosoria quadripinnata (J.F. Gmel)C.Chr |
| 28 | Loranthaceae | Gaiadendron punctatum (Ruiz & Pav.) G. |
| 29 | Melastomataceae | Brachyotum jamesonii. Triana |
| 30 | Melastomataceae | Miconia chlorocarpa Cogn |
| 31 | Melastomataceae | Tibouchina grossa (L.F.) |
| 32 | Melastomataceae | Miconia ligustrina (Sm.) Triana |
| 33 | Myrsinaceae | Myrsine dependens. (Ruiz & Pav.) Spreng |
| 34 | Onagraceae | Fuchsia corollata Benth |
| 35 | Rosaceae | Hesperomeles obtusifolia (Pers.)Lindl. |

Fuente de esta investigación.

4.1.2.7. Pastos (Ps). Unidad constituida generalmente por vegetación herbácea, utilizadas para la actividad pecuaria, principalmente para las explotaciones ganaderas. (Figura 38)

Es frecuente encontrar el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y los raygrasses (*Lolium multiflorum*), raygrasses perennes en mezcla con trébol blanco (*Lolium perenne* / *Trifolium repens*) que se constituyen en las principales especies forrajeras de la zona para la alimentación de ganado bovino de leche. Las unidades de pastos se ven afectadas por procesos erosivos en surcos, terracitas, patas de vacas, etc., originados por el sobrepastoreo en zonas de alta precipitación y fuertes pendientes.

Figura 38. Pastos (fotografía)



Fuente de esta investigación.

Los pastos en la microcuenca aumentaron en 32,68 Ha (1,89%), como resultado de las actividades agropecuarias principalmente para ganadería y reposo de los terrenos para la rotación de cultivos transitorios ubicados en la zona norte de la microcuenca, en donde se presenta con mayor fuerza la intervención antrópica.

4.1.2.8 Sin cobertura (Sc) . Son áreas en donde se presentan movimientos de remoción en masa; las cuales corresponden a todo desplazamiento hacia abajo (vertical), o en dirección del pie de la ladera, debido al empuje que ejerce la gravedad sobre un volumen del material litológico importante. (Figura 39)

Se precisa que estos son movimientos activos sobre todo en épocas de lluvias donde se desprende gran cantidad de material que; en muchos casos, bloquean

los caminos de acceso a la parte alta de la microcuenca, obligando a reconstruir los tramos de las vías que están siendo afectadas.

En el mes de junio de 2011 se han presentado siete remociones de tierra en cercanías del desarenador de EMPOPASTO, dos de estas se encuentran activos y son de grandes proporciones, dejando ver el efecto de la erosión a causa de la remoción del terreno ocasionado por las fuertes lluvias, la pendiente del terreno, la gran cantidad de agua que filtra hacia las partes bajas, por la exposición del terreno por la tala y quema de la vegetación.

Figura 39. Sin cobertura (fotografía)

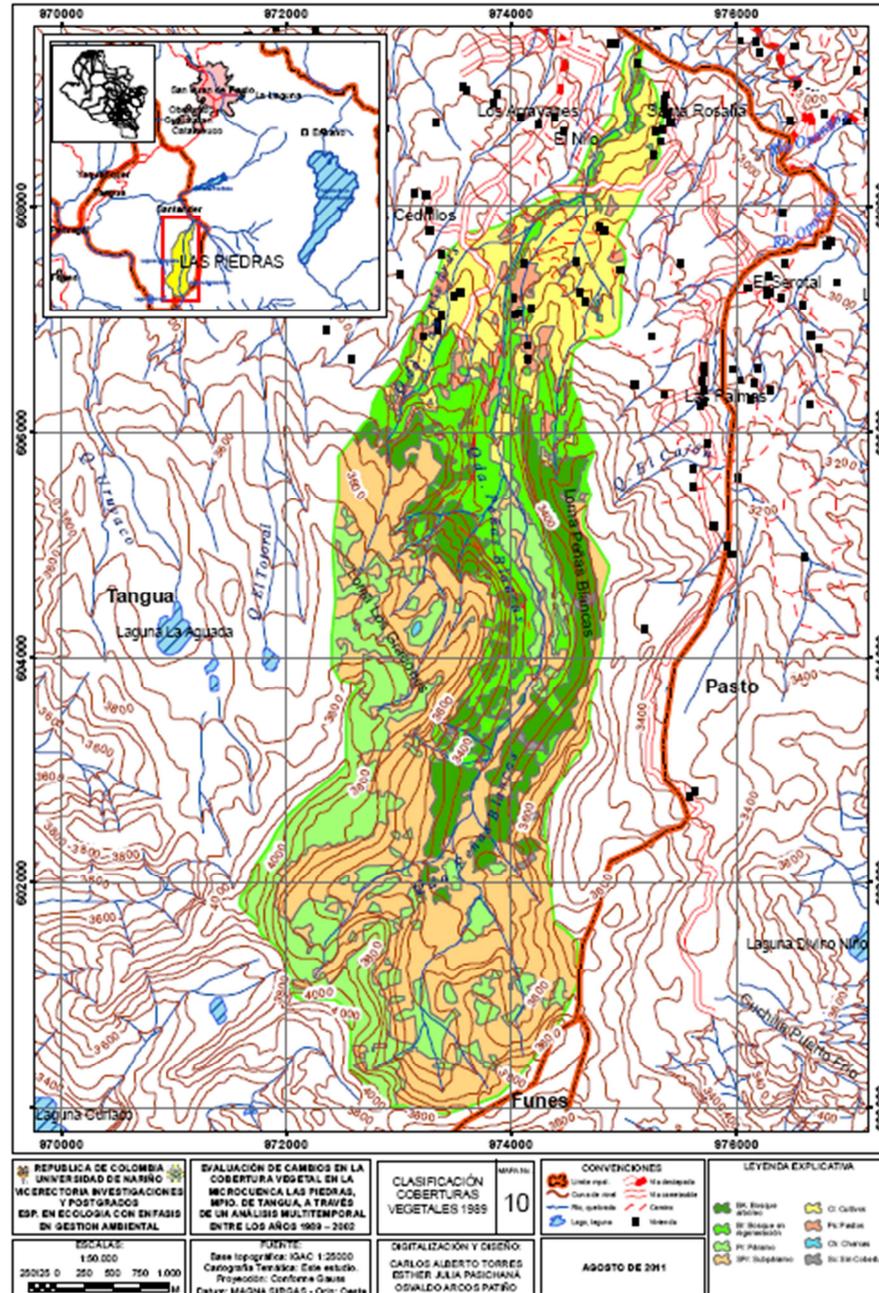


Fuente de esta investigación.

A pesar de que en la imagen del año 2002, no se identificaron deslizamientos, a lo largo y ancho de la microcuenca se evidencian viejas cicatrices de antiguos movimientos o paleodeslizamientos, además de algunos nuevos presentados recientemente como efecto de algunas temporadas de fuertes lluvias y localizadas principalmente en las laderas de la corriente principal de la quebrada Peñas Blancas; teniendo en cuenta lo anterior y en correspondencia con la tabla No. 4, esta clase disminuyó en 4,68 Ha (0,27%), porque las zonas con deslizamiento en 1989 fueron cubiertas por vegetación hacia el año 2002.

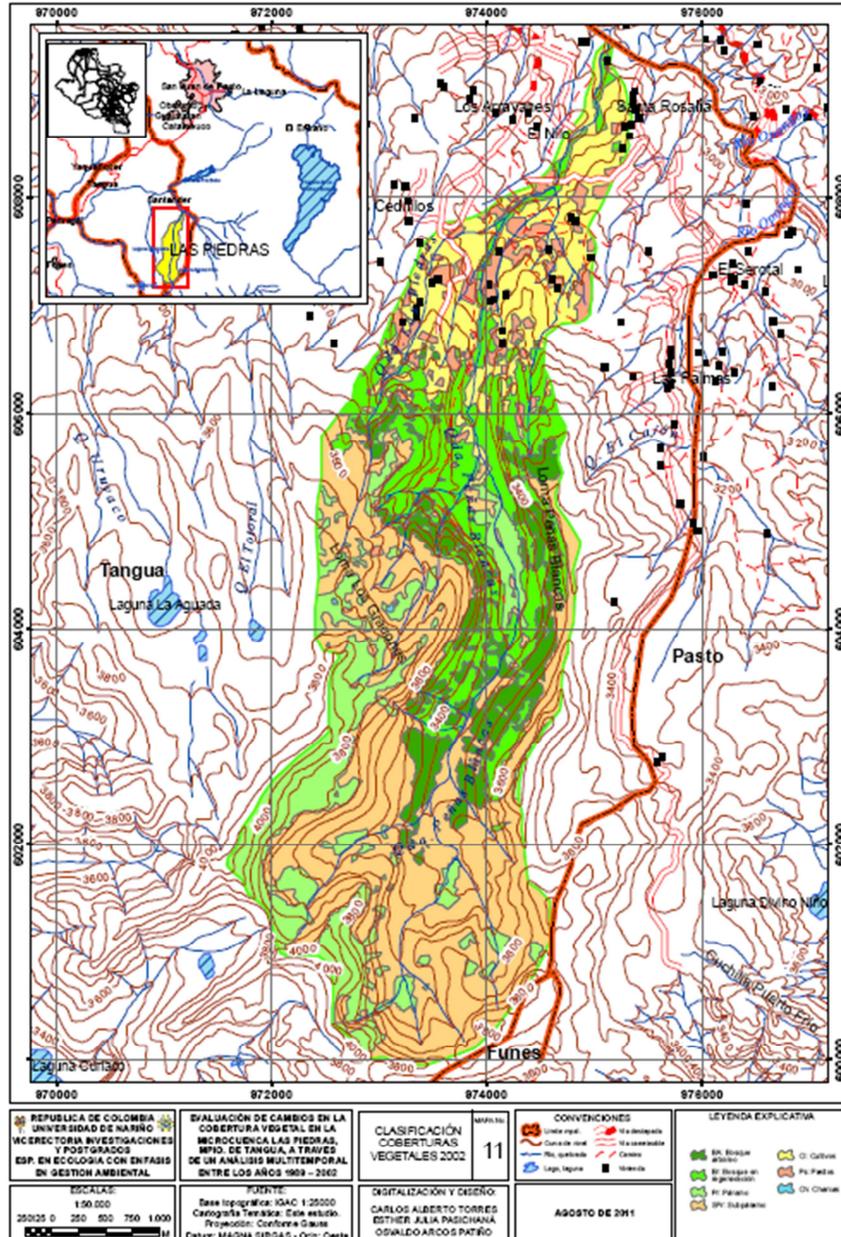
En consecuencia, Las clases descritas y analizadas anteriormente, pueden verse en los figuras 40 y 41 para los años 1989 y 2002 respectivamente.

Figura 40. Clasificación coberturas vegetales 1989.



Fuente de esta investigación

Figura 41. Clasificación coberturas vegetales 2002.



Fuente de esta investigación

4.1.3 Identificación de cambios en la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras. Los paisajes constituyen sistemas dinámicos, cuyos patrones observados en la naturaleza y los procesos de cambio, son producto de la acción de factores que actúan e interactúan a diferentes escalas espaciales y temporales en una forma relativamente jerárquica¹⁴⁵.

El análisis de los cambios que ocurren en la superficie terrestre ha constituido un tema central en diferentes campos de la ciencia como la geomorfología, edafología, ecología, biogeografía y evolución biológica, partiendo de diferentes marcos conceptuales y aproximaciones metodológicas.¹⁴⁶

En particular, desde el punto de vista de la ecología vegetal, los cambios en cuanto a los patrones de distribución de las plantas y la composición específica de las comunidades en el tiempo, fueron señalados históricamente como un fenómeno natural y común por diferentes autores desde tiempos remotos¹⁴⁷.

En los estudios de análisis multitemporal, es indispensable establecer las variaciones o datos de ocurrencia de cambios en las coberturas vegetales, facilitando así, la toma de decisiones en el proceso de categorización de las mismas. Los datos presentados a continuación, muestran las áreas de ocurrencia de cambios y aquellas que mantuvieron su cobertura; obtenidos sobre el total del área de estudio, que abarcó una superficie de 1731,52 hectáreas.

Tabla 9. Porcentaje de cambio en la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras

| TIPO DE OCURRENCIA | Ha | % |
|--------------------|---------|--------|
| Con Cambios | 501,27 | 28,95 |
| Sin Cambios | 1230,25 | 71,05 |
| TOTAL | 1731,52 | 100,00 |

Fuente de esta investigación.

De acuerdo a la metodología de análisis supervisado, mediante el cruce de los mapas de clasificación de coberturas de los años 1989 y 2002 (Figuras 40 Y 41) se obtuvieron 35 tipos diferentes de topologías; de las cuales, siete corresponden a zonas que conservaron su cobertura (Tabla 10) y las 28 restantes a los diferentes tipos de cambios; analizados independiente a continuación en la figura 42 y en la Tabla 11.

¹⁴⁵ DELCOURT, Webb. Dynamic plant ecology: the spectrum of vegetational change in space and time. Pag 75.

¹⁴⁶ Ibid. Pag. 75.

¹⁴⁷ MILES, J. Vegetation succession: past and present perceptions. En: A. J. Gray, M. J. Crawley y P. J. Edwards. Colonization sucesión and stability. Blackwell Scientific Pub. Oxford 1987. Págs. 1 a 29.

Tabla 10 Áreas de cobertura vegetal sin cambios (SC)
en la microcuenca Las Piedras

| Símbolo Cartográfico | AREAS SIN CAMBIO | Ha | % |
|----------------------|------------------------|---------|-------|
| SCBA | Bosque Arbóreo | 118,22 | 6,83 |
| SCBr | Bosque en regeneración | 153,15 | 8,84 |
| SCCI | Cultivos | 180,48 | 10,42 |
| SCCh | Charca | 0,29 | 0,02 |
| SCPr | Páramo | 222,65 | 12,86 |
| SCPs | Subpáramo | 12,95 | 0,75 |
| SCSPr | Pastos | 542,53 | 31,33 |
| TOTAL | | 1230,25 | 71,05 |

Fuente de esta investigación.

4.1.3.1 Bosque Arbóreo a Bosque en regeneración (BA a Br). Se localiza en la curva de nivel de 2850 a 3600 msnm, en las veredas de las Palmas y las Piedras, cuenca media de la quebrada Peñas Blancas y la quebrada Las Piedras, este cambio representa el 4,18% de la superficie de la microcuenca; se precisó en aquellas áreas en donde la vegetación de especies vegetales arbóreas se explotó para la obtención de leña y carbón, iniciándose un proceso de regeneración natural; volviendo a colonizarse estas áreas por especies que al año 2002 cuentan con un desarrollo de tipo arbustivo, acentuándose este cambio en la vereda las Palmas.

4.1.3.2 Bosque Arbóreo a Cultivos (BA a CI). Se encuentra ubicado a 2850 hasta 3500 msnm, en los límites de las veredas Las Palmas, Piedras y Santarosalia, está representado por el 0,10% en este cambio, se refleja en la actitud de los pobladores de la microcuenca en dedicarse netamente a un medio de subsistencia estable y rentable, manifestado durante más de 5 décadas en la explotación del bosque en áreas que por las características orográficas abruptas no permiten el desarrollo de adecuadas prácticas agrícolas; mientras que los terrenos dedicados a cultivos son áreas levemente inclinadas, de fácil acceso y que proporcionan la introducción de medios mecanizados de labranza.

4.1.3.3 Bosque Arbóreo a Páramo (BA a Pr). Se encuentra en las veredas Las Palmas y Las Piedras, entre los 3350 y 3550 msnm. Este cambio corresponde al 0,08% que representa 1,37 Ha de Bosque arbóreo que pasó a cobertura de páramo; resultante de la influencia directa del ser humano que conlleva a la presencia de procesos de paramización, en donde la vegetación típica paramuna invade las zonas deforestadas sin la existencia de competencia de colonización

4.1.3.4 Bosque Arbóreo a Pastos (BA a Ps). Se presento en las veredas de Santa Rosalía y las Piedras, estos son relictos que fueron talados y que se encuentran cerca a las riveras de los afluentes de la microcuenca. Este cambio dio su ocurrencia en 0,04 Ha en las estribaciones de la parte baja de la microcuenca, entre los 3050 y 3500 msnm en áreas donde existía una cobertura de bosque de galerías, el cual fue talado, ampliando la cobertura de pastos; ya que muchas de las áreas dispuestas a la actividad ganadera llegan hasta la orilla de las fuentes hídricas.

4.1.3.5 Bosque Arbóreo a Subpáramo (BA a SPr). Se encuentra en mayor proporción en la vereda las Palmas, extendiéndose cerca a la rivera de la quebrada Peñas Blancas y hacia la parte alta de la loma del mismo nombre; en las estribaciones de la loma Los Gradones, compartiendo este proceso en la vereda las Piedras, entre los 3500 y 3600 msnm. Después de procesos de deforestación algunas áreas son colonizadas por nuevas especies vegetales principalmente de tipo arbustivo (ericáceas) en donde, debido a la gran presencia de humedad la imagen del sensor capta estas áreas con una cobertura diferente, para lo cual con el trabajo de campo pudo corroborarse; localizados hacia la parte alta de la quebrada Peñas blancas y alta de la quebrada Las Piedras. El porcentaje de cambio registrado es de 1,28% que equivale a 22,19 Ha.

4.1.3.6 Bosque en regeneración a Bosque Arbóreo (Br a BA). Se localiza hacia la parte media de la microcuenca entre las veredas las Palmas y las Piedras, en la loma de Peñas Blancas y loma los Gradones, en la divisoria de aguas, de las quebradas Peñas Blancas y las Piedras, se encuentra entre los 3300 a 3600 msnm. la superficie ocupada es de 27,54 Ha (1,59%) que cambiaron de Bosque arbustivo a Bosque Arbóreo, como resultado de la sucesión de las especies arbóreas, en donde la vegetación alcanza un desarrollo, permitiendo la existencia de árboles con alturas superiores a los 10 m. como en el caso de: *Clusia multiflora* Kunth, *Schefflera marginata* geen & bic., *Weinmania multijuga* Killip&Smith.

4.1.3.7 Bosque en regeneración a Cultivos (Br a Cl). Se ubica hacia la parte media y baja de la microcuenca principalmente en la margen de las quebradas las Piedras y Peñas Blancas, (en dirección norte de la zona de estudio), entre los 2850 a 3600msnm, se presenta este cambio en un 1,96% (33.94Ha) como resultado de la rotación de cultivos transitorios como la papa y el haba, después de un descanso prolongado de cinco años, donde la vegetación que aparece vuelve a talarse para la implementación de nuevas actividades agrícolas.

4.1.3.8 Bosque en regeneración a Páramo (Br a Pr). Este cambio se da solo en la vereda Las Palmas, hacia la zona media de la microcuenca entre la loma los Gradones y la Loma Peñas Blancas, esta zona se encuentra entre los 3250 y 3350 msnm. Son aquellas zonas de mayor influencia antropica, donde la cobertura de bosque arbustivo cambió bruscamente como resultado de que la vegetación

propia de páramo invadió las zonas taladas y se encontraban en recuperación, proceso que se conoce como paramización, pasando de una cobertura a otra; para cuyo caso sucedió en 5,69 Ha (0.33%).

4.1.3.9 Bosque en regeneración a Pastos (Br a Ps). Localizado hacia la cuenca baja en las estribaciones de las quebradas Agua Clara, Peñas Blancas y las Piedras, entre los 2850 a 3500msnm. De forma similar que en el cambio de Bosque en regeneración a cultivos, los terrenos que se los dejó descansar, vuelven a utilizarse en las actividades pecuarias acorde a al mercado de los productos lácteos y las necesidades de forraje; este cambio se presentó en 10,41 Ha (0.60%).

4.1.3.10 Bosque en regeneración a subpáramo (Br a SPr). Se localizan hacia la cuenca media entre los 3250 y 3600 msnm, entre la quebrada Peñas Blancas y la loma Los Gradones, presentando mayor presencia en las Palmas y en menor escala en las Piedras. Como resultado del proceso de paramización derivados de la antropización de ecosistemas de alta montaña, la vegetación característica del subpáramo traspasa límites altitudinales, adaptándose de mejor manera a las especies de selva alto andina, logrando así que dichas áreas que para 1989 se encontraban en proceso de regeneración, para el 2002 se presenten como áreas de subpáramo (5,65 Ha).

4.1.3.11 Cultivos a Bosque en regeneración (Cl a Br). Este cambio se ubica en la zona baja de la microcuenca en las riveras de las fuentes hídricas y en áreas abiertas de las veredas las Palmas y las Piedras, entre los 2850 a 3450 msnm. Después de cultivar de forma transitoria y por una labranza excesiva, muchos terrenos se tienen que dejar en descanso prolongado de 5 a 10 años; estas áreas, de forma natural son colonizadas por especies arbustivas ocasionando este tipo de cambio, que para el caso se presentó en una proporción de 23,59 Ha (1.36%).

Es necesario aclarar que aunque es una regeneración transitoria debido a la vocación agrícola de la zona, la imagen del satélite capta la reflectancia en el espectro como áreas con especies vegetales en proceso de sucesión o regeneración.

4.1.3.12 Cultivos a Pastos (Cl a Ps). Estas áreas transitorias se encuentran entre los 2950 a 3450msnm, en inmediaciones de la vereda Santa Rosalía y el extremo norte de las veredas las Piedras y las Palmas. Como se explica en casos anteriores, los cultivos permiten que los terrenos se dejen en reposo por algún periodo de tiempo, ocasionando que éstos se cubran de pastos naturales; en algunos casos debido a pérdidas en las cosechas, los propietarios cambian a la actividad pecuaria sembrando pastos mejorados. Situación que se presenta en 47,09 Ha (2,72%).

4.1.3.13 Charca a Páramo (Ch a Pr) y a subpáramo (Ch a SPr). Estos cambios se localizan en inmediaciones de la loma los Gradones, entre las veredas las Palmas y las Piedras a los 3600 y 3700 msnm, en un área de 0,66 Ha (0.04%), las zonas cubiertas por agua se disminuyen de manera acelerada y pasan a vegetación de paramo. La charca pasa a vegetación de subpáramo, con un área de 0,15 Ha (0.01%). Situación que no es natural para los 13 años, que obedece a la influencia antropica sobre estos ecosistemas, deteriorando y logrando variaciones ecológicas; de igual manera, los procesos climáticos a lo largo del año afectan las charcas, llegando a una colmatación y pérdida de su función amortiguadora. La principal actividad negativa que se observa es que los habitantes del paramo y subpáramo delimitan sus supuestos predios con canales o acequias que les permite drenar el agua del paramo con el propósito de secar los predios y destinarlos a zonas de cultivo de corto uso, debido a la pobreza del suelo. Como también el agua se utiliza para dar de beber al ganado e irrigar cultivos aledaños en las zonas bajas.

4.1.3.14 Páramo a Bosque en regeneración (Pr a Br). Este cambio se presenta en la vereda las Palmas, en la quebrada Peñas blancas y en el fondo del valle glaciar; a una altitud de 2250 y los 3400 msnm. Así, mismo en la vereda las Piedras entre los 3400 y 3600msnm, en la loma los Gradones. El páramo como tal se constituye en un ecosistema acumulador y regulador de agua, razón por la cual los habitantes en su intento por aumentar el potencial agrícola, realizan un drenado del páramo mediante la implementación de canales o acequias, ocasionando una alta disminución en la humedad del suelo; proceso que se agrava cuando los terrenos son abandonados debido a la baja rentabilidad agrícola, dando paso a una vegetación arbustiva y no la típica del páramo. Este cambio se detectó en la zona central del área de estudio y abarcó una extensión de 13,51 Ha (0.78%).

4.1.3.15 Páramo a Cultivos (Pr a Ci). Solo se localiza en la vereda las Palmas hacia la zona media de la microcuenca a una altitud de 3270 msnm. Este cambio se presenta en un 0,04% (0,70 Ha), que corresponden a zonas relativamente planas, en el fondo del valle glaciar, donde actualmente se da una creciente intervención humana, son quemadas y aprovechadas para posteriores fines agrícolas, altamente influenciadas por las actividades antropicas, permitiendo la existencia de cultivos en áreas de páramo.

4.1.3.16 Páramo a Charca (Pr a Ch). Se ubican estos cambios en las inmediaciones de la loma los Gradones entre las veredas las Palmas y las Piedras, a los 3600 y 3700 msnm. Teniendo en cuenta que la regulación hídrica en los páramos depende en gran medida de las lluvias, la neblina y además de la época climática del año en la que se encuentre; algunas zonas de páramo son inundadas o cubiertas por agua, dando paso a pequeñas lagunas que para este caso corresponden a 0.54Ha (0,03%).

4.1.3.17 Páramo a pastos (Pr a Ps). Se ubican en la vereda las Piedras, en la loma los Gradones hacia los 3600 msnm, que corresponde a una pequeña área de 0.36 Ha (0,02%), donde después de cultivar y debido a la baja rentabilidad obtenida se abandonan estos terrenos dando paso a la aparición de pastos naturales y en algunos casos a los pastos mejorados.

4.1.3.18 Páramo a subpáramo (Pr a SPr). Se localiza desde la cuenca media hasta la cuenca alta, entre los 3300 y los 4000msnm, en las veredas de las Piedras y con mayor representatividad en la vereda las Peñas Blancas. Dentro del mismo proceso de antropización de los páramos, de forma contraria, estos ecosistemas al ser intervenidos pierden sus características como la humedad del suelo debido a procesos de secamiento, ocasionando la invasión de especies vegetales características del subpáramo. Este cambio se presenta en un 6,18% equivalente a 107,07 Ha.

4.1.3.19 Pastos a Bosque en regeneración (Ps a Br). Se ubica en la parte baja de la microcuenca entre las veredas las Palmas, Santa Rosalía y las Piedras, entre los 3000 y 3500 msnm. Con el propósito de recuperar la fertilidad del suelo de las áreas sometidas a actividades agropecuarias, los habitantes las dejan en descanso por largos periodos; ocasionando de manera natural, la aparición de arbustos de especies colonizadoras. Manifestándose este cambio en 6,48 Ha (0.37), además se observa la recuperación de bosques de galerías aledaños a la fuente hídrica.

4.1.3.20 Pastos a Cultivos (Ps a Ci). Se ubican en la parte baja al norte de la microcuenca, entre las veredas las Palmas, Santa Rosalía y las Piedras, entre los 2950 y 3400msnm. Los pastos cambiaron a cultivos en un 1,12% (19.37Ha), en la imagen de 1989 se observó la presencia de pastos y en la imagen del 2002 aparecen cubiertos por cultivos.

4.1.3.21 Sin cobertura a: Bosque en regeneración (Sc a Br) y Subpáramo (Sc a SPr). Esto corresponde a paleodeslizamientos que aparecen en la imagen de 1989, localizados en la vereda las Palmas, en laderas de las lomas Peñas Blancas y Gradones, al margen de la quebrada Peñas Blancas, entre los 3400 a 3700 msnm. Siendo afectadas 4.67 Ha (0.27%), posteriormente cubiertos por diferentes especies vegetales, supeditados a la influencia que para cada lugar se dio, dependiendo de la adaptabilidad y resistencia para cada tipo de cobertura.

4.1.3.22 Subpáramo a Bosque en regeneración (SPr a Br). Se localiza en la cuenca media entre las veredas las Palmas y las Piedras en las laderas de las lomas Peñas Blancas y Gradones, entre los 3250 y 3650 msnm. El drenaje de la zona de subpáramo disminuye la humedad del suelo, perdiéndose la vegetación típica de este ecosistema, situación que incrementa el tiempo de recuperación de la misma. El cambio se presenta en un área de 48,26 Ha (2,79%).

4.1.3.23 Subpáramo a cultivos (SPr a CI). Se encuentra en la parte media de la microcuenca en áreas aledañas a la rivera de la quebrada Peñas Blancas y de la quebrada las Piedras, entre los 3250 y 3500 msnm. Como se ya había expuesto, los ecosistemas de alta montaña se hallan sometidos a diversas actividades agropecuarias, razón que justifica el presente cambio como resultado del avance paulatino de la frontera agrícola que alcanza áreas de coberturas típicas del subpáramo. Esta área corresponde a 0.45 Ha (0.03%); además presenta pendientes en la cuenca media y alta de la microcuenca en sus vertientes laterales, razón que exige a los moradores la explotación de la parte interna del valle.

4.1.3.24 Subpáramo a Charca (SPr a Ch) . Se ubica en la vereda las Palmas hacia la loma los Gradones, a una altitud de 3650 msnm. Este proceso obedece al igual que el cambio de páramo a Charca a la regulación hídrica que sucede a lo largo del año en estos ecosistemas, la cual es muy mínima para una zona de 0,07 Ha.

4.1.3.25 Subpáramo a Páramo (SPr a Pr). Este cambio se presentó de manera generalizada en el área de estudio, cubriendo 46,72 Ha (2,70%); los recorridos por las áreas de subpáramo han permitido detectar espacios abiertos donde se han realizado disturbios con fuegos no tan frecuentes (lapsos de 2 años), y donde se han colonizado formas de crecimiento subordinadas a la vegetación natural de paramo frailejones y pajonales.

4.1.3.26 Subpáramo a Pastos (SPr a Ps). Se encuentra en la vereda las Piedras en áreas de influencia de la loma los Gradones, desde los 3400 a 3650 msnm. El subpáramo es intervenido para implementar actividades pecuarias, sometiendo estas áreas a una pérdida de la vegetación característica y permitiendo la aparición de pastos destinados a la ganadería. En este caso, se localiza hacia la cuenca media del área de estudio en 0,66 Ha (0.04%).

Para observar todos los cambios descritos anteriormente, se presenta como resultado final del análisis el mapa de cambios (Tabla 11 y Figura 42) en las cuales se representan de manera tabulada y gráfica dichos procesos.

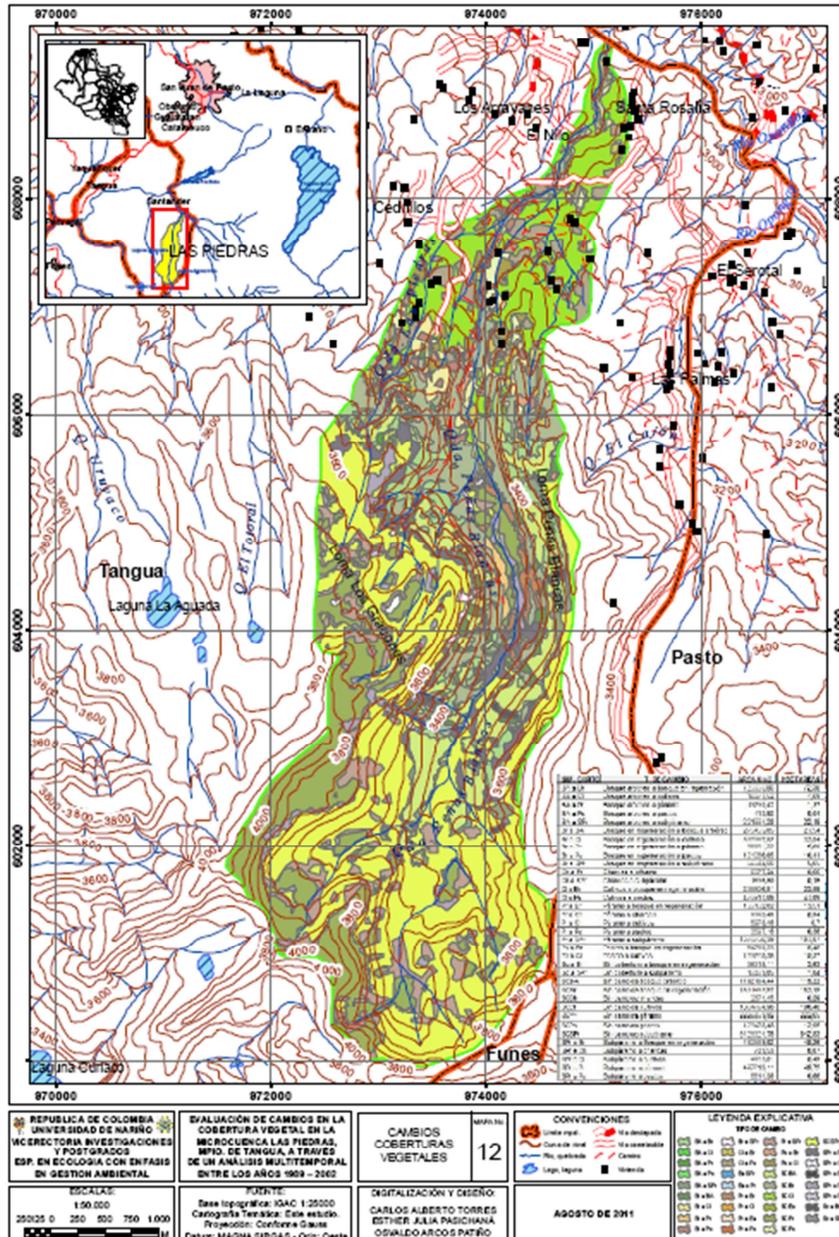
Tabla 11. Cambios en la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras

| SÍMBOLO CARTOGRÁFICO | DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA | Ha | % |
|----------------------|---|-------|------|
| BA a Br | Bosque arbóreo a bosque en regeneración | 72,38 | 4,18 |
| BA a CI | Bosque arbóreo a cultivos | 1,69 | 0,10 |
| BA a Pr | Bosque arbóreo a páramo | 1,37 | 0,08 |
| BA a Ps | Bosque arbóreo a pastos | 0,04 | 0,00 |

| SÍMBOLO CARTOGRÁFICO | DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA | Ha | % |
|----------------------|---|--------|-------|
| BA a SPr | Bosque arbóreo a subpáramo | 22,19 | 1,28 |
| Br a BA | Bosque en regeneración a bosque arbóreo | 27,54 | 1,59 |
| Br a Cl | Bosque en regeneración a cultivos | 33,94 | 1,96 |
| Br a Pr | Bosque en regeneración a páramo | 5,69 | 0,33 |
| Br a Ps | Bosque en regeneración a pastos | 10,41 | 0,60 |
| Br a SPr | Bosque en regeneración a subpáramo | 5,65 | 0,33 |
| Cl a Br | Cultivos a bosque en regeneración | 23,59 | 1,36 |
| Cl a Ps | Cultivos a pastos | 47,09 | 2,72 |
| Ch a Pr | Charca a páramo | 0,66 | 0,04 |
| Ch a SPr | Charca a subpáramo | 0,15 | 0,01 |
| Pr a Br | Páramo a bosque en regeneración | 13,51 | 0,78 |
| Pr a Cl | Páramo a cultivos | 0,70 | 0,04 |
| Pr a Ch | Páramo a Charca | 0,54 | 0,03 |
| Pr a Ps | Páramo a pastos | 0,36 | 0,02 |
| Pr a SPr | Páramo a subpáramo | 107,07 | 6,18 |
| Ps a Br | Pastos a bosque en regeneración | 6,48 | 0,37 |
| Ps a Cl | Pastos a cultivos | 19,37 | 1,12 |
| Sc a Br | Sin cobertura a bosque en regeneración | 3,63 | 0,21 |
| Sc a SPr | Sin cobertura a subpáramo | 1,04 | 0,06 |
| SPr a Br | Subpáramo a bosque en regeneración | 48,26 | 2,79 |
| SPr a Cl | Subpáramo a cultivos | 0,45 | 0,03 |
| SPr a Ch | Subpáramo a Charca | 0,07 | 0,00 |
| SPr a Pr | Subpáramo a páramo | 46,72 | 2,70 |
| SPr a Ps | Subpáramo a pastos | 0,66 | 0,04 |
| TOTAL | | 501,27 | 28,95 |

Fuente de esta investigación.

Figura 42. Mapa de cambios en la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras.



Fuente de esta investigación

4.2 RECUPERACIÓN, CONSERVACIÓN Y DETERIORO EN LA COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA LAS PIEDRAS

Los cambios de cobertura (Tabla 9); indican el interés del ser humano en la búsqueda de su bienestar afectando las condiciones medioambientales en la microcuenca Las Piedras, repercutiendo en la cantidad y calidad de los recursos que actualmente se mantienen en esta zona, el problema resulta al querer responder la pregunta:

¿Durante cuánto tiempo la naturaleza va a soportar estos acelerados procesos de cambios los cuales, deberían desarrollarse en miles de años y no en el corto periodo que permitió el análisis de este estudio?.

En consecuencia, los datos suministrados por el análisis multitemporal en el lapso de 13 años nos permiten determinar la cantidad medida en hectáreas de recuperación, conservación y deterioro en las coberturas vegetales presentes en la microcuenca Las Piedras (Tabla 12).

Tabla 12. Estado actual de la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras

| SÍMBOLO CARTOGRAFICO | ESTADO | Ha | % |
|----------------------|--------------|---------|--------|
| Rc | Recuperación | 73,63 | 4,25 |
| Cs | Conservación | 1230,25 | 71,05 |
| Dt | Deterioro | 427,64 | 24,70 |
| TOTAL | | 1731,52 | 100,00 |

Fuente: esta investigación.

Así podemos observar que la recuperación se presentó en un 4,25% equivalente a 73,63 Ha, que se debe en general a procesos sucesionales, permitiendo de esta manera que la vegetación establecida en un momento dado, tenga la posibilidad de extender su área, progresar en altura y desarrollo de su masa vegetal, bajo condiciones adecuadas para cada ser vivo; estos procesos se expresan a través de mecanismos resultantes de propiedades individuales como capacidad de colonización, competencia o atributos vitales de la cobertura vegetal.

La microcuenca Las Piedras presenta una alta conservación de sus recursos naturales en un 71,05% (1230,25 Ha) correspondientes a las zonas que en el lapso de 13 años (1989 – 2002) no presentaron cambios; debido a que en la microcuenca las propiedades de particulares se han establecido en la zona norte, aproximadamente hasta la cota de los 3450 msnm, sin un notorio avance predial

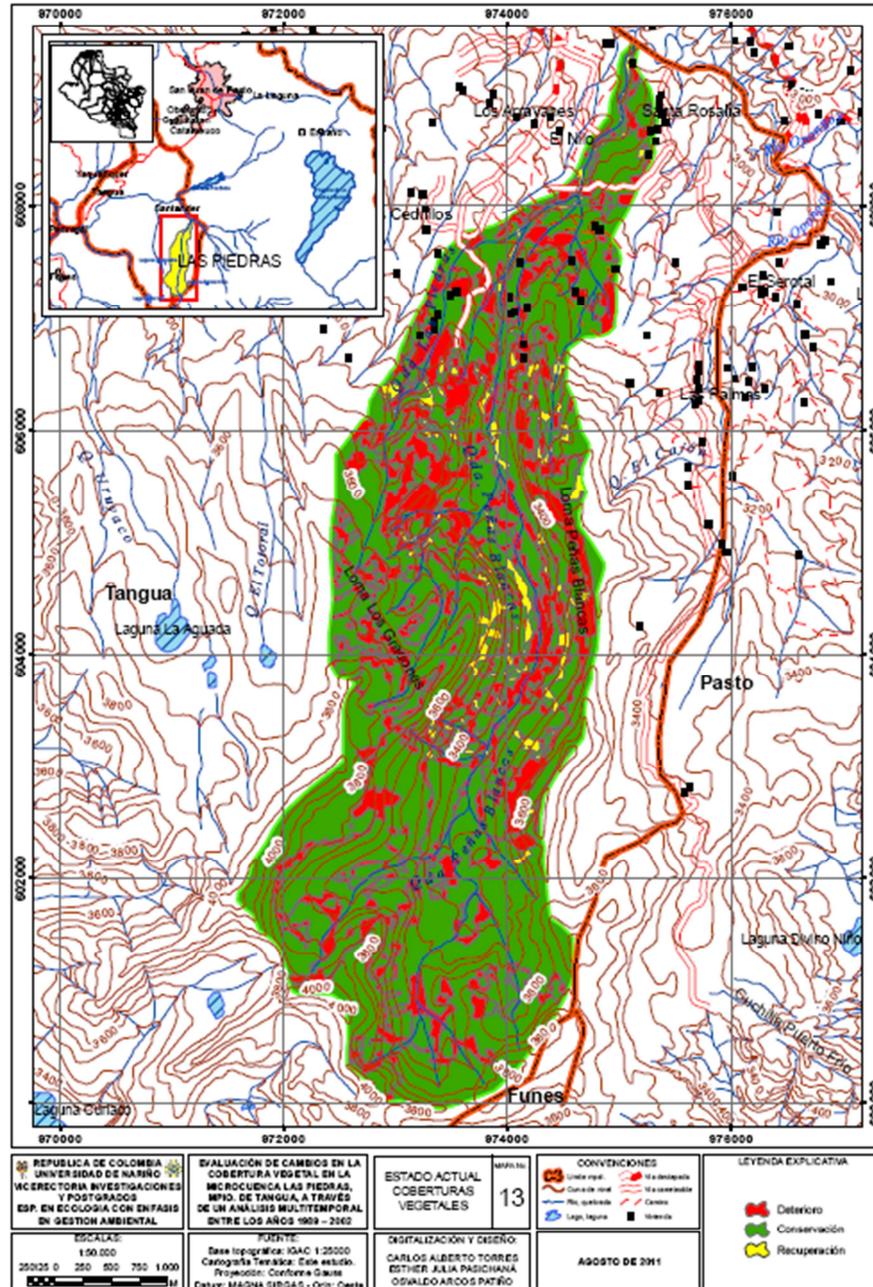
(Anexo 5). A la fecha se encuentran 17 explotaciones de carbón vegetal y de las 20 personas encuestadas mencionan que es la extracción de la madera (para convertirlo en carbón vegetal) es la única opción permanente que les permite sostenerse durante todo el año, la explotación de ganado es muy poco por lo quebrado del terreno, siendo los precios bajos y no remunerados en el momento de la entrega del producto por parte del campesino, la agricultura de la papa, su mercado es muy inestable; lo que conlleva a determinar que la población va ir creciendo puesto que algunos encuestados mencionan que en su casa la habitaban de 1 a 3 familias, lo que conlleva a pensar que en la medida del tiempo incrementaría el uso inapropiado de los recursos naturales al incrementar la población, que no tiene muchas opciones laborales en esta zona.

En el área de estudio, 427,64 Ha correspondientes al 24,70% se encuentran en proceso de deterioro, debido a inadecuadas prácticas en el manejo y uso del suelo, donde se incluyen las actividades productivas de la población local que contribuyen activamente al deterioro de los recursos naturales, mediante la agricultura, pastoreo de los animales domésticos, tala y obtención de carbón vegetal, y quemas que promueven el crecimiento de los pastos. La labranza excesiva del suelo del páramo para cultivos, propicia la erosión y disminuye significativamente su capacidad de retención de agua y la capacidad de vertimiento de agua para las fuentes de la microcuenca.

Las actividades de extracción de carbón vegetal, se realizan en la actualidad de manera ilegal pero de conocimiento público, llegando al extremo que una familia explotaba dos carboneras simultáneamente, puesto que la zona apta para esta actividad no posee títulos de propiedad, quedando en claro que el Estado no ejerce funciones de control, manejo y vigilancia de los recursos naturales.

Por consiguiente, es compromiso de parte de la comunidad y de las instituciones locales, regionales y nacionales encargadas del manejo, vigilancia y control de los recursos naturales de las microcuencas y evitar que en el futuro se duplique el deterioro, dando lugar al incremento de las áreas de recuperación.

Figura 43. Estado actual de la cobertura vegetal en la microcuenca Las Piedras.



Fuente de esta investigación

5. PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA PARA LA OCUPACIÓN Y USO DEL SUELO DE LA MICROCUENCA LAS PIEDRAS

5.1 ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA PARA EL MANEJO DE LA MICROCUENCA LAS PIEDRAS

La categoría de zona ecológica se define como aquella porción de la superficie terrestre en donde se encuentra un conjunto de tipos de vegetación con afinidades climáticas similares.¹⁴⁸ Las unidades ambientales o zonas ecológicas por consiguiente, son espacios homogéneos claramente delimitados, donde interactúan variables fisicoambientales en cuyo caso, existen múltiples aplicaciones directas para el uso adecuado, vinculadas con el estudio de la vocación actual del uso de las tierras, útil para diseñar recomendaciones y destinadas a mantener o mejorar la actual situación de uso, bien sea para incrementar la producción o para limitar la degradación del medio.

Con base a lo anterior se plantea la siguiente zonificación ecológica para la microcuenca Las Piedras dentro de la cual se encontraron las siguientes zonas ecológicas:

5.1.1 Zona de protección. Esta zona está destinada para mantener estrictamente la condición natural de ecosistemas como son bosques arbóreos y paramos¹⁴⁹. En la microcuenca Las Piedras esta zona está representada por 1159.29 Ha correspondientes a 66.95%, (Tabla 13) del área total de la superficie de la microcuenca, ubicada al norte de la microcuenca hacia la parte de bosque alto andino, subpáramo y páramo.

En esta área se ha determinado que el uso del suelo está determinado para las coberturas vegetales destinadas para pastos naturales, rastrojos, páramos, subpáramos, bosques arbóreos y en regeneración, predominando las pendientes fuertes y suelos frágiles

Criterios de manejo:

¹⁴⁸ TOLEDO, Víctor Manuel. La Producción Rural en México: alternativas ecológicas. 1989. pág. 152.

¹⁴⁹ WYNGAARDEN, Willen. y FANDIÑO, Marta. Un caso de selección y zonificación de áreas de conservación biológica, Parque Nacional Los Nevados. IDEADE – DET, Fundación Cultural Javeriana de Artes Plásticas. Bogotá 2002. pág. 38.

- Implementar políticas de recuperación de zonas cultivadas, reforestándolas con vegetación típica de la región.
- Preservar el bosque existente y gestionar recursos para la adquisición total de la zona por parte de la administración municipal.
- Realizar procesos de aislamiento de áreas para estimular la sucesión natural.
- Generar protección a través de una nueva cobertura vegetal apropiada, que evite la acción erosiva ocasionada por las lluvias y estabilice las pendientes.
- Propiciar la estabilidad de las características físico-químicas del suelo, mediante la incorporación de materia orgánica proveniente de las hojas de las plantas que caen sobre la superficie generando una mayor actividad microbiana que ayuda en mejorar su estructura y aumente la capacidad de retención de humedad.

5.1.2 Zona de regeneración. Se aplica a ecosistemas transformados donde el manejo se enfoca a eliminar la intervención antrópica, es fundamental tener en cuenta áreas donde se encuentren remanentes de vegetación en contacto con el área que se quiere conservar¹⁵⁰; se presenta en la microcuenca las Piedras 170.77 Ha, que corresponden al 9.86% con respecto al total del área de estudio. (Tabla 13)

Presenta severas limitaciones debido a los suelos superficiales y presencia de afloramientos rocosos; la vegetación que predomina es la herbácea y arbustiva, de forma rala en proceso de regeneración natural, después de ser explotada para extracción de leña y producción de carbón vegetal, predominan plantas pioneras de bosque secundario.

Criterios de manejo:

Generar estrategias de manejo ecológico para las coberturas naturales existentes. Dentro de las prácticas de manejo se encuentran:

- Evitar totalmente la actividad pastoril en zona de regeneración para recuperar la cobertura vegetal natural, en especial estabilizar las pendientes.
- Se requiere un programa de reforestación con diversas especies nativas, que mejore la infiltración del agua proveniente de la lluvia e incremente la cantidad y calidad de agua en los diferentes manantiales, y no solo utilizar encino para reforestar.

¹⁵⁰ Ibid.

- Realizar procesos de educación ambiental para la sensibilización de los pobladores sobre la importancia de proteger la zona y realizar labores de recuperación.

5.1.3 Zona de amortiguamiento. Para la microcuenca las Piedras esta zona debe contar con 283.91 Ha, que corresponde al 16.40% (Tabla 13), adyacente a los límites de la zona de protección que conforman espacios de transición entre las zonas protegidas y las zonas productivas. Su establecimiento intenta minimizar las repercusiones de las actividades humanas que se realizan en los territorios inmediatos a las áreas protegidas específicamente en la expansión de la frontera agrícola. Su existencia se justifica plenamente ya que actúan como zonas “buffer” o de contención ante el impacto directo a las zonas que se protegen.

Según el manual para la delimitación y zonificación de zonas amortiguadoras de acuerdo a la función amortiguadora se establecen tres principios básicos para cumplir¹⁵¹:

- Prevenir, mitigar y corregir las perturbaciones o efectos de las presiones sobre el área protegida.
- Armonizar la ocupación y transformación del territorio con los objetivos del área protegida, articulando los diferentes procesos de ordenamiento y promoviendo modelos sostenibles de uso.
- Aportar a la conservación de los elementos biofísicos, los elementos y valores culturales, los servicios ambientales y los procesos ecológicos que conectan el área protegida con los complejos regionales de ecosistemas.

El uso actual se define por diferentes actividades tales como extracción de leña, pastoreo y algunos cultivos transitorios.

Criterios de manejo

Se deben frenar los efectos de las actividades más intensivas dentro del área de producción sobre la zona de protección

Plantear el cambio progresivo de uso del agropecuario al de protección - producción por medio de un programa de como de extracción de las especies arbóreas.

¹⁵¹ OSPINA, MIGUEL A. Manual para la Delimitación y Zonificación de Zonas de Amortiguamiento. 2008; pág. 15.

5.1.4 Zona de producción. La zona propuesta para que se desarrolle actividades de producción corresponde a 117.51 Ha (6.79%, Tabla 13), del total del área de estudio, comprende la explotación. Esta área se caracteriza por presentar dos subsistemas distintos. En el primero predominan cultivos transitorios, mientras que el segundo se basa en pastos naturales y mejorados dedicados a las actividades pecuarias.

Las principales limitaciones que tienen estos ambientes está relacionado al factor edáfico, por presentar suelos de fertilidad media, con presencia de materia orgánica media y la insuficiencia de agua en los meses con menor precipitación.

Criterios de manejo:

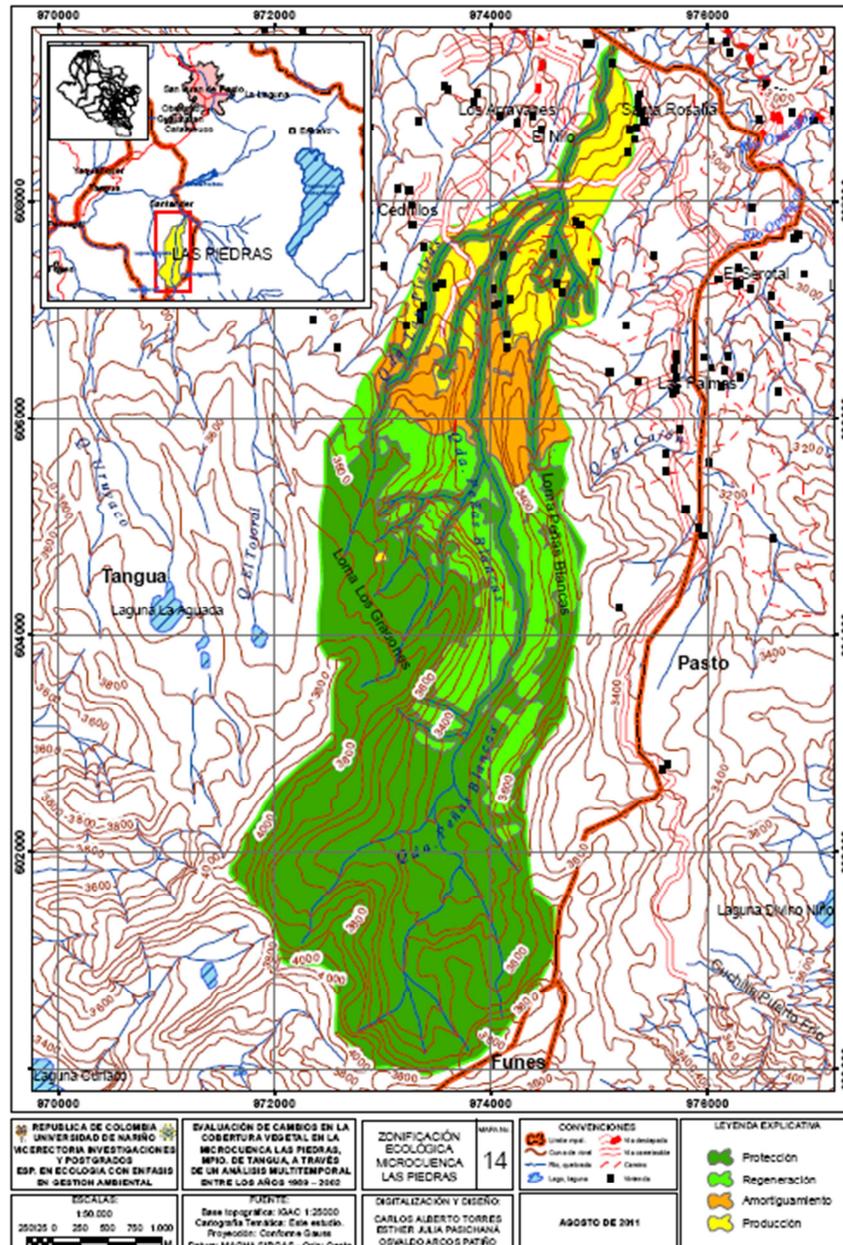
- Los habitantes de la zona tienen que explorar nuevas estrategias de cultivos, la introducción de técnicas agropecuarias que garanticen la conservación de los recursos en la microcuenca.
- El asesoramiento técnico en las labores agrícola es fundamental para elevar el nivel de producción y en la inclusión de nuevas especies que tengan mayor rentabilidad como es el caso de las especies aromáticas.
- La incorporación de abonos orgánicos los residuos de las cosechas, pueden ser aprovechados para mejorar la estructura física y químicas de dichos suelos, mejorando la productividad de los cultivos.
- Una adecuada rotación de cultivos, principalmente la papa, para evitar la proliferación de plagas como el gusano blanco alternando con otras especies como el trigo, cebada, entre otras.
- La actividad silvo-pastoril se efectuará con la finalidad de realizar un pastoreo rotativo, por las características ecológicas estos ambientes permiten la reforestación con especies arbóreas y matorrales de acuerdo a la variación de su pendiente, las cuales crecen asociadas con pastos naturales en donde se efectuará la actividad pastoril.

Tabla 13. Área por categorías para la zonificación ecológica en la microcuenca Las Piedras

| CATEGORÍA DE ZONIFICACIÓN | AREA Ha | % |
|---------------------------|----------|-------|
| Protección | 1.159,29 | 66.95 |
| Regeneración | 283.91 | 16.40 |
| Amortiguamiento | 117.51 | 6.79 |
| Producción | 170.77 | 9.86 |
| TOTAL | 1.731,48 | 100 |

Fuente de esta investigación.

Figura 44. Mapa de zonificación ecológica para el manejo de la microcuenca Las Piedras.



Fuente de esta investigación

6. CONCLUSIONES

El periodo de tiempo de 1989 a 2002 (13 años) es un lapso donde la intervención antrópica propició el aceleramiento de cambios en la cobertura vegetal como resultado de la búsqueda del bienestar humano; cambios que de manera natural probablemente se tardarían mucho más tiempo en presentarse.

El estudio permitió establecer 28 cambios de cobertura, de los cuales la mayor proporción de cambios se presentó en zonas de páramo a subpáramo, con una proporción de 107,07 Ha (6,18%) ocasionados por la intervención antrópica y por factores ambientales externos.

El segundo cambio en la cobertura vegetal que aporta el estudio es el de bosque arbóreo a bosque en regeneración, que corresponde a 72,38Ha, el cual es resultado de la explotación de madera destinada para carbón vegetal, esta proporción es manejable por la mínima cantidad de la población (17 familias) que se dedica a esta actividad, pero al no darle un adecuado manejo incrementaría el efecto negativo sobre los recursos naturales de la microcuenca.

Para la microcuenca Las Piedras se determinaron ocho tipos de coberturas mediante la clasificación supervisada, las cuales permitieron determinar que en el lapso de trece años el bosque arbóreo y paramo disminuyeron en 70,13 y 67,14 Ha., respectivamente; el bosque en regeneración y el subpáramo aumentaron en 89,63 y 40,08 Has respectivamente, resultado de procesos antropicos y de sucesión natural.

La determinación de las ocho coberturas establecen que las áreas destinadas a producción agropecuaria (cultivos y pastos) desde el año 1989 a 2002 se han incrementado en 18,06 Ha, efecto negativo, ya que se presentan al filo de las quebradas despojadas del bosque de galería y en las divisiones de aguas donde las pendientes pueden llegar al 50°.

Las áreas divisorias, las vertientes y los drenajes naturales de la microcuenca Las Piedras presentan pendientes mayores al 50°, y al ser despojadas de su cobertura vegetal para ser incorporados como terrenos agropecuarios, se convierten en zonas inestables, actualmente existen dos grandes deslizamientos y seis pequeños que ocasionan graves efectos erosivos.

Al comparar el estado de conservación de la microcuenca las Piedras se encuentran 1230.25Ha (71,05%) y el área de protección con 1159.29 Ha (66.95%) producto de la propuesta de zonificación, encontrándose una diferencia negativa de 71,06Ha, área que puede llegar a recuperarse a corto plazo y entrar dentro de la categoría de protección.

Para lograr un equilibrio que beneficie a la microcuenca las Piedras y que le permita un verdadero suministro de recursos naturales a largo plazo, es necesario disminuir el deterioro actual de 427,64Ha (24,70%), determinar las áreas más aptas para producción que corresponden a 239,19 Ha (13,81%) y establecer las zonas de regeneración y amortiguamiento, en especial del paramo, subpáramo, del bosque de galería, de las áreas divisorias y de vertientes.

7. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio socioeconómico que permita atender la problemática de las comunidades, y medir el impacto que trae el hecho de detener las talas y quemas de los bosques e intervención de los páramos, para que se genere alternativas de solución a corto plazo y que sean significativas y así garantizar a largo plazo una economía estable para ellos, garantizando la conservación de las coberturas vegetales.

Hay necesidad de emprender campañas educativas con la comunidad de la microcuenca Las Piedras, para que se genere un sentido de pertenencia desde las bases (los niños), y que las escuelas desarrollen proyectos que fortalezcan los valores de tipo ambiental por su región, repercutiendo en la disminución de la pérdida de los recursos naturales en el futuro.

Para los adultos es necesario ofrecer conocimientos más técnicos que mejoren los sistemas de manejo agropecuario para optimizar los resultados sin afectar la microcuenca.

La microcuenca Las Piedras debe denominarse como microcuenca Peñas Blancas, debido a que la primera es tributaria de la segunda y que además posee un caudal mucho mayor en comparación a la Chiquita o Las Piedras.

Socializar la propuesta de zonificación con la comunidad como parte de partida para iniciar programas de conservación y producción que garanticen la sostenibilidad de la microcuenca.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, serán útiles como Línea Base para que las instituciones gubernamentales, controlen y desarrollen estrategias, sostenibles a corto, mediano y largo plazo, en el uso de los recursos naturales, de modo que los beneficiarios se reviertan para el desarrollo y la calidad de vida de la población; tal y como aparecen en la propuesta de zonificación ecológica para la microcuenca.

8. BIBLIOGRAFIA

ALATORRE, Norberto. La microcuenca como elemento de estudio de la vulnerabilidad ambiental. Centro de Estudios en Geografía Humana El Colegio de Michoacán, A.C Disponible en: (Consultado el 15 de junio de 2011).

ALCALDÍA DE PASTO – CORPONARIÑO – EMPOPASTO – CONIF. Formulación del Plan de ordenamiento y Manejo Integral del Río Bobo, Departamento de Nariño. Pasto, 2005. 58 p.

ALCALDÍA DE PASTO – CORPONARIÑO. Agenda Ambiental. Perfil Ambiental y Plan de Acción Municipio de Pasto 2004 – 2012. Pasto, 2005. 342 p.

ALVAREZ, Mauricio. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICAS ALEXANDER VON HUMBOLDT. Bogotá. 2004. 235p.

ÁVILA Francy y CRUZ, Alejandra. Efecto de coberturas vegetales y época climática sobre la densidad de microorganismos totales y heterótrofos en suelos de la eco región cafetera colombiana. Universidad pontificia Javeriana. Bogotá. 2008. 67p.

CASTAÑO, Carlos. Colombia alto andina y la significancia ambiental del bioma páramo en el contexto de los andes tropicales: una aproximación a los efectos futuros por el cambio climático global (global climatic tensor). MMA. IDEAM. PNUD. 2002. 322 p.

CASTAÑO, Carlos. Paramos y ecosistemas andinos de Colombia en condición Hot spot global climatic tensor. Transformación y cambio de uso en los páramos de Colombia en las últimas décadas. MMA- IDEAM – PAUD. 2002. 322 p.

CASTRO, Ana. Prácticas sobre planificación del uso y manejo de los suelos en la microcuenca El Vergel. Río Negro, Colombia. 1991. p.

CHEN, Pin Shan Chen. The entity-relationship model-toward a unified view of data, ACM transactions on database systems, Vol. 1. 1976. 36 p.

CHUVIECO Emilio. Fundamentos de la Teledetección Espacial. Ediciones RIALP S.A. Madrid 1990. 115 p.

CHUVIECO, Emilio. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ed. Ariel Ciencia. Madrid – España. 2002. 98 p.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA DE 1991. (junio 24 de 2011). Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/regimen/resoluciones/cp91.pdf>

CORDOBA, Gustavo. Estimación de la capacidad hídrica de la quebrada Peñas Blancas, cuenca río las Piedras, departamento de Nariño. Universidad de Nariño. 2004. 37 p.

CUATRECASAS, José. Aspectos de la vegetación natural de Colombia», vol. 10, No. 40, 1958. 269 p.

DAMA. Departamento técnico administrativo del medio ambiente. Fundación ecológica Bachateros. Alteración meso climática. En : protocolo distrital de restauración ecológica, guía para la restauración de ecosistemas nativos en la áreas rurales de Santa Fe de Bogotá. Bogotá, 2000. 222 p.

DANE. Proyecciones municipales de población 2005 – 2011 sexo y grupos de edad. San Juan de Pasto. Consultado el 3 de junio de 2011. En: www.pasto.gov.co/index.php?...proyecciones...población-2005-2011...past...

DELCOURT, Webb. Dynamic plant ecology: the spectrum of vegetational change in space and time. 75 p. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/regimen/resoluciones/cp91.pdf>.

EMPOPASTO. Aprovechamiento de la quebrada las Piedras para el acueducto de Pasto. Colombia, Nariño, Pasto. 2008. 27 p.

EMPOPASTO. Plan de Manejo Ambiental para los Diseños de Captación y Conducción del Abastecimiento de la Quebrada Piedras para el Acueducto de Pasto. Pasto, 2000. 56 p.

ERAECOLOGICA. Disponible en: www.eraecologica.org/revista_16/era_agricola_16htm?cuencahidrografica.htm~fram. 5 febrero 2007.

ESRI. Manual de ArcGis módulo spatial analyst. 2005. 37 p.

FAO. Zonificación Agroecológica, Guía General. Roma 1997. en: www.fao.org/docrep/w2962s/w2962s00. (Consultado el 15 de junio de 2011.)

GLOBAL LAND COVER FACILITY. Disponible en: <http://glcf.umiacs.umd.edu> (consultado 7 febrero de 2007)

ETTER, Andrés. Consideraciones generales para el análisis de la cobertura vegetal. . Memorias del primer taller sobre cobertura vegetal. IGAC 1994.155 p

FERNÁNDEZ Ignacio y HERRERO Eliecer. El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del Sensor ETM+. Universidad de Valladolid. Valladolid 2001. 26 p.

FRANCO, Rodolfo. Análisis multitemporal de la cobertura forestal en la región del Carare-Opón, mediante imágenes Landsat de 1991 y 2002. Bogotá 2005. 162 p.

GÓMEZ, Carlos. Cambios y transformaciones en el suelo del bioma de páramo por el cambio climático. Congreso Mundial de Paramos. Tomo I. 2002. 78 p.

GUERRERO, Galo. La Universidad Católica de Loja. Escuela de ciencias biológicas y ambientales. Carrera de ingeniería en gestión ambiental. Loja, Ecuador. 2009. 53 p.

GUTIERREZ, Hilda. Modelo para evaluar la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando SIG con énfasis en las coberturas nival y de paramo. Cita la clasificación de Cuatrecasas 1958. UNAL 2001. 125 p.

VELEZ, Hidelbrando. Los páramos y la apropiación humana de la producción primaria neta. 2004. V Conferencia Nacional de Páramos en Colombia.5p. <http://www.censat.org/component/attachments/download/438>.

HOFSTEDE, Robert. Los páramos andinos; su diversidad, sus habitantes, sus problemas y sus perspectivas. Un breve diagnóstico regional del estado de conservación de los páramos. Congreso mundial de paramos 2001. Memorias. 86 p

HOFSTEDE, Robert. Los páramos del mundo. Proyecto atlas mundial de los páramos. 2003. 299 p.

IGAC. Ecología basada en zonas de vida. Mapa ecológico. Ministerio de Hacienda y crédito público. 1969

IGAC. Conceptos básicos sobre sistemas de información geográfica y aplicaciones en América latina.1995. 11 p.

IGAC. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. Bogotá. 2004. 40 p.

IGAC. Plancha No. 429. Escala 1:100.000. Colombia, Nariño, Pasto. 1977.
INGEOMINAS. Mapa geológico de Colombia plancha 429 Pasto. 1991.

LEIVA, Pablo. El medio ambiente en Colombia. Ecosistemas. IDEAM. MMA. 2001. 346 p.

LOBATÓN, Gheyner y POSADA, Virginia. Fundación Pro-Sierra Nevada. Clasificación de cobertura vegetal de la Sierra Nevada de Santa Marta, a partir de imágenes de satélite Landsat 2001, 2002, 2003. 2004. 28 p.

LOPEZ DE VILES, Nancy y Otros. Plan de manejo 2006-2010 Santuario de Flora isla La Corota. UESPNN. Pasto 2005. 15 p.

LÓPEZ. Ema, MENDOZA, Manuel y ACOSTA, Alejandra. Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. el caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán Instituto Nacional de Ecología Distrito Federal, México. 34 p. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Universidad Autónoma. 2002. En: Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología. ISSN (Versión impresa): 1405-2849. Gaceta Ecológica, julio-septiembre, número 064.

LUTEYN, James L. "Introduction to the Páramo ecosystem". En Páramos: A checklist of plant diversity. New York: Geographical distribution and Botanical literature mem. Bot. Gard. Vol. 84, 1999.

MEDINA, Mayra. Las cuencas hidrográficas internacionales: sistemas reservorio de agua dulce para la cooperación o el conflicto. Sapiens. Revista universitaria de investigación. Año 9 No. 2 diciembre 2008. 165 p.

MILES, J. Vegetation succession: past and present perceptions. En: A. J. Gray, M. J. Crawley y P. J. Edwards. Colonization sucesión and stability. Blackwell Scientific Pub. Oxford 1987. 29 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. Decreto 1541 de 1978

MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. Decreto 2857 de 1981

MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. Decreto 2857 de 1981.

MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. Decreto Ley 2811 de 1974.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Manejo de cobertura vegetal. Santa Fe de Bogotá. 1994. 56 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Ley 152 de 1994 Ley orgánica del plan de desarrollo. Disponible en:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=327>(junio 24 de 2011).

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE y MINISTRO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Ley 388 de 1997.

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=339>(junio 24 de 2011)

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Programa para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña Colombiana: PÁRAMOS. Bogotá D.C., Colombia.2002. 52 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Decreto 1729 de 2002. Bogotá 2002. Disponible en:

http://www.secretariadeambiente.gov.co/sca/libreria/pdf/Decreto_1729_de_2002.pdf (junio 24 de 2011)

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Ley 99 de 1993 Disponible en:

<http://www.humboldt.org.co/download/ley99.pdf> (junio 24 de 2011)

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución 0769 del 5 de agosto de 2002. diario oficial 44916 del 29 de agosto de 2002. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/Colombia/R769-02.pdf>(junio 24 de 2011)

MONASTERIO, Maximina. Evolución y transformación de los páramos en la cordillera de Mérida: paisajes naturales y culturales 1 evolución convergente de los páramos en los intertrópicos montanos. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, 113 p.

MONTOYA Yimmy. y MONTOYA, Boris. Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia. En: revista de ingeniería universidad de Medellín Vol. 8 No. 15 julio diciembre de 2009. 6 p.

MORA, Luis. Estudios ecológicos del paramo del bosque altoandino cordillera oriental de Colombia. 1995. 720 p.

MORALES, Mónica. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2007). 210 p.

MURCIA, Uriel, Gonzalo. Zonificación ambiental (ecológica y económica) en la amazonia colombiana. Tratado de Cooperación Amazónica. Propuesta metodológica para la zonificación ecológica-económica para la Amazonia, memorias del seminario-taller, Santa Fe de Bogotá, 1996. 366 p.

ERDAS IMAGINE. Configuration guide Erdas Imagine v 8.5. Contiene las versiones 8.1, 8.2, 8.02, 8.3. y 7.5. Julio 2 de 2011. En: <http://www.nr.usu.edu/unix/imagen/ConfigGuide.pdf>.

ORTIZ, Consuelo. KOHLER Alois y BOTERO Alvaro. Guía para determinar unidades de cobertura y uso del suelo. Proyecto Río Guatiquía. 30 p.

PEÑAFIEL, Marcía. y TOASA, Germán. ALIANZA JATUN SACHA/ CDC-ECUADOR. Estudio multitemporal de la cobertura vegetal de la cuenca del río Cosanga (1997-2000). U.S. Geological Survey. 2002. 5 p.

PINTO, Jesús. (2005). Evolución del paisaje y estado de conservación de la reserva forestal el choré. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Departamento de Geografía e Informática, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia *Kempffiana* 2006 2(1):45-56. ISSN: 1991-4652. 56 p.

PIZARRO, Roberto. caudales punta y los efectos del cambio de cobertura vegetal en la cuenca del río Purapel (1960 – 2000) Región de Maule, Chile. 2006. 16 p.

PIZARRO, Roberto.. Influencia de las masas boscosas en el régimen hídrico de una cuenca semiárida, Chile caudales punta y los efectos del cambio de cobertura vegetal, en la cuenca del río Purapel, (1960-2000) región de Maule, Chile. En: BOSQUE 26(1): 77-91, 2006

POT. Plan de ordenamiento territorial Municipio de Tangua 2002. 144p.

PRG. PROYECTO RIO GUATIKUÍA. Guía para determinar unidades de cobertura y uso del suelo. Villavicencio, 1999. 58 p

RANGEL, Orlando. La región paramuna y franja aledaña en Colombia. Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna. Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencias Naturales, Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2002. 902 p.

RANGEL, Orlando. COLOMBIA DIVERSIDAD BIOTICA I Universidad nacional de Colombia. ICN. INDERENA. FEN. Bogota.1987. Pág. 213.

RIVERA O. David. Páramos de Colombia. Ed. I/M Editores. Cali 2001. 89 p.

RODRIGUEZ, Nelly. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto Alexander Von Humboldt. Colciencias y 2010. 79 p.

RODRIGUEZ, Francisco. Cuencas hidrográficas, descentralización y desarrollo regional participativo. Redylac. Sistema de información científica. Inter sedes. Vol.VII (12:2006) 113-125. ISSN. 1409-4746. 115 p.

RODRÍGUEZ, Omar. Análisis del cambio de cobertura y fragmentación del hábitat en el municipio de Independencia - Una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Departamento de Geografía e Informática, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 2004. En: Kempffiana ISSN: 1991-4652. 11 (1):21-58.

SALES, Jesús, et al. Importancia de rescatar, mantener y cuidar la microcuenca la magdalena, distrito federal. Revista del centro de investigación, Universidad de la Salle. Julio diciembre año /vol .5 No. 19. 2002. 11p.

SOLARTE, Marialena. RIVAS, G., BACA, Aida. E., CALDERÓN. John., NARVÁEZ Germán., RENGIFO. Julián, MUÑOZ, D., Y TORRES, Carlos. Estado del Arte de los páramos del Departamento de Nariño: Componentes Físico Biótico y Socioeconómico. Vicerrectoría de Investigaciones Universidad de Nariño y Corponariño. Pasto, Colombia. Informe final Convenio Corponariño y Universidad de Nariño. 2007. 16 p.

TOLEDO, M. La Producción Rural en México: alternativas ecológicas. 1989. 152 p.

UMAÑA, Edmundo. Manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. Universidad nacional agraria. Facultad de recursos naturales y del ambiente. Departamento de manejo cuencas y gestión ambiental. Nicaragua. 2002. 26 p.

VAN DER HAMMEN, Thomas. 1997. Ecosistemas terrestres: Páramo. En: Chaves, M. E. y N. Arango (Eds.). 1997. Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Instituto Humboldt, PNUMA Minambiente. 37 p.

VAN DER HAMMEN, Tomas y RANGEL, Orlando. El Estudio de la vegetación en Colombia (recuento histórico-tareas futuras). En: RANGEL, Orlando y Otros. Colombia Diversidad biótica II. Instituto de ciencias naturales, Universidad Nacional de Colombia e IDEAM. Santafé de Bogotá 1997.17- 46 p.

VAN DER HAMMEN. Thomas. Diagnóstico, cambio global y conservación. Congreso Mundial de paramos Tomo I, Paipa, Colombia. 71 p.

VARGAS, O. et al. Propuesta de actividades de investigación para los páramos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia y Instituto De Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 2004. 5 p.

VELASQUEZ, Pascual. Propuesta de zonificación ecológica y económica de la microcuenca del río Pochccomayu y parte baja de la microcuenca del río Antomayu. SISBIB, Sistema de bibliotecas. Perú. Capítulo V y VII. 2004. 150 p.

VITOSUEK 1992 en DANIELS Amy E. Manejo del área protegida en el contexto de la cuenca hidrológica: un estudio de caso de Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. Universidad de Florida 2004. 34 p.

WIJNGAARDEN, Willen. Elaboración de mapas y clasificación de vegetación. Memorias del primer taller sobre cobertura vegetal. IGAC 1994. 31p

WYNGAARDEN, W. y FANDIÑO, M. Un caso de selección y zonificación de áreas de conservación biológica, Parque Nacional Los Nevados. IDEADE – DET, Fundación Cultural Javeriana de Artes Plásticas. Bogotá 2002. 38 p.

WWF. Colombia, Estudio en el territorio Awa. 2002. En http://www.wwf.org.co/colombia/boletin_detalle.php?lang=es&ir

YANEZ, Patricio. Caracterización florística en un sector de cambio paramo – selva nublada en el parque nacional sierra nevada, Venezuela. Revista forestal 42(1) 1998, 62 p.

ANEXOS

ANEXO A. Bandas de imágenes LANDSAT TM (TEMATIC MAPER)

| BANDA | ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO |
|-------|--|
| 1 | De 0,45 – 0,52 μm . (micrómetros), corresponde al rango espectral de color azul. Banda diseñada para penetrar en cuerpos de agua y diferenciar entre agua, suelo y vegetación |
| 2 | De 0,52 – 0,60 μm , corresponde al color verde. Se presenta la máxima reflexión de la vegetación, siendo útil para estimar su vigor. |
| 3 | De 0,63 – 0,69 μm , corresponde al rango espectral del color rojo. Se da la mayor absorción por la clorofila de la vegetación, ayudando a su discriminación. |
| 4 | De 0,76 – 0,90 μm , corresponde al rango espectral del infrarrojo cercano. Útil para la determinación de biomasa y delineamientos de cuerpos de agua. |
| 5 | De 1,55 – 1,75 μm , corresponde al rango espectral del infrarrojo medio. indicativa del contenido de humedad en la vegetación y en el suelo. |
| 6 | De 10,40 – 12,50 μm , corresponde al rango espectral del infrarrojo térmico, útil para mapeo de temperaturas y análisis del estrés en la vegetación. |
| 7 | De 2,08 – 2,35 μm , corresponde al rango espectral de emisión del infrarrojo medio. Esta banda fue diseñada para mapeo térmico y aplicaciones geológicas (estudio de rocas). |
| 8 | Pancromática de 0,50 – 0,90 μm , corresponde al visible total sin discriminación. |

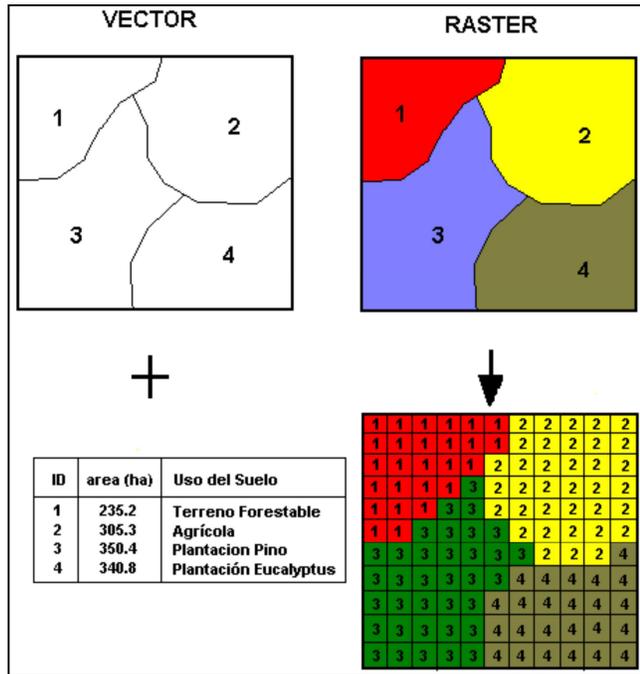
Fuente: SILES, M. 2001.

ANEXO B .TM y ETM+ bandas espectrales.
anchura de banda (µm) Anchura mínima – Anchura máxima

| Sensor | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 | Banda 5 | Banda 6 | Banda 7 | Banda 8 |
|--------|--------------|---------------|--------------|--------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------|
| TM | 0.45-0.52 | 052-0.60 | 0.63-0.69 | 0.76-0.90 | 1.55-1.75 | 10.4-12.5 | 2.08-2.35 | No existe |
| ETM+ | 0.45-052 | 053-061 | 063-0.69 | 078-0.90 | 1.55-1.75 | 10.412.5 | 2.09-2.35 | 0.52-0.90 |
| Región | Visible Azul | Visible Verde | Visible Rojo | Infrarrojo Próximo | Infrarrojo Lejano | Térmico Lejano | Térmico Próximo | Visible |

Fuente: ESRI. Manual de ArcGis módulo spatial analyst. 2005.

ANEXO C. Representación de datos espaciales: vector y ráster



Fuente: ESRI. Manual de ArcGis módulo spatial analyst. 2005.

ANEXO D. Entrevista dirigida a la comunidad de la
Microcuenca las Piedras(municipio de Tangua)

Propósito: identificar los factores relacionados con el uso y aprovechamiento de la
cobertura vegetal de la microcuenca las Piedras.

Cuestionario:

1. ¿Hace cuanto tiempo vive usted en la microcuenca? _____

2. ¿De qué actividades deriva su sustento y el de su familia? _____

3. ¿Cuántos miembros de su familia se dedican a estas actividades? _____

4. ¿Posee Usted terrenos en la microcuenca? Si ___ No___ ¿Cuántas Has? _____

5. ¿Cómo conserva Usted los recursos naturales en la microcuenca? _____

6. ¿Qué árboles utiliza para convertirlos en carbón vegetal y cuáles para madera? _____

7. ¿Cuántas carboneras cree Usted que existen en la microcuenca? _____

8. ¿Cuáles son los principales cultivos en la microcuenca? _____

9. ¿En los cultivos qué tipo de manejo se da antes y después de la siembra? _____

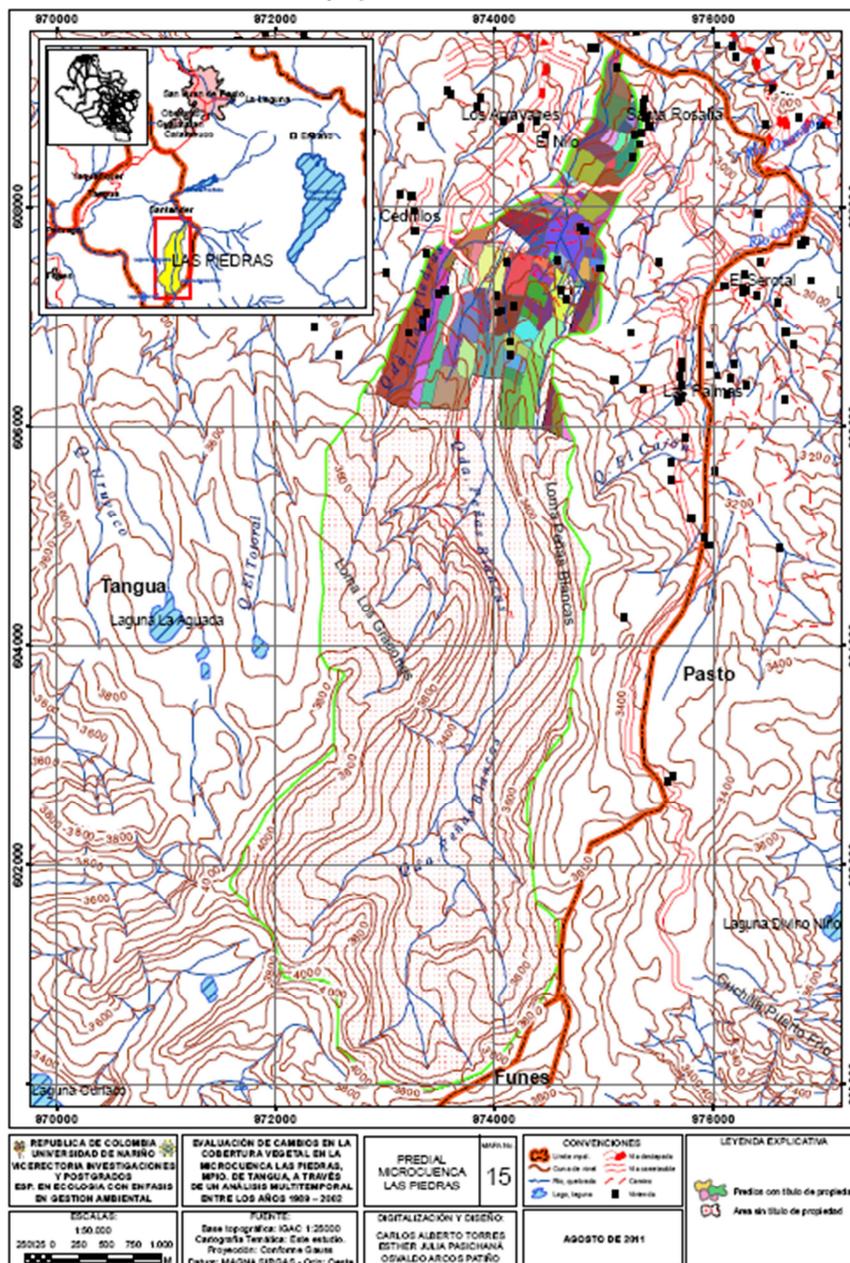
10. ¿Utiliza riego en sus cultivos o praderas? ¿Qué tipo y con que frecuencia? _____

-
-
11. ¿Qué actividades institucionales conoce que actualmente se adelantan en la microcuenca para el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales? _____
-
-
12. ¿Cómo compararía la cobertura vegetal de hace 15 años con la actual? _____
-
-
13. ¿Las Instituciones educativas, gobiernos locales y la comunidad en general, ofrecen capacitación a los habitantes para un mejor uso de los recursos naturales en la microcuenca, Cuáles? _____
-
-
14. ¿Qué explotación de animales domésticos tiene para el sostenimiento familiar o generación de ingresos? _____
-
-
15. ¿Está de acuerdo que el agua de la microcuenca se destine para el acueducto de la ciudad de Pasto? _____
-
-
16. ¿Estaría de acuerdo en que el Estado proteja la microcuenca? ¿Vendería sus predios para permitirlo? _____
-
-
17. ¿Por qué cree usted, se presentan deslizamientos y derrumbes en la microcuenca? _____
-
-
18. ¿Qué medidas emplea la comunidad para evitar la presencia de suelos erosionados? _____
-
-

AGRADECEMOS POR SU COLABORACIÓN

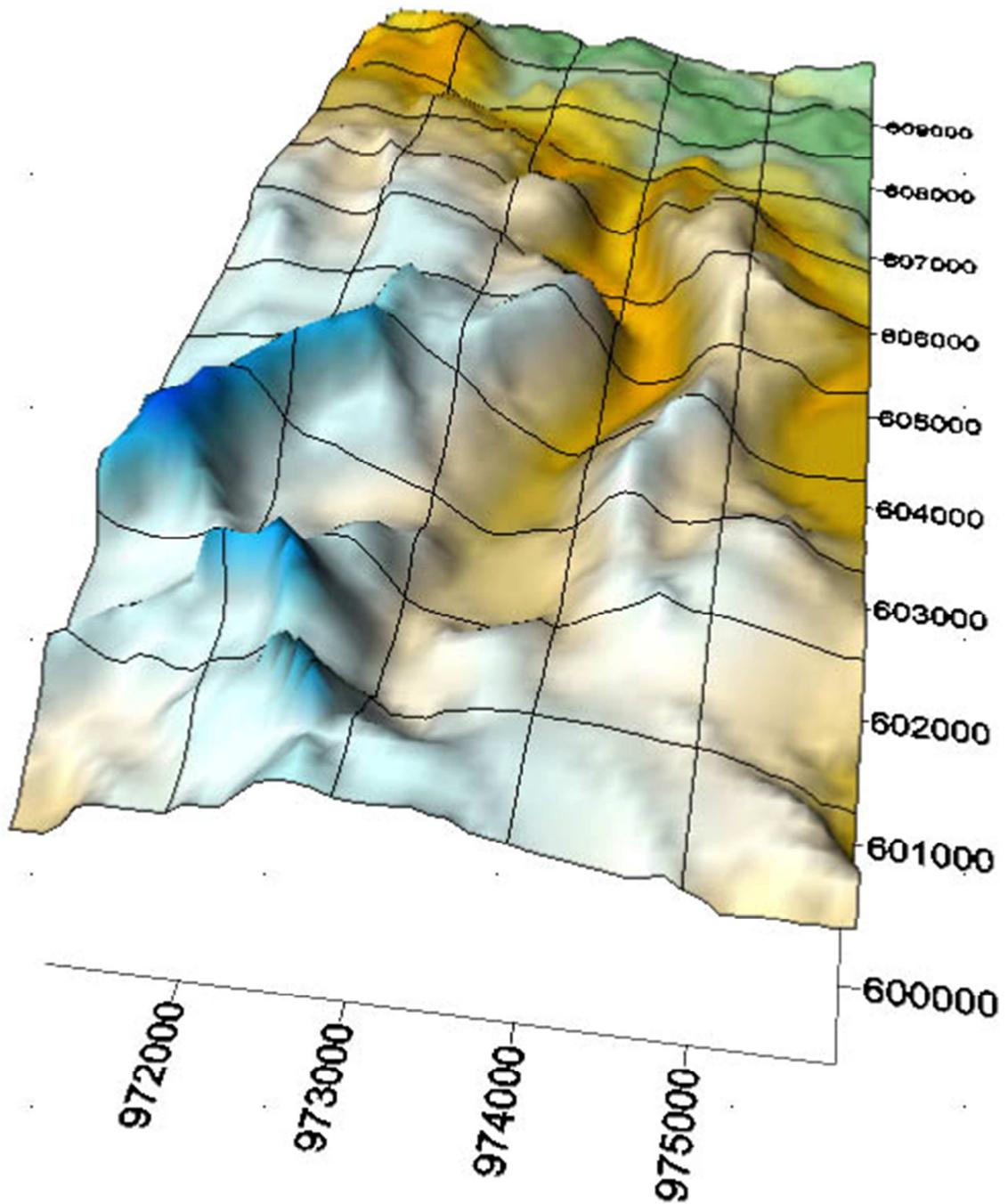
ANEXO E. Mapa predial microcuenca Las Piedras

ANEXO 5. Mapa predial microcuenca Las Piedras



Fuente de esta investigación.

ANEXO F. Modelo digital del terreno (dtm) microcuenca las Piedras, municipio de Tangua. Nariño.



Fuente de esta investigación.