

**CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE LA TIERRA EN EL SUELO RURAL
DEL MUNICIPIO DE PUIPALES – NARIÑO
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG**

NICOLAS ALEXANDER PATIÑO NARVAEZ



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

**CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE LA TIERRA EN EL SUELO RURAL
DEL MUNICIPIO DE PUIPALES – NARIÑO
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG**

NICOLAS ALEXANDER PATIÑO NARVAEZ

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Dios brindarme la oportunidad, los medios y fortaleza para cumplir con este propósito en mi vida académica y personal.

Mi hermano, padre y especialmente a mi madre porque gracias a su esfuerzo, apoyo y motivación fue posible cumplir con esta meta.

Anny Constanza Romero por su apoyo, compañía y motivación para llevar a feliz término este proceso.

Eybar Rene Sánchez Sandoval, Geógrafo con énfasis en planificación regional de la Universidad de Nariño, Máster en Cartografía, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la Universidad de Barcelona, quien brindo asesoría en los temas relacionados con procesamiento digital de Imágenes.

Dany Arbey Benavides Bolaños, egresado del programa de Geografía Aplicada a la Organización del Espacio y Planificación Regional de la Universidad de Nariño, actualmente miembro del grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales -TERRA- de la Universidad de Nariño, quien apoyo el desarrollo de las actividades de campo y asesoro con su experiencia el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a la administración municipal de Pupiales y al equipo de consultoría por facilitarme el acceso a la información requerida para el desarrollo de este trabajo y brindarme la oportunidad contribuir con mis conocimientos al desarrollo de una pequeña parte del departamento de Nariño.

Mis compañeros, amigos y colegas de la Unidad de Restitución de Tierras Territorial Nariño por su compañía y apoyo en esta etapa de mi vida.

Finalmente agradezco y dedico este trabajo a mi abuelo Felix Hernado Patiño de quien aprendí que con esfuerzo y trabajo se logra cualquier propósito que tengamos en nuestras vidas.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	16
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2. DELIMITACIÓN	17
1.2.1. Delimitación Geográfica	17
1.2.2. Alcances del proceso	18
1.3. FORMULACIÓN	18
2. OBJETIVOS	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. JUSTIFICACIÓN	20
4. MARCO TEÓRICO	21
4.1. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	21
4.1.1. Cobertura de la tierra	21
4.1.2. Uso de la tierra	21
4.2. CLASIFICACIÓN Y LEYENDA	21
4.3. TELEDETECCIÓN, SENSORES REMOTOS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	22

	Pág.
4.3.1. Teledetección o Percepción Remota	22
4.3.2. Sensores remotos	23
4.3.3. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	23
4.4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES (PDI)	24
4.4.1. Procesamiento Digital de Imágenes (PDI)	24
4.4.2. Imagen digital.	25
4.4.3. Imágenes de satélite.	25
4.4.4. Interpretación de imágenes de satélite.	26
4.4.5. Elementos visuales para interpretación de imágenes de satélite	26
4.4.6. Clasificación digital de imágenes	26
4.4.7. Imágenes Satelitales RapidEye	28
4.5. METODOLOGIA Y LEYENDA CORINE LAND COVER	29
4.5.1. Metodología Corine Land Cover	29
4.5.2. Leyenda Corine Land Cover Colombia	29
4.6. ANTECEDENTES	31
4.6.1. Adopción de la Metodología y Leyenda Corine Land Cover –CLC- para Colombia	31
4.6.2. Contexto del ordenamiento territorial en el municipio de Pupiales	32
5. METODOLOGÍA	33
5.1. TIPO DE TRABAJO	33
5.2. PROCEDIMIENTO	33

	Pág.
5.2.1. Fase 1. Consecución y revisión de información	34
5.5.2. Fase 2. Elaboración de geodatabase y cartografía base	37
5.2.3. Fase 3. Procesamiento digital de la imagen	42
5.2.4. Fase 4. Elaboración de salidas de información	54
6. RESULTADOS	55
6.1. GEODATABASE PERSONAL	55
6.2. MAPA BASE	55
6.2.1. Mapa de variación altitudinal	58
6.2.2. División político administrativa	59
6.2.3. Pendientes	60
6.3 COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN EL MUNICIPIO DE PUPIALES	64
6.3.1. Cobertura de la Tierra	64
6.3.2. Uso de la tierra	80
6.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
7. CONCLUSIONES	85
8. RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización general del área de estudio	17
Figura 2. Componentes de los sensores remotos	23
Figura 3. Ejemplo de imágenes satelitales de sensores remotos	25
Figura 4. Localización del área de estudio con respecto al índice de planchas 1:25000 del IGAC.	34
Figura 5. Personal Geodatabases	35
Figura 6. Zonificación del área a declarada como Parque Natural Regional de Paja Blanca	36
Figura 7. Empalme de la información base contenida en las personal geodatabase.	38
Figura 8. Modelo digital de elevación	39
Figura 9. Modelo digital de pendientes	40
Figura 10. Delimitación del perímetro urbano de la cabecera municipal de Pupiales	41
Figura 11. Bandas 1, 2, 3, 4, 5 de la escena RapidEye 2010-08-09T163253_RE1_1B-NAC_4522110_96742	43
Figura 12. Curvas de reflectancia de la imagen RapidEye	44
Figura 13. Escena RapidEye 2010-08-09T163253_RE1_1B-NAC_4522110_96742.tif.	45
Figura 14. Recorte de la escena que cubre el área de estudio.	45
Figura 15. Composición de bandas	46

	Pág.
Figura 16. Corrección geométrica de la imagen	47
Figura 17. Análisis espectral de las coberturas presentes en la imagen	48
Figura 18. Clasificación no supervisada de la imagen que cubre el área de estudio	49
Figura 19. Trabajo de campo	51
Figura 20. Puntos GPS tomados en campo	51
Figura 21. Edición de signaturas.	52
Figura 22. Clasificación supervisada	52
Figura 23. Imagen Generalizada	53
Figura 24. Estructura de la personal Geodatabase	55
Figura 25. Mapa base del municipio de Pupiales	57
Figura 26. Mapa de rangos altitudinales cada 100 metros	58
Figura 27. Mapa de división político administrativa	59
Figura 28. Mapa de clasificación de la pendiente	63
Figura 29. Registro fotográfico - cultivos de papa	67
Figura 30. Registro fotográfico - pastos limpios	68
Figura 31. Registro fotográfico - tierras desnudas	70
Figura 32. Registro fotográfico - Bosque denso bajo de tierra firme	72
Figura 33. Registro fotográfico - Bosque Fragmentado	73
Figura 34. Registro fotográfico - Herbazal denso de tierra firme no arbolado	75
Figura 35. Registro fotográfico - Arbustal denso	76

	Pág.
Figura 36. Arbustal denso	76
Figura 37. Tejido urbano continuo - cabecera municipal de Pupiales	77
Figura 38. Mapa con la clasificación de la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales (Leyenda Corine Land Cover)	79
Figura 39. Mapa con el uso de la tierra del municipio de Pupiales	82

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del sensor RapidEye	42
Tabla 2. Disgregación de la nomenclatura de la imagen	43
Tabla 3. Clasificación del territorio municipal en suelo urbano y rural	56
Tabla 4. Estructura jerárquica de las unidades de cobertura de la tierra identificadas en el municipio de Pupiales	65
Tabla 5. Cobertura de la tierra en el municipio de Pupiales	78
Tabla 6. Uso y cobertura de la tierra en el municipio de Pupiales	81

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación de Pendientes	60
Cuadro 2. Clasificación de la pendiente en el municipio de Pупiales	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. MAPA BASE

Anexo 2. VARIACION ALTITUDINAL 100m.

Anexo 3. DIVISION POLITICO ADMINISTRATIVA (actual)

Anexo 4. CLASIFICACION DE LAS PENDIENTES

Anexo 5. CLASIFICACION DE LA COBERTURA DE LA TIERRA EN EL MUNICIPIO DE PUPIALES NARIÑO (Leyenda Corine Land Cover)

Anexo 6. USO DE LA TIERRA

RESUMEN

La zonificación de la cobertura de la tierra es una labor de vital importancia para lograr una planificación eficaz del territorio, en este sentido el presente trabajo se orienta principalmente la clasificación de la cobertura de la tierra de la zona rural del municipio de Pupiales para lo cual se tuvo como referencia la metodología Corine Land Cover y la clasificación de las coberturas identificadas se hizo con base en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra - Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000", la cual ya ha sido aplicada en Colombia, siendo el caso más representativo a nivel nacional el mapa de cobertura de la tierra cuenca Magdalena – Cauca elaborado entre los años 2004 y 2007.

Para realizar la clasificación de la cobertura de la tierra en el municipio de Pupiales se abordaron y aplicaron diferentes procedimientos, y herramientas propias del desarrollo y aplicación de Sistemas de Información Geográfica SIG, Sistema de Posicionamiento Global GPS, Sensores Remotos y Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales.

Los resultados de este trabajo se materializan en mapas temáticos que espacializan la clasificación de la cobertura de la tierra y uso de la tierra, complementariamente se integró la base cartográfica digital georreferenciada a escala 1:25.000 la cual se constituye en el vínculo geográfico de los resultados de la clasificación de la cobertura de la tierra y uso de la tierra, clasificación de la pendiente, variación altitudinal y división político administrativa (veredas), debido a que soporta la distribución espacial de los resultados y permite visualizarlos y analizarlos en el contexto geográfico municipal.

El presente trabajo cobra real importancia en la medida que se orientó a la zonificación de la cobertura de la tierra en la zona rural del municipio de Pupiales como parte de la generación de conocimiento e información en el proceso de ordenamiento territorial del municipio, por tanto se buscó que la realización de este trabajo se vincule directamente con la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pupiales, lo que facilitó la consecución de información correspondiente a cartografía base a escala 1:25000 y una imagen satelital, y permitió la inclusión de los resultados a dicho proceso de actualización.

PALABRAS CLAVES: Clasificación de cobertura de la tierra, Procesamiento Digital de Imágenes (PDI), Sistemas de Información Geográfica (SIG), Ordenamiento Territorial.

ABSTRACT

The zoning land cover is really important in order to achieve an effective planning of territory, in this sense, the present work is mainly oriented to land cover classification of the Pupiales municipality's rural zone, for which the Corine Land Cover methodology was taken as a reference and the identical coverage classification based on the Land Cover National Legend of - Corine Land Cover adapted to Colombia at 1: 100,000, which has already been applied in Colombia, the most representative case nationwide was the coverage's map of the Magdalena - Cauca basin developed between 2004 and 2007.

To make classification of land cover in the Pupiales municipality different procedures and tools own of the development and application of Geographic Information Systems (GIS), Global Positioning System (GPS), Remote Sensing and Digital Processing of Satellite Images were discussed and applied.

These research's results are materialized in thematic maps that bring a space classification of land cover and land use, in addition, georeferenced digital map database was integrated to scale 1: 25.000, which is the geographical link of the results of the land cover and land use classification, the slope of classification, altitudinal variation and administrative political division (sidewalks), because it supports the spatial distribution of the results and allows viewing and analysis in the municipal geographical context .

This work takes real significance since it was oriented to the zoning of the land cover in the Pupiales municipality's rural zone as part of the generation of knowledge and information in the process of territorial planning of the municipality, therefore ,the realization of this work is linked directly with the Pupiale's Municipality Land Use Plan updated which facilitated the achievement corresponding information of map database to scale 1:25000 and a satellite image, and allowed the inclusion of the results to update process.

KEY WORDS: Classification of land cover, Digital Image Processing (PDI), Geographic Information Systems (GIS), Space Planning.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en llevar a la práctica en un contexto municipal la metodología Corine Land Cover para la zonificación y clasificación de la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales, abordando una necesidad planteada por el municipio, es decir este trabajo persigue fines de aplicación directos e inmediatos, los cuales se materializan o traducen en mapas temáticos que contienen principalmente la clasificación de la cobertura de la tierra y complementariamente información derivada de la topografía municipal como la clasificación de la pendiente y altitudinal que se vinculan directamente al diagnóstico biofísico y geográfico del proceso de ordenamiento territorial del municipio de Pupiales.

La clasificación de la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales resalta la importancia de la integración y aplicación de Sistemas de Información Geográfica SIG, Sistema de Posicionamiento Global GPS, Sensores Remotos y Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales en la generación de información georeferenciada que se constituye en un instrumento que contribuye en la gestión del suelo en el ordenamiento territorial para la planificación del desarrollo territorial, estableciendo un aporte al conocimiento de las condiciones actuales del municipio.

Los resultados del presente trabajo, como la cartografía base, la clasificación de la pendiente a partir de la base topográfica, la clasificación altitudinal, la clasificación de la cobertura y uso de la tierra se constituyen en información georeferenciada y conocimiento del contexto geográfico municipal dirigido a orientar la gestión del territorio y ordenamiento territorial y que a la vez den cumplimiento a lo dispuesto en la Ley 388 de 1997, Ley 3600 de 2007 y demás normas reglamentarias de orden nacional, así como la directriz de la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO que establece en las “Determinantes Ambientales para el Ordenamiento Territorial” que se requiere contar con un mapa de cobertura y uso actual de la tierra ajustado a la metodología Corine Land Cover

Finalmente se espera que el resultado o producto de este trabajo, se constituya en un aporte para la gestión sostenible de los recursos naturales y construcción de las bases para el ordenamiento ambiental y territorial del municipio, a la vez que sienta un precedente a nivel regional en la realización de estudios sobre zonificación de cobertura y usos de la tierra e impulse el uso y aplicación de las nuevas tecnologías y herramientas geo informáticas.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Pupiales no cuenta con una clasificación actualizada de la cobertura de la tierra que brinde un conocimiento claro que oriente la gestión del territorio y ordenamiento territorial y que a la vez de cumplimiento a lo dispuesto en la Ley 388 de 1997, Ley 3600 de 2007 y demás normas reglamentarias de orden nacional, así como la directriz de la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO que establece en el documento “Determinantes Ambientales para el Ordenamiento Territorial” que se requiere contar con un mapa de cobertura y uso actual del suelo ajustado a la metodología Corine Land Cover. La inexistencia de la zonificación de la cobertura de la tierra limita la política pública de ordenamiento territorial reflejada en la gestión del suelo rural del municipio, así mismo compromete la inversión pública consignada en el programa de ejecución del plan de desarrollo municipal y plan de ordenamiento territorial.

La carencia de una clasificación de la cobertura de la tierra estandarizada que oriente la gestión del suelo así como de acciones que se efectúen en materia de planificación y ordenamiento territorial y ambiental, entorpece la planificación que realizan las instituciones gubernamentales, además parte de los programas y proyectos contenidos en los planes de ordenamiento (planes de ordenamiento ambiental, planes de ordenamiento territorial, planes de ordenamiento de cuencas hidrográficas etc.) corren el riesgo de no ejecutarse integralmente ya que es fundamental conocer la cobertura de la tierra del territorio.

La falta de conocimiento detallado, localización e información georreferenciada sobre la cobertura de la tierra produce que se permanezca en un alto grado de incertidumbre respecto al comportamiento de dicha situación al interior de un territorio, trascendiendo dicha problemática a situaciones como desaciertos en inversión pública, pérdida de recursos naturales y pérdidas económicas, produciendo el atraso de un territorio, lo que conlleva de alguna manera en este punto a cuestionar la capacidad técnica y administrativa del capital humano presente en el territorio.

Por lo anteriormente expuesto el Municipio de Pupiales se encuentra en un proceso de desarrollo característico de todos los municipios del departamento de Nariño e incluso del país, en donde hacen falta instrumentos de planificación que fortalezcan la capacidad de gestión, aspectos que evidencian la situación actual de atraso con relación a otros sectores del territorio regional y nacional en donde se ve restringida la construcción del modelo apropiado de ocupación del territorio.

1.2. DELIMITACIÓN

1.2.1. Delimitación Geográfica. El área geográfica de este estudio comprende la zona rural del municipio de Pupiales ubicado al sur del departamento de Nariño en la república de Colombia, entre los 0° 54´ de Latitud norte y 77° 39´ de longitud al Oeste de Greewinch, en la cordillera de los Andes a 7 km de Ipiales, 10 km de la frontera con la república de Ecuador a 91 km de San Juan de Pasto y 1037 km de Bogotá capital nacional, tiene una extensión de 130,49 kilómetros cuadrados. Es una de las poblaciones que forman parte del altiplano nariñense (Alcaldía de Pupiales - Nariño, 2012).

Para la delimitación cartográfica del área de estudio se retomó el perímetro municipal y la clasificación del suelo en los términos del capítulo IV de la Ley 388 de 1997 consignados en el Esquema de Ordenamiento Territorial –EOT- de Pupiales. En el artículo 33 de dicha Ley se define como suelo rural: “constituyen esta categoría los terrenos no aptos para el uso urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas”, (CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, 1997).

Figura 1. Localización general del área de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

1.2.2. Alcances del proceso. El presente estudio tiene como intención principal la realización de la clasificación de la cobertura de la tierra de la zona rural del municipio de Pupiales mediante la aplicación de tecnologías correspondientes a Sistemas de Información Geográfica (o herramientas SIG), Sistemas de Posicionamiento Global e Imágenes satelitales la cual se materializa en un mapa de clasificación de la cobertura de la tierra adaptado a la metodología Corine Land Cover.

1.3. FORMULACIÓN

¿Cómo conocer y clasificar la cobertura actual de la tierra y que con esto se contribuya a la gestión del suelo y ordenamiento territorial de la zona rural del municipio de Pupiales?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Clasificar la cobertura de la tierra en la zona rural del municipio de Pupiales, mediante la aplicación de herramientas SIG.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Procesar la información requerida y disponible mediante la implementación de un software para procesamiento digital de imágenes (PDI) y sistemas de información geográfica (SIG).
- Elaborar una Geodatabase para el almacenamiento de la información requerida y elaborada en el desarrollo de este trabajo.
- Identificar la cobertura y uso de la tierra en el área de estudio.
- Clasificar la cobertura de la tierra del área de estudio mediante la adaptación de la Leyenda Corine Land Cover.
- Generar cartografía temática con los resultados obtenidos.

3. JUSTIFICACIÓN

En el desarrollo del quehacer profesional en el campo de la geografía con énfasis en planificación regional se puede identificar la necesidad que tienen los territorios a diversa escala local, regional, nacional de integrar y aplicar tecnologías propias de los sistemas de información geográfica para la generación de cartografía como herramienta e instrumento que fortalezca entre otras necesidades la gestión del suelo en el ordenamiento territorial para la planificación del desarrollo del territorio. Para tal fin se orientó este proyecto de investigación/consultoría en la aplicación y retroalimentación de conocimientos sobre zonificación de la cobertura de la tierra combinado con la aplicación de tecnología relacionada con Sistemas de Información Geográfica SIG, Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS, Sistema de Posicionamiento Global GPS, Sensores Remotos y Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales.

La zonificación de la cobertura de la tierra es una labor de vital importancia para lograr una planificación eficaz del territorio y la gestión del suelo es un componente estratégico en muchos aspectos orientados a fortalecer la competitividad de los territorios de cara a un mundo globalizado.

El presente trabajo cobra real importancia en la medida que se orientó a la zonificación de la cobertura de la tierra en la zona rural del municipio de Pupiales como parte de la generación de conocimiento e información en el proceso de ordenamiento territorial del municipio. Su elaboración se articula con las adecuaciones que deben emprender las instituciones en el territorio nacional y por ende en los municipios principalmente en el marco de la Ley 388 de 1997 y el Decreto 3600 de 2007 por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural entre otras disposiciones, abordándose en este trabajo principalmente lo referente a la zonificación de la cobertura de la tierra, en este sentido la zonificación propuesta pretende brindar un sustento técnico para la toma de decisiones en el municipio por parte del mismo o de instituciones o autoridades de superior jerarquía, como la Gobernación Departamental y la Corporación Autónoma Regional de Nariño.

La vinculación de los resultados obtenidos de este trabajo le permitirá a la administración pública municipal tomar y emprender decisiones sobre el territorio, más acertadas y priorizadas en cuanto a acciones y generación de política pública reflejada en planes de ordenamiento y planes de desarrollo, mediante la generación y acceso de información teniendo como sustento información y conocimiento más detallado y preciso que oriente la gestión del uso del suelo. El conocer la cobertura de la tierra permite una mejor planificación de las actuaciones sobre el territorio principalmente sobre la disposición de asentamientos, infraestructura, equipamientos colectivos y uso de la tierra conforme a sus características, vocación y potencialidades.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

La cobertura de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra (Di Gregorio, 2005), en un término amplio no solamente se describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también se describen otras superficies terrestres como por ejemplo afloramientos rocosos y cuerpos de agua. Sin embargo adicionalmente, se destaca que la cobertura debe ser considerada un elemento geográficamente explícito que otras disciplinas pueden usar como referencia geográfica.

Conceptualmente se ha logrado la separación entre cobertura y uso de la tierra, que anteriormente se empleaban indistintamente:

4.1.1. Cobertura de la tierra: En términos puntuales para la delimitación de las coberturas de la tierra, el IDEAM (1997) describe la cobertura como la unidad delimitable que surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisionómicas y ambientales, diferenciables con respecto a la unidad próxima.

4.1.2. Uso de la tierra: El término uso implica la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano para Janssen (2000) el uso se relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas de una porción específica de la tierra como el uso urbano, agrícola o protección (MinAmbiente, 2011).

El uso de la tierra está caracterizado por los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir cambiarla o mantenerla. Esta definición establece un vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones del hombre en su medio ambiente:

4.2. CLASIFICACIÓN Y LEYENDA

La clasificación es una representación abstracta de la situación real en un campo utilizando criterios bien definidos Sokal (1974) definió la clasificación como: “El arreglo u ordenamiento de objetos en grupos o conjuntos sobre la base de sus relaciones”. Una clasificación describe el esquema sistemático con los nombres de las clases y los criterios utilizados para distinguirlos, y la relación entre clases. Por lo que la clasificación requiere la definición de límites de clase, los cuales deben ser claros, precisos, en lo posible cuantitativos, y basados en criterios objetivos.

Una leyenda es la aplicación de una clasificación en un área específica utilizando una escala definida de mapeo y un conjunto de datos específico, por tanto una

leyenda solo puede contener una parte o subconjunto de todas las clases posibles de la clasificación.

4.3. TELEDETECCIÓN, SENSORES REMOTOS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (herramientas para el estudio de la cobertura de la tierra)

La observación de la tierra desde el espacio ha experimentado en los últimos años un acelerado desarrollo, llegando a ser un aliado cada vez más imprescindible en el seguimiento de procesos ambientales de gran impacto para nuestro planeta y de igual manera ha permitido enriquecer notablemente su conocimiento.

4.3.1. Teledetección o Percepción Remota. La observación remota de la superficie terrestre constituye el marco de estudio de la teledetección o también llamada percepción remota. La teledetección es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales y su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación o finalidad, (CHUVIECO, 2002). Para que esta observación remota sea posible es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción (CHUVIECO, 1995).

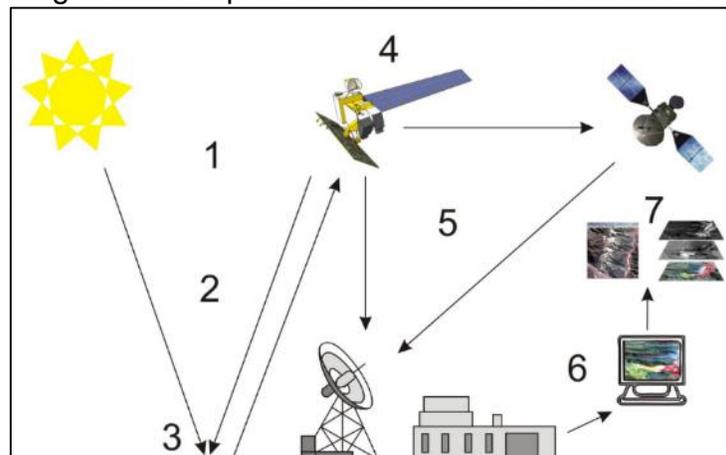
La teledetección de recursos naturales se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, que está basado en las propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con los materiales de la superficie terrestre. Todos los elementos de la Naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina *signatura espectral*. La Teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Su objetivo esencial se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su signatura espectral. (Romero, 2006).

La teledetección cuenta con numerosas aplicaciones gracias a las ventajas que ofrece frente a otros medios de observación más convencionales como la fotografía aérea o los trabajos de campo, pues más que sustituirlos los complementa. Algunas aplicaciones de esta técnica tienen que ver con el medio ambiente, los recursos naturales, actividades agrícolas y forestales, desarrollo urbano, planificación territorial, levantamientos de cobertura y uso de la tierra, análisis multitemporales de algún fenómeno en particular, entre otras.

4.3.2. Sensores remotos. La observación de la cobertura biofísica de la tierra se puede realizar a través de sensores remotos entendidos como sistemas o instrumentos para captar información de un objeto a distancia. Los Sensores Remotos son dispositivos que permiten capturar información de los objetos sin tener un contacto directo con ellos, su uso en aplicaciones para el estudio de los recursos naturales tiene una larga trayectoria, dado que proporcionan información confiable sobre superficies extensas con alta precisión y costos razonables, (GONZALEZ, 2007).

Los sensores remotos se componen básicamente de los siguientes elementos:
1: Fuente de energía, pasiva o activa 2: Trayectoria y su interacción con la atmósfera 3: Incidencia en la superficie terrestre 4: Satélite 5: Ciclo de toma y descarga de datos 6: Estación terrena de preproceso 7: Información al usuario.

Figura 2. Componentes de los sensores remotos.



Fuente: Segemar

4.3.3. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los Sistemas de Información Geográfica por su parte, son hoy en día la herramienta más versátil para almacenar y analizar información espacial, pues como herramienta de análisis, influyen en el mejoramiento de la efectividad y la eficiencia de las operaciones cartográficas y la manipulación y tratamiento de los datos, en la representación de escenarios y alternativas de solución a problemas que se identifiquen en el territorio.

Para el IGAC, “los Sistemas de Información Geográfica se definen como el conjunto de métodos, herramientas y actividades que actúan coordinada y sistemáticamente para recolectar, almacenar, validar, actualizar, manipular, integrar, analizar, extraer y desplegar información, tanto gráfica como descriptiva de los elementos considerados, con el fin de satisfacer múltiples propósitos”, (IGAC, 2005).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objeto de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas. Los mapas representan colecciones lógicas de información geográfica como capas de mapa. Constituyen una metáfora eficaz para modelar y organizar la información geográfica en forma de capas temáticas (esri, 2015).

4.4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES (PDI)

La interpretación de imágenes satelitales está vinculada a la percepción remota y se trata del procesamiento digital de las mismas. El principal objetivo del procesamiento digital de imágenes es permitir manipular y analizar los datos de imágenes producidas por sensores remotos, de tal forma que sea revelada información que no pueda ser reconocida inmediatamente en la forma original, (ALZATE, 2001).

4.4.1. Procesamiento Digital de Imágenes (PDI). Es el conjunto de métodos y técnicas orientado a la manipulación y análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes digitales, su corrección, mejoramiento, transformación y/o clasificación temática con el fin de generar información útil sobre objetos, áreas y fenómenos, sin estar en contacto con ellos y con el fin de mejorar el conocimiento sobre los recursos naturales de la Tierra, (POSADA, 2008).

Normalmente toda interpretación y análisis de imágenes involucra algún proceso digital, incluyendo la importación, exportación y corrección de datos, mejoras y realces para facilitar una mejor interpretación visual o algún tipo de clasificación automática de interés desde un computador.

Para llevar a cabo un PDI es necesario que los datos estén contenidos y disponibles en formato digital en algún dispositivo de almacenamiento y contar con un sistema computacional, algunas veces definido como sistema de análisis de imágenes, con el hardware y software apropiados para el procesamiento de los datos.

Para realizar un trabajo técnico de PDI se debe tener en cuenta la experiencia profesional en el campo de la aplicación temática y el dominio de ese ambiente computacional. También, se requiere de conocimientos sobre estadística, matemáticas y algunas veces sobre lenguajes de programación.

En el mercado hay disponible varias soluciones de software tanto libres como privativos para llevar a cabo el análisis y el PDI, entre los que se encuentran ERDAS Imagine de Leica Geosystems, ILWIS Open del ITC de Holanda, GRASS GIS, ENVI de ITT Visual Information Solutions, SPRING del INPE de Brasil, IDRISI de la Universidad de Clark, Geomática de PCI Geomatics, SAGA GIS entre otros.

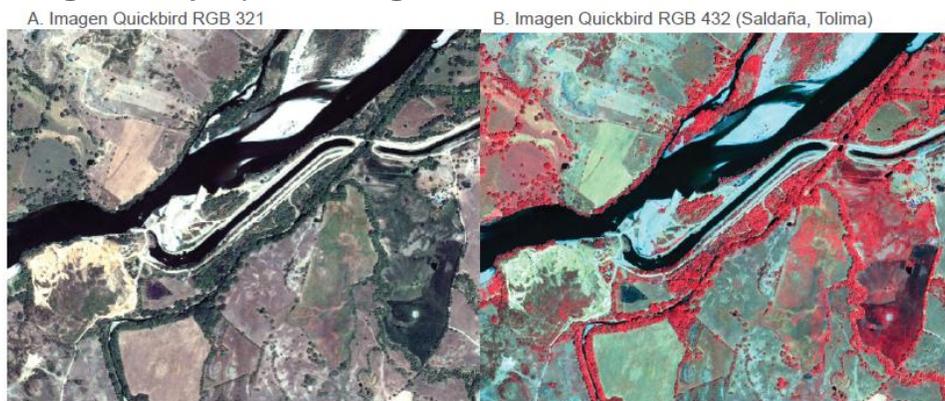
Identificado el software y hardware necesario, así como la información y el recurso humano para realizar el proceso de interpretación y análisis de imágenes, se debe tener presente cuáles son las características propias de cada tipo de sensor remoto (óptico, radar, geofísico) ya que las imágenes poseen algunas deficiencias inherentes al modo de toma, de ahí que sea necesario corregirlas a fin de obtener los datos originales y seguir varias etapas de procesamiento.

Estas etapas varían de una imagen a otra dependiendo del formato, las condiciones iniciales de la imagen, la información de interés y la composición de la escena de la imagen. El PDI incluye una amplia gama de procedimientos que se pueden asociar o categorizar dentro las cinco etapas siguientes: Etapa de pre-procesamiento, Etapa de mejoras y realces, Etapa de transformaciones, Etapa de clasificación y análisis, y Etapa de post – procesamiento.

4.4.2. Imagen digital. La imagen digital es un arreglo matricial de números que representa una distribución espacial de la energía electromagnética (reflexión, emisión, temperatura o alguna variable de elevación topográfica o geofísica) de una escena capturada por un sensor remoto, (GIS Development, 2007).

4.4.3. Imágenes de satélite. Son productos de sensores remotos pasivos y trabajan en el rango óptico del espectro electromagnético de 0.4 a 15 μm . El sistema de captura de información se combina con una óptica similar a la de la fotografía y un sistema de detección electrónica. La imagen de satélite a diferencia de la fotografía aérea permite su manipulación digital con el fin de mejorar el contraste para resaltar diferentes tipos de superficies y proporcionar un estimativo de las características en el estudio cuantitativo geográfico y temático de una región en particular y almacenar esta información en base de datos relacionales, (CHUVIECO, 2002). La mínima unidad identificable e indivisible en una imagen satelital se denomina pixel.

Figura 3. Ejemplo de imágenes satelitales de sensores remotos



Fuente: IGAC – CIAF, 2008.

Una imagen digital está conformada por elementos pictóricos discretos denominados píxeles, organizados en filas y columnas. Cada píxel tiene asociado un número denominado Nivel Digital (ND), el cual representa la intensidad o brillo promedio de un área mínima relativa dentro de la escena; para monitores de 8 bits el rango de niveles digitales va de 0 a 255.

El tamaño de esta área mínima afecta considerablemente la captura de detalles terrestres dentro de la escena, sin olvidar que si se reduce el tamaño de píxel se preservarán mejor estos detalles terrestres en la imagen.

Las imágenes de satélite permiten la observación periódica de los fenómenos sobre la superficie de la corteza terrestre. Todos los elementos de la corteza terrestre (como las rocas, suelos, vegetación, agua, así como los objetos que la recubren), absorben, reflejan o emiten una cantidad de energía que depende de la longitud de onda, de la intensidad y tipo de radiación incidente, así como también de las características de absorción de los objetos y de la orientación de estos respecto al sol o la fuente de iluminación (Chuvioco, 2002).

4.4.4. Interpretación de imágenes de satélite. Consiste en la utilización de técnicas, sistemas y procesos de análisis de imágenes, por personal capacitado, para dar información confiable y en la medida de lo posible detallada acerca de los objetos naturales o artificiales contenidos en la imagen que se analiza, y determinar los factores que implican la presencia, condición y uso de ellos (IGAC, 2005).

4.4.5. Elementos visuales para interpretación de imágenes de satélite. Se consideran elementos de identificación aquellas características presentes en las imágenes, que sirven de evidencia para la determinación de objetos y su diferenciación, (AGUILAR, 2002). Entre los elementos visuales manejados en teledetección espacial, los más utilizables son: brillo, tono, forma, textura.

4.4.6. Clasificación digital de imágenes. La clasificación es la etapa final de la mayoría de proyectos sobre procesamiento digital y su objetivo principal es la producción de los mapas temáticos. La clasificación digital no es la definición absoluta de cada cubierta, aplicable a cualquier tipo de imagen, sino la expresión relativa y válida para una determinada imagen, un determinado tiempo y una determinada región.

Se trata de establecer la relación entre medidas digitales y las clases de coberturas presentes en la imagen. Su enfoque es cualitativo, lo que implica la caracterización de una imagen multiespectral, reduciendo la escala de medidas de una variable continua (ND) a una escala cualitativa, nominal o categórica. El enfoque de la clasificación es puramente espectral por tratarse de agrupar las clases temáticas en función de las respuestas espectrales. Existen dos métodos básicos de clasificación, a saber: no supervisado y supervisado, (POSADA, 2008).

La clasificación multispectral de imágenes se usa para extraer información temática de las imágenes de satélite de una manera semiautomática. La clasificación digital está dirigida a obtener una nueva imagen en la cual a cada uno de los píxeles de la imagen original se le asigna una clase o leyenda. El proceso de clasificación tiene como objetivo delimitar e identificar los diferentes objetos correspondientes a la cobertura del terreno, con base en sus características espectrales. Cada objeto se identifica por un rango de valores para cada banda espectral, este rango que caracteriza al objeto se denomina firma espectral” (RIAÑO, 1990).

Esta clasificación puede ser de dos tipos: no supervisada y supervisada. Una diferencia fundamental entre estas dos es que en la no supervisada el analista define el número de clases y posteriormente las interpreta. En la supervisada el analista interpreta y selecciona las clases, (RIAÑO, 1990).

En teledetección, la clasificación de la imagen puede entenderse como la etapa concluyente del tratamiento digital de imágenes, como resultado de la clasificación digital se obtiene una cartografía e inventario de las categorías objeto de estudio. La información multi-espectral se concentra en un documento cartográfico.

Como se mencionó tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento.

- **Clasificación supervisada.** Para realizar la clasificación supervisada, se sugiere tener un conocimiento previo de la cobertura y de los elementos circundantes de la zona o área donde se desarrollará el estudio. Son muy útiles las salidas de campo para reconocer los aspectos florísticos, edáficos y geológicos etc. Con base a esto 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, (CHUVIECO, 2002).

El método supervisado parte de cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por la experiencia previa o por el trabajo de campo, es conveniente delimitar áreas lo suficientemente representativas de cada uno de los tipos de cobertura a definirse en la leyenda, áreas que se las denomina áreas de entrenamiento, puesto que entrenan al computador para identificar áreas comunes sobre toda la imagen (RIAÑO, 1990).

La determinación de áreas de entrenamiento es un aspecto de especial relevancia por lo cual debe delimitarse en lo posible áreas lo suficientemente grandes y homogéneas, aspecto que está determinado visualmente según la composición en color y por la tonalidad.

Se le llama método supervisado o clasificación supervisada, porque el usuario define y supervisa todo el proceso para obtener la firma espectral de cada rango, siendo el computador responsable solo del proceso de extrapolación, que ubica cada uno de los píxeles en el grupo que le corresponda según su rango espectral.

En la clasificación supervisada, la primera y más importante fase, es el muestreo, el cual es responsabilidad del técnico a cargo del proceso, la segunda es la clasificación misma, consistente en asignar los píxeles no muestreados a la clase que les corresponda. El muestreo para una clasificación supervisada, se inicia con un análisis preliminar de la imagen a clasificar, en esta fase se utilizan los procedimientos de realce tales como la composición en falso color, índices de vegetación; también se pueden utilizar productos de otros sensores remotos como aerofotografías o modelos digitales de elevación (DEM); y por supuesto las observaciones del trabajo de campo. En un buen muestreo, el intérprete debe saber cuántas clases va a separar, dónde va a muestrear cada clase, y cuál es el rango de valores correspondientes (RIÑO, 1990).

- **Método no supervisado.** El proceso de clasificación no supervisada, erróneamente denominada a veces automática, consiste en la definición de los grupos, por el sistema mismo con base exclusivamente en las diferencias entre los valores digitales, por lo cual algún software la denomina clasificación de clusters. Esencialmente el sistema define las clases espectrales; no obstante, su identificación corresponde al intérprete (RIÑO, 1990).

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.

4.4.7. Imágenes Satelitales RapidEye. Son imágenes que obtienen la constelación de cinco satélites idénticos denominados RAPIDEYE, cuyo propietario es la compañía alemana RAPIDEYE AG. La empresa posee una constelación de cinco satélites, que producen imágenes de una resolución espacial de 5 metros. Todos llevan consigo sensores idénticos, que están calibrados por igual y viajan en el mismo plano orbital (a una altitud de 630 km). Juntos son capaces de recoger todos los días más de 4 millones de km² de imágenes de color, (INEGI, s.f.).

Las imágenes RAPIDEYE tienen la cualidad de contar con las bandas en el espectro visible (rojo, verde y azul, una en el infrarrojo cercano y una banda «Red edge», la cual mide las variaciones en la vegetación, permitiendo la separación de las especies y el monitoreo de la salud de la vegetación.

Sus aplicaciones son vastas en estudios de vigilancia, monitoreo ambiental (multitemporales), agricultura, seguridad, emergencias, energía e infraestructura, entre otros.

4.5. METODOLOGIA Y LEYENDA CORINE LAND COVER

4.5.1. Metodología Corine Land Cover. Corine Land Cover es el proyecto de cobertura de la tierra desarrollado dentro del programa CORINE promovido por la Comisión de la Comunidad Europea, que definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. Corine Land Cover se orienta a un inventario homogéneo de la ocupación (cobertura) de la tierra. La metodología utilizada se basa en la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador, con el objetivo de generar una base de datos geográfica utilizando Sistemas de Información (SIG).

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra "CORINE Land Cover" 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2015).

El esquema metodológico Corine Land Cover contempla las siguientes etapas: 1. Adquisición y preparación de la información; 2. Análisis e interpretación de las coberturas; 3. Verificación de campo, 4. control de calidad y 5. Generación de la capa temática escala 1:100.000.

4.5.2. Leyenda Corine Land Cover Colombia. La Leyenda hace referencia al sistema de clasificación empleado para la representación de las distintas unidades de cobertura de la tierra interpretadas y mapeadas. La Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, es uno de los productos de la adaptación de la Metodología CORINE Land Cover, la cual contiene y describe las Unidades de Coberturas de la Tierra presentes en el Territorio Nacional y que además son cartografiables a escala 1:100.000. Estas unidades son representativas de la compleja oferta ambiental de Colombia y expresan de modo indicativo la dinámica de apropiación y uso del territorio. Los niveles 1 y 2 de la leyenda nacional se corresponden con los de la leyenda CORINE Land Cover europea.

La Leyenda brinda la directriz fundamental para la realización de mapas de coberturas de la tierra y se puede adaptar a escalas regionales. Presenta un catálogo de coberturas de tierra que es una herramienta básica que permite a

intérpretes y a otros usuarios orientarse sobre las características fundamentales de las diferentes clases de coberturas que conforman la leyenda validada para Colombia.

El primer nivel de la leyenda está conformado por 5 clases; las cuales se traducen en 5 niveles de entrada al sistema de clasificación y están conformados por:

- **1. Territorios Artificializados.** Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos.
- **2. Territorios Agrícolas.** Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas, en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas
- **3. Bosques y Áreas Seminaturales:** Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición.
- **4. Áreas Húmedas:** Comprende aquellas coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática, localizados en los bordes marinos y al interior del continente.
- **5. Superficies de Agua:** Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares. Se incluyen en esta clasificación los fondos asociados con los mares, cuya profundidad no supere los 12 metros.

4.6. ANTECEDENTES

Debido a que el principal propósito del presente trabajo se orienta a la identificación de la clasificación de la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales mediante la adaptación de la Leyenda Corine Land Cover, como parte del proceso de ordenamiento territorial municipal, a continuación se enfatiza en la adopción de la Metodología y Leyenda Corine Land Cover –CLC- para Colombia; el cual constituye en el principal punto de referencia para dicha clasificación y a la vez que se esboza brevemente la experiencia del municipio en la identificación de la cobertura de la tierra o anteriormente denominada cobertura vegetal y usos del suelo.

4.6.1. Adopción de la Metodología y Leyenda Corine Land Cover –CLC- para Colombia. Corine Land Cover en Europa viene desarrollándose desde 1990, definiendo una metodología específica para realizar el inventario de coberturas de la tierra, constituyéndose en soporte para la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial; aplicándose hoy en día en la totalidad del territorio europeo.

El proceso de adopción estandarización de la metodología y la leyenda de coberturas terrestres de Colombia, inició desde el año 2004 con la adaptación a nivel nacional de la metodología europea Corine Land Cover; este proceso surge como respuesta a la necesidad que tenía el país de unificar y armonizar las diferentes metodologías y leyendas de cobertura terrestre empleadas hasta el momento, todo con el fin último de establecer un sistema de monitoreo que le permita generar información actualizada, confiable y trazable; dado que la amplia variabilidad de sistemas de clasificación no lo permitían. A partir de la adopción de la Metodología CLC para Colombia y de la definición de una leyenda unificada, se logra estandarizar esta importante fuente de información a nivel nacional.

La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000. Como principal resultado el país cuenta con la "Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia".

En el año 2010 el IDEAM publica la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (CLCC) la cual fue ajustada y ampliada a otras clases presentes en el país. Este proceso de ajuste fue llevado a cabo por un equipo de profesionales expertos de los institutos IDEAM, IGAC, SINCHI, IAvH y la UAESPNN. Adicionalmente, este documento permite unificar los criterios, conceptos y métodos para conocer cómo está cubierto el país, a partir de la adaptación realizada de la metodología europea CORINE Land Cover a nuestro entorno. Tiene sus bases en el proyecto para la elaboración del Mapa de Coberturas de la Tierra de la Cuenca Magdalena-Cauca, escala 1:100.000,

desarrollado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena), durante los años 2004 a 2007, en el cual se hace la adaptación de la metodología CORINE Land Cover a Colombia y se elabora la leyenda de coberturas de la tierra para la cuenca¹.

4.6.2. Contexto del ordenamiento territorial en el municipio de Pupiales. El Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Pupiales fue elaborado inicialmente en el año 2002 y adoptado mediante Acuerdo municipal No. 1 del 21/02/2002, esto en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 338 de 1997 de ordenamiento territorial, hacen parte integral de éste los contenidos y mapas de diagnóstico y formulación entre los cuales se encuentra el mapa 8 que contiene la “cobertura vegetal y usos del suelo del territorio municipal” a escala 1:25.000 como insumo fundamental de la reglamentación del uso del suelo, este es la primera experiencia directa del municipio en la identificación de la cobertura y uso de la tierra de su territorio. Dado que en la Ley 388 de 1997 se establece que la vigencia de largo plazo y revisión un Plan de Ordenamiento Territorial deberá realizarse culminados tres periodos constitucionales, en orden de esta disposición principalmente la administración municipal del periodo 2012 - 2015 decide adelantar la revisión y ajuste del EOT y entre los temas objeto de este menester se encuentra la cobertura y usos de la tierra.

En el año 2011 la Corporación Autónoma Regional de Nariño –CORPONARIÑO- expide las DETERMINANTES AMBIENTALES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL (Resolución 738 de 27 de septiembre de 2011), mediante las cuales se establece la cartografía rural a escala 1:25.000 con la que deben contar en los planes de ordenamiento territorial entre la cual se encuentra: mapa base, mapa de pendientes y mapa de cobertura y uso actual de la tierra adaptado a la metodología Corine Land Cover. También se insta que: “La cartografía digital deberá tener los parámetros cartográficos correspondientes al sistema de coordenadas asignado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, MAGNA_SIRGAS, de acuerdo con lo estipulado a través de la Resolución No. 068 de 2005 donde se establece la adopción como único Datum oficial de Colombia.

¹ (Colombia, Leyenda Nacional, 2012)

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE TRABAJO

Este trabajo se inscribe directamente en el campo de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica como instrumento de apoyo en campos tales como la gestión del suelo y el ordenamiento territorial y ambiental. En su elaboración se incluyeron y aplicaron diferentes procedimientos, y herramientas propias del desarrollo y aplicación de Sistemas de Información Geográfica SIG, Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS, Sistema de Posicionamiento Global GPS, Sensores Remotos y Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales.

El presente trabajo se enfoca en llevar a la práctica los procedimientos mayormente reconocidos en la zonificación de la cobertura de la tierra de un territorio, destinando sus esfuerzos en abordar una necesidad planteada por el municipio, es decir este trabajo persigue fines de aplicación directos e inmediatos, los cuales se materializarán o traducirán en un mapa que contenga la clasificación de la cobertura de la tierra que se vincule directamente al proceso de ordenamiento territorial del municipio de Pupiales.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se tuvo en cuenta la metodología Corine Land Cover y la clasificación resultante se hizo con base en la “Leyenda Corine Land Cover”, la cual ya ha sido aplicada en Colombia, siendo el caso más representativo a nivel nacional el mapa de cobertura de la tierra cuenca magdalena - Cauca.

Opcionalmente se buscó que la realización de este trabajo se vincule directamente con la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pupiales, lo que facilitó la consecución de información correspondiente a cartografía base a escala 1:25000 y una imagen satelital, y permitió la inclusión de los resultados a dicho proceso de actualización.

5.2. PROCEDIMIENTO

La clasificación de la cobertura de la tierra se realizó mediante la recopilación, análisis, proceso, pos procesó, ponderación y sistematización de la información requerida y disponible enmarcada dentro de los términos fijados para este proceso.

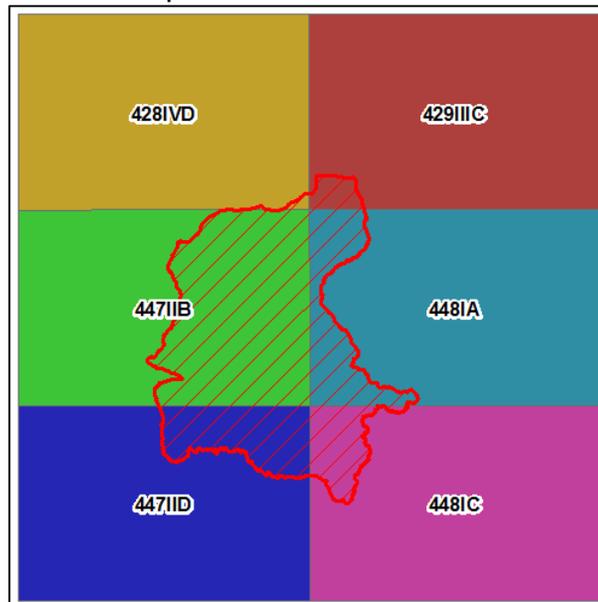
Para el desarrollo del presente trabajo fue necesaria la realización o ejecución de las actividades que se enmarcan en las fases que se describen a continuación:

5.2.1. Fase 1. Consecución y revisión de información disponible.

El desarrollo de esta fase consistió en la consecución y revisión de la información requerida que estuvo disponible para la elaboración del presente trabajo.

- **Se gestionó la consecución de información.** Se apoyó y asesoró al equipo consultor para la actualización de POT de Pupiales para definir los requerimientos de información, como resultado de la gestión fue posible conseguir la siguiente información:
 - Cartografía correspondiente al Esquema de Ordenamiento Territorial vigente (2002 -20015) en formato DWG a escala 1:25.000, entre los mapas que más se destacaron por su utilidad para este trabajo se destacan las capas que contiene la topografía, cobertura vegetal y usos del suelo y reglamentación de usos del suelo, esta información fue suministrada por la administración municipal.
 - Se identificaron la planchas topográficas a escala 1:25.000 que cubren el territorio del municipio de Pupiales, estas planchas se identifican con la nomenclatura 428-IV-D, 429-III-C, 447-II-B, 447-II-D, 448-1-A y 448-1-A. Esta información se comunicó a la administración municipal para que realice la gestión pertinente ante el IGAC.

Figura 4. Localización del área de estudio con respecto al índice de planchas 1:25000 del IGAC.



Fuente: este estudio.

- Se consiguió inicialmente las planchas 1:25.000 en formato análogo (impresas), las cuales se escanearon para convertirlas a formato digital .jpg y .pdf, debido a la dimensión del papel fue necesario escanearlas en un plotter. Las planchas datan del año 1967.
- Posteriormente como resultado de la gestión fue posible la adquisición de información topográfica a escala 1:25.000 de fuente IGAC del año 1974, almacenada (dispuesta) en seis (6) Personal geodatabases con la información correspondiente a las planchas topográficas a escala 1:25000 del área de estudio: 428-IV-D, 429-III-C, 447-II-B, 447-II-D, 448-1-A y 448-1-A, las cuales en cuanto a información de utilidad para este proceso contenían curvas de nivel, hidrografía y red vial, principalmente. Esta información fue suministrada por la administración municipal de Pupiales la cual se gestionó mediante un convenio conjunto suscrito entre la administración municipal y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Figura 5. Personal Geodatabases



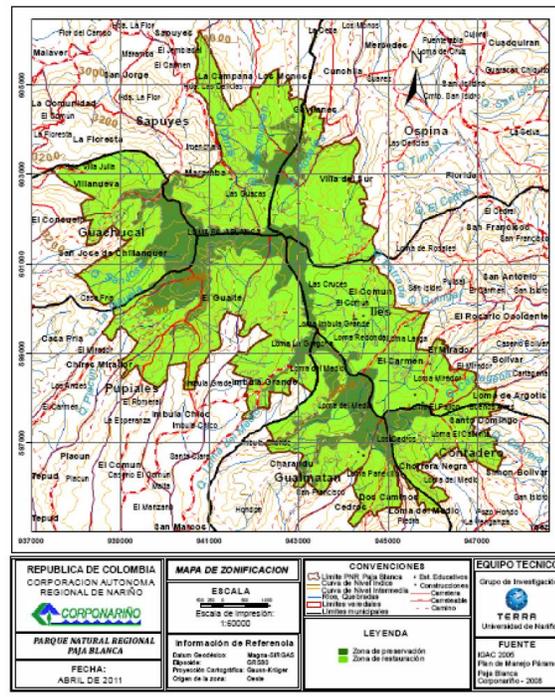
Fuente: Este estudio

- Mediante el convenio antes mencionado fue posible la adquisición de una copia de la Imagen satelital *rapid eye (BlackBridge)* en format tiff, etiquetada con la siguiente nomenclatura “2010-08-09T163253_RE1_1B-NAC_4522110_96742.tif”.
- **Revisión de información documental y cartográfica disponible.**
 - Se realizó la revisión documental y cartográfica del componente biofísico del municipio incluida en el esquema de ordenamiento territorial vigente (2001) como: geología, geomorfología, suelo, cobertura vegetal y uso del suelo y amenazas.
 - Se revisó la información correspondiente a la “Leyenda nacional de cobertura de la tierra Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., IDEAM, 2010.

- El municipio de Pupiales entre otros como Guachucal, Sapuyes, Ospina, Iles y Contadero, se encuentran en el área de influencia del “Parque Natural Regional de Paja Blanca” y su respectiva área de influencia, por tanto al ser estas zonas de especial importancia ambiental se revisó el plan de manejo ambiental, la propuesta técnica de declaratoria y el plan de gestión del riesgo en el área propuesta como parque natural regional, con el objeto de identificar aspectos relevantes para el desarrollo del presente trabajo. Se gestionó ante CORPONARIÑO la consecución de capas en formato shape referidas a la delimitación del “Parque Natural Regional de Paja Blanca” y su respectiva área amortiguadora.

Se destaca que durante en el desarrollo del presente trabajo “El Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Gabriel Vallejo López, en sesión extraordinaria del Consejo Directivo de Corponariño firmó el Acuerdo No. 010 del 28 de mayo de 2015, por medio del cual se declara el Páramo de Paja Blanca como Parque Natural Regional, en una extensión de 3.107 hectáreas”.

Figura 6. Zonificación del area a declarada como Parque Natural Regional de Paja Blanca.



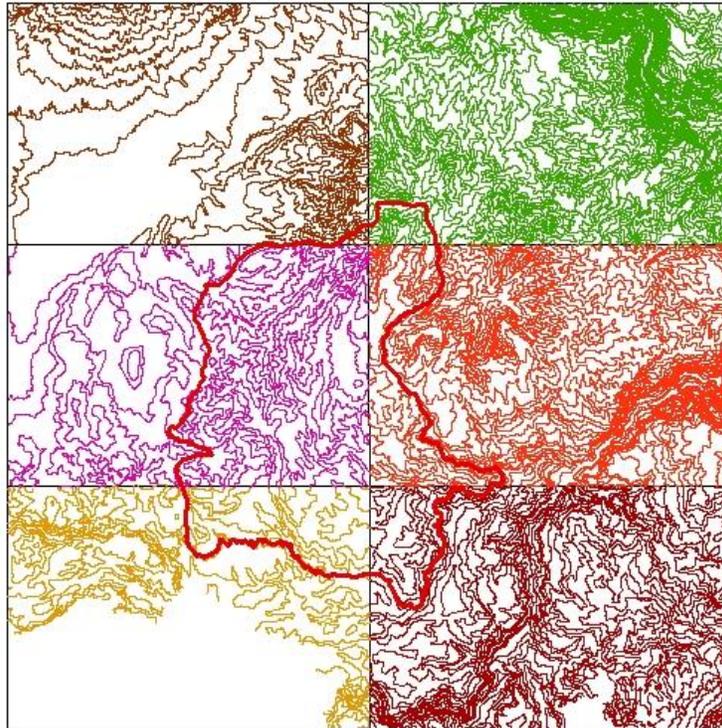
Fuente: Plan de manejo del Parque Natural Regional de Paja Blanca.

- Se revisó la documentación normativa más influyente como Ley 388 de 1997 sobre ordenamiento territorial municipal y Decreto 3600 sobre ordenamiento territorial rural.

5.2.2. Fase 2. Elaboración de geodatabase y cartografía base

- **Elaboración de geodatabase.** Para el almacenamiento de la información georeferenciada resultado de este trabajo se elaboró en ArcGis una base de datos de información geográfica en formato de *personal geodatabase* (.mdb) de manera que facilite la organización y manejo de dicha información en *datasets* que alojen los *featureclass*.
- **Edición de cartografía base y elaboración del mapa base.** Para contar con un soporte espacializable del área de estudio y que se constituya en el soporte entre las capas temáticas resultado de este proceso y el contexto geográfico espacial del municipio, se requería contar con una base cartográfica que cubra el área de estudio para lo cual se desarrollaron las siguientes acciones.
 - Se elaboró un mosaico con la seis (6) planchas en formato .jpg a escala 1:25.000 para tener una mejor visión del territorio que cubre el área de estudio donde se destaque la continuidad de los elementos geográficos hasta el momento fragmentada por la disposición de la planchas en la fuente original. Para lo anterior se usó el software ArcGis. Para que el empalme de las planchas tenga la mayor precisión posible se tuvo en cuenta las coordenadas extremas de cada plancha para realizar la georeferenciación de las mismas.
 - Se realizó la edición de la información contenida en seis (6) *Personal geodatabases*, esta acción se enfocó en el empalme de las seis (6) planchas topográficas contenidas en estas, de tal manera que haya continuidad y coherencia entre las entidades de cada plancha, especialmente en lo relacionado con hidrografía, curvas de nivel y red vial principalmente. Las entidades homologas entre cada planchas se consolidaron como una sola entidad. Como referencia se hizo uso del mosaico de planchas anteriormente mencionado.

Figura 7. Empalme de la información base contenida en las personal geodatabase.

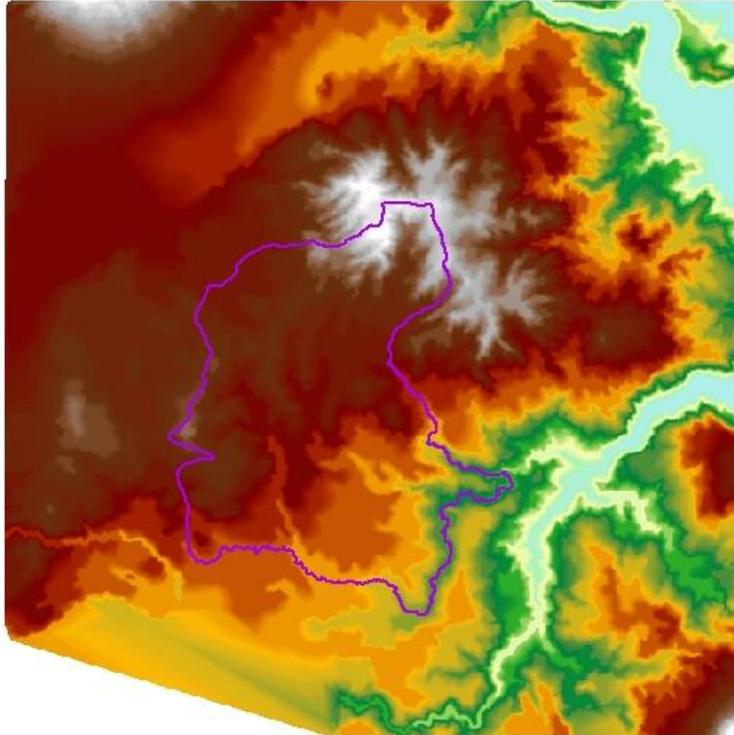


Fuente: este estudio.

- Se retomaron elementos de la cartografía base del municipio que hace parte del EOT vigente como la toponimia, la ubicación de los centros poblados y centros educativos municipales, entre otros elementos a destacarse como el oleoducto y sitios de interés que permitan y faciliten la ubicación espacial en el municipio a partir del mapa base.
- El mapa base al final fue ajustado con respaldo de la imagen satelital corregida geoméricamente, para que hubiera coherencia espacial acorde con los resultados obtenidos de la clasificación de la imagen satelital.

- **Elaboración de productos derivados de la base topográfica que representen la superficie del terreno.**
 - A partir de las curvas de nivel se generó un TIN (red de triangulación irregular) a partir del cual a su vez se genera un Modelo Digital de Elevación (MDE).

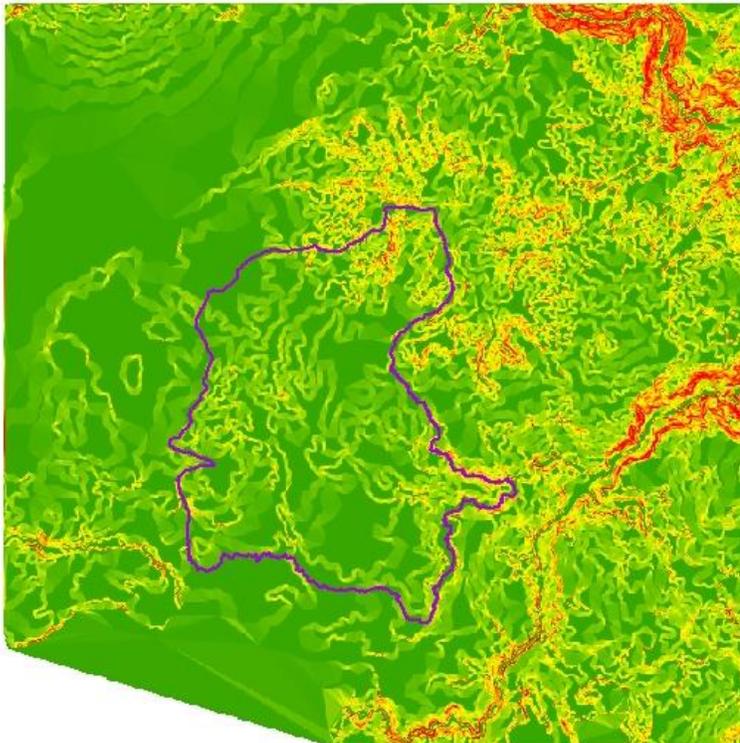
Figura 8. Modelo digital de elevación



Fuente: este estudio

- A partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) se obtuvo el modelo de pendientes.

Figura 9. Modelo digital de pendientes



Fuente: este estudio

- **Delimitación del área de estudio en formato vector.**

- El área de estudio de este trabajo comprende la zona rural del municipio de Pupiales, en este sentido fue necesario inicialmente realizar la delimitación del perímetro municipal y perímetros de las zonas urbanas al interior del municipio (cabecera municipal y cabecera corregimental de José María Hernández).

Para la delimitación del polígono que comprende el municipio de Pupiales se verificó y ajustó el perímetro municipal contenido en la cartografía y reglamentado en el POT vigente, para lo cual se retomó como base o guía la imagen satelital corregida geoméricamente y teniendo en cuenta las actas de deslinde del municipio se re-digitalizo el perímetro municipal.

- Teniendo en cuenta que el trabajo debía ser de la mayor utilidad posible para la administración municipal y que prácticamente conforme a la Ley 388 de 1997 el suelo del territorio municipal debe clasificarse en urbano, rural y de expansión urbana, se procedió a realizar la delimitación del área

urbana y de expansión de la cabecera municipal de Pupiales y cabecera corregimental de José María Hernández, siendo estos dos los dos únicos centros poblados urbanos al interior del municipio.

Para la delimitación antes mencionada se realizaron recorridos en campo alrededor de los centros poblados urbanos para reconocer sus respectivos perímetros, para lo cual se contó con el apoyo de la administración municipal y del equipo consultor responsable actualización y ajuste del Esquema de Ordenamiento Territorial.

En esta actividad se realizó la toma de puntos con receptor GPS para tener coordenadas que permitieran la delimitación de las áreas urbanas. Para la delimitación antes mencionada también se contó con imágenes de apoyo cuya resolución espacial sea de utilidad y que facilitaran la delimitación de los perímetros, dichas imágenes se descargaron con la herramienta SAS.Planet² (programa on line para acceder a servidores de cartografía desde los servidores de imágenes satelitales georreferenciadas de Google, Bing, Yahoo, Nokia o Esri). Para el caso de la cabecera de Pupiales la mejor imagen fue una disponible se encontró en el servidor de Bing y para el caso de José María Hernández la mejor imagen disponible se encontró el servidor de Google Maps.

Figura 10. Delimitación del perímetro urbano de la cabecera municipal de Pupiales



5.2.3. Fase 3. Procesamiento digital de la imagen

- **Características del Sensor Rapideye (actualmente BlackBridge)**

Antes de iniciar con la mención de las actividades que comprenden esta fase es importante mencionar las características del sensor con el que se desarrolló este trabajo, se trata de una imagen *RapidEye* multiespectral de cinco bandas con resolución (tamaño del pixel) de 6 metros del año 2010.

RapidEye es una compañía alemana proveedora de información geoespacial, especializada en la gestión de toma de decisiones mediante servicios basados en sus propias imágenes satelitales. La empresa posee una constelación de cinco satélites, diseñados y fabricados por MacDonald Dettwiler (MDA) de Richmond, Canadá, que producen imágenes de una resolución espacial desde 5 metros. Originalmente situada en Múnich, desde el año 2004 se encuentra a 60 kilómetros al suroeste de Berlín, en la ciudad de Brandenburg an der Havel.

En la tabla a continuación se presentan las principales características del producto estándar, que ya viene ortorectificado y listo para ser incorporado en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Tabla 1. Características del sensor RapidEye

PARÁMETROS	BANDA	RANGO ESPECTRAL
Bandas espectrales	Azul	0,440 - 0,510 nm
	Verde	0,520 - 0,590 nm
	Rojo	0,630 - 0,685 nm
	Red-Edge (borde del rojo)	0,690 - 0,730 nm
	IR Cercano (infrarojo cercano)	0,790 - 0,850 nm
Distancia de muestreo sobre el terreno (nadir)	6,5 m	
Tamaño del pixel ortorectificado	6 m	
Ancho de observación	77 KM	
Tiempo de revisita	DIARIO	
Hora de cruce por el Ecuador	11:a.m. (aproximadamente)	

Fuente: <http://www.geosoluciones.cl/rapideye/>

- **Nomenclatura de la imagen.** El nombre de cada producto está diseñado para ser único y está compuesto de los siguientes elementos: la fecha y hora de adquisición, el satélite que adquirió la imagen, el nivel del producto, su descripción, la identificación del producto y solicitud, tipo de archivo y formato.

La imagen con la que se trabajo tiene la siguiente nomenclatura:

2010-08-09T163253_RE1_1B-NAC_4522110_96742.tif

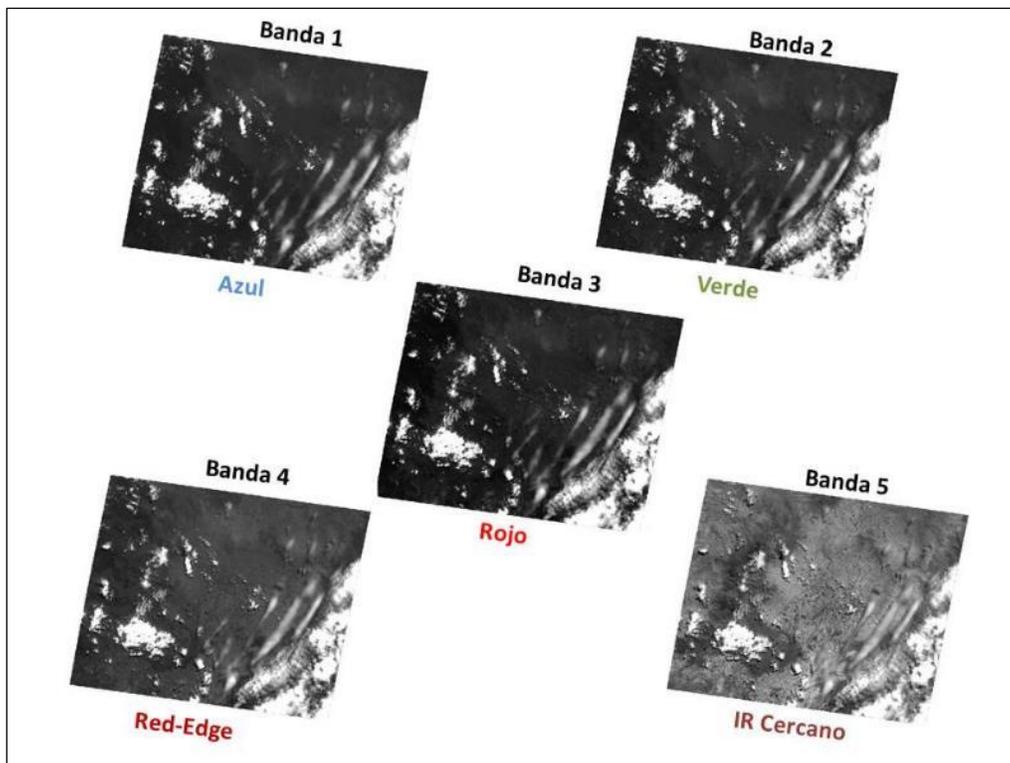
La nomenclatura se desglosa en el siguiente la siguiente tabla.

Tabla 2. Disgregación de la nomenclatura de la imagen

Tiempo de adquisición <acquisition time>	2010-08-09 (AAAA-MM-DD)	T16:32:53 (HH:MM:SS)
Satélite <satellite>	RE1	
Identificación del producto <product ID>	1B-NAC <nivel de procesamiento>-<descripción del producto> 1B (nivel de procesamiento básico) - NAC (descripción)	
Numero de catalogo <RE catalog ID>	4522110_96742	
Extensión del archivo <file extension>	(GeoTIFF)	

Nota: Estas características aplican a las bandas 1, 2, 3, 4, 5.

Figura 11. Bandas 1, 2, 3, 4, 5 de la escena RapidEye 2010-08-09T163253_RE1_1B-NAC_4522110_96742

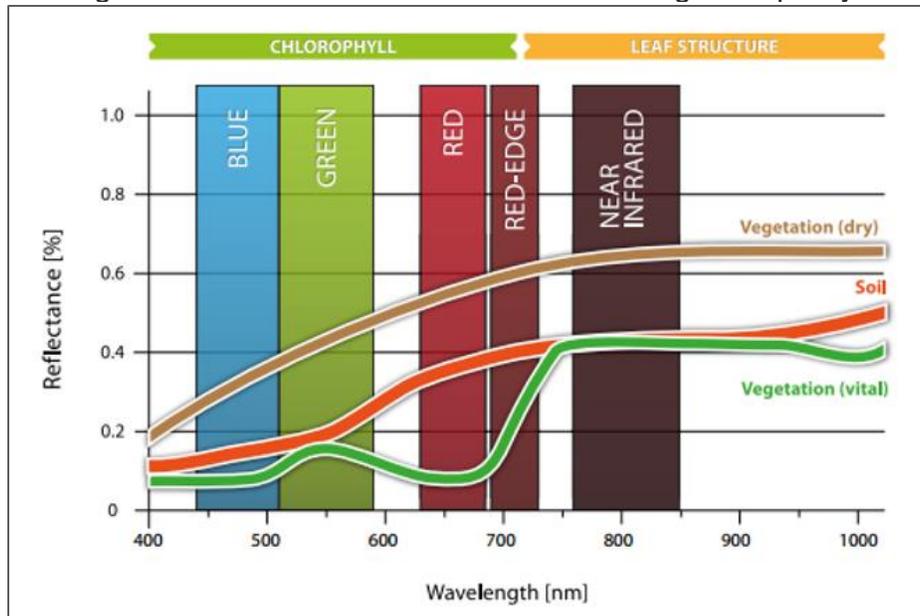


Fuente: Este estudio.

- **Reflectancia de la imagen.** Con esta imagen tenemos acceso a la banda del Red-Edge o borde del rojo (701nm) donde la vegetación pasa rápidamente de unos valores bajos en el rojo a uno muy altos en el infrarrojo. Esta zona de transición entre rojo e infrarrojo resulta clave para este estudio.

Curvas de reflectancia espectral típicas de superficies en relación con las bandas espectrales RapidEye.

Figura 12. Curvas de reflectancia de la imagen RapidEye

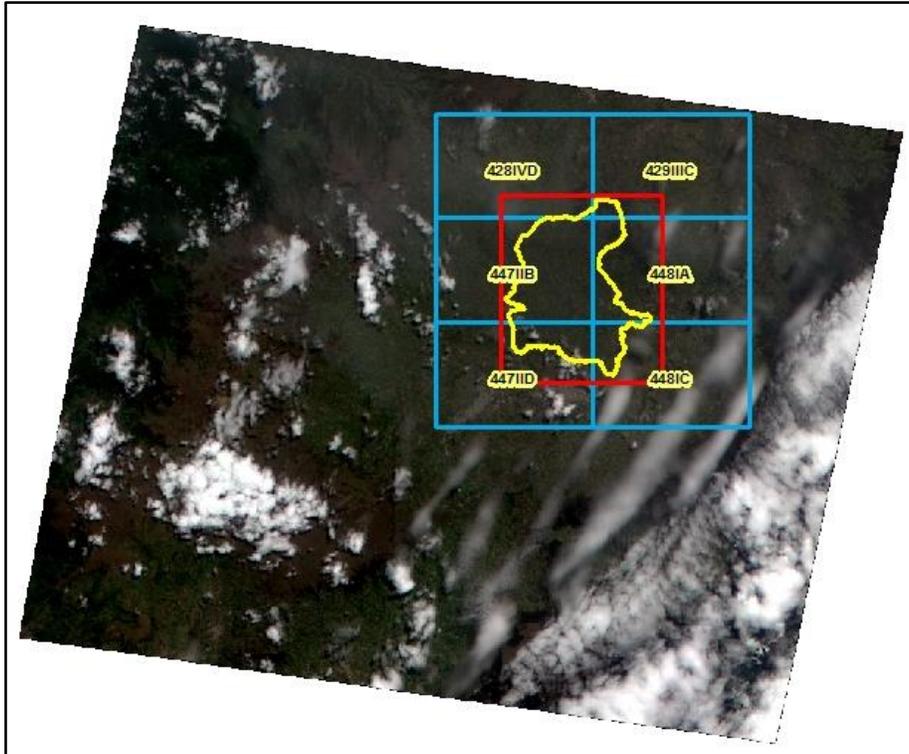


- **Recorte de la escena de la imagen satelital de acuerdo al área de estudio.**

- Dado que la escena de la imagen *RapidEye* “2010-08-09T163253_RE1_1B-NAC_4522110_96742.tif” cubre un área de 436.195 hectáreas, lo cual comprende significativamente mayor área que la extensión del municipio que es 13.261,32 hectáreas (aproximadamente 3% de la escena), para facilitar el manejo y procesamiento de la imagen y no perder la visión integral de las coberturas de la tierras presentes en el límite del municipio se realiza un recorte de la escena en forma rectangular conservando aproximadamente 0,5 kilómetros de los puntos extremos del municipio.

En la siguiente imagen se muestra la relación de la escena *RapidEye*, respecto al índice de planchas 1:25.000 que cubren el municipio de Pupiales, la delimitación del municipio (área de estudio) y la selección del área de recorte, lo cual se constituye principalmente en el área de utilidad para la clasificación de la cobertura de la tierra, a partir de la imagen.

Figura 13. Escena RapidEye
2010-08-09T163253_RE1_1B-NAC_4522110_96742.tif.



Fuente: este estudio.

Figura 14. Recorte de la escena que cubre el área de estudio.

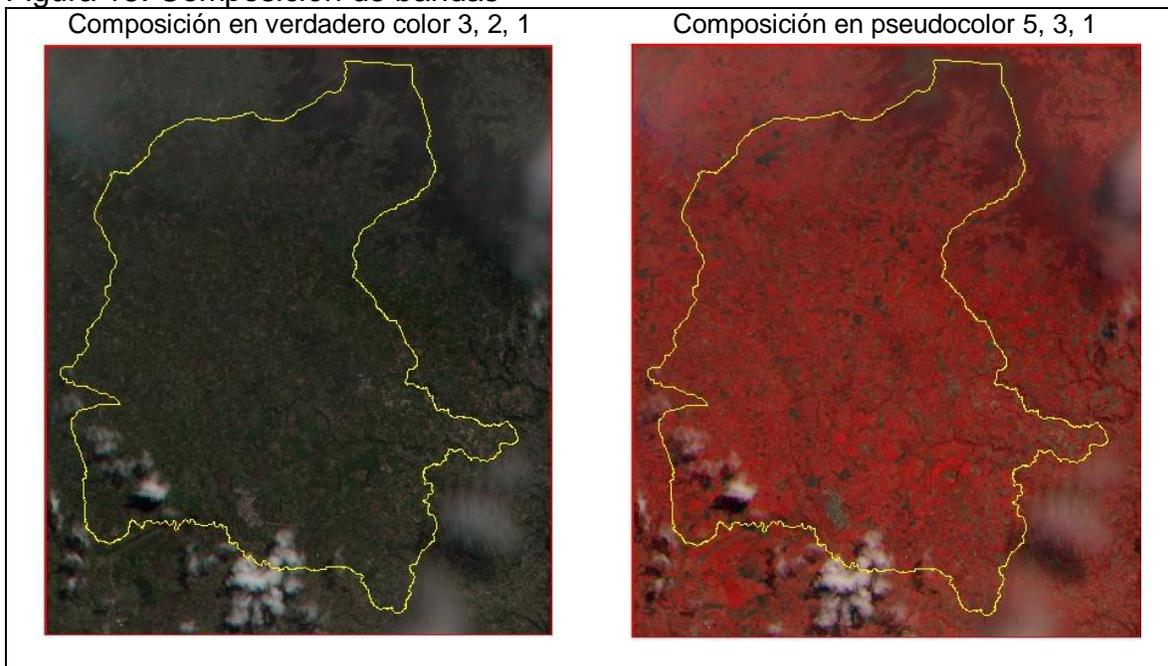


Fuente: este estudio.

- **Pre procesamiento de la imagen satelital**

- Se realizó la composición multibanda de la imagen satelital (creación de un archivo multibanda): Se unieron las bandas 1, 2, 3, 4 y 5 con operación de Layer Stack en el software ERDAS.
- Se realizó la homologación del sistema de proyección de la imagen, para que fuera compatible con la base cartográfica, asignado para tal propósito el sistema de coordenadas WGS84
- Se realizó un análisis visual de la imagen combinando las diferentes bandas (bandas 1, 2, 3, 4 y 5) en composición de verdadero color y composición en falso color o pseudocolor, de manera tal que se pudiera observar e identificar mediante este ejercicio la combinación más conveniente para la identificación de las diferentes coberturas.

Figura 15. Composición de bandas

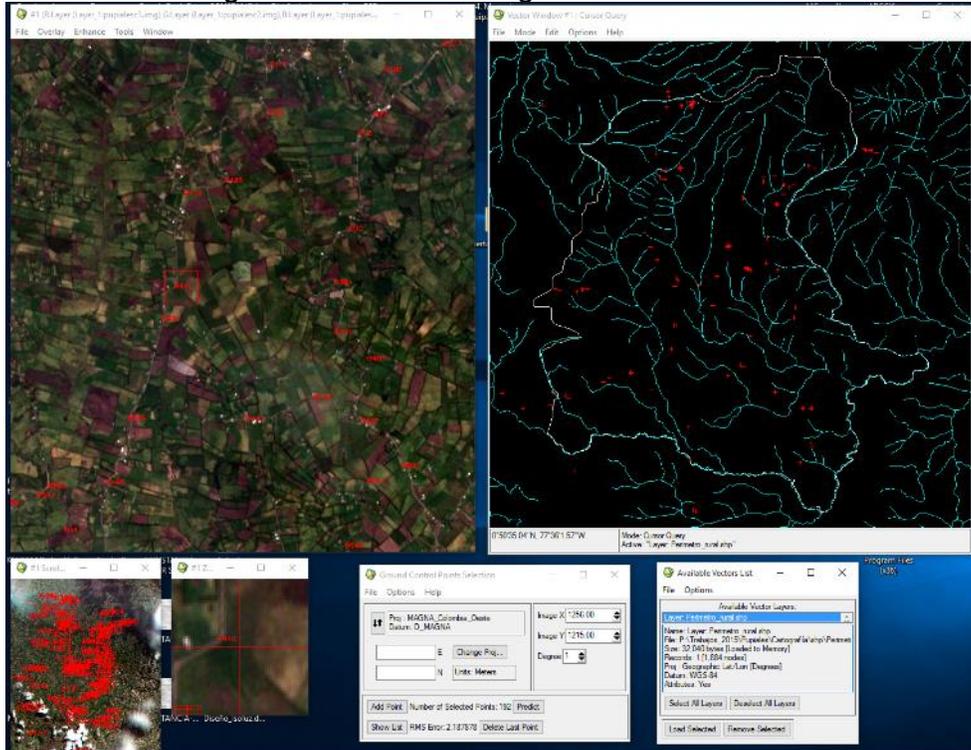


Fuente: Este estudio

- Se aplicaron realces y contrastes para permitir un mejor análisis visual de la imagen.
- Se realizó la corrección geométrica de la imagen satelital (orto rectificación), para lo cual se emplearon los puntos GPS tomados en trabajo de campo y elementos de fácil reconocimiento de la geometría que constituye la cartografía base principalmente la red hidrográfica, red

vial y límite municipal, de tal manera que se tuviera la mayor cantidad de puntos de control para que el error medio cuadrático sea menor.

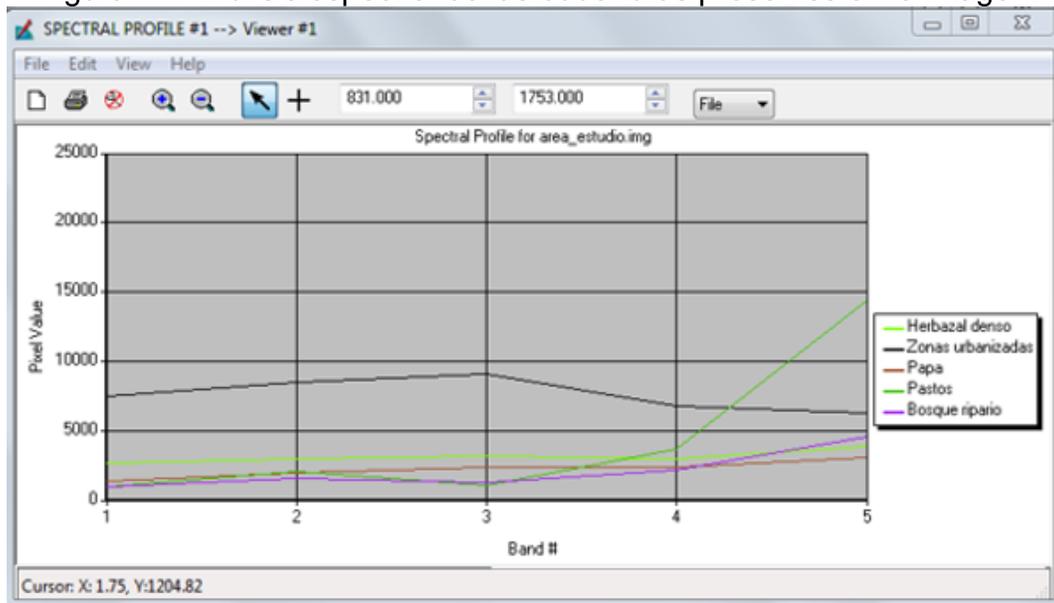
Figura 16. Corrección geométrica de la imagen



Fuente. Este estudio

- Se aplicaron funciones para la corrección atmosférica y radiométrica de la imagen.
- Se realizó un análisis espectral de la imagen para identificar y diferenciar cada tipo de cobertura y diferente vegetación entre los territorios agrícolas y los bosques y áreas seminaturales.

Figura 17. Análisis espectral de las coberturas presentes en la imagen.



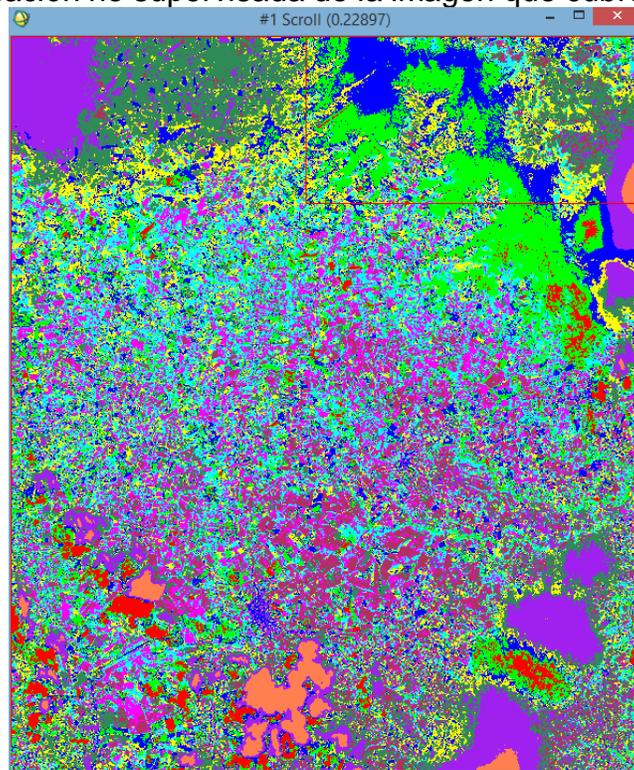
Fuente. Este estudio.

- **Análisis y adaptación de la Leyenda Corine Land Cover en relación con la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales.**
 - Con base en la Leyenda Nacional de Cobertura de la Tierra se identificó y seleccionó, las unidades de cobertura presentes en el territorio de Pupiales, para esta actividad fue necesario retomar como precedente el “mapa de cobertura vegetal y usos del suelo” del EOT vigente e información secundaria que permitirán tener un conocimiento previo sobre las coberturas presentes en el área de estudio, como resultado de este ejercicio fue posible la identificación y homologación de las clases de cobertura en relación la Leyenda Nacional que se presentan entre 8 y 12 tipos de cobertura en el municipio, lo cual fue posteriormente complementado con los recorridos realizados en campo.

- **Clasificación no supervisada de la imagen satelital**

- La clasificación no supervisada permitió complementar el conocimiento previo sobre las posibles coberturas, para el caso del área de estudio de manera preliminar se determina que el número de coberturas varía entre 8 y 12 clases, para que fueran identificadas en la imagen mediante el algoritmo de clasificación no supervisada, para lo cual se utilizó el software Envi 5.0., opcionalmente se realizó el mismo ejercicio en el software Erdas.

Figura 18. Clasificación no supervisada de la imagen que cubre el área de estudio



Fuente: Este estudio

- **Trabajo de campo**

Esta actividad se realizó posteriormente a la edición inicial de la cartografía base y clasificación no supervisada de la imagen, en este sentido, los resultados de éstos sirvieron de apoyo para la realización del trabajo de campo, donde fue posible retroalimentar la base cartográfica, la identificación de coberturas y se confirmó la necesidad de realizar la corrección geométrica de la imagen satelital.

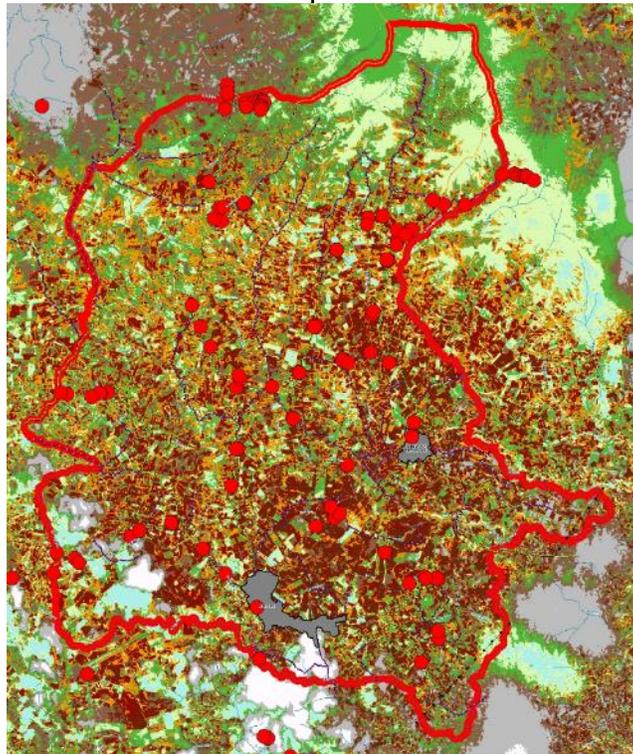
- Apoyados en la cartografía base del municipio, el resultado de la clasificación no supervisada y teniendo en cuenta la disposición de la red vial, se diseñó el recorrido para el desarrollo de dos salidas de campo, cada una con duración de dos días, en las que fuera posible tener la mayor cobertura del territorio municipal y la identificación más significativa de las coberturas.
- Se realizaron formatos para el registro de la información en campo, donde se diligenció el número del punto GPS, las coordenadas geográficas (latitud y longitud), la altura, la vereda, la fecha y la hora, la orientación de referencia para un registro fotográfico, y la cobertura identificada.
- Para el desarrollo del trabajo de campo se contó con un GPS navegador, cámara fotográfica digital y brújula.
- Se realizó con el apoyo de un receptor GPS navegador la georeferenciación de los sitios de muestreo para sobreponerlos a la imagen satelital de tal manera que se pueda confrontar la información recolectada en campo con la reflejada en ésta y permitieran una mejor interpretación de la imagen y precisión en los resultados.
- Se realizó un registro fotográfico detallado como evidencia y respaldo del desarrollo de esta actividad.
- El trabajo de campo también sirvió de apoyo para actualizar algunos elementos de la cartografía base, principalmente relacionada con la red vial y la actualización georeferenciada de establecimientos educativos.

Figura 19. Trabajo de campo



Fuente: Este estudio

Figura 20. Puntos GPS tomados en campo

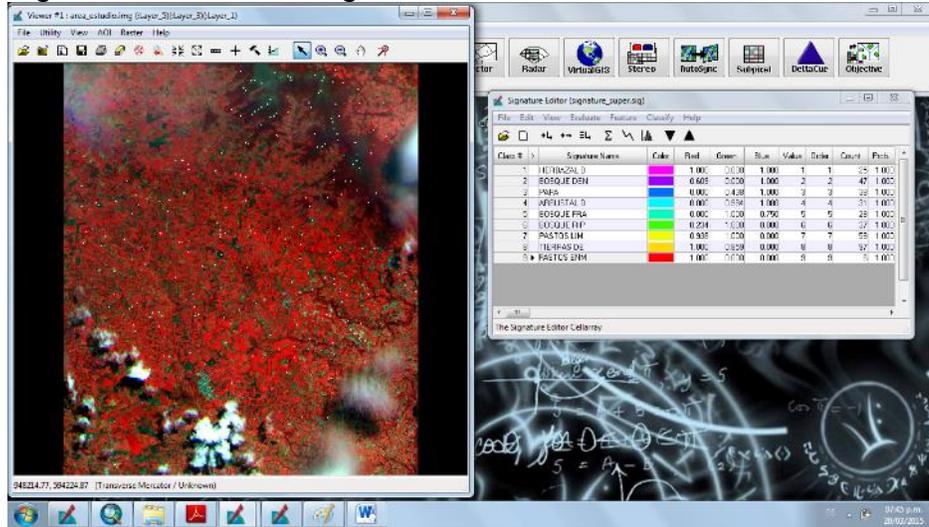


Fuente: Este estudio.

• **Clasificación supervisada de la imagen satelital**

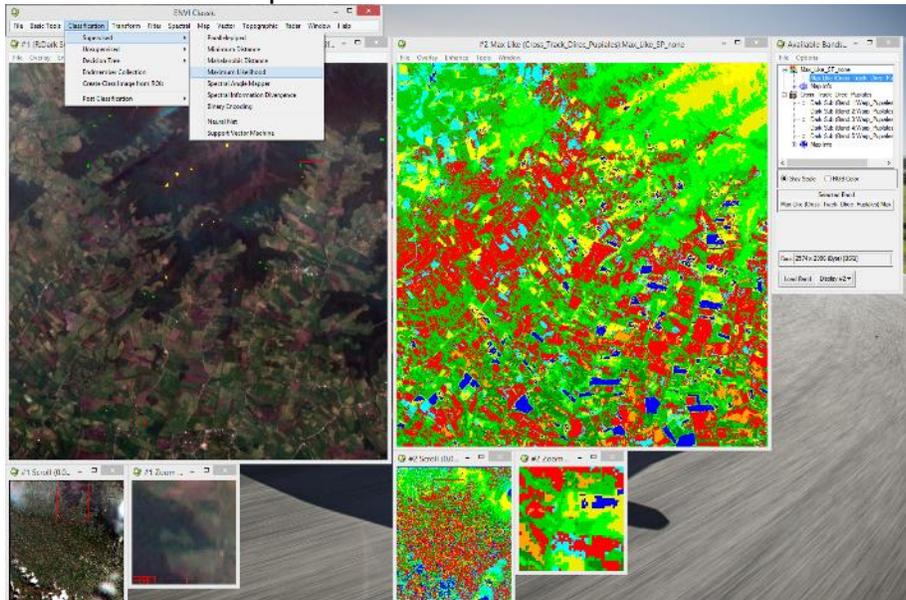
- Se realizó la selección de muestras de entrenamiento o firmas, es decir de áreas con firmas espectrales homogéneas para cada una de las clases identificadas; se tuvo en cuenta que las muestras fueran representativas de cada clase y que hubiera cobertura de toda la imagen seleccionada respecto al área de estudio.

Figura 21. Edición de firmas.



Fuente. Este estudio

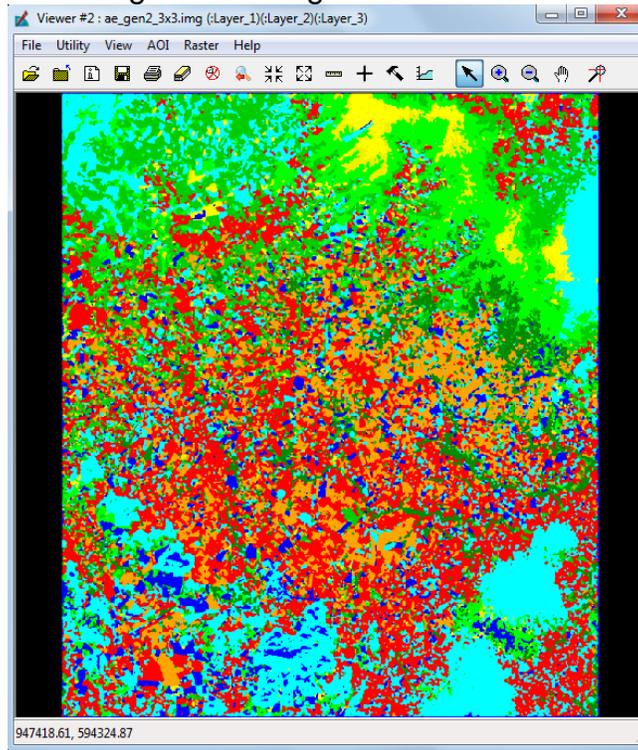
Figura 22. Clasificación supervisada



Fuente: Este estudio.

- Posteriormente, se realizó una generalización de los resultados de la clasificación para suprimir áreas pequeñas, de manera tal el resultado sea correspondiente con la unidad mínima cartografiable.

Figura 23. Imagen Generalizada



Fuente: Este estudio

5.2.4. Fase 4. Elaboración de Salidas de información

- Debido a que el resultado de la clasificación supervisada se encuentra en formato raster, se procedió a su vectorización con el objeto de contar con una capa en formato shape de la cobertura de la tierra.
- Mediante el uso del software ArcGis 10.1, se editó y diligenció la tabla de atributos del *feature class* que contiene la clasificación de las coberturas de acuerdo a la Leyenda Corine Land Cover y se incluyó el uso de la tierra asociado.
- Mediante el uso del software ArcGis 10.1, se elaboraron las salidas gráficas de los mapas resultado del proceso: mapa base, variación altitudinal, división político administrativa, clasificación de la pendiente, cobertura de la tierra y uso de la tierra, para lo cual el formato por defecto de dicho software es .mxd, los cuales se exportan a formato .pdf para facilitar su visualización. Estos mapas cuentan con la información básica de referencia como señalamiento del norte y grilla de coordenadas, la cual se proyectó tanto en sistema de coordenadas planas como geográficas, escala y demás información de referencia.
- Se realizó la memoria descriptiva del mapa de pendientes, cobertura de la tierra y uso de la tierra, los cuales se documentan en el capítulo de resultados.

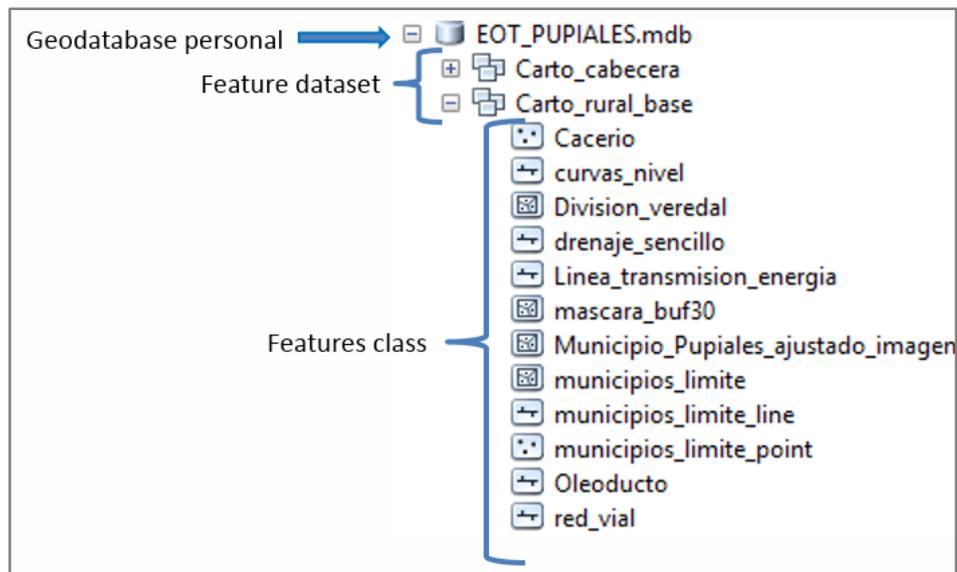
6. RESULTADOS

6.1. GEODATABASE PERSONAL

La información geográfica se estructuró y organizó en una *personal geodatabase* que contiene tres *feature datasets*, en los cuales se dispone la información vectorial así: cartografía cabecera, cartografía rural base 1:25.000 y cartografía rural temática, también en la *personal geodatabase* se almacena la información en formato raster como la imagen satelital, el modelo digital de elevación y el modelo de pendientes.

La información correspondiente a cada *feature class* tiene diligenciada la tabla de atributos que se encuentra vinculada a cada uno de éstos.

Figura 24. Estructura de la *personal geodatabase*



Fuente: Este estudio.

6.2. MAPA BASE

El mapa base proporciona un contexto geográfico y detalles de referencia. A partir de las capas que conforman la base cartográfica digital georreferenciada se elaboró el Mapa Base del municipio de Pupiales. Este mapa base se constituye en el soporte de todas las capas temáticas con información del municipio y específicamente de los resultados de la clasificación de la cobertura de la tierra y uso de la tierra, clasificación de la pendiente, variación altitudinal y división político administrativa (veredas), debido a que refleja la distribución espacial de los resultados y permite visualizarlos y analizarlos en el contexto geográfico municipal.

El mapa base contiene información topográfica (curvas de nivel), red vial municipal con sus respectivos atributos relacionados con la categoría y estado de las vías, red hidrográfica municipal (ríos, quebradas, drenajes), toponimia, centros educativos municipales zonas urbanas, divisiones político-administrativas, centros poblados entre otros.

Este mapa base se conforma a partir de la cartografía de carácter oficial suministrada por IGAC a escala 1:25.000 la cual se retroalimenta y/o complementa con la información disponible en la cartografía del EOT vigente, trabajo de campo, captura de puntos con GPS, delimitación de las zonas urbanas al interior del municipio y la corrección geométrica de la imagen satelital que se vincula a este estudio, la cual permite darle mayor grado de calidad y detalle.

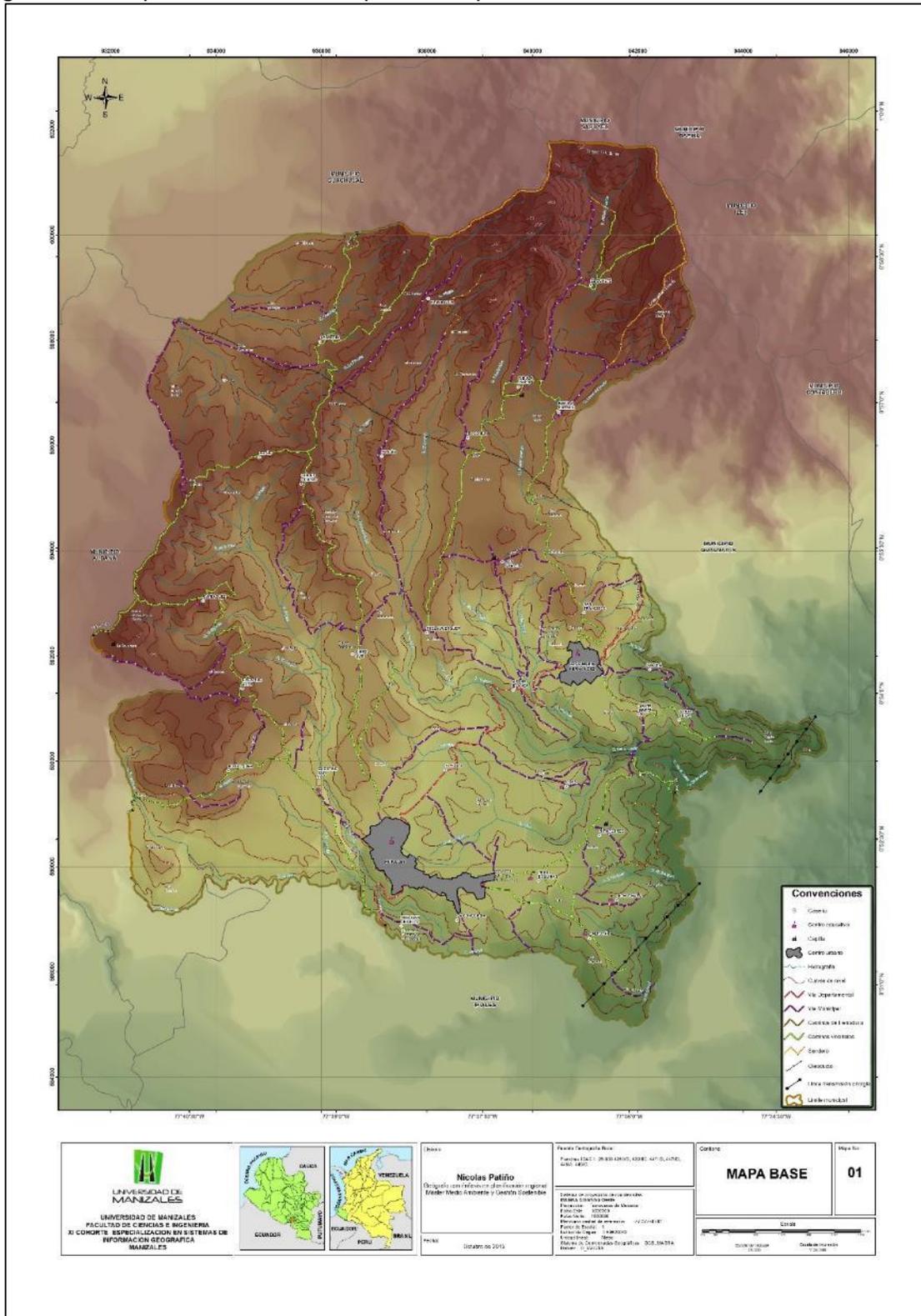
Entre los aspectos más sobresalientes de este trabajo, relacionados con la base cartográfica, se destaca la delimitación del perímetro municipal y perímetros urbanos de la cabecera municipal de Pupiales y del corregimiento de José María Hernández, la clasificación y actualización de la red vial, de las pendientes y del territorio municipal en suelo urbano y rural.

Tabla 3. Clasificación del territorio municipal en suelo urbano y rural

Clasificación	Descripción	Área	
		Hectáreas	%
Suelo Urbano	Cabecera Pupiales	134,52	1,01%
	Jose Maria Hernandez	43,09	0,32%
Suelo Rural	Suelo rural	13083,71	98,66%
Total		13261,32	100,00%

Fuente: Este estudio

Figura 25. Mapa base del municipio de Pupiales



Fuente: Este estudio

6.2.3. Clasificación de las pendientes. El municipio presenta variedad fisiográfica, razón por la cual la diversidad de pendientes es notable, además presenta un predominio de pendientes leves asociadas al altiplano nariñense del que hace parte, el cual se extiende desde Tuquerres hasta Ipiales. Las principales variaciones se encuentran hacia la conformación montañosa del volcán de Paja Blanca al norte del municipio de Pupiales y el Cerro Gordo en el costado centro occidental del municipio, teniendo en cuenta también que las mayores longitudes de las laderas corresponden a las zonas planas y plano – onduladas del altiplano nariñense.

La clasificación de pendientes para el municipio se realizó por medio de herramientas para análisis espacial enmarcadas mediante software aplicado a sistemas de información geográfica. Los rangos y categorías se definieron de acuerdo a la especificaciones que establece Carvajal (2008) en el documento de zonificación de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa referido por el Servicio Geológico Colombiano, se empleó un modelo digital de elevación (DEM) del cual se derivó el modelo de pendientes. Los rangos disponibles en el mapa de pendientes constituyen un insumo en el proceso de zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa al igual que en el análisis de amenazas, que se hace en relación con esta variable morfométrica de la fisiografía presente en el territorio de Pupiales, dichos rangos son los siguientes:

Cuadro 1. Clasificación de Pendientes

Inclinación Grados	Descripción
0° - 5°	Plana a suavemente inclinada
5° - 10°	Inclinada
10° - 15°	Muy inclinada
15° - 20°	Abrupta
20° - 30°	Muy abrupta
30° - 45°	Escarpada
45° - 90°	Muy escarpada

Fuente: SGC, 2010.

A nivel general, en el municipio la pendiente máxima registra un valor porcentual de aproximadamente 240%, equivalente a aproximadamente a 68°; mientras que la mínima muestra valores que llegan al 0% de inclinación (0°) con una media de casi el 13% ó 7,1°; según estadísticas extraídas con el software ArcGIS 10[®] desde el modelo de pendientes, usado para la generación de la cartografía respectiva (Mapa de Pendientes).

- **Pendiente 0° a 5°.** Siendo este el menor rango de pendientes señalado en el municipio, se presenta de forma muy distribuida, con áreas muy variadas en todas las veredas del sector, que corresponden a zonas planas o casi a nivel, presentando terrenos fácilmente encharcables, sin tomar a consideración la naturaleza de los suelos o la cobertura de la tierra.

- **Pendiente 5 ° a 10°.** Su presencia es muy baja en el municipio, pero tiene gran representatividad en las veredas de Pusialquer y el Ejido, entre otras, así como también en la cabecera municipal, con inclinaciones muy ligeras, sus laderas prolongan generalmente las zonas de planicie dentro del altiplano.
- **Pendiente 10° a 15°.** En cuanto a las zonas con pendientes moderadas, muestra predominancia en las veredas de Imbulagrande, Imbulachico, San Marcos, Espino Sur, Pusialquer, El Ejido, Tres Esquinas y Calpután, así como también en la cabecera corregimental de Jose María Hernández y en menor proporción en la cabecera municipal, hacia las zonas de cañón, especialmente hacia la quebrada Lambuera.
- **Pendiente 15° a 20°.** En cuanto es a esta unidad de pendientes, se encuentra distribuida de forma heterogénea en todo Pupiales, con menor presencia en la zona central del municipio, entre las veredas de El Común, Chires Sur, El Ejido y Tres Esquinas donde se presenta mayor dispersión entre las zonas de esta categoría de pendientes.
- **Pendientes 20° a 30°.** Las zonas con escarpes ligeros se muestran en las áreas de piedemonte (hacia Paja Blanca) y en las riberas de las principales corrientes hídricas del sector especialmente en el oriente en los límites que demarca la quebrada Cuatis y Doña Juana en la vereda Santa Lucia, lo que demuestra los niveles de disección de la hidrografía en Pupiales.

Es así como al norte en la zona próxima al parque regional de Paja Blanca, las veredas de mayor influencia son las de Casafría, El Mirador, Piacún, El Común, Imbulachico, El Gualte e Imbulagrande. De igual forma, la presencia de estas áreas se dá en gran medida al interior de las microcuencas de las quebradas Lambuera, El Salto, Santa Lucía y hacia la desembocadura de Doña Juana.

- **Pendientes 30° a 45°.** Los terrenos moderadamente escarpados son pocos en el municipio y se localizan principalmente en El Gualte y en menores áreas en las veredas de El Mirador, Imbulachico, El Común, Casafría, Quitiaquez, El Espino Alto y Sur, Santa Marta, Santa Lucía, Incuchala y Calpután, a variadas altitudes dentro de Pupiales.
- **Pendientes mayores a 45°.** Esta unidad con el mayor nivel de pendiente se presenta mínimamente en la vereda el Gualte, al norte del municipio con influencia en el parque regional de Paja Blanca, y áreas de influencia de la quebrada Imbula Grande al costado occidental de la microcuenca.

A medida que las pendientes van aumentando se relaciona proporcionalmente con la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, especialmente en zonas donde no se hacen buenas prácticas agropecuarias y haya un inadecuado uso del

recurso suelo. Lo cual denota que desde este rango la susceptibilidad a movimientos en masa se incrementa en función de los ángulos de pendiente que no alcanzan niveles de estabilidad óptimos.

Cuadro 2. Clasificación de la pendiente en el municipio de Pupiales

Inclinación	Gradiente (%)	Descripción	Área	
			Hectáreas	%
< 5°	< 8,75%	Plana o suavemente inclinada	6570,83	49,55%
5° - 10°	8,75% - 17,63%	Inclinada	2140,93	16,14%
10° - 15°	17,63% - 26,79%	Muy inclinada	2359,40	17,79%
15° - 20°	26,79% - 36,40%	Abrupta	1297,35	9,78%
20° - 30°	36,40% - 57,74%	Muy abrupta	770,58	5,81%
30° - 45°	57,74% - 100%	Escarpada	116,98	0,88%
>45°	>100%	Muy escarpada	5,25	0,04%
TOTAL			13261,32	100,00%

Fuente: este estudio

6.3. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN EL MUNICIPIO DE PUPIALES

La identificación de la cobertura y uso de la tierra se realizó principalmente con base en los resultados del procesamiento digital de una imagen satelital del sensor *RapidEye*³, recorridos en campo y apoyo de información secundaria, como se describen a continuación.

6.3.1. Cobertura de la Tierra. Las unidades cartográficas que representan la clasificación de las coberturas de la tierra se hizo con base en la “Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra”⁴ adaptándola a escala 1:25.000, según la “Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000”⁵.

La leyenda para la clasificación de la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales proporciona la características temáticas para el conocimiento de los recursos naturales, para la evaluación de las formas de ocupación y apropiación del espacio geográfico del municipio con lo cual se facilitan los procesos de seguimiento de los cambios y la evaluación de la dinámicas de las coberturas terrestres.

Para la aplicación de la leyenda que clasifica la cobertura en el municipio de Pupiales se establecieron los siguientes criterios rectores:

- La leyenda se estructura de manera jerárquica, derivando las unidades de coberturas de la tierra con base en criterios fisonómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo.
- Los niveles de la leyenda representados en el mapa corresponden al de menor jerarquía variando desde el nivel 3 al 6 de los diferentes grupos de coberturas, en función del tipo de cobertura.
- La unidad mínima cartografiable para este trabajo a escala 1:25.000 es 2,5 hectáreas.
- La identificación y delimitación de la unidad de la cobertura de la tierra corresponde a la fecha de toma de la imagen de satélite a excepción de aquellas zonas donde dicha imagen presente nubosidad y se completó la información faltante con ayuda de imágenes complementarias en repositorios de imágenes aéreas y satelitales y el trabajo realizado en campo.

En la Tabla 4 se presenta la síntesis de la leyenda estructurada de manera jerárquica (la clase 1 corresponde a unidades más generales) la cual se empleó

³ Escena 2010-08-09T163253_RE1_1B-NAC_4522110_96742.tif, capturada en el año 2010 la cual tiene una resolución espacial de 6 metros por pixel y 5 bandas espectrales (Azul, Verde, Rojo Red-Edge e Infrarrojo cercano).

⁴ La Leyenda hace referencia al sistema de clasificación empleado para la representación de las distintas unidades de cobertura de la tierra interpretadas y mapeadas.

⁵ Esta metodología tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica.

para elaborar el mapa de cobertura de la tierra a escala 1:25.000 para el municipio de Pupiales.

Tabla 4. Estructura jerárquica de las unidades de cobertura de la tierra identificadas en el municipio de Pupiales

1	2	3	4	5	6
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	Cultivos transitorios	Tubérculos	Papa	—	—
	Pastos	Pastos limpios	—	—	—
	Áreas agrícolas heterogéneas	Mosaico de pastos y cultivos	—	—	—
		Tierras desnudas	—	—	—
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	Bosques	Bosque Denso (Bosque natural denso)	Bosque denso bajo	Bosque denso bajo de tierra firme	—
		Bosque Fragmentado	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	—	—
		Bosque ripario	—	—	—
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Herbazal	Herbazal denso	Herbazal denso de tierra firme	Herbazal denso de tierra firme no arbolado
		Arbustal	Arbustal denso	—	—
TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	Zonas urbanizadas	Tejido urbano continuo.	—	—	—

A continuación se presenta la descripción de las coberturas identificadas en el municipio de Pupiales de acuerdo con el esquema jerárquico de la leyenda.

- **Territorios agrícolas.** Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas, en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas.
 - **Cultivos transitorios.** Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, entre otros, tales como tubérculos (papa) y pastos presentes en el municipio de Pupiales. Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. En el municipio se identifica la unidad correspondiente a tubérculos.
 - **Tubérculos.** Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de diferentes tipos de plantas que poseen tubérculos. Un tubérculo es un tallo subterráneo modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Esta cobertura la compone principalmente el cultivo de papa en gran parte del municipio. Es una característica de la región andina que los cultivos de papa se presentan por encima de los 2.000 msnm, tal es el caso de la región del altiplano Nariñense.
 - **Papa.** Cobertura terrestre propia de las zonas de montaña de clima frío, situadas entre los 2.000 y 3.000_m.s.n.m e incluso por ampliación de la frontera agrícola se presenta en alturas superiores. La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una especie de planta herbácea, tuberosa, perenne, perteneciente a la familia de las solanáceas, de tallo erecto o semidecumbente, que puede medir hasta un metro de altura, según la especie. En el municipio se encuentra distribuida en gran parte del territorio.

Figura 29. Registro fotográfico - Cultivo de papa



Fuente: este estudio

- **Pastos.** Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le hace. En el municipio se identifica la cobertura correspondiente a pastos limpios.
- **Pastos limpios.** Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, enclavamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Esta cobertura cuenta con un estrato herbáceo más o menos continuo, donde dominan las gramíneas perennes, con un estrato arbóreo más o menos abierto o inexistente, principalmente se identifican coberturas de pastos que han sido empleadas tradicionalmente en el municipio como: kikuyo, raygras, aubade Saboya y tetralite, estos pastizales se destinan al pastoreo extensivo y semi intensivo, para diferentes grados de producción en la actividad de ganado lechero, ganadera y alimento de especies menores como cuyes.

Figura 30. Registro fotográfico - Pastos Limpios.





Fuente: Este estudio.

- **Áreas agrícolas heterogéneas.** Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra. Se identifican como áreas agrícolas heterogéneas las coberturas correspondientes a pastos y cultivos.
- **Mosaico de pastos y cultivos.** Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual.
- **Tierras desnudas.** Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno que se destinan a uso agrícola y/o agropecuario que se encuentran temporalmente sin sembrar correspondiente al periodo de posterior a la cosecha o están preparándose para la siembra por lo general de papa o pastos.

Figura 31. Registro fotográfico - tierras desnudas.



Fuente: Este estudio.

➤ **Bosques y Áreas Seminaturales.** Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos. En esta pueden incluirse otras coberturas resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición. Las unidades de segunda jerarquía que se agrupan en esta categoría son las siguientes: bosques y áreas con vegetación herbácea y arbustiva.

- **Bosques.** Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida. De acuerdo con FAO (2001), esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones.

Para efectos de la presente clasificación⁶, los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel superior a los cinco metros. Una cobertura densa corresponde a una cobertura predominantemente arbórea, en la cual las copas se tocan. Entre la categoría de bosque se identifican las unidades de: Bosque Denso (Bosque natural denso), Bosque Fragmentado y Bosque ripario

- **Bosque denso (bosque natural denso).** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, y con altura del dosel superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y características funcionales (IGAC, 1999). Se exceptúan de esta

⁶ Hace referencia a la clasificación que se realiza mediante la aplicación de la Leyenda Nacional de cobertura de la tierra

unidad los bosques fragmentados, los cuales se describen posteriormente en este documento.

De acuerdo con la altura total predominante del dosel, el bosque denso para el caso del municipio de Pupiales se identifica la unidad de bosque denso bajo.

- **Bosque denso bajo.** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, con altura del dosel superior a cinco metros, pero inferior a 15 metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).
- **Bosque denso bajo de tierra firme.** Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo, y con altura del dosel entre 5 y 15 metros, y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos.

Esta cobertura se encuentra presente al norte del municipio, rodeando la cobertura correspondiente al "Arbustal denso" en el área de influencia del páramo de Paja Blanca.

Entre las especies más representativas en esta unidad están: Moquillo (*Surauria prinosa*). Yarumo (*Oreopanax discolor*), Pulis (*Diplostaphium floripundun*), Saúco (*Sambucus nigra*), Clüca (*Bucharis floribunda*), Encino (*Weimannia sp*), Olloco (*Hedyosmun bonplandianum*), Pumamaque (*Gunnera pilosa*), Hojarasco (*Ocotea sp*), Amarillo (*Miconia sp*), Carbuquillo (*Miconia sp*), Palma Gualte (*Geonoma sp*). Cacho venado (*Parmelia physoides*). Cerote (*Hesperometes sp*), Amargo (*Cedrela sp*), Estoraque (*CletJira ovalifolia*), Zarcillo (*Sruchsia corollata*), Pilche (*Prumus muris*) y Colla Blanca (*Piper sp*) (Administración Municipal de Pupiales, 2001)

Figura 32. Registro fotográfico - Bosque denso bajo de tierra firme



Fuente: Este Estudio

- **Bosque Fragmentado.** Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales se alternan con la unidad de bosque natural.

La fragmentación en el bosque es producto de la intervención humana, dando lugar a que se presenten parches de pastos y cultivos. Los bosques fragmentados tienden a presentarse en zonas de colonización o expansión de frontera agrícola, cerca de las áreas donde aún se conserva la matriz de bosque natural. El bosque fragmentado en el municipio se contrasta con la presencia de fragmentos de pastos y cultivos.

- **Bosque fragmentado con pastos y cultivos.** Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales donde se ha presentado intervención humana de tal manera que el bosque mantiene su estructura original. Las áreas de intervención están representadas en zonas de pastos y cultivos, las cuales se observan como parches de variadas formas y distribución irregular dentro de la matriz del bosque.

-

Esta cobertura se encuentra al norte del municipio limitando con la cobertura de “Bosque denso bajo de tierra firme”, se encuentran la zona de influencia del Páramo de Paja Blanca.

Figura 33. Registro fotográfico - Bosque Fragmentado



Fuente: Este estudio.

- **Bosque ripario.** Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que ocasionalmente bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en zonas andinas son conocidas como bosque ripario.

- **Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva.** Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica. Para el caso del municipio de Pupiales se identifican las clases de Herbazal y Arbustal.
- **Herbazal.** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa. Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).

De acuerdo a los parámetros de aplicación de la leyenda y las características identificadas para este tipo de unidad los herbazales identificados en el municipio con respecto a su densidad de la cobertura herbácea se comprenden como densos; de acuerdo a sus condiciones de inundabilidad se clasifican como de tierra firme; y de acuerdo a la presencia de árboles se clasifican como no arbolados en tal sentido se designan como Herbazal denso de tierra firme no arbolado.

- **Herbazal denso.** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes sustratos, los cuales forman una cobertura densa. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original ni sus características funcionales (IGAC, 1999).
- **Herbazal denso de tierra firme.** Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso, el cual se desarrolla en áreas que no están sujetas a períodos de inundaciones, las cuales pueden presentar o no elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos.
- **Herbazal denso de tierra firme no arbolado.** Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso de tierra firme, donde no existe presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos, o en caso de existir no significan mayor representatividad. Se localizan principalmente en áreas con limitaciones de suelos y de clima, como las zonas de páramo y subpáramo de la alta montaña.

Figura 34. Registro fotográfico - Herbazal denso de tierra firme no arbolado



Fuente: Este estudio.

Esta cobertura se encuentra presente en parte de la delimitación del ecosistema que corresponde al páramo de Paja Blanca el cual se encuentra en el extremo norte del municipio de Pupiales y en la parte más alta del mismo (cotas superiores a 3500 m.s.n.m.), dicho páramo además hace parte de los municipios de Gualmatán, Contadero, Iles, Sapuyes y Guachucal.

- **Arbustal.** Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001). De acuerdo con la adaptación de la leyenda y la información registrada en los recorridos de campo se identifica la cobertura correspondiente a Arbustal denso.
- **Arbustal denso.** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbustivos, los cuales forman un dosel irregular, el cual tenga un alto nivel de representatividad. La unidad puede contener elementos arbóreos dispersos. Esta formación vegetal no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y sus características funcionales (IGAC, 1999).

Esta cobertura se ubica al norte del municipio, rodeando la “cobertura de Herbazal denso de tierra firme no arbolado”. Está presente al interior de la delimitación del páramo de Paja Blanca. Esta cobertura se puede observar en las siguientes figuras.

Figura 35. Registro fotográfico - Arbustal denso



Fuente: Este estudio.

Figura 36. Registro fotográfico - Arbustal denso



Fuente: Este estudio.

- **Territorios Artificializados.** Comprenden las áreas de los centros urbanos y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios entre otros. Para el caso de la aplicación de la leyenda en el municipio de Pupiales se identifica la categoría de zonas urbanas.
- **Zonas urbanizadas.** Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con estas, que configuran un tejido urbano. El municipio de Pupiales presenta la unidad de tejido urbano continuo.
 - **Tejido urbano continuo.** Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren una alta proporción de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano.

En el municipio de Pupiales se identifican dentro de esta categoría la cabecera municipal y el centro poblado de José María Hernández. En la imagen 37 se puede observar al interior del perímetro marcado, la cobertura correspondiente a tejido urbano continuo en la cabecera municipal.

Figura 37. Tejido urbano continuo - cabecera municipal de Pupiales



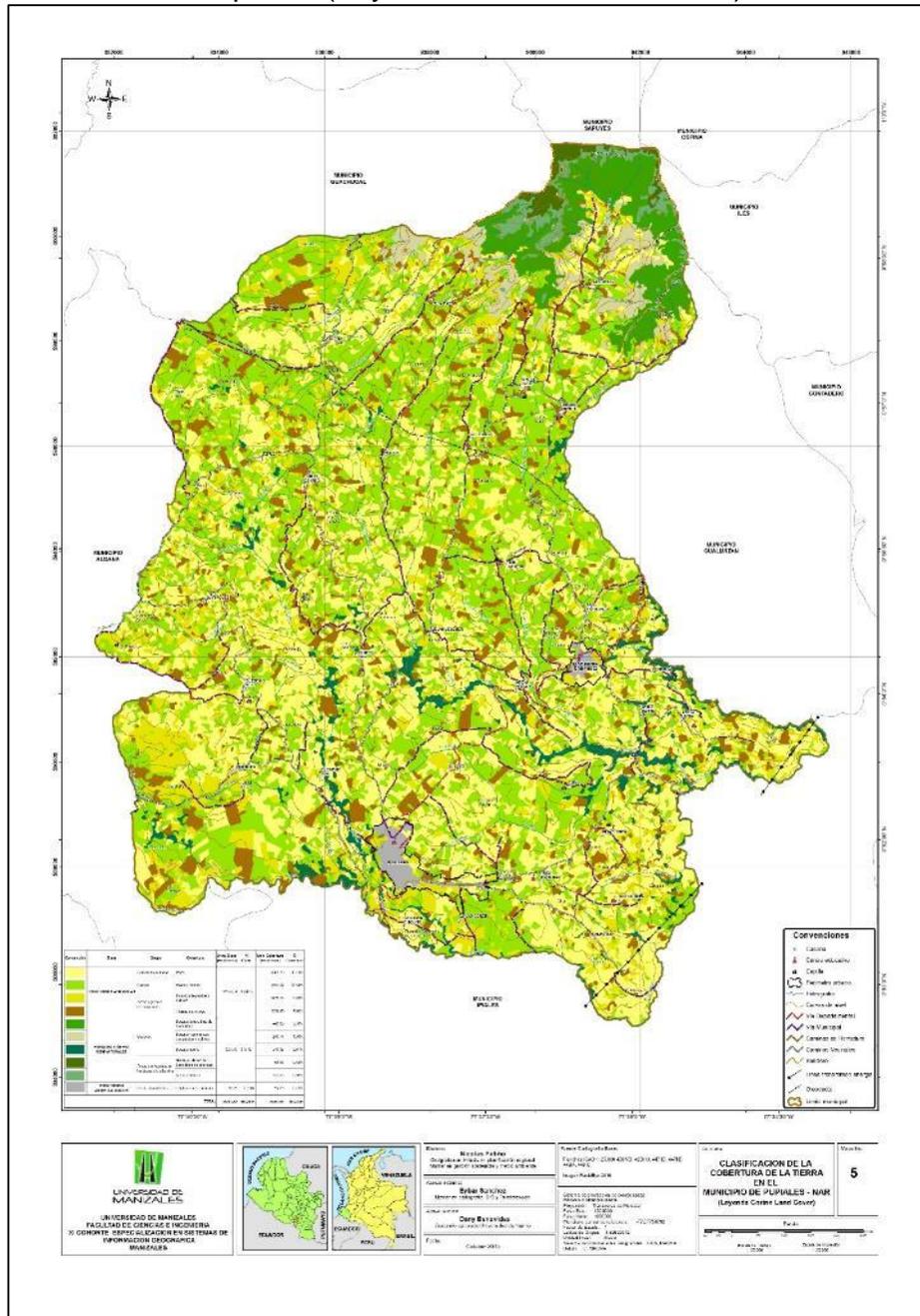
Fuente: Este estudio

Tabla 5. Cobertura de la tierra en el municipio de Pupiales

Clase	Grupo	Cobertura	Área Clase (Hectáreas)	% Clase	Área Cobertura (Hectáreas)	% Cobertura
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	Cultivos transitorios	Papa	11934,54	90,00%	4665,73	35,18%
	Pastos	Pastos limpios			4453,62	33,58%
	Áreas agrícolas heterogéneas	Mosaico de pastos y cultivos			1755,23	13,24%
		Tierras desnudas			1059,95	7,99%
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	Bosques	Bosque denso bajo de tierra firme	1234,49	9,31%	449,28	3,39%
		Bosque fragmentado con pastos y cultivos			246,74	1,86%
		Bosque ripario			346,38	2,61%
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Herbazal denso de tierra firme no arbolado			68,83	0,52%
		Arbustal denso			123,25	0,93%
TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	Zonas urbanizadas	Tejido urbano continuo.	92,29	0,70%	92,29	0,70%
TOTAL			13261,32	100,00%	13261,32	100,00%

Fuente: Este estudio.

Figura 38. Mapa con la clasificación de la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales (Leyenda Corine Land Cover)



Fuente: Este estudio

6.3.2. Uso de la tierra. Los usos de la tierra se clasifican de acuerdo con el tipo de actividad relacionado a la cobertura. El uso está directamente ligado a la cobertura vegetal que se establece en la capa superficial de la tierra, bien sea en forma natural o con la intervención del hombre, con el fin de satisfacer intereses económicos, sociales y ecológicos. En el sentido de lo anteriormente expuesto en el municipio de Pupiales se identifican principalmente usos de índole agropecuaria, protección y urbana.

- **Protección.** Esta unidad agrupa la vegetación correspondiente a bosque y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva caracterizada por coberturas como herbazal denso de tierra firme no arbolado, arbustal denso, bosque denso bajo de tierra firme, bosque ripario. El herbazal denso de tierra firme se encuentra en la parte más alta del municipio en cotas superiores a los 3.500, posterior a este descendiendo altitudinalmente se encuentra el arbustal denso esta vegetación corresponde al ecosistema estratégico que enmarca el páramo de Paja Blanca estas coberturas se encuentran sin intervención o invasión antrópica, seguido de las anteriores se encuentra el bosque denso bajo de tierra firme entre los 3.300 a 3.500 m.s.n.m. aproximadamente, se debe tener en cuenta que la importancia de estas coberturas radica en el abastecimiento del recurso hídrico para el municipio, por lo cual se debe propender por su protección y conservación.
- **Uso agropecuario.** Se identifica por la presencia de coberturas correspondientes a papa, pastos limpios, mosaico de pastos y cultivos, y tierras desnudas, en descanso o preparadas para la siembra.

La mayor parte del territorio municipal está dedicada a la agricultura y ganadería, actividades directamente vinculadas con las coberturas de pastos y cultivos⁷ de papa. La producción agropecuaria se caracteriza por desarrollarse en predios minifundistas donde se presentan coberturas mixtas o misceláneas de papa principalmente y en menor proporción cultivos de pancoger⁸ como maíz, arveja, hortalizas y haba en rotación con pastos manejados.

Entre los pastos manejados se encuentran principalmente especies como: kikuyo, raygras, tetralite, saboya, aubade y tetrablen que se usan para el establecimiento de ganadería extensiva los cuales se rotan con cultivos de papa y misceláneos en menor proporción

⁷ La predominante rotación de pastos limpios (pastos manejados) con cultivos de papa con el objeto de aumentar la productividad de los predios limita la mapificación detallada de la cobertura de la tierra.

⁸ Debido a la escala de trabajo no es posible mapificar este tipo de cultivos de pancoger los cuales se encuentran diseminados entre las coberturas de pasto y papa.

La parte baja del bosque se encuentra intervenida por actividades agropecuarias que ejercen gran presión sobre éste, se identifica la fragmentación y pérdida de bosque por tala para implementación de cultivos de papa y descendiendo altitudinalmente la presencia de pastos para ganado, por tanto se debe establecer la recuperación de estas áreas.

- **Usos urbanos⁹.** En términos de cobertura se localizan sobre el tejido urbano o zonas urbanizadas, las cuales emplazan usos propios del suelo clasificado como urbano, enmarcado al interior de los perímetros que establecen esta condición como es el caso de la cabecera municipal y cabecera del corregimiento de José María Hernández, continuo al tejido urbano se encuentran usos agropecuarios (pastos y cultivos), que también se encuentran al interior de los perímetros urbanos.

Tabla 6. Uso y cobertura de la tierra en el municipio de Pupiales

Uso de la Tierra	Cobertura	Área (Hectáreas)	%
PROTECCIÓN	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	987,75	7,45%
	Arbustal denso		
	Bosque denso bajo de tierra firme		
	Bosque ripario		
AGROPECUARIO	Papa	12181,28	91,86%
	Pastos limpios		
	Mosaico de pastos y cultivos		
	Tierras desnudas		
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos		
USOS URBANOS	Tejido urbano continuo.	92,29	0,70%
TOTAL		13261,32	100,00%

Fuente: Este estudio.

⁹ Las categorías de uso del suelo urbano contenidos al interior de sus respectivos perímetros se escapan de los alcances del presente trabajo.

6.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- El resultado de este trabajo permite conocer la distribución de la cobertura de la cobertura tierra en el territorio municipal de Pupiales y determinar el uso asociado a estas, el sistema de clasificación fue el contemplado en la Leyenda Corine Land Cover para Colombia, lo cual se consiguió satisfactoriamente.
- El procesamiento digital para la clasificación la imagen satelital del sensor RapidEye de resolución de 6 metros posibilitó la producción información cartográfica de resolución media a escala 1:25.000 sobre la cobertura y uso de la tierra del municipio.
- Se vinculó al proceso información cartográfica base del territorio municipal a escala 1:25.000 cuya fuente fue el plan de ordenamiento territorial vigente (2001-2015) y planchas topográficas de fuente IGAC, información que se editó y organizó a una Geodatabase de tal manera que la información geográfica almacenada en esta tuviera una coherencia espacial y geométrica y que los resultados obtenidos mediante herramientas SIG pudieran ser de utilidad en la planeación del territorio municipal.
- La información geográfica a escala 1:25.000 almacenada en la Geodatabase personal se constituye en la principal base de referencia de información adicional que cubra el territorio municipal, actuando como referencia cartográfica que unifique otras capas temáticas que integren el diagnóstico territorial especialmente el biofísico así como la propuesta del modelo de ocupación que se requiera proponer.
- La clasificación de la cobertura de la tierra y elaboración de la cartografía base es de primera mano una experiencia donde se implementaron metodologías y tecnologías de geoprocésamiento SIG y teledetección, constituyéndose dichas metodologías y tecnologías en una necesidad en la actualidad para los diferentes entes territoriales encargados de la administración de los recursos naturales que se asientan sobre la jurisdicción de un determinado territorio.
- Mediante la depuración y análisis de los resultados de la clasificación de la imagen satelital es posible determinar con mayor exactitud y precisión la ubicación, extensión y estado de la cobertura y uso de la tierra en el territorio municipal encontrando que:
 - En el territorio municipal predominan los territorios agrícolas con un 90% en los cuales prevalece la presencia de cultivos de papa y pastos limpios que tienen una dinámica rotacional del uno al otro, en menor proporción se encuentra las coberturas afines con bosques y áreas seminaturales con un

9,31% del territorio municipal en la que se destacan zonas con bosques y áreas con vegetación arbustiva, y en muchísima menor proporción se encuentran los territorios artificializados con un 0,70% del territorio municipal.

- Las coberturas correspondientes a bosques y áreas naturales como bosques y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, se localizan al norte del municipio en la parte más alta del mismo, y recaen sobre la zona de páramo, el cual hace parte del Parque Regional de Paja Blanca, entre las coberturas se destacan el herbazal denso de tierra firme no arbolado en la parte más alta y posteriormente descendiendo altitudinalmente es bordeado por el arbustal denso, seguido del bosque denso bajo de tierra firme, estas coberturas mantienen un uso de protección debido a la importancia ecosistémica que tienen en la prestación de bienes y servicios ambientales principalmente vinculados con la provisión del recurso hídrico. En algunas secciones del municipio se encuentra coberturas correspondientes a bosque ripario la cual está vinculada a la ronda hídrica o franja de protección de corrientes hídricas.
- De manera preliminar, es posible identificar que en el municipio existen zonas donde se presentan conflictos en el uso y ocupación de la tierra, como la carencia de franjas de protección en las principales corrientes hídricas en todo el territorio municipal, en cuyas rondas predominan usos agropecuarios con coberturas correspondientes a pastos y cultivos de papa. Se identifica la presencia de bosques fragmentados con pastos y cultivos al norte del municipio en las partes más altas prácticamente a partir de los 3.250 msnm en el área de influencia del Parque Regional de Paja Blanca, donde también se evidencia una gran presión y deterioro de la vegetación correspondiente a la cobertura del bosque denso bajo de tierra firme, sobre la cual, por la altitud en incluso por la pendiente y la fragilidad de los ecosistemas a esta altura el uso de la tierra debería ser predominantemente destinado a protección.

7. CONCLUSIONES

- El desarrollo del presente trabajo permitió ratificar que la teledetección espacial combinada con la aplicación de herramientas SIG, son de gran utilidad para la identificación de la cobertura y uso de la tierra, y elaboración de cartografía base.
- El papel de las herramientas SIG y la teledetección fue definitivo en el desarrollo de este trabajo orientado a la identificación y clasificación de las coberturas y uso de la tierra a la vez que permitieron producir e integrar información de gran utilidad para la gestión municipal permitiendo la construcción de modelos digitales que reflejen la realidad de aspectos de la geográfica del municipio a partir de la cartografía base y temática del territorio y de la información asociada a esta.
- La utilización de herramientas SIG permite que sea más sencillo visualizar parte de la realidad del territorio asociada a los elementos que se integraron como la cobertura y uso de la tierra, distribución altitudinal, pendientes, red hídrica y clasificación de la red vial entre otras, y consecuentemente permitirá la toma de decisiones basadas en información más eficiente dando lugar a que la institucionalidad a diversa escala pueda compartir la misma visión de territorio.
- La inclusión de herramientas SIG y teledetección en el desarrollo de este trabajo permitió obtener información de manera más ágil y organizada a la vez se constituirá en la línea base para realizar el monitoreo, seguimiento y evaluación de los elementos geográficos involucrados como la cobertura y uso de la tierra.
- La cartografía base a escala 1:25.000 elaborada en el desarrollo de este trabajo indica la ubicación exacta de los puntos de la superficie terrestre que cubren el área del territorio municipal, la cual refleja elementos como infraestructura vial, centros poblados, hidrografía, delimitación político administrativa la cual conjuntamente con la clasificación de las pendientes y cobertura y usos de la tierra se constituyen en un instrumento básico para el diagnóstico municipal y consecuentemente la reglamentación de los usos de la tierra orientados a la toma de decisiones en el municipio en aspectos como el ordenamiento territorial y ambiental de tal manera que se busque un desarrollo sostenible del territorio municipal.
- La identificación y clasificación de la cobertura y uso de la tierra resultado del presente trabajo se constituyen en un aporte fundamental para el conocimiento de la situación del municipio en este aspecto, permitiendo una visión territorial integral y contextualizada en el ámbito geográfico municipal y regional de manera tal que se puedan emprender acciones con objeto de propender por el desarrollo sostenible del municipio.

- El conocimiento de la cobertura de la tierra permite una mejor planificación de las actuaciones sobre el territorio principalmente sobre la disposición de asentamientos, infraestructura, equipamientos colectivos y uso de la tierra conforme a sus características, vocación y potencialidades.
- La clasificación de la cobertura de la tierra mediante un método estandarizado como la Leyenda Corine Land Cover se constituye en el punto de partida para que el municipio implemente un mecanismo de monitorio periódico de los cambios en la cobertura de la tierra en el territorio de su jurisdicción, mediante la aplicación de herramientas geoinformáticas.
- Las capas de información elaboradas permitirán sobreponer nuevos elementos con facilidad debido a la versatilidad que ofrecen los formatos vectoriales *Feature class* y alternativamente *shapefile*.

8. RECOMENDACIONES

- La incorporación herramientas SIG en la gestión del territorio municipal y especialmente en el monitoreo de la cobertura de la tierra permitirá a la administración municipal y la población en general concertar una propuesta del uso de la tierra de manera más rápida, eficiente y sostenible.
- Los resultados de este trabajo pueden constituirse en el punto de partida para el que municipio implemente un sistema de información geográfica para el ordenamiento territorial donde se vincule la información requerida y toda aquella que se produzca sobre el ámbito geográfico municipal.
- La identificación y clasificación de la cobertura y uso de la tierra resultado del presente trabajo, la cual se concreta en una capa de información espacializable y georeferenciada, se constituye en un insumo fundamental para la elaboración de la reglamentación del uso y ocupación de la tierra, por tanto se recomienda principalmente al municipio dar continuidad al proceso, cruzando la información de ésta capa con la correspondiente a vocación o capacidad de uso de la tierra para identificar detalladamente las zonas de conflicto de uso, y posteriormente fijar la propuesta de uso de la tierra para su tratamiento y reglamentación, para esto se requiere la articulación integral de otras capas de información como pendientes, zonificación climática, sectorización hídrica, geología, geomorfología, amenazas o susceptibilidad de amenaza y capacidad agrologica entre otros como zonas de interés ambiental con reglamentación especial como el caso del Parque Natural Regional de Paja Blanca. Para la superposición de capas de información se debe emplear un software para SIG.
- La vinculación de los resultados obtenidos de este trabajo le permitirá a la administración pública municipal tomar y emprender acciones sobre el territorio, más acertadas y priorizadas en cuanto a acciones y generación de política pública reflejada en el plan de ordenamiento territorial y plan de desarrollo debido a que dichos resultados se constituyen en un sustento de información y conocimiento detallado y preciso para orientar la gestión del uso del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL DE PUPIALES. (2001). *Esquema de Ordenamiento Territorial 2001 - 2005*. Pupiales - Nariño.
- AGUILAR, M. (2002). *Fotointerpretación*. URUGUAY: Universidad de la República de Uruguay.
- ALCALDIA DE PUPIALES - NARIÑO. (04 de 05 de 2012). *Sitio Oficial de Pupiales en Nariño*. Obtenido de http://www.pupiales-narino.gov.co/informacion_general.shtml
- ALZATE, B. (2001). *Introducción a la Percepción Remota e Imágenes Satelitales*.
- CHUVIECO, E. (1995). *FUNDAMENTOS DE TELEDETECCION ESPACIAL*. MADRID: EDICIONES RIALP, S.A.
- CHUVIECO, E. (2002). *Teledetección Ambiental, La Observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona: Ariel ciencia.
- CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. (1997). *LEY 388 DE 1997*.
- CORPONARIÑO. (2011). *Determinantes ambientales para el ordenamiento territorial*.
- ESRI. (31 de 10 de 2015). *ArcGIS Resources* . Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>
- GIS Development. (2007). *Image Processing And Analysis*.
- GONZALEZ, A. (2007). *Fundamentos de Fotointerpretación*. 2 ed. Bogotá.
- IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA. 2008. *Mapa de Coberturas de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología y Meteorología, y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. Bogotá, D.C., 200p +164 hojas cartográficas.
- IDEAM, *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D.C., 72p.

- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (15 de 10 de 2015). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- IGAC. (2005). Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación. Bogotá: CIAF.
- INEGI. (s.f.). *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y GEOGRAFIA*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/rapideye.aspx>
- MinAmbiente. (01 de enero de 2011). *Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC*. Recuperado el 13 de abril de 2015, de Coberturas de la tierra: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=471&conID=1447>
- POSADA, E. (2008). Introducción al Procesamiento Digital. En C. d. (IGAC).
- RIAÑO, O. (1990). *Procesamiento digital de imágenes en ILWIS*. [s.l.]: [s.n.].
- Romero, F. S. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista aquaTIC*(24), 29. Recuperado el 28 de 10 de 2015, de http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf