

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL, ZONAS DE  
EROSIÓN Y DIRECCIÓN DEL CAUCE, EN LA CUENCA DEL RÍO CRAVO  
SUR, COMPRENDIDO DESDE EL MUNICIPIO DE SOCHA EN EL  
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ HASTA EL MUNICIPIO DE YOPAL EN EL  
DEPARTAMENTO DE CASANARE**

**BRYAN JAVIER SANABRIA LOMBANA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**



**FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
SOGAMOSO BOYACÁ  
AGOSTO 10 DEL 2018**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL, ZONAS DE  
EROSIÓN Y DIRECCIÓN DEL CAUCE, EN LA CUENCA DEL RÍO CRAVO  
SUR, COMPRENDIDO DESDE EL MUNICIPIO DE SOCHA EN EL  
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ HASTA EL MUNICIPIO DE YOPAL EN EL  
DEPARTAMENTO DE CASANARE**

**BRYAN JAVIER SANABRIA LOMBANA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**DIRECTOR**

**HÉCTOR ANTONIO FONSECA PERALTA**

**MSC. ECOLOGÍA TROPICAL**

**ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA “UPTC”**

**FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**SOGAMOSO BOYACÁ**

**AGOSTO 10 DEL 2018**



## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

**Director escuela de Ingeniería Geológica**

---

**Director del proyecto**

---

**Firma del presidente de jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Expreso mi agradecimiento a mi madre, por su infinito esfuerzo y su lucha diaria, que con su ejemplo de perseverancia, honestidad y trabajo duro me hace querer mejorar cada día.

A mis hermanos que son el motor de mi vida y mi inspiración.

A mi novia por su apoyo incondicional.

Al Director del proyecto, el ingeniero Héctor Antonio Fonseca por brindarme la oportunidad y tenerme confianza para desarrollar este trabajo.

Al ingeniero Ernesto Gutiérrez por su gran colaboración en todo momento, sus grandes consejos y excelentes aportes a mi vida como futuro profesional.

A la escuela de Ingeniería Geológica y a todos los maestros e ingenieros, que en el trayecto de mi formación como profesional me acompañaron y brindaron sus conocimientos.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por permitirme pertenecer a tan prestigiosa institución, ya que fue aquí donde adquirí los conocimientos y valores de un profesional.

Hago una dedicatoria principalmente a Dios, por ser mi guía, quien me acompaña y me bendice día a día, ya que gracias a él hoy me es posible culminar esta etapa.

A mi madre y mis hermanos, ya que sin su apoyo este sueño no tendría fundamentos.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	18
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	19
3.1 JUSTIFICACIÓN .....	19
<b>4. MARCO TEÓRICO</b> .....	20
4.1 TELEDETECCIÓN .....	20
4.1.1 Naturaleza de la radiación .....	21
4.1.2 Interacción de los elementos de la superficie terrestre con la radiación .....	23
4.1.3 Interacción atmosfera - radiación electromagnética .....	23
4.2 SENSORES REMOTOS .....	25
4.2.1 Resoluciones de un sensor.....	26
4.3 IMÁGENES LANDSAT.....	29
4.4 ANÁLISIS VISUAL DE IMÁGENES .....	29
4.4.1 Textura .....	30
4.4.2 Composición de bandas.....	31
4.4.3 Análisis multitemporal .....	32
4.5 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES .....	33
4.5.1 Correcciones geométricas .....	33
4.5.2 Correcciones radiométrica .....	34
4.5.3 Correcciones atmosféricas.....	35
4.6 REALCES Y MEJORAS DE LA IMAGEN.....	35
4.7 CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES.....	36
4.7.1 Clasificación supervisada.....	36
4.7.2 Clasificación no supervisada.....	38
4.8 METODOLOGÍA CORINE LAND COVER PARA COLOMBIA.....	39
4.9 EROSIÓN DE SUELOS .....	40
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	42
5.1 FASE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	42
5.2 FASE DEFINICIÓN ÁREA DE ESTUDIO Y DELIMITACIÓN DE LA CUENCA .....	43
5.3 FASE DE CARTOGRAFÍA.....	44
5.4 FASE DESCARGA Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES .....	46
5.5 FASE GEOLÓGICA .....	46
5.6 FASE GEOMORFOLÓGICA.....	47
5.7 FASE COBERTURA VEGETAL.....	49

5.8	FASE EROSIÓN .....	49
5.9	FASE CAUCE DEL RÍO .....	50
<b>6.</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>52</b>
6.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	52
6.2	VÍAS DE ACCESO .....	53
6.3	TOPOGRAFÍA.....	54
6.4	CLIMA .....	58
<b>7.</b>	<b>PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES .....</b>	<b>61</b>
7.1	PRESELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES.....	61
7.2	DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES .....	63
7.3	SELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES .....	63
7.4	DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES .....	63
7.5	COMPOSICIÓN DE BANDAS .....	69
7.6	RECORTE DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	80
7.7	CORRECCIONES DE IMÁGENES SATELITALES.....	81
7.7.1	Correcciones geométricas .....	81
7.7.2	Corrección radiométrica .....	83
7.7.3	Correcciones atmosféricas.....	86
7.8	REALCES Y MEJORAS DE LAS IMÁGENES.....	87
7.8.1	Ajuste del contraste.....	87
7.8.2	Mejora de resolución .....	89
<b>8.</b>	<b>GEOLOGÍA .....</b>	<b>92</b>
8.1	ESTRATIGRAFÍA.....	93
8.1.1	Cretáceo Inferior.....	94
8.1.2	Cretáceo superior.....	98
8.1.3	Paleógeno - región de Paz de Río.....	101
8.1.4	Paleógeno - región del Bode Llanero .....	104
8.1.5	Neógeno.....	107
8.1.6	Unidades sin consolidar .....	108
8.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	111
8.2.1	Fallas.....	111
8.2.2	Estructuras .....	115
<b>9.</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>124</b>
9.1	MORFOMETRÍA .....	125
9.1.1	Mapa de pendientes.....	125
9.1.2	Mapa de rugosidad .....	129
9.1.3	Mapa de Acuenca .....	133

9.1.4	Mapa morfométrico .....	138
9.2	<b>MORFOGÉNESIS</b> .....	142
9.2.1	Ambientes morfogenéticos.....	142
9.2.2	Jerarquización geomorfológica .....	144
9.2.3	Provincia geomorfológica (escala. 1:1000.000 a 1:500.000).....	145
9.2.4	Mapa geomorfológico.....	145
9.2.5	Ambiente estructural .....	150
9.2.6	Ambiente glacial .....	164
9.2.7	Ambiente fluvial .....	176
9.2.8	Ambiente denudacional.....	181
<b>10.</b>	<b>COBERTURA VEGETAL</b> .....	<b>188</b>
10.1	CLASIFICACIÓN DE LAS IMÁGENES.....	188
10.1.1	Clasificación supervisada.....	188
10.2	ZONAS DE COBERTURA VEGETAL .....	191
10.2.1	Zonas de páramo .....	191
10.2.2	Zona andina .....	192
10.2.3	Zona subandina.....	193
10.2.4	Áreas de Preservación .....	194
10.3	MAPAS DE COBERTURA VEGETAL .....	194
<b>11.</b>	<b>EROSIÓN</b> .....	<b>222</b>
11.1	ÍNDICES DE VEGETACIÓN BASADOS EN LAS PENDIENTES .....	222
11.2	RECLASIFICACIÓN DEL NDVI .....	224
11.3	ANÁLISIS MAPAS DE EROSIÓN.....	225
11.3.1	Erosión gravitacional.....	226
11.3.2	Erosión hídrica.....	228
11.3.3	Erosión antrópica .....	232
<b>12.</b>	<b>ANÁLISIS DEL CAUCE DEL RÍO</b> .....	<b>234</b>
12.1	CORRECCIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS .....	234
12.2	GEOREFERENCIACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS .....	234
12.3	DIGITALIZACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS .....	235
12.4	ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....	236
12.4.1	Análisis del municipio de Yopal.....	237
12.4.2	Análisis del municipio de Labranzagrande .....	247
<b>13.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>252</b>
<b>14.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>254</b>
<b>15.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>255</b>

## LISTA DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Resolución espacial. ....	27
<b>Imagen 2.</b> Resolución radiométrica. ....	28
<b>Imagen 3.</b> Imagen satelital, Google Earth Pro. ....	30
<b>Imagen 4.</b> Clasificación no supervisada. ....	38
<b>Imagen 5.</b> Localización geográfica zona de estudio. ....	53
<b>Imagen 6.</b> Vías de acceso zona de estudio. ....	54
<b>Imagen 7.</b> Perfil del relieve a partir del DEM 12.5, corte A - A'. ....	55
<b>Imagen 8.</b> Índice de planchas zona de estudio, escala 1:100.000 y 1:25.000. ....	56
<b>Imagen 9.</b> Topografía de la zona de estudio. ....	57
<b>Imagen 10.</b> Mosaico de imágenes Landsat 5 de los años 2004, 2007, 2012. ....	61
<b>Imagen 11.</b> Mosaico de imágenes Rapideye de los años 2010 y 2012. ....	62
<b>Imagen 12.</b> Mosaico de imágenes Spot de los años 2003, 2005, 2006, 2007 y 2008. ....	62
<b>Imagen 13.</b> Earth Explorer, United States Geological Survey (USGS). ....	69
<b>Imagen 14.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Composite Bands. ....	70
<b>Imagen 15.</b> Combinación RGB-321. ....	71
<b>Imagen 16.</b> Combinación RGB-432. ....	71
<b>Imagen 17.</b> Combinación RGB-247. ....	71
<b>Imagen 18.</b> Combinación RGB-453. ....	71
<b>Imagen 19.</b> Combinación RGB-543. ....	71
<b>Imagen 20.</b> Combinación RGB-357. ....	72
<b>Imagen 21.</b> Combinación RGB-354. ....	72
<b>Imagen 22.</b> Combinación RGB-321. ....	73
<b>Imagen 23.</b> Combinación RGB-432. ....	73
<b>Imagen 24.</b> Combinación RGB-247. ....	73
<b>Imagen 25.</b> Combinación RGB-453. ....	73
<b>Imagen 26.</b> Combinación RGB-543. ....	73
<b>Imagen 27.</b> Combinación RGB-357. ....	74
<b>Imagen 28.</b> Combinación RGB-354. ....	74
<b>Imagen 29.</b> Combinación RGB-321. ....	75
<b>Imagen 30.</b> Combinación RGB-432. ....	75
<b>Imagen 31.</b> Combinación RGB-247. ....	75
<b>Imagen 32.</b> Combinación RGB-453. ....	75
<b>Imagen 33.</b> Combinación RGB-543. ....	75
<b>Imagen 34.</b> Combinación RGB-357. ....	76
<b>Imagen 35.</b> Combinación RGB-354. ....	76
<b>Imagen 36.</b> Combinación RGB-321. ....	77
<b>Imagen 37.</b> Combinación RGB-432. ....	77
<b>Imagen 38.</b> Combinación RGB-247. ....	77
<b>Imagen 39.</b> Combinación RGB-453. ....	77
<b>Imagen 40.</b> Combinación RGB-543. ....	77
<b>Imagen 41.</b> Combinación RGB-357. ....	78
<b>Imagen 42.</b> Combinación RGB-354. ....	78
<b>Imagen 43.</b> Combinación RGB-432. ....	79
<b>Imagen 44.</b> Combinación RGB-543. ....	79
<b>Imagen 45.</b> Combinación RGB-357. ....	79
<b>Imagen 46.</b> Combinación RGB-564. ....	79
<b>Imagen 47.</b> Combinación RGB-654. ....	79
<b>Imagen 48.</b> Combinación RGB-464. ....	80
<b>Imagen 49.</b> Combinación RGB-465. ....	80
<b>Imagen 50.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Clip. ....	80

<b>Imagen 51.</b> Recorte del área de estudio. ....	81
<b>Imagen 52.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Georeferencing.....	81
<b>Imagen 53.</b> Puntos de control georeferenciación.....	82
<b>Imagen 54.</b> Metadato de imagen satelital Landsat 8 año 2017. ....	82
<b>Imagen 55.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Landsat 8_1.....	84
<b>Imagen 56.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Landsat8_1, radiancia. ....	85
<b>Imagen 57.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Landsat8_1, reflectancia. ....	85
<b>Imagen 58.</b> Imagen de Landsat 7 año 1990, corrección de radiancia y reflectancia.....	86
<b>Imagen 59.</b> Imagen de Landsat 8, año 2017 banda 2, corrección Método de Chávez .....	87
<b>Imagen 60.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta realce de contraste .....	88
<b>Imagen 61.</b> Imagen de Landsat 8, año 2017 banda 2, realce de contraste.....	89
<b>Imagen 62.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta realce de contraste. ....	89
<b>Imagen 63.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Resample. ....	91
<b>Imagen 64.</b> Imagen de Landsat 8 del año 2017, mejora de resolución. ....	91
<b>Imagen 65.</b> Esquema estructural. ....	119
<b>Imagen 66.</b> Esquema Geológico, (Anexo 2). ....	120
<b>Imagen 67.</b> Perfil Geológico, escala 1:100.000, corte A – A´. ....	121
<b>Imagen 68.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Slope. ....	126
<b>Imagen 69.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify. ....	126
<b>Imagen 70.</b> Esquema de Pendientes, (Anexo 3). ....	127
<b>Imagen 71.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Terrain Ruggedness.....	129
<b>Imagen 72.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Raster Calculator.....	130
<b>Imagen 73.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify. ....	130
<b>Imagen 74.</b> Esquema de Rugosidad, (Anexo 4). ....	131
<b>Imagen 75.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Flow Direction.....	134
<b>Imagen 76.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Flow Accumulation. ....	135
<b>Imagen 77.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Raster Calculator.....	135
<b>Imagen 78.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify. ....	136
<b>Imagen 79.</b> Interfaz software ArcGis, clasificación Acuenca. ....	136
<b>Imagen 80.</b> Esquema de Acuenca, (Anexo 5). ....	137
<b>Imagen 81.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Raster Calculator.....	139
<b>Imagen 82.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify. ....	139
<b>Imagen 83.</b> Esquema de Susceptibilidad Morfométrica, (Anexo 6). ....	140
<b>Imagen 84.</b> Compilación de variables morfométricas. ....	141
<b>Imagen 85.</b> Esquema Geomorfológico, (Anexo 7). ....	147
<b>Imagen 86.</b> Subunidades del ambiente estructural. ....	152
<b>Imagen 87.</b> Cerro Estructural. ....	153
<b>Imagen 88.</b> Espolón alto de longitud larga. ....	154
<b>Imagen 89.</b> Lomo de falla. ....	156
<b>Imagen 90.</b> Ladera estructural de sierra anticlinal. ....	158
<b>Imagen 91.</b> Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal. ....	160
<b>Imagen 92.</b> Sierra y lomos de presión.....	162
<b>Imagen 93.</b> Subunidades del ambiente glacial.....	166
<b>Imagen 94.</b> Circo glacial y de nivación.....	167
<b>Imagen 95.</b> Conos glaciofluviales.....	168
<b>Imagen 96.</b> Sierra anticlinal glaciada. ....	171
<b>Imagen 97.</b> Sierra glaciada.....	173
<b>Imagen 98.</b> Subunidades del ambiente fluvial.....	178
<b>Imagen 99.</b> Subunidades del ambiente denudacional. ....	183
<b>Imagen 101.</b> Software ArcGis 10.2.2, fase de entrenamiento. ....	189
<b>Imagen 102.</b> Fase de asignación. ....	190
<b>Imagen 103.</b> Cobertura vegetal del año 1985, (Anexo 8). ....	197
<b>Imagen 104.</b> Cobertura vegetal del año 1990, (Anexo 9). ....	199
<b>Imagen 105.</b> Cobertura vegetal del año 2001, (Anexo 10). ....	201

<b>Imagen 106.</b> Cobertura vegetal del año 2009, (Anexo 11). .....	203
<b>Imagen 107.</b> Cobertura vegetal del año 2017, (Anexo 12). .....	205
<b>Imagen 108.</b> Herramienta Raster Calculator, sumatoria de coberturas. ....	208
<b>Imagen 109.</b> Variación de cobertura vegetal del año 1985 al 1990. ....	210
<b>Imagen 110.</b> Variación de cobertura vegetal del año 1990 al 2001. ....	213
<b>Imagen 111.</b> Variación de cobertura vegetal del año 2001 al 2009. ....	216
<b>Imagen 112.</b> Variación de cobertura vegetal del año 2009 al 2017. ....	219
<b>Imagen 113.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Raster Calculator. ....	223
<b>Imagen 114.</b> NDVI del año 1990. ....	223
<b>Imagen 115.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Identify. ....	224
<b>Imagen 116.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify .....	225
<b>Imagen 117.</b> Erosión por gravitación, mapa de erosión año 2009 vs imágenes Google Earth. ....	226
<b>Imagen 118.</b> Erosión por gravitación, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017. ....	227
<b>Imagen 119.</b> Erosión por gravitación, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017. ....	227
<b>Imagen 120.</b> Erosión fluvial, mapa de erosión año 2009 vs imágenes Google Earth. ....	228
<b>Imagen 121.</b> Erosión fluvial, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017. ....	229
<b>Imagen 122.</b> Erosión fluvial, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017. ....	230
<b>Imagen 123.</b> Erosión por precipitación, mapa de erosión año 2009 vs imágenes Google Earth ..	231
<b>Imagen 124.</b> Erosión antrópica, mapa de erosión año 2009 vs imágenes Google Earth. ....	232
<b>Imagen 126.</b> Erosión antrópica, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017. ....	233
<b>Imagen 127.</b> Fotografía aérea corregida del año 2004. ....	234
<b>Imagen 128.</b> Interfaz software ArcGis, herramienta Georeferencing. ....	235
<b>Imagen 129.</b> Selección de puntos de control, fotografía aérea del año 2004. ....	235
<b>Imagen 130.</b> Polígonos digitalizados, imagen del año 2016. ....	236
<b>Imagen 131.</b> Medición herramienta Measure, Imagen 2016. ....	237
<b>Imagen 132.</b> Medición herramienta Regla, Imagen del año 2016. ....	237
<b>Imagen 133.</b> Fotografía aérea del IGAC N° 198 del vuelo B-105, año 1937. ....	238
<b>Imagen 134.</b> Fotografía aérea del IGAC N° 363 del vuelo S-355, año 1958. ....	239
<b>Imagen 135.</b> Fotografía aérea del IGAC N° 043 del vuelo C-2489, año 1992. ....	240
<b>Imagen 136.</b> Fotografía aérea del IGAC N° 145 del vuelo C-2710, año 2004. ....	241
<b>Imagen 137.</b> Imagen satelital Landsat 8 del año 2016. ....	242
<b>Imagen 138.</b> Comparación de los años 1937, 1958, 1992, 2004, 2016. ....	243
<b>Imagen 139.</b> Viviendas margen derecho del río Cravo Sur. ....	244
<b>Imagen 140.</b> Comparación de los años 1937, 1958, 1992, 2004, 2016. ....	245
<b>Imagen 141.</b> Vía que conduce de Yopal – Paz de Ariporo. ....	245
<b>Imagen 142.</b> Comparación de los años 1937, 1958, 1992, 2004, 2016. ....	246
<b>Imagen 143.</b> Obras de contención río Cravo Sur, Años 2011, 2013, 2016. ....	246
<b>Imagen 144.</b> Comparación del centro urbano, entre los años 1985 y 2015. ....	247
<b>Imagen 145.</b> Comparación del abanico aluvial, entre los años 1985 y 2015. ....	248
<b>Imagen 146.</b> Comparación del cauce del río, entre los años 1985 y 2015. ....	249
<b>Imagen 147.</b> Centro urbano de Labranzagrande, entre los años 1985 y 2015. ....	250
<b>Imagen 148.</b> Comparación del cauce del río, entre los años 1985 y 2015. ....	251



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Unidades de Coberturas de La Tierra Para La Leyenda Nacional, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. ....	40
<b>Tabla 2.</b> Insumos.....	43
<b>Tabla 3.</b> Insumos.....	48
<b>Tabla 4.</b> Insumos municipio de Yopal.....	50
<b>Tabla 5.</b> Insumos municipio de Labranzagrande.....	50
<b>Tabla 6.</b> Coordenadas planas origen Magna-Colombia-Bogotá .....	52
<b>Tabla 7.</b> Planchas cartográficas a escala 1:100.000.....	55
<b>Tabla 8.</b> Planchas cartográficas a escala 1:25.000.....	56
<b>Tabla 9.</b> Estaciones meteorológicas.....	58
<b>Tabla 10.</b> Metadato imagen satelital Landsat, año 1985.....	64
<b>Tabla 11.</b> Metadato imagen satelital Landsat, año 1990.....	65
<b>Tabla 12.</b> Metadato imagen satelital Landsat, año 2001.....	66
<b>Tabla 13.</b> Metadato imagen satelital Landsat, año 2009.....	67
<b>Tabla 14.</b> Metadato imagen satelital Landsat, año 2017.....	68
<b>Tabla 15.</b> Composición de bandas año 1985.....	70
<b>Tabla 16.</b> Resultados composiciones de bandas año 1985.....	71
<b>Tabla 17.</b> Composición de bandas año 1990.....	72
<b>Tabla 18.</b> Resultados composiciones de bandas año 1990.....	73
<b>Tabla 19.</b> Composición de bandas año 2001.....	74
<b>Tabla 20.</b> Resultados composiciones de bandas año 2001.....	75
<b>Tabla 21.</b> Composición de bandas año 2009.....	76
<b>Tabla 22.</b> Resultados composiciones de bandas Año 2009.....	77
<b>Tabla 23.</b> Composición de bandas año 2017.....	78
<b>Tabla 24.</b> Resultados Composiciones de bandas año 2017.....	79
<b>Tabla 25.</b> Planchas geológicas a escala 1:100.000.....	92
<b>Tabla 26.</b> Porcentaje de área de las formaciones geológicas.....	122
<b>Tabla 27.</b> Calificación por susceptibilidad de la pendiente, tomado INGEOMINAS 2011.....	128
<b>Tabla 28.</b> Calificación por susceptibilidad de la rugosidad.....	132
<b>Tabla 29.</b> Calificación por susceptibilidad del atributo Acuenca.....	138
<b>Tabla 30.</b> Calificación por susceptibilidad morfométrica.....	141
<b>Tabla 31.</b> Ambientes morfogenéticos por áreas.....	148

<b>Tabla 32.</b> Subunidades morfogenéticas. ....	149
<b>Tabla 33.</b> Subunidades ambiente estructural. ....	151
<b>Tabla 34.</b> Subunidades ambiente glacial. ....	165
<b>Tabla 35.</b> Subunidades ambiente fluvial. ....	176
<b>Tabla 36.</b> Subunidades ambiente denudacional. ....	182
<b>Tabla 37.</b> Clasificación de cobertura vegetal del área de estudio. ....	195
<b>Tabla 38.</b> Unidades de cobertura vegetal, año 1985. ....	196
<b>Tabla 39.</b> Unidades de cobertura vegetal, año 1990. ....	198
<b>Tabla 40.</b> Unidades de cobertura vegetal, año 2001. ....	200
<b>Tabla 41.</b> Unidades de cobertura vegetal, año 2009. ....	202
<b>Tabla 42.</b> Unidades de cobertura vegetal, año 2017. ....	204
<b>Tabla 43.</b> Categorías de cobertura vegetal. ....	206
<b>Tabla 44.</b> Matriz transicional de cambio de cobertura vegetal, año 1985 vs 1990. ....	207
<b>Tabla 45.</b> Resultados posibles de la matriz transicional de cambio de cobertura vegetal. ....	207
<b>Tabla 46.</b> Cambios de cobertura vegetal del año 1985 al 1990. ....	209
<b>Tabla 47.</b> Variación de cobertura vegetal del año 1985 al 1990. ....	211
<b>Tabla 48.</b> Cambios de cobertura vegetal del año 1990 al 2001. ....	212
<b>Tabla 49.</b> Variación de cobertura vegetal del año 1990 al 2001. ....	214
<b>Tabla 50.</b> Cambios de cobertura vegetal del año 2001 al 2009. ....	215
<b>Tabla 51.</b> Variación de cobertura vegetal del año 2001 al 2009. ....	217
<b>Tabla 52.</b> Cambios de cobertura vegetal del año 2009 al 2017. ....	218
<b>Tabla 53.</b> Variación de cobertura vegetal del año 2009 al 2017. ....	220
<b>Tabla 54.</b> Valores máximos y mínimos de los índices resultantes. ....	223
<b>Tabla 55.</b> Clasificación de intensidad de la erosión. ....	225



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Espectro electromagnético. ....	21
<b>Figura 2.</b> Signatura espectral. ....	23
<b>Figura 3.</b> Transmisión, dispersión, reflexión y absorción de fotones. ....	25
<b>Figura 4.</b> Sensores pasivos y sensores activos. ....	26
<b>Figura 5.</b> Resolución espectral de una imagen adquirida por sensores remotos. ....	27
<b>Figura 6.</b> Resolución temporal. ....	28
<b>Figura 7.</b> Modelo para generar información sobre erosión del suelo. ....	41
<b>Figura 8.</b> Catálogo de objetos cartográfico. ....	45
<b>Figura 9.</b> Catálogo de objetos cartografía geológica. ....	47
<b>Figura 10.</b> Diagrama de la metodología de la investigación. ....	51
<b>Figura 11.</b> Estadística de precipitación mensual-multianual. ....	58
<b>Figura 12.</b> Distribución porcentaje de humedad relativa mensual-multianual. ....	59
<b>Figura 13.</b> Distribución temperatura mensual-multianual. ....	60
<b>Figura 14.</b> Fórmula para el cálculo de la radiancia. ....	84
<b>Figura 15.</b> Mejora de resolución. ....	90
<b>Figura 16.</b> Mejora de resolución. ....	90
<b>Figura 17.</b> Representación gráfica del porcentaje de área ocupada en la zona de estudio. ....	123
<b>Figura 18.</b> Diagrama de atributos dentro de la variable morfometría. ....	125
<b>Figura 19.</b> Flujograma para la creación de la variable Acuencia. ....	133
<b>Figura 20.</b> Fórmula para el cálculo de la morfometría. ....	138
<b>Figura 21.</b> Esquema de jerarquización geomorfológica. ....	144
<b>Figura 22.</b> Distribución porcentual ambientes morfogenéticos. ....	148
<b>Figura 23.</b> Distribución porcentual ambientes morfogenéticos. ....	151
<b>Figura 24.</b> Sierra anticlinal. ....	159
<b>Figura 25.</b> Distribución porcentual ambientes morfogenéticos. ....	165
<b>Figura 26.</b> Distribución porcentual ambientes morfogenéticos. ....	177
<b>Figura 27.</b> Distribución porcentual ambientes morfogenéticos. ....	182
<b>Figura 28.</b> Lomeríos muy disectados. ....	186
<b>Figura 29.</b> Loma residual. ....	187
<b>Figura 30.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	196
<b>Figura 31.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	198
<b>Figura 32.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	200
<b>Figura 33.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	202
<b>Figura 34.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	204
<b>Figura 35.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	211
<b>Figura 36.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	214
<b>Figura 37.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	217
<b>Figura 38.</b> Distribución porcentual de cobertura vegetal. ....	220
<b>Figura 39.</b> Tendencia de cambio multitemporal. ....	221
<b>Figura 40.</b> Variación de la cobertura vegetal multitemporal. ....	221
<b>Figura 41.</b> Fórmula para el cálculo del NDVI. ....	222

## ANEXOS

- Anexo 1. Mapa Base Topográfica
- Anexo 2. Mapa Geológico
- Anexo 3. Mapa de Pendientes
- Anexo 4. Mapa de Rugosidad
- Anexo 5. Mapa de Acuenca
- Anexo 6. Mapa de Susceptibilidad Morfométrica
- Anexo 7. Mapa Geomorfológico
- Anexo 8. Mapa de Cobertura Vegetal del año 1985
- Anexo 9. Mapa de Cobertura Vegetal del año 1990
- Anexo 10. Mapa de Cobertura Vegetal del año 2001
- Anexo 11. Mapa de Cobertura Vegetal del año 2009
- Anexo 12. Mapa de Cobertura Vegetal del año 2017
- Anexo 13. Mapa de Erosión del año 1985
- Anexo 14. Mapa de Erosión del año 1990
- Anexo 15. Mapa de Erosión del año 2001
- Anexo 16. Mapa de Erosión del año 2009
- Anexo 17. Mapa de Erosión del año 2017

## RESUMEN

El análisis de los cambios a lo largo del tiempo y las tendencias de los diferentes tipos de coberturas, zonas de erosión y el cauce principal, permiten relacionar la localización de estos y las variables que influyen en la distribución espacial de los cambios. Con base en esta información, se pueden identificar las áreas más propensas a variar en el paisaje.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron herramientas SIG y de teledetección como Imágenes producidas por sensores remotos (imágenes satelitales y fotografías aéreas). Se realizaron correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas a las imágenes Landsat utilizadas para el análisis multitemporal, mediante los softwares Idrisi Selva y ArcGis 10.2.2, las cuales al ser procesadas permiten identificar y comparar el estado de la cobertura vegetal, las zonas de erosión y dirección del cauce principal del río Cravo Sur.

La cobertura vegetal se realizó con base a la metodología internacional Corine Land cover adaptada para Colombia con un nivel de detalle a escala 1:100,000, la cual posteriormente fue analizada estadísticamente con el objetivo de determinar las tendencias de cambio a lo largo del tiempo. Para identificar las zonas de erosión se utilizó el método de índices de vegetación basado en las pendientes, mediante el cual se hallaron los diferentes tipos de erosión de suelo que se han presentado a lo largo de la cuenca. Finalmente el análisis del cauce principal del río Cravo Sur se realizó en los municipios de Labranzagrande y Yopal, donde por medio de fotointerpretación se identificó el cambio en la dirección del cauce, además de su relación con el crecimiento de los centros urbanos y el desarrollo de los abanicos de tipo aluvial.

**PALABRAS CLAVES:** Multitemporal, Cobertura vegetal, Zonas de erosión, Cauce principal, Herramientas SIG.

## ABSTRACT

The analysis of the changes over time and the trends of the different types of cover, erosion zones and the main channel, allow us to relate the location of these and the variables that influence the spatial distribution of the changes. Based on this information, the area's most likely to vary in the landscape can be identified.

GIS and remote sensing tools such as Remote Sensing Images (Satellite Images and Aerial Photographs) were used to develop this work. Geometric, radiometric and atmospheric corrections were made to the Landsat images used for multitemporal analysis, using Idrisi Selva and ArcGis 10.2.2 software, which, when processed, allow the identification and comparison of the state of the vegetation coverage, the erosion zones and the direction of the main course of the Cravo Sur River.

The vegetation coverage was made based on the international methodology Corine Land cover adapted with a level of detail at a scale of 1:100,000, which was later analyzed statistically with the aim of determining the trends of change over time. To identify erosion zones, the slope-based vegetation index method was used to identify the different types of soil erosion that have occurred throughout the basin. Finally, the analysis of the main course of the Cravo Sur River was carried out in the municipalities of Labranzagrande and Yopal, where the change in the direction of the course was identified by means of photo-interpretation, in addition to its relationship with the growth of urban centers and the development of alluvial fans.

**KEY WORDS:** Multitemporal, vegetation coverage, Erosion zones, Main channel, GIS tools.

## 1. INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica se define como una unidad espacial de análisis y de gestión, en donde el agua interactúa con los demás recursos naturales renovables, elementos ambientales y/o ecosistemas estratégicos que la integran, así como los elementos antrópicos que influyen positiva o negativamente en la misma y los actores clave (autoridades ambientales, usuarios, entes territoriales y demás entidades tanto públicas como privadas que actúan en la cuenca).

El presente trabajo tiene como objetivo realizar el análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal, zonas de erosión y dirección del cauce, que ha tenido la cuenca del río Cravo Sur comprendida desde el departamento de Boyacá en el municipio de Socha hasta el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, entre los años 1985, 1990, 2001, 2009 y 2017. Para esto se realizó un procesamiento de las imágenes Landsat, buscando optimizar y mejorar la calidad visual, que permitan resaltar características y diferenciar rasgos del área. La cobertura vegetal se realizó mediante una clasificación supervisada identificando los diferentes tipos de coberturas que se presentan en el área de estudio con base en la metodología Corine Land Cover, para posteriormente cuantificar las coberturas que mayores cambios han sufrido a lo largo del tiempo. El parámetro de erosión se logró mediante el NDVI, por medio del cual se pudo analizar los diferentes tipos de erosión y sus cambios en los diferentes años. Por último, los cambios del cauce del río se obtuvieron realizando fotointerpretación.

Las variaciones de la cobertura vegetal y la erosión, son un indicador de las tendencias en los cambios relacionados con agentes climáticos, agricultura, ganadería, expansión urbana, entre otros. Por lo tanto, es importante en el ámbito ambiental y de la planificación del territorio entender su dinámica, para de esta manera facilitar la toma de decisiones enfocadas a un desarrollo sostenible del territorio.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis multitemporal de los años 1985, 1990, 2001, 2009 y 2017, para la cuenca del río Cravo Sur desde el municipio de Socha en el departamento de Boyacá hasta el municipio de Yopal en el departamento de Casanare, con el fin de identificar los principales cambios en la cobertura vegetal, zonas de erosión y cauce del río a escala 1:100.000.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el pre-procesamiento de las imágenes satelitales Landsat.
- Evaluar multitemporalmente con base a imágenes satelitales las condiciones de cobertura vegetal utilizando la metodología Corine Land Cover.
- Identificar las principales zonas afectadas por el fenómeno de erosión y determinar su variabilidad en el tiempo.
- Identificar los cambios multitemporalmente del cauce del río Cravo Sur a lo largo de la cuenca.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos años la cuenca del río Cravo Sur ha presentado una diversidad de cambios, estos han influido en la modificación de su morfometría provocando un modelado de la cuenca y redireccionamiento del curso del río, en un proceso de construcción y destrucción geomorfológica.

Reiterativamente en los últimos años se han presentado inundaciones y otros fenómenos asociados a las altas precipitaciones en los periodos de invierno. En sectores específicos del Río Cravo Sur el cauce principal ha generado daños en el ecosistema, cultivos, pastos, infraestructura vial, viviendas y pérdidas de vidas humanas. El caso más reciente ocurrió en los meses de abril y mayo del año 2017, el río aumento considerablemente su caudal y genero socavación en la vía que conduce de Labranzagrande a Yopal, haciendo necesario declarar su cierre total, vulnerando el casco urbano del municipio de Labranzagrande y alertando los habitantes de Yopal por el crecimiento del nivel del cauce principal que amenaza las urbanizaciones ubicadas en la margen derecha del río.

#### **3.1 JUSTIFICACIÓN**

Teniendo como referencia los eventos ocurridos además del importante crecimiento poblacional, es necesario analizar la dinámica espacial y temporal de la cuenca. Se evaluaron los parámetros de cobertura vegetal, zonas de erosión y cambios en el cauce del río, con el fin de identificar las tendencias y su variabilidad a lo largo del tiempo.

El análisis de la cuenca para los diferentes años, permitirá un mejor entendimiento del comportamiento de los fenómenos que presenta actualmente en la cuenca así como visualizar su evolución en los periodos de estudio. Los resultados obtenidos son los insumos principales para evaluar algún tipo de riesgo en la cuenca, además de su importancia a la hora de implementar alguna acción de mitigación.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 TELEDETECCIÓN

“La teledetección o percepción remota es la ciencia y el arte de obtener información acerca de un objeto, área, o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación”<sup>1</sup>. Esto es posible a la interacción entre el sensor y la superficie del terreno, la cual se denomina radiación electromagnética, constituida por la emisión, absorción, reflexión y dispersión, de energía térmica y conductividad espectral propia de cada elemento de la naturaleza. El efecto de la atmosfera está restringido por factores como la longitud de onda, condiciones atmosféricas, magnitud de la señal energética y trayectoria de onda.

La radiación electromagnética es representada a partir de longitudes de onda continuas que permiten establecer una serie de bandas, donde el valor y comportamiento de las ondas son similares, lo que se denomina como espectro electromagnético, estos valores espectrales pueden ser relacionados con características superficiales de los cuerpos permitiendo una identificación, caracterización y clasificación de los objetos encontrados en la imagen<sup>2</sup>.

---

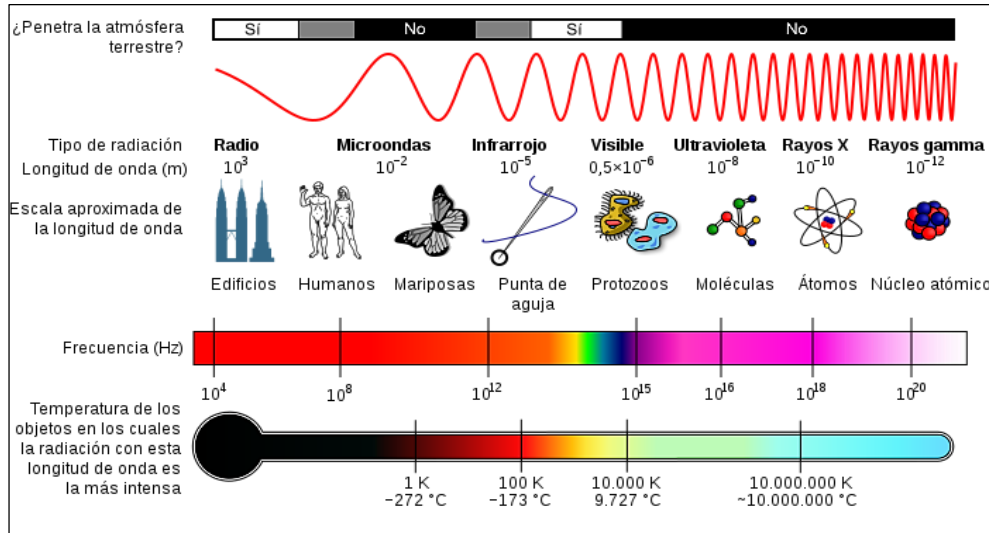
<sup>1</sup> Lillesand et al., 2004.

Citado por: NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA ALTO RÍO CAUCA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT. Trabajo de grado, Universidad de Manizales, Manizales., p 15.

<sup>2</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA ALTO RÍO CAUCA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT. Trabajo de grado, Universidad de Manizales, Manizales, p 15.



Figura 1. Espectro electromagnético.



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_electromagn%C3%A9tico#/media/File:EM\\_Spectrum\\_Properties\\_es.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico#/media/File:EM_Spectrum_Properties_es.svg).

#### 4.1.1 Naturaleza de la radiación

Según Jensen 1996<sup>3</sup>, El flujo de energía entre el objeto y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética, que es la forma en que se transfiere la energía en los sistemas de teledetección.

La radiación electromagnética es una forma de energía que se propaga mediante ondas que se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz.

- **Campo eléctrico:** “Este determina la dirección de la radiación que está incidiendo ya que viaja en dirección perpendicular a ella teniendo también una magnitud variante”<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Jensen 1996

Citado por: NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA ALTO RÍO CAUCA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT. Trabajo de grado, Universidad de Manizales, Manizales, p 16.

<sup>4</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 17.

- **Campo magnético:** “Este campo está orientado a los ángulos rectos al campo eléctrico, es decir es transversal y señala siempre el sentido de la propagación”<sup>5</sup>.

El conjunto de todas las longitudes de onda se les denomina espectro electromagnético.

Los rayos gamma y rayos X (cuyas longitudes de onda son normalmente medidas en ángstrom [Å]). La Radiación en el ultravioleta se extiende de aproximadamente 300 Å a aproximadamente 4000 Å. Es conveniente medir las regiones medias del espectro en una de dos unidades: micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) que son múltiplos de  $10^{-6}$  m o nanómetros (nm) basado en  $10^{-9}$  m. La región visible ocupa el rango entre 0.4 y 0.7  $\mu\text{m}$ , micrómetros. La región infrarroja, abarca entre 0.7 y 1000  $\mu\text{m}$ , tiene cuatro subintervalos de interés especial: (1) IR reflejado (0.7 - 3.0  $\mu\text{m}$ ), (2) el IR fotográfico (0.7 - 0.9  $\mu\text{m}$ ); (3) y (4) las bandas termales a (3 - 5  $\mu\text{m}$ ) y (8 - 14  $\mu\text{m}$ ). Nosotros medimos los intervalos de longitud de onda más largos en unidades que van de mm, cm y metros. La región de las microondas se extiende a través de 0.1 a 100 centímetros que incluye todo el intervalo usado por los sistemas del radar. Estos sistemas generan su propia radiación activa y la dirigen hacia los blancos de interés. La región de longitud de onda más baja y más larga frecuencia más allá de 100 centímetros son las bandas de radio, de VHF (muy alta frecuencia) a ELF (extremadamente baja frecuencia). Dentro de cualquier región, una colección de longitudes de onda continuas puede ser particionadas en intervalos discretos llamados bandas<sup>6</sup>.

---

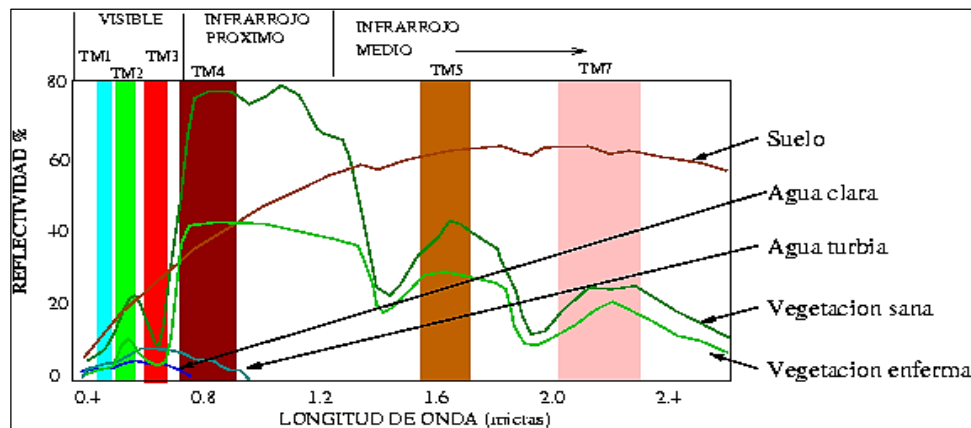
<sup>5</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 17.

<sup>6</sup> Short, N. M. (1999). Introduction Technical and Historical Perspectives of Remote Sensing, RST. Código 935 NASA GSFC, GST, Academia de la Fuerza Aérea de EE. UU. Part 2-3-4., 4 p.

#### 4.1.2 Interacción de los elementos de la superficie terrestre con la radiación

La incidencia de la radiación sobre un objeto de la superficie terrestre permite analizar su comportamiento respecto a las diferentes longitudes de onda, de acuerdo a la naturaleza del elemento ya sea vegetación, suelo, agua, roca superficial, entre otros. Cada uno reflejara de forma diferente la radiación incidente, lo que permitirá caracterizarlo midiendo la radiación reflejada.

**Figura 2.** Signatura espectral.



Fuente. [http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node70\\_ct.html](http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node70_ct.html).

#### 4.1.3 Interacción atmosfera - radiación electromagnética

“Algunos objetos son capaces de transmitir la luz que los atraviesa sin una disminución significativa. Otros materiales causan que la energía luminosa sea absorbida (y en parte emitida como radiación de longitud de onda más larga). O, la luz puede reflejarse en el mismo ángulo en el que él se aproximó. Más comúnmente la naturaleza de la superficie del objeto (debida a la aspereza microscópica) causa que este sea dispersado en todas las direcciones”<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Short, N. M. (1999). SisingPart 2-3-4., Op cit., 7 p.

La radiación electromagnética proveniente del sol es obstruida por la atmosfera la cual interfiere en su dirección, magnitud y velocidad. Los principales efectos de la atmósfera terrestre sobre la radiación incidente son:

- **Absorción:** “Al atravesar la radiación un medio líquido, gaseoso o solido tiene probabilidad de tener pérdidas en ciertas frecuencias ya que estas se ven disminuidas o eliminadas cuando la energía electromagnética se transfiere a los átomos, iones o moléculas del medio”<sup>8</sup>.
  
- **Dispersión:** “Proceso en un cual la onda ve afectada su dirección de propagación teniendo un re direccionamiento causado por la interacción entre la radiación electromagnética incidente y las partículas o gases que se encuentran en la atmosfera que al colisionar ocasiona una reflexión de la onda disminuyendo la radiancia que es recibida directamente y aumentando la radiancia difusa. Existen tres tipos de dispersión, la dispersión de Rayleigh se produce en el tope de la atmosfera entre los 9 y 10 kilómetros y es la causante del color azul del cielo, ocurre cuando la longitud de onda es menor al tamaño de los objetos que causan la interferencia, así que afecta en su mayoría a las longitudes de onda más cortas; la dispersión de Mie se presenta en la parte baja atmosfera entre los 0 y 5 kilómetros, ocurre cuando la longitud de onda es del mismo tamaño que los objetos interferentes, afectando a todas las longitudes de onda del espectro visible; y la dispersión no selectiva que es producida por gotas de agua que se encuentran en la atmosfera en la niebla o nubes, ocurre cuando la cuando la longitud de onda es mucho menor que los objetos de interferencia”<sup>9</sup>.

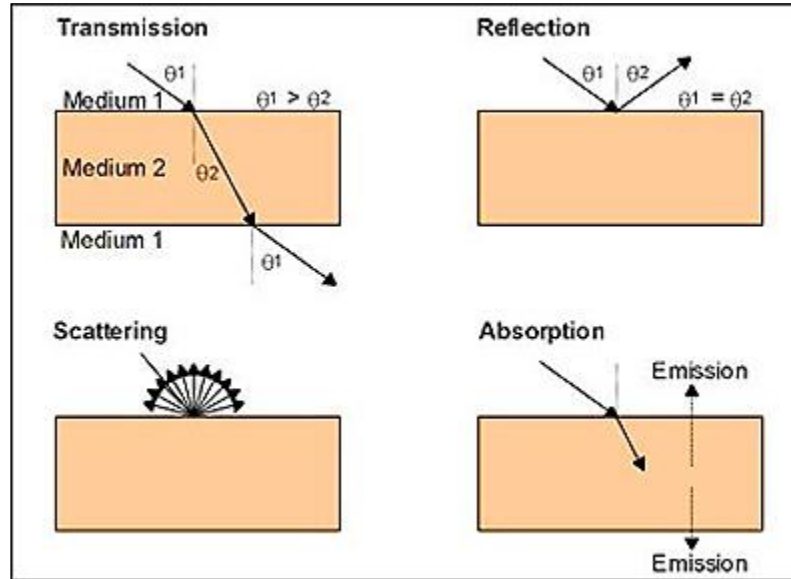
---

<sup>8</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 17.

<sup>9</sup> Ibid., p 18.

- **Emisión:** “Es el aporte de radiación proveniente de un cuerpo que posee una temperatura mayor a  $-273\text{ }^{\circ}\text{K}$ , que afecta los valores de radiación obtenidos por el sensor de la superficie especialmente en la banda del infrarrojo térmico y pueden inducir errores”<sup>10</sup>.

**Figura 3.** Transmisión, dispersión, reflexión y absorción de fotones.



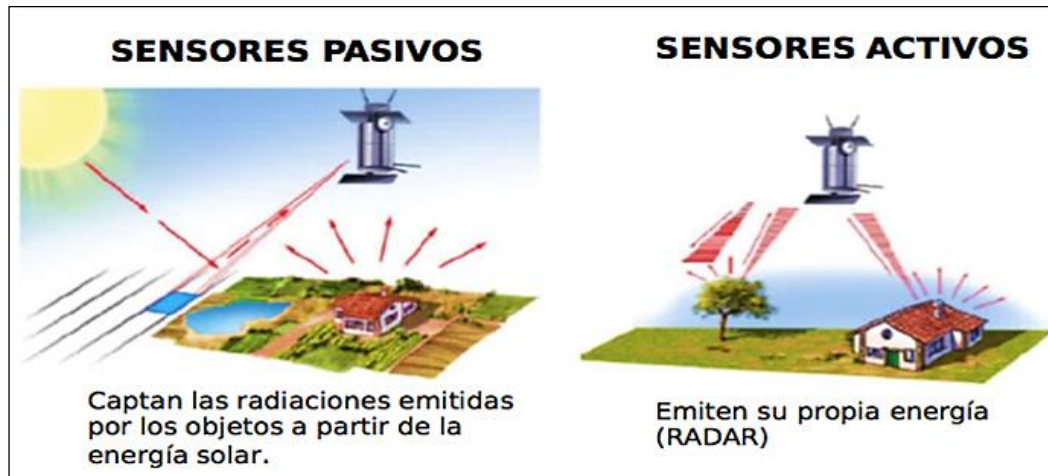
**Fuente.** [https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Transmision-Dispersion-Reflexion-y-Absorcion-de-fotones\\_fig6\\_23805191](https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Transmision-Dispersion-Reflexion-y-Absorcion-de-fotones_fig6_23805191).

## 4.2 SENSORES REMOTOS

Los sensores tienen la capacidad de obtener información sobre cobertura vegetal, datos meteorológicos y oceanográficos, dispuestos ya sea en aeronaves o en satélites. Existen dos sistemas de detección clasificados respecto a si la energía reflejada en la superficie terrestre es procedente de una fuente natural o si ha sido generada por el mismo sensor, estos se denominan sensores pasivos y activos respectivamente.

<sup>10</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 18.

**Figura 4.** Sensores pasivos y sensores activos.



Fuente. <http://cartografiatematicaequipo2.blogspot.com.co/p/eficacia-sde-los-mapas.html>.

#### 4.2.1 Resoluciones de un sensor

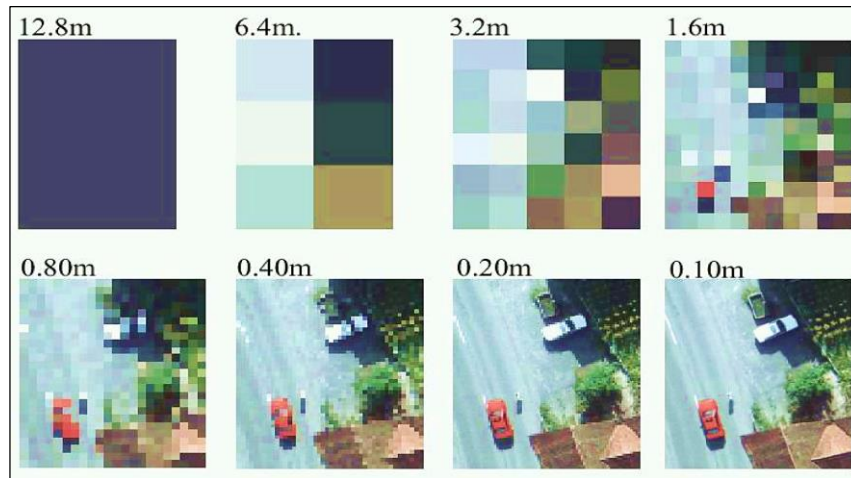
La resolución es la capacidad que tiene el sensor para captar información a detalle.

##### 4.2.1.1 Resolución espacial

Cuantifica el detalle de una imagen en pixeles, a menor tamaño de pixel se incrementa la posibilidad de identificar con mayor resolución un objeto, “esto depende de la altura del sensor en órbita, velocidad de exploración o número de detectores. La resolución espacial tiene un papel importante en la interpretación de imágenes por que marca el detalle que se ofrece, también se relaciona con la escala de trabajo y con la fiabilidad de la interpretación”<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> ATENCIA VERGARA, V. A., CONTRERAS CHAVEZ, J. J., & VERGARA HERRERA, D. M. (2008). ESTUDIO MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES CON FINES DE DELIMITACIÓN DEL COMPLEJO BAJO SAN JORGE MARGEN IZQUIERDO (B13) Y DIAGNOSTICO DE ZONAS INTERVENIDAS ENTRÓPICAMENTE. UNIVERSIDAD DE SUCRE, SINCELEJO., p 43.

**Imagen 1. Resolución espacial.**

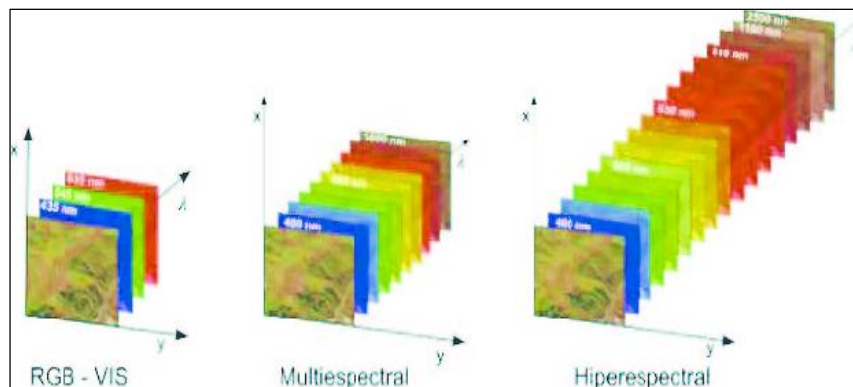


**Fuente.** [http://geoservice.igac.gov.co/contenidos\\_telecentro](http://geoservice.igac.gov.co/contenidos_telecentro).

#### 4.2.1.2 Resolución espectral

“Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Será más útil cuanto mayor número de bandas proporcione. Los sensores de alta resolución espectral permiten recoger información en bandas muy estrechas, dejando aparte suelos y vegetación imperceptibles con sensores convencionales”<sup>12</sup>.

**Figura 5. Resolución espectral de una imagen adquirida por sensores remotos.**



**Fuente.** <https://www.researchgate.net/figure>.

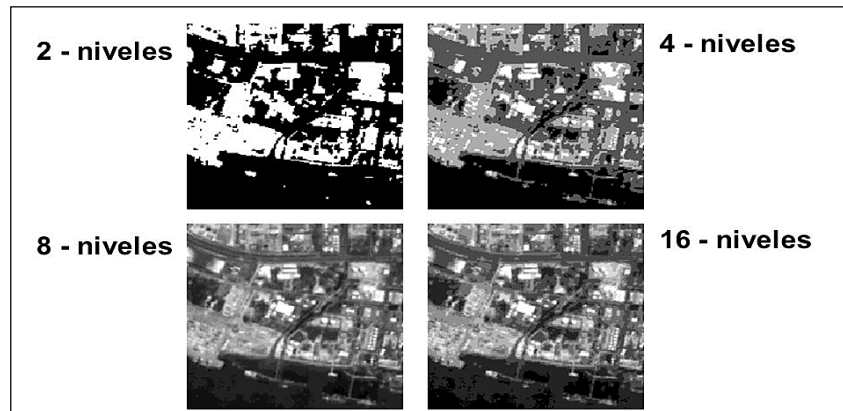
<sup>12</sup> ATENCIA VERGARA, CONTRERAS CHAVEZ, & VERGARA HERRERA, D. (2008). Op cit. p 43.



#### 4.2.1.3 Resolución radiométrica

“Capacidad para detectar variaciones de luz o de radiancia espectral, indicada por los niveles de gris, cuanto mayor es la precisión radiométrica mejor será la interpretación”<sup>13</sup>.

**Imagen 2.** Resolución radiométrica.

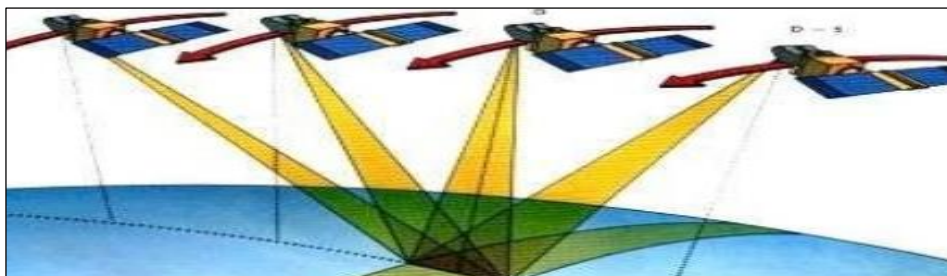


**Fuente.** <http://slideplayer.es/slide/3382500/>.

#### 4.2.1.4 Resolución temporal

Se refiere a la medida del tiempo desde la obtención o revisión de la imagen hasta la siguiente imagen en una misma zona, esto en función del ángulo, altura, inclinación y hora de captura.

**Figura 6.** Resolución temporal.



**Fuente.** <http://slideplayer.es/slide/3382500/>.

<sup>13</sup> ATENCIA VERGARA. CONTRERAS CHAVEZ. & VERGARA HERRERA, D. (2008)., Op cit. p 45.



### 4.3 IMÁGENES LANDSAT

Una imagen satelital es una matriz conformada por unidades mínimas de almacenamiento denominadas píxeles los cuales almacenan un valor numérico ND grabado en código binario. Las imágenes Landsat son el producto del primer programa de satélites de percepción remota para la observación de los recursos terrestres, se encuentran disponibles desde el lanzamiento del primer satélite en 1972 que contenía el sensor Multispectral Scanner (MSS) y han ido evolucionando a medida que eran instaurados nuevos sensores como el Thematic Mapper (TM) desde 1984, el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) desde 1999 y Landsat Data Continuity Mission disponible desde el 2013, los cuales se encuentran en vigencia actualmente. Se encuentran compuestas de una serie de bandas de acuerdo a el sensor, que van desde el espectro visible hasta el infrarrojo medio teniendo resoluciones variadas desde los 15 metros llegando hasta los 100 metros, abarcando cada escena una cobertura de 185 Km<sup>2</sup> y una temporalidad de 16 días. Sus principales aplicaciones se centran en la identificación de las distintas coberturas terrestres, determinación de humedad, clasificación de vegetación, mapeo del suelo o uso de la tierra y como su periodo de revolución es de 16 días se caracterizan por ser una buena alternativa para la realización de estudios multitemporales<sup>14</sup>.

### 4.4 ANÁLISIS VISUAL DE IMÁGENES

El análisis visual permite emplear el criterio con el fin de identificar una cobertura, así se pueden discriminar mejor dos elementos que tengan la misma respuesta espectral, para interpretar los tonos que ofrece la imagen se debe tener presente el comportamiento espectral de las distintas cubiertas de interés.

---

<sup>14</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 19.

Es importante tener en cuenta que el ojo humano solo logra percibir ciertas longitudes de onda separando la energía recibida en tres componentes que son los denominados colores primarios.

Existen diversos criterios a tener en cuenta a la hora de realizar el análisis visual, como las texturas, las sombras, contorno, combinación de bandas, multitemporalidad, situación espacial, el patrón visual, las formas y la visión estereoscópica. A continuación se describen algunos de los más importantes.

#### 4.4.1 Textura

Se refiere a la rugosidad de una zona como se presenta en la imagen 3, también puede definirse como el contraste espacial entre los elementos que la componen. En este sentido se pueden definir tres texturas dentro de una imagen que son:

- **Textura gruesa:** objetos entre 0.25 y 1 mm<sup>2</sup> a la escala de la imagen.
- **Textura media:** objetos entre 0.04 y 0.25 mm<sup>2</sup>.
- **Textura fina:** objetos inferiores a 0.04 mm<sup>2</sup>.

**Imagen 3.** Imagen satelital, Google Earth Pro.



**Fuente.** <http://avax.news/pictures/126922>.

#### 4.4.2 Composición de bandas

Las diferentes cubiertas terrestres poseen bandas que difieren unas de otras, dependiendo de la composición química, debido a esto el procesamiento de las bandas espectrales consiste en el uso de la información que compone la imagen. Una composición puede conseguirse en base a dos procesos denominados aditivo y sustractivo, el primero se da por la suma de dos de los colores entre azul, verde y rojo creando los colores complementarios: cian, magenta y amarillo, mientras sumando los tres da blanco; el segundo proceso es la absorción de luz que ejercen los colores complementarios y la combinación de estos tres dan como resultado el color negro.

De la combinación de las bandas azul, verde y rojo resulta un color natural en la imagen. Una de las combinaciones más destacada es el denominado falso color o infrarrojo color, la cual resulta de gran utilidad para identificar coberturas de interés; también es recomendable utilizar el espectro infrarrojo cercano, pues los lineamientos suelen asociarse con concentraciones de humedad, nítidamente visibles en esta región del espectro.

- **El azul:** Permite establecer relaciones entre vegetación y suelo, delimitar usos agrícolas y zonas de bosque.
- **El verde:** Diferencia los diferentes tipos de vegetación y su vigorosidad, También se utiliza para analizar la calidad del agua.
- **El rojo:** Clasifica diferentes especies vegetales, geológicas y suelos. Esta nos permitirá observar el estado de la vegetación y valorar sus condiciones.
- **El infrarrojo cercano (IRC):** Discrimina la biomasa vegetal y cultivos, los elementos que emitan temperatura, serán reconocidos en esta banda.
- **El infrarrojo medio (SWIR):** Estima el contenido de humedad en las plantas y en los suelos, por lo que podremos observar el estrés hídrico.
- **El infrarrojo térmico:** Estimamos el estrés en vegetación y cultivos.

#### 4.4.3 Análisis multitemporal

Consiste en el seguimiento de información adquirida por un sensor, respecto a la periodicidad del recorrido de los satélites, esto con el fin de planificar el tiempo de adquisición de las imágenes satelitales para el lugar de interés en la fecha que sea más conveniente y que permita una mejor interpretación de la cobertura y/o el fenómeno a estudiar.

- **Composiciones multitemporales:** “Se basan en comparar visualmente los tonos o color que ofrecen dos o más imágenes de distintas fechas”<sup>15</sup>.
- **Diferencia entre imágenes:** “Consiste en una simple resta entre las imágenes de dos fechas, previamente homogenizadas en cuanto a radiometría y geometría, permite discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios en un periodo de tiempo determinado, las zonas estables presentaran un valor cercano a cero, mientras las que hayan experimentado cambio presentan un valor diferente a cero”<sup>16</sup>.
- **Cocientes multitemporales:** Es la diferencia de imágenes con diferentes fechas.
- **Regresión:** Estima valores de una variable de interés a partir de otra que está fuertemente asociada a ella, en función de una relación numérica.
- **Vectores multitemporales:** “Incorpora no solo la importancia, sino también la dirección del cambio entre imágenes. El principio consiste en que si un pixel cambia su cobertura entre dos fechas también modificara su emplazamiento espectral. La magnitud del cambio vendrá dada por la longitud del vector que separa ambos puntos”<sup>17</sup>.

---

<sup>15</sup> Sader y Winne 1992.

Citado por: (2005). Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamiento de cobertura y uso de la tierra. Santafé de Bogotá.

<sup>16</sup> (1996). Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones 1996. Madrid: RIALP S.A., p 567.

<sup>17</sup> Ibid., p 568.

## 4.5 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES

### 4.5.1 Correcciones geométricas

Se utiliza para eliminar los desplazamientos y distorsiones geométricas causadas por la oscilación e inclinación del sensor, la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados con la imagen. Para la evaluación de coberturas es necesaria para garantizar que los cambios observados sean por el cambio del suelo y no por la diferencia de posición de los píxeles.

#### 4.5.1.1 Corrección geométrica del efecto de rotación de la tierra

Esta corrección es utilizada para eliminar el desplazamiento que tiene la imagen producida en el momento de la captura por la rotación de la tierra en sentido oeste-este. Es realizada para reubicar la posición relativa correcta de los píxeles en el terreno moviendo proporcionalmente las líneas de la imagen hacia el oeste, teniendo en cuenta las velocidades del satélite al momento de adquisición y la rotación de la tierra, su efecto es más notorio en los barredores de línea como en el MSS y TM de Landsat<sup>18</sup>.

#### 4.5.1.2 Corrección geométrica del efecto de la curvatura de la tierra

“Se ve reflejado en la producción de un píxel de mayor tamaño en los extremos de las imágenes a causa de la curvatura de la tierra, la inclinación de la órbita del satélite o la misma cobertura espacial de las imágenes”<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 21.

<sup>19</sup> Ibid., p 22.

## 4.5.2 Correcciones radiométrica

Relacionados con la instrumentación se presentan las distorsiones radiométricas en la imagen que alteran los valores de brillo en sus píxeles, para su corrección se realiza la conversión de los valores contenidos en la imagen original que no han sufrido ningún tipo de procesamiento llamados Niveles Digitales (ND) a valores de Reflectancia que son datos captados en el tope de la atmosfera y por lo tanto no han sido afectados por esta<sup>20</sup>.

### 4.5.2.1 Corrección radiométrica del bandeo en sensores de barrido producido por desajustes en el calibrado de los detectores

“Utilizada para eliminar el efecto de bandeo producido por los equipos, a partir del desplazamiento de los histogramas parciales en la imagen para obtener un mismo valor promedio y una desviación típica para toda la banda (k)”<sup>21</sup>.

### 4.5.2.2 Corrección radiométrica de líneas o píxeles perdidos, producido por fallos del sensor o de transmisión de los datos

Utilizada para corregir o predecir Niveles Digitales que no han sido captados correctamente a partir de tres métodos.

- “asignando los valores de píxeles vecinos a la línea inmediatamente anterior o posterior”<sup>22</sup>.
- “asignando el valor promedio de la línea inmediatamente anterior o posterior a la línea defectuosa”<sup>23</sup>.

---

<sup>20</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 21.

<sup>21</sup> Ibid., p 21.

<sup>22</sup> Ibid., p 21.

<sup>23</sup> Ibid., p 21.

- “asignar el ND de una línea que tenga alta correlación con la línea defectuosa y que no presente esos pixeles o líneas perdidas”<sup>24</sup>.

### 4.5.3 Correcciones atmosféricas

Las correcciones utilizadas son los siguientes métodos.

- Basados en la imagen multialturas o método de Chavez.
- Método empírico
- Método basado en modelos de transferencia radiactiva

## 4.6 REALCES Y MEJORAS DE LA IMAGEN

Funciones ejecutadas con el fin de alcanzar las características deseadas y eliminar los elementos que no son de interés, principalmente se emplea el suavizado del contraste con el fin que los niveles digitales se asemejen a los pixeles que los rodean.

Los filtros clasificados en paso bajo que buscan suavizar homogeneizar la imagen para acentuar las zonas donde la frecuencia de cambio es baja, eliminando gran cantidad de ruido y resaltando la información a una determinada escala. Los filtros paso alto cuyo objetivo es acentuar las zonas con más contraste en la imagen, eliminando lo considerado componente medio, esencialmente lo que detectan los filtros de paso bajo.

---

<sup>24</sup> Ibid., p 21.



## 4.7 CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES

Una imagen satelital puede ser definida como una matriz rectangular que contiene un número específico de píxeles los cuales representan un área determinada en el espacio y que contienen información espectral emitida por unas superficies particulares, la clasificación de estos píxeles de acuerdo a sus valores espectrales son utilizados para agrupar o zonificar áreas para delimitar clases temáticas, a partir de lo cual se puede obtener una cartografía temática<sup>25</sup>.

### 4.7.1 Clasificación supervisada

Se compone de varios procesos que buscan asignar una identidad conocida al píxel, se inicia con una fase de entrenamiento donde se distinguen las categorías de acuerdo a sus valores digitales, seguida de una fase de asignación de los píxeles contenidos en la imagen a las categorías definidas, para finalmente tener una comprobación y validación de los resultados. Entre los algoritmos clásicos para realizar la clasificación se encuentran:

#### 4.7.1.1 Clasificación por mínima distancia

“Consiste en la determinación de las medidas mínimas entre cada clase así la asignación de los píxeles se realiza ubicando cada píxel no identificado hacia la clase que tiene la menor distancia hasta los centroides para lo cual puede ser utilizada la distancia euclidiana, es utilizado para determinar la media de las clases seleccionadas como áreas de interés”<sup>26</sup>.

---

<sup>25</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 23.

<sup>26</sup> Ibid., p 24.



#### 4.7.1.2 Clasificación por paralelepípedos

Clasificador que determina los valores máximos y mínimos a partir de la media y desviación estándar de las clases para cada una de las bandas, en él se define un paralelepípedo en un sub-espacio para cada clase y se asigna una sensibilidad respecto a la varianza de las clases. Los límites de cada paralelepípedo son definidos a partir de los píxeles que componen las áreas de entrenamiento así toman valores digitales como máximos y mínimos para cada área, aunque se considera un clasificador fácil y rápido de utilizar, tiene fuentes de error asociadas a la superposición de paralelepípedos que ocasiona la clasificación de un píxel en varias categorías quitando robustez al clasificador<sup>27</sup>.

#### 4.7.1.3 Clasificación por máxima probabilidad-maximum Likelihood

Es un algoritmo paramétrico que a diferencia de los anteriormente estudiados asume alguna distribución estadística para las clases consideradas, en él se tiene en cuenta la diferente probabilidad de que se encuentren determinadas cubiertas en la escena (probabilidad a priori) y permite con ello calcular la probabilidad a posteriori (probabilidad de que se trate de una determinada clase cuando los niveles digitales sean unos concretos) a partir de las verosimilitudes, que son más fáciles de calcular (probabilidad de que los niveles digitales sean unos determinados, para cada clase de la leyenda). Es uno de los clasificadores más empleados en la clasificación supervisada y utiliza un modelo probabilístico, comúnmente la distribución gaussiana para formular sus reglas de decisión en la categorización de los píxeles<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 24.

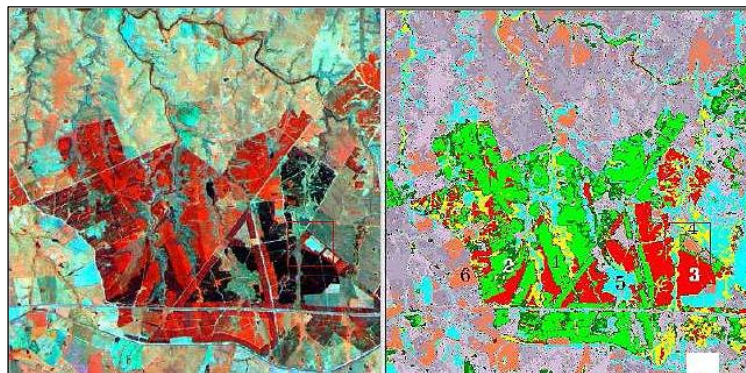
<sup>28</sup> Ibid., p 24.

#### 4.7.2 Clasificación no supervisada

“Metodología para la clasificación en la cual un algoritmo clasificador realiza la categorización a partir de parámetros definidos por el usuario que limitan el número de clases agrupando “clusters” de píxeles que tienen características similares con suficiente separabilidad espectral como para distinguir una categoría de otra”<sup>29</sup>. Igualmente, aunque no sea supervisada se deben tener muy en cuenta los siguientes factores:

- Número máximo de categorías que el algoritmo debe identificar.
- Máximo número de iteraciones, cuando el algoritmo lo alcanza se detiene.
- Número mínimo de píxeles almacenados en una categoría, si este no es alcanzado se elimina la categoría y se re clasifican los píxeles en una categoría alternativa.
- Máxima desviación estándar, ya que al ser excedida esta, si el número de píxeles en una categoría es el doble del mínimo establecido se divide está en dos categorías.
- Valores mínimos para las distancias entre los centros de los cluster, ya que si esta es mínima a lo establecido los clusters se fusionan.

**Imagen 4.** Clasificación no supervisada.



**Fuente.** <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales>.

<sup>29</sup> NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). Op cit., p 25.

#### **4.8 METODOLOGÍA CORINE LAND COVER PARA COLOMBIA**

Es una metodología que categoriza las coberturas de la tierra, fue realizada con el apoyo del Fondo Francés para el Medio Ambiente (FFEM), la Embajada de Francia en Colombia, el Instituto Geográfico Nacional de Francia (ING) y ONF Andina Colombia se adoptó la metodología Corine Land Cover para Colombia (CLC), a partir de la cual se puede clasificar y comparar las características de la cobertura terrestre de manera estandarizada, siendo interpretadas utilizando imágenes gratuitas de resolución media (Landsat) y generando unos mapas de cobertura a escala 1:100.000.

En ella se establecen categorías jerárquicas de conformidad con la información que puede ser adquirida y conforme a las condiciones locales del territorio nacional, a partir de ella, se podrá obtener información sobre la ocupación de la tierra de manera uniforme que facilitara la transferencia de información entre entidades gubernamentales y privadas.

Se desarrolló de acuerdo a varias etapas:

- Adquisición y preparación de la información.
- Análisis y la interpretación de las coberturas.
- Verificación de campo.
- Control de calidad
- Generación de la capa temática a escala 1:100.000, según primera leyenda adaptada y con mayores niveles para la publicada por IDEAM (2010).

**Tabla 1. Unidades de Coberturas de La Tierra Para La Leyenda Nacional, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.**

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
<b>2. TERRESTRES AGRI-CULTIVAS</b>	3.2.1.1. Herbazal denso
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arboles
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortícolas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tuberosas	3.2.1.1.2.4. Helénfil
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.2. Café	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.4. Tabaco	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.5. Papaia	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.2.1.6. Amapola	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Aforecimientos rocosos
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.2. Café	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.3. Caucho	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.4. Viteños	<b>4. ÁREAS HÚMEDAS</b>
2.2.2.5. Uña	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.2. Turberas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.3. Citricos	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.3.4. Mango	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.2. Saltral
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3. Pastos	<b>5. AGUAS Y SUELOS</b>
2.3.1. Pastos limpios	5.1. Aguas continentales
2.3.2. Pastos arbolados	5.1.1. Río (50 m)
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.2. Lagunas, legos y ciénagas naturales
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.1.3. Ciénagas
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.2. Aguas marítimas
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.3. Estanques para acuicultura marinas

**Fuente.** Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000.

## 4.9 EROSIÓN DE SUELOS

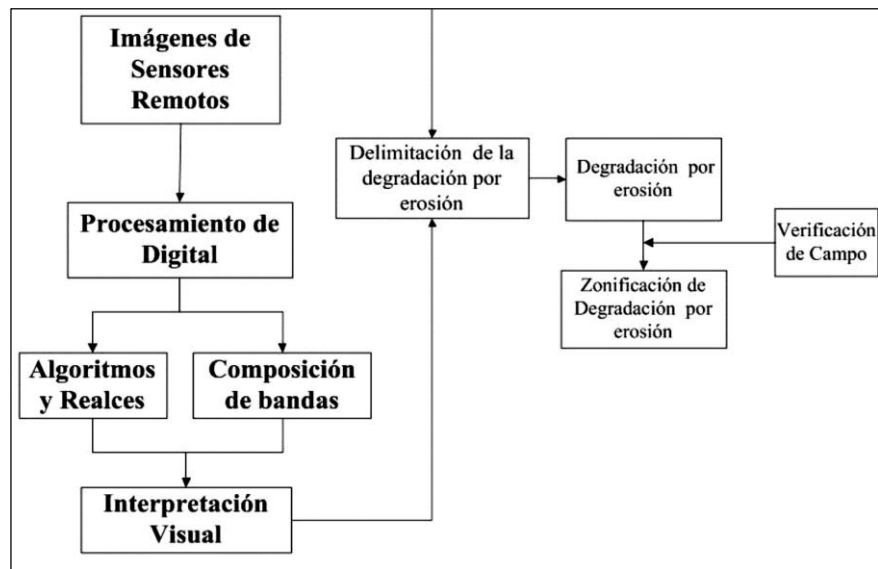
Según el IDEAM 2004<sup>30</sup>, La degradación de los suelos se refiere a la disminución o alteración negativa de una o varias de las ofertas de bienes, servicios y/o funciones ecosistémicos y ambientales de los suelos, ocasionada por factores y procesos naturales o antrópicos que, en casos críticos, pueden originar la pérdida o la destrucción total del componente ambiental.

<sup>30</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (s.f.). SIAC. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/erosion>.

La erosión de los suelos se define como la pérdida físico-mecánica del suelo, con afectación en sus funciones y servicios ecosistémicos, que produce, entre otras, la reducción de la capacidad productiva de los mismos (Lal, 2001)<sup>31</sup>. La erosión es un proceso natural; sin embargo, esta se califica como degradación cuando se presentan actividades antrópicas no sostenibles que aceleran, intensifican y magnifican el proceso.

Para el análisis de la erosión existe el protocolo de degradación de suelos y tierras por erosión, es un documento que incluye los procedimientos detallados que explican cómo recolectar, manejar, analizar y reportar datos, que garanticen el monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos por erosión. El protocolo aborda las etapas y actividades de las fases de Identificación y Evaluación del proceso de la degradación de suelos y tierras por erosión, dirigido a su posterior monitoreo y seguimiento.

**Figura 7.** Modelo para generar información sobre erosión del suelo.



**Fuente.** Protocolo de degradación de suelos y tierras por erosión.

<sup>31</sup> Lal, 2001.

Citado por: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (s.f.). SIAC. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/erosion>.

## 5. METODOLOGÍA

Se establecieron las fases necesarias para la ejecución del proyecto, las cuales representan el conjunto de procedimientos para la planificación y gestión de todos los elementos del mismo, con el fin de alcanzar el objetivo específico del proyecto. Esto en un periodo de tiempo claro y determinado en la planificación.

La información y datos obtenidos se presentan en diversas herramientas, por medio de imágenes, figuras, gráficos, tablas y mapas.

### 5.1 FASE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Esta fase se realiza con el objetivo de corroborar la información inicial disponible e identificar los parámetros necesarios para realizar el análisis multitemporal, evitando redundancia de información para posteriormente realizar las correcciones pertinentes.

La búsqueda de información se realizó mediante bases de datos de información vía web, el portar virtual de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, publicaciones suministradas por el director del proyecto, corporaciones y entidades como el Servicio Geológico, IDEAM, IGAC.

Se obtuvo información relacionada a la cuenca del Cravo Sur, permitiendo conocer las características generales del área, además de estudios previos sobre análisis multitemporales por medio de imágenes satelitales efectuados en otras regiones del país. Teniendo claro los insumos necesarios para ejecutar cada una de las etapas del proyecto, se procede a su obtención para posteriormente ejecutar las fases metodológicas.

Los insumos obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 2. Insumos.**

INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
Mapas Geológicos.	1:100.000	PDF	SGC
Planchas de Unidades Geológicas Y Memorias Técnicas.	1:100.000	GEODATABASE	IGAC
Base Cartográfica Año 2012.	1:100.000	GEODATABASE	IGAC
Base Cartográfica Año 2015.	1:25.000	GEODATABASE	IGAC
Modelo Digital De Elevación DEM Alos-Palsar.	12.5 m	RASTER	UAF
Imágenes Satelitales Landsat 4, 5, 7 Y 8 para los años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017.	30 m	RASTER	USGS
Fotografías Aéreas N° 198 del Año 1937, N° 363 del Año 1958, N° 043 del Año 1992, N° 145 del Año 2004.	10 m	RASTER	IGAC
Leyenda Nacional De Coberturas De La Tierra. Metodología Corine Land Cover Adoptada Para Colombia Escala 1:100.000.	No Aplica	PDF	IGAC
Observación De La Erosión De Los Suelos En Colombia Programa Nacional De Monitoreo Y Seguimiento De La Degradación De Suelos Línea Base De Degradación De Suelos Por Erosión.	No Aplica	PDF	IDEAM
Propuesta Metodológica Sistemática Para La Generación De Mapas Geomorfológicos Analíticos Escala 1:100.000.	No Aplica	PDF	SGC
Documento Metodológico De La Zonificación De Susceptibilidad Y Amenaza Relativa Por Movimientos En Masa Escala 1:100.000.	No Aplica	PDF	SGC

**Fuente.** Autor.

## 5.2 FASE DEFINICIÓN ÁREA DE ESTUDIO Y DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

La zona de estudio es un área dentro de la cual se delimito la cuenca del río Cravo Sur, se extiende desde el departamento de Boyacá hasta el de Casanare determinada con la finalidad de analizar los cambios en una mayor área de influencia.



Existen diversos softwares con herramientas diseñadas especialmente para delimitar cuencas hídricas, sin embargo estas delimitaciones automáticas resultan en ocasiones poco precisas, dado que la arquitectura de estos procesos está programada para delimitar cuencas simples o micro cuencas en áreas pequeñas. Por tal razón la cuenca se delimito de forma manual en el software ArcGis 10.2.2. Para realizar una delimitación manual de la cuenca, es necesario contar con las curvas de nivel, superficies de agua compuestas por drenajes dobles y sencillos, obtenidos de las bases cartográficas a escala 1:100.000 (IGAC 2012).

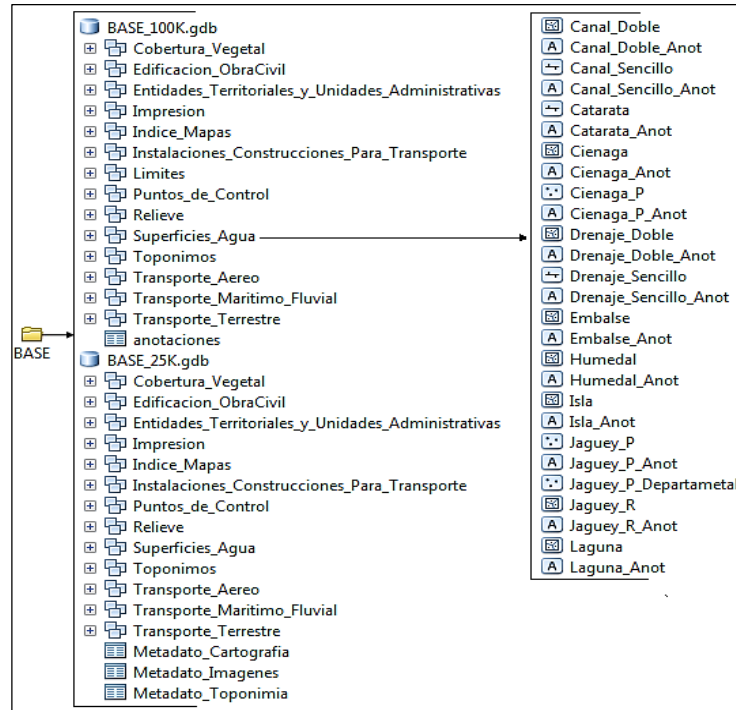
Se realizó una superposición de capas temáticas del relieve y las superficies agua sobre el Hillshade obtenido a partir del DEM (12.5 m Alos-Palsar), en efecto se puede visualizar de manera más precisa las divisorias de agua que conforman la cuenca hídrica. La delimitación consistió en demarcar todas aquellas divisorias de agua que afluyen en el cauce del río Cravo sur, el resultado fue verificado con el modelo de cuencas nacionales del IDEAM.

### **5.3 FASE DE CARTOGRAFÍA**

Con ayuda del índice de plancha a escala 1:100.000 y 1:25.000 suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) se establecen el número de bases que cubren el área de estudio respecto a la escala. La cartografía está almacenada en formato Geodatabase (mdb), este catálogo de objetos organiza en carpetas “feature data set”; todos los elementos cartográficos de la plancha son agrupados según su identidad ya sea tipo punto, línea, polígono o anotaciones.



**Figura 8.** Catálogo de objetos cartográfico.



**Fuente.** Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Autor.

Para obtener la cartografía delimitada al área de trabajo, es necesario recorta cada una de los elementos presentes en el catálogo de objetos de la Geodatabase. El recorte se hace con edición activa del feature class, por medio de la herramienta Clip del software ArcGIS 10.2.2.

Una vez cortados todos los feature class de cada plancha, se integran los elementos que presenta la misma información utilizando la herramienta Merge del software ArcGIS 10.2.2 y se almacenan en una misma Geodatabase respetando la estructura del catálogo de objetos. Como producto final se obtuvo el mapa topográfico ajustado al área de estudio a escala 1:100.000.

## **5.4 FASE DESCARGA Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES**

La descarga de las imágenes de Satélite Landsat se realizó mediante la herramienta de búsqueda Earth Explorer desarrollada por el United States Geological Survey (USGS). Teniendo criterios de selección como la fecha de la imagen con capturas de la misma época del año, estado de la nubosidad menor al 10%, Imágenes geolocalizadas y número de bandas.

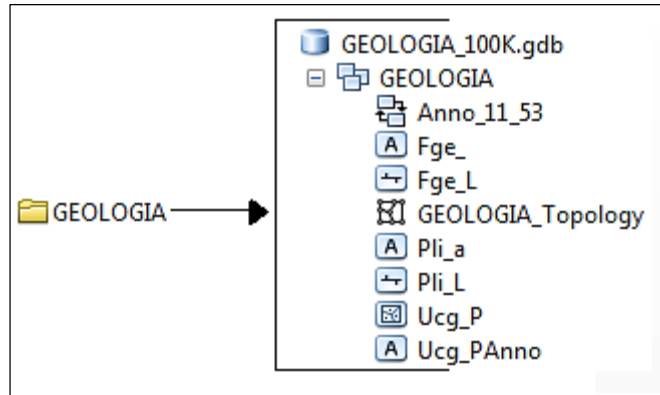
Posteriormente se identificaron las composiciones espectrales para las imágenes Landsat teniendo en cuenta el tipo de sensor y el número de bandas. Las combinaciones elegidas son las apropiadas para el análisis visual de la cobertura vegetal, zonas de erosión y cuerpos de agua.

Una vez recortadas las imágenes a la zona de estudio, se realizaron correcciones radiométricas, geométricas y atmosféricas, mediante los softwares ArcGis 10.2.2 e Idrisi Selva. Además, haciendo uso de estas herramientas SIG se aplicaron realces y mejoras de resolución, buscando mejorar la calidad de las imágenes Landsat optimizando el análisis visual.

## **5.5 FASE GEOLÓGICA**

Inicialmente se descargaron las planchas geológicas 172 de Paz de Río, 173 de Támara, 192 de Laguna de Tota, 193 de Yopal y 212 de Aguazul, a escala 1:100.000, obtenidas del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y del INGEOMINAS por medio de la plataforma Geoportal en formato pdf, las cuales fueron transformadas a tif; luego se georreferenciaron en el software ArcGis 10.2.2, para posteriormente ser digitalizadas y almacenadas de manera organizada en una estructura Geodatabase compuesta por los polígonos de las unidades geológicas, anotaciones, fallas, pliegues, datos de rumbo y buzamiento, teniendo en cuenta el catálogo de objetos propuesto por el SGC para cartografía geológica.

**Figura 9.** Catálogo de objetos cartografía geológica.



**Fuente.** Servicio Geológico Colombiano (SGC), Autor.

Una vez digitalizada la información de las diferentes planchas se recortaron respecto al área de estudio. Para finalizar se empalmo la información unificando las unidades geológicas correlacionables, estructuras y fallas, utilizando la herramienta Merge del software ArcGis 10.2.2. La información sobre las diferentes formaciones litoestratigráficas y demás elementos geológicos, fue obtenida de las memorias explicativas de las respectivas planchas.

## 5.6 FASE GEOMORFOLÓGICA

Para el análisis de la geomorfología se identificaron los factores de morfometría y morfogenética, adaptando la propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del año 2012, realizada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC). Para la etapa de morfometría se deben analizar las variables de pendiente, rugosidad y Acuenca, obteniendo sus respectivas salidas gráficas, para posteriormente hacer una composición de estos factores en base a su porcentaje de influencia y tener como resultado un mapa que represente la susceptibilidad morfométrica de la zona de estudio.

La intención de la cartografía geomorfológica es mostrar las formas que presenta el terreno teniendo en cuenta aspectos como su origen, ambiente de generación, el tipo de material por el que está constituido y los procesos dinámicos que puedan tener influencia sobre el mismo terreno. Para esta fase es fundamentada la interpretación de las imágenes de sensores remotos disponibles, y la valoración del relieve a partir de los atributos morfológicos y morfométricos relacionados con los contrastes de relieve relativo (RR), inclinación, longitud y forma de la ladera, forma de crestas y valles, unidades vs patrón de drenaje.

Esta cartografía logra realizarse gracias a la interpretación de imágenes satelitales. La geomorfología se presenta en mapas a partir del procesamiento, interpretación y digitalización de la información por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Cada elemento cartográfico está representado, por símbolos; convenciones y colores usados en estándares de uso internacional (Metodología I.T.C – Verstappen y Van Zuidam 1992) con modificaciones establecidas por Carvajal (2002) y publicada en el glosario geomorfológico del Servicio Geológico Colombiano.

**Tabla 3.** Insumos.

INSUMOS	FUENTE
Mapas Geológicos escala 1:100.000	SGC
Base Cartográfica Año 2012, escala 1:100.000	IGAC
Modelo Digital De Elevación DEM Alos-Palsar. 12.5 m	UAF
Imágenes Satelitales Landsat Años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017.	USGS
Mapa de sombras (Hillshade)	DEM
Mapa de pendientes	DEM
Mapa de rugosidad	DEM
Mapa de Acuenca	DEM

Fuente. Autor.

## 5.7 FASE COBERTURA VEGETAL

Con el objetivo de obtener los mapas temáticos de las coberturas vegetales para los años 1985, 1990, 2001, 2009 y 2017, se utilizaron combinaciones espectrales de imágenes satelitales Landsat que facilitaron el análisis visual para la identificación de las diferentes coberturas. Las clasificaciones de las imágenes se realizaron por medio del método supervisado, el cual comprende una fase de entrenamiento y una fase de asignación. Las unidades de cobertura fueron asignadas con base a la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, a partir de la cual se puede clasificar y comparar las características de la cobertura terrestre de manera estandarizada.

Se realizó el análisis multitemporal mediante la estadística de los porcentajes de área de las diferentes coberturas. Utilizando el software ArcGis 10.2.2 se implementó una matriz de cambio de cobertura entre los años a analizar, con el objetivo de identificar los cambios respecto a los valores contenidos en la matriz.

## 5.8 FASE EROSIÓN

Los mapas temáticos de erosión se realizaron mediante el software ArcGis 10.2.2 teniendo como insumo las bandas de las imágenes satelitales para los diferentes años de estudio, las cuales se realizaron utilizaron el método de índices de vegetación basados en las pendientes (NDVI), y como apoyo del análisis visual mediante las combinaciones espectrales.

## 5.9 FASE CAUCE DEL RÍO

Para realizar el análisis del cauce del río Cravo sur se utilizaron imágenes satelitales Landsat y fotografías aéreas adquiridas en el IGAC, con un criterio de selección determinado por el área, la resolución y los años de estudio. Para el proceso de fotointerpretación se realizaron los siguientes.

pasos:

- Corrección de las fotografías aéreas.
- Georreferenciación de las fotografías aéreas.
- Digitalización y trazado del cauce del río para los períodos de estudio.
- Digitalización del casco urbano.
- Digitalización de la geoforma de los abanicos.

El análisis se realizó en los centros urbanos de los municipios de Yopal y de Labranzagrande.

**Tabla 4.** *Insumos municipio de Yopal.*

Fotografía aérea del IGAC N° 198 del vuelo B-105, año 1937
Fotografía aérea del IGAC N° 363 del vuelo S-355, año 1958
Fotografía aérea del IGAC N° 043 del vuelo C-2489, año 1992
Fotografía aérea del IGAC N° 145 del vuelo C-2710, año 2004
Imagen satelital Landsat 8 del año 2016

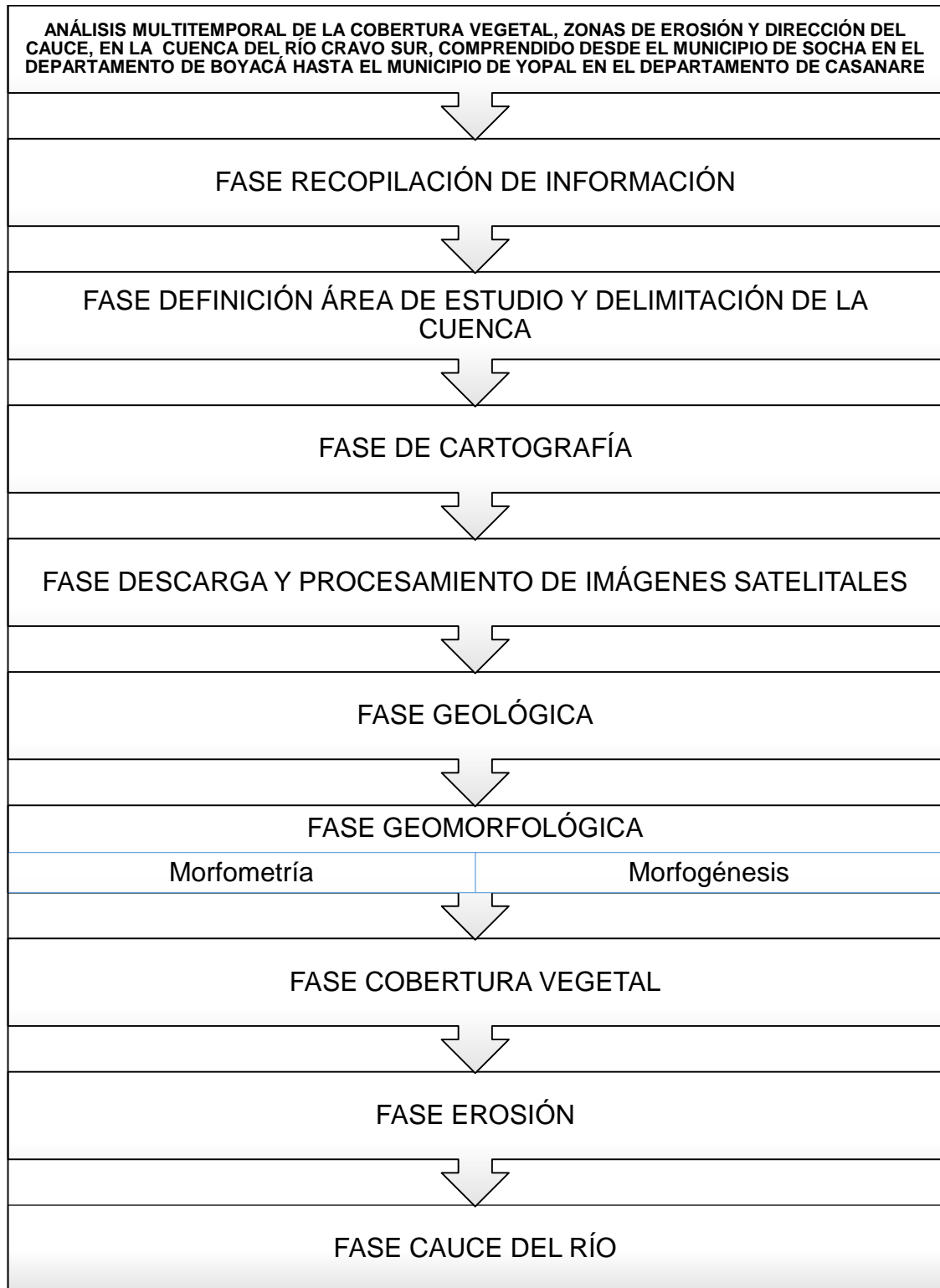
**Fuente.** *Autor.*

**Tabla 5.** *Insumos municipio de Labranzagrande.*

Fotografía aérea del IGAC N° 0215 del vuelo C-2179, año 1985
Imagen satelital Landsat 8 del año 2015

**Fuente.** *Autor.*

**Figura 10.** Diagrama de la metodología de la investigación.



Fuente. Autor.

## 6. GENERALIDADES

A continuación, se describen aspectos generales como la localización geográfica, vías de acceso, topografía y clima del área de estudio:

### 6.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio se localiza en la Cordillera Oriental, cubre parte del extremo oriental del departamento de Boyacá en jurisdicción de los municipios de Socha, Tasco, Socotá, Gámeza, Sogamoso, Mongua, Pisba, Paya, Aquitania, Pajarito y Labranzagrande, también involucra en el departamento de Casanare los municipios de Yopal y una mínima extensión de Nunchía.

El área comprende una extensión total de 2.117,81 Km<sup>2</sup>, se encuentra enmarcada dentro de las siguientes coordenadas planas.

**Tabla 6.** Coordenadas planas origen Magna-Colombia-Bogotá.

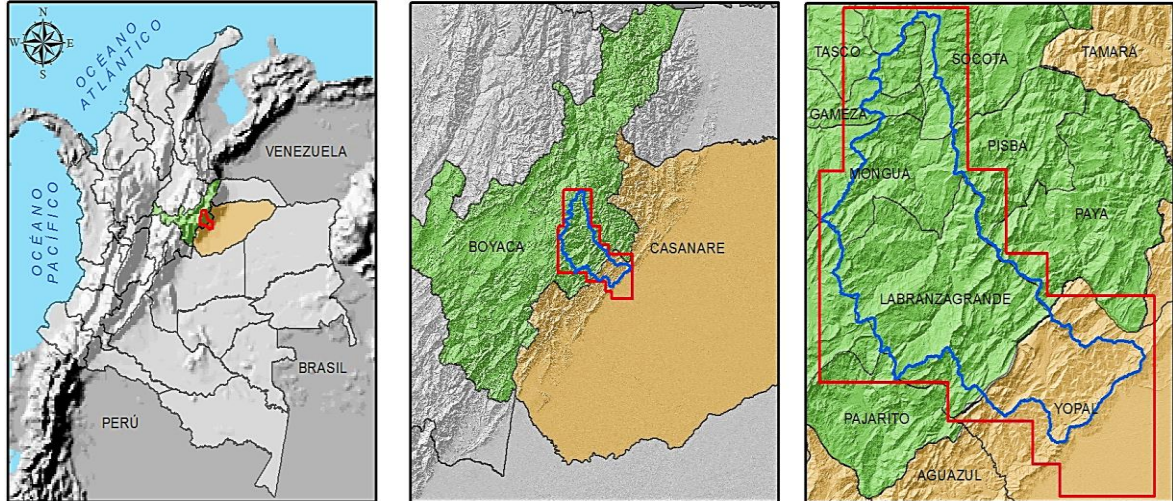
Puntos	Coordenadas Norte	Coordenadas Este
1	1123772,769	1174069,041
2	1111348,287	1174102,630
3	1111366,025	1180607,868
4	1105179,949	1180624,959
5	1105162,869	1197558,880
6	1075757,099	1197645,178
7	1075732,602	1188894,348
8	1075715,668	1182600,247
9	1080501,234	1182577,095
10	1080501,146	1182558,868
11	1080480,358	1178279,452
12	1086805,362	1178262,897
13	1086771,257	1164792,830
14	1092516,872	1164778,787
15	1092469,952	1144415,208
16	1123501,589	1144346,698
17	1123510,532	1148245,547
18	1147565,600	1148188,575
19	1147616,465	1167953,798
20	1123756,536	1168017,858

Fuente. Autor.



El área de estudio abarca parte de cinco cuadrángulos a escala 1:100.000 correspondientes a las planchas 172, 173, 192, 193 y 212.

**Imagen 5.** Localización geográfica zona de estudio.

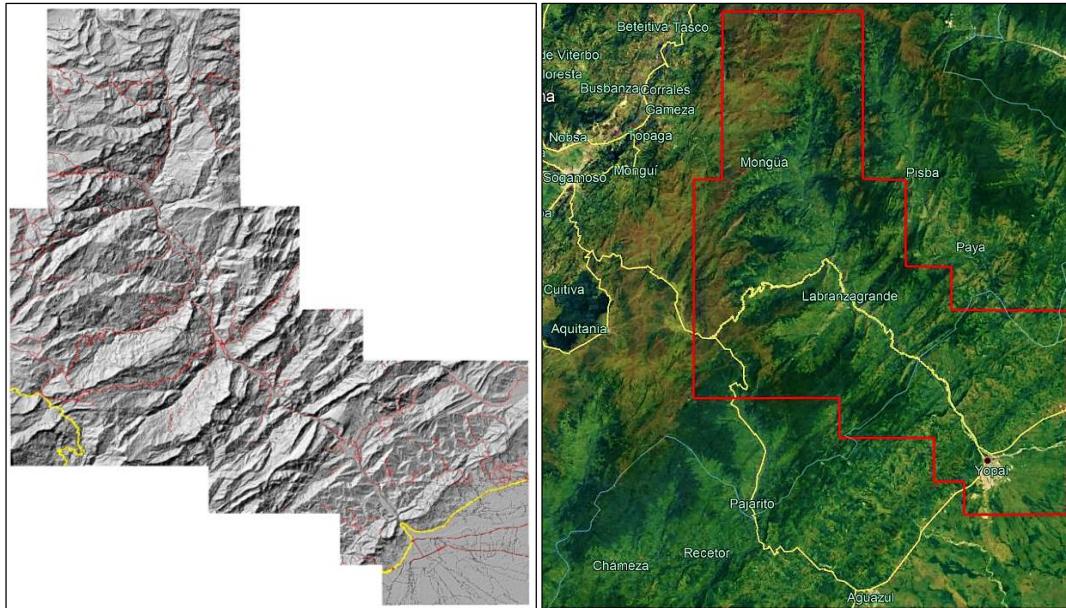


**Fuente.** Autor.

## 6.2 VÍAS DE ACCESO

El área cuenta con vías de tipo 1, tipo 3, tipo 4, tipo 5, tipo 6, caminos y senderos; predominan las vías sin pavimentar o sin afirmando de un solo carril. Los principales accesos a la zona de estudio son: la vía que conduce del municipio de Sogamoso – Pajarito – Aguazul – Yopal, la vía que comunica los municipios de Sogamoso – Labranzagrande – Yopal, además de la vía entre el municipio de Yopal y Paz de Ariporo; las vías son afectadas en los periodos de alta precipitación, en donde se disminuyen las propiedades físico-mecánicas de los materiales además del presentar un aumento en el caudal de los ríos, provocando deslizamientos, socavación e inundaciones sobre las mismas.

**Imagen 6.** Vías de acceso zona de estudio.



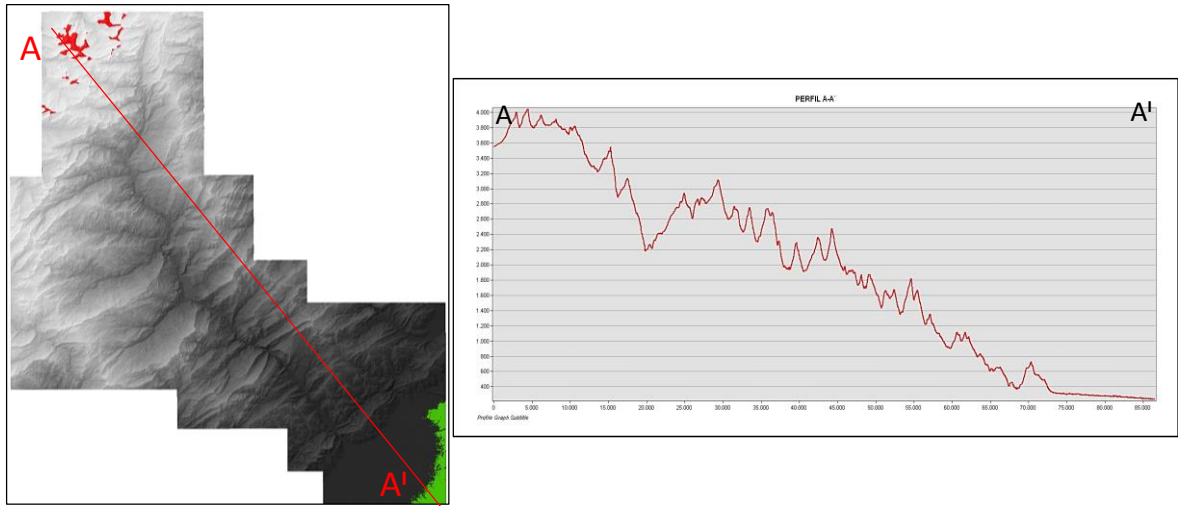
**Fuente.** Transporte terrestre bases cartográficas 1:100.000 del IGAC año 2012, Imagen Google Earth Pro 2018.

### 6.3 TOPOGRAFÍA

La zona de estudio está conformada por grandes relieves estructurales al encontrarse en la cordillera oriental, el modelado del terreno se asocia a procesos glaciares, denudativos y fluvio-erosivos, formando escarpes y grandes drenajes. Hacia la base de la cordillera se encuentra el piedemonte llanero conformado por un abanico fluvial, modelado por la acción del río Cravo Sur en el municipio de Yopal.

El relieve más prominente se encuentra en la parte noroeste del área y la menor elevación se observa al suroeste en la zona de piedemonte, como se ilustra en el perfil A – A' (Imagen 7) las alturas varían desde la mayor cota ubicada en el municipio de Tasco en el Pico de los Espejos a los 4138 m.s.n.m. representada de color rojo en el DEM (12.5 m Alos-Palsar), hasta la cota más baja localizada en el municipio de Yopal a los 235 m.s.n.m. representada de color verde.

**Imagen 7.** Perfil del relieve a partir del DEM 12.5, corte A - A<sup>1</sup>.



**Fuente.** DEM 12.5 m (Alos-Palsar, UAF), Autor.

La zona de estudio cubre parte de las bases cartográficas 172, 173, 192, 193 y 212 a escala 1:100.000, suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) almacenadas en formato Geodatabase (Tabla 7).

**Tabla 7.** Planchas cartográficas a escala 1:100.000.

No. DE PLANCHA	AÑO	AUTOR
172	2012	IGAC
173	2012	IGAC
192	2012	IGAC
193	2012	IGAC
212	2012	IGAC

**Fuente.** Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Autor.

Algunos insumos de las bases cartográficas a escala 1:25.000 son necesarios para complementar el Mapa Topográfico del área de estudio (Anexo 1). Las planchas son suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) almacenadas en formato Geodatabase, en versión actualizada del 2015 (Tabla 8).

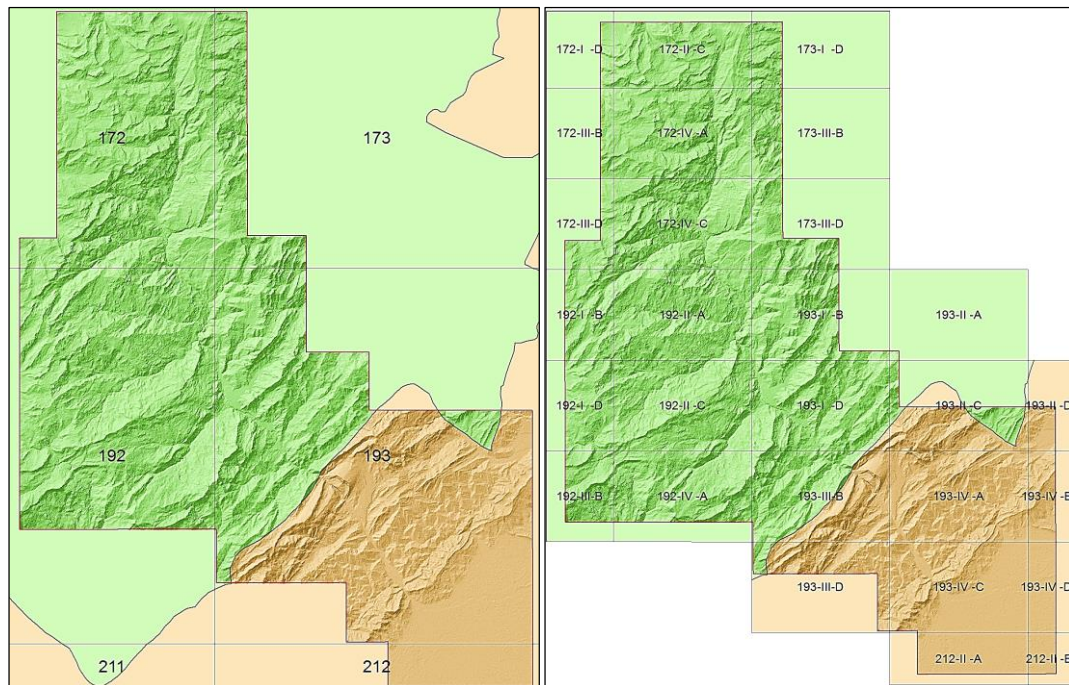


**Tabla 8.** Planchas cartográficas a escala 1:25.000.

<b>Planchas 1:25.000</b>	172ID	173ID	192IB	193IB	212IIA
	172IIC	173IIIB	192ID	193ID	212IIB
	172IIIB	173IIID	192IIA	193IIA	
	172IVA		192IIC	193IIC	
	172IIID		192IIIB	193IID	
	172IVC		192IVA	193IIIB	
	172IVB			193IIID	
				193IVA	
				193IVB	
				193IVC	
			193IVD		
<b>No. de Planchas</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>2</b>
<b>Total Planchas</b>	<b>29</b>				

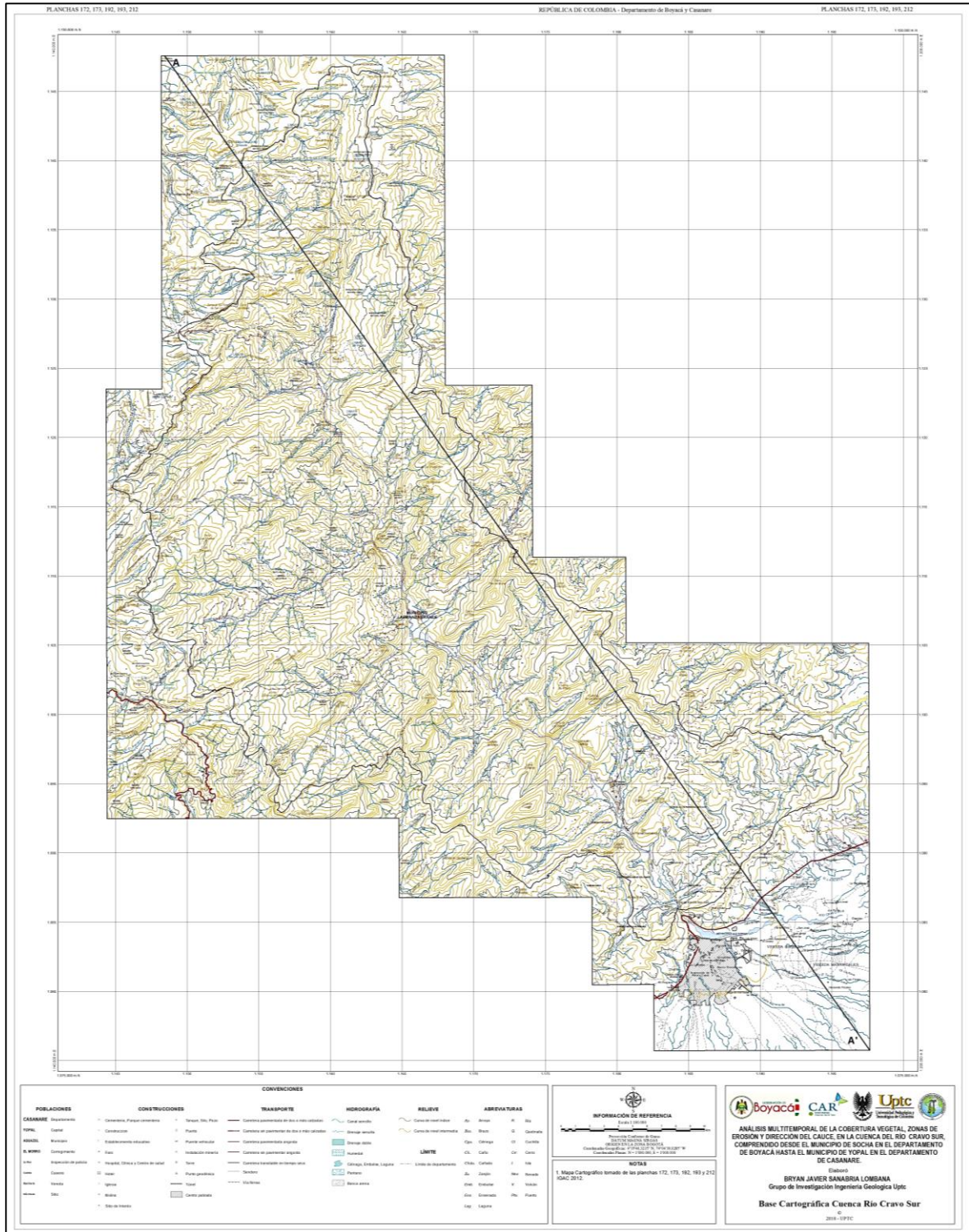
Fuente. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Autor.

**Imagen 8.** Índice de planchas zona de estudio, escala 1:100.000 y 1:25.000.



Fuente. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Autor.

**Imagen 9. Topografía de la zona de estudio.**



**Fuente.** Bases cartográficas escala 1:100.000 de las planchas 172, 173, 192, 193 y 212, suministrados por el IGAC del año 2012, Autor.

### 6.4 CLIMA

La precipitación en la zona de estudio está definida por “un comportamiento monomodal, la temporada de lluvias inicia en el mes de marzo hasta final de noviembre, con valores que oscilan entre los 826 mm y 3581 mm. En el pie de monte se registran las más altas precipitaciones y un mayor número de días al mes con lluvia respecto a la parte alta de la cuenca”<sup>32</sup>.

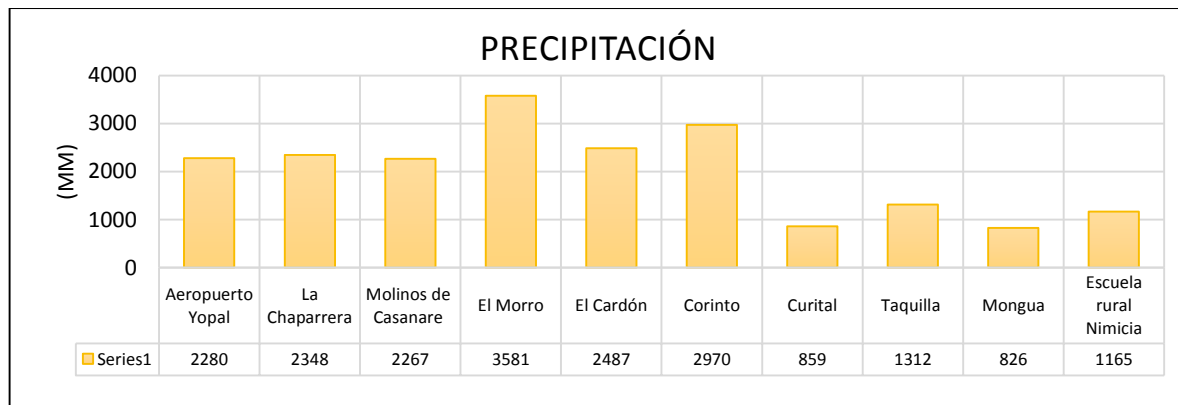
**Tabla 9. Estaciones meteorológicas.**

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	MUNICIPIO	DEPTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	AÑOS REGISTROS
LA CHAPARRERA	3521005	PG	YOPAL	CASANARE	0529N - 7214W	395	1995 – 2005
AEROPUERTO YOPAL	3521501	CP	YOPAL	CASANARE	0519N - 7223W	325	1974 – 2005
MOLINOS DE CASANARE	3521004	PG	YOPAL	CASANARE	0524N - 7219W	330	1995 – 2005
EL MORRO	3521001	PM	YOPAL	CASANARE	0528N - 7228W	656	1974 – 2005
EL CARDON	3523501	CO	SOCOTA	BOYACÁ	0601N - 7232W	3590	1974 – 2005
CORINTO	3519505	CO	PAJARITO	BOYACÁ	0525N - 7243W	1550	1984 – 2005
CURITAL	2403069	PM	SOCHA	BOYACÁ	0600N - 7240W	3052	1974 – 2005
TOQUILLA	3519002	PM	AQUITANIA	BOYACÁ	0531N - 7247W	2950	1971 – 2005
MÓNGUA	2403056	PM	MÓNGUA	BOYACÁ	0546N - 7249W	2900	1971 – 2005
ESCUELA RURAL NIMICIA	2403064	PM	GAMEZA	BOYACÁ	0548N - 7247W	3200	1974 – 2005

PM Pluviométrica  
 PG Pluviográfica  
 AM Agrometeorológica  
 CO Climatológica Ordinaria  
 CP Climatológica Principal

**Fuente.** Consultores, E. I. (2015). *POMCA Río Cravo Sur. Capítulo 1., Evaluación del componente climático.* Corporinoquia, Uaesppn y Corpoboyacá.

**Figura 11. Estadística de precipitación multianual.**

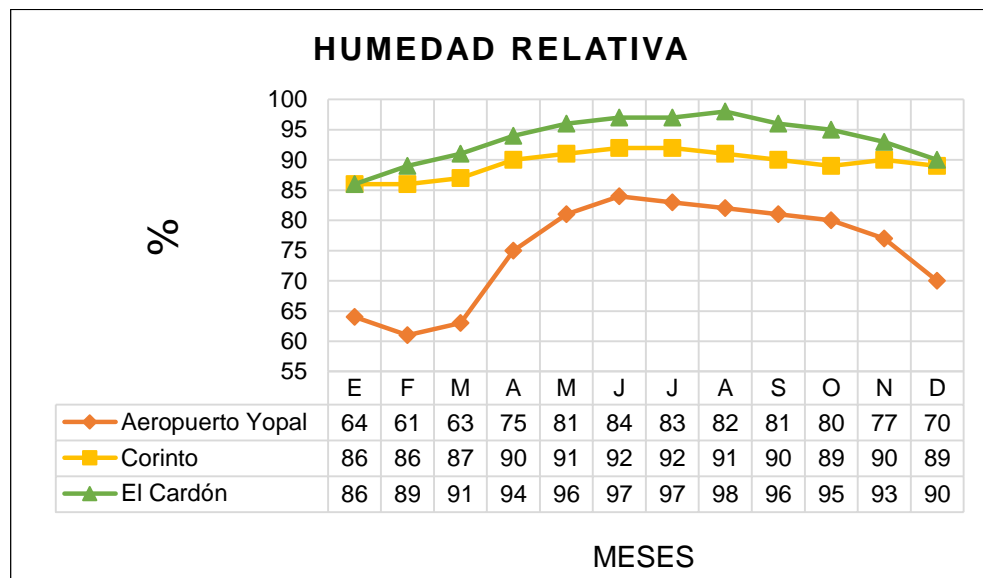


**Fuente.** Consultores, E. I. (2015). *POMCA Río Cravo Sur. Capítulo 1., Evaluación del componente climático.* Corporinoquia, Uaesppn y Corpoboyacá.

<sup>32</sup> CONSULTORES, E. I. (2015). PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR. CAPÍTULO 1, EVALUACIÓN DEL COMPONENTE CLIMÁTICO. CORPORINOQUIA, UAESPNN Y CORPOBOYACÁ. Boyacá, Casanare., p 11.  
 Obtenido de: <http://www.corpoboyaca.gov.co/ventanilla/pomca-cravo-sur/>.

La humedad relativa que se presentan en la cuenca es directamente proporcional con la altitud, así, a mayor altitud mayor el valor de la humedad relativa, de forma tal que en la parte alta de la cuenca la humedad relativa oscila entre 86% y 98%, en la media y baja la humedad relativa desciende considerablemente con valores que oscilan entre 60 y 70% en los meses de verano y entre 80 y 90% en los meses más húmedos. La variación presentada durante el año, se relaciona de manera directa con la intensidad de las lluvias, observándose los valores más altos de humedad relativa asociados al periodo de mayor precipitación<sup>33</sup>.

Figura 12. Distribución porcentaje de humedad relativa mensual-multianual.



Fuente. Consultores, E. I. (2015). POMCA Río Cravo Sur. Capítulo 1., Evaluación del componente climático. Corporinoquia, Uaesppn y Corpoboyacá.

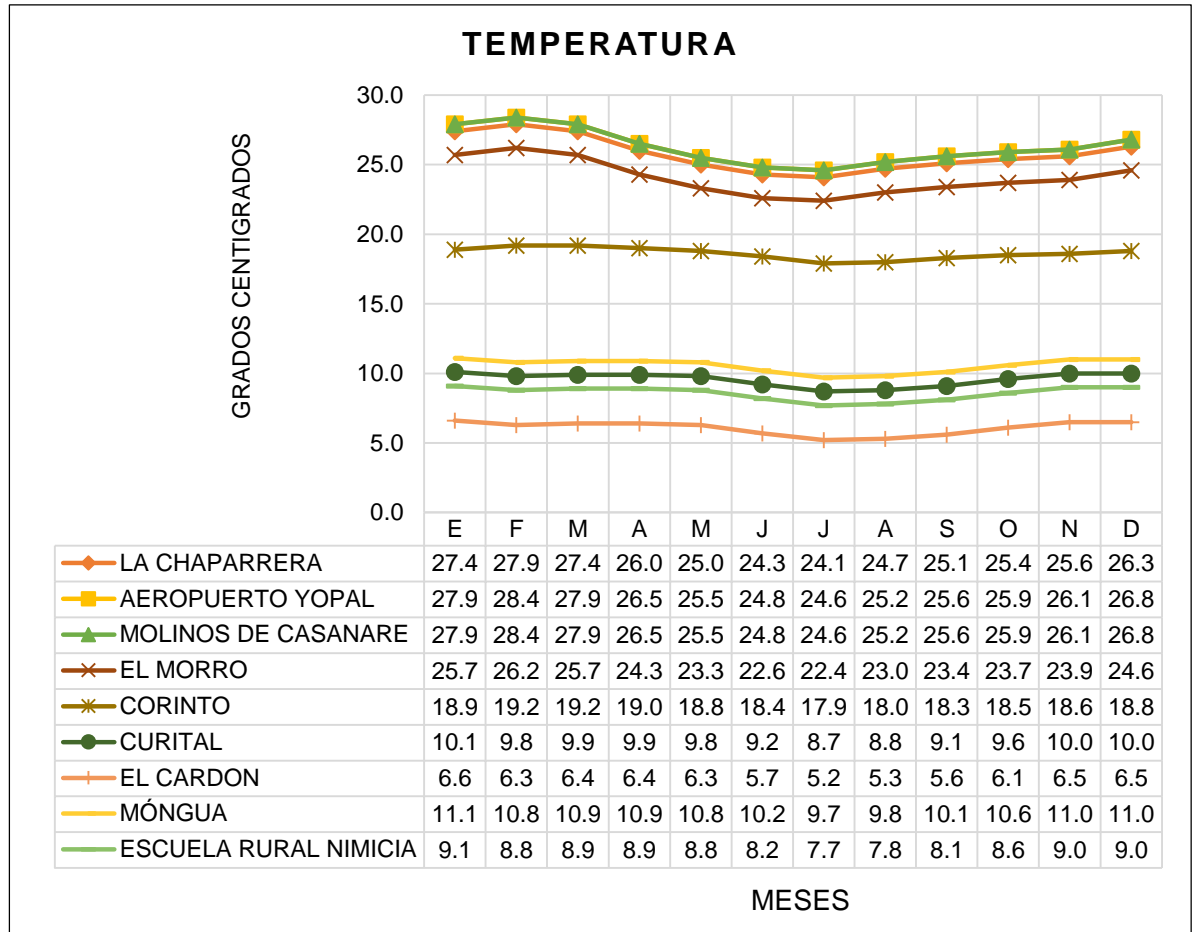
“El rango de temperatura a lo largo de la cuenca es bastante amplio y variando, es decir que los climas que se encuentran van desde el frío y llega hasta el muy cálido, esto debido a características propias de la cuenca como la variabilidad en la altitud.

<sup>33</sup> CONSULTORES, E. I. (2015). POMCA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR., p 14.



Los valores oscilan desde 6,1 °C en la parte alta y 27,3 °C en la parte baja que presenta otra situación térmica<sup>34</sup>.

Figura 13. Distribución temperatura mensual-multianual.



Fuente. Consultores, E. I. (2015). POMCA Río Cravo Sur. Capítulo 1., Evaluación del componente climático. Corporinoquia, Uaesppn y Corpoboyacá.

<sup>34</sup> CONSULTORES, E. I. (2015). POMCA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR., p 16.



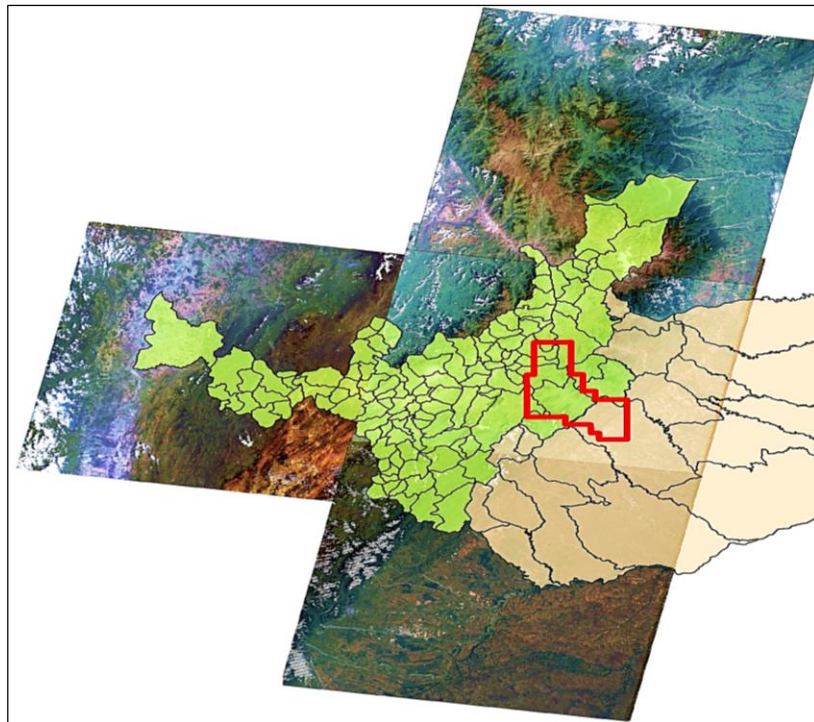
## 7. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales son el insumo principal, al momento de su obtención se utilizaron algunos criterios de selección con el fin de optimizar el análisis de la cuenca para los diferentes años de estudio. Se realizaron correcciones a las imágenes seleccionadas en los softwares ArcGis 10.2.2 e Idrisi Selva.

### 7.1 PRESELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

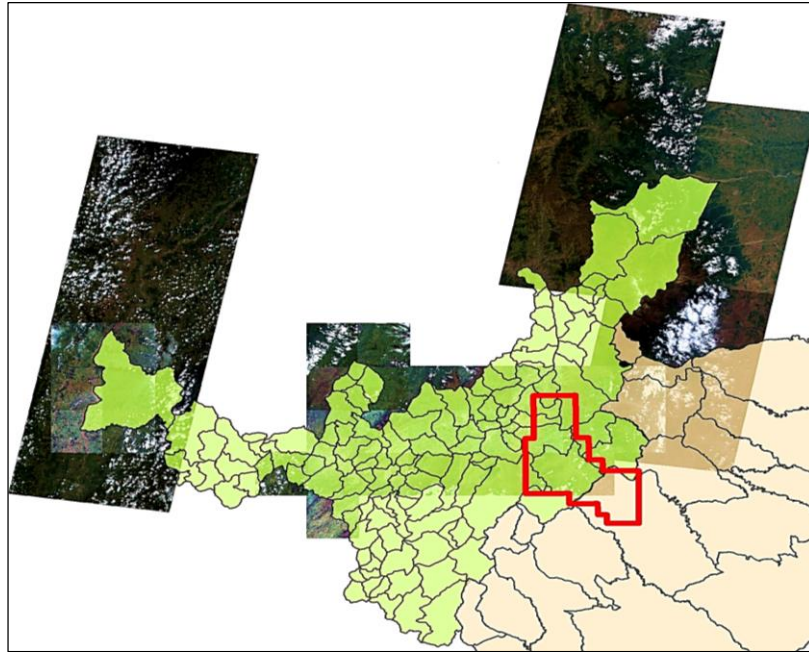
Inicialmente se disponía de un grupo de imágenes satelitales de diferentes fuentes y años, estas fueron seleccionadas y organizadas con el fin de tener información adicional que fuera de utilidad en el momento de la interpretación visual del área de trabajo.

**Imagen 10.** Mosaico de imágenes Landsat 5 de los años 2004, 2007, 2012.



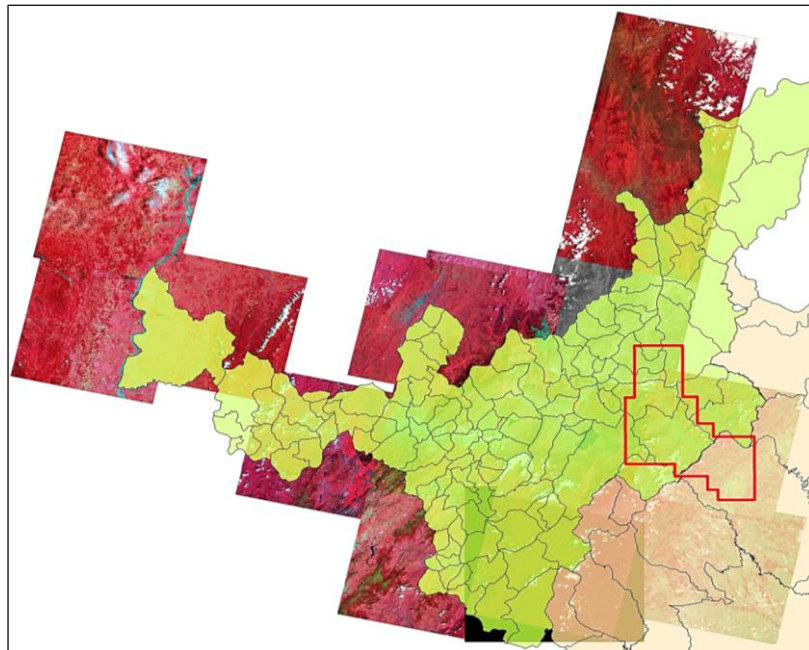
**Fuente.** Convenio interadministrativo específico N° 1610 de 2015 UPTC, Autor.

**Imagen 11.** Mosaico de imágenes Rapideye de los años 2010 y 2012.



**Fuente.** Convenio interadministrativo específico N° 1610 de 2015 UPTC, Autor.

**Imagen 12.** Mosaico de imágenes Spot de los años 2003, 2005, 2006, 2007 y 2008.



**Fuente.** Convenio interadministrativo específico N° 1610 de 2015 UPTC, Autor.

## 7.2 DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES

Teniendo en cuenta que las imágenes iniciales no son homogéneas entre sí, no cubren toda el área de estudio y los años de captura son insuficiente para realizar el análisis multitemporal, fue necesario descargar imágenes del satélite Landsat.

## 7.3 SELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

Las características que deben presentar las imágenes son los siguientes:

- **Fecha de la imagen:** Es apropiado emplear capturadas en la misma época del año preferiblemente en tiempo seco.
- **Cantidad de bandas:** Contener 6 bandas del espectro electromagnético (azul, rojo verde, dos del infrarrojo cercano e infrarrojo medio).
- **Porcentaje de nubosidad:** No presentar más de un 10%.
- **Información:** Que cada imagen contenga su respectivo Metadato.

## 7.4 DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES

La descarga de las imágenes de satélite Landsat se realizó mediante la herramienta de búsqueda Earth Explorer desarrollada por el United States Geological Survey (USGS). De todas las imágenes existentes en la plataforma, se escogieron las que cumplieron con los requisitos de selección y posteriormente se inició la descargar. Las imágenes obtenidas corresponden a los años 1985 (Landsat 4), 1990 (Landsat 5), 2001 (Landsat 7), 2009 (Landsat 5) y 2017 (Landsat 8). Cada imagen Landsat cuenta con un metadato donde se encuentra la información general de la imagen, el identificador único de la imagen (ID), formato de almacenamiento, satélite y el respectivo sensor usado para capturar la escena, filas y columnas que indican la ubicación de la imagen satelital, fecha de captura, atributos geométricos, bandas que componen la imagen, sistema de referencia espacial y proyección, entre otros.

**Tabla 10.** Metadato imagen satelital Landsat, año 1985.

<b>AÑO 1985</b>	
1.	GROUP = METADATA_FILE_INFO
2.	ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
3.	LANDSAT_SCENE_ID = "LT40070561985011XXX09"
4.	OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
5.	SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_4"
6.	SENSOR_ID = "TM"
7.	WRS_PATH = 007
8.	WRS_ROW = 056
9.	DATE_ACQUIRED = 1985-01-11
10.	CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.70460
11.	CORNER_UL_LON_PRODUCT = -73.64470
12.	CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 6.69431
13.	CORNER_UR_LON_PRODUCT = -71.54571
14.	CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 4.84066
15.	CORNER_LL_LON_PRODUCT = -73.64912
16.	CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 4.83325
17.	CORNER_LR_LON_PRODUCT = -71.55695
18.	IMAGE_QUALITY = 9
19.	SUN_AZIMUTH = 128.44576242
20.	SUN_ELEVATION = 44.30150768
21.	EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9834369
22.	BANDS = 7
23.	FILE_NAME_BAND_1 = Visible (0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ ) 30 m
24.	FILE_NAME_BAND_2 = Visible (0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ ) 30 m
25.	FILE_NAME_BAND_3 = Visible (0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ ) 30 m
26.	FILE_NAME_BAND_4 = Near-Infrared (0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$ ) 30 m
27.	FILE_NAME_BAND_5 = Near-Infrared (1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ ) 30 m
28.	FILE_NAME_BAND_6 = Thermal (10.40 - 12.50 $\mu\text{m}$ ) 120 m
29.	FILE_NAME_BAND_7 = Mid-Infrared (2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ ) 30 m
30.	MAP_PROJECTION = "UTM"
31.	DATUM = "WGS84"
32.	ELLIPSOID = "WGS84"
33.	UTM_ZONE = 18
34.	GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
35.	GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
36.	ORIENTATION = "NORTH_UP"
37.	RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"

**Fuente.** United States Geological Survey (USGS), Autor.

**Tabla 11.** Metadato imagen satelital Landsat, año 1990.

<b>AÑO 1990</b>	
1.	GROUP = METADATA_FILE_INFO
2.	ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
3.	LANDSAT_SCENE_ID = "LT50070561990357CPE00"
4.	OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
5.	SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_5"
6.	SENSOR_ID = "TM"
7.	WRS_PATH = 007
8.	WRS_ROW = 056
9.	DATE_ACQUIRED = 1990-12-23
10.	CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.72918
11.	CORNER_UL_LON_PRODUCT = -73.70705
12.	CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 6.71911
13.	CORNER_UR_LON_PRODUCT = -71.60515
14.	CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 4.85435
15.	CORNER_LL_LON_PRODUCT = -73.71131
16.	CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 4.84710
17.	CORNER_LR_LON_PRODUCT = -71.61630
18.	IMAGE_QUALITY = 9
19.	SUN_AZIMUTH = 131.75760590
20.	SUN_ELEVATION = 44.95413309
21.	EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9835859
22.	BANDS = 7
23.	FILE_NAME_BAND_1 = Visible (0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ ) 30 m
24.	FILE_NAME_BAND_2 = Visible (0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ ) 30 m
25.	FILE_NAME_BAND_3 = Visible (0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ ) 30 m
26.	FILE_NAME_BAND_4 = Near-Infrared (0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$ ) 30 m
27.	FILE_NAME_BAND_5 = Near-Infrared (1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ ) 30 m
28.	FILE_NAME_BAND_6 = Thermal (10.40 - 12.50 $\mu\text{m}$ ) 120 m
29.	FILE_NAME_BAND_7 = Mid-Infrared (2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ ) 30 m
30.	MAP_PROJECTION = "UTM"
31.	DATUM = "WGS84"
32.	ELLIPSOID = "WGS84"
33.	UTM_ZONE = 18
34.	GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
35.	GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
36.	ORIENTATION = "NORTH_UP"
37.	RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"

**Fuente.** United States Geological Survey (USGS), Autor.



**Tabla 12.** Metadato imagen satelital Landsat, año 2001.

<b>AÑO 2001</b>	
1.	GROUP = METADATA_FILE_INFO
2.	ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
3.	LANDSAT_SCENE_ID = "LE70070562001030AGS00"
4.	OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
5.	SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"
6.	SENSOR_ID = "ETM"
7.	WRS_PATH = 007
8.	WRS_ROW = 056
9.	DATE_ACQUIRED = 2001-01-30
10.	CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.73192
11.	CORNER_UL_LON_PRODUCT = -73.71519
12.	CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 6.72180
13.	CORNER_UR_LON_PRODUCT = -71.60242
14.	CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 4.84622
15.	CORNER_LL_LON_PRODUCT = -73.71944
16.	CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 4.83895
17.	CORNER_LR_LON_PRODUCT = -71.61364
18.	IMAGE_QUALITY = 9
19.	SUN_AZIMUTH = 127.14309829
20.	SUN_ELEVATION = 50.85609134
21.	EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9851605
22.	BANDS = 8
23.	FILE_NAME_BAND_1 = Visible (0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ ) 30 m
24.	FILE_NAME_BAND_2 = Visible (0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ ) 30 m
25.	FILE_NAME_BAND_3 = Visible (0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ ) 30 m
26.	FILE_NAME_BAND_4 = Near-Infrared (0.77 - 0.90 $\mu\text{m}$ ) 30 m
27.	FILE_NAME_BAND_5 = Near-Infrared (1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ ) 30 m
28.	FILE_NAME_BAND_6 = Thermal (10.40 - 12.50 $\mu\text{m}$ ) 60 m
29.	FILE_NAME_BAND_7 = Mid-Infrared (2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ ) 30 m
30.	FILE_NAME_BAND_8 = Panchromatic (0.52 - 0.9 $\mu\text{m}$ ) 15 m
31.	MAP_PROJECTION = "UTM"
32.	DATUM = "WGS84"
33.	ELLIPSOID = "WGS84"
34.	UTM_ZONE = 18
35.	GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
36.	GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
37.	GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
38.	ORIENTATION = "NORTH_UP"
39.	RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"

**Fuente.** United States Geological Survey (USGS), Autor.

**Tabla 13.** Metadato imagen satelital Landsat, año 2009.

<b>AÑO 2009</b>	
1.	GROUP = METADATA_FILE_INFO
2.	ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
3.	LANDSAT_SCENE_ID = "LT50070562009348CHM00"
4.	OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
5.	SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_5"
6.	SENSOR_ID = "TM"
7.	WRS_PATH = 007
8.	WRS_ROW = 056
9.	DATE_ACQUIRED = 2009-12-14
10.	CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.72104
11.	CORNER_UL_LON_PRODUCT = -73.70436
12.	CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 6.71074
13.	CORNER_UR_LON_PRODUCT = -71.56998
14.	CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 4.84620
15.	CORNER_LL_LON_PRODUCT = -73.70862
16.	CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 4.83879
17.	CORNER_LR_LON_PRODUCT = -71.58123
18.	IMAGE_QUALITY = 9
19.	SUN_AZIMUTH = 138.57142339
20.	SUN_ELEVATION = 50.68985937
21.	EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9851605
22.	BANDS = 7
23.	FILE_NAME_BAND_1 = Visible (0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ ) 30 m
24.	FILE_NAME_BAND_2 = Visible (0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ ) 30 m
25.	FILE_NAME_BAND_3 = Visible (0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ ) 30 m
26.	FILE_NAME_BAND_4 = Near-Infrared (0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$ ) 30 m
27.	FILE_NAME_BAND_5 = Near-Infrared (1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ ) 30 m
28.	FILE_NAME_BAND_6 = Thermal (10.40 - 12.50 $\mu\text{m}$ ) 120 m
29.	FILE_NAME_BAND_7 = Mid-Infrared (2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ ) 30 m
30.	MAP_PROJECTION = "UTM"
31.	DATUM = "WGS84"
32.	ELLIPSOID = "WGS84"
33.	UTM_ZONE = 18
34.	GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
35.	GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
36.	ORIENTATION = "NORTH_UP"
37.	RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"

**Fuente.** United States Geological Survey (USGS), Autor.

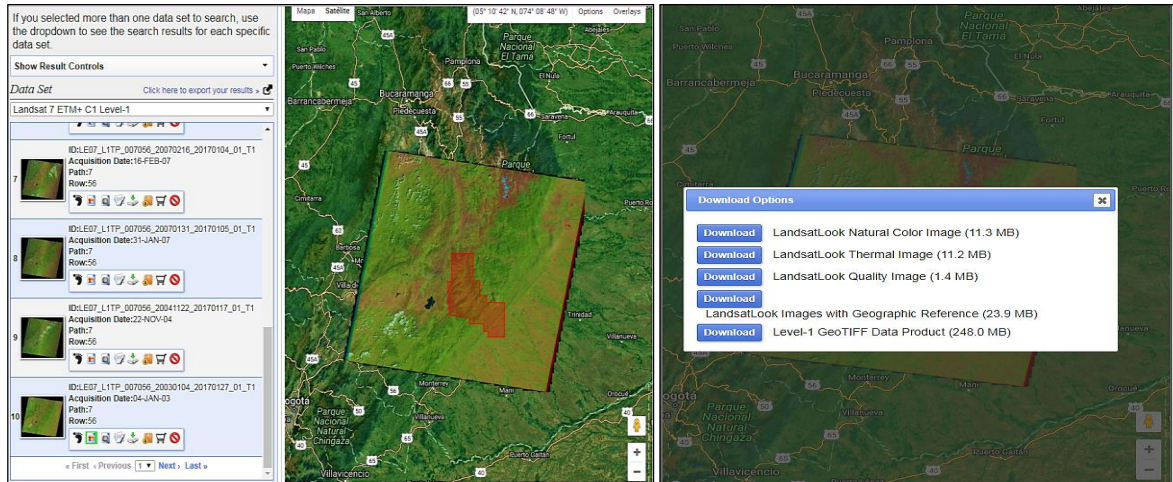
**Tabla 14.** Metadato imagen satelital Landsat, año 2017.

<b>AÑO 2017</b>	
1.	GROUP = METADATA_FILE_INFO
2.	ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
3.	LANDSAT_SCENE_ID = "LC80070562017016LGN02"
4.	OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
5.	SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
6.	SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
7.	WRS_PATH = 7
8.	WRS_ROW = 56
9.	DATE_ACQUIRED = 2017-01-16
10.	CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.83209
11.	CORNER_UL_LON_PRODUCT = -73.63620
12.	CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 6.82190
13.	CORNER_UR_LON_PRODUCT = -71.58274
14.	CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 4.73754
15.	CORNER_LL_LON_PRODUCT = -73.64121
16.	CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 4.73049
17.	CORNER_LR_LON_PRODUCT = -71.59527
18.	IMAGE_QUALITY_OLI = 9
19.	IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
20.	SUN_AZIMUTH = 134.59148184
21.	SUN_ELEVATION = 51.32921759
22.	EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9836947
23.	BANDS = 11
24.	FILE_NAME_BAND_1 = Visible (0.43 - 0.45 $\mu\text{m}$ ) 30 m
25.	FILE_NAME_BAND_2 = Visible (0.450 - 0.51 $\mu\text{m}$ ) 30 m
26.	FILE_NAME_BAND_3 = Visible (0.53 - 0.59 $\mu\text{m}$ ) 30 m
27.	FILE_NAME_BAND_4 = Red (0.64 - 0.67 $\mu\text{m}$ ) 30 m
28.	FILE_NAME_BAND_5 = Near-Infrared (0.85 - 0.88 $\mu\text{m}$ ) 30 m
29.	FILE_NAME_BAND_6 = SWIR 1(1.57 - 1.65 $\mu\text{m}$ ) 30 m
30.	FILE_NAME_BAND_7 = SWIR 2 (2.11 - 2.29 $\mu\text{m}$ ) 30 m
31.	FILE_NAME_BAND_8 = Panchromatic (0.50 - 0.68 $\mu\text{m}$ ) 15 m
32.	FILE_NAME_BAND_9 = Cirrus (1.36 - 1.38 $\mu\text{m}$ ) 30 m
33.	FILE_NAME_BAND_10 = TIRS 1 (10.6 - 11.19 $\mu\text{m}$ ) 100 m
34.	FILE_NAME_BAND_11 = TIRS 2 (11.5 - 12.51 $\mu\text{m}$ ) 100 m
35.	MAP_PROJECTION = "UTM"
36.	DATUM = "WGS84"
37.	UTM_ZONE = 18
38.	GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
39.	GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
40.	GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
41.	RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"

**Fuente.** United States Geological Survey (USGS), Autor.



**Imagen 13.** Earth Explorer, United States Geological Survey (USGS).



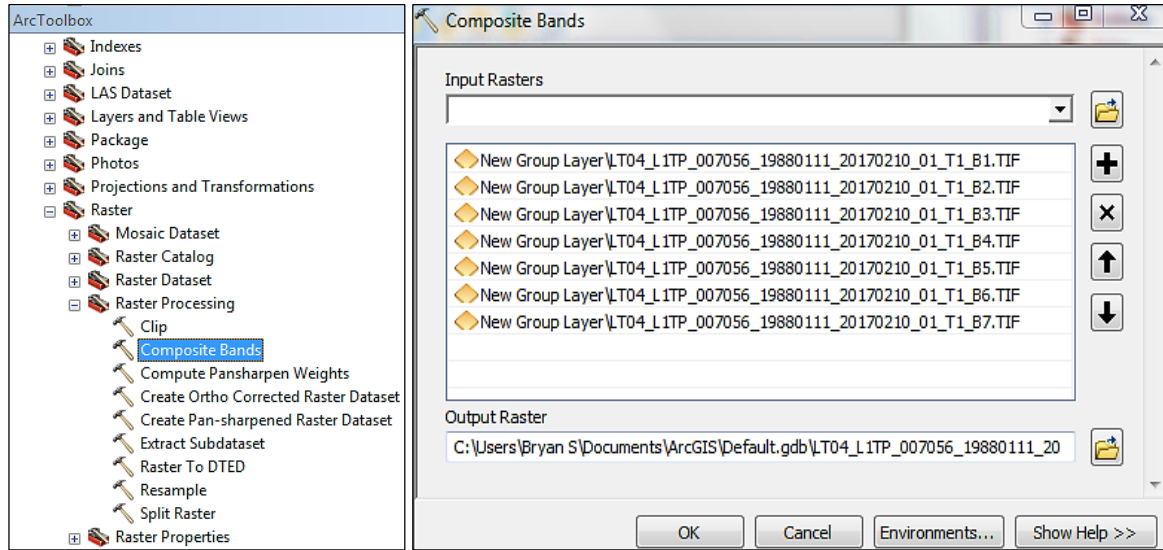
**Fuente.** <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

## 7.5 COMPOSICIÓN DE BANDAS

Las imágenes multiespectrales Landsat permiten hacer combinaciones facilitando el análisis de elementos específicos en el terreno como la cobertura vegetal, discriminar formaciones geológicas, áreas de interés forestal, cuerpos de agua, centros urbanos, entre otros.

La combinación de bandas en el orden azul, verde y rojo arrojan un color natural en la imagen, pero pueden ser combinadas en otro orden para facilitar la interpretación teniendo como resultado el denominado falso color, el cual resulta de gran utilidad para identificar diferentes tipos de coberturas. Es importante tener en cuenta que no todas las combinaciones espectrales se pueden realizar de igual manera en las imágenes satelitales, debido a que están condicionadas al tipo y numero de bandas que componen la imagen. Para las imágenes descargadas se realizaron diferentes composiciones teniendo en cuenta sus características, con el fin de facilitar el análisis visual.

**Imagen 14.** Interfaz software ArcGis, herramienta Composite Bands.



Fuente. Software ArcGis 10.2.2.

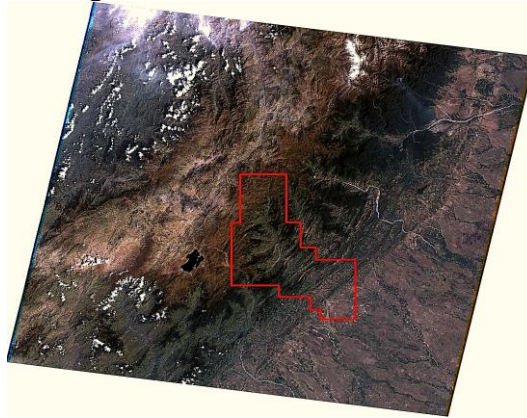
**Tabla 15.** Composición de bandas año 1985.

Año 1985 Landsat 4 (TM), 7 Bandas.		
<b>RGB – 321 Color Natural</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 2: Visible Verde Banda 1: Visible Azul		
<b>Cobertura Vegetal</b> <b>RGB – 432 Falso Color</b> Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo Banda 2: Visible Verde  <b>RGB – 247 Falso Color</b> Banda 2: Visible Verde Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 7: Infrarrojo Medio  <b>RGB – 543 Falso Color</b> Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo	<b>Cuerpos de Agua</b> <b>RGB – 453 Falso Color</b> Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo  <b>RGB – 543 Falso Color</b> Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo	<b>Erosión</b> <b>RGB – 357 Falso Color</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 7: Infrarrojo Medio  <b>RGB – 354 Falso Color</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano

Fuente. Autor.

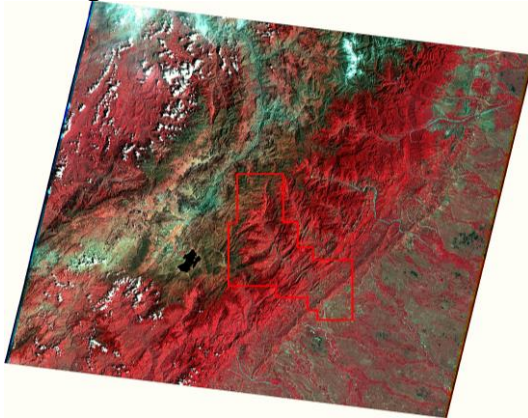
**Tabla 16.** Resultados composiciones de bandas año 1985.

**Imagen 15.** Combinación RGB-321.



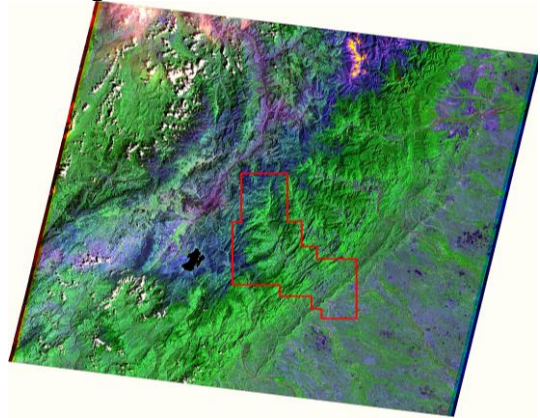
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 16.** Combinación RGB-432.



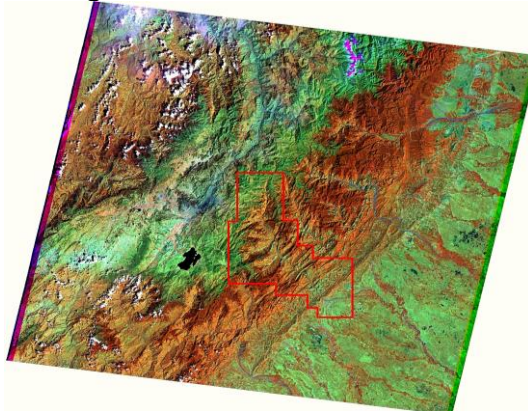
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 17.** Combinación RGB-247.



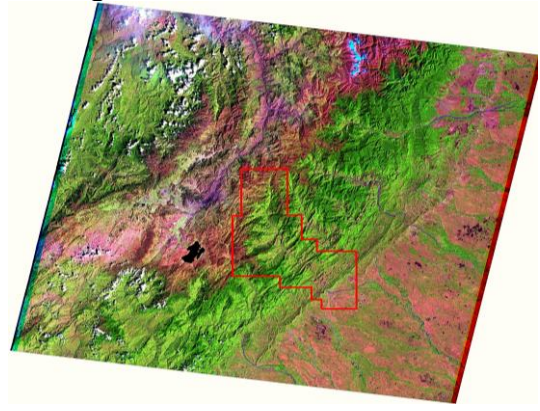
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 18.** Combinación RGB-453.



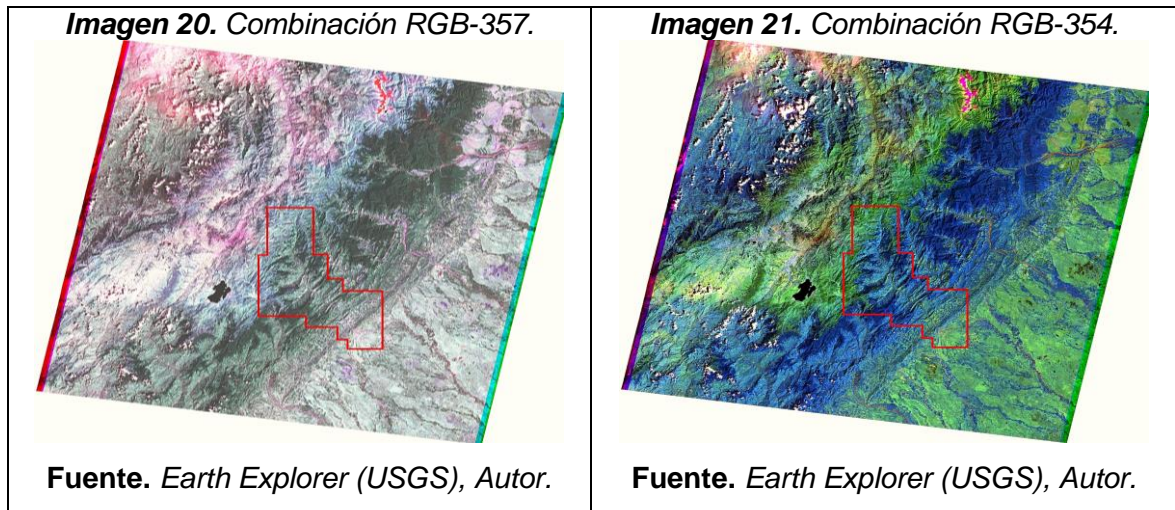
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 19.** Combinación RGB-543.



**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.





**Fuente. Autor.**

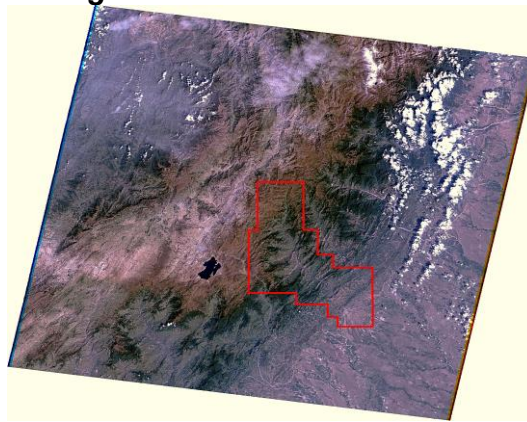
**Tabla 17. Composición de bandas año 1990.**

Año 1990 Landsat 5 (TM), 7 Bandas.		
<p><b>RGB – 321 Color Natural</b></p> <p>Banda 3: Visible Rojo            Banda 2: Visible Verde            Banda 1: Visible Azul</p>		
<p><b>Cobertura Vegetal</b></p>	<p><b>Cuerpos de Agua</b></p>	<p><b>Erosión</b></p>
<p><b>RGB – 432 Falso Color</b>            Banda 4: Infrarrojo Cercano            Banda 3: Visible Rojo            Banda 2: Visible Verde</p> <p><b>RGB – 247 Falso Color</b>            Banda 2: Visible Verde            Banda 4: Infrarrojo Cercano            Banda 7: Infrarrojo Medio</p> <p><b>RGB – 543 Falso Color</b>            Banda 5: Infrarrojo Cercano            Banda 4: Infrarrojo Cercano            Banda 3: Visible Rojo</p>	<p><b>RGB – 453 Falso Color</b>            Banda 4: Infrarrojo Cercano            Banda 5: Infrarrojo Cercano            Banda 3: Visible Rojo</p> <p><b>RGB – 543 Falso Color</b>            Banda 5: Infrarrojo Cercano            Banda 4: Infrarrojo Cercano            Banda 3: Visible Rojo</p>	<p><b>RGB – 357 Falso Color</b>            Banda 3: Visible Rojo            Banda 5: Infrarrojo Cercano            Banda 7: Infrarrojo Medio</p> <p><b>RGB – 354 Falso Color</b>            Banda 3: Visible Rojo            Banda 5: Infrarrojo Cercano            Banda 4: Infrarrojo Cercano</p>

**Fuente. Autor.**

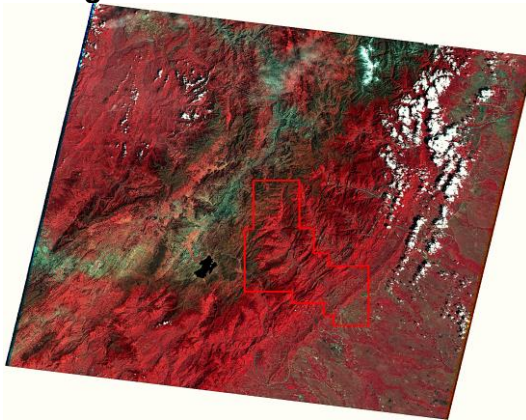
**Tabla 18.** Resultados composiciones de bandas año 1990.

**Imagen 22.** Combinación RGB-321.



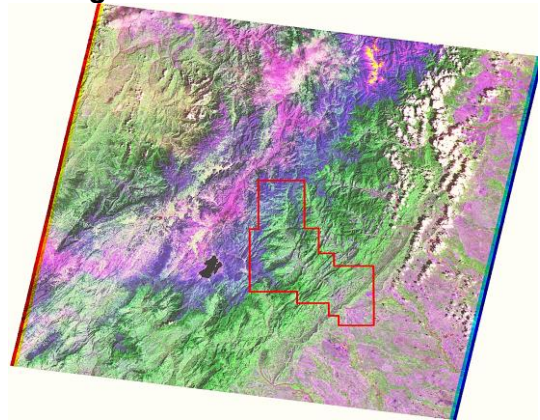
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 23.** Combinación RGB-432.



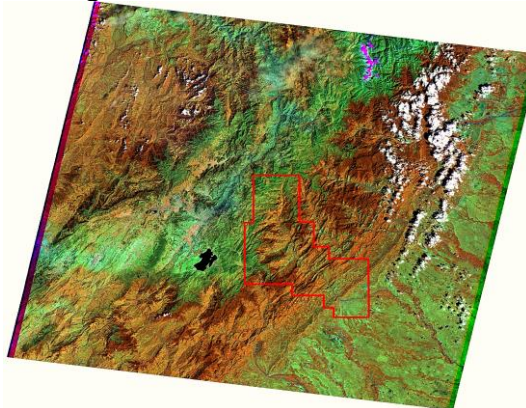
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 24.** Combinación RGB-247.



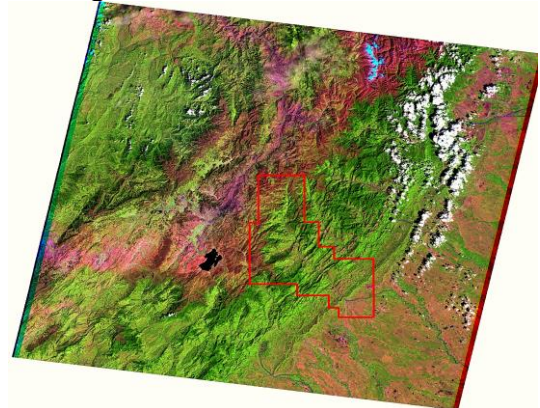
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 25.** Combinación RGB-453.



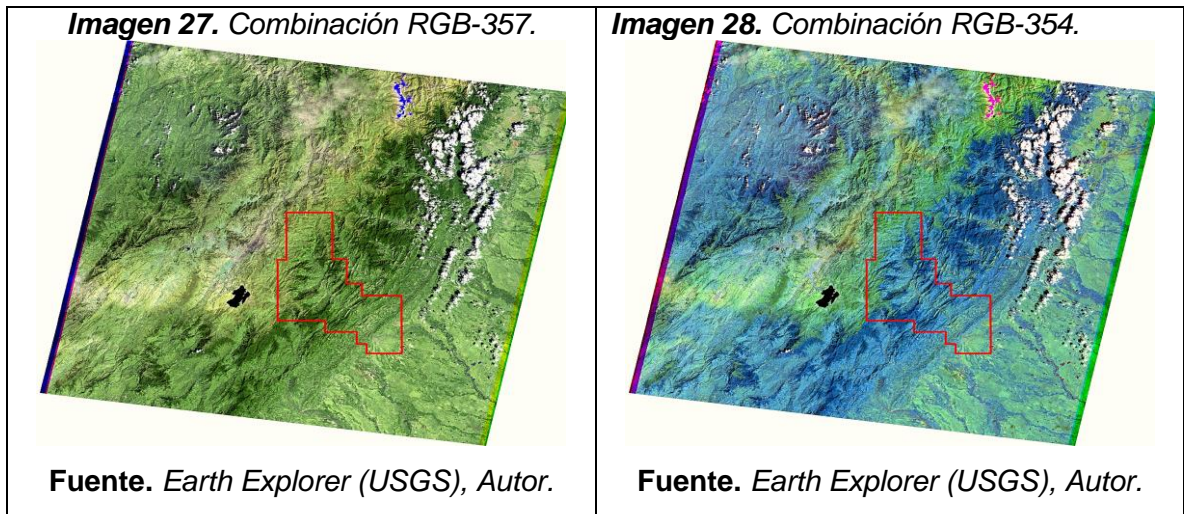
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 26.** Combinación RGB-543.



**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.





**Fuente.** Autor.

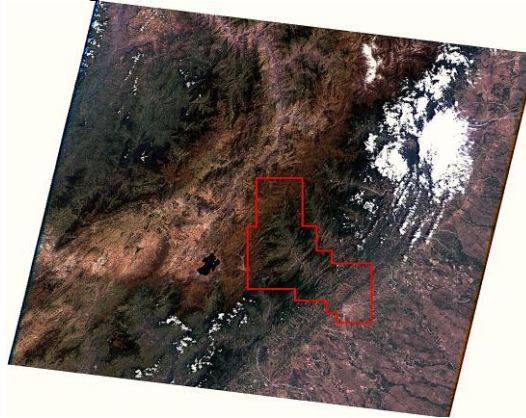
**Tabla 19.** Composición de bandas año 2001.

Año 2001 Landsat 7 (ETM), 8 Bandas.		
<b>RGB – 321 Color Natural</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 2: Visible Verde Banda 1: Visible Azul		
<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>Cuerpos de Agua</b>	<b>Erosión</b>
<b>RGB – 432 Falso Color</b> Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo Banda 2: Visible Verde	<b>RGB – 453 Falso Color</b> Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo	<b>RGB – 357 Falso Color</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 7: Infrarrojo Medio
<b>RGB – 247 Falso Color</b> Banda 2: Visible Verde Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 7: Infrarrojo Medio	<b>RGB – 543 Falso Color</b> Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo	<b>RGB – 354 Falso Color</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano
<b>RGB – 543 Falso Color</b> Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo		

**Fuente.** Autor.

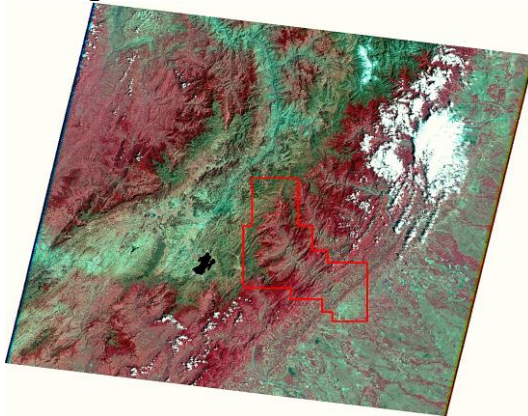
**Tabla 20.** Resultados composiciones de bandas año 2001.

**Imagen 29.** Combinación RGB-321.



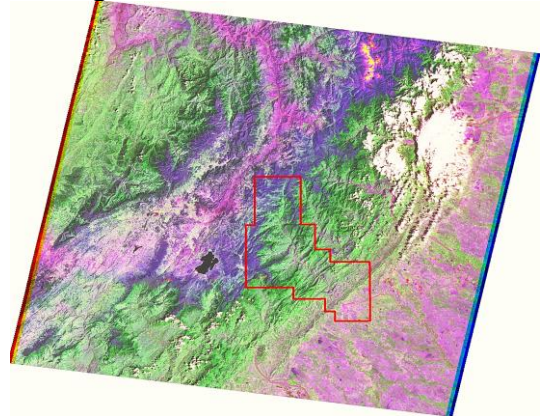
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 30.** Combinación RGB-432.



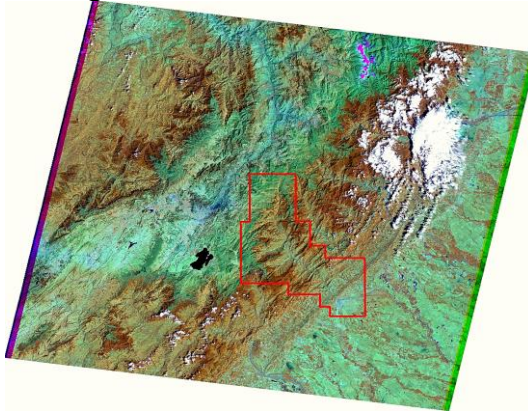
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 31.** Combinación RGB-247.



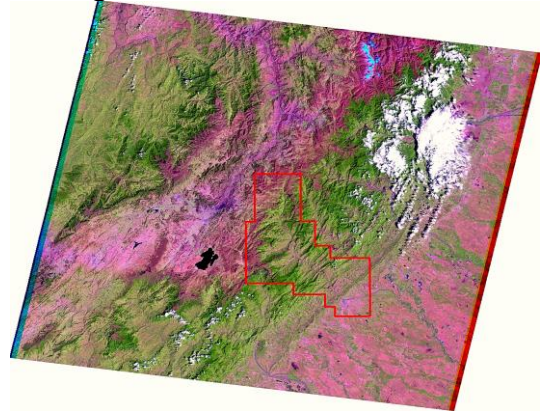
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 32.** Combinación RGB-453.



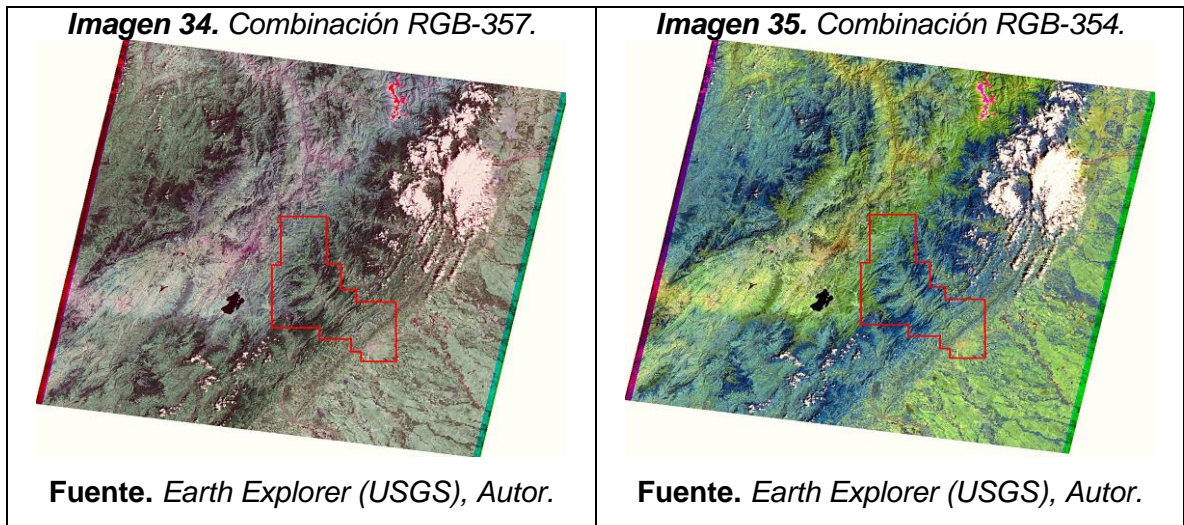
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 33.** Combinación RGB-543.



**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.





**Fuente.** Autor.

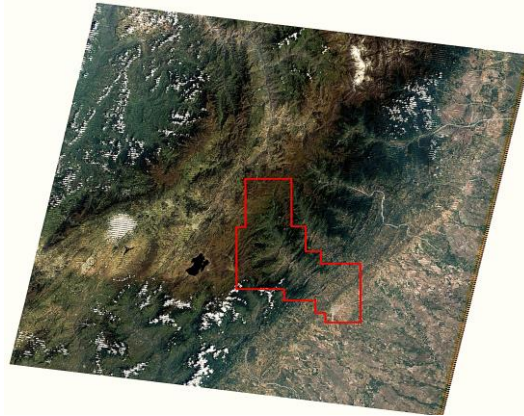
**Tabla 21.** Composición de bandas año 2009.

Año 2009 Landsat 5 (TM), 7 Bandas.		
<b>RGB – 321 Color Natural</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 2: Visible Verde Banda 1: Visible Azul		
<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>Cuerpos de Agua</b>	<b>Erosión</b>
<b>RGB – 432 Falso Color</b> Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo Banda 2: Visible Verde	<b>RGB – 453 Falso Color</b> Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo	<b>RGB – 357 Falso Color</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 7: Infrarrojo Medio
<b>RGB – 247 Falso Color</b> Banda 2: Visible Verde Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 7: Infrarrojo Medio	<b>RGB – 543 Falso Color</b> Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo	<b>RGB – 354 Falso Color</b> Banda 3: Visible Rojo Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano
<b>RGB – 543 Falso Color</b> Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Infrarrojo Cercano Banda 3: Visible Rojo		

**Fuente.** Autor.

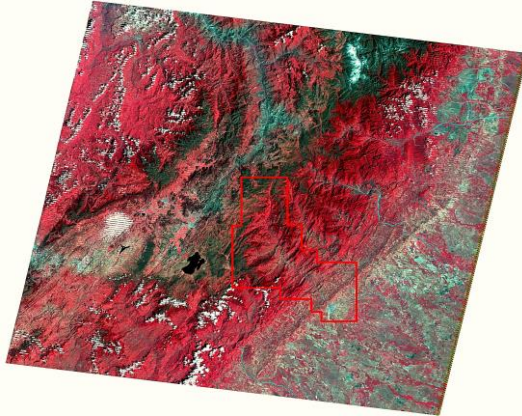
**Tabla 22.** Resultados composiciones de bandas Año 2009.

**Imagen 36.** Combinación RGB-321.



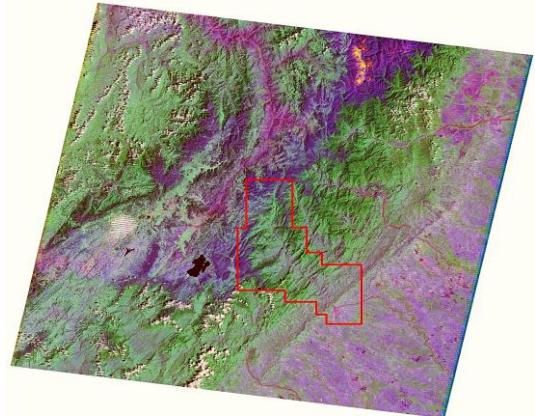
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 37.** Combinación RGB-432.



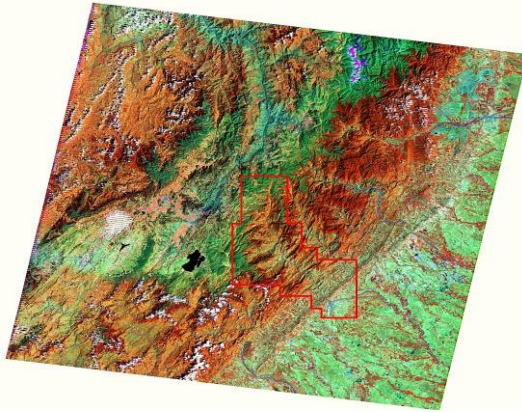
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 38.** Combinación RGB-247.



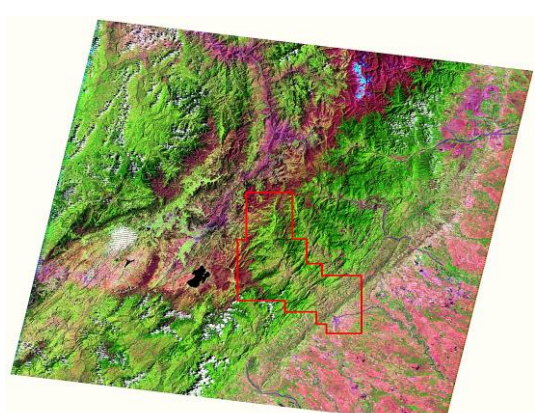
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 39.** Combinación RGB-453.



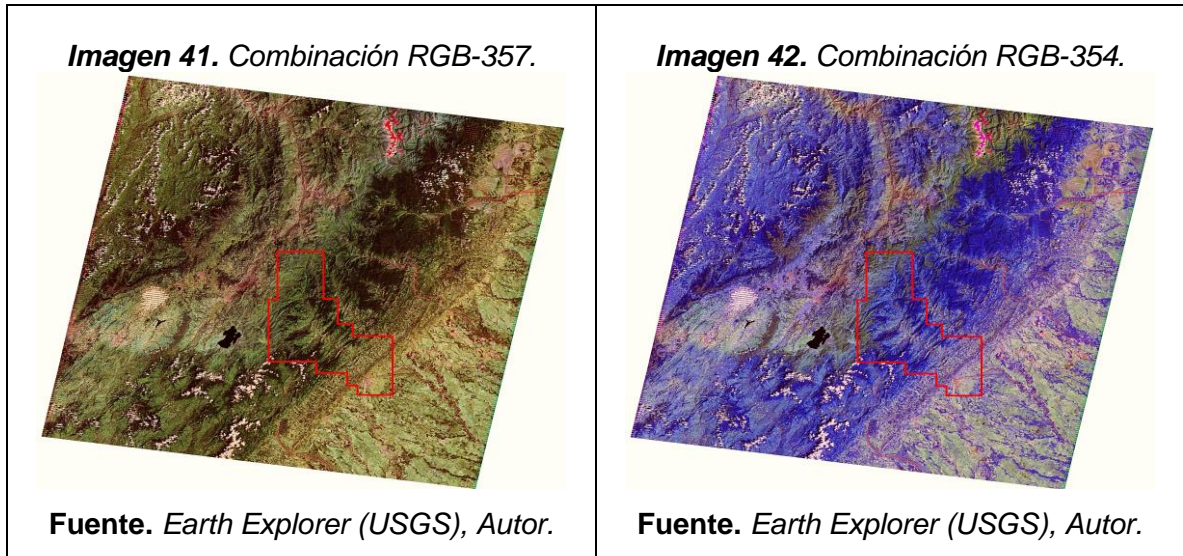
**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.

**Imagen 40.** Combinación RGB-543.



**Fuente.** Earth Explorer (USGS), Autor.





**Fuente. Autor.**

**Tabla 23. Composición de bandas año 2017.**

Año 2017 Landsat 8 (OLI_TIRS), 11 Bandas.		
<p><b>RGB – 432 Color Natural</b></p> <p>Banda 4: Visible Rojo Banda 3: Visible Verde Banda 2: Visible Azul</p>		
Cobertura Vegetal	Cuerpos de Agua	Erosión
<p><b>RGB – 543 Falso Color</b> Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Visible Rojo Banda 5: Visible Verde</p> <p><b>RGB – 357 Falso Color</b> Banda 4: Visible Verde Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 7: SWIR 2</p> <p><b>RGB – 654 Falso Color</b> Banda 6: SWIR 1 Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Visible Rojo</p>	<p><b>RGB – 564 Falso Color</b> Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 6: SWIR 1 Banda 4: Visible Rojo</p> <p><b>RGB – 654 Falso Color</b> Banda 6: SWIR 1 Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 4: Visible Rojo</p>	<p><b>RGB – 467 Falso Color</b> Banda 4: Visible Rojo Banda 5: Infrarrojo Cercano Banda 7: SWIR 2</p> <p><b>RGB – 465 Falso Color</b> Banda 4: Visible Rojo Banda 6: SWIR 1 Banda 5: Infrarrojo Cercano</p>

**Fuente. Autor.**

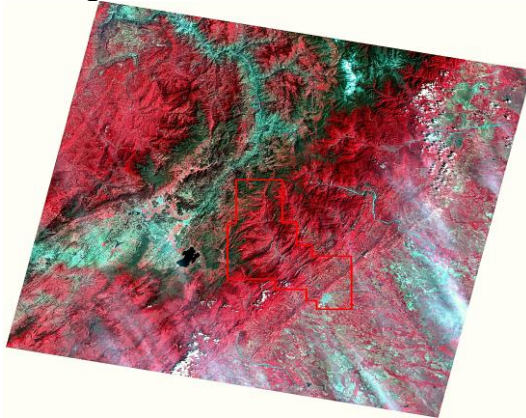
**Tabla 24.** Resultados Composiciones de bandas año 2017.

**Imagen 43.** Combinación RGB-432.



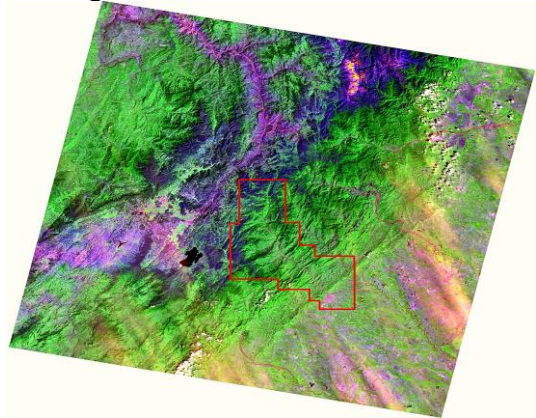
Fuente. Autor.

**Imagen 44.** Combinación RGB-543.



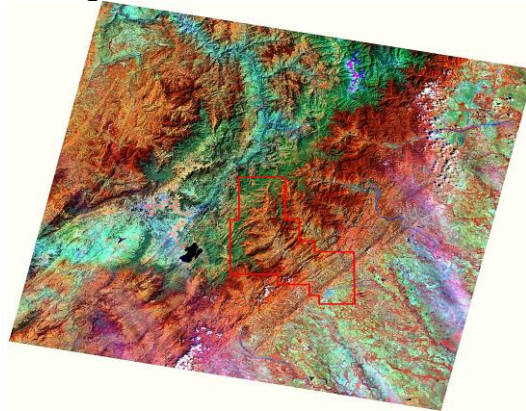
Fuente. Autor.

**Imagen 45.** Combinación RGB-357.



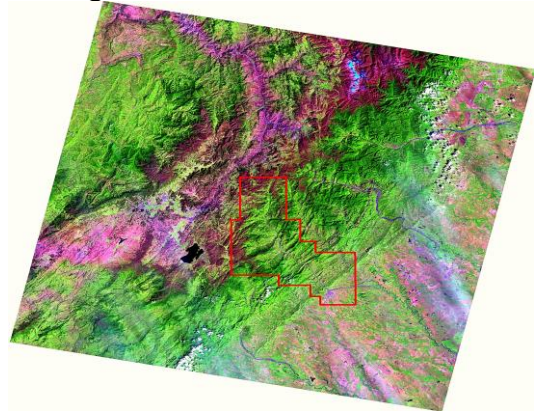
Fuente. Autor.

**Imagen 46.** Combinación RGB-564.



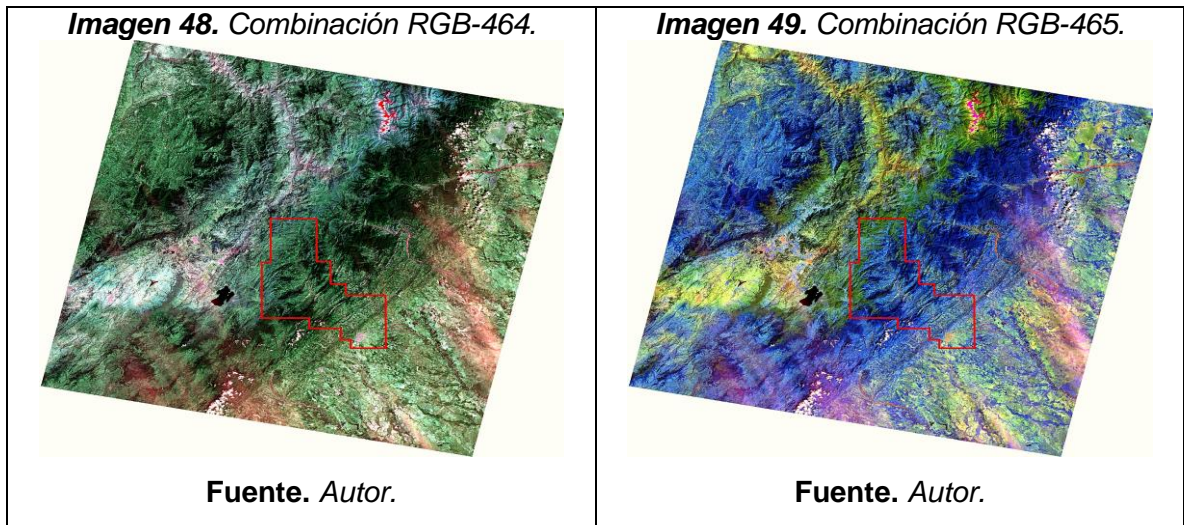
Fuente. Autor.

**Imagen 47.** Combinación RGB-654.



Fuente. Autor.



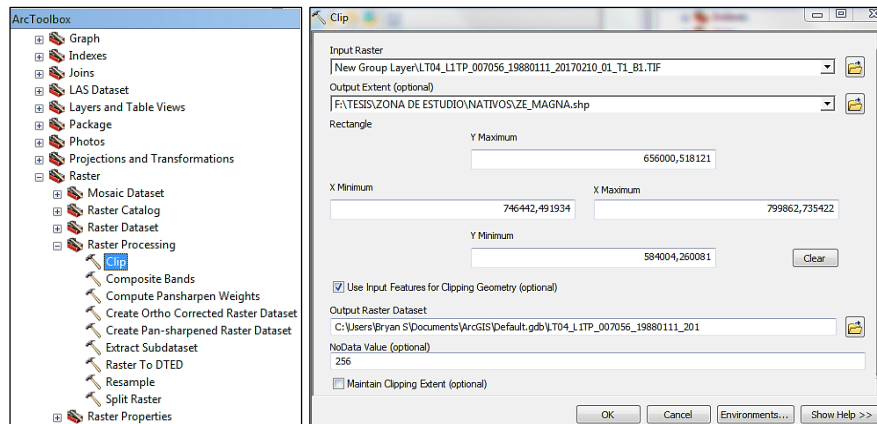


Fuente. Autor.

## 7.6 RECORTE DEL ÁREA DE ESTUDIO

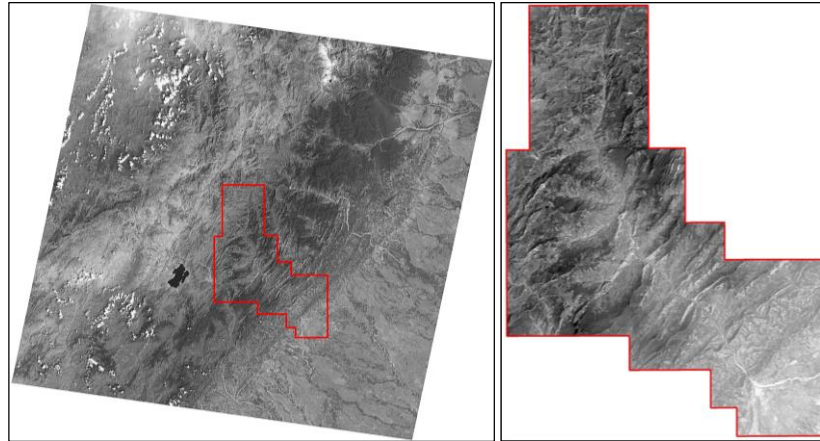
Debido al amplio tamaño de cada escena Landsat es necesario hacer el ajuste al área de estudio. El recorte de las imágenes satelitales se realizó desde el software ArcGis 10.2.2 utilizando la herramienta Clip del Raster Processing, al output raster se le asigna el mismo sistema de coordenadas geográficas del área de estudio (Magna-Colombia-Bogotá).

Imagen 50. Interfaz software ArcGis, herramienta Clip.



Fuente. Software ArcGis 10.2.2.

**Imagen 51.** Recorte del área de estudio.



Fuente. Autor.

## 7.7 CORRECCIONES DE IMÁGENES SATELITALES

Se realizó con el fin de eliminar el ruido y omitir las distorsiones, a partir de la corrección de los datos crudos utilizando diferentes métodos y técnicas de procesamiento.

### 7.7.1 Correcciones geométricas

#### 7.7.1.1 Método puntos de control

En ocasiones las imágenes satelitales no se encuentran asociados a un sistema de referencia espacial y es necesario adaptarlas a otros datos de mayor precisión, este proceso es conocido como georeferenciación y para esto se utiliza la herramienta Georeferencing del software ArcGis.

**Imagen 52.** Interfaz software ArcGis, herramienta Georeferencing.

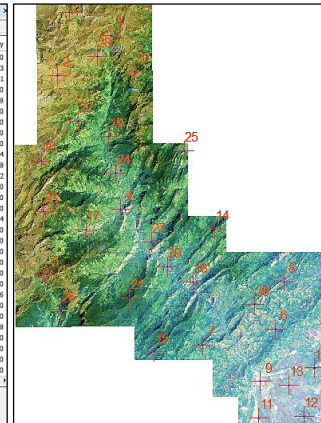


Fuente. Software ArcGis 10.2.2.

Se marca un punto en el dato a corregir y en el dato de referencia, así se marcan diferentes las zonas de fácil identificación, además es importante que los puntos de control estén distribuidos por toda la imagen para alcanzar mayor precisión en la georeferenciación. La localización de los puntos de control es almacenada en una tabla.

Imagen 53. Puntos de control georeferenciación.

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	Inverse_x	Inverse_y	Inverse Residual	F_1_x	F_1_y
1	76326,502315	65045,55520	76334,632225	65045,55520	0	0	0	0	0	0	0	0
2	75930,863900	64370,20830	75927,16810	64370,20830	15,1073	-2,7612	15,3576	14,6376	-2,32691	11,0189	-0,26261	0,248753
3	75115,639800	65465,22960	75113,86770	65465,22960	5,3674	-10,9794	12,232	5,2638	-10,8229	12,0383	-6,1272	0,122911
4	76460,60590	63115,96635	76452,33860	63091,82650	0	0	0	0	0	0	0	0
5	75213,86090	60981,36376	75208,14545	60991,86680	33,2056	0,161023	33,206	33,1473	0,109655	33,1474	0,047678	-0,25718
6	75156,67924	60092,33676	75156,53835	60076,45420	0	0	0	0	0	0	0	0
7	75921,65972	59313,74601	75914,01400	59296,78270	0	0	0	0	0	0	0	0
8	75257,59358	60842,12500	75268,22925	60842,18440	0	0	0	0	0	0	0	0
9	75891,10983	59124,38927	75886,53115	59132,60395	0	0	0	0	0	0	0	0
10	76116,70276	59366,75698	76114,07120	59370,94185	-25,2708	38,7668	47,1273	-25,2113	39,4427	46,8126	-0,339066	-0,067884
11	76852,13387	58339,41530	76829,05240	58318,42440	2,3876	-35,1257	35,1996	1,94771	-33,9048	33,6607	-2,18732	35,8038
12	76320,48910	58516,28179	76314,61265	58515,825075	-9,4599	0,95159	9,48182	-9,40756	0,96646	9,4594	0	0,10592
13	75729,67108	59096,48187	75714,096185	59097,623225	0	0	0	0	0	0	0	0
14	76100,62320	61758,861665	760914,870785	61741,65665	0	0	0	0	0	0	0	0
15	75920,76119	59637,17072	75915,18373	59642,41375	0	0	0	0	0	0	0	0
16	75132,60572	62004,63117	75137,64660	62009,34615	-5,2246	4,3204	35,3133	-54,8117	3,7908	54,9419	54,9428	-1,8234
17	75887,60685	61724,91535	75895,65980	61721,182120	0	0	0	0	0	0	0	0
18	77354,43028	60822,55032	77310,69720	60842,80490	0	0	0	0	0	0	0	0
19	76284,67192	63336,20618	76311,50245	63302,80415	0	0	0	0	0	0	0	0
20	76742,65863	64442,94639	76762,34540	64440,20940	0	0	0	0	0	0	0	0
21	76837,29292	60892,20701	76839,84375	60907,13210	0	0	0	0	0	0	0	0
22	76769,67431	63982,10902	76745,65740	63958,25640	0	0	0	0	0	0	0	0
23	75152,141257	62065,55064	75193,148275	62046,82470	17,662	-3,2927	17,973	18,0805	-3,63528	18,4424	0,46408	-0,42526
24	76400,52120	62711,87720	76381,80385	62704,20820	0	0	0	0	0	0	0	0
25	75759,12817	63918,61470	75723,12535	63908,32880	0	0	0	0	0	0	0	0
26	75447,617847	60362,127877	75436,48435	60353,461270	-30,8872	11,0419	32,8016	-31,1494	11,5971	33,1514	30,7494	-10,8618
27	77016,12814	61394,68309	76914,01960	61300,894785	0	0	0	0	0	0	0	0
28	76911,63621	64708,26659	76900,66760	64701,64805	0	0	0	0	0	0	0	0
29	77391,16238	61171,64349	77365,68720	61167,64265	0	0	0	0	0	0	0	0
30	76766,65154	60422,60814	76794,051210	60400,963175	0	0	0	0	0	0	0	0



Fuente. Software ArcGis 10.2.2, Autor.

Es importante recalcar que las imágenes descargadas han sido localizadas previamente, esta corrección se puede verificar accediendo al Metadato respectivo de la imagen.

Imagen 54. Metadato de imagen satelital Landsat 8 año 2017.

LC08_L1TP_007056_20170116_20170311_02_T1	
Geospatial_Data_Presentation_Form: imagen de teledetección	
Publication_Information:	
Publication_Place: Sioux Falls, Dakota del Sur, EE. UU.	
Editor: US Geological Survey (USGS) Centro de observación y ciencia de recursos terrestres (EROS)	
Online_Linkage: https://lta.cr.usgs.gov/L8	
Descripción:	
Resumen: El archivo del Centro de Observación y Ciencia de los Recursos Terrestres (EROS) del USGS contiene datos recopilados por el conjunto de satélites Landsat, comenzando con Landsat 1 en 1972. Landsat 8, lanzado el 11 de febrero de 2013, es el último sensor Landsat.	
Propósito: El archivo Landsat proporciona una rica colección de información sobre la superficie terrestre de la Tierra. Las principales características de los cambios en la superficie del planeta se pueden detectar, medir y analizar utilizando datos de Landsat. La información que se puede obtener a partir de los datos históricos y actuales de Landsat juega un papel clave en el estudio de los cambios en la superficie a través del tiempo.	
Supplemental_Information: Landsat representa la colección de datos de teledetección terrestre de resolución moderada basada en el espacio más larga del mundo. Como una iniciativa conjunta entre el Servicio Geológico de los EE. UU. (USGS) y la Administración Nacional del Espacio Aeronáutico (NASA), el Proyecto Landsat y los datos recopilados apoyan a comunidades gubernamentales, comerciales, industriales, civiles, militares y educativas de todo Estados Unidos y el mundo. La colección 1 Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) / Thermal Infrared Sensor (TIRS) proporciona una selección controlada por calidad de datos radiométricamente calibrados y consistentemente geolocalizados; se especifican tolerancias de error y precisión geodésicas particulares para alinear píxeles para el análisis de series de tiempo a través del registro Landsat completo. (https://landsat.usgs.gov/landsat-collections)	
Time_Period_of_Content:	
Time_Period_Information:	

Fuente. https://earthexplorer.usgs.gov/.



## 7.7.2 Corrección radiométrica

### 7.7.2.1 Cálculos de valores de radiancia y reflectancia

Los valores de una imagen Landsat o niveles digitales (ND) no son convenientes para obtener un índice espectral usando dichos datos "crudos", ya que los índices espectrales son generados para trabajar con valores de reflectancia respecto a la superficie terrestre. Por esto es necesario transformar los valores ND a valores de reflectancia.

- De niveles digitales a radiancia
- De radiancia a reflectancia aparente

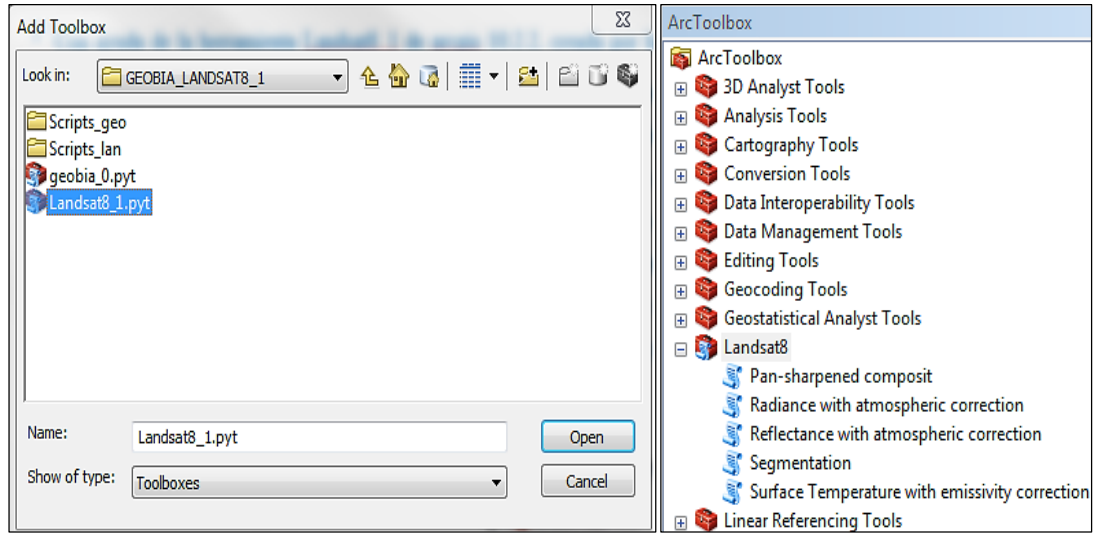
La herramienta Landsat 8 del software ArcGis 10.2.2, ver imagen 55, creada por la University of Gdansk en Polonia por el GIS Centre GEOBIA Landsat8, permite realizar correcciones radiométricas casi de forma automática de imágenes satelitales Landsat con resultados óptimos para su posterior procesamiento.

“Esta herramienta trabaja con la información del Metadato en formato txt de la imagen, este archivo contiene nombres de todas las imágenes, los factores de cambio de escala multiplicativo específico de la banda para radiancia y reflectancia, datos de tiempo, elevación del sol, distancia al sol y mínimo TOA (top of Atmosphere) radiancia en todos los canales”<sup>35</sup>.

---

<sup>35</sup> ORDOÑEZ HOYOS, A. E., & SERNA CASTAÑO, J. P. (2015). ANÁLISIS SUPERFICIAL Y MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+ Y LANDSAT 8 OLI TIRS EN EL PROYECTO CARBONÍFERO LA LUNA. UNIVERSIDAD DE MANIZALES, MANIZALES., p 64.

**Imagen 55.** Interfaz software ArcGis, herramienta Landsat 8\_1.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

### 7.7.2.2 Cálculo de la radiancia espectral

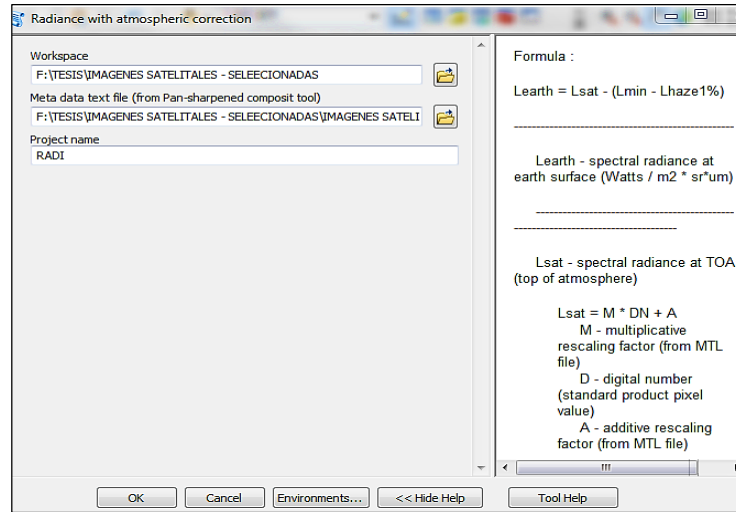
Los niveles digitales DN se transforman en valores de radiancia utilizando coeficientes de re-escalamiento radiométrico desde el archivo metadato de la imagen.

**Figura 14.** Fórmula para el cálculo de la radiancia.

$$L_{sat_{rad}} = DN \times M + A$$

**Fuente.** ORDOÑEZ HOYOS, A. E., & SERNA CASTAÑO, J. P. (2015). ANÁLISIS SUPERFICIAL Y MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+ Y LANDSAT 8.

**Imagen 56.** Interfaz software ArcGis, herramienta Landsat8\_1, radiancia.

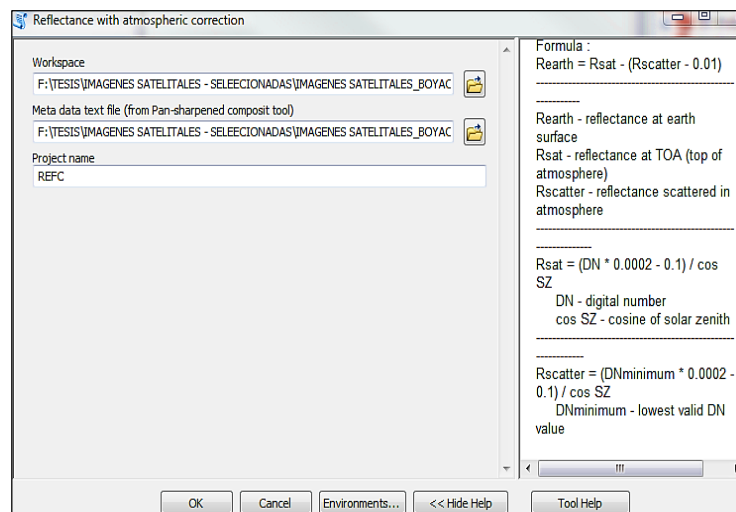


**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

### 7.7.2.3 Cálculo de la reflectancia espectral

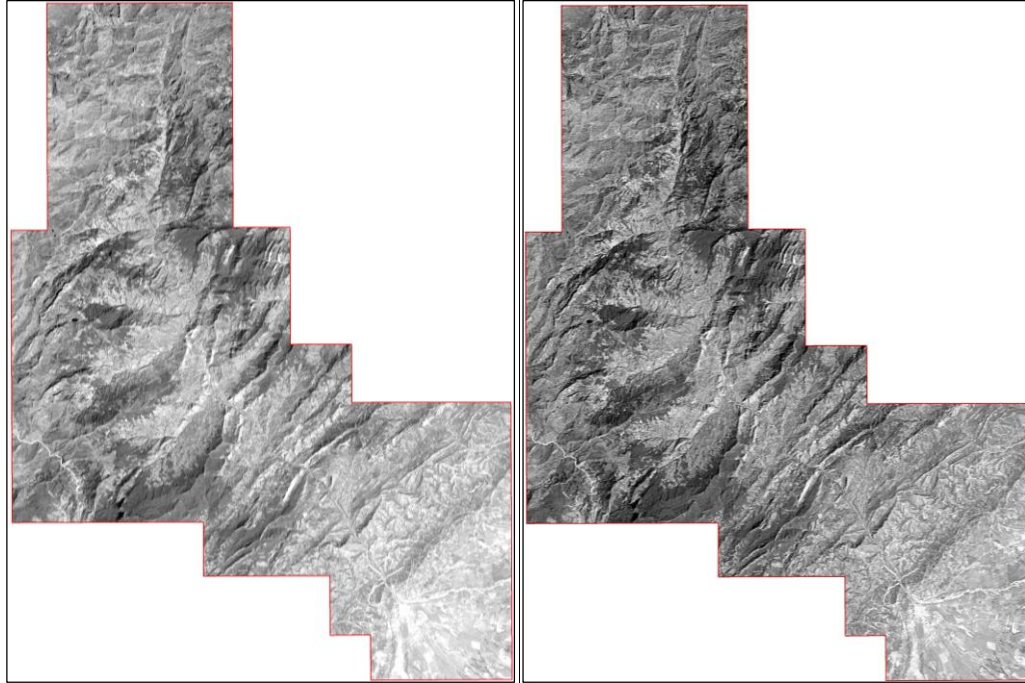
La reflectancia espectral se inicia con la conversión de los niveles digitales a valores de reflectancia TOA. Este porcentaje mínimo es estimado y la reflectancia en la superficie de la tierra es calculada.

**Imagen 57.** Interfaz software ArcGis, herramienta Landsat8\_1, reflectancia.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

**Imagen 58.** Imagen de Landsat 7 año 1990, corrección de radiancia y reflectancia.



**Fuente.** Autor.

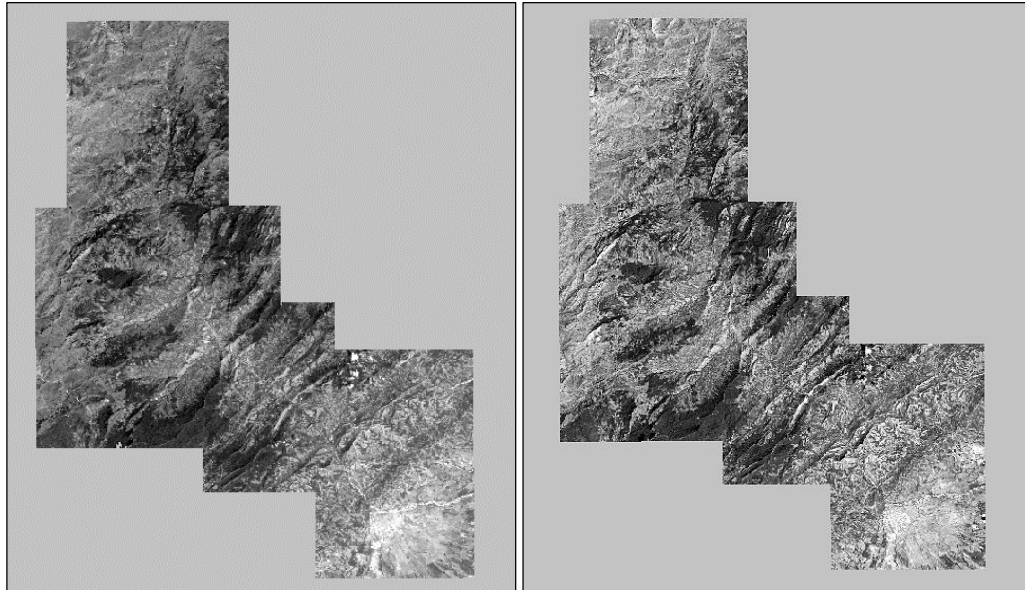
### 7.7.3 Correcciones atmosféricas

#### 7.7.3.1 Método dark object subtraction

El procedimiento usado es el conocido como el Método de Chávez o substracción de píxeles oscuros, el cual toma la reflectancia aparente como resultado de la dispersión atmosférica y ajusta la imagen respecto a los valores inferiores de reflectancia.

Mediante el software Idrisi Selva en el cual está programada la herramienta de corrección atmosférica, se pudo realizar el procesamiento de las bandas de cada imagen satelital.

**Imagen 59.** Imagen de Landsat 8, año 2017 banda 2, corrección Método de Chávez.



**Fuente.** Autor.

## 7.8 REALCES Y MEJORAS DE LAS IMÁGENES

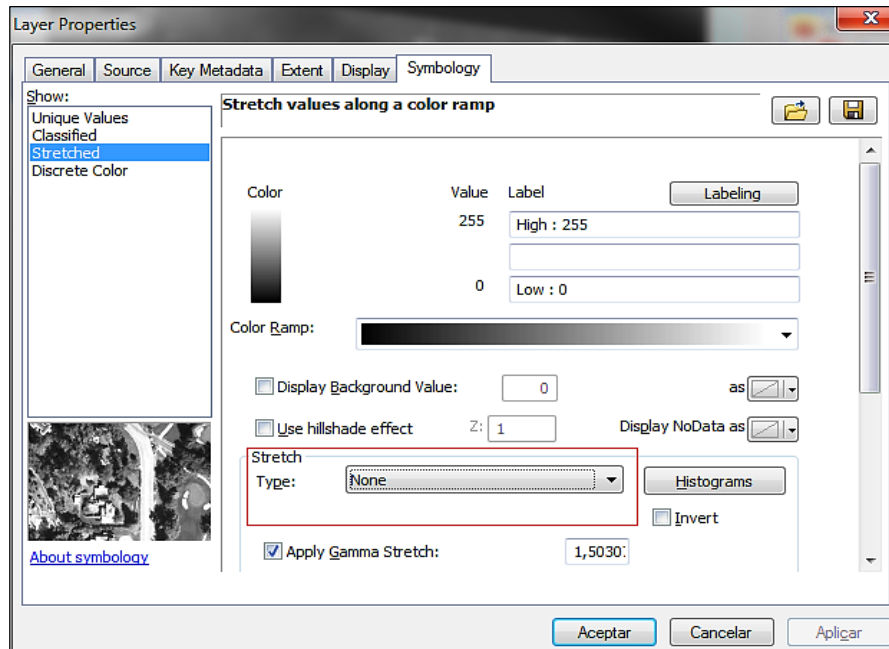
Es el conjunto de técnicas encaminadas a aplicar mejoras a los datos, con el objetivo de facilitar el análisis visual de la imagen.

### 7.8.1 Ajuste del contraste

Durante la captura de datos de teledetección, se produce un grado variable de interferencia por parte de la atmosfera, la cual se sitúa entre el sensor y la superficie escaneada, interferencia que está relacionada con la presencia de gases o diversas moléculas. Para solucionar esto y con el fin de suprimir o realzar ciertas características de la imagen y mejorar su calidad visual, se utilizan técnicas de mejoramiento y realce.

En el software ArcGis existen módulos para el análisis de datos de teledetección, contando con herramientas que mejoran el contraste análogo de las imágenes.

**Imagen 60.** Interfaz software ArcGis, herramienta realce de contraste.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

### 7.8.1.1 None

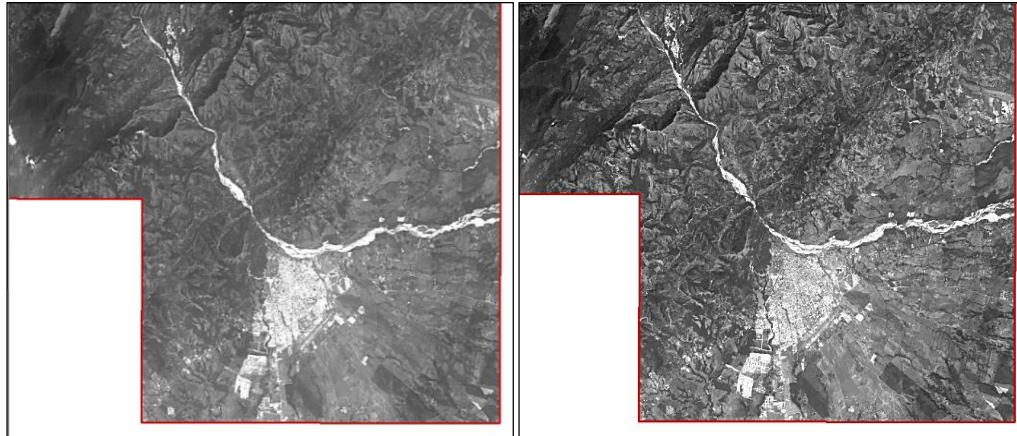
La función None representa un auto escalamiento, donde se puede percibir la imagen desde el negro con un valor de 0, hasta el blanco cuyo valor es 255 asociado a zonas urbanas, escarpes y sedimentos del río.

### 7.8.1.2 Percent clip

El histograma representa agrupación en dirección izquierda de la paleta de despliegue, por lo tanto se tendrá una imagen con tonalidades oscuras, el contraste es bajo en las zonas de alta reflexión.

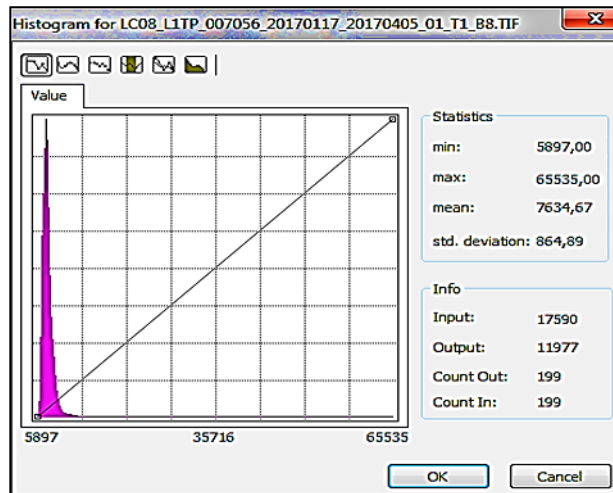


**Imagen 61.** Imagen de Landsat 8, año 2017 banda 2, realce de contraste.



**Fuente.** Autor.

**Imagen 62.** Interfaz software ArcGis, herramienta realce de contraste.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

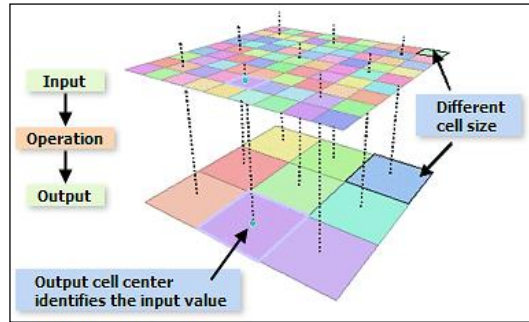
### 7.8.2 Mejora de resolución

“Con ayuda de la herramienta Resample como se muestre en la imagen 63, se modificó el tamaño de la celda y remuestreo en análisis, el tamaño de celda que se estableció en el entorno de análisis es más grueso que el tamaño de celda del ráster de entrada de la herramienta. Durante la ejecución, primero se remuestreará el



ráster de entrada a la resolución más gruesa y, después, se aplicará la herramienta<sup>36</sup>. Pasando de un tamaño de celda de 30 metros a uno de 5 metros.

**Figura 15.** Mejora de resolución.

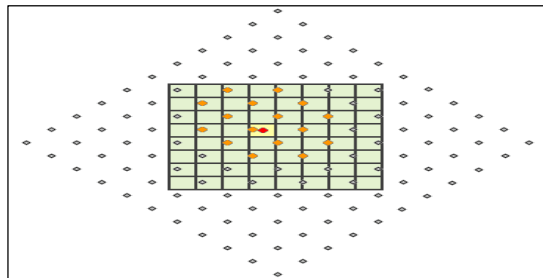


Fuente. *desktop.ArcGis.com*.

### 7.8.2.1 Convolución cúbica

“La convolución cúbica es similar a la interpolación bilineal salvo que la media ponderada se calcula a partir de los 16 centros de celda de entrada más cercanos y sus valores. Los 16 centros de celda de entrada más próximos al centro de la celda de procesamiento están identificados, se calcula la media ponderada y el valor resultante se asigna como el valor de salida a la celda de procesamiento<sup>37</sup>.”

**Figura 16.** Mejora de resolución.

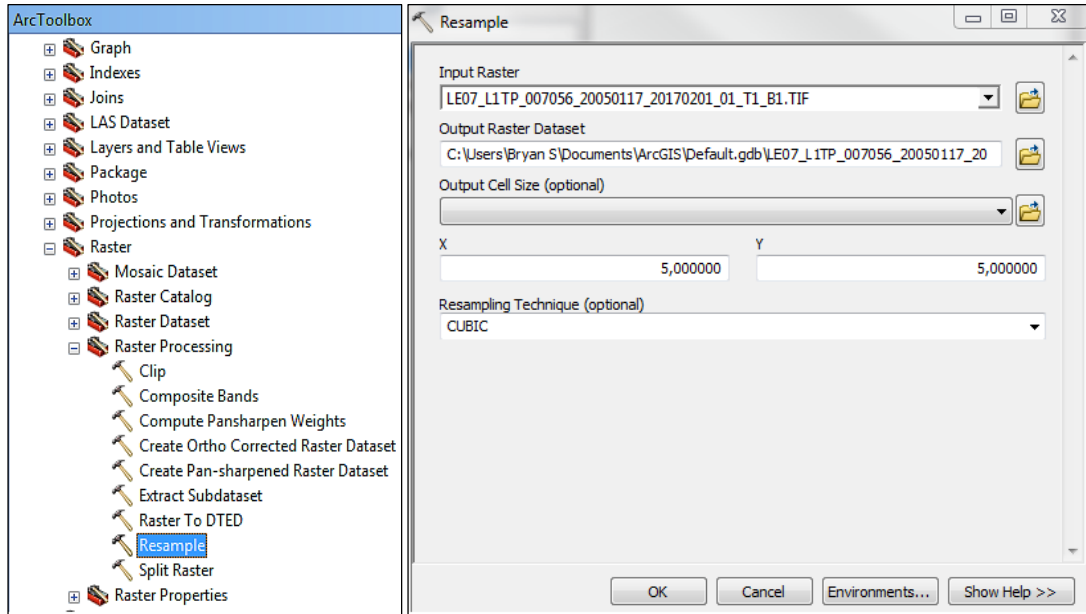


Fuente. *desktop.ArcGis.com*.

<sup>36</sup> ESRI. (s.f.). ArcMap. Obtenido de <https://desktop.ArcGis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/performing-analysis/cell-size-and-resampling-in-analysis.htm>

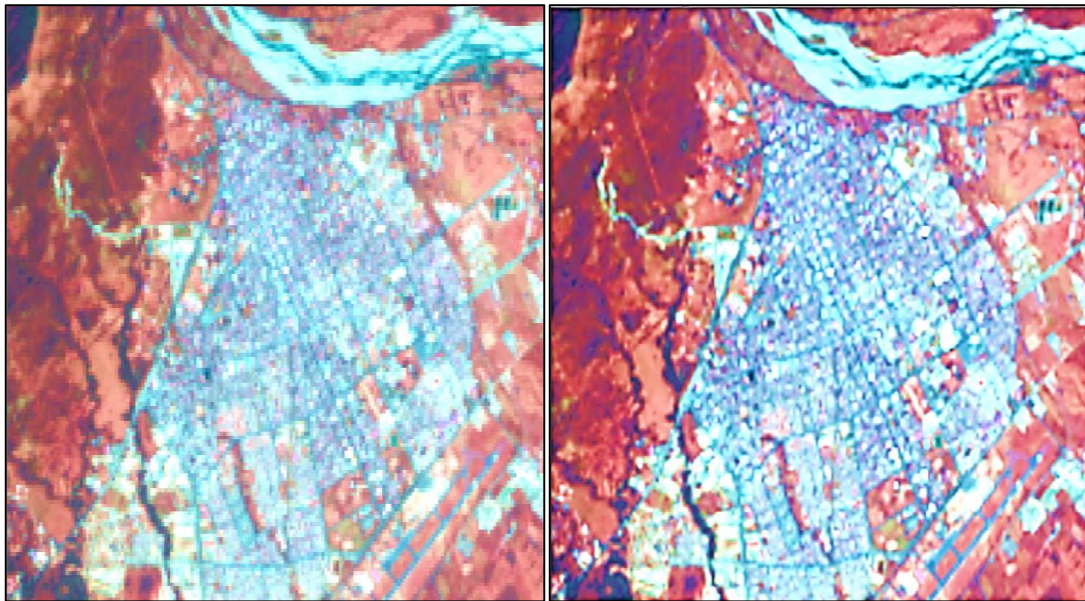
<sup>37</sup> Ibid., p 1.

**Imagen 63.** Interfaz software ArcGis, herramienta Resample.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

**Imagen 64.** Imagen de Landsat 8 del año 2017, mejora de resolución.



**Fuente.** Autor.

## 8. GEOLOGÍA

Las bases geológicas para los departamentos de Boyacá y Casanare a escala 1:100.000, se obtuvieron del Servicio Geológico Colombiano y del INGEOMINAS, por medio de la plataforma Geoportal en formato Pdf.

**Tabla 25.** *Planchas geológicas a escala 1:100.000.*

No. DE PLANCHA	SECTOR	AÑO	AUTORES
172	PAZ DE RÍO	2014	Álvaro Guerra, Ricardo Escobar, Carlos E. Ulloa.
173	TÁMARA	2015	CONSORCIO GSG ( INGEOMINAS - SERVIMINAS - GEMI)
192	LAGUNA DE TOTA	2009	Carlos E. Ulloa, Erasmo Rodríguez, Ricardo Escobar
193	YOPAL	2013	Diana Montoya, Alejandro Numpaque, Claudia Martín, Fernando Alcarcel,
212	AGUAZUL	2010	Convenio UIS - INGEOMINAS

**Fuente.** *Servicio Geológico Colombiano (SGC), INGEOMINAS, Autor.*

Las planchas contienen información sobre litología, estructuras y fallas, estos factores permiten la caracterización litoestratigráfica de las unidades a la escala de estudio. En las respectivas memorias explicativas se encuentran las descripciones detalladas de los elementos geológicos presentes en el mapa y su localización geográfica.

## 8.1 ESTRATIGRAFÍA

La ubicación de la cuenca en inmediaciones del flanco oriental de la cordillera Oriental, piedemonte llanero y parte de los llanos Orientales, lo enmarca bajo la acción tectónica de las placas de Nazca, Caribe y Sur Americana, que han ocasionado el levantamiento de esta. Dicha cordillera se encuentra sobre materiales protolito de corteza continental y posteriormente metamorfizados e intruidos por magmas félsicos, acompañados por una secuencia de sedimentitas y metasedimentitas paleozoicas y otra de sedimentitas que inicia en el jurásico finalizando en el terciario, en donde se inicia la depositación de los materiales cuaternarios de origen glacial, aluvial y coluvial.<sup>38</sup>

Geológicamente el área se ubica sobre la cordillera Oriental y el Piedemonte Llanero con secuencias estratigráficas sedimentarias de edades Cretácicas, Paleógenos y Cuaternarias las cuales obedecen a la historia geológica de dos tipos de ambientes uno de la formación de la cordillera Oriental y otro de piedemonte llanero. A finales del Jurásico las áreas continentales sufrieron subsidencia y dieron paso a un periodo de sedimentación marina. En el Cretáceo medio las condiciones de deposición cambiaron a un ambiente litoral en donde se depositaron las areniscas de la Formación Une. Durante el Cretáceo superior el área de depósito debió sufrir hundimientos constantes, quedando una zona semiestable en donde se depositaron arcillas, areniscas y niveles calcáreos correspondientes a la Formación Chipaque. A finales del Cretáceo superior hay regresión marina y comienza una fase de sedimentación continental que abarca hasta el Oligoceno

---

<sup>38</sup> CONSULTORES, E. I. (2015). PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR. CAPÍTULO 5, EVALUACIÓN DEL COMPONENTE GEOESFÉRICO DE LA CUENCA. CORPORINOQUIA, UAESPNN Y CORPOBOYACÁ. Boyacá, Casanare., p 8. Obtenido de: <http://www.corpoboyaca.gov.co/ventanilla/pomca-cravo-sur/>.

superior donde se depositan secuencias de las Formaciones Guaduas, Socha Inferior, Socha Superior y Picacho. A principios del Terciario superior ocurrieron los primeros movimientos de la Orogenia Andina que plegó, fallo y levantó la actual Cordillera Oriental. Durante el Cuaternario se depositaron sedimentos de tipo continental representados en el área por depósitos aluviales y coluviales<sup>39</sup>.

### 8.1.1 Cretáceo Inferior

#### 8.1.1.1 Formación Lutitas de Macanal (Kilm)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Mongua, Labranzagrande, Pajarito y Paya. Se encuentra asociada a la secuencia de los anticlinales La Horqueta, Cravo Sur, Del Río Suncé, El Cochal, y los sinclinales La Horqueta y El Desespero.

Litológicamente está constituida según Ulloa & Rodríguez (1979), por una sucesión de capas de lutitas negras, piritosas, ligeramente calcáreas, con nódulos alargados, generalmente arenosos y orientados en forma paralela a la estratificación, con intercalaciones de arenitas finas de cuarzo, grises oscuras, cemento silíceo, en capas medias a gruesas. Su espesor es de 2.935 metros, Etayo (1983). A esta formación se le atribuye una edad Titoniano a Valanginiano, Bürgl (1960). El límite superior de la Formación Lutitas de Macanal es concordante con la Formación Areniscas de Las Juntas y la parte inferior del Grupo Cáqueza, Hubach (1961).<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> CONSULTORES, E. I. (2015). POMCA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR. Op cit., p 8.

<sup>40</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003). MEMORIA EXPLICATIVA Geología de la Plancha 172 Paz de Río, ESCALA 1:100.000. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, INGEOMINAS., Bogotá D.C., p 62.

Esta unidad aflora al borde oriental entre las poblaciones de Mongua (Cuchillas Mundo Nuevo y Frailes), en Labranzagrande se localiza en la Vereda Mundo Nuevo, también se sitúa en la localidad de Aquitania hacia el SE del Páramo de Franco y en la Vereda Guayabal (Alto de la Periquera), en Pajarito abarca un área importante localizada entre las Veredas La Chácara, Peña alta y Sabanalarga, en estos sectores la formación es afectada por acción de la Falla de Pajarito. Hacia el sector noreste de la plancha 193 Se localiza en de veredas Tutasá, San José, Quebrada Negra, El Abejón, y hace parte de anticlinal de Paya en cercanías al Río Cravo Sur y el Río Payero.

#### 8.1.1.2 Formación Areniscas de Las Juntas (Kiaj)

Cartografiada en el departamento de Boyacá principalmente en los municipios de Socatá, Mongua, Aquitania, Labranzagrande, Pajarito y Paya. Está asociada a los anticlinales La Horqueta, Cravo Sur, El Cochal, Del Río Suncé y a los sinclinales La Horqueta y El Desespero.

Litológicamente se compone según Ulloa & Rodríguez (1979), por una sucesión de capas de arenitas finas a medias, de cuarzo, grises claras a blancas, cemento silíceo, a veces calcáreo, en capas delgadas a muy gruesas, micáceas, altamente piritosas, con juegos en pequeña escala, de láminas inclinadas paralelas, con intercalaciones de lodolitas grises oscuras a negras, en capas delgadas y ondulosas. Su espesor varía entre los 500 metros, Hubach (1945). La edad asignada para esta unidad, corresponde al Hauteriviano, Hubach (1945) y Bürgl (1958). El ambiente de depositación corresponde a un ambiente marino deltaico. Esta formación se correlaciona con el Grupo Cáqueza, Hubach (1957).<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 62.



Se encuentra distribuida al borde noreste de la población de Mongua bordeando las chuchillas Mundo Nuevo y Frailes, en Aquitania aflora en las Chuchillas Los Chitales y Laja Blanca, en Labranzagrande se encuentra situado hacia el noroeste de la Vereda Guayabal.

#### 8.1.1.3 Formación Fómeque (Kif)

Se encuentra ubicada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socatá, Gámeza, Mongua, Pisba, Aquitania, Labranzagrande, Pajarito y Paya. Está asociada a los anticlinales La Horqueta, Cravo Sur, El Cochal, Del Río Suncé y a los sinclinales La Horqueta y El Desespero.

Litológicamente está constituido según Hubach (1931), por lodolitas negras, en capas delgadas, estratificación ondulosa no paralela, con intercalaciones muy frecuentes de calizas negras, en capas gruesas y muy gruesas, plano paralelas, y cuarzoarenitas de grano fino, grises oscuras a negras, cemento síliceo, a veces calcáreo, en capas medias y gruesas, plano paralelas. Tiene un espesor de 500 a 600 metros, Hubach (1945). La unidad fue depositada en un ambiente marino somero y la edad se le atribuye como Barremiano medio hasta el Aptiano superior, Hubach (1957). Esta unidad es correlacionable con la parte media de la Formación Tibasosa y su parte superior con la Formación Tibú - Las Mercedes, (Ulloa 2001).<sup>42</sup>

Aflora en el municipio de Aquitania al costado oriental donde es afectada por las Fallas Hirva y Cedral-Romazal, continuando su línea de afloramiento en el municipio de Pajarito se localiza hacia el borde noreste, en Labranzagrande se encuentra hacia el sector suroeste donde es cortada por el río Cravo Sur y el río Payero, también se puede observar en la zona sur del municipio de Mongua.

---

<sup>42</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 63.



#### 8.1.1.4 Formación Une (Kiu)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Gámeza, Mongua, Pisba, Aquitania, Labranzagrande, Pajarito y Paya, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. Está asociada a los anticlinales La Horqueta, Monterralo, Cravo Sur, Del Río Suncé, El Cohcal, Peña Blanca, y a los sinclinales La Horqueta, El Crisol, El Desespero y Las Blancas. Influenciada por acción del Sistema de Fallas de Guaicáramo.

Litológicamente se compone según Hubach (1957), por arenitas de cuarzo de grano fino a grueso, en paquetes hasta de 60 m de espesor, con estratificación plano paralela a inclinada no paralela y laminación inclinada; algunos de los paquetes son micáceos. Los estratos de arenisca están separados por pequeñas intercalaciones de lodolitas gris oscuro a negras. Presenta un espesor de 320 metros, Hubach (1957). La edad de esta unidad se definió como Albiano medio al Cenomaniano, Bürgl (1957). Se correlaciona con la Formación Aguardiente, Campbell (1962).<sup>43</sup>

En Aquitania se localiza al borde oeste y se extiende en una franja alargada, moderadamente delgada en dirección norte-sur, en menor media se encuentra aflorando en las población de Mongua en los sectores Loma El Chital, Peñas de Piedra y EL Campanario y en Pajarito en la Vereda Usamena, también se encuentra en El Morro y muy cerca al municipio de Labranzagrande.

---

<sup>43</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., Fuquen, J., & Acosta, J. (2001). MEMORIA EXPLICATIVA Geología de la Plancha 192 Laguna de Tota, ESCALA 1:100.000. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, INGEOMINAS., Bogotá D.C., p 17.

## 8.1.2 Cretáceo superior

### 8.1.2.1 Formación Chipaque (Ksc)

Unidad geológica cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Tasco, Gámeza, Mongua, Pisba, Labranzagrande, Pajarito y Paya, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. Está asociada a la secuencia del anticlinal Peña Blanca y a los sinclinales, El Crisol, El Desespero y Las Blancas. Influenciada por acción del Sistema de Fallas de Guaicáramo.

Litológicamente está constituida según Hubach (1931), principalmente por lodolitas negras, en capas muy delgadas, plano paralelas, con intercalaciones frecuentes de calizas grises, oscuras a negras, en capas delgadas y gruesas, plano paralelas y fosilíferas. Con un espesor total de 220 metros, Hubach (1957). La edad atribuida para esta unidad se basa en la posición estratigráfica y se encuentra en el periodo Cretáceo superior entre el Cenomaniano, Turoniano y Coniaciano, Guerrero y Sarmiento (1996). El ambiente de depósito según Guerrero & Sarmiento (1996), refleja zonas de bahías someras, zonas inundadas con depósitos de pantanos, lagunas costeras, llanuras de marea en un régimen de baja energía dominado por olas. La Formación Chipaque se puede correlacionar con el Grupo Churuvita, RENZONI (1967).<sup>44</sup>

Se localiza principalmente en la población de Labranzagrande en las Veredas Tobacá, Cuasa y Hato Viejo, además aflora de forma paralela a la margen derecha aguas abajo del Río Chiquito, donde hace parte del núcleo del Sinclinal El Desespero.

---

<sup>44</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 69.

#### 8.1.2.2 Formación Lidita Dura (K2ld)

Se ubica en el departamento de Boyacá en los municipios de Pisba y Labranzagrande. Está asociada a la secuencia del sinclinal El Desespero.

Litológicamente se compone según Guerrero & Sarmiento (1996), de estratos gruesos a muy gruesos de arenisca cuarzosa intercaladas con lutitas negras, presenta laminación plano paralela, con un espesor de 88 metros. Con base en análisis bioestratigráficos se asume una edad del Campaniano tardío a Maastrichtiano temprano, Vergara & Rodríguez (1995).<sup>45</sup>

Aflorando en el municipio de Labranzagrande en las Veredas, Cuasa y Hato Viejo.

#### 8.1.2.3 Formación Plaeners (Ksgp)

Se encuentra ubicada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Socha, Tasco, Gámeza, Pisba y Labranzagrande. Está asociada al sinclinal El Desespero.

Litológicamente está compuesto según Hubach (1957), por lodolitas calcáreas gris oscuras en estratos delgados con intercalaciones de limolitas síliceas gris claras en capas medias a gruesas y ocasionales niveles de chert negro. En las limolitas y lodolitas se observaron niveles de foraminíferos y en las areniscas niveles con roca fosfórica, tiene un espesor promedio de 94 metros. La edad que se le asigna a esta unidad corresponde al Campaniano tardío a Maastrichtiano, Pérez & Salazar (1978). Es correlacionable con la Formación La Luna del Departamento de Santander.<sup>46</sup>

---

<sup>45</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., Fuquen, & Acosta, (2001), Plancha 192 Laguna de Tota. Op cit., p 25.

<sup>46</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 75.

#### 8.1.2.4 Formación Los Pinos (Ksgpi)

Unidad geológica cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Socha, Tasco y Gámeza.

Litológicamente se compone según Ulloa & Rodríguez (1979), de areniscas de cuarzo de grano fino a medio, con intercalaciones de arcillolita negra fisible, lutitas y limolitas negras con intercalaciones de caliza. Presenta un espesor de 102 metros. La edad de esta formación es del Campaniano hasta Maastrichtiano inicial, según Fabre (1986). Es correlacionable con la Formación Colon.<sup>47</sup>

#### 8.1.2.5 Formación Arenisca Tierna (Ksgt)

Localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Socha, Tasco, Gámeza, Pisba y Labranzagrande. Está asociada al sinclinal El Desespero.

En la cartografía del miembro que representa el techo del Grupo Guadalupe, se compone litológicamente según Hubach (1957), por cuarzoarenitas de grano fino a grueso, con colores grises claros, grises oscuros a amarillentas, algo friables, en estratos delgados a gruesos con estratificación plano paralela, ondulosa e inclinada, con un espesor promedio de 130 metros. La edad se considera Maastrichtiano, Bürgl (1961). Se correlaciona con la Formación Mito Juan, Alvarado & Sarmiento (1944).<sup>48</sup>

---

<sup>47</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 77.

<sup>48</sup> Ibid., p 77.

#### 8.1.2.6 Formación Guaduas (KPgg)

Cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Tasco, Gámeza, Pisba y Labranzagrande. Está asociada a los sinclinales El Desespero y Picacho.

Litológicamente está compuesto según Hubach (1957), por arcillolitas grises oscuras a negras, en capas delgadas, con esporádicas intercalaciones de cuarzoarenitas de granos finos, grises claras, amarillentos y rojizos por meteorización, cemento silíceo, matriz arcillosa, en capas delgadas y medias, con estratificación ondulosa no paralela; y forma sucesiones variables, se presentan intercaladas capas de carbón, en su mayor parte meteorizadas. Tiene un espesor promedio de 210 metros, Alvarado & Sarmiento (1944). Esta unidad pertenece al Maastrichtiano, van der Hammen (1957).<sup>49</sup>

Aflora en el municipio de Gámeza en la Vereda Guanto, en Tasco hacia los alrededores de las Veredas Santa Bárbara y Pedregal, en Socha hacia el extremo sur en límites con Tasco y Socotá se encuentra al costado occidental afectada por lineamiento de la Falla Cardillal.

### 8.1.3 Paleógeno - región de Paz de Río

#### 8.1.3.1 Formación Areniscas de Socha (Pgars)

Ubicada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Tasco, Gámeza y Pisba. Asociada a la sucesión de los sinclinales El Desespero, Mesalta y Picacho.

---

<sup>49</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 81.



Litológicamente se compone según Alvarado & Sarmiento (1944), por una sucesión de capas de cuarzoarenitas de grano fino a medio, blancas, grises pardos y grises amarillentas, cemento silíceo, en capas delgadas a muy gruesas, con esporádicas intercalaciones de arcillolitas grises claras y rojizas, con un espesor de 156 metros. Esta unidad pertenece al Paleoceno, Van der Hammen (1957). Es correlacionable con la Formación Barco en el área de Santander.<sup>50</sup>

#### 8.1.3.2 Formación Arcillas de Socha (Pgas)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Socha y Tasco. Asociada a la sucesión de los sinclinales Mesalta y Picacho.

Litológicamente se compone según Alvarado & Sarmiento (1944), por sucesión de capas de arcillolitas grises claras a oscuras, que por meteorización dan tonalidades amarillentas y rojizas. Son frecuentes las intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino, grises claras, que por meteorización adquieren coloraciones amarillentas y rojizas, con cemento silíceo y estratificadas en capas delgadas y gruesas, plano paralelas. El espesor oscila entre los 190 y 250 metros. La edad se estima en el Paleoceno superior, Van der Hammen (1957). Se correlaciona palinológicamente con la Formación Bogotá.<sup>51</sup>

#### 8.1.3.3 Formación Picacho (Pgp)

Cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Socha y Tasco. Asociada al sinclinal Mesalta.

<sup>50</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 85.

<sup>51</sup> Ibid., p 87.

Litológicamente está compuesta según Alvarado & Sarmiento (1944), por una sucesión de cuarzoarenitas de grano medio hasta conglomerático, grises claras a blancas, con tonalidades amarillentas y rojizas por meteorización, friables, con cemento silíceo, en capas gruesas a muy gruesas, con juegos a pequeña y mediana escala de láminas inclinadas. Alcanza un espesor de 130 metros. La edad de esta unidad se estima en el Eoceno temprano, Germeraad (1968). Se correlaciona con la Formación San Fernando en el Borde Llanero, la Formación Carbonera de la Cuenca del Maracaibo y con la Formación Usme en la Sabana de Bogotá.<sup>52</sup>

#### 8.1.3.4 Formación Concentración (Pgc)

Geográficamente se encuentra en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá y Tasco. Compone el núcleo del sinclinal Mesalta.

Litológicamente se compone según Alvarado & Sarmiento (1944), de una sucesión de arcillolitas grises claras a oscuras, que meteorizan a amarillentas y rojizas, estratificadas en capas delgadas, con intercalaciones de capas de hierro limonítico hacia la parte inferior de 0,20 m de espesor y laminillas de yeso de 1 cm de espesor hacia la parte media, e intercalaciones frecuentes de cuarzoarenita de grano fino a medio, en lentes hacia la parte inferior y media, con espesores que oscilan desde capa delgada hasta muy gruesa, de cuarzoarenitas de grano grueso a conglomerático y fragmentos de roca. Presenta un espesor de 350 metros. Se le asigna una edad entre el Eoceno medio a Oligoceno medio, Van der Hammen (1957). Es correlacionable con la Formación San Fernando, Diablo del Borde Llanero y Carbonera de la cuenca del Maracaibo.<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 92.

<sup>53</sup> Ibid., p 92.

## 8.1.4 Paleógeno - región del Bode Llanero

### 8.1.4.1 Grupo Palmichal (TKp)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Labranzagrande y Pajarito, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. Está asociado al Sinclinal El Desespero, al SW en el Anticlinal de Monterralo y fallado del Sistema de Guaicáramo.

Litológicamente está constituida según Hubach (1931), por tres conjuntos arenosos a guijarrosos, separados por dos conjuntos de arcillolitas y limolitas silíceas confinadas. En conjunto tiene un espesor de 540 metros, Guerrero & Sarmiento (1996). La edad para este grupo se le atribuye del Campaniano al Paleoceno inferior, Vergara & Rodríguez (1995). Se correlaciona en la Sabana de Bogotá con el Grupo Guadalupe, la Formación Guaduas y la Formación Socha Inferior y en la zona de Santander con las Formaciones La Luna, Catatumbo y Barco, (Ulloa, 2001). Esta unidad fue acumulada en un ambiente pantanoso a lagunar marino, Ulloa & Rodríguez (1981).<sup>54</sup>

Aflora en Labranzagrande en las Veredas el Tablón y Guayabal, en Pajarito al este de la Vereda Usamena, en estos sectores la unidad se encuentra afectada por acción de la Falla De Mirador.

### 8.1.4.2 Formación Arcillolitas del Limbo (Tal)

Ubicada en el departamento de Boyacá en el municipio de Pajarito y en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. Asociada al Sinclinal del

---

<sup>54</sup> INGEOMINAS, & UIS. (2010). GEOLOGÍA DEL PIEDEMONTE LLANERO EN LA CORDILLERA, MEMORIA. Acuerdo Específico N° 022 de 2008. Bucaramanga., p 26.

Desespero con un buzamiento muy bajo, al SW en el Anticlinal de Monterralo, emerge por acción del Sistema de Fallas de Guaicáramo.

Litológicamente se compone según Hubach (1941), de un conjunto de arcillas esquistas grises y verdosas con intercalaciones de areniscas y mantos de carbón. Presenta un espesor de 200 metros. Se le asigna una edad Paleógena, Van der Hammen (1957). Según Ulloa & Rodríguez (1976), el ambiente de depositación es pantanoso a lagunar marino. Es correlacionable con la Formación Socha Superior y Los Cuervos.<sup>55</sup>

Se localiza al SE del municipio de Pajarito en el sector conocido como Cuchilla de Las Barras. Afloran al noroeste de El Morro sobre el río Cravo Sur, la localidad tipo está ubicada cerca al caserío El Limbo al NW de El Morro.

#### 8.1.4.3 Formación Areniscas del Limbo (Tarl)

Unidad geológica cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Labranzagrande y Pajarito, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. Asociada al Sinclinal El Desespero, al SW en el Anticlinal de Monterralo, irrumpe por acción del sistema de fallas de Guaicáramo.

Litológicamente según Van der Hammen (1958), corresponde a unos conglomerados con cantos subredondeados de cuarzo con matriz arenosa, areniscas cuarzosas blancas amarillentas, conglomeráticas, arcillolitas, y lutitas. Tiene un espesor de 160 metros, Ulloa (2001). Esta unidad se considera del Eoceno inferior al Eoceno medio, Van der Hammen (1968). Ulloa & Rodríguez (1981) consideran que el ambiente de depósito fue

---

<sup>55</sup> INGEOMINAS, & UIS. (2010). Op cit., p 26.

principalmente deltaico, con influencia lagunar marina. Se correlaciona con la Formación Mirador de la zona del Catatumbo, Van der Hammen (1968).<sup>56</sup>

Localizada al SE del municipio de Pajarito en el sector La Colorada, Vereda Usamena. Afloran cerca al caserío de El Limbo.

#### 8.1.4.4 Formación San Fernando (Psf)

Se ubica principalmente en el departamento de Boyacá en los municipios de Labranzagrande, Pajarito y Paya, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. Hace parte del núcleo del Sinclinal El Desespero y se asocia al SW en los flancos del Anticlinal de Monterralo.

Litológicamente conformado según Renz (1938), por una serie de lutitas y arcillolitas fisibles de tonalidades que varían de gris a gris verdoso, intercalados con bancos de areniscas. Presenta un espesor que varía entre los 800 y 1000 metros, Ulloa & Rodríguez (1981). Según estudios de Van Der Hammen (1958), la Formación San Fernando fue acumulada bajo un ambiente marino lagunar con influencia deltaica, la edad de esta formación se encuentra entre el Mioceno Medio y se correlaciona con la Formación Concentración (Paz de Río) y la Formación León (Cuenca de Maracaibo), Dueñas & Van der Hammen (2007).<sup>57</sup>

Esta unidad aflora al SE del municipio de Pajarito en el sector La Colorada, Vereda Usamena, donde la unidad es afectada por las Fallas de San Miguel y Guaicáramo.

---

<sup>56</sup> INGEOMINAS, & UIS. (2010). Op cit., p 27.

<sup>57</sup> Ibid., p 28.



## 8.1.5 Neógeno

### 8.1.5.1 Formación Diablo (N1d)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en el municipio de Paya y en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal.

Litológicamente según Van der Hammen (1958), está compuesto de areniscas cuarzosas, grisáceas verdosas, de grano fino a grueso, intercaladas con arcillolitas grises claras, limolitas grises verdosas a rojizas. Con un espesor estimado en los 600 metros, Dueñas & Van der Hammen (2007). Renzoni (1991), en su trabajo sobre la geología de El Yopal, subdivide por primera vez la Formación Diablo en un Conjunto Superior y Conjunto Inferior. El ambiente de depósito parece ser marino lagunar, con influencias deltaicas, con edades del Mioceno Tardío y se correlaciona con la parte superior de la Formación Concentración y con la Formación Guayabo de la Cuenca de Maracaibo, Dueñas & Van der Hammen (2007).<sup>58</sup>

### 8.1.5.2 Formación Caja (N1c)

Localizado en el departamento de Boyacá en el municipio de Paya y en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. Asociado al sinclinal de Zapatosa.

Aflora al este del caserío de Únete, está constituida en su base por arcillolitas y limolitas rojizas con algunas intercalaciones de areniscas arcillosas, de grano fino a medio y conglomerados, el espesor del conjunto es de 470 metros. Las características paleontológicas indican un ambiente marino con

---

<sup>58</sup> INGEOMINAS, & UIS. (2010). Op cit., p 28.

zonas de oleaje en la parte inferior y en la parte superior pantanoso a fluvial. Su edad se considera del Mioceno medio al Pleistoceno, Ulloa & Rodríguez (1976). Es correlacionable con la parte superior de la Formación Choopal e incluye parte del Grupo Medio de Segovia (1963).<sup>59</sup>

### 8.1.6 Unidades sin consolidar

#### 8.1.6.1 Depósitos de Flujos Torrenciales Abanicos Aluviales (Qab)

Ubicados en el departamento de Boyacá en el municipio de Paya y en el departamento de Casanare en los municipios de Yopal y Nunchía.

Presenta un relieve casi horizontal; se ha formado por los grandes depósitos acumulados por los desbordes de los ríos que drenan la llanura. Estos depósitos están constituidos, en la llanura, por limo, arcilla y clastos pequeños irregulares de areniscas de grano fino oxidadas. Hacia el piedemonte el tamaño de las partículas es mayor, constituida por material gravo – arenoso y matriz lodo – arcillosa; en algunos sectores están suprayacidas por depósitos coluvio aluviales.<sup>60</sup>

#### 8.1.6.2 Cuaternario Glacial (Qg)

Cartografiado al norte de la zona de estudio, en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Tasco, Socotá, Mongua y Aquitania. “Los depósitos glaciares se presentan en el extremo noroeste y constan de una serie de morrenas, formadas

---

<sup>59</sup> C. Ulloa M, E. Rodríguez M., & G. Renzi. (1976). GEOLOGÍA DE LAS PLANCHA 171 DUITAMA, 191 TUNJA, 211 TAURAMENA Y 230 MONTERREY CUADRÁNGULOS J – 12 Y K – 13 ESCALA 1:100.000, BOLETÍN GEOLÓGICO VOLUMEN 24 Nº 2. Bogotá., p 21.

<sup>60</sup> INGEOMINAS, & UIS. (2010). Op cit., p 30.

por bloques angulares, de arenitas y conglomerados, en una matriz areno arcillosa, sin ninguna selección”<sup>61</sup>.

#### 8.1.6.3 Cuaternario Coluvial (Qc)

Se localizan en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. “Con el término coluviales se incluyen los depósitos de talud y derrubios; están constituidos por acumulaciones de materiales de composición heterogénea y de tamaño variable, predominantemente bloques angulares”<sup>62</sup>.

#### 8.1.6.4 Cuaternario Aluvial (Qal)

Se ubica principalmente en el departamento de Boyacá en los municipios de Aquitania, Mongua, Labranzagrande, Pajarito y Paya, en el departamento de Casanare en los municipios de Yopal y una pequeña extensión de Nunchía.

Corresponde a los sedimentos que se han acumulado en las márgenes de los principales ríos, aprovechando las zonas de menor pendiente y/o depresiones adyacentes. El eje del Sinclinal de Nunchía tiene las características antes mencionadas y por ello el depósito se presenta en una franja alargada y ancha semi - paralela al sinclinal y al cauce de los ríos Payero y Tocaría con arena gruesa hasta cantos; y de manera ramificada y perpendicular bajan sedimentos más gruesos (hasta bloques angulosos) provenientes de la parte alta de la cordillera a través de las quebradas Niscota, Barreña, y los ríos Nunchía, Payero y Tocaría. En el río Cravo Sur se presenta una franja larga y angosta constituida principalmente por sedimentos areno-lodosos y grandes bloques dentro de la corriente, que por gravedad se han desprendido de las laderas y caído dentro del cauce del río.

<sup>61</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 95.

<sup>62</sup> Ibid., p 95.

Más abajo, en la localidad del Morro, se encuentra un gran depósito Cuaternario de origen aluvial, proveniente del material arrastrado por varias quebradas que nacen en el Alto del Zorro, La Cuchilla Las Barras y la Loma de Ambita. Este material se obstruye en la garganta que forma el Filo Los Pozos y la Cuchilla El Cagüi, para luego explayarse hacia el núcleo del Sinclinal de Nunchía, antes de encontrar otra garganta que la separa del Municipio de Yopal. En Labranzagrande hay un depósito Cuaternario de origen aluvial, que modela un hermoso paisaje a lo largo de la Quebrada Grande, en el límite de las formaciones Une y Chipaque, aprovechando el contraste de dureza de las rocas y el cambio de pendiente del Sinclinal del Desespero; se caracteriza por presentar material areno-lodoso en la parte externa y material grueso y mal seleccionado en el centro del cauce.<sup>63</sup>

#### 8.1.6.5 Cuaternario Aluvio Coluvial (Qac)

Se localizan en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal. “Se trata de depósitos de carácter mixto o mezcla de materiales poco transportados a lo largo de una pendiente o cauce con aportes de las laderas. El depósito se componen de cantos y gravas de areniscas cuarzosas, semi-angulosos a semi-redondeados en matriz de arena limo-arcillosa”<sup>64</sup>.

---

<sup>63</sup> INGEOMINAS, & UIS. (2010). Op cit., p 32 y 33.

<sup>64</sup> Ibid., p 31 y 32.

## 8.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la zona de estudio se encuentra una gran cantidad de fallas, la mayoría de estas son de tipo inversas generando cabalgamientos, esto debido a los intensos eventos tectónicos que se dieron a lo largo del flanco oriental de la cordillera oriental. El Piedemonte Llanero está controlado por un estilo estructural compresivo que da lugar a la formación de pliegues y fallas inversas de alto y bajo ángulo de cabalgamiento, producto del evento de la Orogenia Andina. Los plegamientos al igual que las fallas en su mayoría presentan una orientación NE, conforme a la orientación de la cordillera Oriental. Así mismo, El flujo de los ríos principales y afluentes secundarios y terciarios está controlado por fallas o por el basculamiento de bloques, como es el caso del río Tocaría y Payero, que se alinean por el Sistema de Fallas de Guaicáramo con una dirección noreste.

### 8.2.1 Fallas

#### 8.2.1.1 Falla Cedral Romazal

Se interpreta como una falla de cabalgamiento con inclinaciones entre 45 y 5 grados hacia el SE, que es el resultado de la inversión positiva de una falla normal preexistente. En el bloque colgante de esta falla se presentan cabalgamientos y retrocabalgamientos menores. La zona de despegue de esta falla se interpreta dentro de la Formación Fόμεque<sup>65</sup>.

---

<sup>65</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., Fuquen, & Acosta, (2001), Plancha 192 Laguna de Tota. Op cit., p 42.



### 8.2.1.2 Sistema de fallas de Guaicáramo

Dicha estructura se encuentra localizada en los departamentos de Casanare y Arauca, se ubica entre las fallas de Pajarito y Yopal. Según Carrillo y Vergara (1981), su orientación preferencial corresponde a N25°E y su plano de falla se encuentra buzando al oeste. La Falla de Guaicáramo es un conjunto de fallas paralelas, cuyo plano principal tiene longitud superior a 185 km; presenta movimiento dextral (derecho lateral). Cuellar (1988), mediante estudios de sismicidad instrumental le atribuyen a ésta falla actividad sísmica actual. La Falla de Guaicáramo, se encuentra localizada en la parte central atravesándola en sentido SW-NE, en la Cuchilla Las Barras y Cuchilla Las Lajas, pone en contacto rocas de edad Paleógeno (Formación Areniscas del Limbo), con rocas de edad Cretácico (Formación Chipaque y Une); luego, la Formación Une cabalga sobre la Formación San Fernando en las localidades Loma El Paraíso, Alto del Zorro, en las veredas San Martín, Maguito, Guayabal y Centro a la altura de Morcote<sup>66</sup>.

### 8.2.1.3 Falla de Pajarito

Es una falla regional inversa, con dirección promedio N35°E, plano de falla al oeste y un tramo de 90 km. pone en contacto rocas de la Formación Lutitas de Macanal con rocas del Grupo Palmichal; siguiendo su trazo en dirección SW-NE, a la altura de la Vereda Chaguaza, en las quebradas Agua Blanca y Aguablanquita al NE del Municipio de Paya, pone en contacto rocas de la Formación Areniscas de Las Juntas y Lutitas de Macanal con la Formación Une, mantiene un aparente paralelismo con las fallas de Pajarito y Guaicáramo hacia el NE<sup>67</sup>.

---

<sup>66</sup> INGEOMINAS, & UIS. (2010). Op cit., p 42.

<sup>67</sup> Ibid., p 43.

#### 8.2.1.4 Falla de Los Yopos

Falla regional de tipo inverso, con dirección NE–SW, buza hacia el SE. En la vereda Guayabal pone en contacto rocas de las Formaciones Une y Chipaque con rocas de la Formación Lutitas de Macanal, hacia la Vereda Chaguaza sobre la confluencia del Río Cravo Sur. Es una falla de gran magnitud que por efectos de sus fallas satélite dislocan las estructuras, como es el caso del Sinclinal del Retiro el cual su eje es interrumpido y desviado en dirección NW – SE<sup>68</sup>.

#### 8.2.1.5 Falla de Hirva

Presenta una dirección N 45° E, con un desplazamiento lateral izquierdo , esta falla atraviesa parte del territorio del municipio de Aquitania, entre las Veredas La Trampa, Hirva, La Mesa y Cuspaquirá, en estos sectores afecta rocas Cretáceas de la Formación Fómeque, su trazo continua en la población de Labranzagrande específicamente hacia el Páramo Franco, en las Veredas Hato Viejo, Cuasa y Tobacá, donde afecta rocas de la Formación Une, este lineamiento llega a su fin dentro de la zona en la localidad de Mongua siguiendo en sentido subparalelo al cauce del Río Cravo Sur, involucrando rocas de las Formaciones Une y Chipaque<sup>69</sup>.

#### 8.2.1.6 Falla El Mirador

Lineamiento de rumbo, recorre parte del noroeste del municipio de Aquitania en la Vereda San Benito, afectando rocas Terciarias del Grupo Palmichal, Arcillas y Areniscas De El Limbo.

<sup>68</sup> CONSULTORES, E. I. (2015). POMCA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR. Op cit., p 20.

<sup>69</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., Fuquen, & Acosta, (2001), Plancha 192 Laguna de Tota. Op cit., p 44.

#### 8.2.1.7 Falla de Periquilla

Falla de rumbo en forma dextral de Carácter regional, con orientación en dirección NE-SW, hace parte la región de Los Farallones de Medina, pone en contacto rocas de la Formación Areniscas de Las Juntas y Lutitas de Macanal con la Formación Une. Localizada en la vereda de Sirguazá, su traza se puede seguir a lo largo de las quebradas Cuchijao y La Periquilla, con un desplazamiento aproximado de 250 metros<sup>70</sup>.

#### 8.2.1.8 Falla de Volcanes

“Falla localizada en límites con el municipio de Socotá, tiene una dirección SW-NE de tipo inverso, disloca los ejes de los anticlinales del Cravo Sur y Ogonta, así mismo la Formación Lutitas de Macanal”<sup>71</sup>.

#### 8.2.1.9 Falla de Monchadita

Corresponde a una falla de rumbo dextral de dirección NE-SW, hace parte la región de Los Farallones de Medina. Pone en contacto rocas de la Formación Fómeque y la Formación Une.

---

<sup>70</sup> CONSULTORES, E. I. (2015). POMCA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR. Op cit., p 20.

<sup>71</sup> Ibid., p 43.

## 8.2.2 Estructuras

### 8.2.2.1 Sinclinorio de Paz de Río

El Sinclinorio de Paz de Río es una estructura mayor, con una longitud de 46 km y un ancho promedio de 13 km, limitado al occidente por la Falla de Soapaga y al oriente por el flanco occidental del Anticlinal de Cravo Sur. Las partes occidental y sur de esta zona del sinclinorio se caracterizan por presentar anticlinales y sinclinales estrechos, con extensiones que varían entre 4 y 22 km, cuyos ejes tienen direcciones que oscilan entre N5°E y N25°E, y los cuales son cortados por fallas inversas y de rumbo . Entre las principales estructuras que componen el flanco occidental de este sinclinorio están:<sup>72</sup>

- **Sinclinal de Mesalta:** Ubicado al noroeste de la zona de estudio en el departamento de Boyacá en el municipio de Tasco. “Estructura asimétrica, con el flanco occidental más inclinado que el oriental, de amplio radio, cuyo eje varía en dirección N50°E en la parte sur a N10°E, aproximadamente, en la parte norte; su extensión es de 8 km dentro del subdirección”<sup>73</sup>.
- **Sinclinal de Picacho:** Se localiza al noroeste de la zona de estudio en el departamento de Boyacá en el municipio de Tasco. “Estructura estrecha, relativamente simétrica, de poca extensión y dirección N40°W”<sup>74</sup>.

---

<sup>72</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 100.

<sup>73</sup> Ibid., p 100.

<sup>74</sup> Ibid., p 101.

### 8.2.2.2 Anticlinorio de Los Farallones de Medina

En la prolongación norte del Anticlinorio de Los Farallones de Medina, se presentan:

- **Anticlinal de Cravo Sur:** Pliegue relativamente simétrico, de amplio radio, extenso, de dirección general NE-SW, cuyo eje se prolonga hacia el sur a la Plancha 192 Laguna de Tota, se extiende desde el municipio de Labranzagrande pasando por Móngua y llegando al municipio de Socotá, pudiéndose observar a lo largo de la quebrada Florentinera y posteriormente por el cauce del río Cravo Sur, donde es dislocado por la falla Volcanes, su núcleo está conformado por rocas de la Formación Lutitas de Macanal<sup>75</sup>.
- **Sinclinal El Cochal:** Ubicado al noroeste de la zona de estudio en el departamento de Boyacá en el municipio de Mongua. Pliegue simétrico, cuyo eje de dirección N40°E, es desplazado en forma dextral por la falla de rumbo de Periquilla y continúa hacia el norte con el nombre de Sinclinal de La Horqueta, su núcleo está constituido por rocas de la Formación Fómeque y Une<sup>76</sup>.
- **Anticlinal y Sinclinal La Horqueta:** Se Localiza en el departamento de Boyacá en el municipio de Mongua. Corresponden a pliegues relativamente simétricos, extensos, con sus ejes orientados en dirección NE-SW, y los cuales son desplazados en forma dextral por las Fallas de Periquilla y Los Volcanes, su núcleo está constituido por rocas de las formaciones Lutitas de Macanal, Areniscas de las Juntas y Fomeque. En el extremo sur-oriental de esta área, se presentan dos pequeños pliegues, anticlinal y sinclinal de poca extensión y radio, con sus ejes orientados en dirección NE-SW y desplazados por la falla de rumbo de Periquilla<sup>77</sup>.

---

<sup>75</sup> Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003), Plancha 172 Paz de Río. Op cit., p 101.

<sup>76</sup> Ibid., p 101.

<sup>77</sup> Ibid., p 101.

- **Anticlinal de Monterralo:** En Ulloa y Rodríguez (1981), el Anticlinal de Monterralo se encuentra dentro de la región del Anticlinorio de los Farallones. Linares (2009) describe el Anticlinal de Monterralo como una estructura caracterizada por una gran amplitud y una suave simetría fallada, interpretado como “fault-bend folds” y generado por una falla con rampa de  $23^\circ$ . Además interpretan la deformación temprana del Anticlinal de Monterralo como ocurrida dentro del Oligoceno. En el área de trabajo, el Anticlinal de Monterralo es asimétrico, con dirección  $N35^\circ-40^\circ E$ , cabeceo hacia NE, delimitado en sus flancos por el Sistema de Falla de Guaicáramo; en su núcleo está la Formación Fómeque y hacia sus flancos las formaciones Une, Chipaque, Grupo Palmichal, Arcillas de El Limbo, Areniscas de El Limbo y San Fernando. Su extensión en el área de estudio es de 15 km<sup>78</sup>.

#### 8.2.2.3 Sinclinal del Desespero

Al sur y norte del Municipio de Labranzagrande se encuentra una estructura regional simétrica de 90 km de largo, denominada Sinclinal del Desespero. Según Ulloa y Rodríguez (1981) el Sinclinal del Desespero es una estructura que pertenece al flanco colgante de la Falla de Chámeza, una de las fallas de mayor salto entre las fallas del sistema de Guaicáramo. Su eje tiene una dirección NE y el flanco occidental subvertical, se encuentra tumbado hacia el este (RENZONI, 1985). En la zona de este estudio, el Sinclinal del Desespero presenta una dirección aproximada de  $N30^\circ E$  y aparente simetría; su núcleo lo constituyen rocas de la Formación San Fernando y en sus flancos las formaciones Areniscas de El Limbo, Arcillas de El Limbo, Grupo Palmichal, Chipaque, Une, Fómeque, Areniscas de Las Juntas y Lutitas de Macanal<sup>79</sup>.

<sup>78</sup> INGEOMINAS, & UIS. (2010). Op cit., p 44 y 45.

<sup>79</sup> Ibid., p 44.



#### 8.2.2.4 Sinclinal del Crisol

“Estructura regional de carácter simétrico, su eje tiene dirección NE se extiende desde el municipio de Labranzagrande, pasando por Móngua hasta el municipio de Pisba, Su núcleo está conformado por la rocas de la Formación Une”<sup>80</sup>.

#### 8.2.2.5 Sinclinal del Retiro

“Estructura regional, de naturaleza asimétrica, cuyo núcleo está constituido por rocas de las Formaciones Lutitas de Macanal y Arenisca de las Juntas. Sus flancos se ven dislocados por efecto de fallas locales de dirección NW, las cuales son satélite de la Falla Regional de Los Yopos”<sup>81</sup>.

#### 8.2.2.6 Anticlinal de Paya

Ubicado en el departamento de Boyacá en el municipio de Paya. “Estructura regional, de naturaleza asimétrica, su eje tiene una dirección NE, su núcleo lo constituyen rocas de la Formación Lutitas de Macanal”<sup>82</sup>.

#### 8.2.2.7 Anticlinal Río Suncé

Estructura de tipo regional presenta una dirección NE – SW, atraviesa la zona de estudio al costado oriental, entre las poblaciones de Labranzagrande y Pajarito, en su núcleo predominan rocas Cretácicas de la Formación Fómeque y en menor proporción la Formación Une hacia el norte de la plancha y la Formación Lutitas de Macanal al sur de la misma.

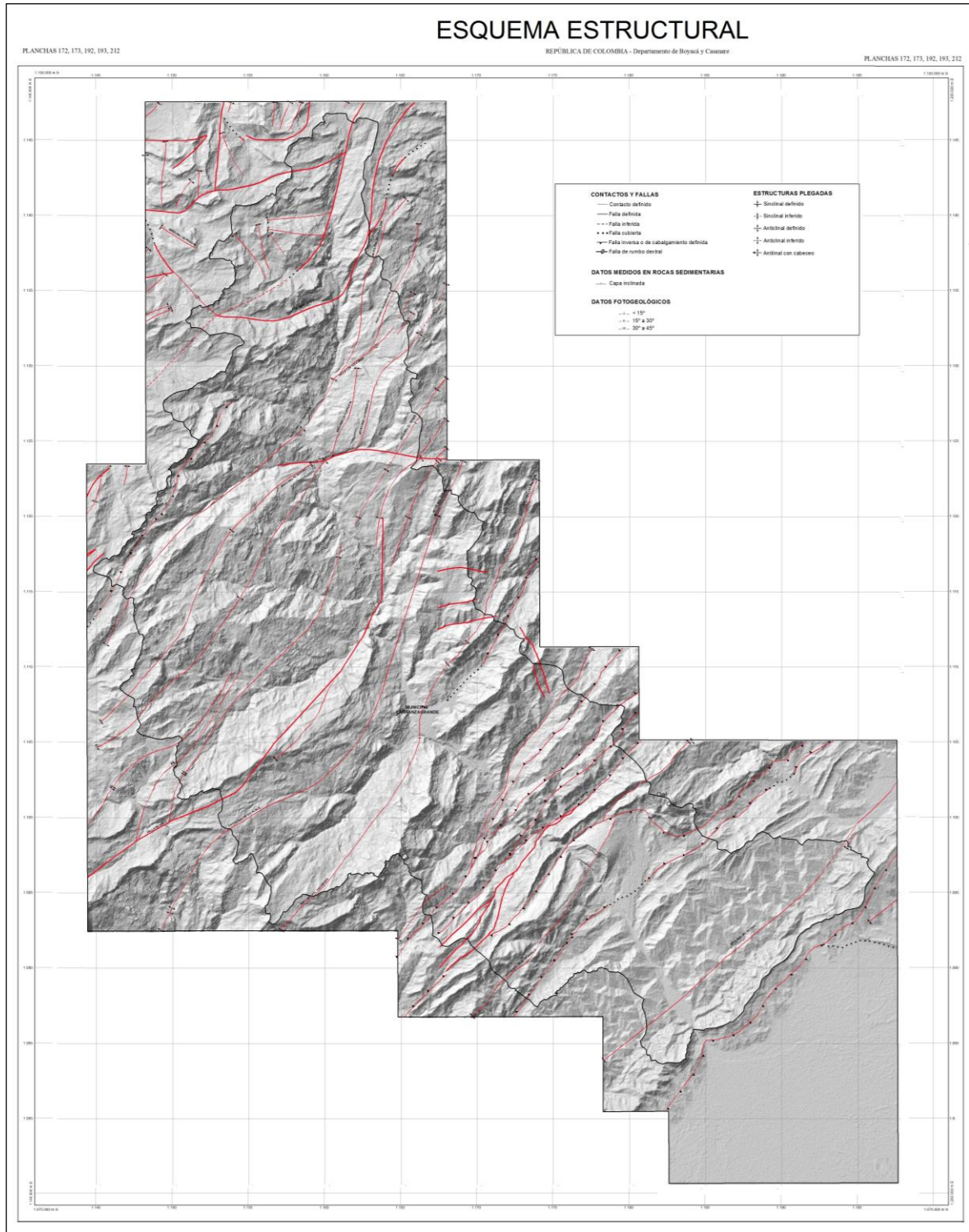
---

<sup>80</sup> CONSULTORES, E. I. (2015). POMCA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR. Op cit., p 19.

<sup>81</sup> Ibid., p 19.

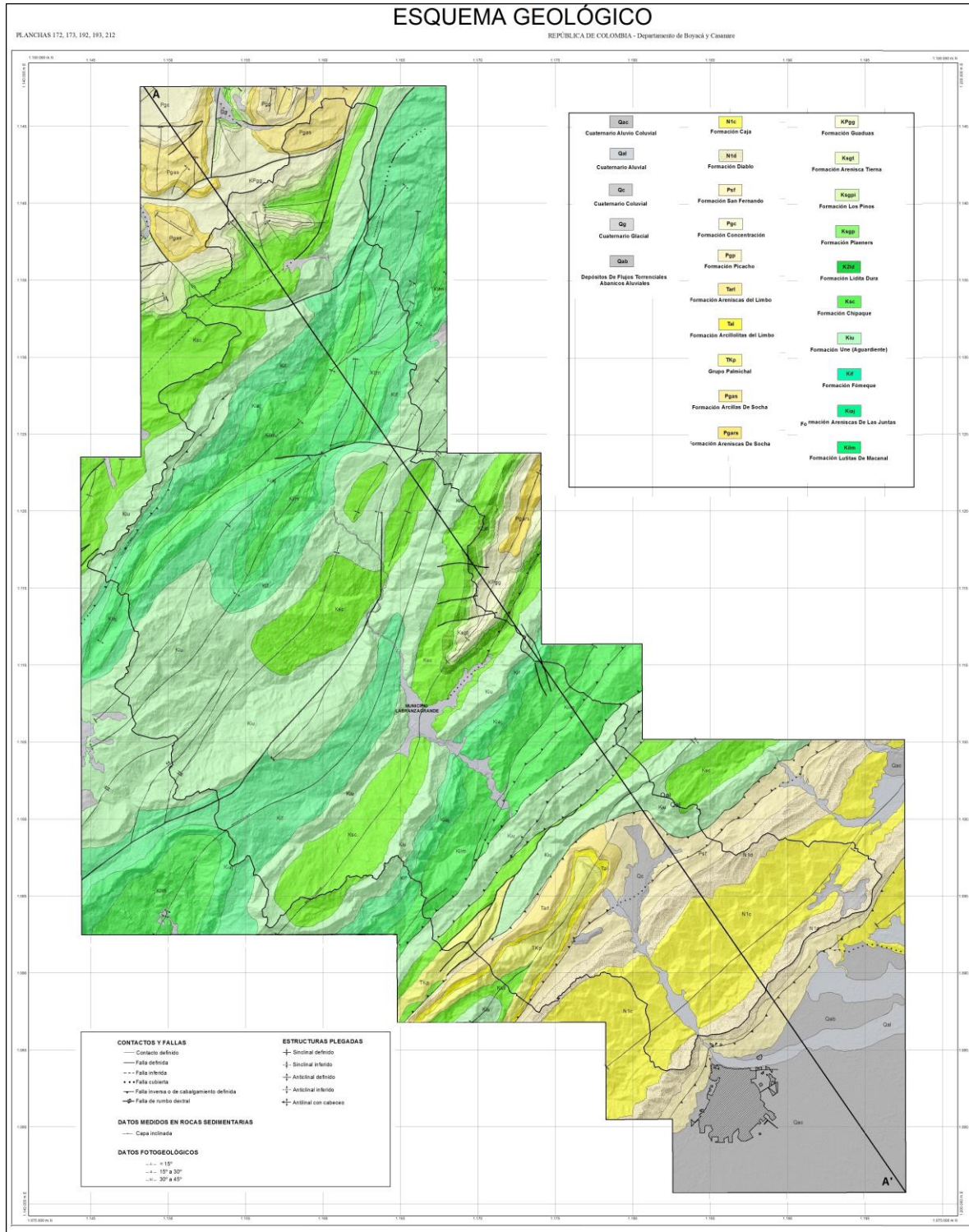
<sup>82</sup> Ibid., p 19.

Imagen 65. Esquema estructural.



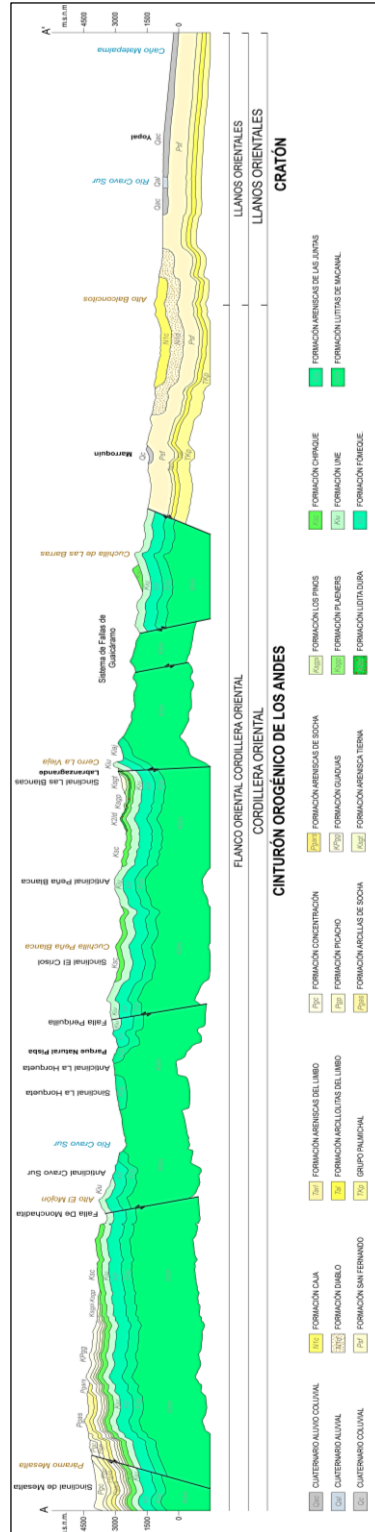
Fuente. Autor.

Imagen 66. Esquema Geológico, (Anexo 2).



Fuente. Geología tomada de las planchas 172, 173, 192, 193 y 212, suministrados por el Servicio Geológico Colombiano, Autor.

**Imagen 67. Perfil Geológico, escala 1:100.000, corte A – A´.**



Fuente. Autor.

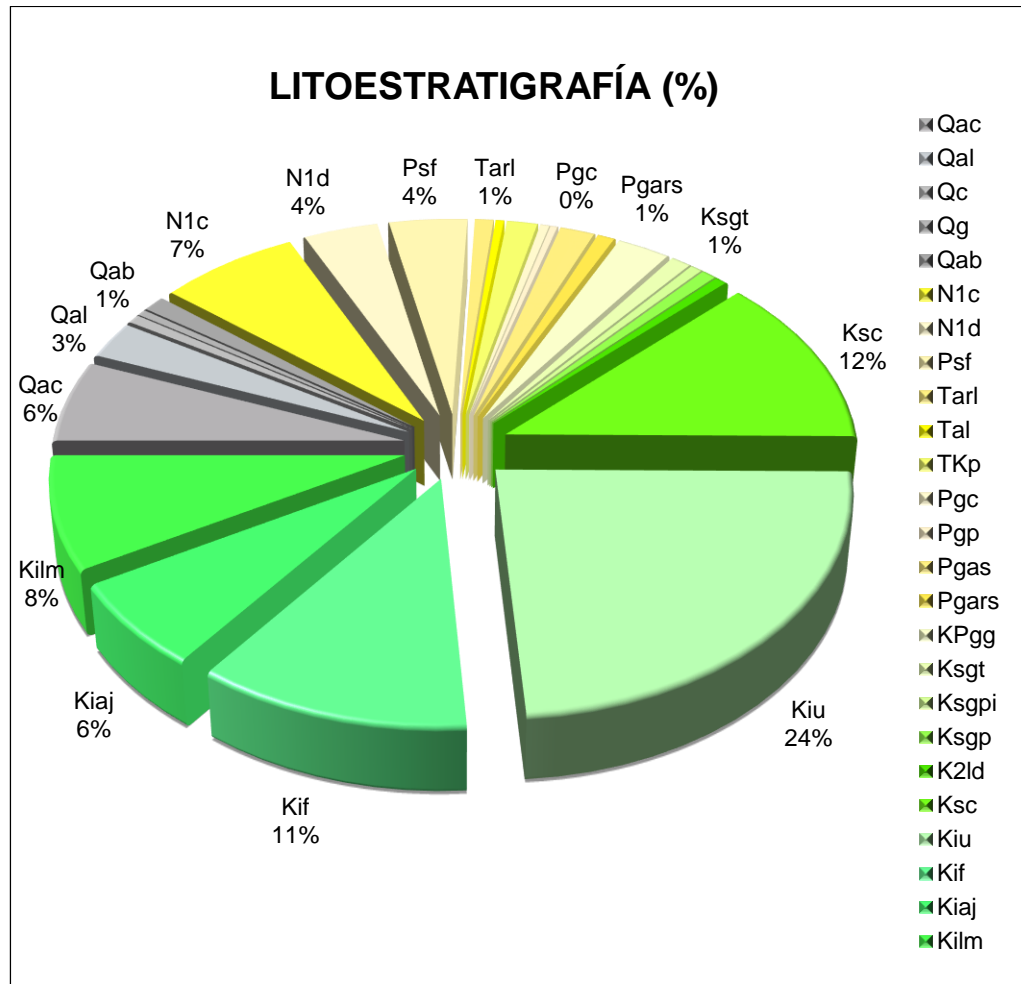


**Tabla 26.** Porcentaje de área de las formaciones geológicas.

CÓDIGO	FORMACIÓN	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Qac	Cuaternario Aluvio Coluvial	126.40	5.9
Qal	Cuaternario Aluvial	57.81	2.72
Qc	Cuaternario Coluvial	13.27	0.62
Qg	Cuaternario Glacial	9.36	0.44
Qab	Depósitos De Flujos Torrenciales Abanicos Aluviales	24.00	1.13
N1c	Formación Caja	150.43	7.10
N1d	Formación Diablo	80.12	3.78
Psf	Formación San Fernando	83.90	3.96
Tarl	Formación Areniscas del Limbo	19.92	0.94
Tal	Formación Arcillolitas del Limbo	8.92	0.42
TKp	Grupo Palmichal	32.79	1.54
Pgc	Formación Concentración	9.73	0.46
Pgp	Formación Picacho	7.46	0.35
Pgas	Formación Arcillas De Socha	37.18	1.75
Pgars	Formación Areniscas De Socha	18.58	0.87
KPgg	Formación Guaduas	57.08	2.69
Ksgt	Formación Arenisca Tierna	21.58	1.01
Ksgpi	Formación Los Pinos	12.68	0.59
Ksgp	Formación Plaeners	15.76	0.74
K2ld	Formación Lidita Dura	12.21	0.57
Ksc	Formación Chipaque	262.45	12.39
Kiu	Formación Une	503.34	23.76
Kif	Formación Fómeque	241.81	11.41
Kiaj	Formación Areniscas de Las Juntas	135.97	6.42
Kilm	Formación Lutitas de Macanal	175.28	8.27
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

Figura 17. Representación gráfica del porcentaje de área ocupada en la zona de estudio.



Fuente. Autor.

La zona de estudio cuenta con 20 formaciones geológicas, entre las que tienen lugar 4 del Cretáceo Inferior, 6 al Cretáceo Superior, 8 al Paleógeno y 2 al Neógeno, además se presenta unidades sin consolidar denominadas como depósitos cuaternarios. La formación con mayor porcentaje de área en la zona es la Formación Une y el menor porcentaje de cobertura litológica lo presenta la Formación Picacho; cabe destacar que la secuencia del Cretácico abarca más de la mitad del área de estudio.



## 9. GEOMORFOLOGÍA

La Geomorfología es la ciencia que trata la descripción y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y recientes de terreno (tanto terrestres como submarinas) y su relación con las estructuras infrayacentes. Esta ciencia está enfocada al análisis de la superficie de la tierra en donde interactúan la litosfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera (Carvajal, 2008). Involucra y relaciona al paisaje con los procesos que le dieron origen y sus condiciones ambientales. Según esto, la interpretación de la geomorfología tiene por finalidad la descripción de las formas del terreno, y la explicación de su génesis (origen), evolución a través del tiempo geológico, la definición de la naturaleza de los materiales, la clasificación de los paisajes según el proceso o agente natural dominante, composición, edad, y la explicación de la magnitud de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores<sup>83</sup>.

Para el análisis geomorfológico, se realizó una adaptación de la propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000 del año 2012, realizada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

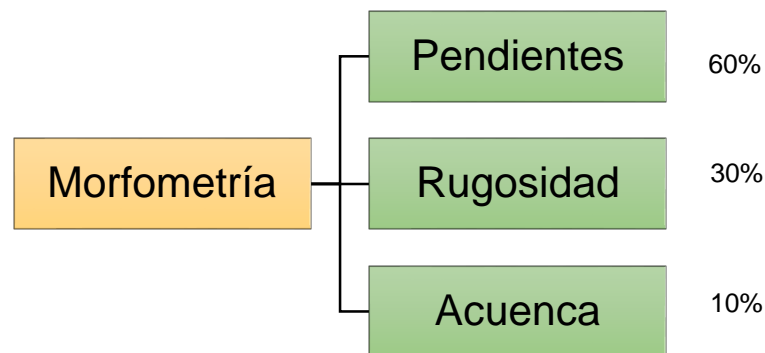
---

<sup>83</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2012). PROPUESTA METODOLÓGICA SISTEMÁTICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS ANALÍTICOS APLICADOS A LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS. Bogotá D. C., p 12.

## 9.1 MORFOMETRÍA

Trata de aspectos cuantitativos en términos de pendientes, rugosidad y Acuenca. También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Para las variables de morfometría se empleó el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), el cual sirvió como insumo para la calificación de las unidades.

**Figura 18.** Diagrama de atributos dentro de la variable morfometría.



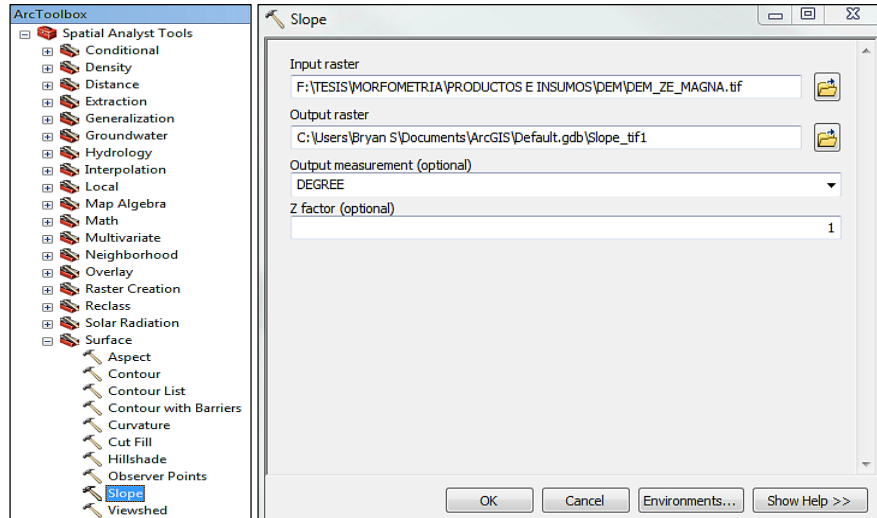
**Fuente.** SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, VERSIÓN No. 2. Bogotá D. C., p 52.

### 9.1.1 Mapa de pendientes

Este mapa, representa el ángulo de inclinación de las laderas, su valor se expresa en grados de 0° a 90°, permite identificar zonas de baja pendiente como depósitos cuaternarios, también se relaciona con los movimientos en masa de manera que a mayor grado de pendiente mayor es la susceptibilidad del movimiento.

Para el procesamiento se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) con resolución espacial de 12.5 metros, generando inicialmente el raster Slope mediante el software ArcGis 10.2.2.

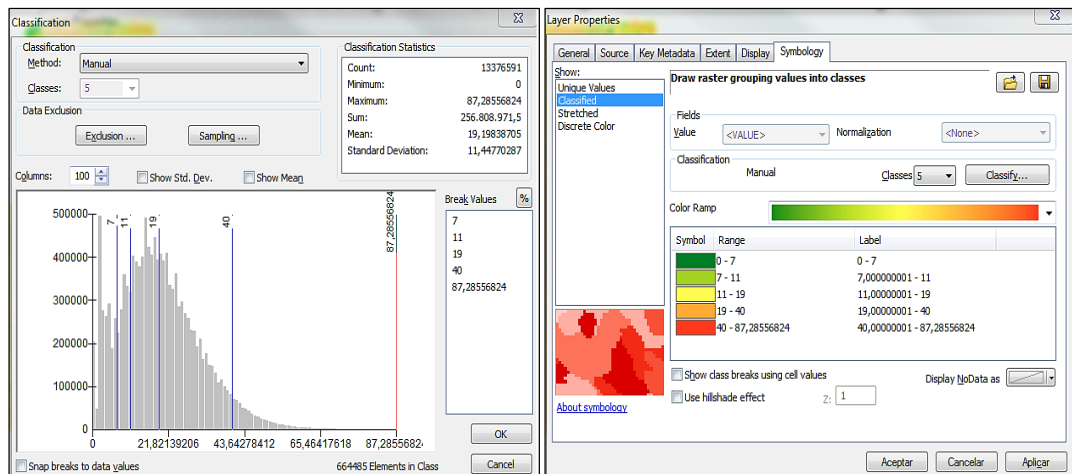
**Imagen 68.** Interfaz software ArcGis, herramienta Slope.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

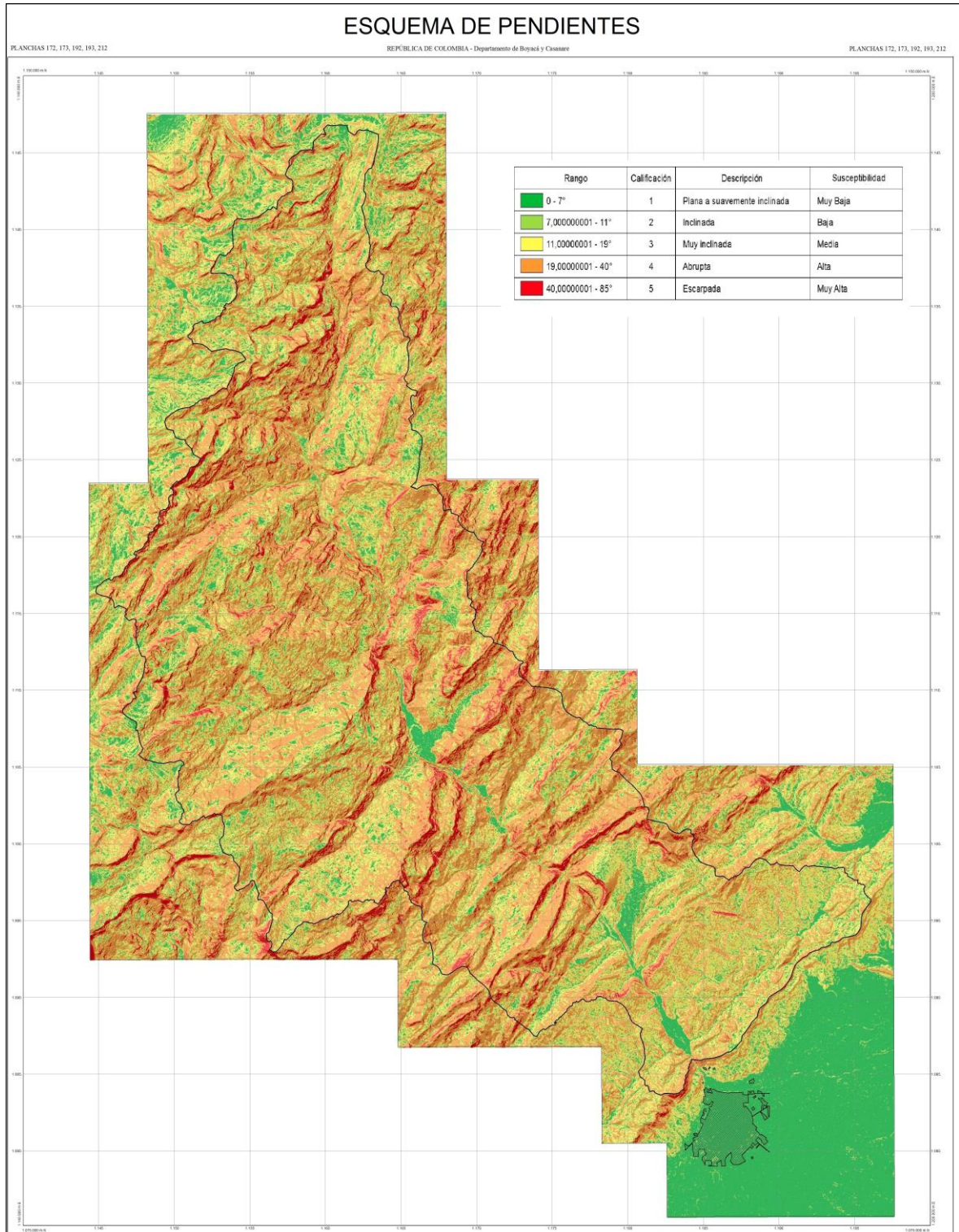
El raster generado se clasifica en 5 diferentes categorías en intervalos de pendientes, esta clasificación es propuesta en el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa del SGC.

**Imagen 69.** Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

**Imagen 70. Esquema de Pendientes, (Anexo 3).**



**Fuente. Autor.**

**Tabla 27.** Calificación por susceptibilidad de la pendiente, tomado INGEOMINAS 2011.

INCLINACIÓN (Grados)	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
0 - 7	1	Plana a suavemente inclinada.	Muy Baja
7 – 11	2	Inclinada.	Baja
11 – 19	3	Muy Inclinada.	Media
19 – 40	4	Abrupta.	Alta
40 - 90	5	Escarpada	Muy Alta

**Fuente.** SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, VERSIÓN No. 2. Bogotá D. C., p 54.

El área presenta una inclinación máxima de 87.4° y una mínima de 0°, en el sector localizado sobre el flanco oriental de la cordillera oriental se desarrollan pendientes entre muy inclinadas y abruptas, las cuales presentan una susceptibilidad a desarrollar movimientos del terreno de media a alta. Por el contrario en la zona del pie de monte se observan inclinaciones suaves relacionadas con susceptibilidades bajas.

La inclinación de la pendiente se relaciona a los procesos tectónicos que se han presentan a lo largo del tiempo, además la litología que compone la estructura juega un papel fundamental en el modelado de la pendiente, como en las rocas de alta resistencia a procesos degradacionales son propias las morfologías muy inclinada, las zonas de categoría baja y muy baja están asociadas principalmente a depósitos de tipo cuaternario.

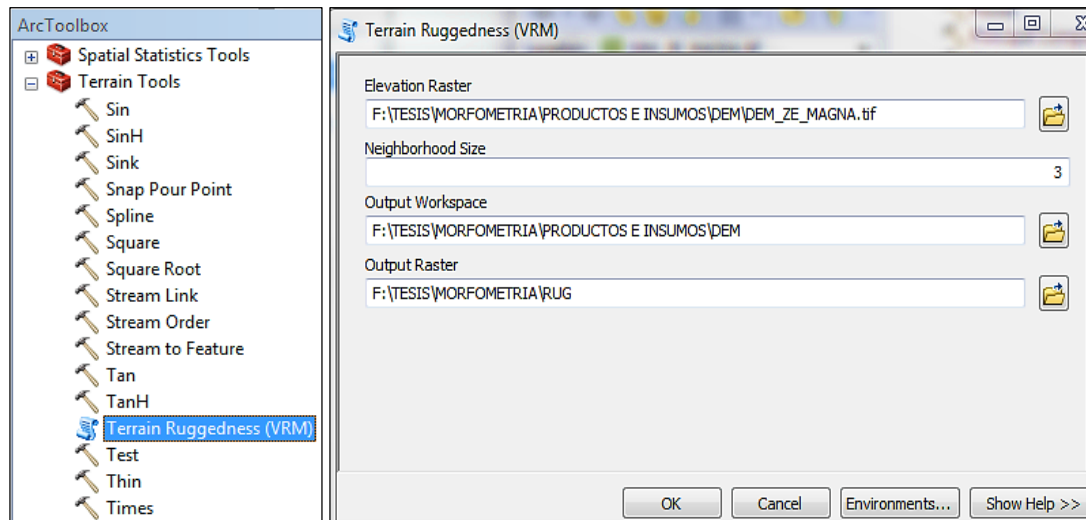


### 9.1.2 Mapa de rugosidad

“Se define como la variación de la pendiente en un área y representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda, estableciendo los límites de taludes y laderas tanto en las zonas de valle como en las crestas (Felicísimo, 1992)”<sup>84</sup>.

El cálculo del parámetro de rugosidad para el área de estudio, se realizó mediante el software ArcGis dentro del cual se involucra una secuencia script llamado Terrain y la función Ruggedness de la línea de programación Python, que contiene el algoritmo “que respecto a un punto dado del terreno, calcula los vectores unitarios perpendiculares a la superficie en él y en los puntos de su entorno, según Hobson (1967:4)”<sup>85</sup>.

**Imagen 71.** Interfaz software ArcGis, herramienta Terrain Ruggedness.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

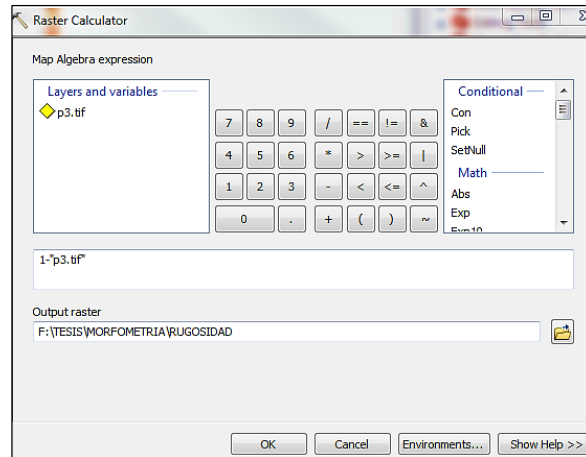
<sup>84</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013)., p 54.

<sup>85</sup> Ibid., p 54.



Al raster resultante se le debe aplicar un algebra de mapas para determinar el vector normal.

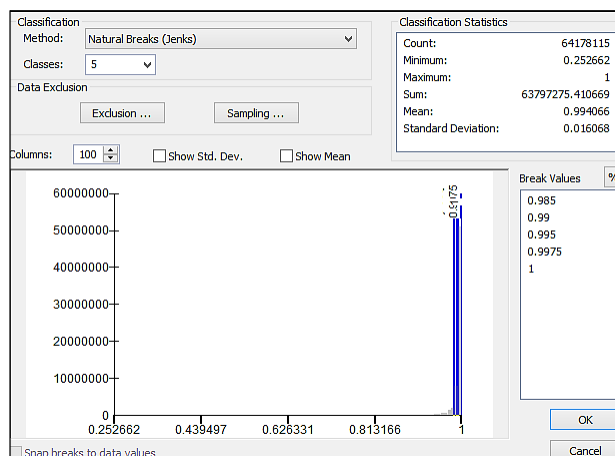
**Imagen 72.** Interfaz software ArcGis, herramienta Raster Calculator.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

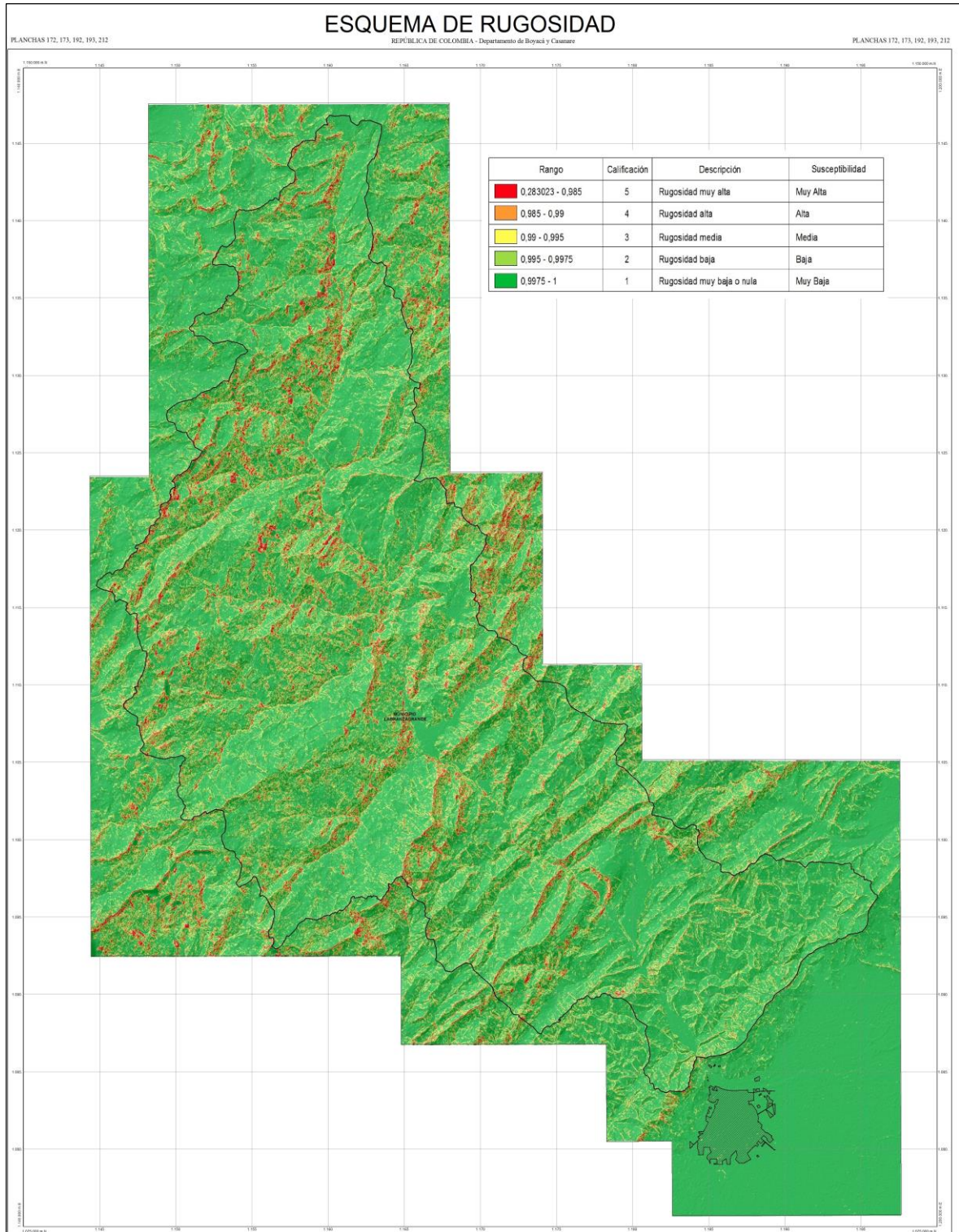
Los rangos de calificación de la rugosidad por susceptibilidad, se pueden observar en la Tabla 28; donde se relaciona el tipo de rugosidad con el grado de susceptibilidad al cual pertenece, esta clasificación es propuesta en el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa del SGC.

**Imagen 73.** Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

**Imagen 74. Esquema de Rugosidad, (Anexo 4).**



**Fuente. Autor.**

**Tabla 28.** Calificación por susceptibilidad de la rugosidad.

DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	RANGO
Rugosidad Muy baja o Nula	Muy Baja	1	0.9975 - 1
Rugosidad Baja	Baja	2	0.995 - 0.9975
Rugosidad Media	Media	3	0.990- 0.995
Rugosidad Alta	Alta	4	0.985– 0.990
Rugosidad Muy Alta	Muy Alta	5	<0.985

**Fuente.** SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, VERSIÓN No. 2. Bogotá D. C., p 57.

Si el terreno es uniforme la suma vectorial será elevada; en el caso de terrenos rugosos, con cambios en orientaciones y pendientes, la situación es la contraria, con sumas vectoriales pequeñas. A lo largo del área de estudio predominan altos valores de rugosidad indicando homogeneidad en las pendientes del terreno relacionadas a susceptibilidades bajas, los valores más bajos se encuentran en el sector de cordillera en pendientes escarpadas y abruptas asociadas a elementos estructurales, que presentan una susceptibilidad ante movimientos en masa de alta a muy alta.

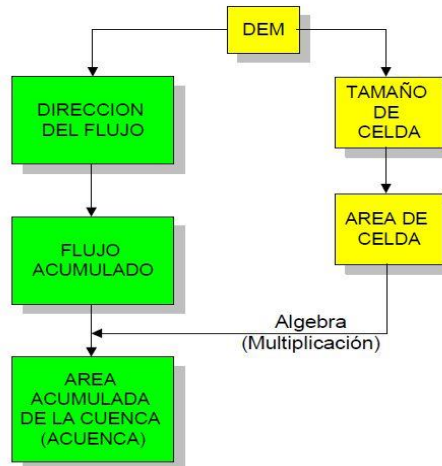
La relación entre los movimientos en masa y la rugosidad de una ladera es directamente proporcional, a mayor rugosidad aumenta la susceptibilidad, debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno acrecentando la inestabilidad del mismo.

### 9.1.3 Mapa de Acuenca

Este atributo aporta información referente a los flujos y las zonas de acumulación hídrica, la variable se deriva del DEM y se expresa en m<sup>2</sup>. “El área de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en un terreno, a mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de desarrollar inestabilidad en el terreno (Neuland, 1976, Hatano 1976, Okimura 1983, Oyagi 1984)”<sup>86</sup>.

Para el cálculo de la variable Acuenca, “según Santacana (2001), el flujo de las aguas a través de la superficie es siempre en la dirección de máxima pendiente, una vez que la dirección de flujo (flow direction) es conocida se puede determinar cuáles y cuántas celdas fluyen hacia una celda particular, la sumatoria de estas se denomina flujos acumulados (flow accumulation). Los valores de los flujos acumulados multiplicados por el área del pixel crean la variable Acuenca sea el área de la cuenca.”<sup>87</sup>.

**Figura 19.** Flujograma para la creación de la variable Acuenca.



**Fuente.** SGC, (2013). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, VERSIÓN No. 2. Bogotá D. C., p 59.

<sup>86</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013)., p 58.

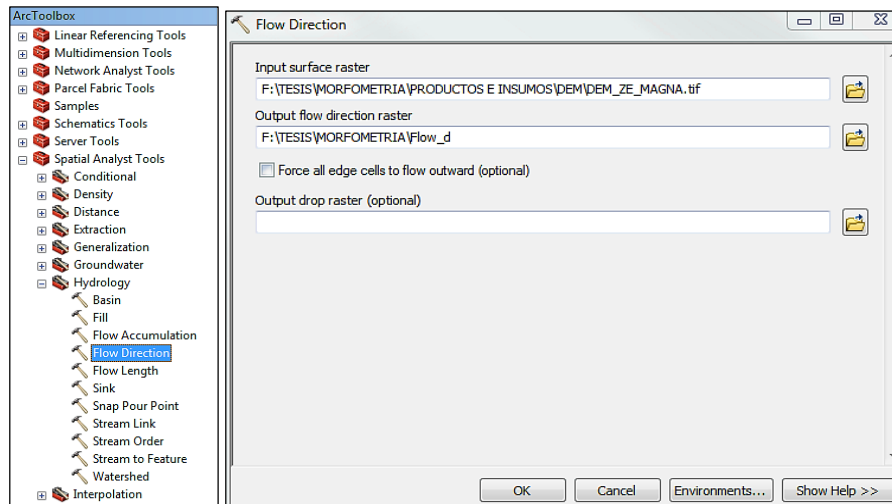
<sup>87</sup> Ibid., p 58.

### 9.1.3.1 Dirección de flujo

“Una de las claves del modelado hidrológico lo constituye la determinación de la dirección de flujo de cualquier punto de una cuenca (cualquier celda). El proceso de cálculo de la dirección de flujo consiste en determinar la dirección de máxima pendiente hacia abajo de cada celda”<sup>88</sup>.

Realizando el procesamiento en el software ArcGis, se evalúan las direcciones de flujo a favor de la pendiente mediante la herramienta Flow Direction.

**Imagen 75.** Interfaz software ArcGis, herramienta Flow Direction.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

### 9.1.3.2 Flujos acumulados

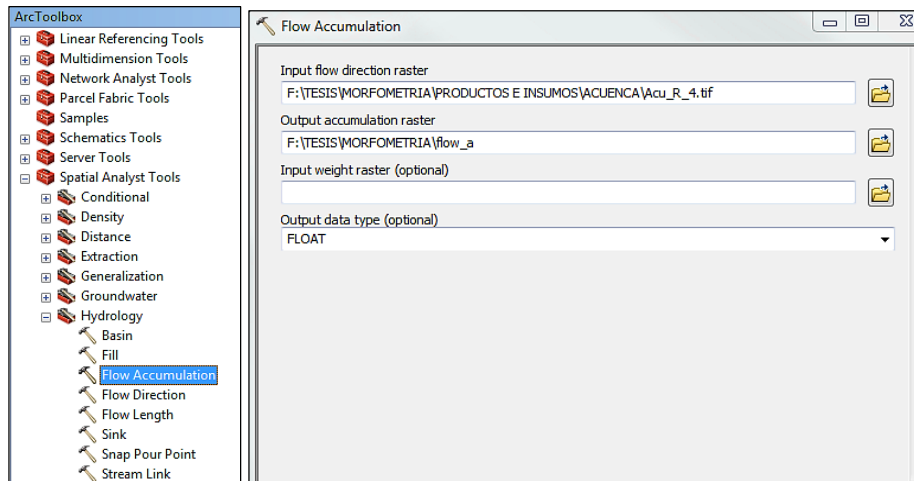
“Constituye el peso acumulado en una celda determinada de todas las celdas que fluyen pendiente abajo hacia ella. De este modo es posible conocer rápidamente la cantidad de agua que puede recibir una celda determinada. Este tipo de flujo representa zonas donde hay mayor cantidad de agua fluyendo”<sup>89</sup>.

<sup>88</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013)., p 59.

<sup>89</sup> Ibid., p 58.

Las acumulaciones en las vertientes se realizan en el software ArcGis utilizando la herramienta Flow Accumulation, la cual requiere como raster de entrada la dirección de flujo resultante del procesamiento anterior.

**Imagen 76.** Interfaz software ArcGis, herramienta Flow Accumulation.

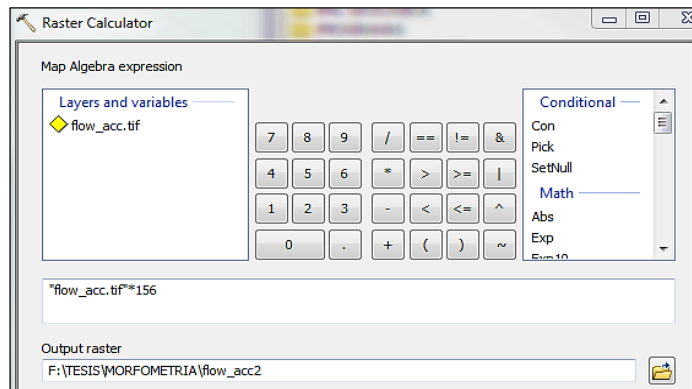


**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

### 9.1.3.3 Acuencia

Para obtener el área acumulada de la cuenca, se utiliza el raster del flujo acumulado realizado anteriormente y se multiplica por el área de la celda respecto al tamaño del pixel del DEM (12,5 m), para este caso se utilizó un área de 156 m<sup>2</sup>.

**Imagen 77.** Interfaz software ArcGis, herramienta Raster Calculator.

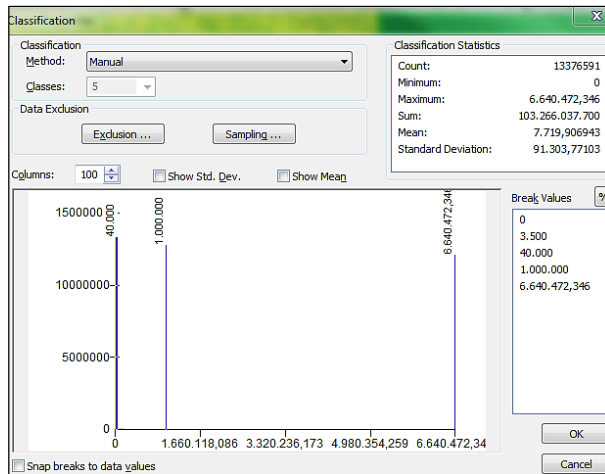


**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.



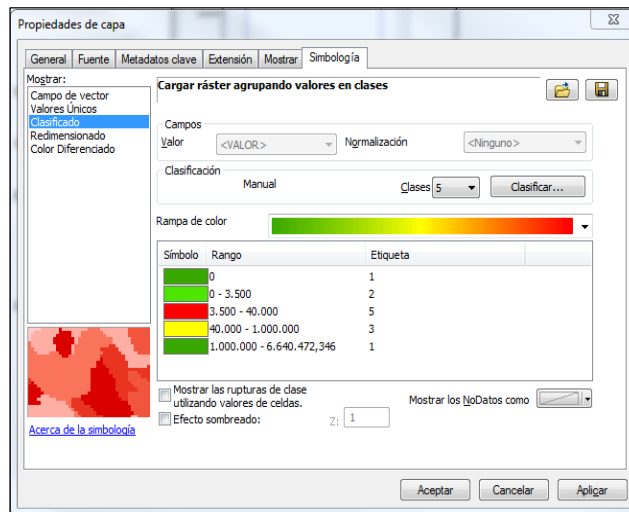
Posteriormente se realizó la clasificación de la susceptibilidad del atributo Acuenca de acuerdo con las categorías establecidas por la propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos.

**Imagen 78.** Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify.



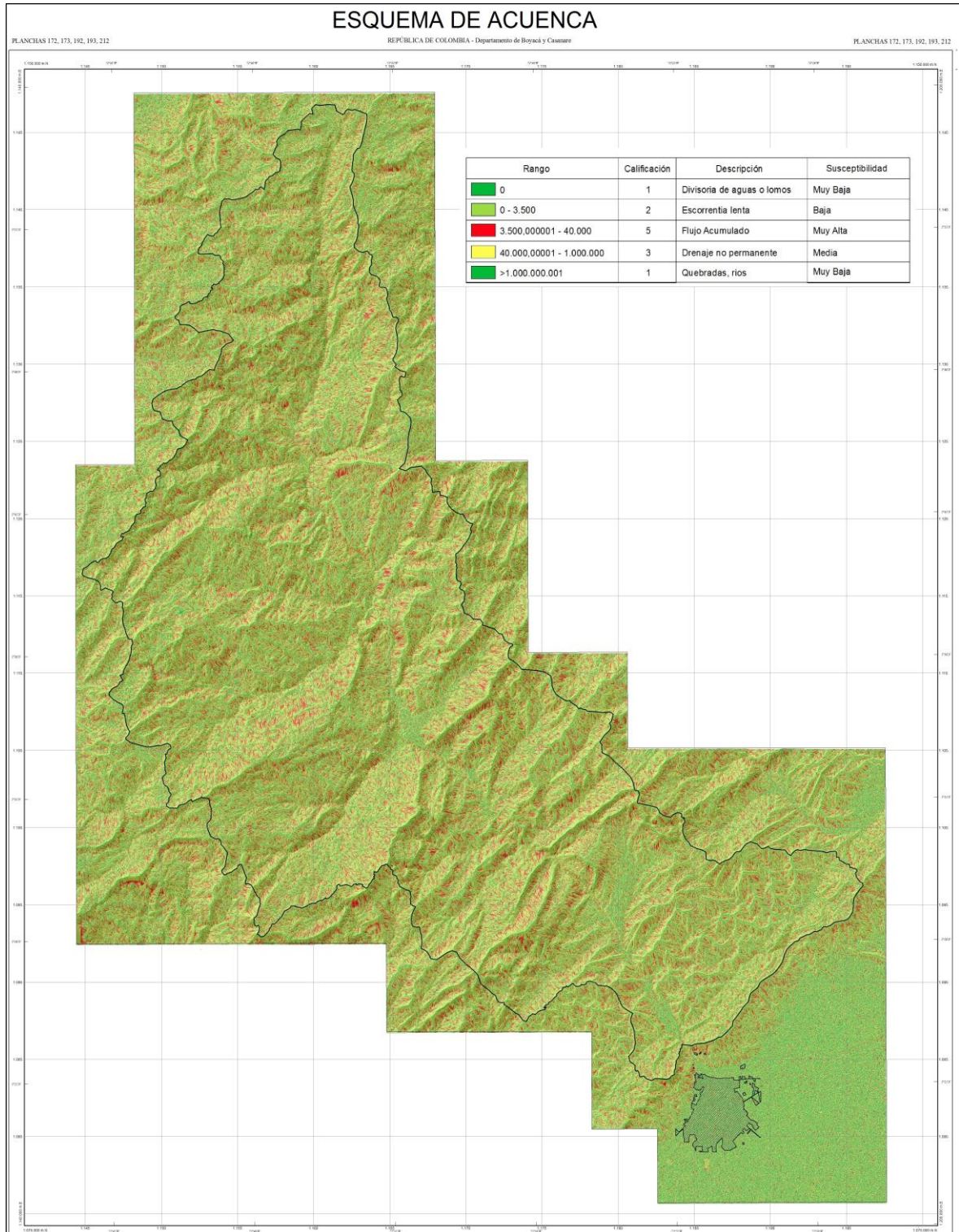
**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

**Imagen 79.** Interfaz software ArcGis, clasificación Acuenca.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

**Imagen 80. Esquema de Acuenca, (Anexo 5).**



**Fuente. Autor.**

**Tabla 29.** Calificación por susceptibilidad del atributo Acuenca.

DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	RANGO
Divisoria de Aguas o Lomos	Muy Baja	1	0
Escorrentía Lenta	Baja	2	0 - 3500
Flujo Acumulado	Muy Alta	5	3500 - 40000
Drenaje no permanente	Media	3	40000 - 1000000
Quebradas, Ríos	Muy Baja	1	> 1000000

**Fuente.** SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, VERSIÓN No. 2. Bogotá D. C., p 61.

De acuerdo con la variable Acuenca, es posible determinar que a lo largo del área que se encuentra sobre la cordillera oriental existe gran cantidad de flujos acumulados, los cuales presentan una susceptibilidad muy alta favoreciendo los movimientos en masa. En el sector del piedemonte llanero predomina la escorrentía lenta, a la cual se le atribuye una susceptibilidad baja. Las zonas de color verde más oscuro, representan los lugares donde hay mayor flujo de agua, coincidiendo con los ríos y quebradas.

#### 9.1.4 Mapa morfométrico

El mapa de morfometría define las relaciones espaciales relativas de la unidad morfológica, evaluando los parámetros de pendiente, rugosidad y acuenca, las cuales se relacionan mediante la siguiente fórmula.

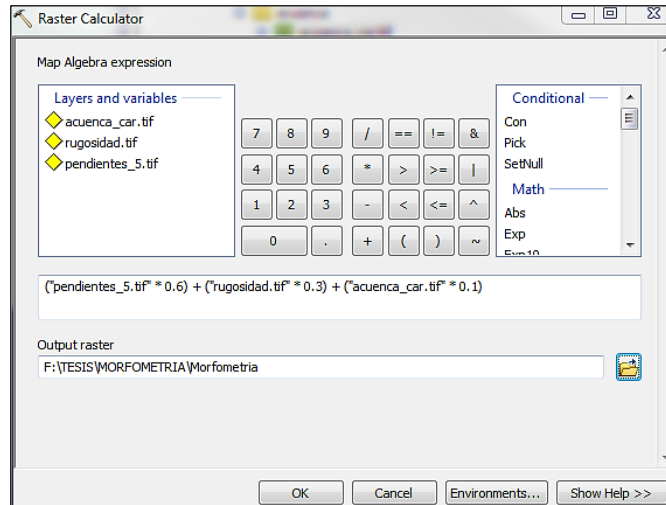
**Figura 20.** Fórmula para el cálculo de la morfometría.

$$Mm = (\text{Pendientes} * 0,6) + (\text{Rugosidad} * 0,3) + (\text{Acuenca} * 0,1)$$

**Fuente.** SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, VERSIÓN No. 2. Bogotá D. C., p 104.

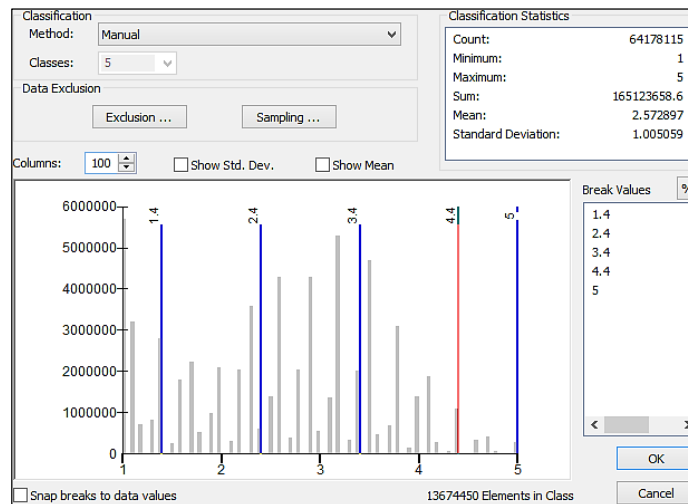
Utilizando la herramienta Rater Calculator del software ArcGis, se ejecuta la ecuación anterior a las diferentes variables morfométricas, posteriormente el raster resultante se clasifica en 5 rangos con el objetivo de obtener el mapa de susceptibilidad morfométrica del área de estudio.

**Imagen 81.** Interfaz software ArcGis, herramienta Raster Calculator.



Fuente. Software ArcGis 10.2.2.

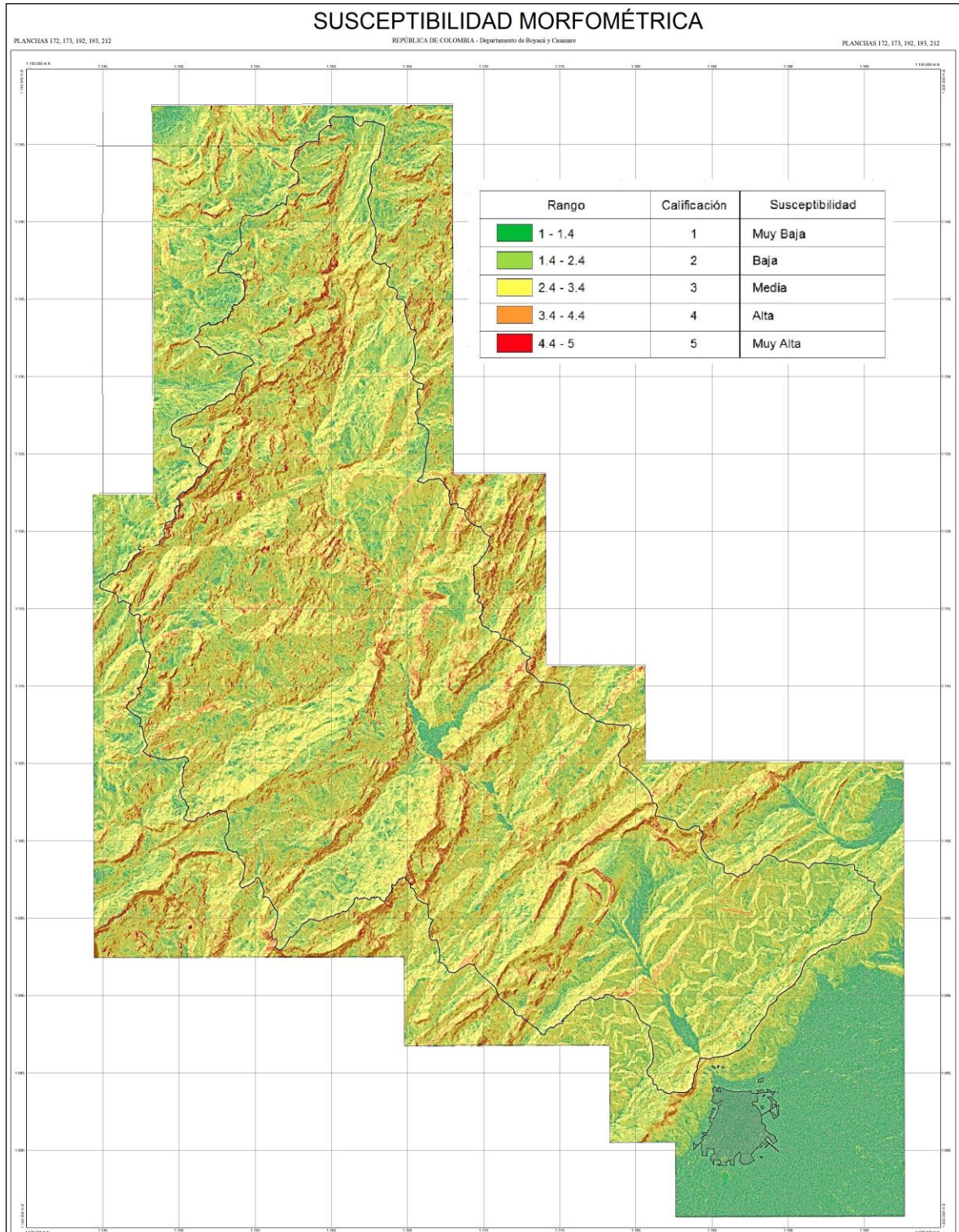
**Imagen 82.** Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify.



Fuente. Software ArcGis 10.2.2.



**Imagen 83.** Esquema de Susceptibilidad Morfométrica, (Anexo 6).



**Fuente.** Autor.

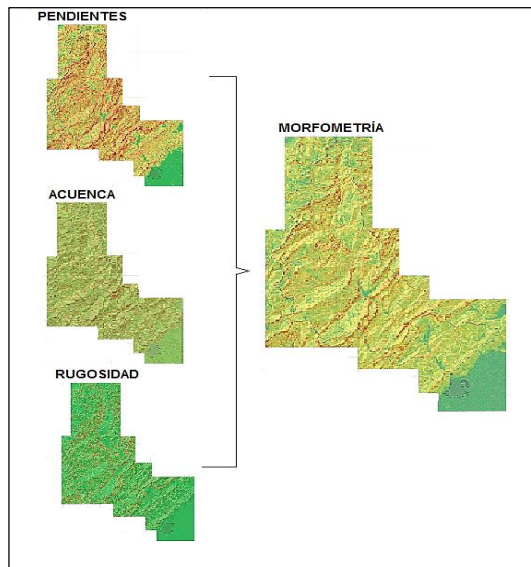
**Tabla 30.** Calificación por susceptibilidad morfométrica.

SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	RANGO
Muy Baja	1	1 – 1.4
Baja	2	1.4 – 2.4
Media	3	2.4 – 3.4
Alta	4	3.4 – 4.4
Muy Alta	5	4.4 – 5

**Fuente.** SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, VERSIÓN No. 2. Bogotá D. C., p 112.

Se puede concluir que la tendencia en el área es constante respecto a los factores morfométricos analizados individualmente, la zona que cubre parte de la cordillera oriental presenta susceptibilidades de media a muy alta favoreciendo la presencia de movimientos en masa, principalmente en los sectores con pendientes escarpadas y de alto grado de inclinación. Por otro lado en las zonas constituidas por unidades litológicas no consolidadas se tienen susceptibilidades en el orden de baja a muy baja.

**Imagen 84.** Compilación de variables morfométricas.



**Fuente.** Autor.



## 9.2 MORFOGÉNESIS

La morfogénesis corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno. La información morfogenética es representada en forma de unidades geomorfológicas<sup>90</sup>.

Se realizó la delimitación de las subunidades geomorfológicas presentes en el área de trabajo, teniendo en cuenta el tipo de ambiente morfogenético en el que se encuentra. Estas subunidades surgen del proceso metodológico que integra la interpretación de productos de sensores remotos y productos temáticos tales como geología y suelos.

En esta delimitación de unidades, es necesario describir las formas del terreno que se ha visto afectado por la interacción dinámica con agentes endógenos y exógenos tales como el hielo, el agua, el viento y la actividad tectónica. A través de su historia geológica el sistema montañoso orogénico andino ha sufrido cambios y debe su origen a procesos denudacionales, levantamientos orogénicos y epirogénicos, con deformaciones de origen tectónico debido a los procesos compresivos y distensivos que han determinado el relieve y la morfología a través del tiempo.

### 9.2.1 Ambientes morfogenéticos

Las subunidades geomorfológicas identificadas en un área específica se determinan con base a la interpretación de los procesos geomorfológicos que

---

<sup>90</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2013)., p 61.

interactuaron en el terreno, los cuales son consecuencia de la formación, evolución y modificación de las actuales formas.

Se conoce como ambiente morfogenético a la agrupación de condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas, bajo las cuales se generan las geoformas. Estos ambientes morfogenéticos se agrupan así:

- **Ambiente morfo-estructural:** Hace referencia a geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, principalmente asociado a fallas y pliegues, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural de las rocas aflorantes<sup>91</sup>.
- **Ambiente denudacional:** Definido exclusivamente por los procesos exógenos degradacionales y por la acción combinada de procesos moderados a intensos de lluvia-escorrentía, meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional, que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas morfoestructurales preexistentes, además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos<sup>92</sup>.
- **Ambiente Fluvial:** Geoformas originadas por el efecto erosivo y acumulativo de las corrientes de los ríos y la sedimentación de materiales en cuencas restringidas respectivamente<sup>93</sup>.
- **Ambiente Glacial:** Geoformas originadas por la acción glacial cuyo origen corresponde a grandes cantidades de hielo en regiones polares o de altas montañas<sup>94</sup>.

---

<sup>91</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2012)., p 12.

<sup>92</sup> Ibid., p 13.

<sup>93</sup> Ibid., p 13.

<sup>94</sup> Ibid., p 13.

### 9.2.2 Jerarquización geomorfológica

Carvajal (2008), plantea enfocar el análisis geomorfológico de un sitio o lugar, siguiendo un proceso analítico del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local. Para tal efecto desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica, en la cual relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, y el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos<sup>95</sup>.

**Figura 21.** Esquema de jerarquización geomorfológica.



**Fuente:** Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999), Ingeominas (2000), SGC (2012).

<sup>95</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2012)., p 14.

### 9.2.3 Provincia geomorfológica (escala. 1:1000.000 a 1:500.000)

Son conjuntos de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. Localmente corresponden con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia, los cuales están demarcados por fallas regionales y continentales definidas o inferidas. Se definen en términos tales como: cinturones montañosos, llanuras, peneplanicies, cordilleras y serranías<sup>96</sup>.

### 9.2.4 Mapa geomorfológico

El mapa de geomorfología se realizó a partir de varias herramientas interpretando las geoformas existentes en el paisaje. Se creó mediante el software ArcGis, apoyado con insumos como el modelo digital de elevación, una imagen sombreada (Hillshade), imágenes satelitales Landsat, el programa Google Earth Pro, un mapa de pendientes (Slope) y el mapa geológico.

Las unidades geomorfológicas están definidas por los criterios genéticos, morfológicos y geométricos, en función de los procesos geomorfológicos específicos que las conforman, ya sea de carácter denudacional, de acumulación o estructural; definidas fundamentalmente por los contrastes morfométricos que relacionan el tipo de sedimento o de roca y su disposición estructural.

El área de estudio ocupa el sector del flanco oriental de la cordillera Oriental, la cual es consecuencia de la acción de un fuerte tectonismo, que generó levantamientos, plegamientos y fallamientos, dando origen a relieves estructurales, modelados por procesos glaciares y periglaciares, movimientos en masa, arrastre de materiales y escurrimientos superficiales, acompañados por procesos gravitacionales que

---

<sup>96</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2012)., p 14.

finalmente remodelaron los paisajes actuales. Por otra parte en la zona del piedemonte llanero dominan los procesos denudativos o fluvio erosionales, abarca toda la zona plana a ligeramente ondulada, con desarrollo de valles aluviales, planicie aluvial y piedemonte depositacional.

En la zona se han determinado cuatro ambientes morfogenéticos, entre los cuales predomina el ambiente estructural distribuido a lo largo de toda la parte central del área de estudio, en los departamentos de Boyacá y Casanare. El ambiente glacial ocupa la segunda área con mayor predominancia, localizándose al noroeste del área en zonas de paramo como Ogontá, Pisba, Cadillal, San Ignacio, Maria Alta, Mesalta, El Crisol y el Franco. El ambiente fluvial ocupa un menor porcentaje con respecto a los anteriores ambientes, se encuentra principalmente en el piedemonte llanero y en los cauces de los principales afluentes como en el río Cravo Sur, río Payero, quebrada La Niata, entre otros. Por último el ambiente denudacional, desarrollado en relieves modelados por la erosión, distribuido en toda la zona en subunidades de poca área.



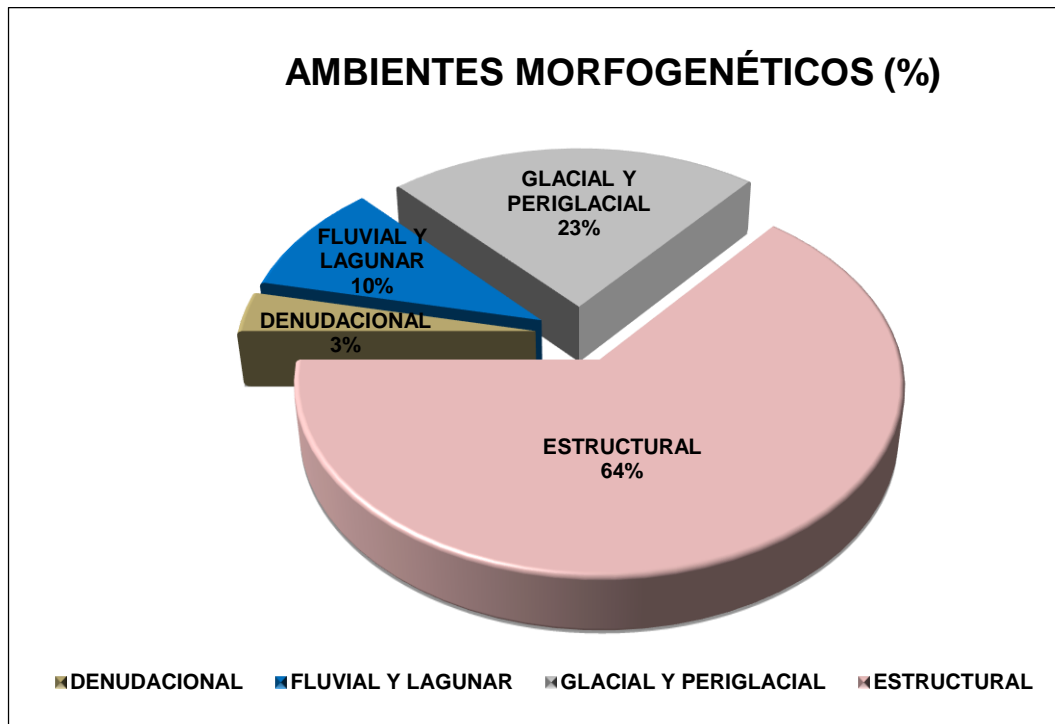


**Tabla 31.** Ambientes morfogenéticos por áreas.

AMBIENTE	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
DENUDACIONAL	73.05	3
FLUVIAL Y LAGUNAR	206.98	10
GLACIAL Y PERIGLACIAL	481.66	23
ESTRUCTURAL	1355.75	64
<b>TOTAL</b>	<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

**Figura 22.** Distribución porcentual ambientes morfogenéticos.



Fuente. Autor.

Se relaciona cada ambiente morfogenético con el área en Km<sup>2</sup> y el porcentaje (%) que ocupa dentro de la zona de estudio. El ambiente estructural prima con un valor del 64% que tienen lugar gracias a los intensos fenómenos tectónicos que modelaron el paisaje, seguido por el ambiente glacial que presenta un 23%, luego el ambiente fluvial que abarca un 10% del área y teniendo finalmente el ambiente denudacional que presenta la menor extensión con un 3%.

**Tabla 32. Subunidades morfogénicas.**

AMBIENTE	CÓDIGO	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
DENUDACIONAL	Deem	Escarpe de erosión mayor	7.67	0.36
	Deeme	Escarpe de erosión menor	1.88	0.08
	Dle	Ladera erosiva	21.02	0.99
	Dlmd	Lomeríos muy disectados	19.60	0.92
	Dlo	Ladera Ondulada	6.65	0.31
	Dlor	Loma residual	2.81	0.13
	Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	1.99	0.09
FLUVIAL Y LAGUNAR	Faa	Abanico aluvial	11.12	0.52
	Fca	Cauce aluvial	7.52	0.35
	Fea	Escarpe de abanico fluvial	2.92	0.13
	Fpi	Plano o llanura de inundación	24.53	1.15
	Fta	Terraza de acumulación	135.90	6.41
	Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	2.40	0.11
	Ftas	Terraza de acumulación subreciente	22.57	1.06
GLACIAL Y PERIGLACIAL	Gc	Circo glacial y de nivación	1.83	0.08
	Gcgf	Conos glaciofluviales	15.64	0.73
	Gee	Espolón estructural glaciado	11.52	0.54
	Gflv	Flancos de valle Glaciar	3.04	0.14
	Gmf	Morrena de fondo	9.90	0.46
	Gpgl	Plano Glaciolacustre	14.20	0.67
	Gsag	Sierra anticlinal glaciada	9.81	0.46
	Gsalc	Ladera contrapendiente sierra anticlinal glaciada	56.32	2.66
	Gsale	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	47.43	2.24
	Gsg	Sierra glaciada	25.12	1.18
	Gshlc	Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada	82.78	3.91
	Gshle	Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada	71.91	3.39
	Gssg	Sierra sinclinal glaciada	37.35	1.76
	Gsslc	Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada	51.97	2.45
	Gssle	Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada	42.76	2.02
	ESTRUCTURAL	Sce	Cerro estructural	18.80
Sclc		Ladera de contrapendiente de cuesta	2.71	0.12
Scle		Ladera estructural de cuesta	15.26	0.72
Sesal		Espolón alto de longitud larga	15.75	0.74
Sesml		Espolón moderado de longitud larga	13.06	0.61
Sl		Lomos	8.15	0.38
Slf		Lomo de falla	13.54	0.64
Slfe		Escarpe de línea de falla	9.19	0.43
Ssalc		Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal	202.78	9.57
Ssale		Ladera estructural de sierra anticlinal	174.61	8.24
Ssan		Sierra anticlinal	74.76	3.53
Ssh		Sierra homoclinal	17.53	0.82
Sshlc		Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	2.41	0.11
Sshle		Ladera estructural de sierra homoclinal	5.76	0.27
Sslp		Sierra y lomos de presión	19.82	0.93
Sss		Sierra sinclinal	119.22	5.63
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	303.44	14.33	
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	338.90	16.00	
<b>TOTAL</b>			<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

### 9.2.5 Ambiente estructural

Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural de las rocas aflorantes. La mayoría de las geoformas de este ambiente reconocidas en el área de estudio están íntimamente relacionadas con el levantamiento de la cordillera Oriental. El efecto compresional produjo levantamientos, cabalgamientos y plegamientos a lo largo de las fallas del sistema del piedemonte llanero, poniendo en contacto rocas de diferente edad y composición.

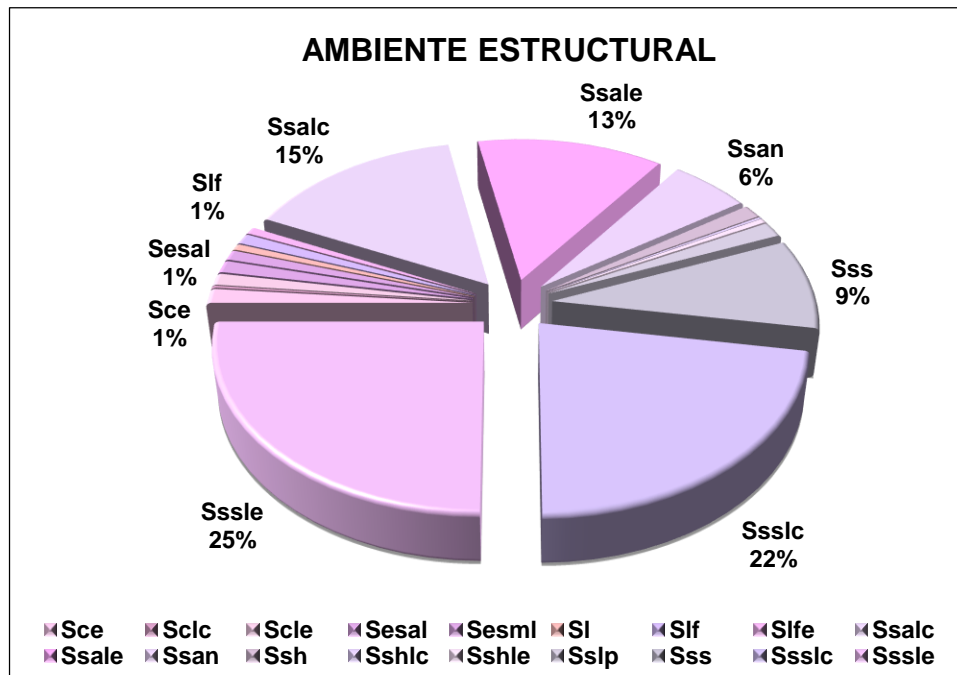
El ambiente estructural ocupa un área de 1355.759 km<sup>2</sup>, estas unidades están relacionadas directamente con los sistemas de fallas regional y local. Las subunidades que pertenecen a este ambiente se encuentran localizadas en la parte central de la zona de estudio, se desarrolla sobre rocas del neógeno en las formaciones Diablo (N1d), Caja (N1c), del paleógeno en las formaciones Areniscas del Limbo (Tarl), Arcillolitas del Limbo (Tal), San Fernando (Psf), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), Grupo Palmichal (TKp), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Lidita Dura (K2ld), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Asociado a las fallas Periquilla, Hirva, Los Yopos, Los volcanes, al sistema de fallas de Guaicáramo, a los anticlinales Cravo Sur, La Horqueta, Río Suncé, Monterralo, además de los sinclinales Del Retiro, El Crisol, Paya, La Horqueta, Las Blancas, El Desespero y El Cochal.

**Tabla 33.** Subunidades ambiente estructural.

CÓDIGO	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Sce	Cerro estructural	18.80	1.39
Sclc	Ladera de contrapendiente de cuesta	2.71	0.20
Scle	Ladera estructural de cuesta	15.26	1.13
Sesal	Espolón alto de longitud larga	15.75	1.16
Sesml	Espolón moderado de longitud larga	13.06	0.96
SI	Lomos	8.15	0.60
Slf	Lomo de falla	13.54	1.00
Slfe	Escarpe de línea de falla	9.19	0.68
Ssalc	Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal	202.78	14.96
Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	174.61	12.88
Ssan	Sierra anticlinal	74.76	5.51
Ssh	Sierra homoclinal	17.53	1.29
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	2.41	0.18
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	5.76	0.42
Sslp	Sierra y lomos de presión	19.82	1.46
Sss	Sierra sinclinal	119.22	8.79
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	303.44	22.38
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	338.90	25.00
<b>TOTAL</b>		<b>1355.75</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

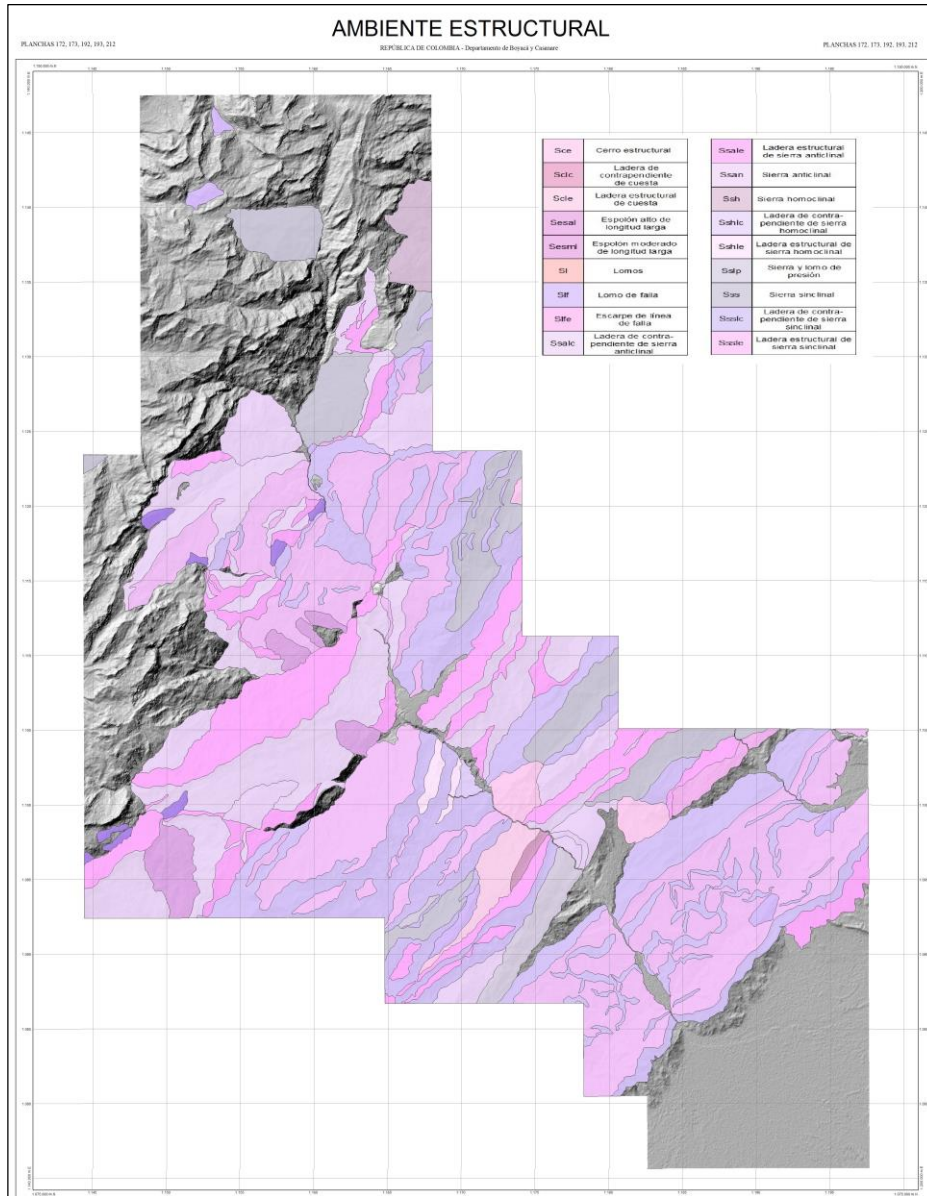
**Figura 23.** Distribución porcentual ambientes morfogenéticos.



Fuente. Autor.



**Imagen 86.** Subunidades del ambiente estructural.



**Fuente.** Autor.

Se puede observar que la subunidad del ambiente estructural que ocupa mayor porcentaje de área, corresponde a la Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle), seguida de Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc), la subunidad que menor porcentaje presenta dentro de la zona de estudio es la Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc).



#### 9.2.5.1 Cerro estructural (Sce)

Subunidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Labranzagrande y Pisba, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del paleógeno de las formaciones Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), San Fernando (Psf) y del cretácico como las formaciones Une (Kiu) y Lutitas de Macanal (Kilm). Asociado a la falla Los Yopos y al sistema de fallas de Guaicáramo. La geoforma corresponde a una prominencia topográfica de morfología montañosa, con laderas de longitud corta, irregulares, poco disectadas. La unidad presenta pendientes muy abruptas que están entre 30° a 40°.

**Imagen 87.** Cerro Estructural.



**Fuente.** Google Earth Pro.

#### 9.2.5.2 Ladera de contrapendiente de cuesta (Sclc)

Geoforma localizada en el departamento de Boyacá en el municipio de Labranzagrande, sobre rocas del paleógeno de la formación Areniscas San Fernando (Psf) y del cretácico como la formación Une (Kiu). Asociado a la falla Los Yopos y al sistema de fallas de Guaicáramo. Presenta una superficie muy corta a corta, de forma convexa de pendiente escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno.

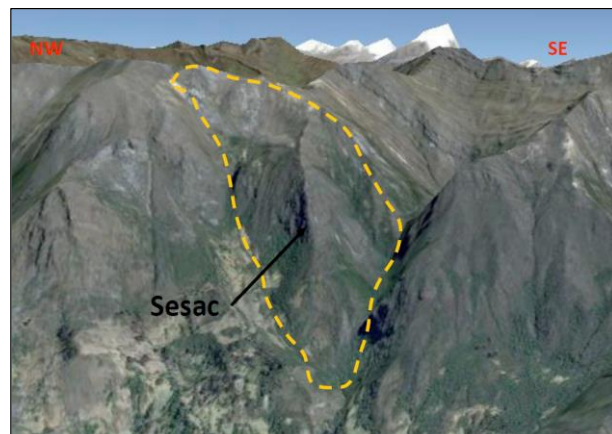
### 9.2.5.3 Ladera estructural de cuesta (Scle)

La unidad se localiza en el departamento de Boyacá en el municipio de Labranzagrande, sobre rocas del paleógeno de las formaciones Areniscas San Fernando (Psf), Grupo Palmichal (TKp) y del cretácico como las formaciones Une (Kiu), Chipaque (Ksc). Asociado a la falla Los Yopos y al sistema de fallas de Guaicáramo. Con una pendiente subvertical moderadamente larga, con pendientes variables entre  $10^\circ$  y  $25^\circ$ , generada por estratos dispuestos a favor de la pendiente del terreno.

### 9.2.5.4 Espolón alto de longitud larga (Sesal)

Subunidad localizada en el departamento de Boyacá en el municipio de Pajarito, sobre rocas del cretácico como las formaciones Lutitas de Macanal (Kilm) y Areniscas de Las Juntas (Kiaj). Asociado a la falla de Hirva y al Anticlinal de Río Suncé. La geoforma corresponde a una saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, la particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo es mayor que 1000 m y la longitud del eje principal del espolón es mayor que 1000 m.

**Imagen 88.** Espolón alto de longitud larga.



**Fuente.** Google Earth Pro.

#### 9.2.5.5 Espolón moderado de longitud larga (Sesml)

La unidad se localiza en el departamento de Boyacá en el municipio de Labranzagrande, sobre rocas del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu), Chipaque (Ksc). Asociado a la falla de Hirva y al Anticlinal de Río Suncé. Que se define como una saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, la particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo está entre 250 m y 1000 m y la longitud del eje principal del espolón es mayor que 1000 m.

#### 9.2.5.6 Lomos (Sl)

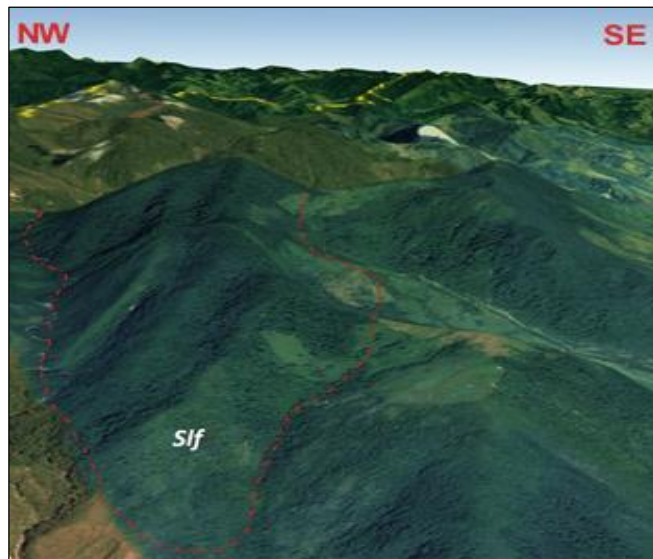
La unidad se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Mongua, Aquitania y Labranzagrande, sobre rocas del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu), Chipaque (Ksc) y Areniscas de Las Juntas (Kiaj). Asociado a las fallas de Hirva, Cedral Romazal, al Anticlinal de Río Suncé y a los Sinclinales El Cochal, El Crisol. Corresponde una prominencia topográfica con una altura cercana a los 200 metros o lo que es igual a un índice de relieve relativo bajo, constituida por laderas de longitud moderadamente larga y de forma recta, su origen está relacionado a procesos de plegamiento o fallamiento intenso.

#### 9.2.5.7 Lomo de falla (Slf)

Debido a la tectónica del área se encuentra esta unidad, localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Tasco, Mongua, Labranzagrande y Pisba, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del neógeno en las formaciones Diablo (N1d) y Caja (N1c), del paleógeno de las formaciones Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), Grupo Palmichal (TKp), del cretácico como las formaciones Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg).

Asociado a la falla Periquilla, al sistema de fallas de Guaicáramo, además de los sinclinales Del Retiro, La Horqueta, El Crisol y el Cochal. Esta geoforma se identifica por su morfología alomada, presenta un índice de contraste del relieve entre bajo y moderado, estos lomos de falla poseen laderas con índices de inclinación entre muy inclinados a escarpados, de longitud generalmente corta, se ubican en forma paralela al trazo de las fallas ya que son generados por expulsiones de bloques, causadas por los desplazamientos laterales asociados a estas.

**Imagen 89.** Lomo de falla.



**Fuente.** Google Earth Pro.

#### 9.2.5.8 Escarpe de línea de falla (S1fe)

Geoforma localizada en el departamento de Boyacá en el municipio de Mongua y en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del cretácico como las formaciones Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm). Asociado a la falla Periquilla y al sistemas de fallas de Guaicáramo. Geomorfológicamente la unidad corresponde a un plano subvertical de longitudes entre cortas y moderadamente largas, de forma recta a irregular, estas laderas exhiben laderas con pendientes escarpadas a muy escarpadas.

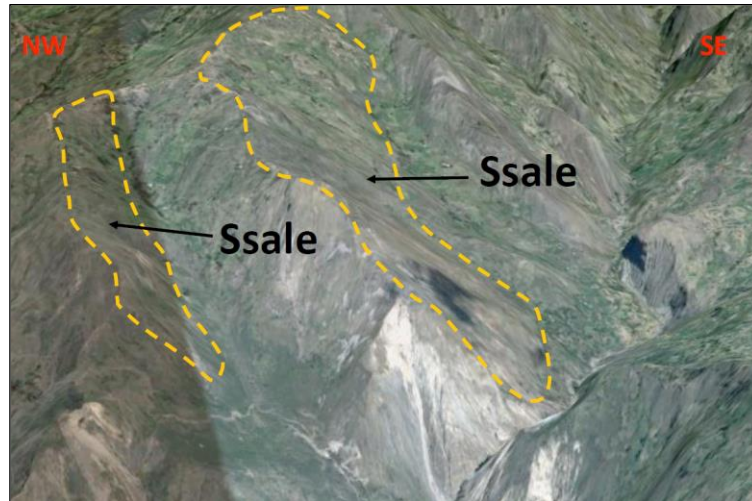
#### 9.2.5.9 Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal (Ssalc)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Mongua, Aquitania, Pajarito, Labranzagrande, Paya y Pisba, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm). Asociado a las fallas Los volcanes, Periquilla, Cedral Romazal, Hirva, Los Yopos, al sistema de fallas de Guaicáramo, a los anticlinales La Horqueta, Cravo Sur, Río Suncé, Peña Blanca, Paya. Geomorfológicamente estas laderas se identifican por ser una superficie inclinada, donde los estratos de las diferentes formaciones que constituyen a las subunidades se disponen en sentido contrario al de la pendiente del terreno, la longitud de esta geoforma varía ampliamente en un rango entre corta y muy larga, generalmente de forma recta, cuyas pendientes están entre abrupta a escarpada, esta subunidad está relacionada a estructuras de plegamiento de tipo anticlinal, indicando fuerzas compresivas sobre la región.

#### 9.2.5.10 Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Mongua, Aquitania, Pajarito, Labranzagrande, Paya y Pisba, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm). Asociado a las fallas Los volcanes, Periquilla, Cedral Romazal, Hirva, Los Yopos, al sistema de fallas de Guaicáramo, a los anticlinales La Horqueta, Cravo Sur, Río Suncé, Peña Blanca, Paya. Geomorfológicamente estas laderas se identifican por ser una superficie inclinada, donde los estratos de las diferentes formaciones que constituyen a las subunidades se disponen en el mismo sentido al de la pendiente del terreno, la longitud de esta geoforma varía ampliamente en un rango entre corta y larga, generalmente de forma recta a cóncava, cuyas pendientes están entre muy inclinada a escarpada, esta subunidad está relacionada a estructuras de plegamiento de tipo anticlinal, indicando fuerzas compresivas sobre la región.

**Imagen 90.** Ladera estructural de sierra anticlinal.



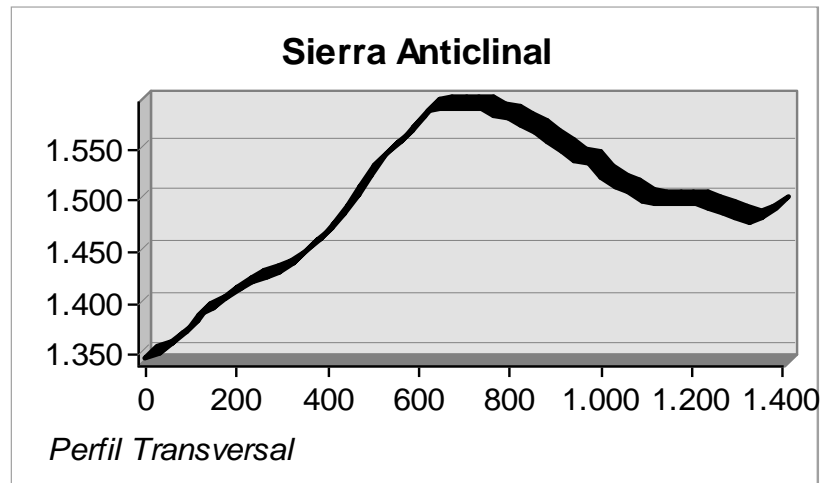
**Fuente.** Google Earth Pro.

#### 9.2.5.11 Sierra anticlinal (Ssan)

Estructura localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Mongua, Aquitania, Labranzagrande, Paya y Pisba, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del paleógeno de las formaciones Areniscas del Limbo (Tarl) y Arcillolitas del Limbo (Tal), del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm). Asociado a los anticlinales Cravo Sur, Río Suncé. Geomorfológicamente, esta unidad se define como prominencias topográficas elongadas de morfología alomada, de cimas redondeadas a agudas, limitadas por laderas estructurales inclinadas a muy abruptas, de forma convexa y de longitud larga.



**Figura 24.** Sierra anticlinal.



**Fuente.** Autor.

#### 9.2.5.12 Sierra homoclinal (Ssh)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en el municipio de Socotá, sobre rocas del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm). Corresponde con prominencias topográficas asimétricas, de morfología alomada, las cuales presentan un índice de contraste con el relieve muy moderado, con interfluvios agudos a subredondeados, las laderas que componen a la unidad son de longitudes moderadamente largas alargadas con pendientes variables entre muy inclinadas a escarpadas, donde la característica principal es que la estratificación de la formaciones geológicas que componen a la unidad están buzando en un mismo sentido, por lo general con buzamientos entre 30 y 50 grados. Esta geoforma se relaciona a zonas compresivas afectadas por procesos erosivos intensos.

### 9.2.5.13 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)

Unidad cartografiada en el departamento de Boyacá en el municipio de Labranzagrande, sobre rocas del cretácico de la formación Lutitas de Macanal (Kilm). Asociado al sistemas de fallas de Guaicáramo. Estas laderas tienen una mediana recurrencia en el área, corresponden con una superficie inclinada de longitudes variadas por lo general moderadamente largas, aunque se han identificado laderas de longitud larga, poseen pendientes muy inclinadas a escarpadas, de forma cóncava a irregular, el origen de la subunidad se relaciona a procesos de erosión sobre uno de los flancos de una estructura de plegamiento, la característica principal de la unidad es que los estratos o capas de las formaciones anteriormente nombradas se disponen en sentido opuesto al de la pendiente del terreno.

**Imagen 91.** Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal.



**Fuente.** Google Earth Pro.

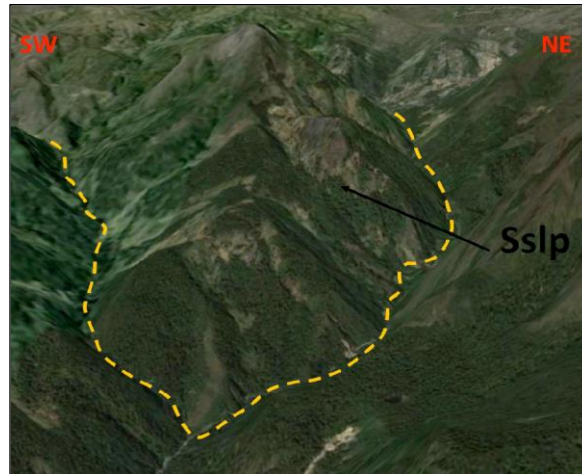
#### 9.2.5.14 Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)

Geoforma localizada en el departamento de Boyacá en el municipio de Labranzagrande, sobre rocas del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm). Asociado al sistemas de fallas de Guaicáramo. Geomorfológicamente corresponden con una superficie inclinada de forma cóncava convexa, de longitudes variadas por lo general moderadamente largas, poseen pendientes muy inclinadas a muy abruptas, La característica principal de la unidad es que los estratos o capas de las formaciones anteriormente nombradas se disponen en el mismo sentido al de la pendiente del terreno, su origen se relaciona a procesos de erosión sobre uno de los flancos de una estructura de plegamiento.

#### 9.2.5.15 Sierra y lomos de presión (Sslp)

Se localiza en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del paleógeno de las formaciones Areniscas del Limbo (Tarl) y Arcillolitas del Limbo (Tal), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Une (Kiu). Asociado al sistema de fallas de Guaicáramo, en al anticlinal de Monterralo. Está marcada por ser una prominencia topográfica alomada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso.

**Imagen 92.** Sierra y lomos de presión.



**Fuente.** Google Earth Pro.

#### 9.2.5.16 Sierra sinclinal (Sss)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Tasco, Socotá, Mongua, Labranzagrande, Paya y Pisba, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del paleógeno de las formaciones Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), Grupo Palmichal (TKp), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Lidita Dura (K2ld), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Asociado a las fallas Periquilla, Los Yopos, al sistema de fallas de Guaicáramo. Geomorfológicamente la unidad se identifica por su forma en artesa, cuyo origen se debe a la acción de fuerzas compresivas que han plegado las rocas de las formaciones geológicas anteriormente nombradas, generando paredes cóncavas limitadas por laderas de contrapendiente, a este conjunto se le denomina artesa sinclinal o sierra sinclinal, esta subunidad posee un índice de relieve relativo entre bajo y moderado y su disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura invirtiendo el relieve.

#### 9.2.5.17 Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)

Unidad cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Mongua, Pajarito, Labranzagrande, Paya y Pisba, en el departamento de Casanare en los municipios de Yopal y Nunchía, sobre rocas del neógeno en las formaciones Diablo (N1d), Caja (N1c), del paleógeno en las formaciones Areniscas del Limbo (Tarl), Arcillolitas del Limbo (Tal), San Fernando (Psf), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), Grupo Palmichal (TKp), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Lidita Dura (K2ld), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Asociado a las fallas Los volcanes, Periquilla, Hirva, Los Yopos, al sistema de fallas de Guaicáramo, a los sinclinales Del Retiro, Las Blancas, El Crisol, El Desespero y el Cochal. La unidad se distingue por ser una superficie inclinada de longitud variable entre cortas hasta moderadamente largas, de forma recta a irregular, de pendientes generalmente escarpadas, la principal característica de esta geoforma es que los estratos de las formaciones geológicas están dispuestos en sentido opuesto a la inclinación del terreno.

#### 9.2.5.18 Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)

Unidad cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Mongua, Pajarito, Labranzagrande, Paya y Pisba, en el departamento de Casanare en los municipios de Yopal y Nunchía, sobre rocas del neógeno en las formaciones Diablo (N1d), Caja (N1c), del paleógeno en las formaciones Areniscas del Limbo (Tarl), Arcillolitas del Limbo (Tal), San Fernando (Psf), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), Grupo Palmichal (TKp), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Lidita Dura (K2ld), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Asociado a las fallas Los volcanes, Periquilla, Hirva, Los Yopos, al sistema de fallas de Guaicáramo, a los sinclinales Del Retiro, Las

Blancas, El Crisol, El Desespero y el Cochal. Esta geoforma se caracteriza por presentar superficies definidas por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, conformando una artesa, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas.

### **9.2.6 Ambiente glacial**

El ambiente glacial ocupa un área importante dentro de la zona de estudio, localizándose principalmente al costado noroeste de la misma, estas subunidades se encuentra relacionadas con procesos de erosión intensa originados por masas de hielo en zonas de alta montaña característico de los Andes Colombianos, originando laderas glaciadas, agujas, circos, valles glaciados y depósitos glaciáricos como flujos y morrenas entre otros, desencadenados en épocas glaciales o actuales, dichos eventos modelaron el relieve, por lo general este ambiente supera una altura de los 4000 m.s.n.m.

El ambiente glacial ocupa un área de 481.663 km<sup>2</sup>. Se desarrolla en depósitos cuaternarios de tipo Glacial (Qg) y Aluvial (Qal), además en rocas del paleógeno en las formaciones Concentración (Pgc), Picacho (Pgp), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt).

Se puede observar que la subunidad del ambiente glacial que ocupa mayor porcentaje de área, corresponde a la Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada (Gshlc), seguida de la Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle), la subunidad que menor porcentaje tienen dentro de la zona de estudio es el Circo glacial y de nivación (Gc).

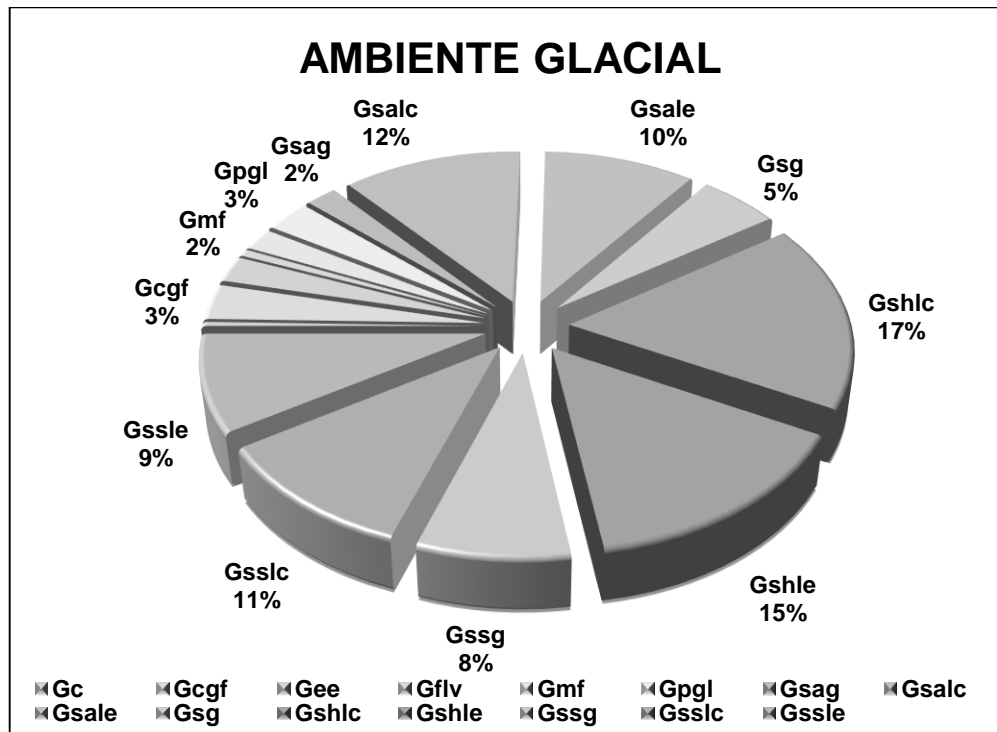


**Tabla 34.** Subunidades ambiente glacial.

CÓDIGO	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Gc	Circo glacial y de nivación	1.83	0.38
Gcgf	Conos glaciofluviales	15.64	3.24
Gee	Espolón estructural glaciado	11.52	2.39
Gflv	Flancos de valle glaciario	3.04	0.63
Gmf	Morrena de fondo	9.90	2.05
Gppl	Plano glaciolacustre	14.20	2.95
Gsag	Sierra anticlinal glaciada	9.81	2.03
Gsalc	Ladera contrapendiente sierra anticlinal glaciada	56.32	11.69
Gsale	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	47.43	9.84
Gsg	Sierra glaciada	25.12	5.21
Gshlc	Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada	82.78	17.18
Gshle	Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada	71.91	14.93
Gssg	Sierra sinclinal glaciada	37.35	7.75
Gsslc	Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada	51.97	10.79
Gssle	Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada	42.76	8.87
<b>TOTAL</b>		<b>481.66</b>	<b>100</b>

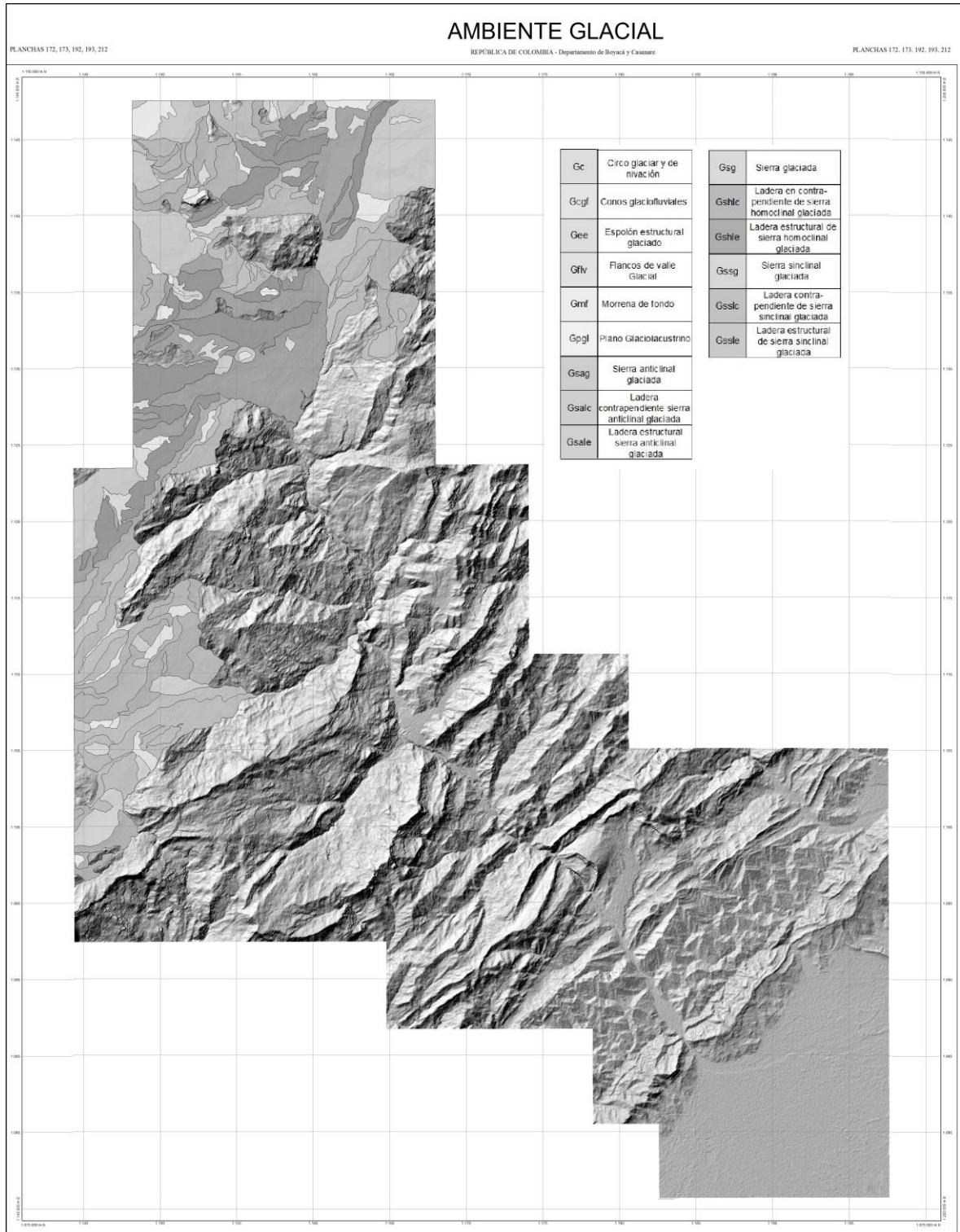
Fuente. Autor.

**Figura 25.** Distribución porcentual ambientes morfogenéticos.



Fuente. Autor.

**Imagen 93. Subunidades del ambiente glacial.**



Fuente. Autor.

#### 9.2.6.1 Circo glacial y de nivación (Gc)

Unidad cartografiada en el departamento de Boyacá en el municipio de Mongua, sobre depósitos superficiales no consolidados. Geomorfológicamente se caracteriza por presentar paredes cóncavas semicirculares de longitudes cortas a muy cortas, con pendientes escarpadas de concavidades o depresiones someras formadas por socavación debida a la acción erosiva de nieve en zonas de influencia glacial y periglacial respectivamente. Mientras los primeros se forman o se formaron por retro excavación rotacional de la masa de hielo, los segundos se originan por procesos de congelamiento y deshielo de la masa rocosa que produce depresiones por despegue y extracción de partículas (plucking), acumuladas luego ladera abajo por procesos de gelifracción. Se encuentran en la parte alta de las paredes de valles glaciales, y asociados con valles colgantes menores.

**Imagen 94.** Circo glacial y de nivación.

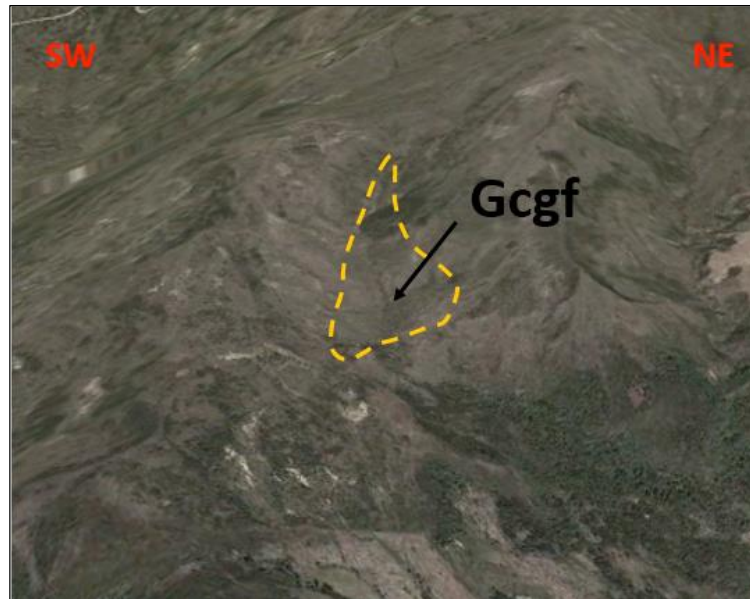


**Fuente.** Google Earth Pro.

### 9.2.6.2 Conos glaciofluviales (Gcgf)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Socha, Tasco, Gameza, Mongua y Aquitania, sobre depósitos cuaternarios de tipo Glacial (Qg). Geomorfológicamente corresponde con conos de longitud corta a muy larga, de laderas rectas – convexas, con un índice de inclinación de ladera que oscila de inclinadas a muy inclinadas ( $6^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ) y relieve relativo bajo. Los abanicos glaciofluviales son coalescentes algunos presentan disección longitudinal en asocio de escarpes en forma de “V”.

**Imagen 95.** Conos glaciofluviales.



**Fuente.** Google Earth Pro.

### 9.2.6.3 Espolón estructural glaciado (Gee)

Unidad ubicada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Labranzagrande y Aquitania, sobre rocas del cretácico de la formación Une (Kiu). Geomorfológicamente está definida como salientes simétricas agudas de morfología alomada y laderas cortas a largas (51 – 1000 m), de formas rectas a



irregulares, con pendientes que oscilan de inclinadas a escarpadas ( $6^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ ), dispuestas perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, en algunos casos limitadas por valles en forma de "U", cuyo origen obedece a procesos glaciales.

#### 9.2.6.4 Flancos de valle glaciar (Gflv)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Gameza y Aquitania, sobre rocas del paleógeno como las formaciones Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Dicha geoforma está definida por sus laderas con formas cóncavas e irregulares y pendientes abruptas ( $16^{\circ}$  -  $20^{\circ}$ ), la longitud de su ladera oscila de cortas a moderadas, localmente presenta facetas truncadas. Se originaron por procesos laterales de exaración y por la presión que ejercen las masas de hielo lateralmente sobre los flancos del valle inicial. Localmente los valles tributarios (valles colgantes) muestran el piso o fondo más alto que el valle principal que lo trunca en la confluencia.

#### 9.2.6.5 Morrena de fondo (Gmf)

Geoforma cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Tasco, Gameza, Mongua, Labranzagrande y Aquitania, sobre depósitos de tipo Cuaternario Glacial (Qg). Geomorfológicamente corresponde con depósitos o Montículos de forma alomada, compuestos por fragmentos de roca dispuestos de forma caótica, se encuentran embebidos en una matriz arcillo – arenosa con un grado de compactación alto. Su origen se debe a la depositación de grandes cantidades de sedimento, que han sido transportados por la masa de hielo y corrientes fluviales producto del deshielo, ya sea durante la época de glaciación o una vez terminados los eventos.

#### 9.2.6.6 Plano glaciolacustre (Gpgl)

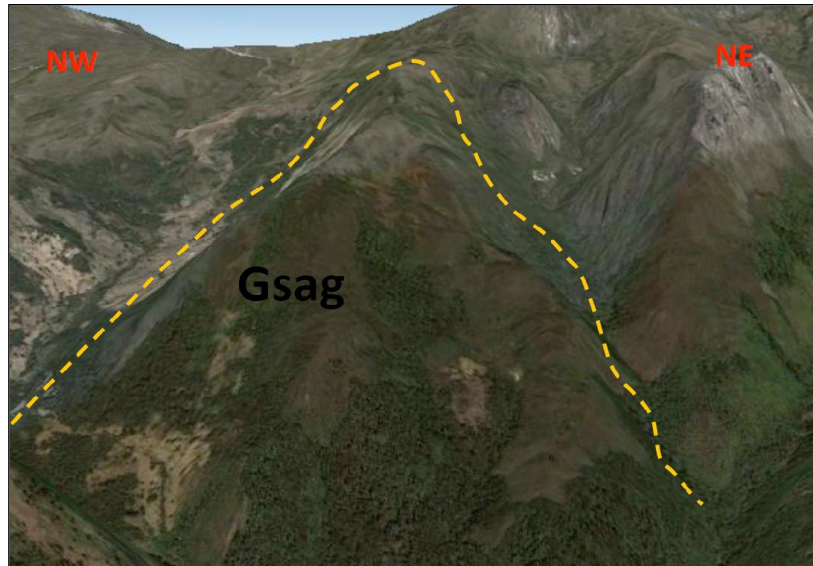
Unidad cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Tasco, Gameza, Mongua y Aquitania, sobre depósitos cuaternarios de tipo Glacial (Qg). Geomorfológicamente se definen como zonas planas a suavemente inclinadas ( $>5^\circ$ ), en ocasiones lobuladas que poseen longitudes moderadas y formas cóncavas. Su origen se debe al deshielo de masas glaciares que dieron lugar a la formación de corrientes que transportaron y depositaron material exarado de las zonas altas a las zonas marginales del glacial. Estos planos glaciolacustrinos están asociados a lagunas y zonas pantanosas de origen glacial.

#### 9.2.6.7 Sierra anticlinal glaciada (Gsag)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Labranzagrande y Aquitania, sobre rocas del cretácico como las formaciones Fόμεque (Kif), Une (Kiu). Morfológicamente la subunidad posee un índice de contraste del relieve alto a muy alto, de morfología montañosa a colinada (201 -  $>400$  m), e interfluvios subredondeados, que siguen el eje anticlinal formado por el plegamiento de los estratos o capas que se inclinan de forma divergente a partir de su eje, posee laderas moderadas a largas, de formas rectas, con índices de inclinación de ladera que oscilan de abrupta a escarpada ( $16^\circ - 45^\circ$ ). Su origen está asociado al desmantelamiento de los estratos blandos por erosión glacial y periglacial, dejando localmente depresiones de exaración, circos glaciales y de nivación manifiesta como concavidades poco desarrolladas.



**Imagen 96.** Sierra anticlinal glaciada.



**Fuente.** Google Earth Pro.

#### 9.2.6.8 Ladera contrapendiente sierra anticlinal glaciada (Gsalc)

Geoforma cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá, Tasco, Mongua, Labranzagrande y Aquitania, sobre rocas del paleógeno en las formaciones Concentración (Pgc), Picacho (Pgp), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Subunidad de morfología montañosa a colinada (201 - >400 m), índice de contraste del relieve muy alto, con laderas de longitudes cortas a extremadamente largas, de forma recta a escalonada, posee un índice de inclinación de ladera abrupta a muy escarpada, sus capas se encuentran dispuestas en contra de la pendiente del terreno. Su origen está asociado al desmantelamiento de los estratos blandos por erosión glacial y periglacial, dejando localmente depresiones de exaración, circos glaciales y de nivación manifiesta como concavidades poco desarrolladas.

#### 9.2.6.9 Ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá, Tasco, Mongua, Labranzagrande y Aquitania, sobre rocas del paleógeno en las formaciones Concentración (Pgc), Picacho (Pgp), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Geomorfológicamente la subunidad se define como laderas dispuestas en el mismo sentido de la pendiente del terreno, poseen índices de inclinación entre 21 y 45 grados, lo que corresponde con pendientes muy abruptas a escarpadas, de longitudes largas, y de formas convexas a rectas. Se constituyen de rocas competentes afectadas por procesos de gelifracción y extracción (plucking). Son comunes las depresiones de exaración, localmente ha desarrollado circos glaciales y de nivación.

#### 9.2.6.10 Sierra glaciada (Gsg)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en el municipio de Socotá, sobre rocas del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu). Geomorfológicamente la subunidad presenta una morfología montañosa y elongada, con un índice de contraste del relieve alto, presenta laderas largas a extremadamente largas, de formas cóncavas y pendientes muy abruptas, entre 21 y 30 grados, con interfluvios agudos debido a la acción erosiva de masas glaciares. Se originan cuando después de los levantamientos cordilleranos estas geoformas alcanzan alturas que permiten la acumulación de una masa glacial la cual va labrando y exarando sustratos rocosos y generando nuevas geoformas.

**Imagen 97.** Sierra glaciada.



**Fuente.** Google Earth Pro.

#### 9.2.6.11 Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada (Gshlc)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá, Tasco, Mongua y Gámeza, sobre rocas del paleógeno en las formaciones Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksqt). Geomorfológicamente está definida por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, de longitud variable, ya que oscila de muy largas a moderadas, de formas cóncavas a irregulares escalonadas y con pendiente escarpadas a muy escarpadas, se pueden asociar localmente a depresiones y circos de nivación. Presentan crestas agudas y localmente valles glaciales, transversalmente presenta formas irregulares. Es característica la morfología irregular en formas de U de las aristas glaciales. Son subunidades poco intervenidas al estar elevadas a más de 3000 m.s.n.m.

#### 9.2.6.12 Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá, Tasco, Mongua y Gámeza, sobre rocas del paleógeno en las formaciones Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). La Subunidad geomorfológica consiste en una ladera de sierra homoclinal glaciada, generalmente denudada, definida por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente, de longitud variable de muy largas a moderadas, de morfología Montañosa, formas convexas a cóncavas y superficies irregulares, con pendientes que oscilan de abruptas a muy escarpadas. Presentan crestas agudas y localmente están definidas por valles glaciales en forma de U. Son subunidades poco intervenidas al estar elevadas a más de 3000 m.s.n.m.

#### 9.2.6.13 Sierra sinclinal glaciada (Gssg)

Geoforma cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá, Tasco, Gámeza, Mongua, Labranzagrande y Aquitania, sobre rocas del paleógeno en las formaciones Concentración (Pgc), Picacho (Pgp), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Une (Kiu), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Geoforma determinada por su prominencia topográfica con pendientes que oscilan de abrupta a escarpada y morfología colinada, en forma de artesa elevada formada en el eje de un sinclinal, La disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura, invirtiendo el relieve original. Su génesis se debe al desmantelamiento por erosión glacial y periglacial de los estratos blandos de la cima dejando localmente depresiones de exaración, circos glaciales y de nivación manifiesta como concavidades poco desarrolladas.

#### 9.2.6.14 Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada (Gsslc)

Geoforma cartografiada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá, Tasco, Gámeza, Mongua, Labranzagrande y Aquitania, sobre rocas del paleógeno en las formaciones Concentración (Pgc), Picacho (Pgp), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksqt). Esta geoforma generalmente denudada, está definida por una superficie vertical a subvertical de longitud corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, pendiente abrupta a escarpada con rangos que oscilan entre los 30 y 45°, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, dicha geoforma está asociada al flanco de una estructura sinclinal que ha sido afectada por procesos de glaciación.

#### 9.2.6.15 Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle)

Localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá, Tasco, Gámeza, Mongua, Labranzagrande y Aquitania, sobre rocas del paleógeno en las formaciones Concentración (Pgc), Picacho (Pgp), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Fómeque (Kif), Une (Kiu), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksqt). Esta subunidad geomorfológica consiste en una ladera de sierra sinclinal glaciada, definida por estratos inclinados en favor de la pendiente del terreno, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas, dicha geoforma está relacionada al flanco de una estructura sinclinal que ha sido afectada por procesos de glaciación

### 9.2.7 Ambiente fluvial

Este ambiente morfogenético constituye uno de los menores porcentajes en relación con los demás ambientes que integran la zona de estudio, ubicándose de forma dispersa dentro del área, por lo general se localizan a lo largo de los principales cauces de los ríos como cauces aluviales, planos o llanuras de inundación, terrazas de acumulación, las barras longitudinales, entre otros.

Los procesos erosivos en las corrientes de los ríos, el transporte y la acumulación o sedimentación de material, son los causantes de estas unidades, dichos materiales se acumulan en zonas de menor pendiente para formar depósitos de tipo aluvial y por ende geoformas relacionadas al mismo tipo. Los principales drenajes asociados a la génesis de dichas unidades son el río Cravo Sur, río Payero, quebrada La Niata.

El ambiente fluvial ocupa un área de 206.984 km<sup>2</sup>. Se desarrolla sobre depósitos cuaternarios de tipo Aluvial (Qal), Coluvial (Qc), Aluvio Coluvial (Qac) y Flujos Torrenciales de Abanicos Aluviales (Qab).

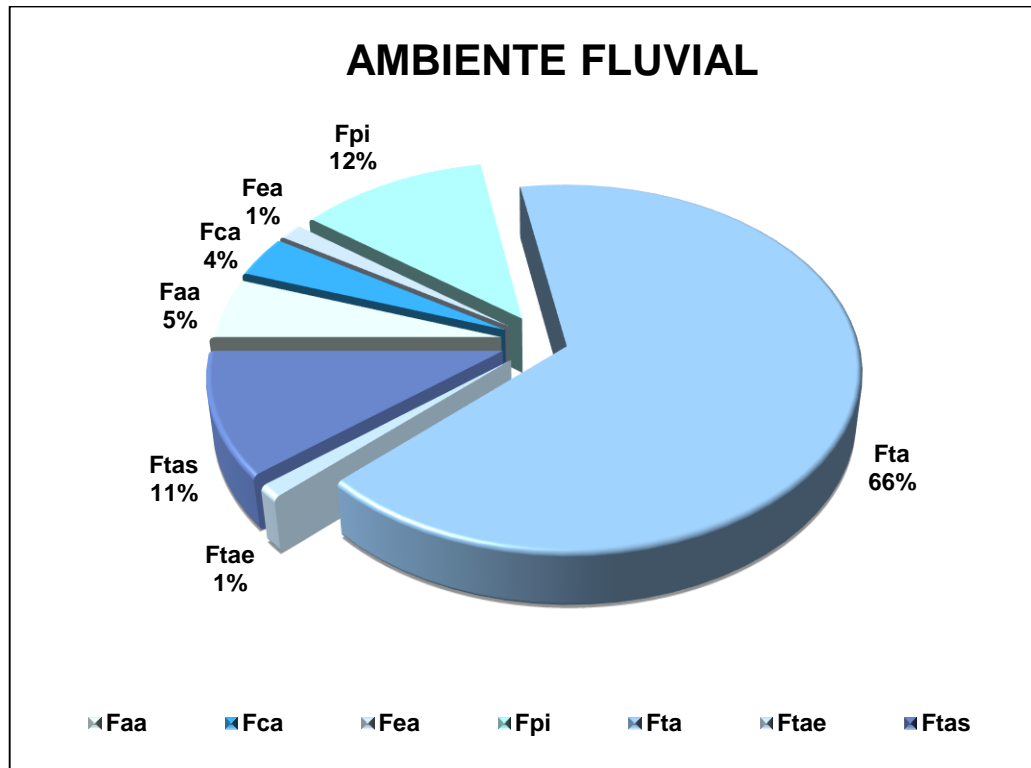
**Tabla 35.** Subunidades ambiente fluvial.

CÓDIGO	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Faa	Abanico aluvial	11.12	5.37
Fca	Cauce aluvial	7.52	3.63
Fea	Escarpe de abanico fluvial	2.92	1.41
Fpi	Plano o llanura de inundación	24.53	11.85
Fta	Terraza de acumulación	135.90	65.65
Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	2.40	1.16
Ftas	Terraza de acumulación subreciente	22.57	10.90
<b>TOTAL</b>		<b>206.98</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.



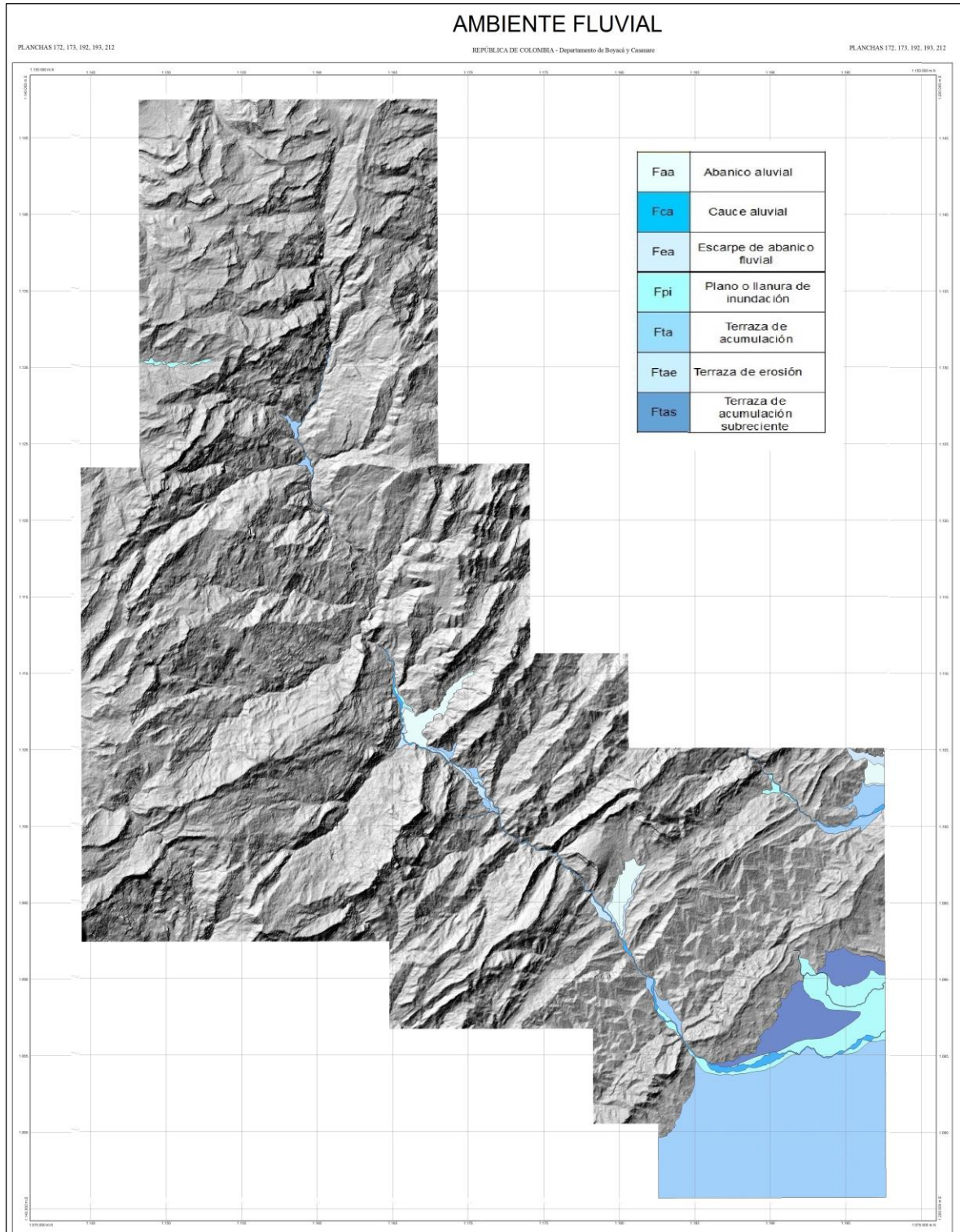
**Figura 26.** Distribución porcentual ambientes morfogenéticos.



Fuente. Autor.

Se puede observar que la subunidad del ambiente fluvial que ocupa mayor porcentaje de área, corresponde a la Terraza de acumulación (Fta), seguida del Plano o llanura de inundación (Fpi), la subunidad que menor porcentaje tienen dentro de la zona de estudio es el Escarpe de terraza de acumulación (Ftae).

**Imagen 98.** Subunidades del ambiente fluvial.



**Fuente.** Autor.

#### 9.2.7.1 Abanico aluvial (Faa)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Labranzagrande y Paya, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre depósitos cuaternarios de tipo Aluvial (Qal) y Aluvio Coluvial (Qac). Esta subunidad se caracteriza por presentar una superficie en forma de cono, de laderas cóncavas a convexas, morfología plana y aterrazada, el origen se relaciona con la acumulación torrencial y fluvial en forma radial, donde una corriente desemboca en una zona plana.

#### 9.2.7.2 Cauce aluvial (Fca)

Geoforma cartografiada en el curso de los principales afluentes hídricos que bañan la zona de estudio, localizada a lo largo de los ríos Cravo Sur, Payero, quebrada La Niata. Caracterizada por ser canales de forma irregular excavados por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos o sedimentos aluviales, Estos cauces se hacen evidentes para la escala 1:100.000 por la pendiente, resistencia del lecho y la carga de sedimentos.

#### 9.2.7.3 Escarpe de abanico fluvial (Fea)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Labranzagrande y Paya, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre depósitos cuaternarios de tipo Aluvial (Qal) y Aluvio Coluvial (Qac). Esta subunidad se caracteriza por ser un plano vertical de longitud muy corta a corta, cóncavo o convexo, su origen está relacionado a procesos de incisión de la red de drenajes.

#### 9.2.7.4 Plano o llanura de inundación (Fpi)

Geoforma cartografiada en el curso de los principales afluentes hídricos que bañan la zona de estudio, localizada a lo largo de los ríos Cravo Sur, Payero, quebrada La Niata, se desarrolla principalmente sobre Depósitos Aluviales (Qal). Se caracteriza por presentar una morfología plana, baja a ondulada, en ocasiones inundable, localizada limitando los cauces fluviales donde se delimitan con escarpes de terrazas. Esta unidad incluye la presencia de planos fluviales así como la presencia de pequeños cuerpos coluviales de menor tamaño. En las zonas de montaña tiende a presentarse en formas alargadas y estrechas debido a la interconexión de tributarios que conforman los cauces principales.

#### 9.2.7.5 Terraza de acumulación (Fta)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Labranzagrande y Paya, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre depósitos cuaternarios de tipo Aluvial (Qal) y Aluvio Coluvial (Qac). Se caracteriza por presentar superficies elongadas, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, se limita por escarpes de diferentes alturas a lo largo del cauce fluvial, su origen se relaciona a procesos de erosión y acumulación aluvial dentro de antiguas llanuras de inundación.

#### 9.2.7.6 Escarpe de terraza de acumulación (Ftae)

Se ubica en el departamento de Boyacá en el municipio de Labranzagrande y en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre depósitos cuaternarios de tipo Aluvial (Qal) y Coluvial (Qc). Caracterizada por presentar un plano vertical a subvertical, escalonada, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación, su origen se relaciona a la incisión y profundización del cauce, la altura de los escarpes puede alcanzar decena de metros. Generado por acción erosiva del río Cravo Sur.

#### 9.2.7.7 Terraza de acumulación subreciente (Ftas)

Unidad se desarrolla en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre depósitos cuaternarios de tipo Aluvial (Qal) y Flujos Torrenciales de Abanicos Aluviales (Qab). Esta geoforma presenta una superficie plana a suavemente inclinada, remanentes de terrazas de morfología ondulada disectada, su origen se relaciona con la ampliación del valle de un río ya que la erosión gana importancia en las márgenes. La superficie de la llanura aluvial se encuentra contigua a las márgenes del valle en forma de escalón.

#### 9.2.8 Ambiente denudacional

Dentro de la zona de estudio el ambiente denudacional se presenta de acuerdo a la expresión morfológica relacionada con procesos exógenos degradacionales y se encuentra definida por la acción combinada de los procesos de meteorización y erosión producidos por los agentes erosivos, los cuales modelan el paisaje y reduce la topografía pre-existente, generando a través del transporte de material nuevas geoformas.

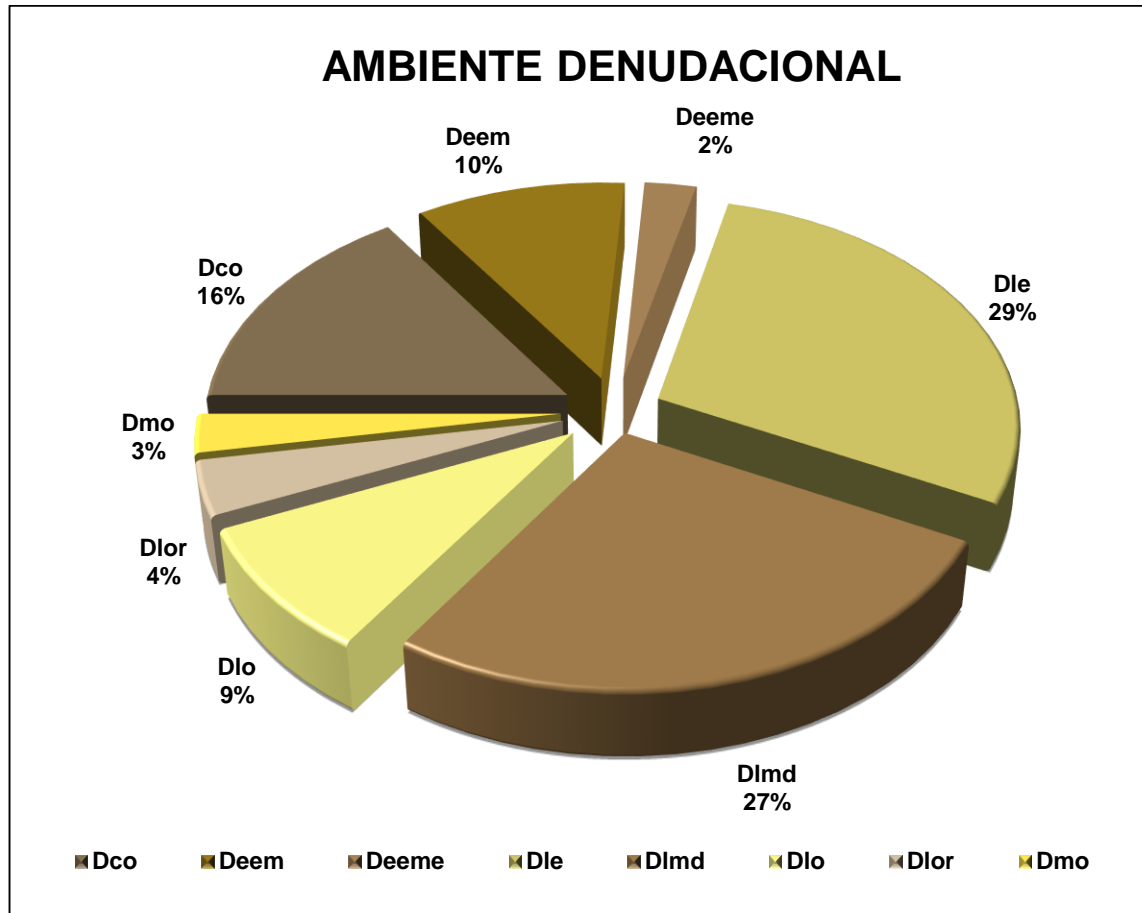
El ambiente denudacional ocupa un área de 73.052 km<sup>2</sup>. Se desarrolla en depósitos cuaternarios de tipo Glacial (Qg) y Aluvial (Qal), además sobre rocas del neógeno en las formaciones Diablo (N1d), Caja (N1c), del paleógeno en la formación San Fernando (Psf), Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), Grupo Palmichal (TKp), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj), Lutitas de Macanal (Kilm), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt).

**Tabla 36.** Subunidades ambiente denudacional.

CÓDIGO	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Dco	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción	11.38	15.58
Deem	Escarpe de erosión mayor	7.67	10.50
Deeme	Escarpe de erosión menor	1.88	2.58
Dle	Ladera erosiva	21.02	28.78
Dlmd	Lomeríos muy disectados	19.60	26.84
Dlo	Ladera Ondulada	6.65	9.11
Dlor	Loma residual	2.81	3.85
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	1.99	2.73
<b>TOTAL</b>		<b>73.05</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

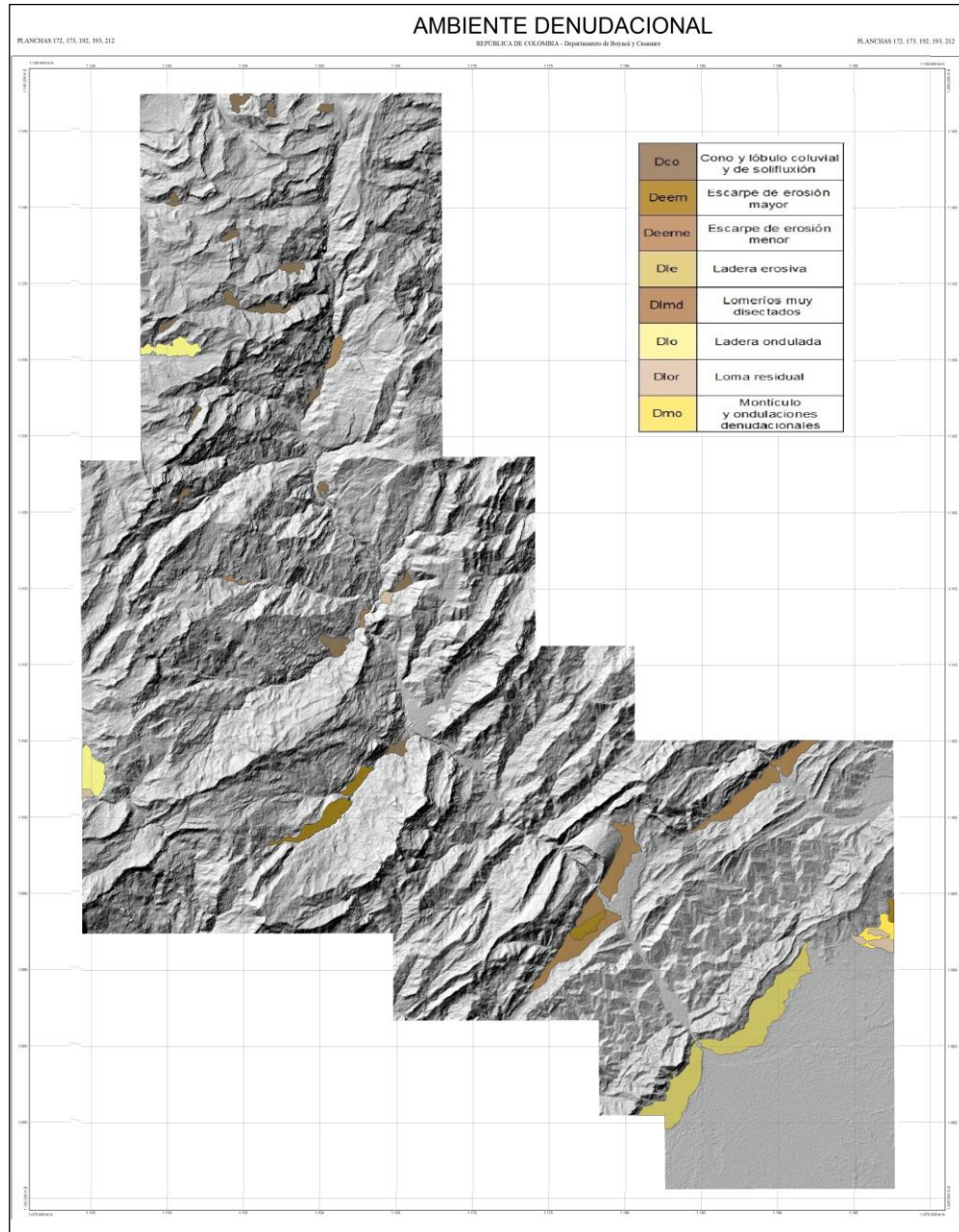
**Figura 27.** Distribución porcentual ambientes morfogenéticos.



Fuente. Autor.



**Imagen 99.** Subunidades del ambiente denudacional.



**Fuente.** Autor.

Se puede observar que la subunidad del ambiente denudacional que ocupa mayor porcentaje de área, corresponde a la Ladera erosiva (Die), seguida de los Lomeríos muy disectados (DImd), la subunidad que menor porcentaje tienen dentro de la zona de estudio es el Escarpe de erosión menor (Deeme).

#### 9.2.8.1 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Socha, Socotá, Tasco, Mongua, Gámeza y Labranzagrande, sobre depósitos superficiales no consolidados. Esta subunidad geomorfológicamente se caracteriza por tener una forma de cono, morfología alomada baja, índice de relieve bajo. El espesor del suelo es de 40 cm aproximadamente. La génesis está relacionada a procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados.

**Imagen 100.** Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión.



**Fuente.** Google Earth Pro.

#### 9.2.8.2 Escarpe de erosión mayor (Deem)

Se ubica en el departamento de Boyacá en el municipio de Labranzagrande y en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del neógeno de la formación Caja (N1c), del paleógeno de la formación San Fernando (Psf), del cretácico como la formación Une (Kiu). Geomorfológicamente esta subunidad se caracteriza por formarse por distintas causas tectónicas, por la erosión hídrica y erosión diferencial, se presenta por una ladera abrupta de altura variable, por procesos gravitacionales, glaciales. Eventualmente presenta una longitud corta a larga, de forma cóncava, convexa y recta, con pendiente escarpada.

#### 9.2.8.3 Escarpe de erosión menor (Deeme)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Socotá, Mongua y Labranzagrande, sobre rocas del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Areniscas de Las Juntas (Kiaj). Esta subunidad geomorfológica presenta una ladera abrupta, con longitud moderadamente larga, de forma cóncavo a convexo, tiene pendientes escarpadas, con drenajes paralelos, su génesis se relaciona a la socavación fluvial lateral, por procesos erosivos y movimientos en masa remanentes a lo largo de un drenaje.

#### 9.2.8.4 Ladera erosiva (Dle)

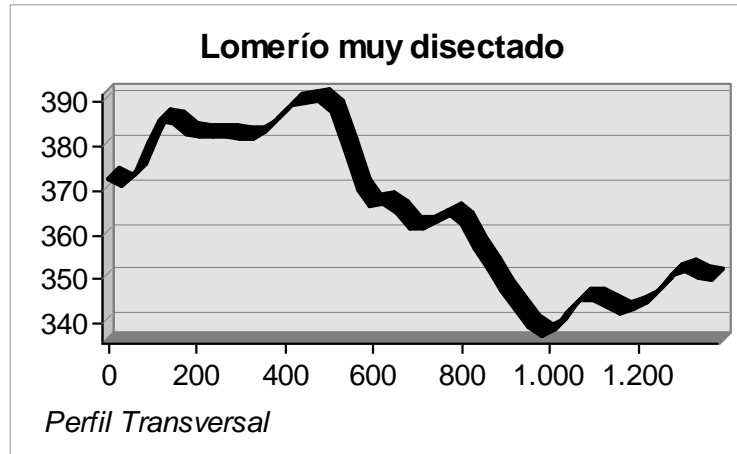
Se ubica en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del paleógeno de la formación San Fernando (Psf). Geomorfológicamente se define como el declive de un terreno con pendientes muy inclinadas a escarpadas, la longitud de la ladera es variable, con variedad de formas planas, cóncavas y convexas, con un drenaje denso con ramificaciones regulares es decir tipo dendrítico, en ocasiones a subparalelo. Se presenta alta disección de drenajes y desarrollo sobre el terreno de procesos de erosión intensa como cárcavas, surcos y solifluxión (desplazamiento masivo y lento por gravedad), las laderas no se asocian directamente a una geoforma mayor o a una estructura. Se desarrollan suelos delgados debido a la alta erosión.

#### 9.2.8.5 Lomeríos muy disectados (Dlmd)

Se ubica en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del paleógeno de la formación San Fernando (Psf). Geomorfológicamente se caracteriza por presentar prominencias topográficas con morfología alomada, con cimas redondeadas y amplias, con laderas cortas a moderadamente largas, con pendientes abruptas a escarpadas, índice de relieve bajo. Se originó a partir de

procesos denudativos intensos acentuados en la disección alta de las corrientes fluviales, generando valles en V. Estos lomeríos se encuentran en los bordes de altiplanos y frentes de erosión. Se presentan suelos con espesores variables, se presentan movimientos en masa superficiales.

**Figura 28.** Lomeríos muy disectados.



**Fuente.** Autor.

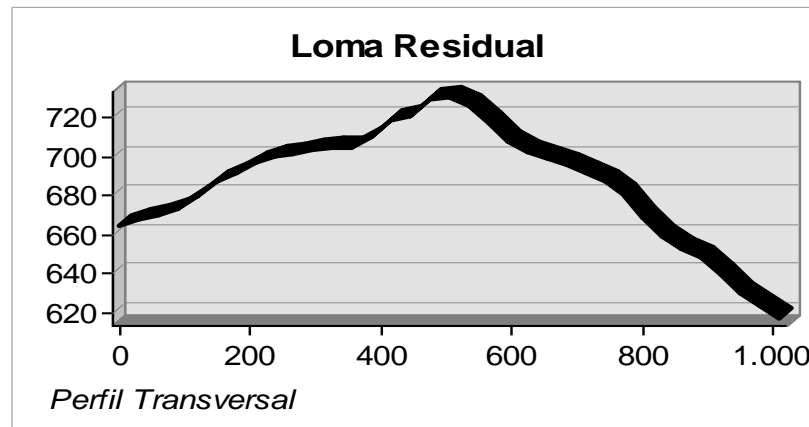
#### 9.2.8.6 Ladera Ondulada (Dlo)

Se localiza en el departamento de Boyacá en los municipios de Gámeza y Aquitania, sobre rocas del cretácico como la formación Chipaque (Ksc). Geomorfológicamente se define como el declive de un terreno con pendientes inclinadas a escarpadas, la longitud de la ladera es variable. Tiene un patrón de drenaje denso con ramificaciones regulares es decir tipo dendrítico, en ocasiones a subparalelo. En esta subunidad se presentan suelos gruesos y vegetación abundante, con poca disección de drenajes.

### 9.2.8.7 Loma residual (Dlor)

Unidad localizada en el departamento de Boyacá en los municipios de Aquitania y Labranzagrande, en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre rocas del neógeno de la formación Caja (N1), del cretácico como la formación Une (Kiu). Geomorfológicamente se define como una prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre nivel de base local, tiene morfología alomada y elongada, sus laderas varían de cortas a muy cortas, su forma es convexa y tiene pendientes de muy inclinadas a muy abruptas. Su origen se asocia a procesos intensos de meteorización, erosión diferencial y aislamiento por disección de drenajes. Los suelos que desarrolla son residuales de espesor grueso.

**Figura 29.** Loma residual.



**Fuente.** Autor.

### 9.2.8.8 Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)

Se ubica en el departamento de Casanare en el municipio de Yopal, sobre depósitos cuaternarios de tipo Aluvial (Qal). Geomorfológicamente son elevaciones de terreno con elevación sobre su base menor a 50 metros, presenta una morfología colinada, con secuencias cóncavas convexas, suavemente inclinada y drenaje divergente.

## 10. COBERTURA VEGETAL

### 10.1 CLASIFICACIÓN DE LAS IMÁGENES

Las imágenes satelitales contienen un número específico de píxeles los cuales representan un área determinada en el espacio, conformados por información espectral, la clasificación de estos píxeles de acuerdo a sus valores espectrales se utiliza para agrupar o zonificar áreas y delimitar clases temáticas a partir de lo cual se puede obtener una cartografía temática.

La vegetación es un elemento dinámico que está relacionado con los demás elementos que forman el medio ambiente; es por ello que cualquier cambio o deterioro en su estructura influye negativamente en el entorno sobre el cual se desarrolla.

El objeto del conocimiento de la vegetación en la zona de estudio es dar una idea amplia y general sobre la fisonomía y dinámica de las diferentes asociaciones que se desarrollan en el área de influencia. El paisaje está delimitado por el río Cravo Sur, en general tiene una cobertura vegetal compuesta por biotipos de bosque secundario o rastrojo alto, rastrojo bajo, pastos naturales, pastos manejados, pastos enmalezados y áreas con cultivos agrícolas.

#### 10.1.1 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada se compone de diferentes procesos, inicialmente se realiza una fase de entrenamiento donde se distinguen las categorías de acuerdo a sus valores digitales, seguida de una fase de asignación de los píxeles contenidos en la imagen a las categorías definidas, finalmente se ejecuta una comprobación y validación de los resultados.

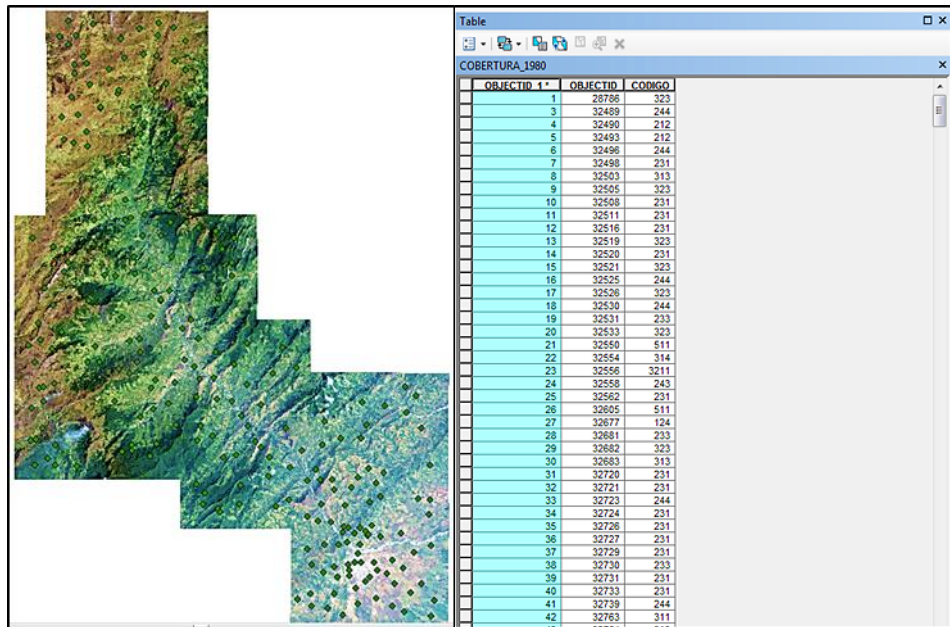


### 10.1.1.1 Fase de entrenamiento

Esta primera parte del proceso es la más importante, pues de ella depende la calidad de la clasificación. Los factores que inciden en el resultado son; la calidad y pureza de los pixeles por cada categoría, y un número representativo de variabilidad de cada categoría.

Las diferentes coberturas analizadas se obtuvieron con base en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. Esta es un inventario homogéneo de coberturas con características técnicas específicas. Tiene como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos a escala 1:100.000 sobre la cobertura y uso del territorio.

**Imagen 101.** Software ArcGis 10.2.2, fase de entrenamiento.



**Fuente.** Autor.

Posteriormente se generó y guardo una firma espectral con la herramienta Create Signatures.

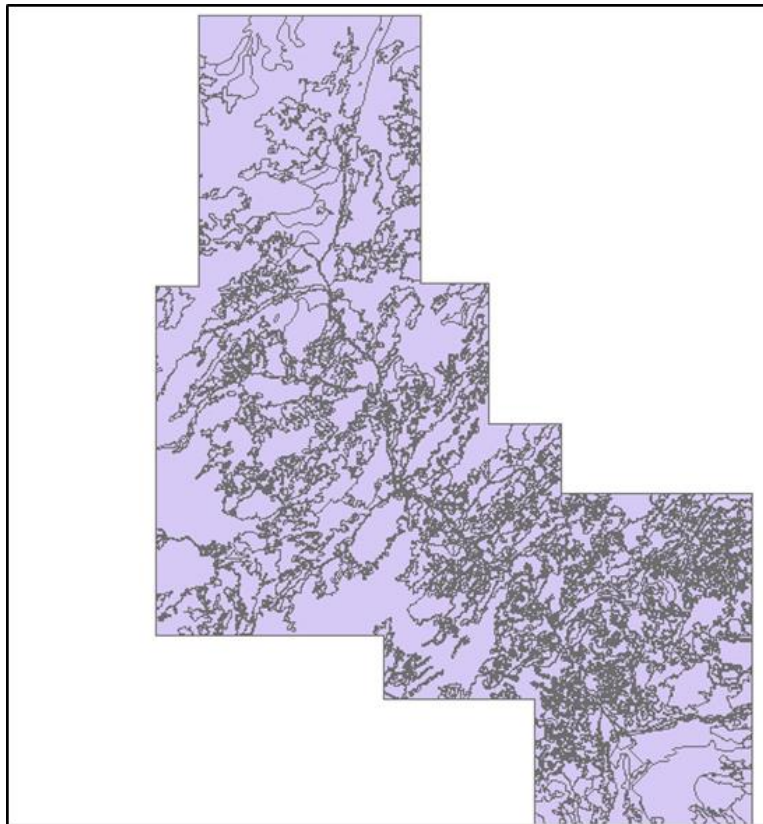
ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Create Signatures.

### 10.1.1.2 Fase de asignación

Al clasificar la imagen se considerando cada píxel uno por uno, comparando su firma particular con cada una de las firmas conocidas. Las clasificaciones resultan de asignar cada píxel al tipo de cobertura que tiene la firma espectral más similar, con la herramienta Maximum Likelihood Classification, utilizando la imagen ráster y el shapefile con el campo de los valores numéricos de cada clase.

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Maximum Likelihood Classification.

**Imagen 102.** Fase de asignación.



**Fuente.** Autor.

## 10.2 ZONAS DE COBERTURA VEGETAL

El área presenta influencia de los paisajes de montaña y piedemonte, sobre los cuáles se desarrollan varias formaciones o zonas de vida vegetal bien definidas. Existen a lo largo de la cuenca una variación de humedad, el cual incide en la precipitación, cuya manifestación es más notoria dependiendo de las condiciones topográficas. Este gradiente de humedad se manifiesta en la vegetación dando lugar a los diferentes tipos de formación vegetal.

### 10.2.1 Zonas de páramo

Se ubica en la cordillera Oriental, típicos de la cuenca superior del río Cravo Sur al norte del área de estudio. Presenta temperaturas medias anuales entre 6 – 12 grados centígrados y elevaciones de unos 3000 – 4000 msnm, esta formación equivale a la tierra fría y al subpáramo, al piso montano de Holdridge (1977) y al piso alto andino. El subpáramo puede considerarse como la faja transicional entre la selva andina y el páramo propiamente dicho, pero su reconocimiento y delimitación como unidad climática ofrece dificultades debido a la intervención humana (Hernandez, 1990). El subpáramo se inicia a los 3000 metros de altitud, con un clima húmedo originado por la baja temperatura que determina poca evapotranspiración. En las noches la temperatura desciende en ocasiones a menos de cero grados centígrados, originándose las heladas que afectan los cultivos agrícolas y forestales. La humedad del ecosistema se fortalece con la presencia frecuente de nubes y neblina que humectan las masas foliares al contacto con la vegetación.

La topografía de esta formación es variable, con planicies surcadas de corrientes de agua hasta relieves pendientes de profundas gargantas y escarpados desfiladeros. Las especies que no alcanzan mayor altura, son los matorrales

paramunos, poco uniformes y mezclados a árboles procedentes del inmediato bosque andino.

Los bosques naturales de este paisaje están siendo destruidos y reducidos por la acción antropógena al transformar el uso del suelo a actividades agrícolas, los relictos existentes se localizan a manera de parches o manchas sobre sectores abruptos de difícil acceso. El área se ha transformado en un alto porcentaje y son predominantes los rastrojos razantes y las zonas de cultivo y de pastoreo incluyendo áreas de topografía plana, semiondulada y quebrada.

### **10.2.2 Zona andina**

Equivale al bosque tropical, ombrófilo subalpino de la clasificación de Unesco, con temperaturas medias anuales de 12 – 18 grados centígrados y elevaciones entre unos 1800 y 3000 msnm; equivale a la tierra fría, al piso montano bajo. La tierra es montañosa y accidentada con drenajes menores que corren por cañones escarpados y profundos sin formar valles aluviales. Los bosques naturales de esta formación están en proceso de desaparición pues muchas áreas están siendo transformadas en zonas ganaderas.

Presenta una intervención antropógena, manifiesta por la presencia de potreros en zonas de pendientes fuertes de cobertura gramínea producto de la transformación del bosque Andino, con predominio del uso de suelo para pastoreo y en baja proporción para cultivos, también son comunes las quemadas como sistema de adecuación de las tierras para cultivo.

### 10.2.3 Zona subandina

Equivale al bosque húmedo y muy húmedo, al piso térmico templado. Con temperaturas medias anuales de 18 – 24 grados centígrados y elevaciones de unos 800 a 2000 msnm, equivale a la tierra templada, a la zona subtropical y a la zona Subandina.

La humedad y precipitación en esta zona obedece a factores orográficos que producen condiciones locales favorables; las áreas han sufrido una explotación intensiva por muchos años con cultivos de café, yuca, plátano, maíz, frijol, caña de azúcar, frutales y otros.

Corresponde a terrenos fuertemente inclinados. La forma y apariencia vegetal de estas zonas han sido muy alteradas por la intervención del hombre mediante la ejecución de actividades de pastoreo, quemas, cultivos y muy poco queda del estado original. Las especies maderables de estas tierras son de gran calidad y de ahí que los escasos bosques que sobreviven sobre escarpadas lomas sean sometidos a la presión antrópica. El bosque que aún subsiste en estas áreas es alto.

Esta zona se encuentra dentro del llamado piedemonte llanero que comprende una franja de terreno localizada al pie del sistema montañoso, de relieves planos a ondulados, con pendientes suaves y pronunciadas en algunos casos, la altitud varía entre 450 y 800 msnm, posee temperaturas superiores a 18 grados centígrados y precipitaciones anuales cercanas a 2500 mm que conforman un clima medio a cálido y húmedo equivalente a la formación vegetal de bosque húmedo subtropical transición a la zona tropical de Holdridge (IGAC, 1993).

Los suelos del piedemonte actualmente están siendo dedicados a la ganadería semi intensiva y extensiva, con pastos mejorados y naturales, sin embargo existen relictos selváticos sobre los taludes y zonas de fuerte pendiente y difícil acceso. El paisaje en general está conformado por vegetación secundaria y rastrojos, que protegen las riberas de los cauces y quebradas, permitiendo además la existencia de alta diversidad aviar y de mamíferos en el sector.

#### **10.2.4 Áreas de Preservación**

Las áreas declaradas como zonas de conservación a través del sistema de áreas protegidas corresponden principalmente al Parque Nacional Natural Pisba, Reserva forestal la Tablona, Reserva forestal de la Cuenca alta del río Cravo Sur y el páramo de Pisba, que albergan una importante fuente de recursos hídricos, florísticos y faunísticos, sin embargo carecen de los estudios que den a conocer su potencial biótico, escénico y turístico.

También son de importancia ambiental los páramos de Ogontá y Pisba, jurisdicción del municipio de Labranzagrande, por su aporte hídrico al ser el sitio de nacimiento de los ríos Cravo Sur, Tocaría y Payero. La laguna de Ogontá de origen glacial también es relevante por su significancia a nivel socioambiental.

#### **10.3 MAPAS DE COBERTURA VEGETAL**

Utilizando la metodología Corine Land Cover para Colombia (CLC), se realizó la clasificación de las características de la cobertura terrestre en la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur, para los años 1985, 1990, 2001, 2009 y 2017, generando 27 tipos de cobertura nivel 3 que abarcan 2,118 Km<sup>2</sup> a escala 1:100.000. Teniendo las coberturas clasificadas en tipo raster, se convirtieron en vector para poder realizar el análisis de áreas para cada una respectivamente.



**Tabla 37.** Clasificación de cobertura vegetal del área de estudio.

<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
<b>1.1. Zonas urbanizadas</b>	<b>3.1. Bosques</b>
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.2. Bosque abierto
<b>1.2. Zonas industriales o comerciales</b>	3.1.3. Bosque fragmentado
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.2.4. Aeropuertos	<b>3.2. Áreas con vegetación herbácea</b>
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.2.1.1. Herbazal denso
1.4.2. Instalaciones recreativas	3.2.1.2. Herbazal abierto
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	3.2.2.1. Arbustal denso
<b>2.1. Cultivos transitorios</b>	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.3 Vegetación de transición
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>	<b>3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación</b>
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
<b>2.3 Pastos</b>	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2.3.1. Pastos limpios	<b>5.1. Aguas continentales</b>
2.3.2. Pastos arbolados	5.1.1. Ríos
2.3.3. Pastos enmalezados	5.2.1. Lagunas
<b>2.4 Áreas Agrícolas</b>	
2.4.1. Mosaico de cultivos	
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos	
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	

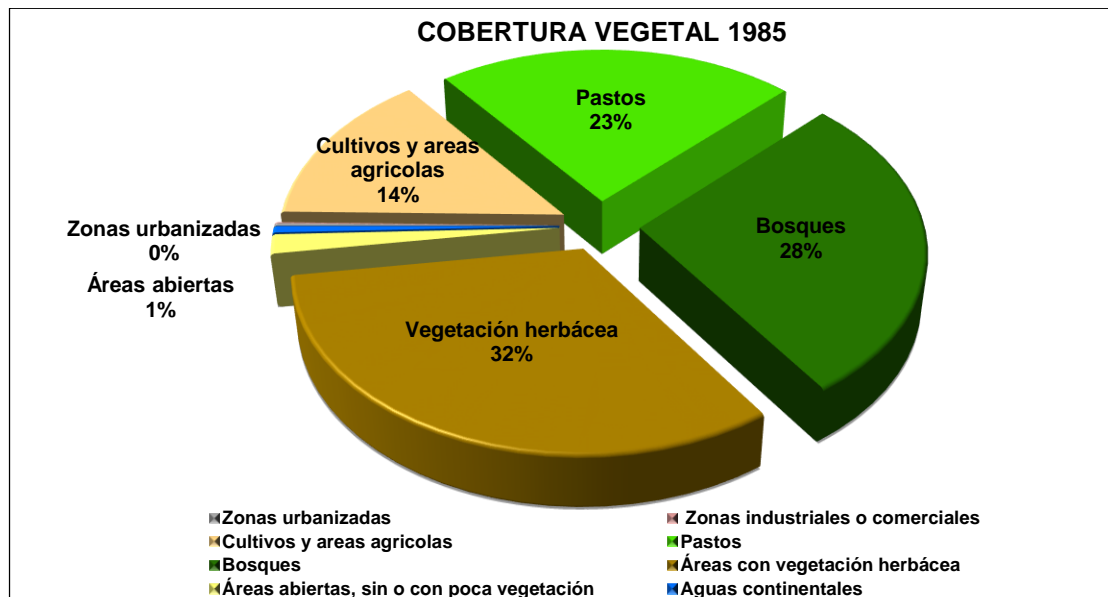
**Fuente.** Metodología Corine Land Cover para Colombia a escala 1:100.000.

Tabla 38. Unidades de cobertura vegetal, año 1985.

CÓDIGO	UNIDAD	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
111	Tejido urbano discontinuo	4.29	0.20
112	Tejido urbano continuo	0.12	0.01
121	Zonas industriales o comerciales	0.32	0.01
124	Aeropuertos	0.80	0.03
142	Instalaciones recreativas	0.38	0.01
211	Otros cultivos transitorios	0.31	0.01
212	Cereales	2.06	0.09
221	Cultivos permanentes herbáceos	1.14	0.05
231	Pastos limpios	364.14	17.19
232	Pastos arbolados	14.76	0.69
233	Pastos enmalezados	108.50	5.12
241	Mosaico de cultivos	8.87	0.41
242	Mosaico de pastos y cultivos	112.79	5.32
243	Mosaico de cultivos, pastos	29.35	1.38
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	146.61	6.92
311	Bosque denso	375.70	17.74
313	Bosque fragmentado	200.83	9.48
314	Bosque de galería y ripario	14.09	0.66
322	Arbustal	71.34	3.36
3211	Herbazal denso	87.67	4.14
3212	Herbazal abierto	370.71	17.50
323	Vegetación de transición	154.12	7.27
331	Zonas arenosas naturales	2.93	0.13
332	Afloramientos rocosos	29.35	1.38
333	Tierras desnudas y degradadas	4.31	0.20
511	Ríos	11.80	0.55
512	Lagunas	0.37	0.01
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

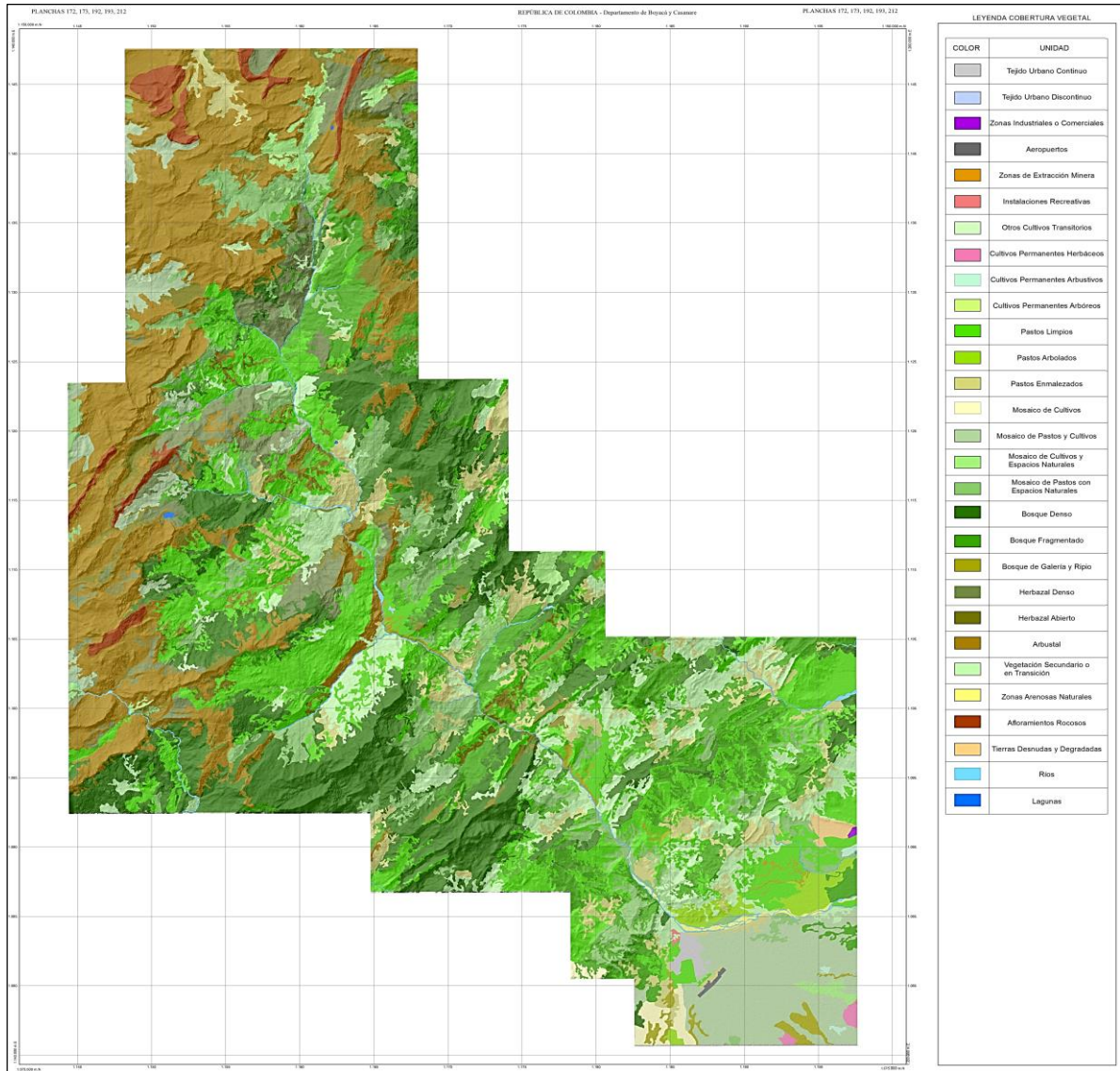
Fuente. Autor.

Figura 30. Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.

**Imagen 103.** Cobertura vegetal del año 1985, (Anexo 8).



**Fuente.** Autor.

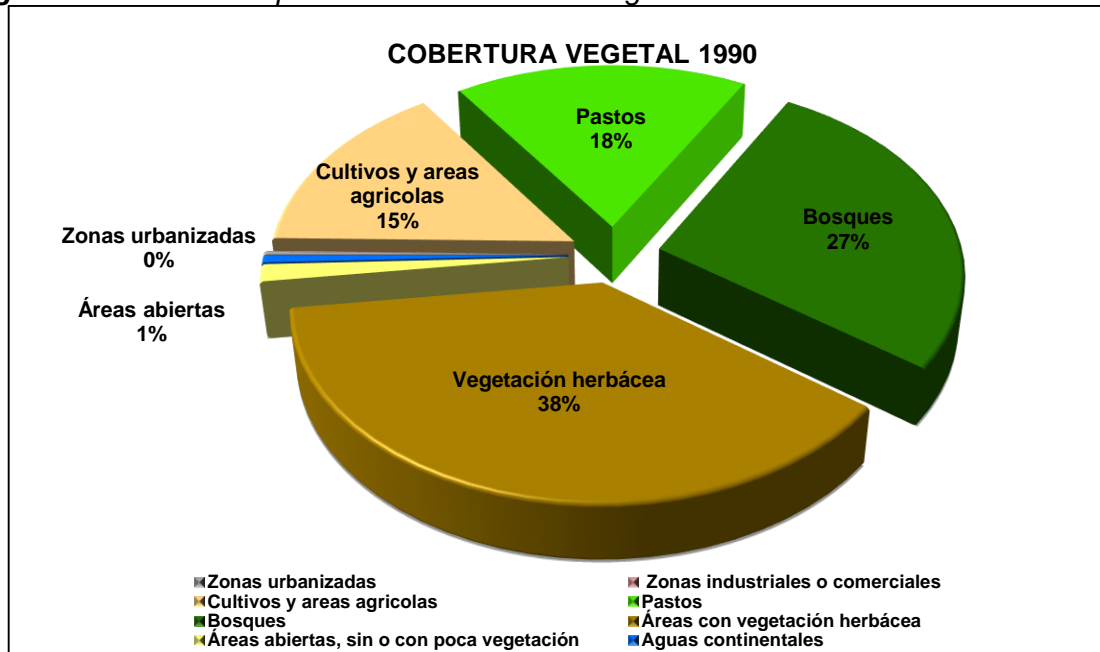
Para el año de 1985 la cobertura que predominaba en la zona, era la vegetación herbácea donde la unidad de herbazal abierto representa un 17,5 % del área, asociada principalmente a zonas de paramo donde prevalecen las grande alturas y temperaturas bajas; Seguida por los bosques, donde su unidad principal el bosque denso ocupa un 17,7 % de la cobertura, localizado principalmente en la zona andina en sectores de alta humedad.

Tabla 39. Unidades de cobertura vegetal, año 1990.

CÓDIGO	UNIDAD	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
111	Tejido urbano continuo	4.75	0.22
112	Tejido urbano discontinuo	0.09	0.01
124	Aeropuertos	0.80	0.03
142	Instalaciones recreativas	0.36	0.01
211	Otros cultivos transitorios	0.72	0.03
212	Cereales	4.75	0.22
222	Cultivos permanentes arbustivos	0.68	0.03
231	Pastos limpios	252.47	11.92
232	Pastos arbolados	18.84	0.89
233	Pastos enmalezados	101.31	4.78
242	Mosaico de pastos y cultivos	109.19	5.15
243	Mosaico de cultivos, pastos	17.68	0.83
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	188.83	8.91
311	Bosque denso	347.98	16.43
313	Bosque fragmentado	214.84	10.14
314	Bosque de galería y ripario	11.53	0.54
322	Arbustal	45.66	2.15
3211	Herbazal denso	0.37	0.01
3212	Herbazal abierto	492.55	23.25
323	Vegetación de transición	260.83	12.31
331	Zonas arenosas naturales	3.65	0.17
332	Afloramientos rocosos	26.31	1.24
333	Tierras desnudas y degradadas	0.70	0.03
511	Ríos	12.38	0.58
512	Lagunas	0.37	0.01
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

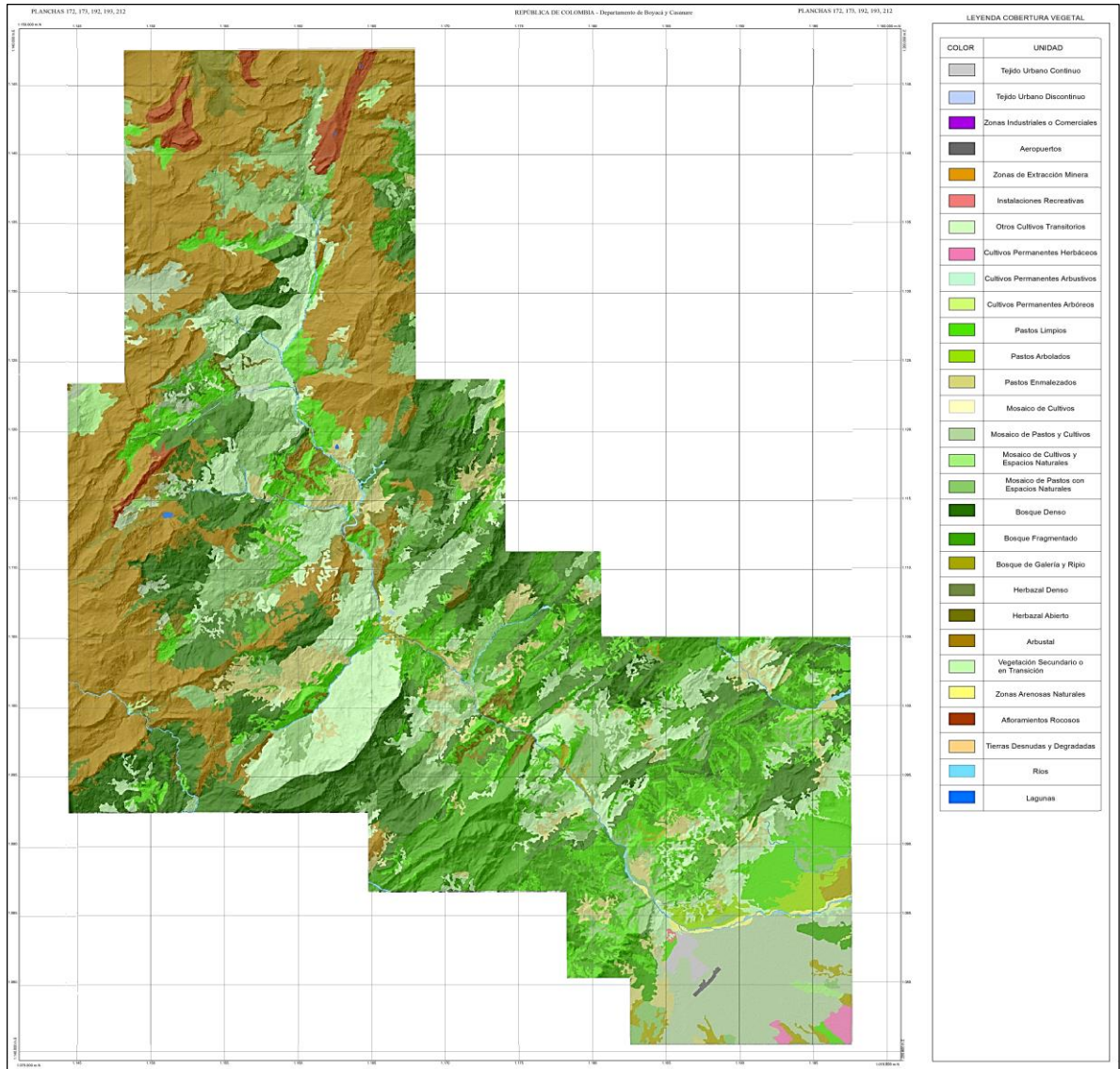
Figura 31. Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.



**Imagen 104.** Cobertura vegetal del año 1990, (Anexo 9).



**Fuente.** Autor.

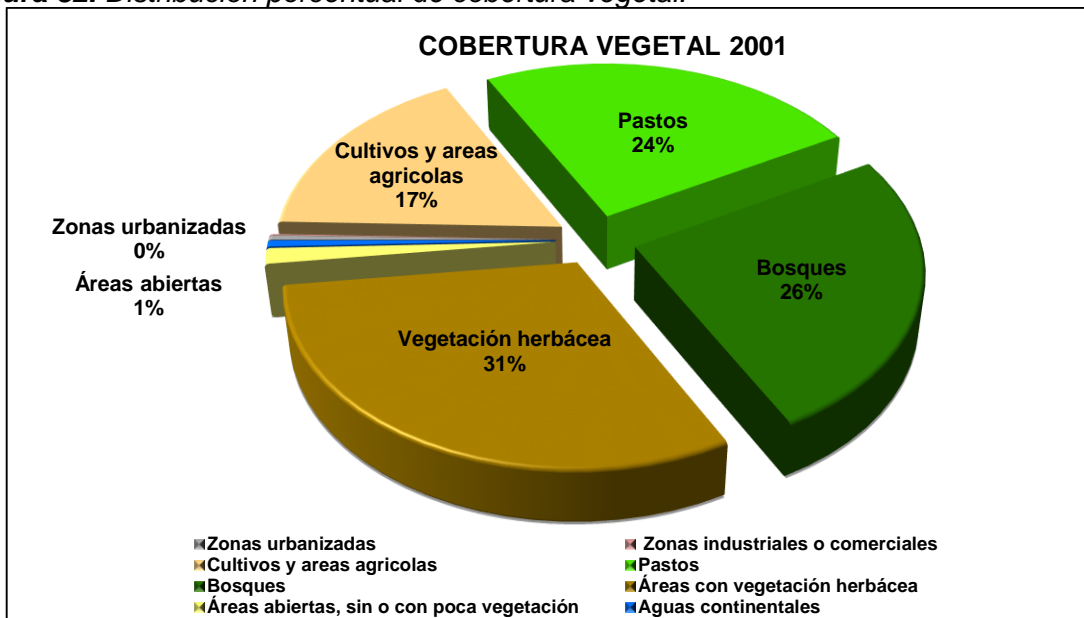
Para el año de 1990 la cobertura que predominaba en la zona, era la vegetación herbácea donde la unidad de herbazal abierto representa un 23,2 % del área, asociada principalmente a zonas de paramo donde prevalecen las grande alturas y temperaturas bajas; Seguida por los bosques, donde su unidad principal el bosque denso ocupa un 16,4 % de la cobertura, localizado principalmente en la zona andina en sectores de alta humedad.

Tabla 40. Unidades de cobertura vegetal, año 2001.

CÓDIGO	UNIDAD	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
111	Tejido urbano discontinuo	7.65	0.36
112	Tejido urbano continuo	0.42	0.02
121	Zonas industriales o comerciales	0.64	0.03
124	Aeropuertos	0.80	0.03
131	Zonas de extracción minera	0.19	0.01
142	Instalaciones recreativas	0.36	0.01
211	Otros cultivos transitorios	1.38	0.06
212	Cereales	5.13	0.24
222	Cultivos permanentes arbustivos	0.11	0.01
231	Pastos limpios	396.01	18.70
232	Pastos arbolados	14.43	0.68
233	Pastos enmalezados	107.32	5.06
242	Mosaico de pastos y cultivos	116.61	5.50
243	Mosaico de cultivos, pastos	30.49	1.44
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	202.97	9.58
311	Bosque denso	288.00	13.59
313	Bosque fragmentado	239.05	11.28
314	Bosque de galería y ripario	12.46	0.58
322	Arbustal	80.09	3.78
3211	Herbazal denso	27.15	1.28
3212	Herbazal abierto	371.51	17.54
323	Vegetación de transición	173.40	8.18
331	Zonas arenosas naturales	3.62	0.17
332	Afloramientos rocosos	20.64	0.97
333	Tierras desnudas y degradadas	5.44	0.25
511	Ríos	11.40	0.53
512	Lagunas	0.37	0.01
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

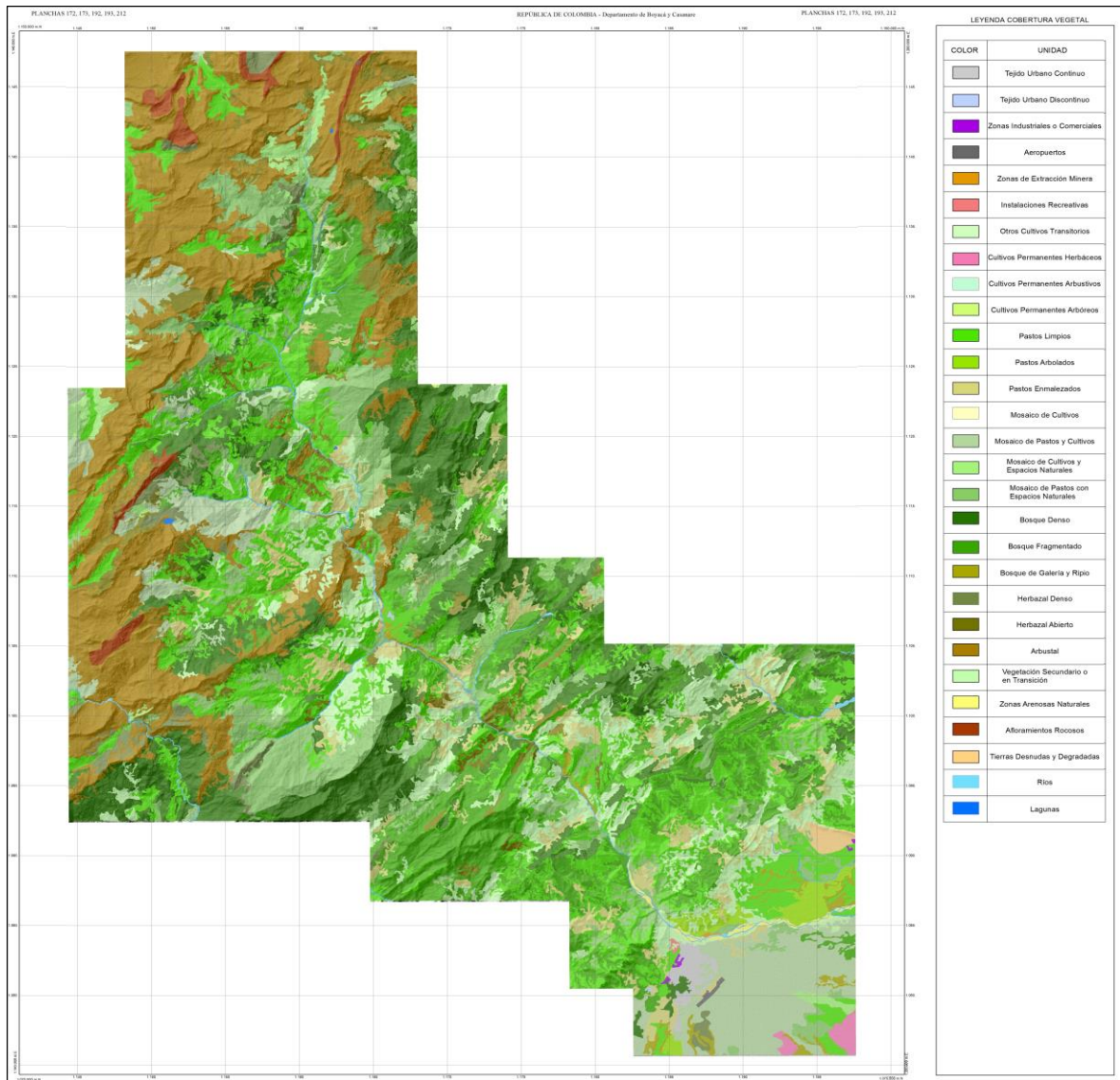
Figura 32. Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.



**Imagen 105.** Cobertura vegetal del año 2001, (Anexo 10).



**Fuente.** Autor.

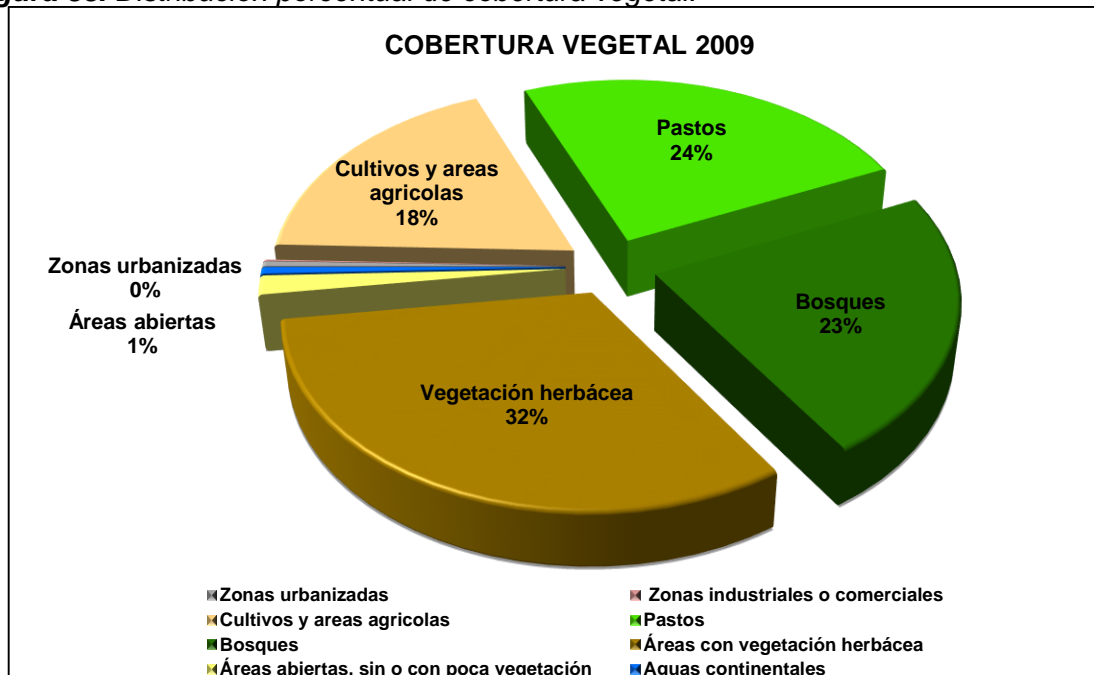
Para el año 2001 la cobertura que predominaba en la zona, era la vegetación herbácea donde la unidad de herbazal abierto representa un 17,5 % del área, asociada principalmente a zonas de paramo donde prevalecen las grande alturas y temperaturas bajas; Seguida por los bosques, donde su unidad principal el bosque denso ocupa un 13,6 % de la cobertura, localizado principalmente en la zona andina en sectores de alta humedad.

Tabla 41. Unidades de cobertura vegetal, año 2009.

CÓDIGO	UNIDAD	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
111	Tejido urbano discontinuo	8.53	0.40
112	Tejido urbano continuo	0.54	0.02
121	Zonas industriales o comerciales	1.05	0.05
124	Aeropuertos	0.80	0.03
142	Instalaciones recreativas	0.36	0.01
211	Otros cultivos transitorios	1.38	0.06
212	Cereales	2.52	0.11
231	Pastos limpios	394.66	18.63
232	Pastos arbolados	5.73	0.27
233	Pastos enmalezados	113.91	5.37
242	Mosaico de pastos y cultivos	99.26	4.68
243	Mosaico de cultivos, pastos	30.03	1.41
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	254.73	12.02
311	Bosque denso	229.25	10.82
313	Bosque fragmentado	239.30	11.30
314	Bosque de galería y ripario	11.19	0.52
322	Arbustal	92.62	4.37
3211	Herbazal denso	33.97	1.60
3212	Herbazal abierto	377.61	17.83
323	Vegetación de transición	174.36	8.23
331	Zonas arenosas naturales	3.37	0.16
332	Afloramientos rocosos	25.47	1.20
333	Tierras desnudas y degradadas	5.24	0.24
511	Ríos	11.39	0.53
512	Lagunas	0.37	0.01
<b>TOTAL</b>		<b>2117.81</b>	<b>100</b>

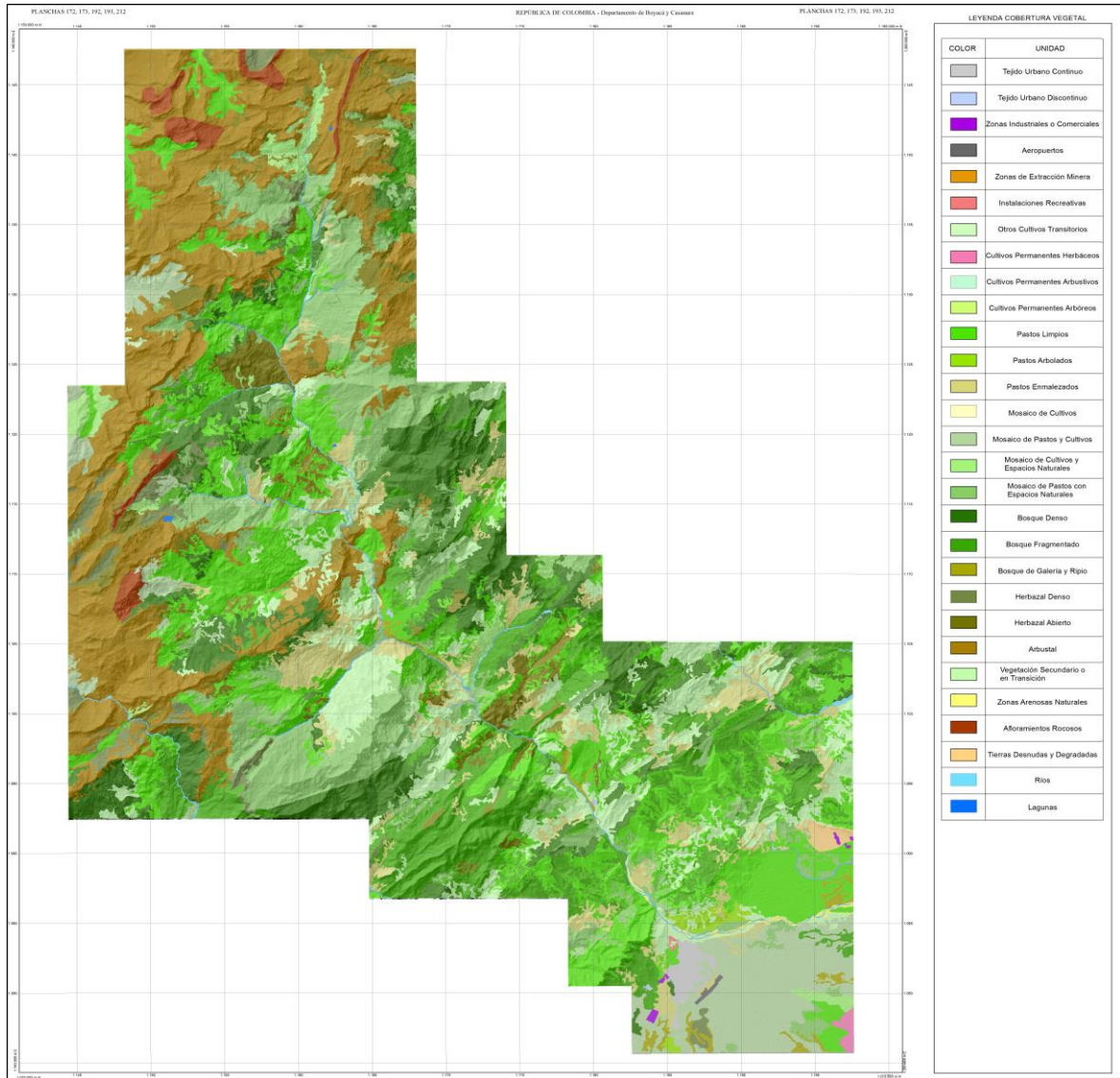
Fuente. Autor.

Figura 33. Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.

**Imagen 106.** Cobertura vegetal del año 2009, (Anexo 11).



**Fuente.** Autor.

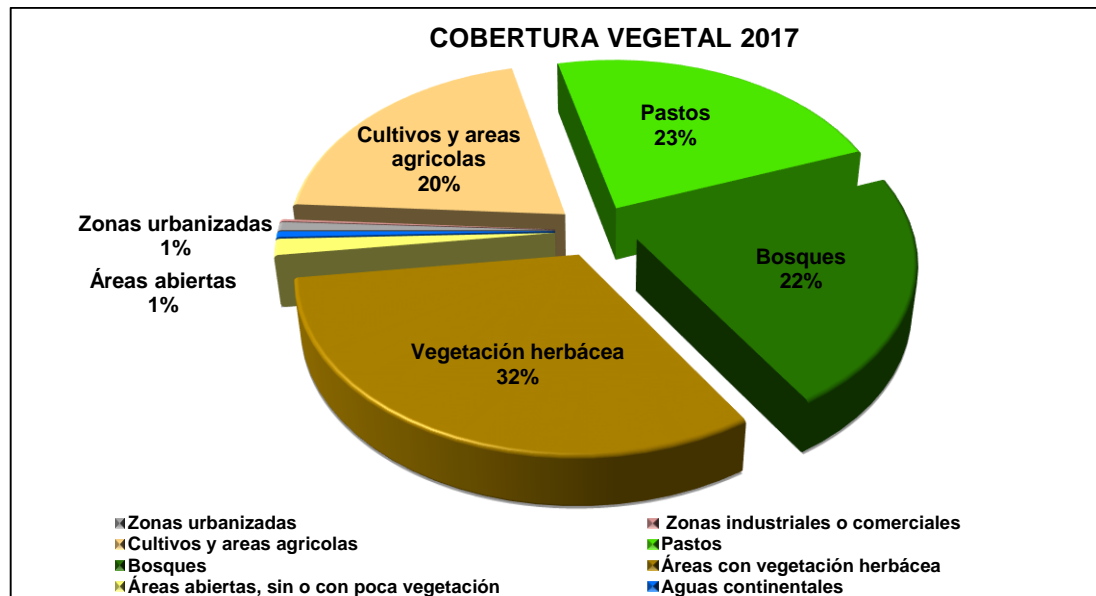
Para el año 2009 la cobertura que predominaba en la zona, era la vegetación herbácea donde la unidad de herbazal abierto representa un 17,8 % del área, asociada principalmente a zonas de paramo donde prevalecen las grande alturas y temperaturas bajas; Seguida por los pastos, donde su unidad principal los pastos limpios ocupa un 18,6 % de la cobertura, distribuido a lo largo de toda el área principalmente en las zona andina y subandina.

Tabla 42. Unidades de cobertura vegetal, año 2017.

CÓDIGO	UNIDAD	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
111	Tejido urbano discontinuo	12.56	0.59
112	Tejido urbano continuo	3.79	0.17
121	Zonas industriales o comerciales	2.32	0.11
124	Aeropuertos	1.37	0.06
131	Zonas de extracción minera	0.10	0.01
142	Instalaciones recreativas	0.36	0.01
211	Otros cultivos transitorios	2.12	0.10
212	Cereales	4.76	0.22
222	Cultivos permanentes arbustivos	0.11	0.01
231	Pastos limpios	374.53	17.68
232	Pastos arbolados	12.81	0.60
233	Pastos enmalezados	97.01	4.58
242	Mosaico de pastos y cultivos	99.53	4.70
243	Mosaico de cultivos, pastos	30.28	1.43
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	293.62	13.86
311	Bosque denso	169.17	7.98
313	Bosque fragmentado	278.01	13.12
314	Bosque de galería y ripario	13.85	0.65
322	Arbustal	82.65	3.90
3211	Herbazal denso	27.15	1.28
3212	Herbazal abierto	383.76	18.12
323	Vegetación de transición	184.56	8.71
331	Zonas arenosas naturales	6.67	0.31
332	Afloramientos rocosos	20.64	0.97
333	Tierras desnudas y degradadas	4.47	0.21
511	Ríos	10.98	0.51
512	Lagunas	0.37	0.01
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

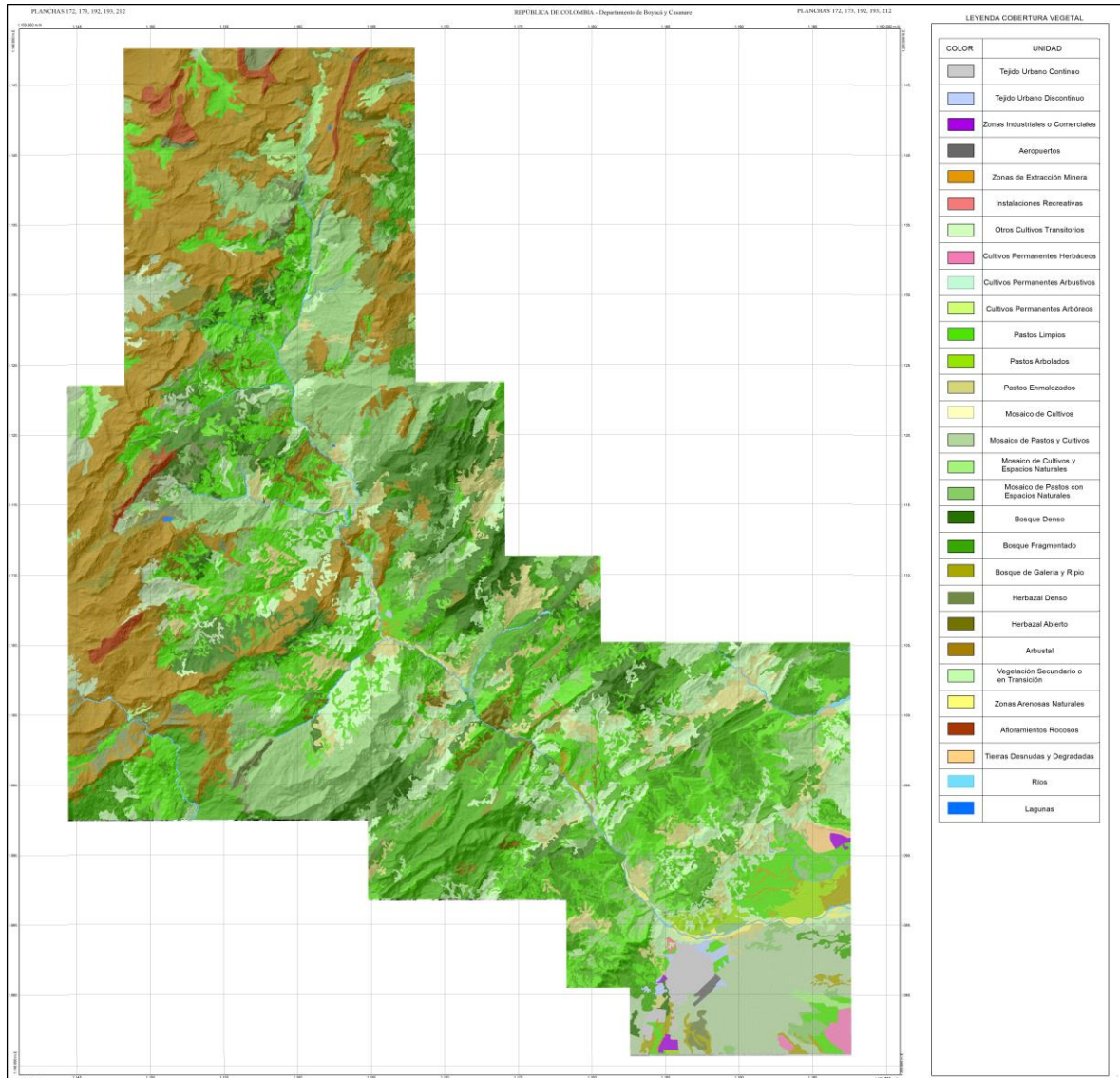
Figura 34. Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.



**Imagen 107.** Cobertura vegetal del año 2017, (Anexo 12).



**Fuente.** Autor.

Para el año 2017 la cobertura que predominaba en la zona, era la vegetación herbácea donde la unidad de herbazal abierto representa un 18,1 % del área, asociada principalmente a zonas de paramo donde prevalecen las grandes alturas y temperaturas bajas; Seguida por los pastos, donde su unidad principal los pastos limpios ocupa un 17,6 % de la cobertura, distribuido a lo largo de toda el área principalmente en las zona andina y subandina.

## 10.4 DETERMINACIÓN DE CAMBIOS

El análisis multitemporal se realizó mediante el software ArcGis, con el fin de determinar las transformaciones que han tenido las coberturas entre los años de estudio, identificando cuales coberturas han cedido o ganado área. Para facilitar la manipulación de las coberturas y homogeneizar la información de los diferentes años, se utilizaron categorías más generales para el análisis.

**Tabla 43.** *Categorías de cobertura vegetal.*

Zonas urbanizadas
Zonas industriales
Cultivos y áreas agrícolas
Pastos
Bosques
Vegetación herbácea
Áreas abiertas
Aguas continentales

**Fuente.** *Metodología Corine Land Cover para Colombia a escala 1:100.000.*

Se realizó una matriz de cambio de cobertura entre los dos primeros años a analizar, a cada categoría se le asignó un valor numérico diferente, con el objetivo de identificar los cambios mediante la suma de los dos valores tanto del año 1985 y 1990. De tal manera que los valores donde no existió ningún cambio de cobertura estarán representados por los números 11, 22, 33, 44, 55, 66, 77 y 88, mientras tanto el resto de valores que se presenten en la tabla indican el cambio que se ha generado de un año a otro.



**Tabla 44.** Matriz transicional de cambio de cobertura vegetal, año 1985 vs 1990.

		AÑO 1990								
		Zonas urbanizadas	Zonas industriales	Cultivos y áreas agrícolas	Pastos	Bosques	Vegetación herbácea	Áreas abiertas	Aguas cont.	
		10	20	30	40	50	60	70	80	
AÑO 1985	Zonas urbanizadas	1	11	21	31	41	51	61	71	81
	Zonas industriales	2	12	22	32	42	52	62	72	82
	Cultivos y áreas agrícolas	3	13	23	33	43	53	63	73	83
	Pastos	4	14	24	34	44	54	64	74	84
	Bosques	5	15	25	35	45	55	65	75	85
	Vegetación herbácea	6	16	26	36	46	56	66	76	86
	Áreas abiertas	7	17	27	37	47	57	67	77	87
	Aguas continentales	8	18	28	38	48	58	68	78	88

Fuente. Autor.

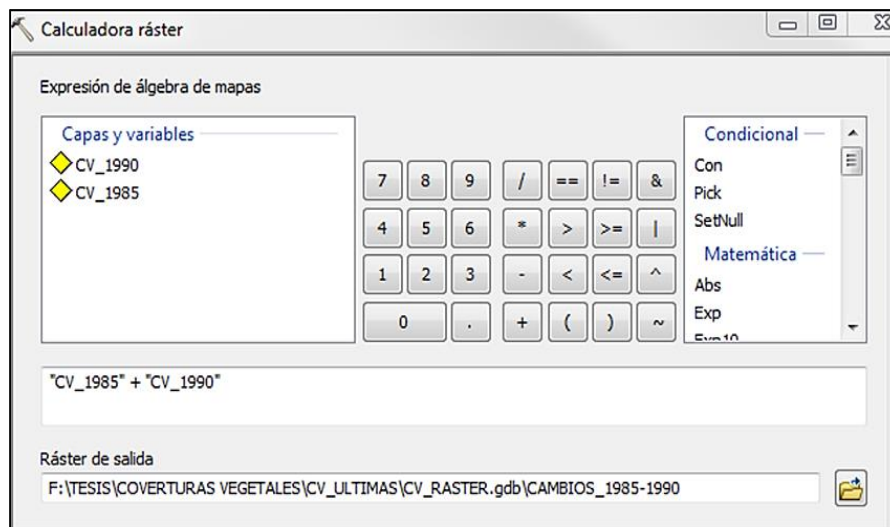
**Tabla 45.** Resultados posibles de la matriz transicional de cambio de cobertura vegetal.

Se mantuvo zona urbana	11	De Áreas abiertas a Zonas industriales	27
De Zonas industriales a Zonas urbanizadas	12	De Aguas continentales a Zonas industriales	28
De Cultivos y áreas agrícolas a Zonas urbanizadas	13	De Zonas urbanizadas a Cultivos y áreas agrícolas	31
De Pastos a Zonas urbanizadas	14	De Zonas industriales a Cultivos y áreas agrícolas	32
De Bosques a Zonas urbanizadas	15	Se mantuvo Cultivos y áreas agrícolas	33
De Vegetación herbácea a Zonas urbanizadas	16	De Pastos a Cultivos y áreas agrícolas	34
De Áreas abiertas a Zonas urbanizadas	17	De Bosques a Cultivos y áreas agrícolas	35
De Aguas continentales a Zonas urbanizadas	18	De Vegetación herbácea a Cultivos y áreas agrícolas	36
De Zonas urbanizadas a Zonas industriales	21	De Áreas abiertas a Cultivos y áreas agrícolas	37
Se mantuvo Zonas industriales	22	De Aguas continentales a Cultivos y áreas agrícolas	38
De Cultivos y áreas agrícolas a Zonas industriales	23	De Zonas urbanizadas a Pastos	41
De Pastos a Zonas industriales	24	De Zonas industriales a Pastos	42
De Bosques a Zonas industriales	25	De Cultivos y áreas agrícolas a Pastos	43
De Vegetación herbácea a Zonas industriales	26	Se mantuvo Pastos	44

De Bosques a Pastos	45	De Áreas abiertas a Vegetación herbácea	67
De Vegetación herbácea a Pastos	46	De Aguas continentales a Vegetación herbácea	68
De Áreas abiertas a Pastos	47	De Zonas urbanizadas a Áreas abiertas	71
De Aguas continentales a Pastos	48	De Zonas industriales a Áreas abiertas	72
De Zonas urbanizadas a Bosques	51	De Cultivos y áreas agrícolas a Áreas abiertas	73
De Zonas industriales a Bosques	52	De Pastos a Áreas abiertas	74
De Cultivos y áreas agrícolas a Bosques	53	De Bosques a Áreas abiertas	75
De Pastos a Bosques	54	De Vegetación herbácea a Áreas abiertas	76
Se mantuvo Bosques	55	Se mantuvo Áreas abiertas	77
De Vegetación herbácea a Bosques	56	De Aguas continentales a Áreas abiertas	78
De Áreas abiertas a Bosques	57	De Zonas urbanizadas a Aguas continentales	81
De Aguas continentales a Bosques	58	De Zonas industriales a Aguas continentales	82
De Zonas urbanizadas a Vegetación herbácea	61	De Cultivos y áreas agrícolas a Aguas continentales	83
De Zonas industriales a Vegetación herbácea	62	De Pastos a Aguas continentales	84
De Cultivos y áreas agrícolas a Vegetación herbácea	63	De Bosques a Aguas continentales	85
De Pastos a Vegetación herbácea	64	De Vegetación herbácea a Aguas continentales	86
De Bosques a Vegetación herbácea	65	De Áreas abiertas a Aguas continentales	87
Se mantuvo Vegetación herbácea	66	Se mantuvo Aguas continentales	88

Fuente. Autor.

Imagen 108. Herramienta Raster Calculator, sumatoria de coberturas.



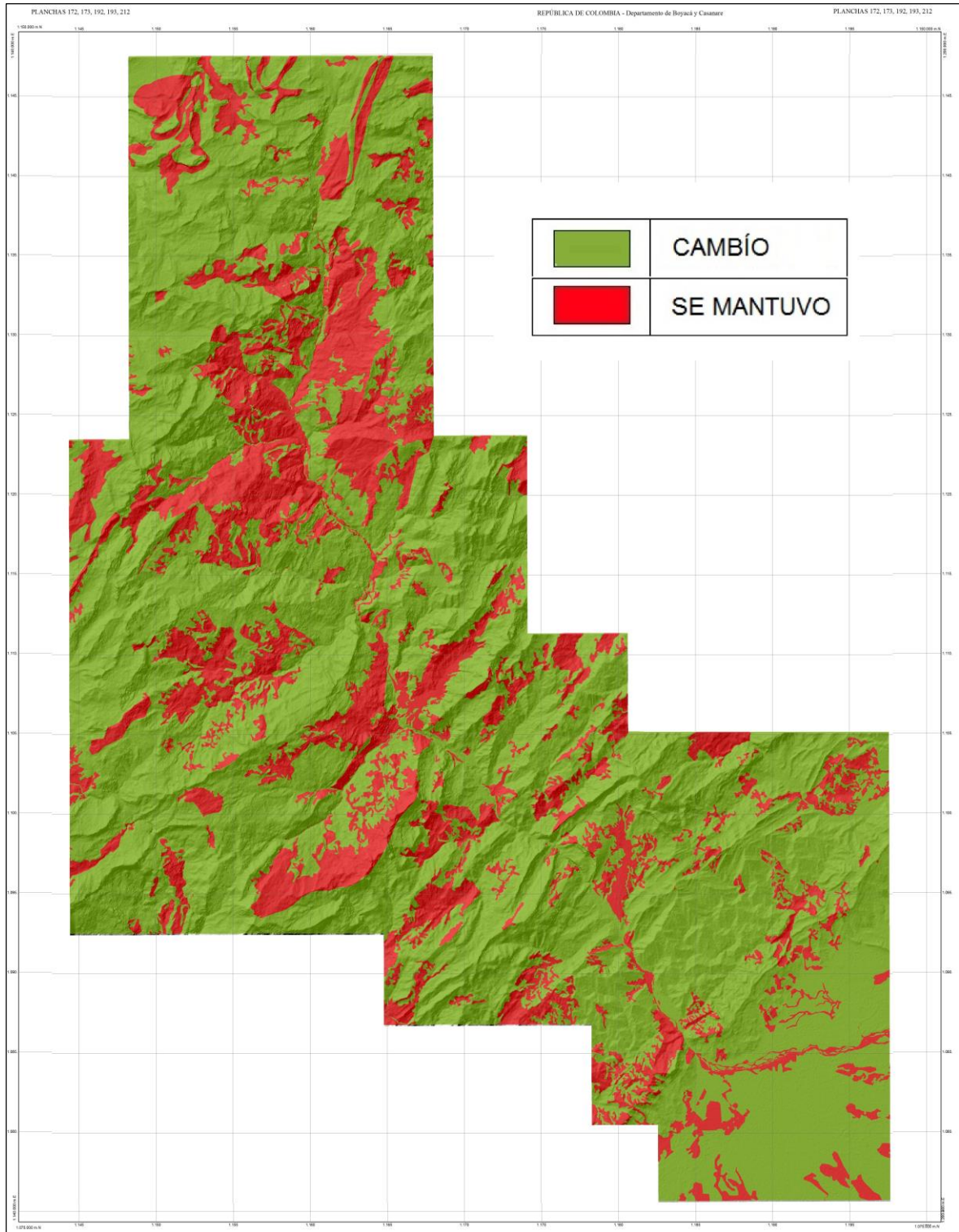
Fuente. Software ArcGis 10.2.2.

**Tabla 46.** Cambios de cobertura vegetal del año 1985 al 1990.

VALOR	CAMBIO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
11	Se mantuvo zona urbana	3.77	0.18
13	De Cultivos y áreas agrícolas a Zonas urbanizadas	0.69	0.03
14	De Pastos a Zonas urbanizadas	0.40	0.02
22	Se mantuvo Zonas industriales	1.15	0.05
33	Se mantuvo Cultivos y áreas agrícolas	<b>225.25</b>	10.67
34	De Pastos a Cultivos y áreas agrícolas	47.84	2.27
35	De Bosques a Cultivos y áreas agrícolas	20.73	0.98
36	De Vegetación herbácea a Cultivos y áreas agrícolas	26.75	1.27
43	De Cultivos y áreas agrícolas a Pastos	15.08	0.71
44	Se mantuvo Pastos	<b>284.59</b>	13.48
45	De Bosques a Pastos	10.75	0.51
46	De Vegetación herbácea a Pastos	20.77	0.98
48	De Aguas continentales a Pastos	1.39	0.07
53	De Cultivos y áreas agrícolas a Bosques	52.94	1.09
54	De Pastos a Bosques	70.63	3.35
55	Se mantuvo Bosques	<b>472.66</b>	22.40
56	De Vegetación herbácea a Bosques	43.56	2.06
63	De Cultivos y áreas agrícolas a Vegetación herbácea	5.19	1.67
64	De Pastos a Vegetación herbácea	<b>81.43</b>	3.86
65	De Bosques a Vegetación herbácea	<b>85.33</b>	4.04
66	Se mantuvo Vegetación herbácea	<b>577.05</b>	27.34
67	De Áreas abiertas a Vegetación herbácea	18.54	0.88
68	De Aguas continentales a Vegetación herbácea	1.28	0.06
73	De Cultivos y áreas agrícolas a Áreas abiertas	1.30	0.06
74	De Pastos a Áreas abiertas	1.13	0.05
76	De Vegetación herbácea a Áreas abiertas	14.48	0.69
77	Se mantuvo Áreas abiertas	12.08	0.57
78	De Aguas continentales a Áreas abiertas	1.05	0.05
83	De Cultivos y áreas agrícolas a Aguas continental	0.68	0.03
84	De Pastos a Aguas continentales	1.40	0.07
85	De Bosques a Aguas continentales	1.13	0.05
86	De Vegetación herbácea a Aguas continentales	1.18	0.06
87	De Áreas abiertas a Aguas continentales	0.84	0.04
88	Se mantuvo Aguas continentales	7.49	0.35
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

Imagen 109. Variación de cobertura vegetal del año 1985 al 1990.



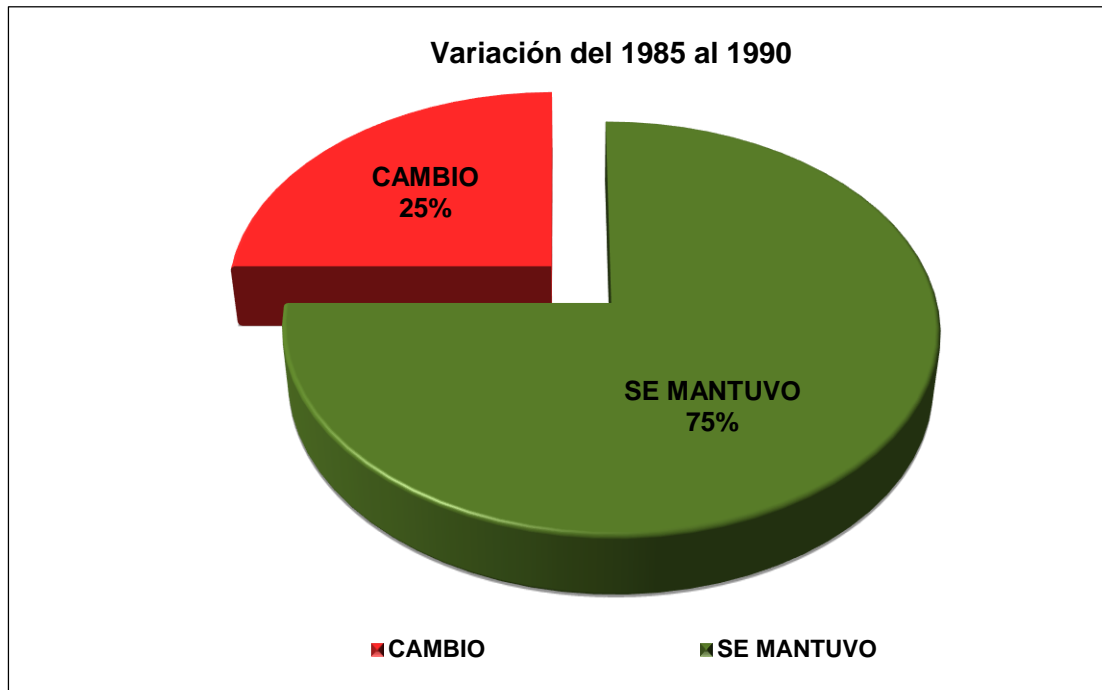
Fuente. Autor.

**Tabla 47.** Variación de cobertura vegetal del año 1985 al 1990.

VARIACIÓN	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
CAMBIO	527.21	24.90
SE MANTUVO	1,590.45	75.10
<b>TOTAL</b>	<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

**Figura 35.** Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.

En el análisis de cambio del año 1985 al 1990, se puede observar que existe alta transición entre las coberturas del área con un porcentaje de variación de 25%, relacionado principalmente al cambio de bosques y pastos a vegetación de tipo herbácea, además de la transformación de bosques a cultivos y zonas agrícolas. Por otro lado el 75 % del área mantuvo la misma cobertura vegetal a lo largo de los 5 años.



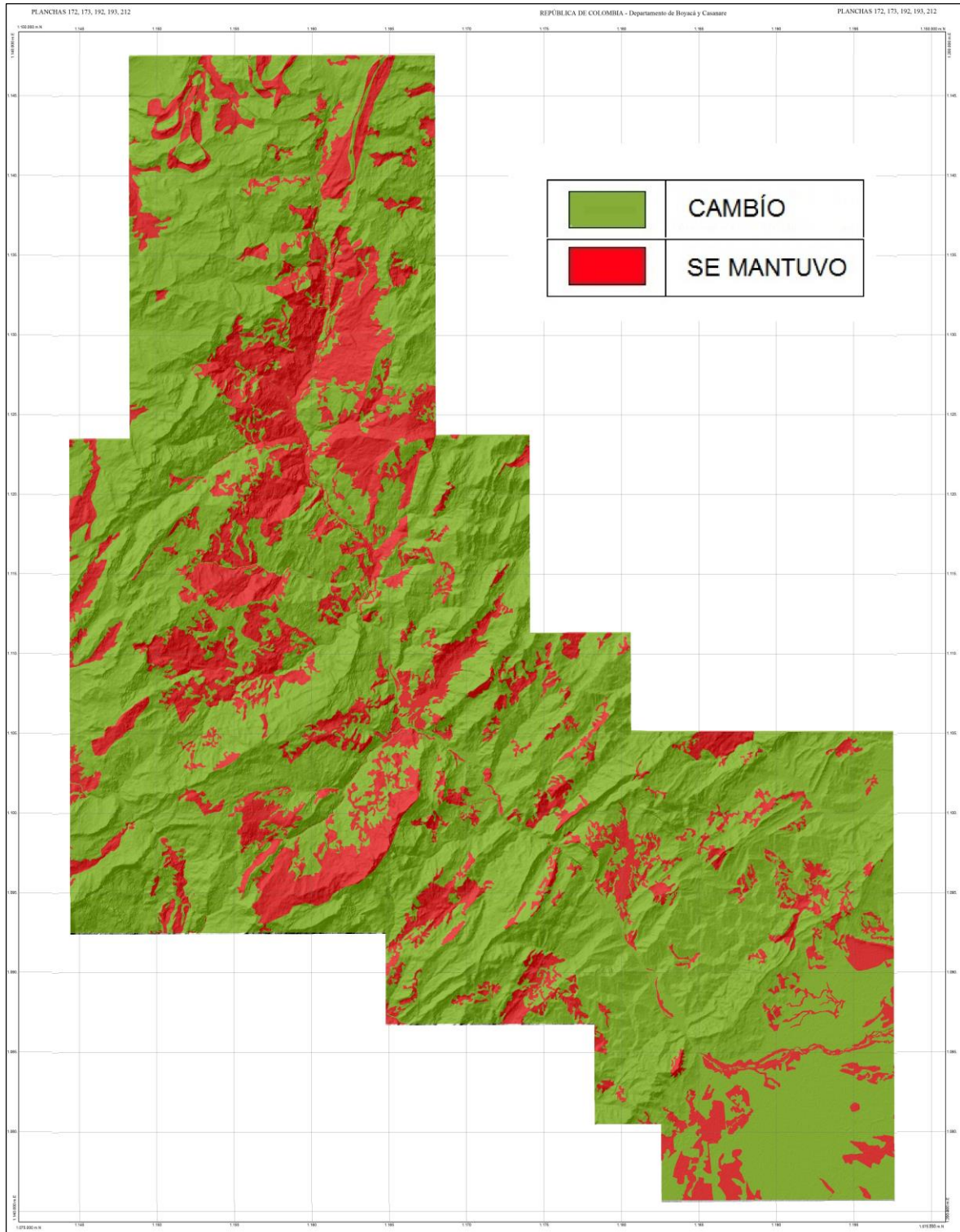
**Tabla 48.** Cambios de cobertura vegetal del año 1990 al 2001.

VALOR	CAMBIO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
11	Se mantuvo zona urbana	3.91	0.18
13	De Cultivos y áreas agrícolas a Zonas urbanizadas	3.88	0.18
21	De Zonas urbanizadas a Zonas industriales	0.29	0.01
22	Se mantuvo Zonas industriales	1.17	0.06
23	De Cultivos y áreas agrícolas a Zonas industriales	0.20	0.01
24	De Pastos a Zonas industriales	0.35	0.02
31	De Zonas urbanizadas a Cultivos y áreas agrícola	0.56	0.03
33	Se mantuvo Cultivos y áreas agrícolas	<b>236.16</b>	11.16
34	De Pastos a Cultivos y áreas agrícolas	5.77	0.27
35	De Bosques a Cultivos y áreas agrícolas	51.38	2.43
36	De Vegetación herbácea a Cultivos y áreas agrícolas	<b>60.58</b>	2.86
38	De Aguas continentales a Cultivos y áreas agrícola	1.10	0.05
43	De Cultivos y áreas agrícolas a Pastos	<b>50.46</b>	2.38
44	Se mantuvo Pastos	<b>305.38</b>	14.43
45	De Bosques a Pastos	<b>64.70</b>	3.06
46	De Vegetación herbácea a Pastos	<b>95.16</b>	4.50
48	De Aguas continentales a Pastos	1.38	0.07
53	De Cultivos y áreas agrícolas a Bosques	14.87	0.70
54	De Pastos a Bosques	11.31	0.53
55	Se mantuvo Bosques	<b>468.80</b>	22.16
56	De Vegetación herbácea a Bosques	45.07	2.13
63	De Cultivos y áreas agrícolas a Vegetación herbácea	15.45	0.73
64	De Pastos a Vegetación herbácea	6.99	0.33
65	De Bosques a Vegetación herbácea	25.13	1.19
66	Se mantuvo Vegetación herbácea	<b>585.70</b>	27.68
67	De Áreas abiertas a Vegetación herbácea	17.46	0.83
68	De Aguas continentales a Vegetación herbácea	1.36	0.06
73	De Cultivos y áreas agrícolas a Áreas abiertas	0.26	0.01
74	De Pastos a Áreas abiertas	6.35	0.30
76	De Vegetación herbácea a Áreas abiertas	10.96	0.52
77	Se mantuvo Áreas abiertas	11.32	0.53
78	De Aguas continentales a Áreas abiertas	0.75	0.04
83	De Cultivos y áreas agrícolas a Aguas continental	0.67	0.03
84	De Pastos a Aguas continentales	1.42	0.07
85	De Bosques a Aguas continentales	0.21	0.01
86	De Vegetación herbácea a Aguas continentales	1.37	0.06
87	De Áreas abiertas a Aguas continentales	0.53	0.03
88	Se mantuvo Aguas continentales	7.54	0.36
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.



**Imagen 110.** Variación de cobertura vegetal del año 1990 al 2001.



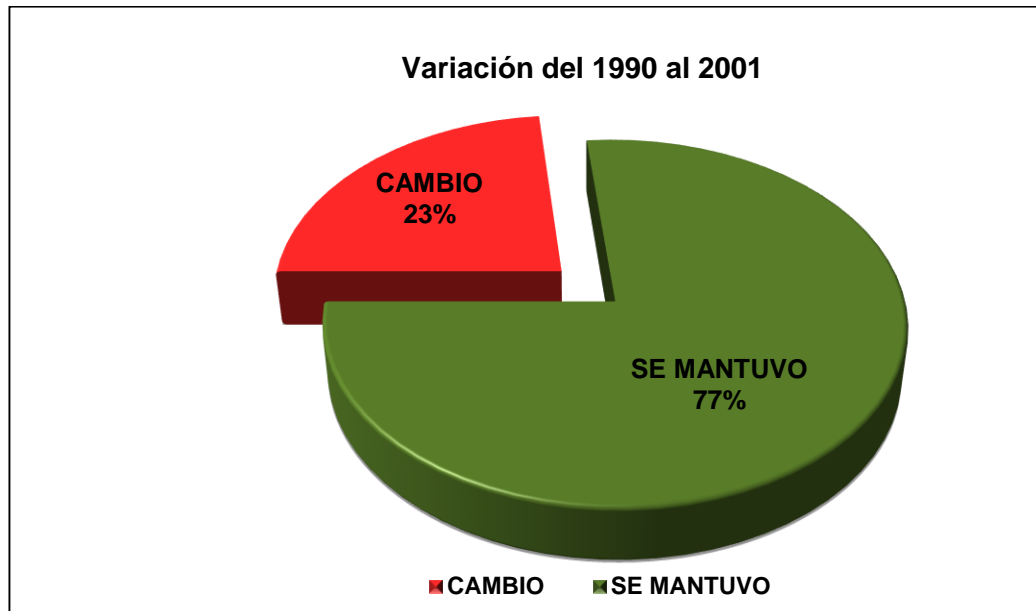
Fuente. Autor.

**Tabla 49.** Variación de cobertura vegetal del año 1990 al 2001.

VARIACIÓN	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
CAMBIO	496.48	23.44
SE MANTUVO	1,621.21	76.56
<b>TOTAL</b>	<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

**Figura 36.** Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.

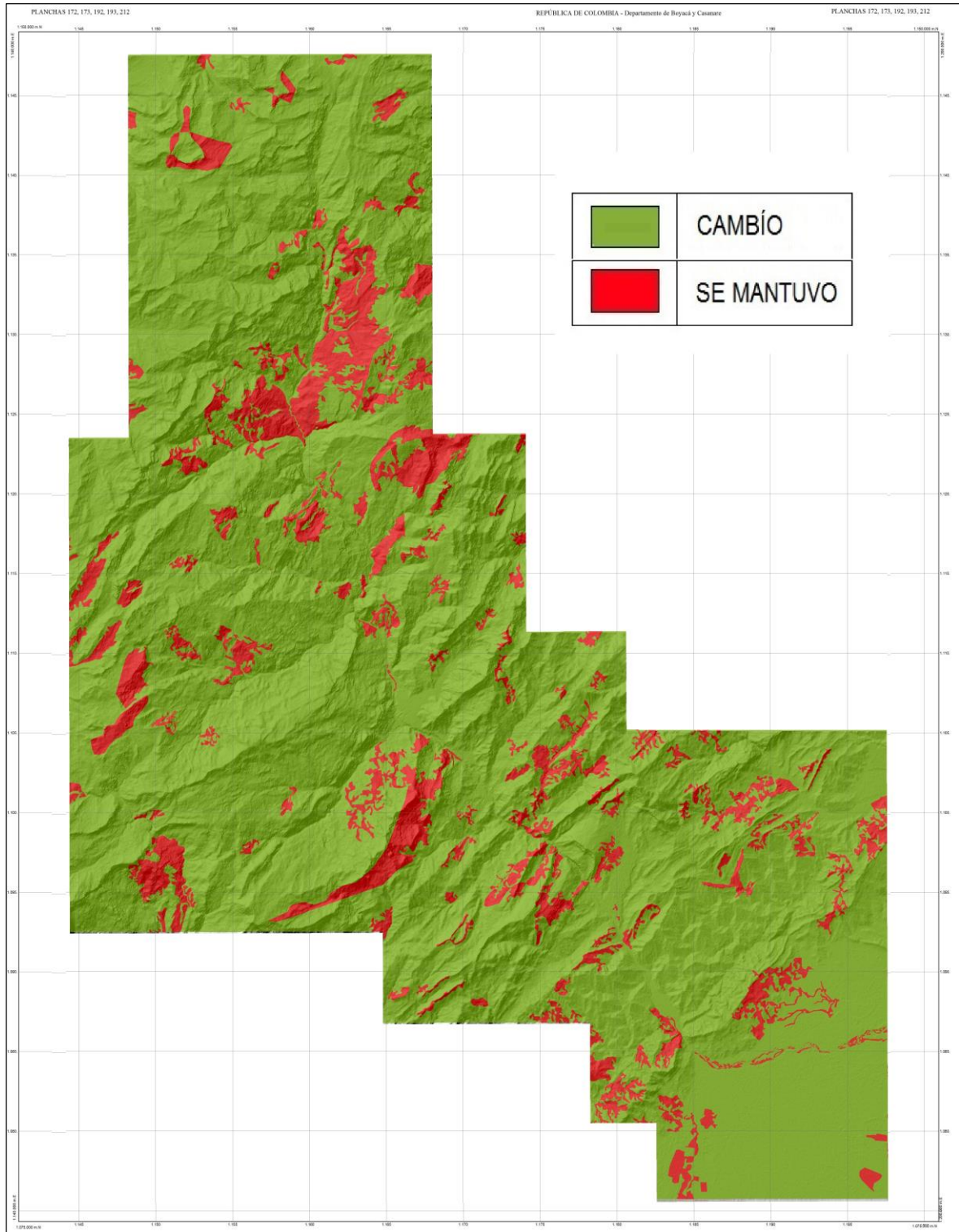
En el análisis de cambio del año 1990 al 2001, se puede observar que existe alta transición entre las coberturas del área con un porcentaje de variación de 23%, relacionado principalmente al cambio de bosques y vegetación herbácea a pastos, además de la transformación de bosques y vegetación herbácea a cultivos y zonas agrícolas. Por otro lado el 77 % del área mantuvo la misma cobertura vegetal a lo largo de los 11 años.

**Tabla 50. Cambios de cobertura vegetal del año 2001 al 2009.**

VALOR	CAMBIO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
11	Se mantuvo zona urbana	8.06	0.38
15	De Bosques a Zonas urbanizadas	0.82	0.04
22	Se mantuvo Zonas industriales	1.49	0.07
24	De Pastos a Zonas industriales	0.54	0.03
33	Se mantuvo Cultivos y áreas agrícolas	317.33	15.00
34	De Pastos a Cultivos y áreas agrícolas	8.63	0.41
35	De Bosques a Cultivos y áreas agrícolas	57.91	2.74
36	De Vegetación herbácea a Cultivos y áreas agrícolas	3.48	0.16
38	De Aguas continentales a Cultivos y áreas agrícolas	0.21	0.01
43	De Cultivos y áreas agrícolas a Pastos	21.56	1.02
44	Se mantuvo Pastos	444.35	21.00
45	De Bosques a Pastos	46.59	2.20
46	De Vegetación herbácea a Pastos	21.34	1.01
53	De Cultivos y áreas agrícolas a Bosques	9.14	0.43
54	De Pastos a Bosques	6.12	0.29
55	Se mantuvo Bosques	439.43	20.77
56	De Vegetación herbácea a Bosques	5.01	0.24
63	De Cultivos y áreas agrícolas a Vegetación herbácea	7.49	0.35
64	De Pastos a Vegetación herbácea	37.65	1.78
65	De Bosques a Vegetación herbácea	15.90	0.75
66	Se mantuvo Vegetación herbácea	612.22	28.93
67	De Áreas abiertas a Vegetación herbácea	5.25	0.25
74	De Pastos a Áreas abiertas	0.26	0.01
76	De Vegetación herbácea a Áreas abiertas	10.00	0.47
77	Se mantuvo Áreas abiertas	23.04	1.09
78	De Aguas continentales a Áreas abiertas	0.70	0.03
83	De Cultivos y áreas agrícolas a Aguas continental	0.21	0.01
87	De Áreas abiertas a Aguas continentales	0.64	0.03
88	Se mantuvo Aguas continentales	10.75	0.51
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

Imagen 111. Variación de cobertura vegetal del año 2001 al 2009.



Fuente. Autor.

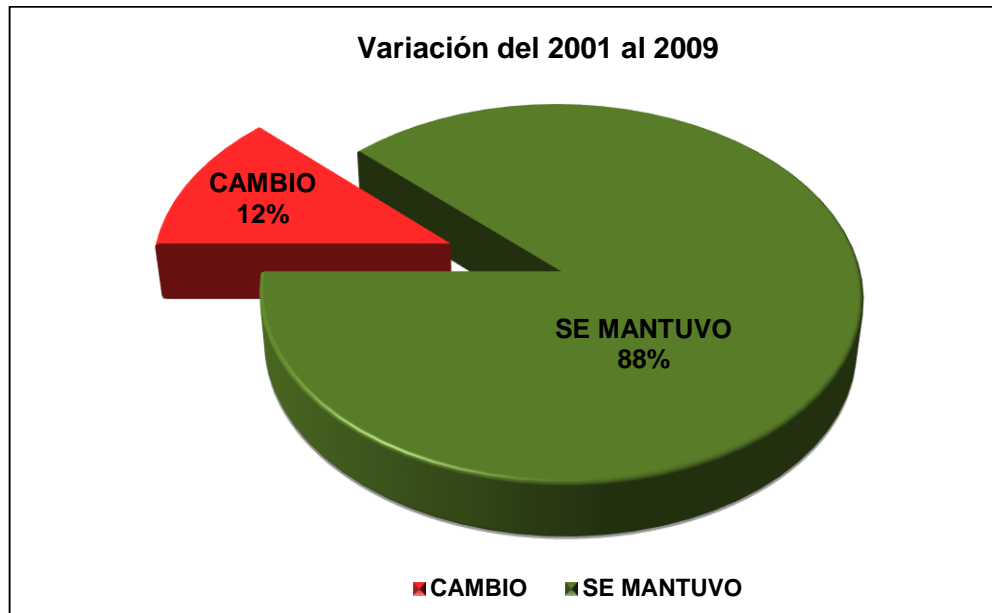


**Tabla 51.** Variación de cobertura vegetal del año 2001 al 2009.

VARIACIÓN	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
CAMBIO	259.51	12.25
SE MANTUVO	1,858.21	87.75
<b>TOTAL</b>	<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

**Figura 37.** Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.

En el análisis de cambio del año 2001 al 2009, se puede observar que existe una transición moderada entre las coberturas del área con un porcentaje de variación de 12 %, relacionado principalmente al cambio de bosques a cultivos y zonas agrícolas, además de la transformación de bosques a pastos. Por otro lado el 88 % del área mantuvo la misma cobertura vegetal a lo largo de los 8 años.

**Tabla 52. Cambios de cobertura vegetal del año 2009 al 2017.**

VALOR	CAMBIO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
11	Se mantuvo zona urbana	9.06	0.43
13	De Cultivos y áreas agrícolas a Zonas urbanizadas	4.36	0.21
14	De Pastos a Zonas urbanizadas	1.85	0.09
15	De Bosques a Zonas urbanizadas	0.51	0.02
22	Se mantuvo Zonas industriales	1.69	0.08
23	De Cultivos y áreas agrícolas a Zonas industriales	0.36	0.02
24	De Pastos a Zonas industriales	1.28	0.06
33	Se mantuvo Cultivos y áreas agrícolas	<b>362.28</b>	17.12
34	De Pastos a Cultivos y áreas agrícolas	<b>32.05</b>	1.52
35	De Bosques a Cultivos y áreas agrícolas	<b>43.86</b>	2.07
36	De Vegetación herbácea a Cultivos y áreas agrícolas	12.13	0.57
38	De Aguas continentales a Cultivos y áreas agrícolas	0.22	0.01
43	De Cultivos y áreas agrícolas a Pastos	12.47	0.59
44	Se mantuvo Pastos	<b>419.81</b>	19.84
45	De Bosques a Pastos	<b>29.68</b>	1.40
46	De Vegetación herbácea a Pastos	22.23	1.05
53	De Cultivos y áreas agrícolas a Bosques	4.54	0.21
54	De Pastos a Bosques	5.02	0.24
55	Se mantuvo Bosques	<b>419.01</b>	19.81
56	De Vegetación herbácea a Bosques	7.37	0.35
63	De Cultivos y áreas agrícolas a Vegetación herbácea	3.48	0.16
64	De Pastos a Vegetación herbácea	28.45	1.34
65	De Bosques a Vegetación herbácea	5.54	0.26
66	Se mantuvo Vegetación herbácea	<b>630.56</b>	29.81
67	De Áreas abiertas a Vegetación herbácea	9.94	0.47
73	De Cultivos y áreas agrícolas a Áreas abiertas	0.44	0.02
74	De Pastos a Áreas abiertas	0.70	0.03
75	De Bosques a Áreas abiertas	0.95	0.04
76	De Vegetación herbácea a Áreas abiertas	5.95	0.28
77	Se mantuvo Áreas abiertas	22.66	1.07
78	De Aguas continentales a Áreas abiertas	1.07	0.05
86	De Vegetación herbácea a Aguas continentales	0.23	0.01
87	De Áreas abiertas a Aguas continentales	0.60	0.03
88	Se mantuvo Aguas continentales	10.22	0.48
<b>TOTAL</b>		<b>2,117.81</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.



**Imagen 112.** Variación de cobertura vegetal del año 2009 al 2017.



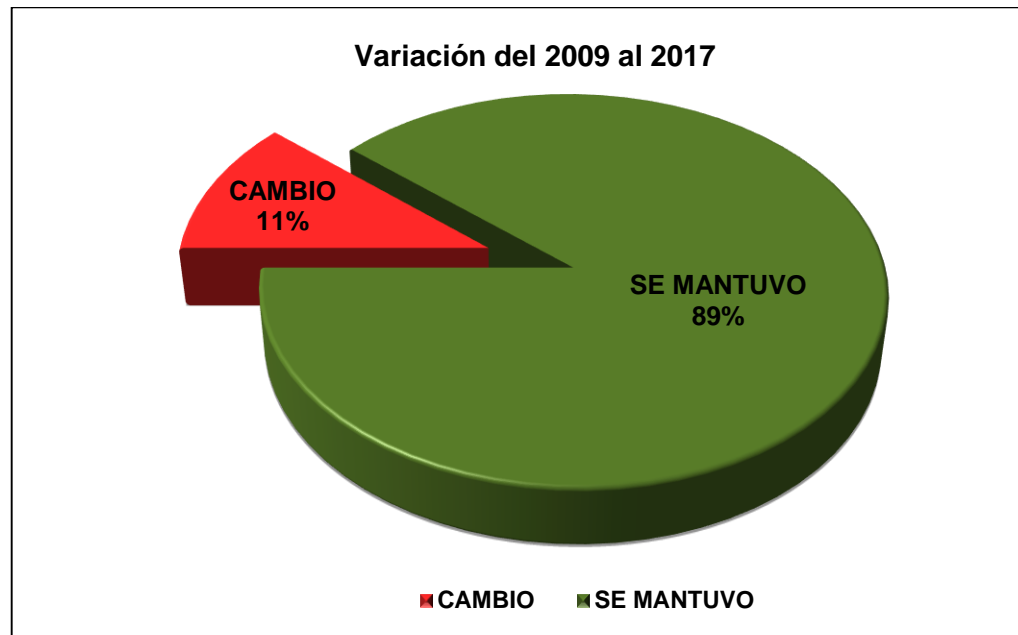
Fuente. Autor.

**Tabla 53.** Variación de cobertura vegetal del año 2009 al 2017.

VARIACIÓN	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
CAMBIO	241.28	11.39
SE MANTUVO	1,876.30	88.61
<b>TOTAL (2,117.81)</b>	<b>2,117.58</b>	<b>100</b>

Fuente. Autor.

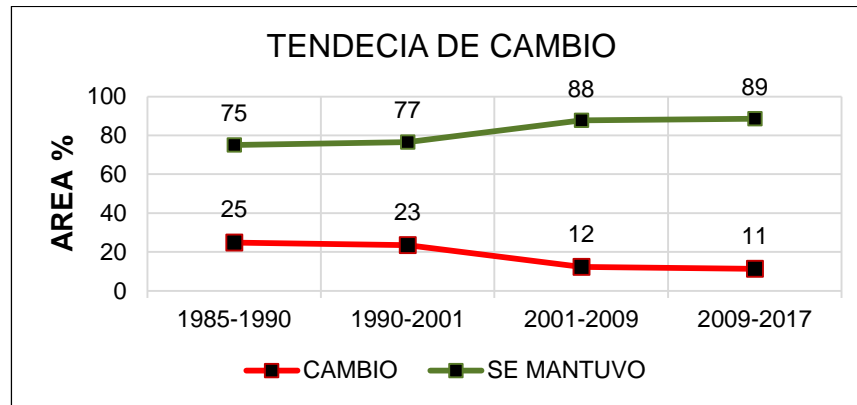
**Figura 38.** Distribución porcentual de cobertura vegetal.



Fuente. Autor.

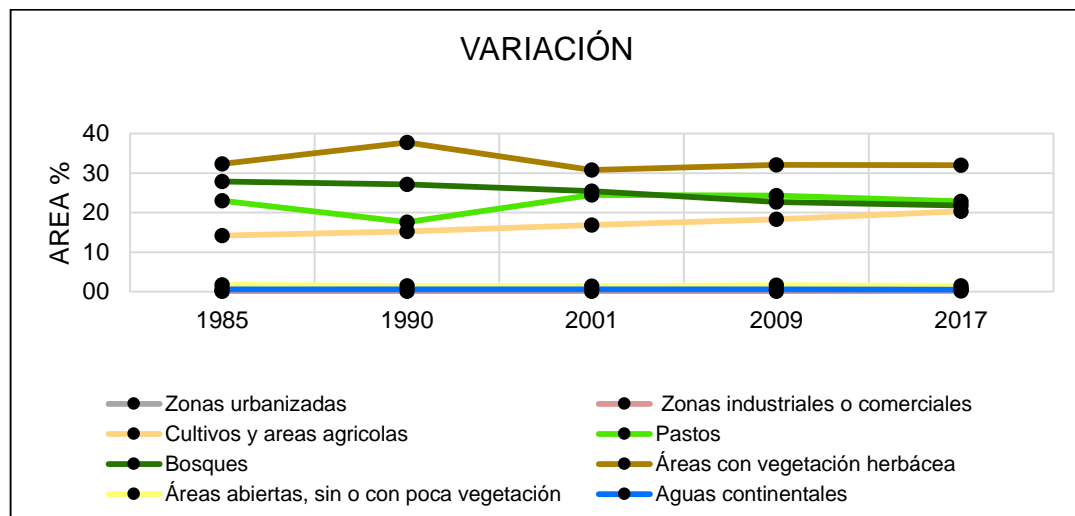
En el análisis de cambio del año 2009 al 2017, se puede observar que existe una transición moderada entre las coberturas del área con un porcentaje de variación de 11 %, relacionado principalmente al cambio de pastos bosques a pastos, cultivos y zonas agrícolas, además de la transformación de pastos a cultivos y zonas agrícolas. Por otro lado el 89 % del área mantuvo la misma cobertura vegetal a lo largo de los 8 años.

**Figura 39.** Tendencia de cambio multitemporal.



Fuente. Autor.

**Figura 40.** Variación de la cobertura vegetal multitemporal.



Fuente. Autor.

Se puede observar que desde el año 1985 al 2017 la tasa de cambio en la cobertura vegetal fue decreciente (Figura 41), pasando de un 25% a un 11%. Por otro lado en la gráfica de variación de la cobertura (Figura 42), se muestra una tendencia creciente principalmente en las áreas agrícolas y de cultivos, por el contrario la cobertura que presenta mayor disminución de su área en los diferentes años de estudio fueron los Bosques.

## 11. EROSIÓN

La erosión del suelo se considera un problema ambiental, puede ser resultado del incremento poblacional, factores naturales o a las malas prácticas agrícolas que aceleran la erosión. Es importante identificar las zonas que presentan en mayor intensidad este fenómeno y analizar su variación a lo largo de los últimos años.

### 11.1 ÍNDICES DE VEGETACIÓN BASADOS EN LAS PENDIENTES

Los índices de vegetación basados en la pendiente usan la relación (ratio, cociente) de la reflectancia de una banda a otra que normalmente son la roja y la infrarroja cercana. Estos índices son combinaciones lineales simples que usan la información de reflectancia de las bandas rojo e infrarrojo, siendo el NDVI el más usado en muchas aplicaciones.

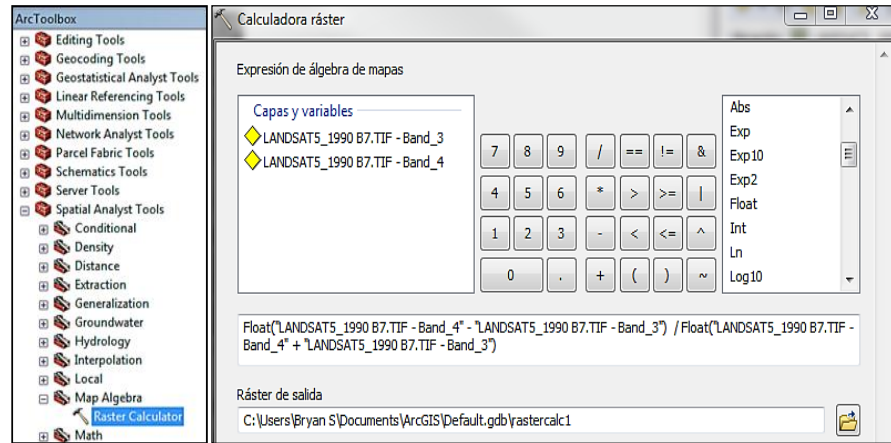
Utilizando la herramienta Raster Calculator del software ArcGis, se realiza la operación para calcular el NDVI con ayuda de la banda roja y la infrarroja cercana, respectivamente a cada imagen satelital.

**Figura 41.** Fórmula para el cálculo del NDVI.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

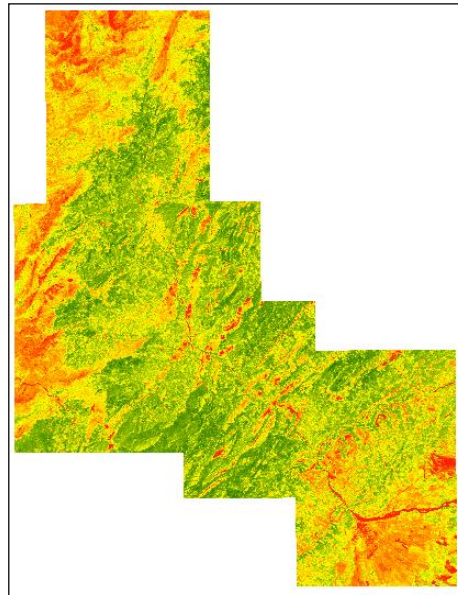
**Fuente.** Autor.

Imagen 113. Interfaz software ArcGis, herramienta Raster Calculator.



Fuente. Software ArcGis 10.2.2.

Imagen 114. NDVI del año 1990.



Fuente. Autor.


Tabla 54. Valores máximos y mínimos de los índices resultantes.

IMAGEN	VALORES NDVI	
	MÍNIMO	MÁXIMO
1985	-0,791667	0,507389
1990	-0,571429	0,797297
2001	-0,440678	0,607143
2009	-0,895652	0,895652
2017	-0,169153	0,548286

Fuente. Autor.

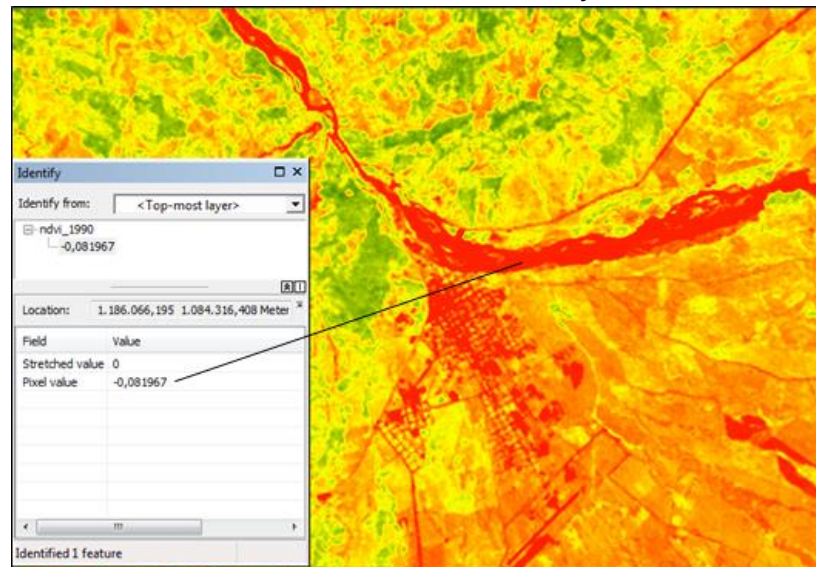


## 11.2 RECLASIFICACIÓN DEL NDVI

Con el objetivo de asignar una clasificación en base a la cantidad de cobertura vegetal existente en los NDVI obtenidos, se realiza previamente una observación de cada uno de los NDVI en el software ArcGis 10.2.2, con ayuda de la herramienta identify (  ), se analiza a que zonas corresponden los valores bajos y valores altos en los índices resultantes del procesamiento anterior.

En general se puede observar que en los diferentes índices los valores cercanos a -1 corresponden a nubes, cuerpos de agua, suelo desnudo y zonas urbanizadas. Por el contrario los valores entre más cercanos están a 1 el suelo presenta mayor verdor o más vegetación.

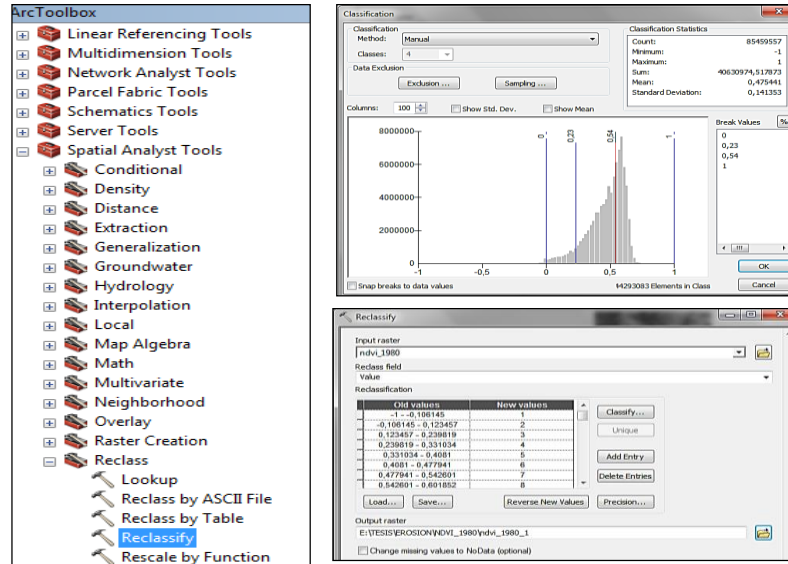
**Imagen 115.** Interfaz software ArcGis, herramienta Identify.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.






Se procede a reclasificar los índices mediante la herramienta Reclassify del software programa ArcGis, los valores de cada NDVI se agrupan en cinco clases según el vigor y la cantidad de vegetación sobre el terreno.

**Imagen 116.** Interfaz software ArcGis, herramienta Reclassify.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

**Tabla 55.** Clasificación de intensidad de la erosión.

	Rango	Calificación	Intensidad de erosón
	1 - 0,1	5	No presenta
	0,1 - 0	4	Ligera
	0 - -0,1	3	Media
	-0,1 - -0,2	2	Alta
	-0,2 - -1	1	Muy Alta

**Fuente.** Autor.

### 11.3 ANÁLISIS MAPAS DE EROSIÓN

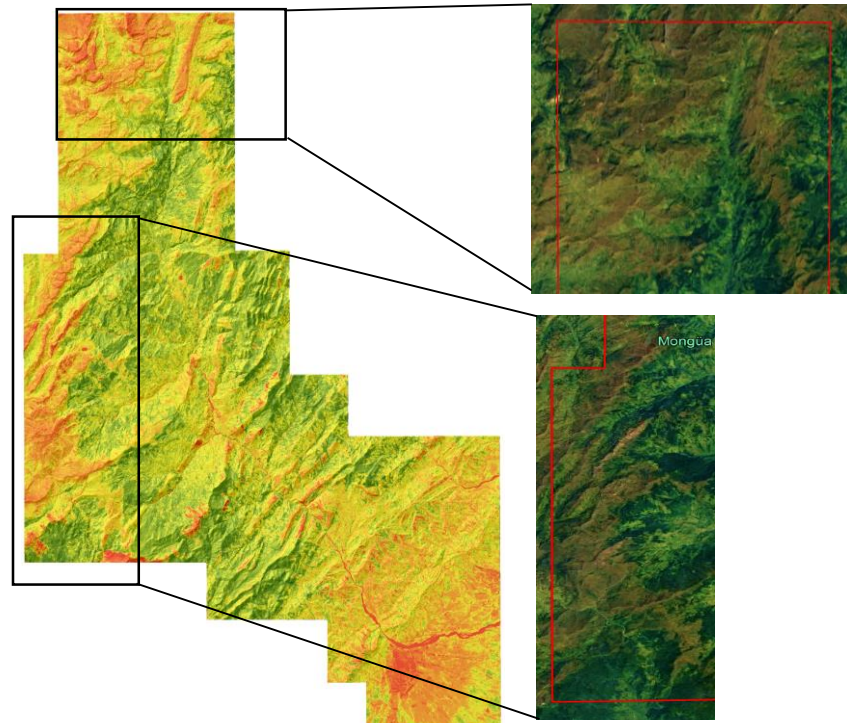
Como resultado se obtuvo cinco mapas de erosión para los años 1985, 1990, 2001, 2009 y 2017. Por medio de estos mapas se puede evaluar el cambio de los índices de vegetación en el área, priorizando las zonas con ausencia de vegetación en la Cuenca del río Cravo Sur.

Es necesario aclarar que no todas las zonas sin cobertura vegetal corresponden al fenómeno de erosión, ya que también hacen parte las áreas urbanizadas, cuerpos de agua, vías y nubes. Por lo anterior la erosión será analizada en zonas que presenten degradación de suelo, las cuales fueron identificadas previamente en las imágenes satelitales con ayuda de las combinaciones multiespectrales.

### 11.3.1 Erosión gravitacional

Se produce por el efecto de la gravedad, generando transporte de bloques o granos en laderas de montaña, esto se evidencia en las zonas de mayor altura, con poca cobertura vegetal y afloramientos rocosos. Se puede observar un aumento de este fenómeno en el área de estudio, relacionado a la pérdida de vegetación.

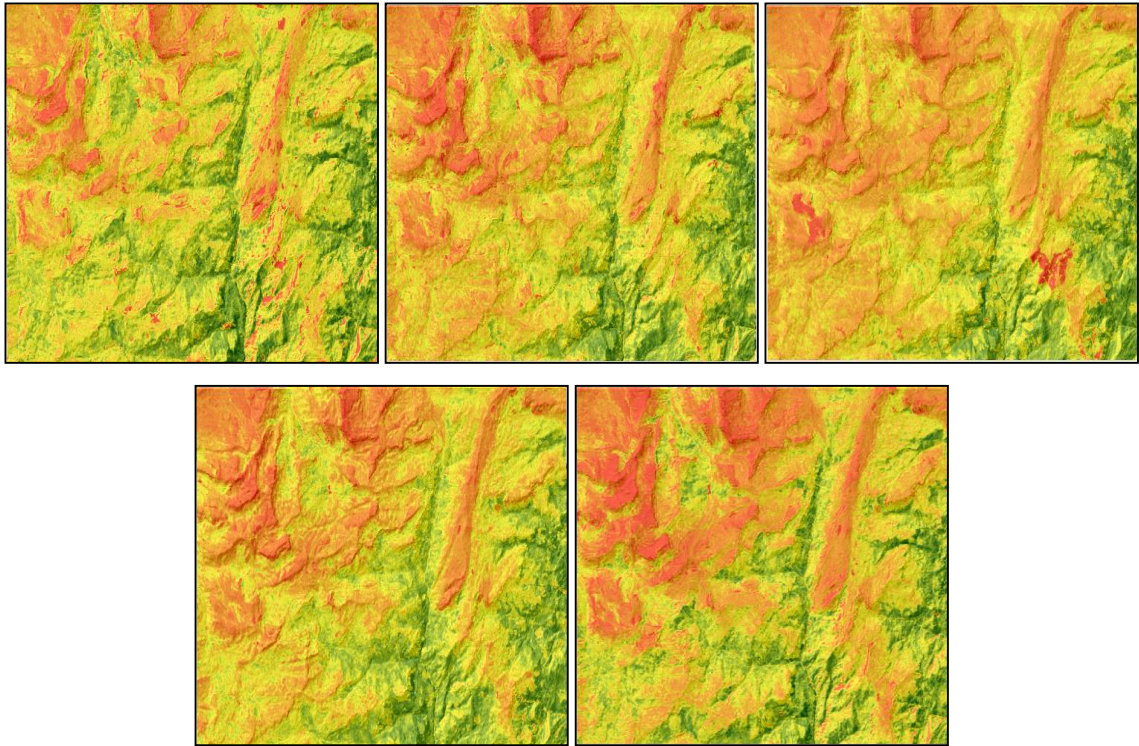
**Imagen 117.** Erosión por gravitación, mapa de erosión año 2009 vs imágenes Google Earth.



Fuente. Autor.

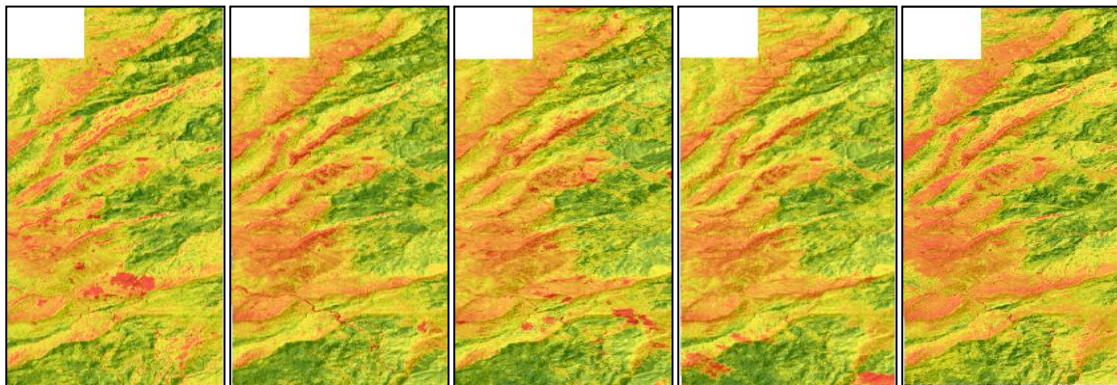


**Imagen 118.** Erosión por gravitación, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017.



**Fuente.** Autor.

**Imagen 119.** Erosión por gravitación, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017.



**Fuente.** Autor.

Se observa un aumento de la erosión desde el año 1985 al 2017, es importante tener en cuenta que las dos zonas analizadas corresponden a un ambiente glaciar, donde la vegetación es escasa y poco densa, lo que favorece el aumento de la

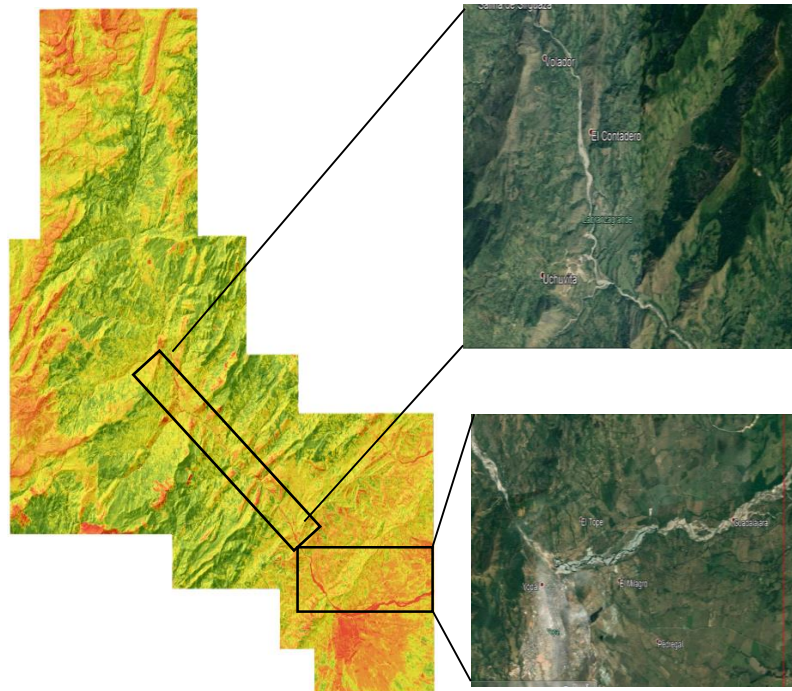
erosión en las rocas que se encuentran expuestas. Se puede observar que los índices de erosión presentan una orientación NE, evidenciando que la erosión se está presentando en los afloramientos rocosos principalmente del Paleógeno como las formaciones Picacho, arenisca y arcillas de socha, y del cretáceo en las formaciones Guaduas, Une y Fómeque. Este modelado del terreno dio origen a algunas subunidades geomorfológicas de origen denudacional.

### 11.3.2 Erosión hídrica

#### 11.3.2.1 Fluvial

Se presenta en las margenes del río Cravo Sur y en los drenajes principales por la fricción constante del flujo del agua. Como se genera un crecimiento de su cauce, acompañado de una variación en la superficie del canal.

**Imagen 120.** Erosión fluvial, mapa de erosión año 2009 vs imágenes Google Earth.

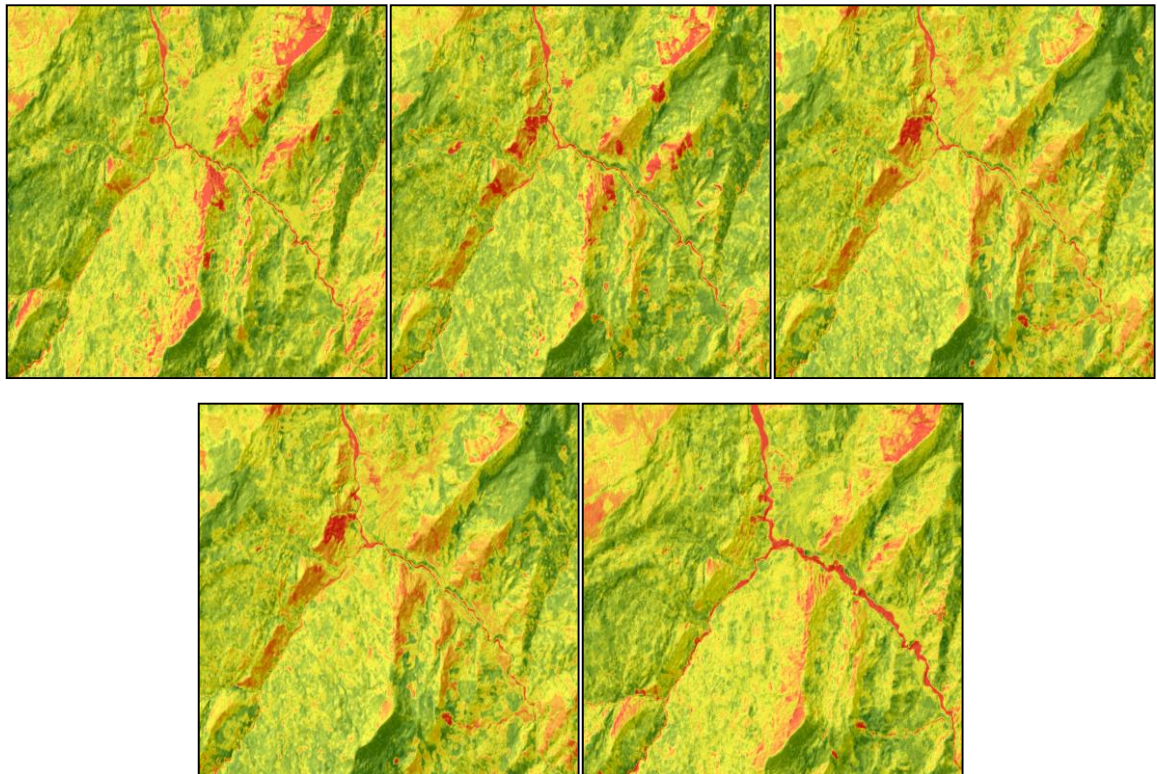


Fuente. Autor.



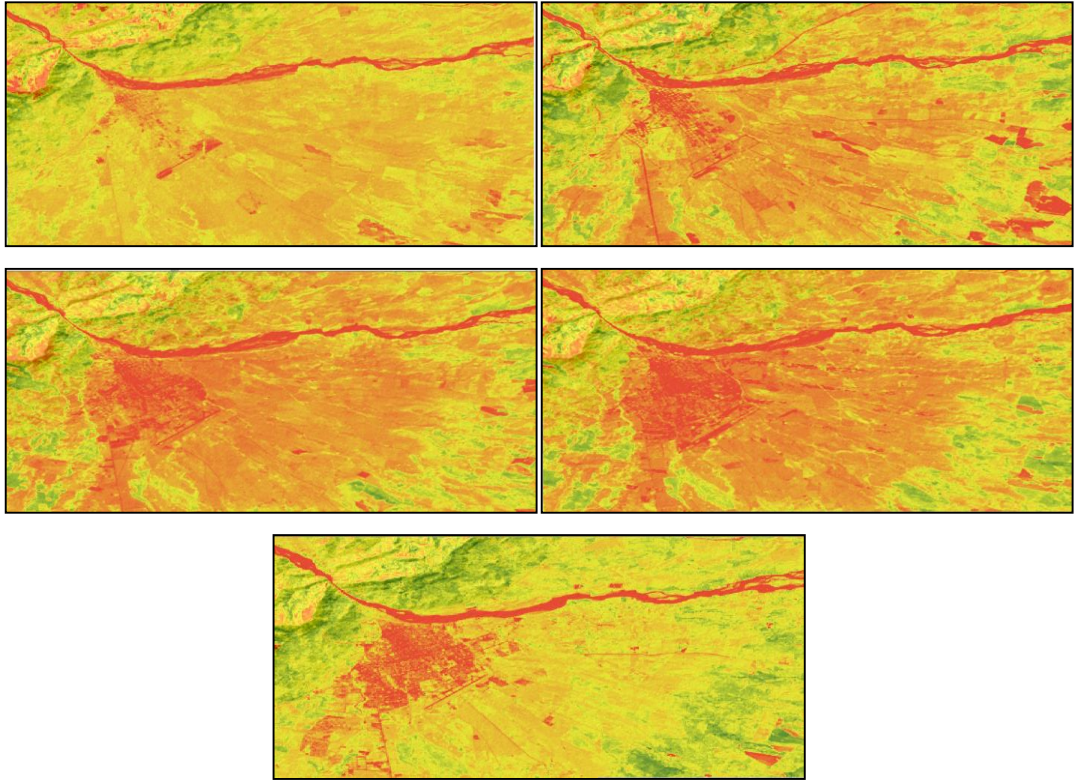
Se observa a lo largo del cauce principal sectores de intensiva erosión, el tamaño del canal se ha ido ensanchando a lo largo de los años principalmente en las zonas donde el río incrementa su caudal por la influencia de las quebradas que desembocan en este. El desgaste y transporte de material se ha presentado en rocas del paleógeno en las formaciones Areniscas de Socha (Pgars), Arcillas de Socha (Pgas), del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif), Une (Kiu), Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp), Arenisca Tierna (Ksgt). Este modelado del terreno dio origen a algunas subunidades geomorfológicas de origen fluvial.

**Imagen 121.** Erosión fluvial, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017.



**Fuente.** Autor.

**Imagen 122.** Erosión fluvial, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017.



**Fuente.** Autor.

El río Cravo sur además de erosionar las márgenes y ensanchar el canal por acción del agua, ha depositado sedimentos en forma de barras longitudinales y puntuales así como meandros abandonados. Estas acumulaciones son inundadas y remodeladas en épocas de aumento en el caudal del río.

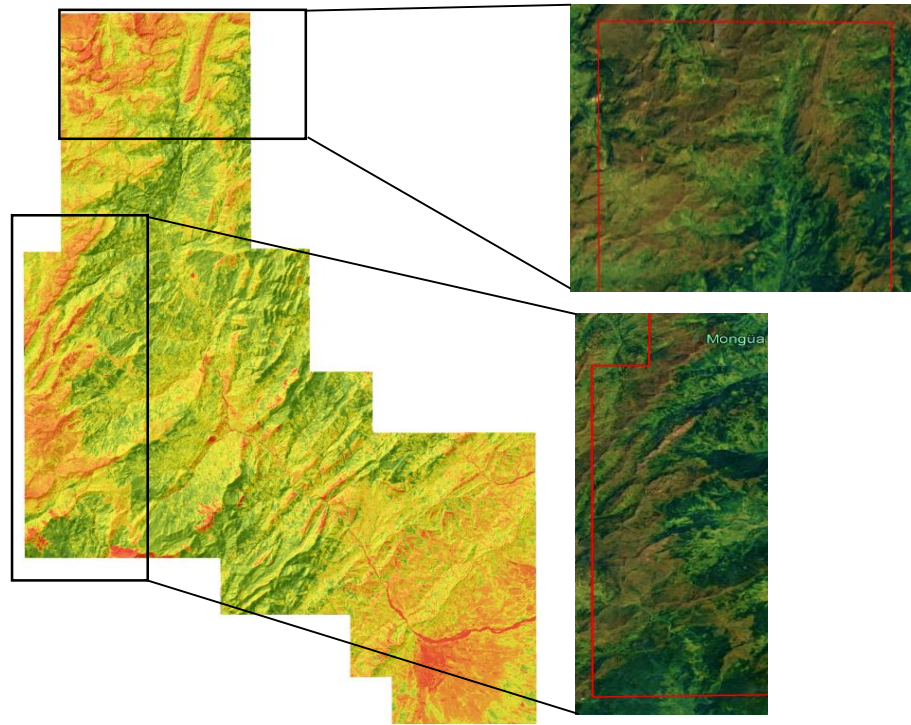
Las zonas más representativas son el sector del casco urbano de Yopal y de Labranzagrande, donde se ha presentado socavación constante del río Cravo sur, esto ha sido motivo de diferentes obras de mitigación que no han lo suficientemente eficaces para el control de este fenómeno.

### 11.3.2.2 Precipitación

El área presenta superficies expuestas a la continua fuerza de erosión por acción de las lluvias. Si el suelo está protegido por los cuerpos de bosque densos, el agua de lluvia afectará el suelo de manera menos intensa, por el contrario en las zonas de suelo desnudo, la lluvia pueden impactar el suelo con suficiente fuerza generando sectores de alta intensidad erosiva.

En la cuenca actúa de manera conjunta con la erosión por gravedad, esto se debe a que los dos fenómenos afectan primordialmente los sectores con poca densidad de cobertura vegetal, principalmente a lo correspondiente como ambiente glacial. Las zonas donde este fenómeno se ha intensificado se predomina la vegetación herbácea de poco espesor, pastos y áreas abiertas.

**Imagen 123.** Erosión por precipitación, mapa de erosión año 2009 vs imágenes Google Earth.



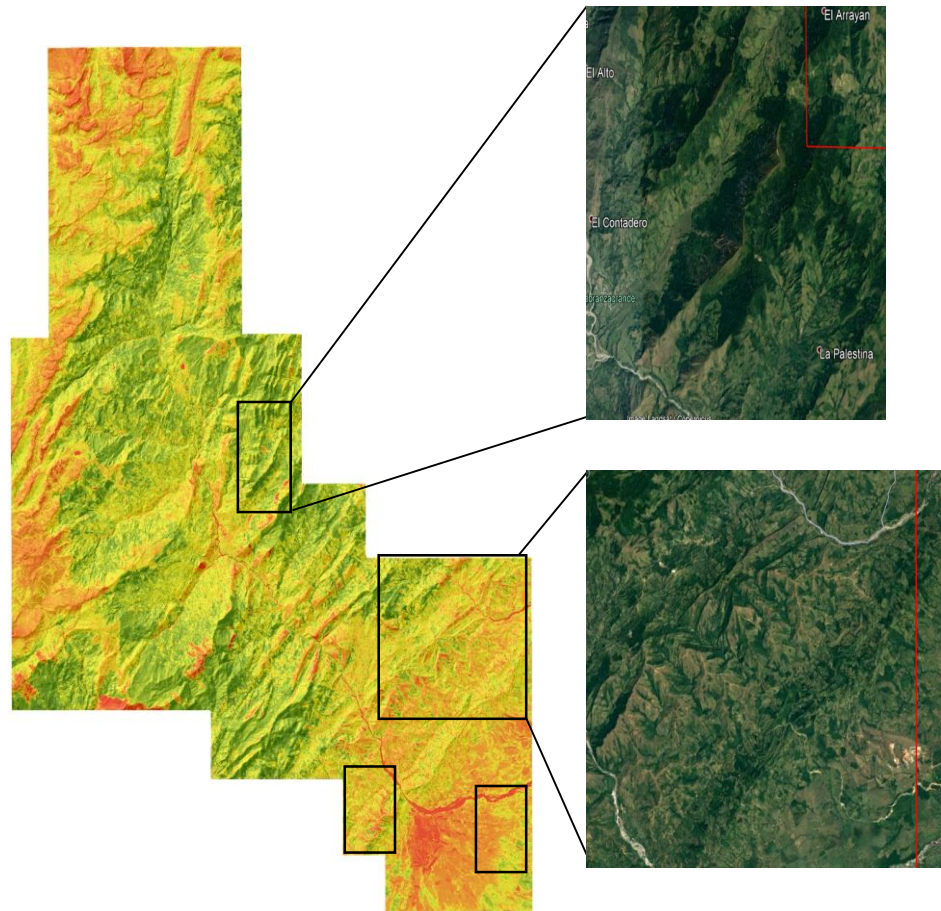
Fuente. Autor.



### 11.3.3 Erosión antrópica

Es la erosión causada de forma directa o indirecta por la actividad humana, estas acciones desencadenan o potencian el proceso, ya que el hombre como agente de erosión no influye solamente en intensificar los procesos naturales, sino que también es capaz de introducir modificaciones favoreciendo la aceleración de la erosión. La pérdida del suelo causada por la acción del hombre en el área de estudio se pudo generar al desarrollar actividades como agricultura en terrenos inclinados, sobrepastoreo, incendios forestales, construcción en el medio natural, entre otras.

**Imagen 124.** Erosión antrópica, mapa de erosión año 2009 vs imágenes Google Earth.

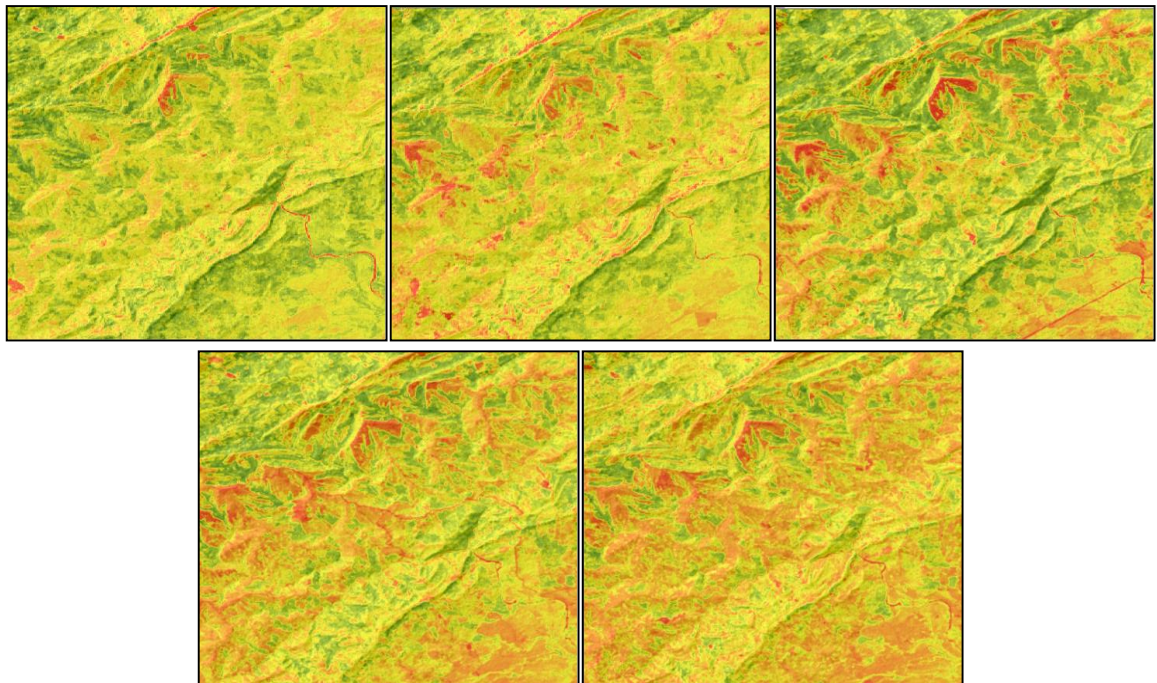


Fuente. Autor.

En algunas zonas se puede evidenciar el aumento de erosión por actividades relacionadas con agricultura y pastoreo. Para el análisis de la erosión antrópica se tuvo en cuenta el mapa de cobertura vegetal, del cual se puede interpretar el tipo de vegetación como cultivos, pastos bajos, minería entre otros. Estas coberturas se pueden relacionar directamente con la actividad antrópica y por ende con el aumento de la erosión.

Este fenómeno se evidencia principalmente en cercanías a los centros urbanos como en el municipio de Yopal y en el municipio de Labranzagrande, donde debido a las actividades económicas se ha ido modificando la cobertura vegetal disminuyendo el área de bosques y aumentando las áreas agrícolas, pastos y vegetación herbácea.

**Imagen 126.** Erosión antrópica, comparación años 1985, 1990, 2001, 2009, 2017.



**Fuente.** Autor.



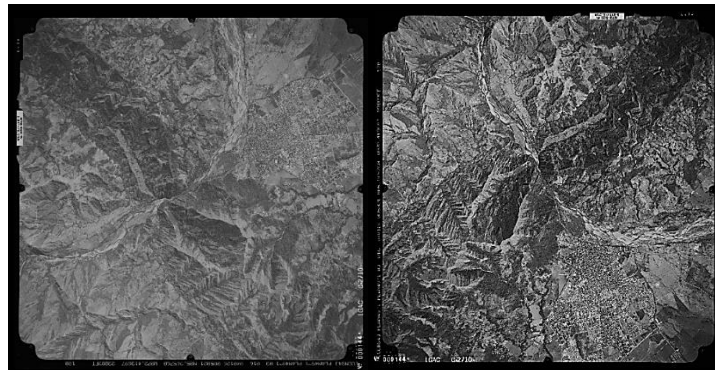
## 12. ANÁLISIS DEL CAUCE DEL RÍO

Se tiene como objetivo realizar el análisis multitemporal de la dirección del cauce del río Cravo Sur en los centros urbanos de los municipios de Labranzagrande y Yopal, mediante el análisis visual de imágenes satelitales y fotografías aéreas de la zona de estudio.

### 12.1 CORRECCIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Para optimizar la visualización de las fotografías aéreas se procedió a girarlas y mejorar el contraste mediante el software Photoshop 6.

*Imagen 127. Fotografía aérea corregida del año 2004.*

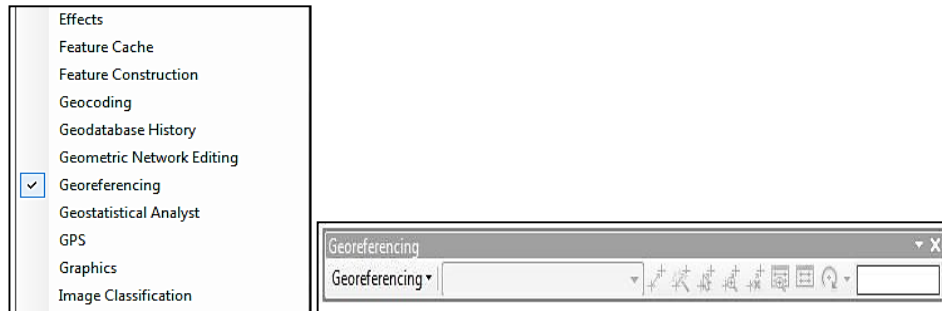


**Fuente.** Software Photoshop 6.

### 12.2 GEOREFERENCIACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Los insumos iniciales son imágenes en formato TIF, a estos se les debe asignar un sistema de referencia espacial y posteriormente realizar la georeferenciación con base a una imagen satelital de alta resolución, para este caso se utilizó una imagen satelital Landsat del año 2016. Se utilizó el método de puntos de control mediante la herramienta Georeferencing de ArcGis 10.2.2.

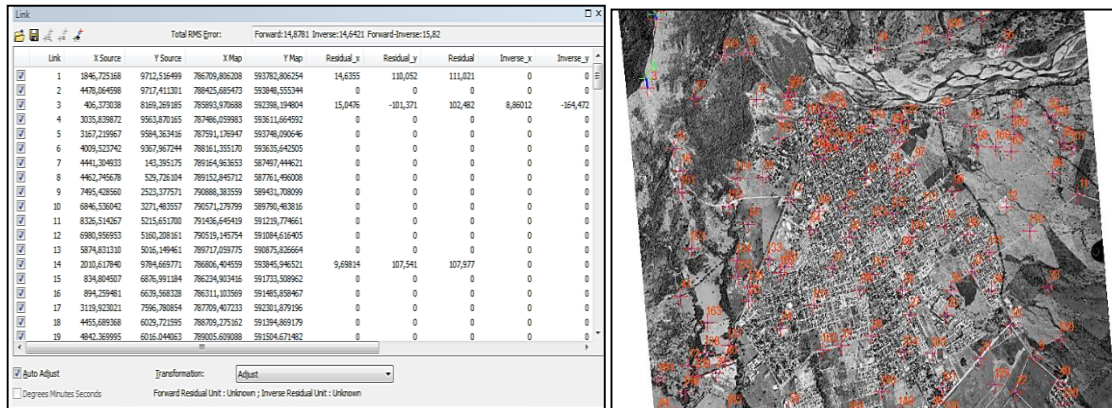
**Imagen 128.** Interfaz software ArcGis, herramienta Georeferencing.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

Se marca el punto en el dato a corregir y en el dato de referencia. Así y con ésta herramienta, se marcan diferentes puntos en zonas de fácil identificación, además es importante que los puntos de control estén distribuidos por toda la imagen, para alcanzar mayor precisión en la georeferenciación, los valores de los puntos de control se almacenan en una tabla.

**Imagen 129.** Selección de puntos de control, fotografía aérea del año 2004.



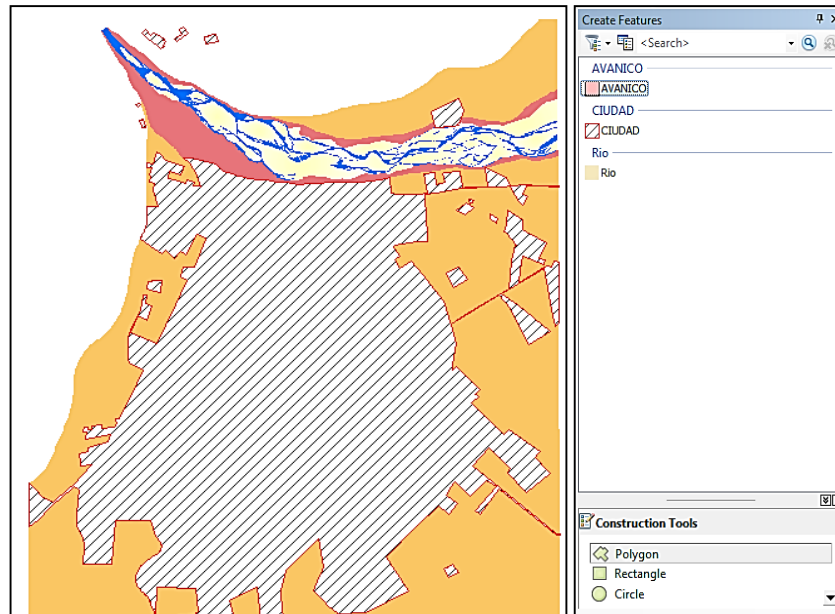
**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

### 12.3 DIGITALIZACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Posteriormente de tener las fotografías en un sistema espacial de referencia y estar georeferenciadas, se digitalizaron sobre las fotografías los aspectos a evaluar, lo que permitió visualizar su variabilidad en el tiempo.

En el software ArcGis en la pestaña Create Features, se generan los polígonos sobre las zonas de interés en las fotografías, los cuales se encuentran agrupados en shapefiles respecto a sus características.

**Imagen 130.** Polígonos digitalizados, imagen del año 2016.

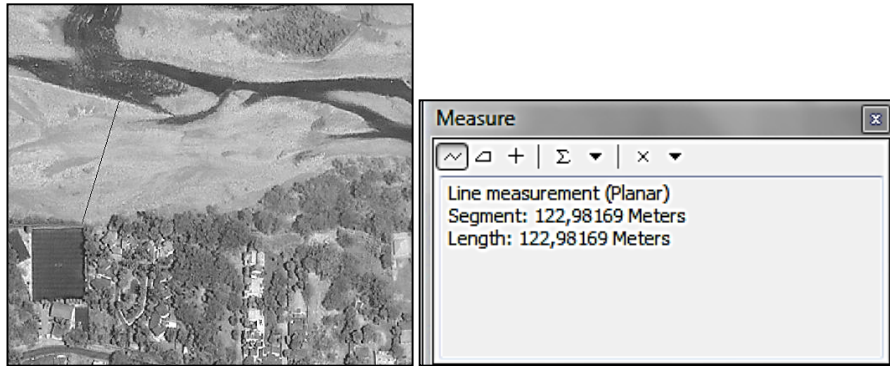


**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

## 12.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Con la finalidad de identificar los cambios del cauce en sectores específicos del municipio de Yopal, se analizaron las mismas zonas para los años 2016, 2011, 2007, 2004, 1992, 1958. Se tomaron las mediciones en los mismos puntos de las diferentes fotografías, identificando las variaciones a lo largo de los años. Estas mediciones se realizaron utilizando el software ArcGis 10.2.2 con la herramienta Measure y en el software Google Earth Pro con la herramienta Regla.

**Imagen 131.** Medición herramienta Measure, Imagen 2016.



**Fuente.** Software ArcGis 10.2.2.

**Imagen 132.** Medición herramienta Regla, Imagen del año 2016.



**Fuente.** Software Google Earth Pro.

## 12.4.1 Análisis del municipio de Yopal

### 12.4.1.1 Fotointerpretación

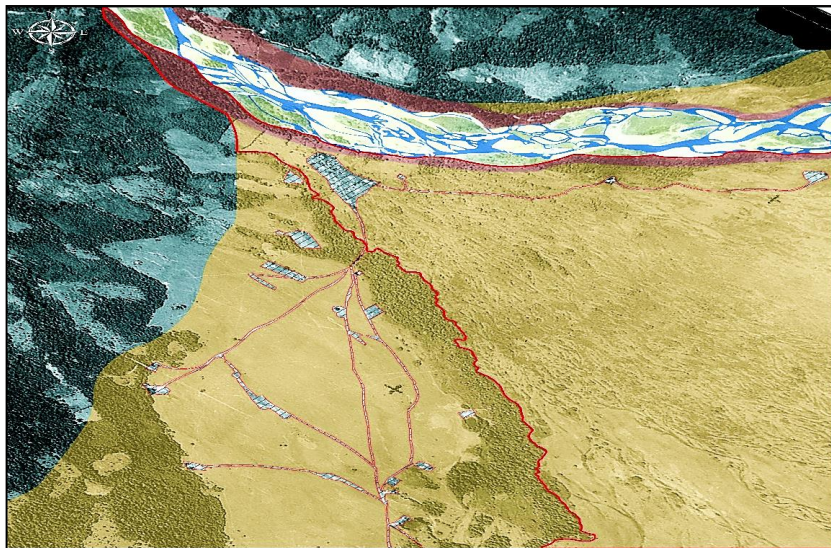
Se utilizaron las siguientes representaciones para los mapas digitalizados sobre las fotografías:

- **El Río:**
  - La zona de color azul representa la lámina de agua.
  - Color amarillo claro representa áreas de barras, depósitos del río.
  - Color rojo claro representa las áreas más propensas a la socavación del río.



- **Abanico:**
  - Color naranja claro representa el área que corresponde al abanico.
  - Línea roja corresponde al área del flujo ocurrido en el año de 1937.
- **Zona urbana:**
  - Representada por una convención de líneas, corresponde al casco urbano del municipio de Yopal, además de construcciones cercanas y algunas vías principales.

**Imagen 133.** Fotografía aérea del IGAC N° 198 del vuelo B-105, año 1937.

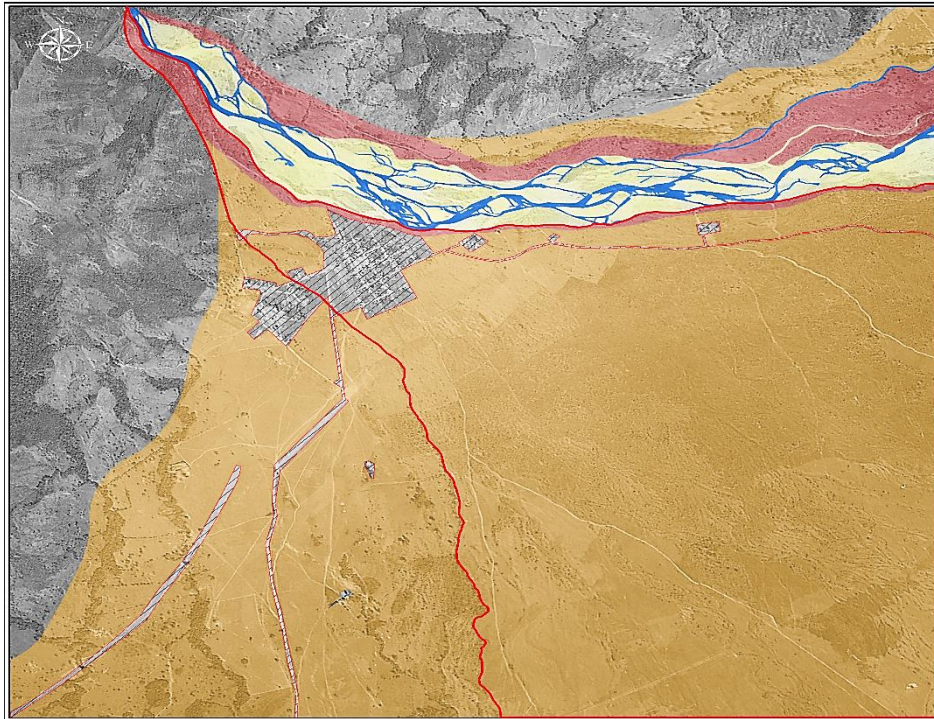


**Fuente.** Autor.

Para el año 1937 el casco urbano del municipio Yopal tenía poca extensión y limitadas construcciones, algunas de ellas alejadas del caserío principal. El cauce del río a lo largo del área de estudio es de tipo trenzado, esto se debe a la transición del río de la zona montañosa al pie de monte, presenta gran amplitud y depósitos de sedimentos acumulados en forma de barras puntuales y longitudinales. Se puede identificar el área del flujo que tuvo lugar en el año de 1937.



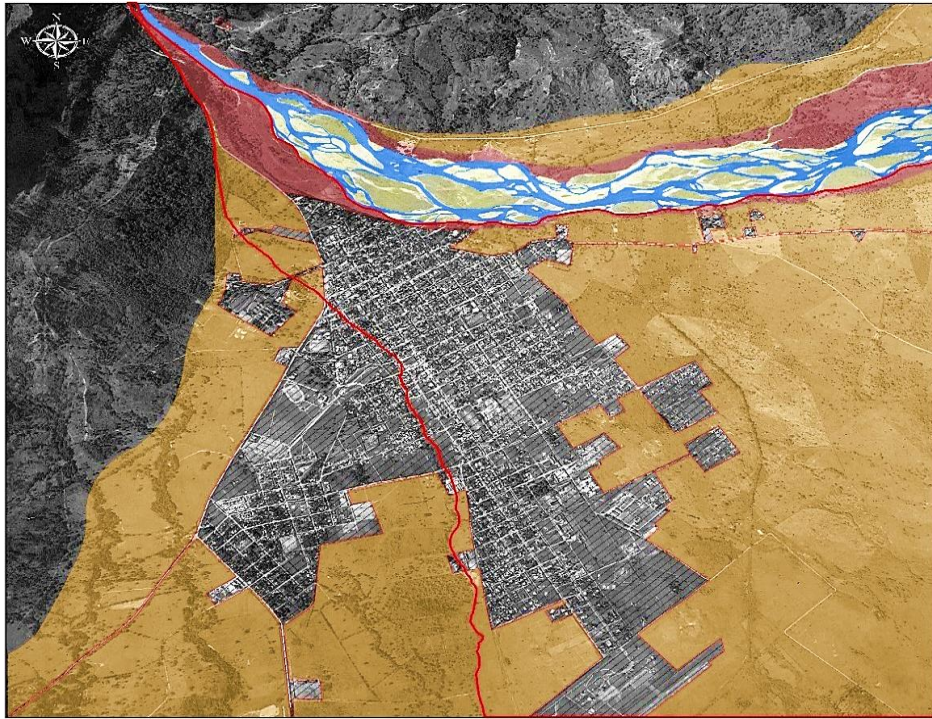
**Imagen 134.** Fotografía aérea del IGAC N° 363 del vuelo S-355, año 1958.



**Fuente.** Autor.

Para el año 1958 el casco urbano del municipio de Yopal tenía poca extensión, con crecimiento hacia el sur, se observan nuevas construcciones sobre la margen del río Cravo Sur. El cauce a lo largo del área de estudio es de tipo trenzado, esto se debe a la transición del río de la zona montañosa al pie de monte, presenta gran amplitud y depósitos de sedimentos acumulados en forma de barras puntuales y longitudinales, en la parte superior del abanico el cauce se distancia considerablemente del margen derecho, al llegar al centro urbano el río vuelve a intersectar el margen derecho con un caudal considerable, en la parte noreste de la fotografía se observa un meandro abandonado.

**Imagen 135.** Fotografía aérea del IGAC N° 043 del vuelo C-2489, año 1992.

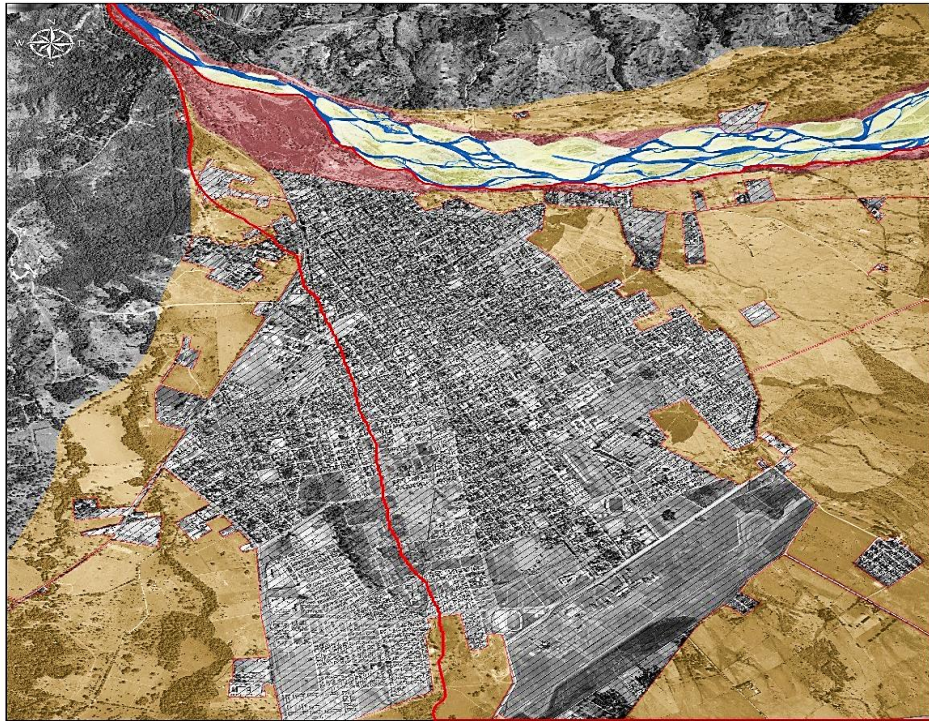


**Fuente.** Autor.

Para el año 1992 el casco urbano del municipio de Yopal presenta gran expansión hacia el sur además de aumentar la cantidad de construcciones sobre el margen derecho el río Cravo Sur. El cauce del río a lo largo del área de estudio es de tipo trezado, presenta gran amplitud y depósitos de sedimentos acumulados en forma de barras puntuales y longitudinales, el cauce presenta un caudal considerable, una corriente del río se intersecta con gran parte de margen derecho en el sector noreste del centro urbano, en la parte superior del abanico y al noreste de la fotografía se observan dos grandes meandros abandonados.



**Imagen 136.** Fotografía aérea del IGAC N° 145 del vuelo C-2710, año 2004.



**Fuente.** Autor.

Para el año 2004 el casco urbano del municipio de Yopal se expandido considerablemente, se observa la gran cantidad de construcciones hacia el sur y sobre el margen derecho el río Cravo Sur. El cauce del río a lo largo del área de estudio es de tipo trezado, presenta gran amplitud y depósitos de sedimentos acumulados en forma de barras puntuales y longitudinales, una corriente del río se intersecta con el gran parte de margen derecho en el sector del centro urbano, para esta año muchos de los meandros abandonados ya presentan vegetación.

**Imagen 137.** Imagen satelital Landsat 8 del año 2016.

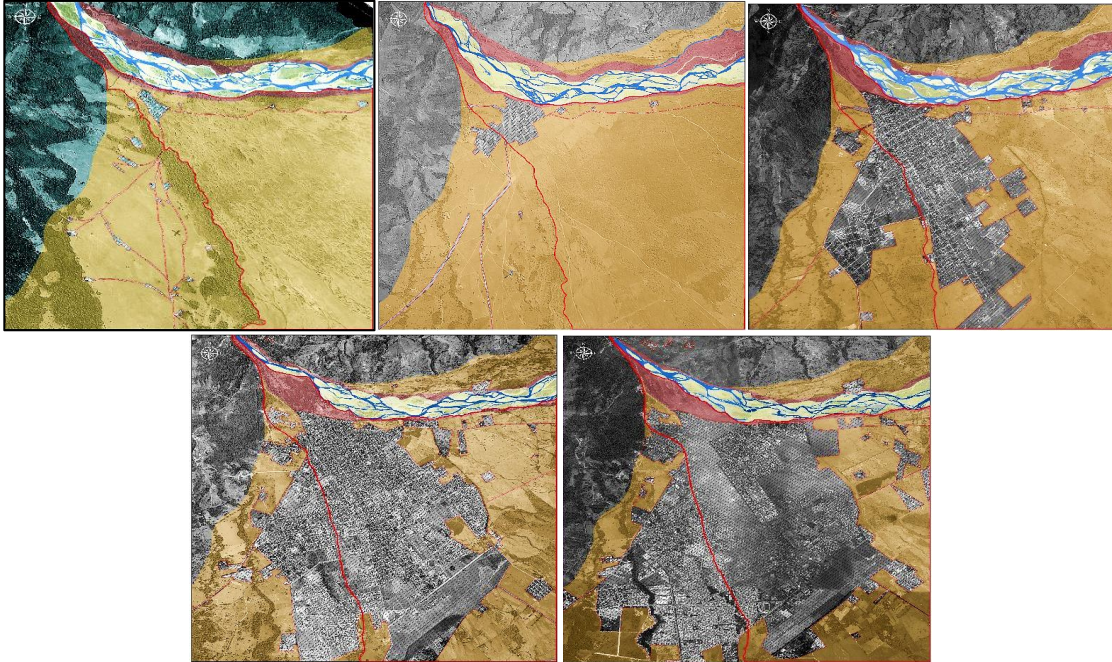


**Fuente.** Autor.

Para el año 2016 el casco urbano del municipio de Yopal es muy extenso y denso, se observa la gran cantidad de construcciones hacia el sur y sobre el margen derecho el río Cravo Sur. El cauce del río a lo largo del área de estudio es de tipo braided, presenta gran y depósitos de sedimentos acumulados en forma de barras puntuales y longitudinales, una corriente del río se intersecta con el gran parte de margen derecho en el sector del centro urbano, para esta época muchos de los meandros abandonados presentan vegetación.



**Imagen 138.** Comparación de los años 1937, 1958, 1992, 2004, 2016.



**Fuente.** Autor.

En general el cauce del río Cravo Sur se alejó del margen derecho en la parte superior del abanico disminuyendo el ancho, se redireccionó el cauce en una curva más aguda la cual al volver a encontrar el margen derecho presenta mayor dinámica y un importante caudal. Otro factor importante es que gran parte del crecimiento del casco urbano se presentó sobre este flanco del río, aumentando las construcciones y población vulnerable. Muchos de los meandros abandonados presentan actualmente abundante vegetación y se están utilizando como vías de acceso para el río o construcción de viviendas. Según el área de incidencia si se repitiera un flujo como el de 1937, afectaría para el 2016 la mitad del casco urbano respecto a su extensión.



#### 12.4.1.2 Mediciones

La zona de estudio se encuentra simbolizada por un recuadro amarillo desde el cual se mide hasta el punto más cercano en que se encuentre la corriente de agua del río Cravo Sur, la distancia de separación se mide en metros (m).

**Imagen 139.** Viviendas margen derecho del río Cravo Sur.



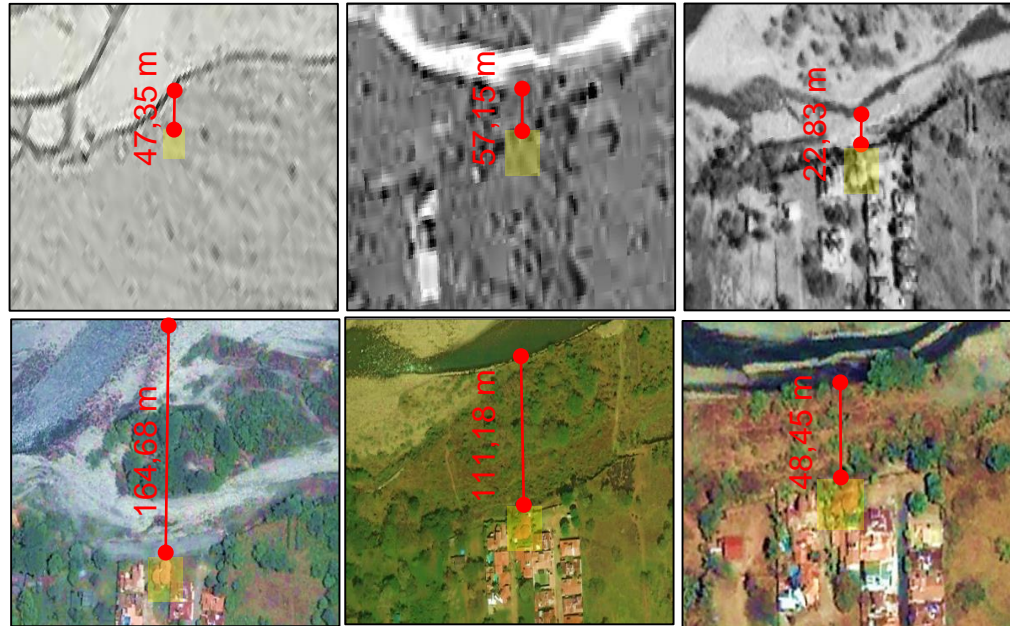
**Fuente.** Google Earth.

La zona de estudio corresponde a un conjunto de viviendas, las cuales en los últimos años han sido vulnerables a inundaciones por el río Cravo Sur en épocas de alta precipitación. En este sector se han utilizado algunas acciones de mitigación como la disposición de material de relleno con el fin de redireccionar el cauce.

Para los años 1958 y 1992 no se encuentran las viviendas analizadas, pero se hace la medición respecto al área donde posteriormente serán construidas. Teniendo en cuenta que las fotografías están georeferenciadas.

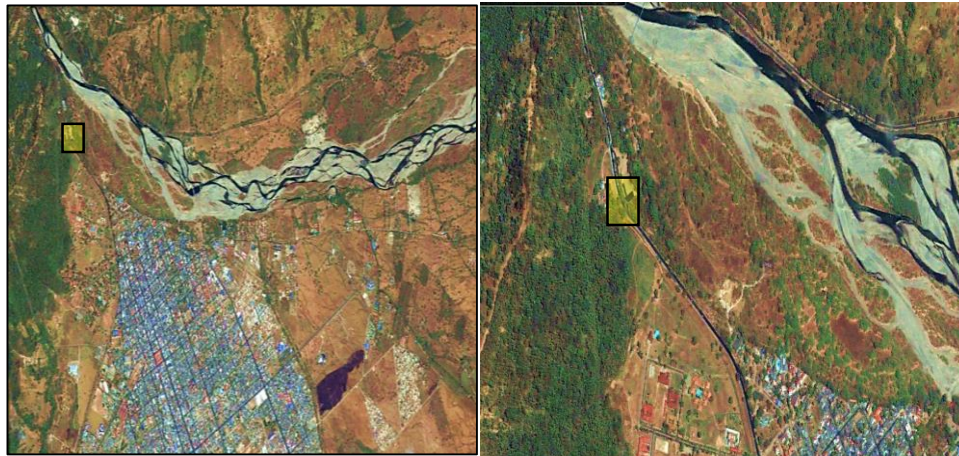
Para los años 1958, 1992 y 2004 el cauce del río fluía muy cerca al margen derecho en el casco urbano, en el 2007 se observa cerca a las construcciones materiales de relleno como obra de mitigación con el fin de redireccionar el río y alejarlo, para el año 2011 cauce del río empezó a acercarse continuando con esta tendencia hasta el 2016.

**Imagen 140.** Imagen 142. Comparación de los años 1958, 1992, 2004, 2007, 2011 y 2016.



**Fuente.** Autor.

**Imagen 141.** Vía que conduce de Yopal – Paz de Ariporo.



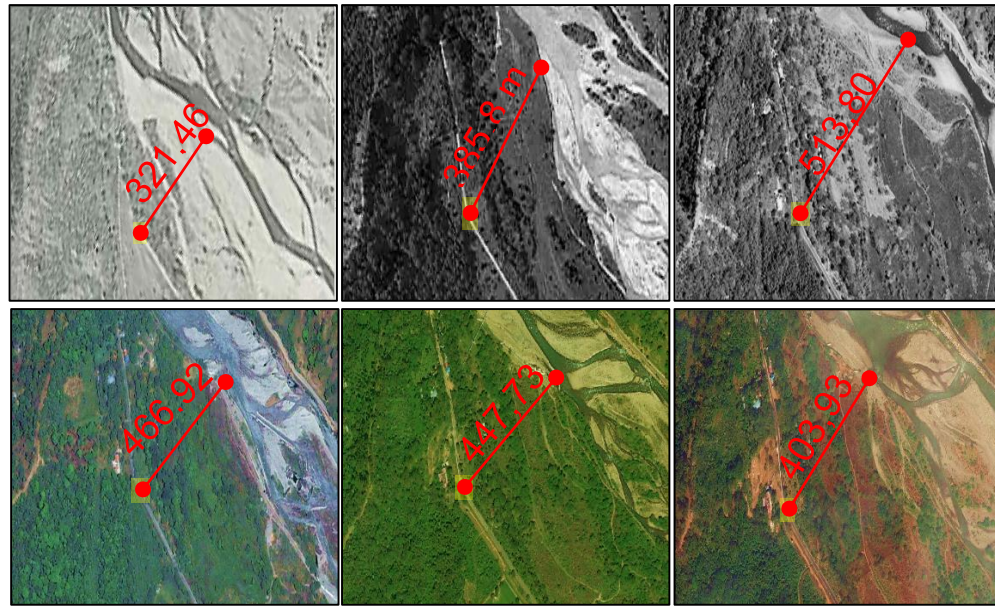
**Fuente.** Autor.

Se tomo como referencia una parte de la vía que conduce del municipio de Yopal a Paz de Ariporo, en el sector se evidencian los diferentes períodos de depositación y erosión en la margen derecha del río Cravo Sur. Para los años 1958 y 1992 el cauce del río se fue alejando paulatinamente de la margen derecho acumulando sedimentos. Para el año 2004 el cauce se habría alejado casi el doble de la distancia



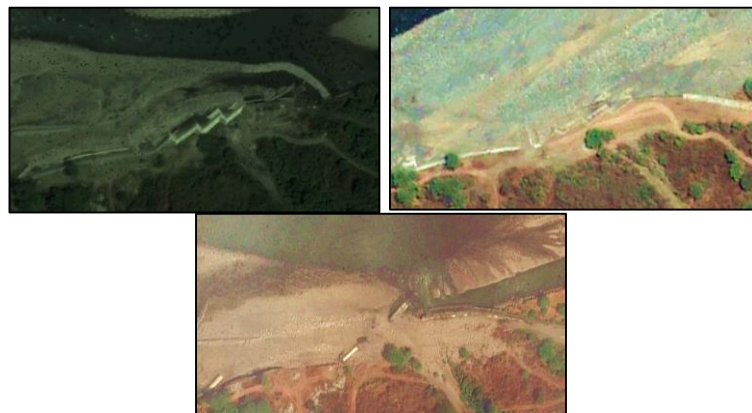
de los años anteriores, el depósito presenta gran cantidad de vegetación y algunas vías de acceso al río. Para el año 2007 aumento la vegetación, se observan algunas construcciones sobre el depósito. En el 2011 y 2016 se observan obras de mitigación como canalización de agua y muros de contención con el fin de control el cauce, a pesar de esto en épocas de alta precipitación el río tiende a recuperar su cauce natural generando inundaciones.

*Imagen 142. Comparación de los años 1958, 1992, 2004, 2007, 2011 y 2016.*



**Fuente.** Autor.

*Imagen 143. Obras de contención río Cravo Sur, Años 2011, 2013, 2016.*

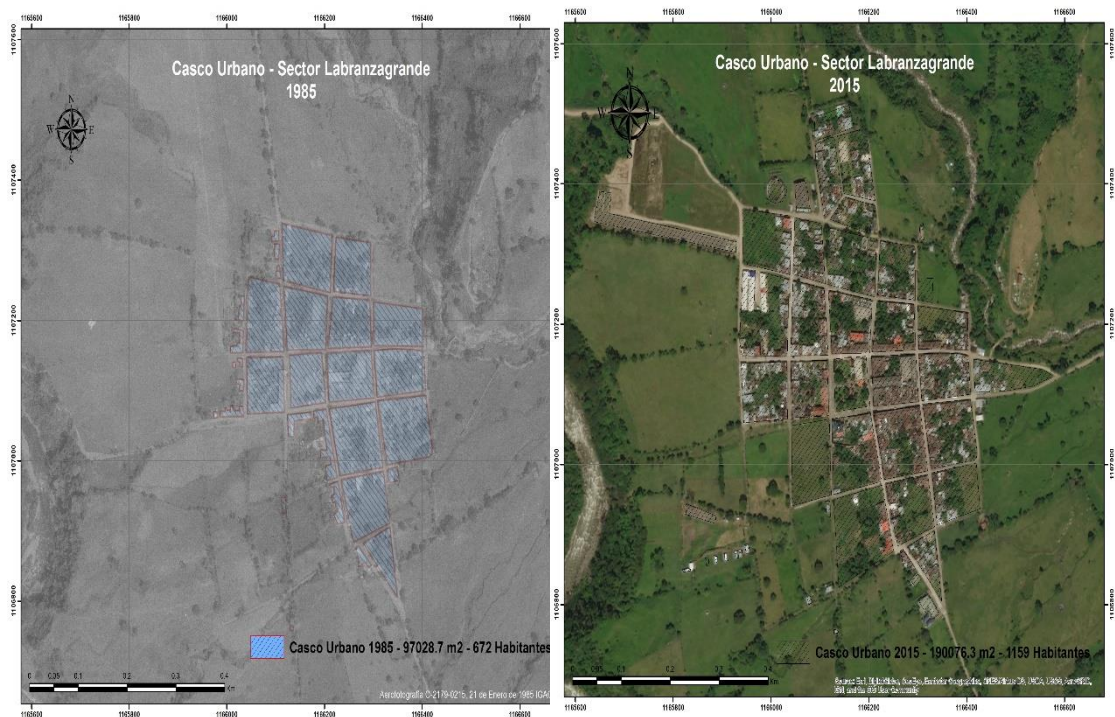


**Fuente.** Software Google Earth Pro.

## 12.4.2 Análisis del municipio de Labranzagrande

### 12.4.2.1 Fotointerpretación

**Imagen 144.** Comparación del centro urbano, entre los años 1985 y 2015.

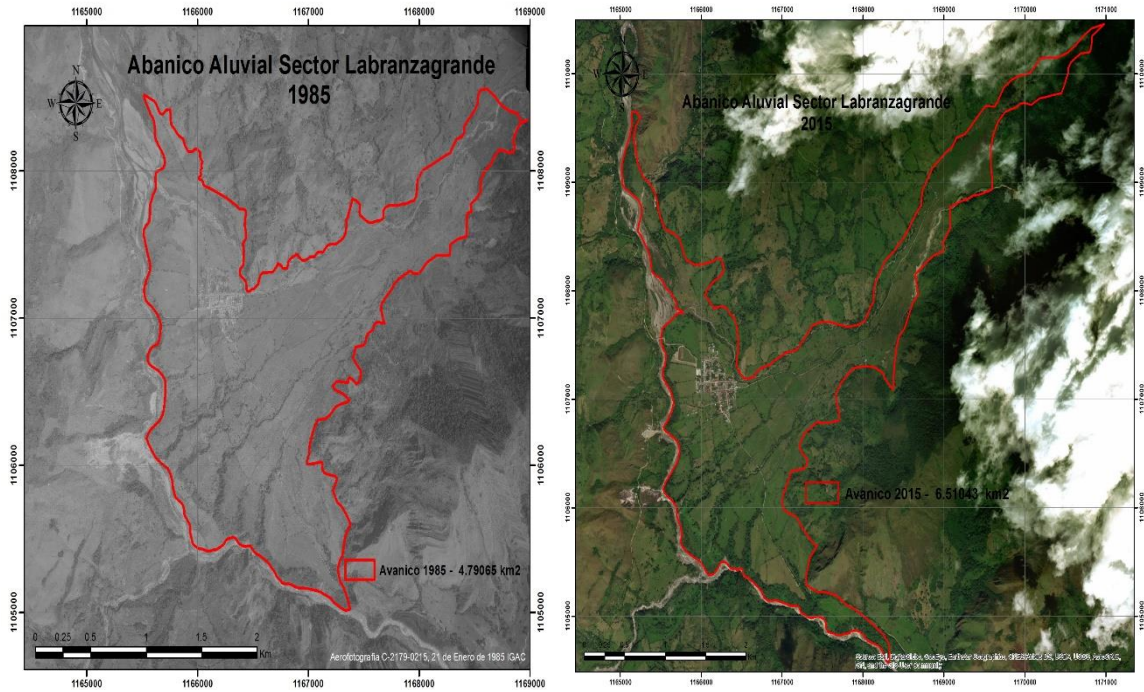


Fuente. Autor.

Mediante el análisis comparativo del casco urbano en los dos periodos de estudio se puede establecer que el casco urbano al 2015 ha tenido una tasa de crecimiento del 49% en comparación a 1985; en este primer lapso Labranzagrande contaba con un casco urbano consolidado de 14 cuadras ocupando un área total de 97,028.7 m<sup>2</sup> que corresponde al 51% del área total que ocupa actualmente, mientras tanto en el segundo periodo de análisis el casco urbano cuenta con 28 cuadras constituidas que ocupan un área de 190,076.3 m<sup>2</sup>.



**Imagen 145.** Comparación del abanico aluvial, entre los años 1985 y 2015.



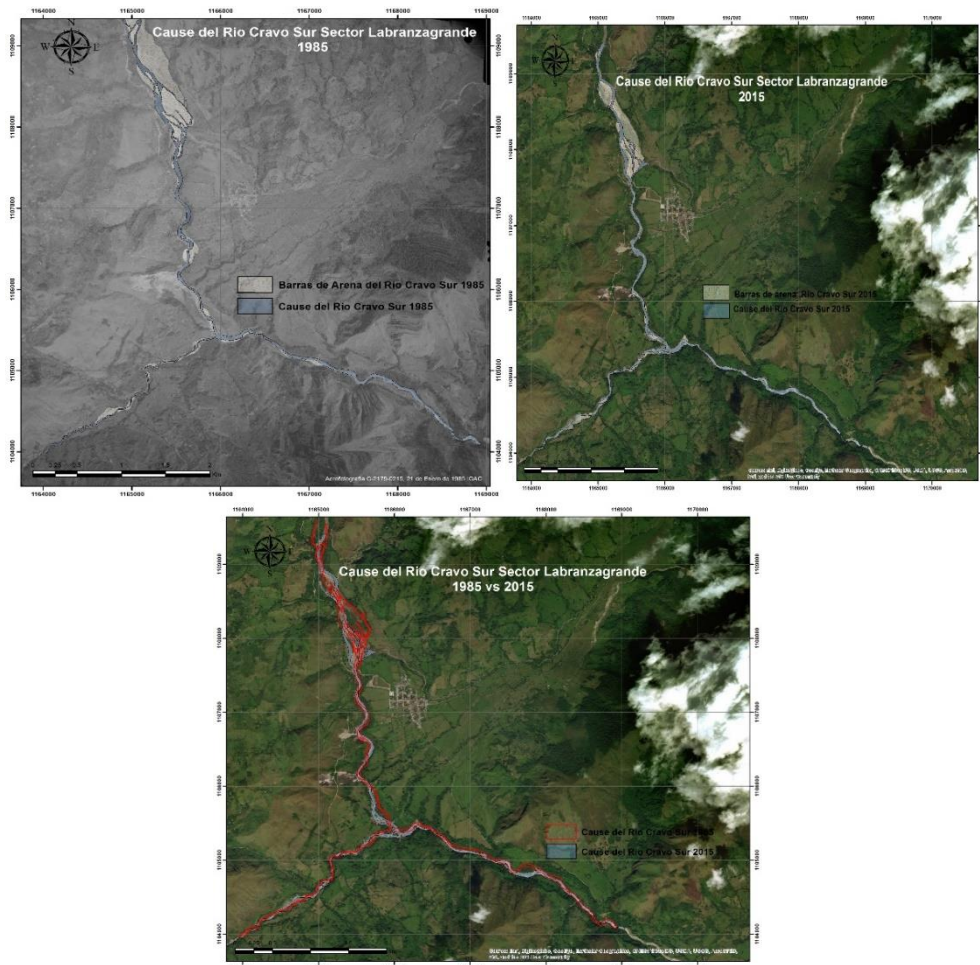
**Fuente.** Autor.

En este apartado se contrasta la evolución geomorfología (forma) del abanico aluvial característico del sector de Labranzagrande, en el que se evidencia un aumento del área tanto en la parte apical (alta) y basal (baja) esta última se ha ido extendiendo a lo largo de los flancos del cauce del río, en base al constante aporte de sedimentos durante los últimos años.

El abanico en 1985 contaba con una extensión de 4.79 km<sup>2</sup>, mientras que actualmente ha tenido un crecimiento de 1.72 km<sup>2</sup> contando con una extensión total de 6.51 km<sup>2</sup>, su tasa de crecimiento entre 1985 y 2015 corresponde a un 26.2 %.



**Imagen 146.** Comparación del cauce del río, entre los años 1985 y 2015.



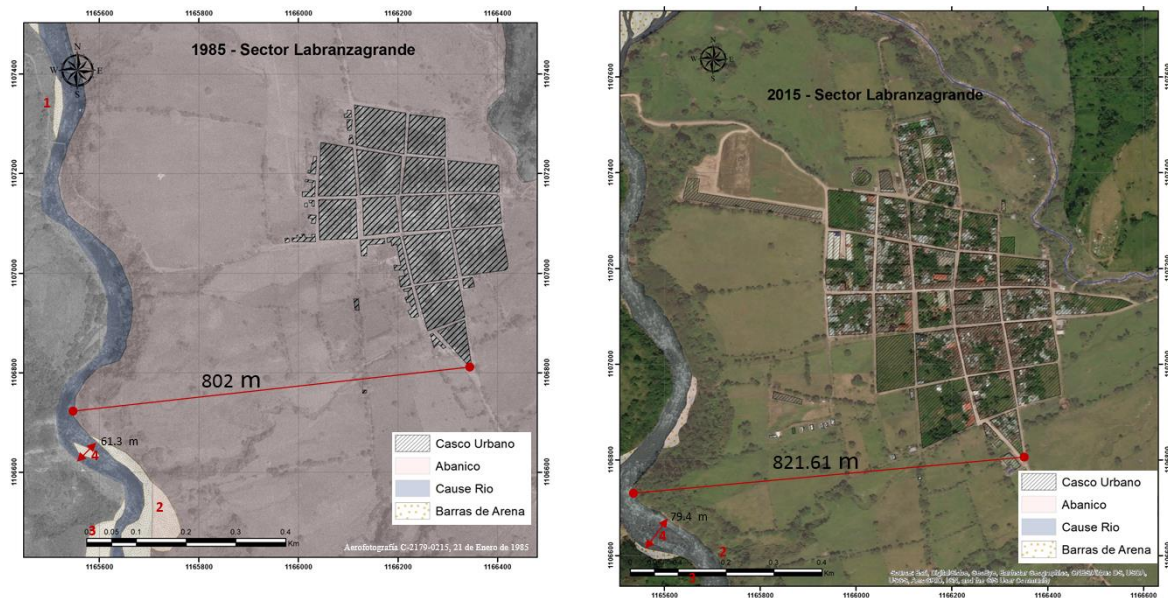
**Fuente.** Autor.

Para 1985 el cauce principal presenta numerosas barras, que frecuentemente ramifican el cauce principal en 2 o 3 brazos secundarios; con una continua dinámica fluvial sinusoidal, característica de ríos meandricos. Para el periodo de estudio 2015, el río presenta en su cauce una dinámica particular similar a la de 1985, en la cual se denota un aumento continuo en las barras de sedimentos que dividen el cauce principal en ramificaciones sinusoidales, que generan múltiples puntos de socavación y depositación de material de arrastre, producto de aumentos de caudal y normalización de la pendiente por procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos.

Al superponer las capas digitalizadas de los cauces estudiados, la dinámica del río Cravo sur en el sector Labranzagrande presenta una morfología de río meandrónico maduro, con pendiente regular, corrientes caudalosas, en el que predominan los procesos de erosión y acumulación horizontales, generando ensanchamiento de su cauce y aumento del volumen de material transportado, procesos que se ven reflejados en el aumento de la cantidad, forma, tamaño de las barras y los cambios de sinuosidad presentes desde 1985 al 2015; bajo estos cambios en la dinámica del cauce se observa que se ha manteniendo un proceso de continua evolución de río meandrónico a río trenzado.

#### 12.4.2.2 Mediciones

**Imagen 147.** Centro urbano de Labranzagrande, entre los años 1985 y 2015.

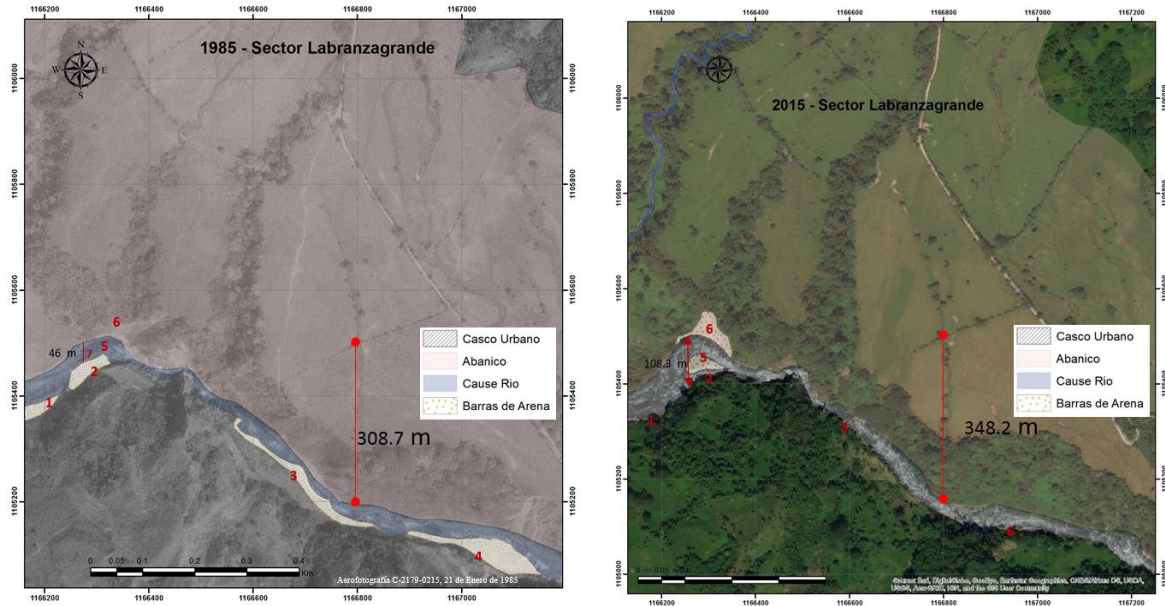


**Fuente.** Autor.

De izquierda a derecha se describe el comparativo de un sector de Labranzagrande para 1985 y 2015 respectivamente, en el que se puede observar el crecimiento y expansión del casco urbano, el cambio sinusoidal en la dinámica del río Cravo sur, en donde el cauce principal se ha retirado 19.61 m desde 1985 al 2015 del pueblo

respecto a la cuadra triangular inferior del mismo; como remoción total de las barras puntuales de arena 1, 2 y 3 presentes en el año 1985 y su desaparición al 2015, además la desaparición de la isla barrera en el punto 4; también se puede apreciar un ensanchamiento del cauce en el punto 4 de 18.1 m.

**Imagen 148.** Comparación del cauce del río, entre los años 1985 y 2015.



**Fuente.** Autor.

De izquierda a derecha se describe el comparativo de un sector de Labranzagrande para 1985 y 2015 respectivamente, en el que se puede observar un desplazamiento del cauce principal de 39.5 m desde 1985 al 2015, tomando como punto de referencia la intersección de cercas vivas presentes en ambos periodos, la erosión y transporte total de las barras puntuales de arena 1,2,3,4, la aparición de la isla barrera 5 y la barra de arena 6 y un incremento del ancho del cauce de 62.3 m en el punto 7.



### 13. CONCLUSIONES

- Se analizaron imágenes satelitales de Landsat 4, 5, 7 y 8 para los años 1985, 1990, 2001, 2010 y 2017, las cuales son un elemento fundamental al momento de proporcionar información actual e histórica de componentes ambientales. Dicha información se convierte en un insumo para establecer el diagnóstico de la situación actual de la cuenca hidrográfica al igual que para la planificación y el ordenamiento de la misma.
- Al realizar el pre-procesamiento de las imágenes satelitales mediante herramientas SIG en los softwares Idrisi Selva y Arcgis 10.2.2, se logró eliminar el ruido y omitir las distorsiones, preparando las imágenes para un mejor análisis visual y optimizando la calidad de la información obtenida a partir del procesamiento de estas.
- En general se observa que la cobertura que predomina a lo largo del tiempo es la vegetación herbácea con un porcentaje promedio del 31% del área total esto es producto de la ganadería extensiva que predomina en la cuenca, los bosques presentan una tendencia decreciente pasando de un 28% del área en 1985 a un 22% en el 2017, relacionado a la transformación de zonas de bosques en áreas agrícolas y de pastos, además de actividades económicas como la explotación forestal.
- Los tipos de erosión que se presentan en la zona de estudio son gravitacional, hídrica y antrópica, en general predomina una tendencia en aumento de este fenómeno a lo largo de los años analizados, esta tendencia está directamente relacionada a la escases de cobertura vegetal principalmente en zonas de ambiente glacial donde se existen rocas expuestas del paleógeno como las formaciones, Arcillas de Socha (Pgas) y algunas del cretácico como las formaciones Chipaque (Ksc), Fómeque (Kif),

Guaduas (KPgg), Plaeners (Ksgp). La pérdida de cobertura boscosa por la intervención antrópica ha intensificado la degradación del suelo, como se presenta en las márgenes fluviales del río Cravo Sur y de otros drenajes principales, favoreciendo la socavación y el transporte de sedimentos. El remodelado de la cuenca ha sido producto de la intensa erosión que ha modificado el relieve y los cauces de los drenajes, esto a futuro podrá tener como consecuencia el aumento de la susceptibilidad a presentar movimientos en masa principiante en las zonas de montaña y lomerío, mientras que en piedemonte prevalece la amenaza por flujos torrenciales por localizarse sobre un abanico en construcción.

- El comportamiento del cauce del río en el municipio de Yopal desde el año 1937 al 2017, presenta un distanciamiento del margen derecho en la parte superior del abanico disminuyendo el ancho, se redireccionó el cauce del río en una curva más aguda la cual al volver a encontrar el margen derecho presenta mayor dinámica y un importante caudal producto de la transición de la zona de montaña y el cambio de pendiente en la depresión que precede el piedemonte, el cambio en la dirección es consecuencia de la intervención de obras civiles de mitigación. En el municipio de labranzagrande se observa que el río presenta una dinámica particular similar en 1985 y en 2015, se denota un aumento continuo en las barras de arena que dividen el cauce principal en ramificaciones sinusoidales, que generan múltiples puntos de socavación y depositación de material de arrastre, producto de aumentos de caudal y normalización de la pendiente por procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos.



## 14. RECOMENDACIONES

- Priorizar el estudio detallado en los municipios de Yopal y Labranzagrande sobre los cambios de cobertura vegetal, intensidad de la erosión y su influencia en la variabilidad del cauce del río Cravo Sur, con el fin de evaluar la gestión del riesgo para los fenómenos de movimientos en masa y flujos torrenciales.
- Se recomienda integrar dicho informe en el POMCA de la cuenca del río Cravo Sur, además de ser utilizado como base para el ordenamiento territorial de los municipios que conforman la cuenca.
- Para realizar un análisis a mayor detalle se debe contar además de las imágenes satelitales; con datos en campo, datos estadísticos de densidad poblacional, censos ambientales, censos agrícolas, censos forestales, para determinar de manera más precisa, todas las coberturas existentes en la zona de estudio y asociarlas con las coberturas planteadas en la leyenda Corine Land Cover Colombia.
- Con el fin de aumentar la confiabilidad de la información obtenida en este estudio, se pueden utilizar imágenes de satélites que presenten mayor resolución espacial, además de realizar el análisis multitemporal en un intervalo más amplio de tiempo.

## 15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATENCIA VERGARA, V. A., CONTRERAS CHAVEZ, J. J., & VERGARA HERRERA, D. M. (2008). *ESTUDIO MULTITEMPORAL DE IMAGENES SATELITALES CON FINES DE DELIMITACIÓN DEL COMPLEJO BAJO SAN JORGE MARGEN IZQUIERDO (B13) Y DIAGNOSTICO DE ZONAS INTERVENIDAS ANTROPICAMENTE*. UNIVERSIDAD DE SUCRE, SINCELEJO.
- C. Ulloa M, E. Rodríguez M., & G. Renzi. (1976). *GEOLOGÍA DE LAS PLANCHA 171 DUITAMA, 191 TUNJA, 211 TAURAMENA Y 230 MONTERREY CUADRÁNGULOS J – 12 Y K – 13 ESCALA 1:100.000, BOLETÍN GEOLÓGICO VOLUMEN 24 N.º 2*. Bogotá.
- CONSULTORES, E. I. (2015). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR. CAPÍTULO 1 EVALUACIÓN DEL COMPONENTE CLIMÁTICO*. CORPORINOQUIA, UAESPNN Y CORPOBOYACÁ., Boyacá, Casanare. Obtenido de <http://www.corpoboyaca.gov.co/ventanilla/pomca-cravo-sur/>
- CONSULTORES, E. I. (2015). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR. CAPÍTULO 5 EVALUACIÓN DEL COMPONENTE GEOESFÉRICO DE LA CUENCA*. CORPORINOQUIA, UAESPNN Y CORPOBOYACÁ., Boyacá, Casanare. Obtenido de <http://www.corpoboyaca.gov.co/ventanilla/pomca-cravo-sur/>
- ESRI. (s.f.). *ArcMap*. Obtenido de <https://desktop.ArcGis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/performing-analysis/cell-size-and-resampling-in-analysis.htm>
- (1996). *Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones 1996*. Madrid: RIALP S.A.
- INGEOMINAS , & UIS. (2010). *GEOLOGÍA DEL PIEDEMONTES LLANERO EN LA CORDILLERA, MEMORIA. Acuerdo Específico N° 022 de 2008*. Bucaramanga.

- (2005). *Interpretación Visual de Imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en Levantamiento de Cobertura y Uso de la Tierra*. Santafé de Bogotá . Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (s.f.). SIAC. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/erosion>
- NAVIA, J. A., & RIVERA MORALES, L. E. (2016). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA ALTO RÍO CAUCA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT*. Trabajo de Grado, Universidad De Manizales, Manizales.
- ORDOÑEZ HOYOS, A. E., & SERNA CASTAÑO, J. P. (2015). *ANÁLISIS SUPERFICIAL Y MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+ Y LANDSAT 8 OLI TIRS EN EL PROYECTO CARBONÍFERO LA LUNA*. UNIVERSIDAD DE MANIZALES, MANIZALES.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2012). *PROPUESTA METODOLÓGICA SISTEMÁTICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS ANALÍTICOS APLICADOS A LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS*. Bogotá D. C.
- SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. (2013). *DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, VERSIÓN No. 2*. Bogotá D. C.,.
- Short, N. M. (1999). *Introduction Technical and Historical Perspectives of Remote Sensing, RST* . Código 935 NASA GSFC, GST , Academia de la Fuerza Aérea de EE. UU.
- Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003). *MEMORIA EXPLICATIVA Geología de la Plancha 172 Paz de Río, ESCALA 1:100.000*. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, INGEOMINAS, Bogotá D.C.
- ULLOA, C., RODRÍGUEZ, E., FUQUEN, J., & ACOSTA, J. (2001). *MEMORIA EXPLICATIVA Geología de la Plancha 192 Laguna de Tota, ESCALA 1:100.000*. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, INGEOMINAS, Bogotá.