

**GENERACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y USOS Y  
COBERTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE  
IMÁGENES SATELITALES, EN LA ZONA SUR DE LA CUENCA LLANOS, EN  
LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA. EN UN ÁREA DETERMINADA  
DENTRO LOS BLOQUES CAÑO SUR, CPO 16, 17 Y RIO ARIARI PARA LA  
EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES.**

**NELLY ITSAMAR SUAREZ GUERREO  
JOSE JAVIER REGALADO LOPEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**GENERACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y USOS Y  
COBERTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE  
IMÁGENES SATELITALES EN LA ZONA SUR DE LA CUENCA LLANOS, EN  
LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA. EN UN ÁREA DETERMINADA  
DENTRO LOS BLOQUES CAÑO SUR, CPO 16, 17 Y RIO ARIARI PARA LA  
EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES.**

**NELLY ITSAMAR SUAREZ GUERREO  
JOSE JAVIER REGALADO LOPEZ**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL  
TITULO DE GEOLOGO**

**DIRECTOR:  
LILIANA PLATA SARMIENTO  
GEOLOGA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Gracias a ti Dios por darme la sabiduría el entendimiento y la fuerza para llegar a una de mis metas más anheladas, por enseñarme que los obstáculos con tu ayuda son pruebas que día a día se van superando.*

***Gracias por darme la vida***

*Gracias a mis padres por creer en mí y dejarme volar, por su educación, apoyo supe crecer y aprender que los límites se los coloca uno. Este logro en mi vida el cual pertenece a ustedes por su tiempo, cariño y amor brindado cada instante.*

***Gracias por permitirme ser su hija***

*Gracias a de mis profesores que a lo largo de la carrera me brindaron sus conocimientos, se los reconozco por que aprendí cosas que a medida de mi ejercicio profesional serán colocadas en práctica.*

***Gracias por guiarme en mi meta.***

*Gracias a mi universidad por la oportunidad que me brindo en la etapa de mi formación académica y profesional, por las finas atenciones que tuvieron para conmigo, haciéndome sentir en casa.*

***Gracias por brindarme un segundo hogar***

***NELLY ITSAMAR SUAREZ GUERRERO***

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi padre, a su infinita sabiduría y en su memoria. Mi amor por ti se mantiene vivo y me llena de fuerzas para persistir en la lucha diaria de ser mejor persona y querer cada día ir más lejos.*

*A la más grande de las mujeres, trabajadora, inteligente, una incansable luchadora de todos los días y constructora de este proyecto de vida del cual más que yo, ella es absolutamente merecedora. Madre, mujer infinitamente virtuosa y motivo de mi más grande orgullo, para ti todo cuanto puedan hacer mis fuerzas motivadas por el profundo amor que te profeso.*

*A mis hermanitos, mi hermanita Gina, mis hermosos sobrinos. Por ustedes, gracias.*

*Amigos de siempre, hermanos y compañeros de alegrías más que nada. A la más grande y gloriosa de las universidades. Donde quiera que me encuentre en mi corazón anidará el fervor, la pasión, el tesón y el amor de ser siempre, siempre y para siempre... UIS.*

*Gracias a mis docentes.  
Gracias Santander y su Ciudad Bonita... Soy también Santandereano.*

**JOSE JAVIER RELADO LOPEZ**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	19
1. GENERALIDADES	20
1.1 LOCALIZACIÓN	20
1.2 HIDROGRAFÍA	21
2. METODOLOGÍA	24
2.1 OBJETIVO GENERAL	24
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO	24
2.3 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA	25
2.3.1 Adquisición, revisión y análisis de información bibliográfica	25
2.3.2 Adquisición de imágenes satelitales	25
2.3.3 Procesamiento de imágenes	26
2.3.4 Análisis e integración de la información	26
2.3.5 Conclusiones y productos	26
3. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATELITE	27
3.1 FUNDAMENTOS DE LA TELEDETECCION	27
3.2 PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA TELEDETECCION	29
3.3 ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES	31
3.4 LANDSAT	34
3.5 INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES	40
3.6 CRITERIOS VISUALES PARA INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES	40
3.7 TECNICAS QUE CORRIGEN LA IMAGEN	41

4. GEOLOGÍA	42
4.1 ESTRATIGRAFÍA	43
4.1.1 Serranía de la macarena	43
4.1.2 Planicie oriental	46
4.1.3 Interpretación litológica mediante los sensores remotos	47
4.1.3.1 Criterios de selección de bandas para aplicaciones litológicas	48
4.1.3.2 Clave de interpretación estratigráfica para cada unidad	49
4.1.3.2.1 Unidad Umd	49
4.1.3.2.2 Unidad Usc2	50
4.1.3.2.3 Unidad Usc1	51
4.1.3.2.4 Unidad Ua1	52
4.1.3.2.5 Unidad Ua2	53
4.1.3.2.6 Unidad Qal	54
4.1.3.2.7 Unidad Qpr	55
4.1.3.2.8 Unidad Qtz	57
4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	58
5. USOS Y COBERTURA SUELO	60
5.1 CLASIFICACIÓN MANUAL O DIRECTA.	60
5.1.1 Cultivos	60
5.1.2 Infraestructura, ciudades y/o centros poblacionales.	63
5.1.3 Cuerpos de agua (ríos, quebradas y lagos principales).	64
5.2 CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA SUPERVISADA (USO DE FIRMAS ESPECTRALES).	65
5.3 CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA.	67
5.3.1 Pastos naturales	67
5.3.2 Bosques de galerías	68
5.3.3 Herbazal arbolado	69
5.3.4 Suelo descubierto	69

6. GEOMORFOLOGÍA	71
6.1 DETERMINACIÓN DE PROCESOS, AMBIENTES Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICOS.	71
6.1.1 Ambientes morfoestructural y geoformas	71
6.1.1.1 Ambiente morfoestructural	71
6.1.1.2 Ambiente fluvial	73
6.1.1.3 Ambiente estructural fluvio-erosional.	77
6.1.2 Drenajes	80
6.1.2.1 Característica de canales principales	81
6.1.2.2 Estructura de la red de canales	85
7. CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	99

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1: localización geográfica de la zona de estudio en el departamento de Meta.	21
Figura 2: Esquema hidrográfico del área de estudio, 1 red de drenaje párelo, 2 red de drenaje dendrítico 3 canales meandricos y trenzados.	23
Figura 3. Componentes de un sistema de teledetección.	28
Figura 4: Sistema de teledetección pasiva.	30
Figura 5. Firma espectral de diversas características naturales de la superficie de la tierra	31
Figura 6: Misiones LANDSAT.	34
Figura 7: Bandas espectrales del sensor ETM+ de Landsat 7 y algunos de sus usos seleccionados de la información de las bandas.	38
Figura 8: Selección de bandas y su principal uso en la identificación de objetos y rasgos en la superficie terrestre.	39
Figura 9: Umd resaltada en color azul, roca metamórfica identificada por características fotogeológicas	50
Figura 10: Usc2 roca sedimentaria marcada de color azul, identificada por combinaciones de bandas.	51
Figura 11: Usc1 roca sedimentaria marcada por color azul, identificadas por fotointerpretación de bandas.	52
Figura 12: Ua1 roca sedimentaria delimitada por color azul, identificada por características fotogeológicas de las bandas.	53
Figura 13: Ua2 roca sedimentaria identificada en color azul, se observa el alto estrés de las plantas mostrado en landsat 5.	54
Figura 14: Qal cuaternario aluvial marcado por el color azul, identificado por la interpretación fotogeológicas de las combinación de bandas.	55

Figura 15: Qpz unidad sedimentaria de alta energía derivando de un aluvión en zona proximal	56
Figura 16: Qtz material sedimentario depositado en cause del rio Ariari, identificado como terrazas aluviales.	57
Figura 17: Se muestran los rasgos estructurales identificados mediante las características del relieve y la red de drenajes.	59
Figura 18. Imagen satelital Landsat8 en RGB-5.4.1. Departamento del Meta. Colombia.	61
Figura 19: Imagen satelital Landsat8 en RGB-5.4.1. Departamento del Meta. Colombia.	61
Figura 20: Imagen satelital Landsat8 en RGB-6.5.2. Departamento del Meta. Colombia.	62
Figura 21. Clasificación de cultivos. Imagen satelital Landsat_8. Escala: 1:500000.	63
Figura 22. Imagen Landsat_7 RGB-356. Ciudades y Carreteras. Escala 1:80.000	63
Figura 23: Imagen Landsat_7 RGB 6.4.2	64
Figura 24: Resalta en azul oscuros los Ríos y quebradas principales, en azul celeste los lagos. Escala 1:300000.	65
Figura 25: Imagen Landsat_5 RGB 4.3.2.	66
Figura 26: Imagen Landsat_5 RGB 4.3.2. En verde aceituna se resaltan el Herbazal arbolado inundable. Escala 1:500.000.	67
Figura 27: Resalta en amarillo las áreas cubiertas por pastos naturales. Escala 1:500000.	68
Figura 28: Resalta en rojo los bosques de galerías. Escala 1:200000	68
Figura 29: Resalta en naranja el herbazal de tierra firme arbolado presente en el área. Escala: 1:250.000	69
Figura 30: Resalta en fucsia los suelos sin cobertura. Escala 1:250.000	70

Figura 31: En rojo, la llanura suave ondulada caracterizada por pequeñas lomas, colinas y esteros, perteneciente a la unidad geomorfológica Altillanura (Llanos Orientales). Escala de la imagen: 1:600000.	73
Figura 32: En rojo las terrazas fluvio-aluviales.	75
Figura 33: En amarillo la llanura de inundación del cauce principal.	75
Figura 34: En azul el canal o cauce del río Ariari.	76
Figura 35: En verde Mezas y terrazas agradacionales de diferentes niveles.	76
Figura 36: En amarillo Abanico subcreciente.	77
Figura 37: En rojo Valle aluviales menores.	77
Figura 38: En amarillo Cresta estructural.	79
Figura 39: En verde Mesas, Cuestas y superficies onduladas.	79
Figura 40: En verde Mesas y montañas ramificadas.	80
Figura 41: Red de drenaje de la zona de estudio, se identifican la ubicación de los canales principales. Escala 1:750.000	81
Figura 42: Canales meandriformes en los ríos Güejar escala 1:80.000 (8) y (5) Manacacías escala 1:60.000.	82
Figura 43: Corrientes entrelazadas formadas en el Río Ariari, escala 1:100.000	84
Figura 44: Corrientes entrelazadas dentro de corrientes canales meandriformes por un cambio de dinámica fluvial. Escala 1:125.000	85
Figura 45: Red hidrográfica de la zona de estudio, marca las áreas donde se observan diferentes drenajes. Escala 1:750.000	86
Figura 46: Drenaje paralelo marcado por un control estructural de tipo regional o local. Escala 1:150.000	87
Figura 47: Drenaje dendrítico vertiendo al río Manacacías localizado en el NE de la zona de estudio. Escala 1:200.000	88
Figura 48: Drenaje subdendrítico vierte el río Güejar, se encuentra localizado en la parte SW de la zona de estudio. Escala 1:200.000	89
Figura 49: Drenaje retorcido, presenta un control estructural local. Escala 1:200.000	90

Figura 50: Se muestran en amarillo, las áreas de mayor estrés en la vegetación. Dentro del área de estudio.

93

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A: MAPA LITOLÓGICO	100
ANEXO B: MAPA DE USOS Y COBERTURA DEL SUELO	101
ANEXO C: MAPA GEOMORFOLÓGICO	102
ANEXO D: MAPA DE REDES HIDRICAS	103

## RESUMEN

**TITULO:** GENERACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y USOS Y COBERTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES EN LA ZONA SUR DE LA CUENCA LLANOS, EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA. EN UN ÁREA DETERMINADA DENTRO LOS BLOQUES CAÑO SUR, CPO 16, 17 Y RIO ARIARI PARA LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES\*.

**AUTORES:** SUAREZ GUERRERO, Nelly Itsamar  
REGALADO LÓPEZ, José Javier\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Geomorfología, mapas, usos, satélites, imágenes, landsat, litología, geofomas, drenajes, RGB, combinación, bandas, espectro, vegetación, cobertura, suelos, ríos, Llanos.

### DESCRIPCIÓN

La percepción remota como medio de observación eficaz a distancia ha significado un gigantesco avance para las ciencias de la tierra, numerosas disciplinas más y esencialmente en la prospección para la conservación, manejo Y/o aprovechamiento de los recursos naturales, aun desde el espacio. El análisis o puesta en marcha de diversos métodos para el procesamiento de imágenes satelitales por medio de computadoras, han modificado el estudio de la superficie terrestre y la manera de evaluar todo lo que ella a nivel de recursos puede ofrecer.

Este proyecto tiene como objetivo el procesamiento de imágenes satelitales para la generación de mapas temáticos dentro de un área específica, localizada en el departamento del Meta y que comprende el área abarcada por los bloques **CAÑO SUR, CPO 16, 17 Y RIO ARIARI**, en la cuenca de los Llanos Orientales de Colombia donde actualmente se lleva a cabo la exploración de hidrocarburos no convencionales.

La metodología dentro de la cual se centra la ejecución de la investigación fundamentalmente consistió en la selección de información básica, la obtención de imágenes satelitales y su posterior procesamiento para dar como resultado mapas geológico, geomorfológico, cobertura y usos del suelo, clasificación y características de la red de drenajes.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingeniería físicoquímicas, Escuela de Geología Directora Liliana Plata Sarmiento

## ABSTRACT

**TITLE** GENERATION OF GEOLOGICAL, GEOMORPHOLOGICAL AND USES AND COVERAGE LAND MAPS, THROUGH OF SATELLITE IMAGE PROCESSING IN THE SOUTH ZONE OF LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA BASIN, IN AN AREA DETERMINATED IN THE BLOCKS CAÑO SUR, CPO 16, 17 Y ARIARI RIVER FOR THE EXPLORATION OF UNCONVENTIONAL OIL\*.

**AUTHORS:** SUAREZ GUERRERO, Nelly Itsamar  
REGALADO LÓPEZ, José Javier\*\*

**KEYWORDS** Geomorphology, maps, uses, satellites, images, landsat, lithology, landforms, drainages, RGB, combination, bands, spectrum, vegetation, coverage, lands, river, llanos.

### DESCRIPTION

The remote perception as an effective tool to distance has meant a giant development for the earth's sciences, many disciplines more and essentially in the exploration for the conservation, management and use of natural resources, even from space. The analysis of different methods for the satellite image processing through computers have modified the terrestrial surface studies and the way of valuating everything that it can offer in resources.

This project is orientated for the satellite image processing for the creation of thematic maps inside of a specific area, located in meta department and involve an area covered by the blocks Caño Sur, CPO 16, 17 and Ariari River, in the Llanos Orientales de Colombia basin where nowadays occurs the exploration of unconventional oils.

The methodology used for the execution of the investigation mainly consisted in the selection of basic information, obtaining satellite images for further processing to produce geological, geomorphological, land coverage maps, classification and characteristics of the drainage network.

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of engineering Physical Chemical. School of Geology Director Liliana Plata Sarmiento

## INTRODUCCIÓN

Los mecanismos o técnicas que en la actualidad son aplicados para la obtención de imágenes de la superficie terrestre desde el espacio y sin generar un contacto con ella o cualquier objeto del cual se quiera obtener una fotografía; definen lo que conoce actualmente como percepción remota.

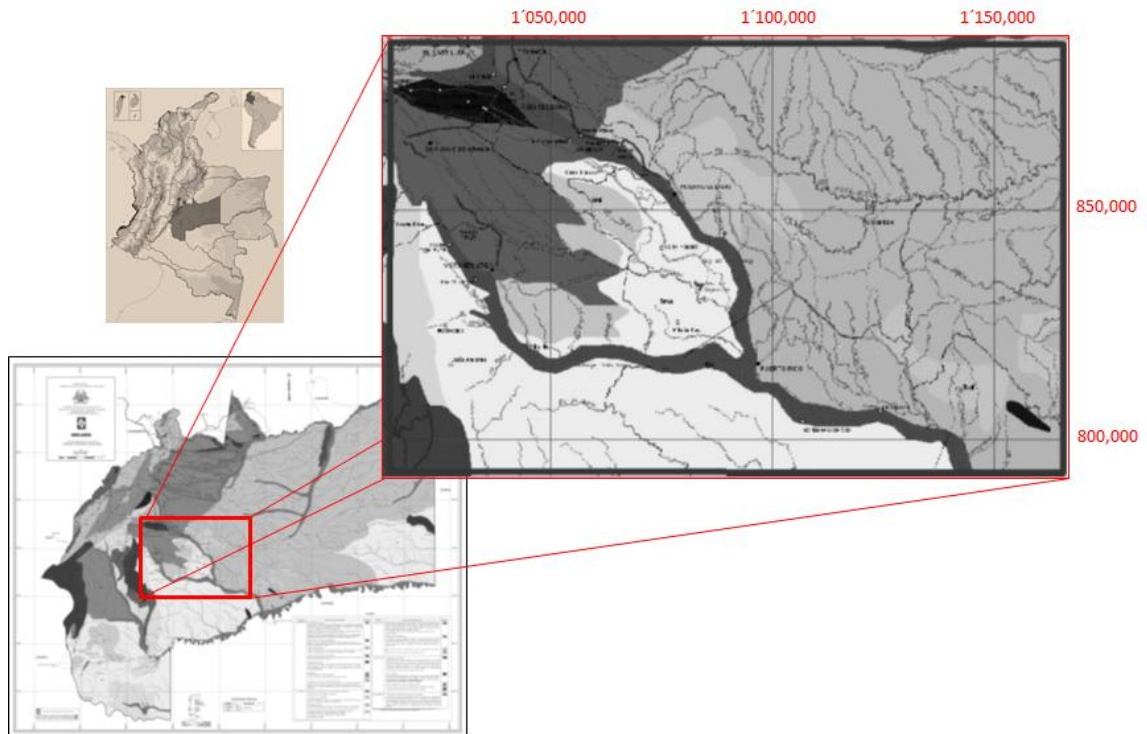
Los sensores remotos exploran secuencialmente y a diario la superficie planetaria, adquiriendo a intervalos regulares la radiación procedente de ella. Las imágenes satelitales constituyen dentro de esta investigación la más importante herramienta de trabajo para la caracterización e identificación de las unidades geológicas, coberturas y usos del suelo, lineamientos estructurales y/o fallas, unidades geomorfológicas y características de las redes de drenaje.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 LOCALIZACIÓN**

La Cuenca de los Llanos es una depresión desarrollada en el flanco occidental del Escudo de Guyana que se extiende hacia el Oriente de la Cordillera Oriental y se conoce geográficamente como la Orinoquía Colombiana. La conforman los departamentos de meta, Casanare, Vichada, Arauca y Guaviare. La zona de estudio corresponde al sur occidente de la cuenca de los llanos y en el departamento de meta en un área delimitada por los bloques caño sur, CPO 16, 17 y Rio Ariari (Figura 1). Algunas poblaciones cercanas son San Juan de Arama, Puerto rico, Vista Hermosa y Puerto lleras.

**Figura 1: localización geográfica de la zona de estudio en el departamento de Meta.**



Fuente: imagen tomada de la Plancha Meta propiedad de INGEOMINAS

## 1.2 HIDROGRAFÍA

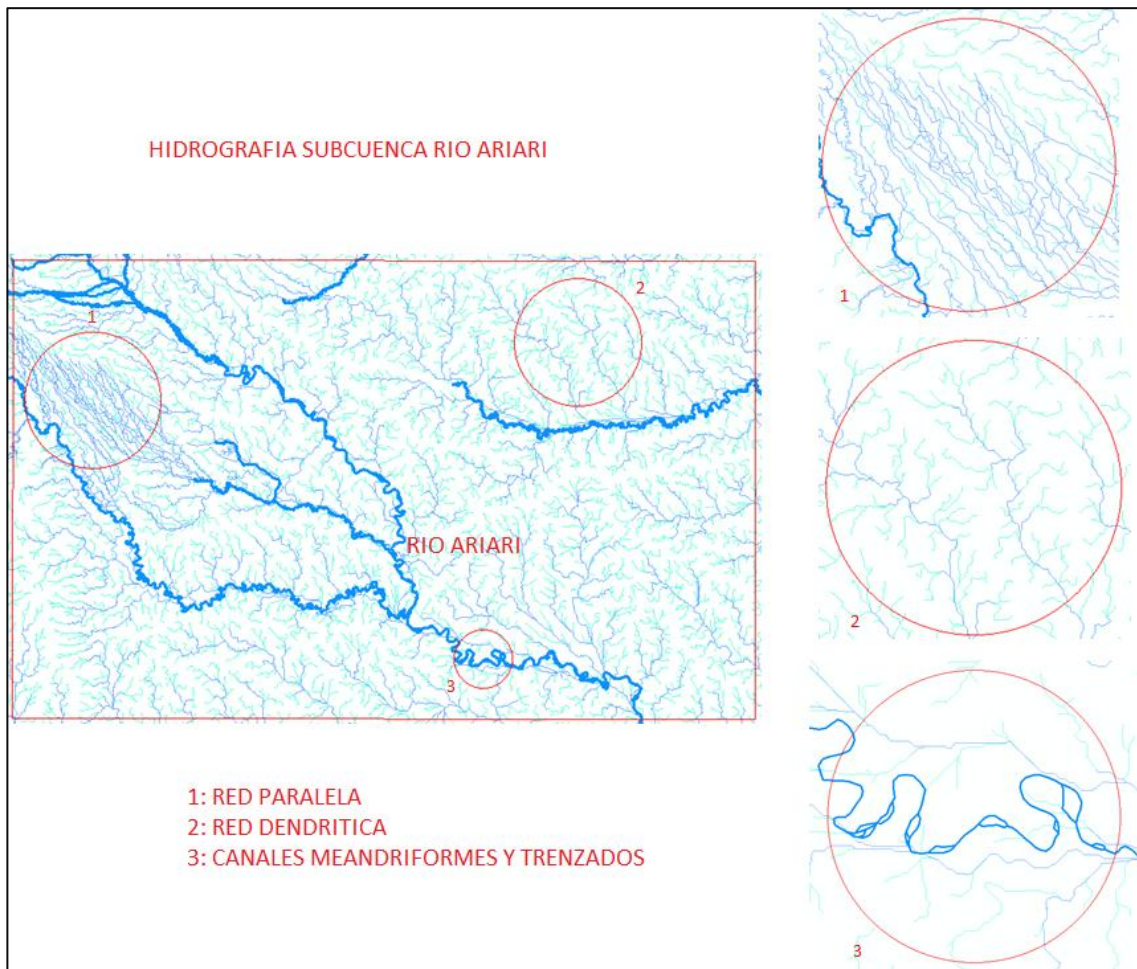
El sistema hidrográfico que irriga el departamento de meta pertenece regionalmente a la cuenca del Río Orinoco. La mayoría de sus corrientes hídricas nacen en las partes altas de la cordillera oriental y la Sierra de La Macarena y luego de recorrer la altillanura y la planicie, desembocan en el Río Orinoco; Hacia el centro del departamento se encuentran las subcuencas correspondientes al área de estudio el río Ariari, que drenan e irrigan la Sierra de La Macarena junto con el rio Güejar. (Modificado de la memoria explicativa: MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTODEL META 2001, propiedad de INGEOMINAS).

El río Ariari nace en la cordillera oriental presenta una longitud de cauce principal de 220m, cota de cauce principal 100m a 1250m, hace parte de la cuenca del río Guaviare conocida como la subcuenca de río Ariari la cual presenta un área de 11709,9Km<sup>2</sup>, longitud de cuenca 230Km a 260Km (Tomado de la plancha Cuenca hidrográfica Meta IGAC 2004). Esta subcuenca presenta una serie de sistemas secundario que dependen de la precipitación durante el año, razón por la cual existe un balance hídrico en épocas de verano regulando por una riqueza hídrica como Caño Iraca, Laguna de la Esquija, laguna de José María, Caño San Vicente, Caño Cunimía entre otros.

El sistema fluvial de la cuenca se caracteriza por ser torrencial y esporádico. Erosión, transporte y acumulación de material es el proceso vigente, intenso y dominante que se produce, el patrón de cauce del río principal presenta unas características de canales meandricos y trezados, la red de drenaje presente en cauces secundarios es de tipo dendrítico, paralelo e irregular (figura 2).

Por las características morfológicas que posee el área de estudio, el agua de escorrentía superficial generalmente corre por las vertientes de la cordillera en forma de riachuelos diseminados, una vez que las aguas abandonan la montaña su comportamiento cambia bruscamente distribuyéndose en canales anchos y de poca pendiente, que en época de verano intenso se secan casi por completo y en épocas de intenso invierno corren desordenadamente, desbordándose sobre grandes extensiones conformando un amplio sistema fluvial del área de estudio y del departamento del Meta . (Modificado de la memoria explicativa: MAPA GEOLÓGICO DEL DEPARTAMENTO DEL META 2001, propiedad de INGEOMINAS).

**Figura 2: Esquema hidrográfico del área de estudio, 1 red de drenaje párelo, 2 red de drenaje dendrítico 3 canales meandricos y trenzados.**



Fuente: Procesamiento de imágenes satelitales de área de estudio

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Aplicar los sensores remotos en la generación de mapas temáticos geológicos, geomorfológicos y usos del suelo por medio del procesamiento de imágenes satelitales en la zona sur de la cuenca llanos, en los llanos orientales de Colombia. En un área determinada dentro de los bloques caño sur, CPO 16, 17 y río Ariari. Para la exploración de hidrocarburos no convencionales.

### **2.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

- Generar un mapa de uso y cobertura del suelo del área determinada por los bloques en exploración.
- Generar un mapa geomorfológico a partir de la caracterización, análisis e identificación de geoformas en una escala de trabajo 1:250.000, a través del procesamiento de las imágenes satelitales
- Generación de mapa litológico y estructural del área, mediante el análisis y caracterización de las unidades litológicas presentes en el área del proyecto y determinadas por medios de las imágenes satelitales.
- Analizar e identificar las principales características de la red de drenaje en el área del proyecto.

## 2.3 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA

La metodología general empleada para el desarrollo del trabajo de investigación contempló varias fases, las cuales se describen a continuación teniendo en cuenta la naturaleza del proyecto:

**2.3.1 Adquisición, revisión y análisis de información bibliográfica** El desarrollo de esta fase se sujetó a la búsqueda, consulta Y análisis de todo el material bibliográfico relacionado directa e indirectamente con los fines del proyecto:

- **1:** Artículos de investigación, tesis y antecedentes de proyectos realizados en el área y fuera de ella que sirvieran como soporte a la ejecución del proyecto.
- **2:** Mapas geológicos a escala 1:500 000 (Mapa Geológico del Meta, plancha 5-14, plancha 306-Puerto Lleras) Y 1:400 000 (Mapa P.O.A. Sector Rio Güejar y Ariari). Propiedad de INGEOMINAS.

**2.3.2 Adquisición de imágenes satelitales** Los productos o imágenes satelitales adquiridas como material fundamental para el desarrollo del proyecto consistieron en la obtención de manera gratuita de imágenes LANDSAT mediante la descarga de la base de datos de la NASA y la compra de imágenes ASTER correspondientes al área de estudio. Las fotografías satelitales usadas se describen a continuación:

- **3:** Fotografías Y/o imágenes satelitales LANDSAT 7 (Año 2001 Sensor ETM+ Bandas 1,2,3,4,5,7), LANDSAT 8 (Año 2013 Sensor OLI Bandas 2,3,4,5,6,7) y LANDSAT 5 (Año 1988 Sensor TM Bandas 1,2,3,4,5,7) con una resolución de 30 metros. Fueron adquiridas de forma gratuita descargadas de la base de datos de la NASA.
- **4:** Imágenes ASTER.

**2.3.3 Procesamiento de imágenes** Una vez adquirida las imágenes satelitales, estas fueron georeferenciadas a partir de planchas topográficas y el mapa geológico del departamento del Meta, respecto a Bogotá, utilizando la proyección de Mercator.

Posterior a la georeferenciación, análisis, clasificación y/o selección de las imágenes a trabajar se realizó el procesamiento o interpretación mediante un sistema de información geográfica para la generación de mapas temáticos de Geología, Hidrología, Geomorfología y usos y cobertura del suelo.

**2.3.4 Análisis e integración de la información** Esta fase contempló el análisis y la integración de la información obtenida y/o de los productos una vez realizado el procesamiento de las imágenes satelitales. El proceso de llegar a conclusiones y compilar una serie de resultados producto de la interpretación para los fines del proyecto, se realizó casi que simultáneamente a la fase de procesamiento de las fotografías satelitales. Pues resulta imprescindible teniendo en cuenta la naturaleza del proyecto, ejecutar un análisis oportuno y al tiempo que se obtienen como resultado en este caso mapas que significaron la base para la elaboración de otros.

**2.3.5 Conclusiones y productos** Como instancia última y cierre formal del proyecto, se dio paso a la preparación del informe final que compila la descripción general, la metodología de trabajo, fundamentos teóricos, procesamiento, análisis, resultados y conclusiones de la investigación. En la redacción del material compilatorio se tuvo como parámetro fundamental el que sea de fácil interpretación, conciso y que sirva como base de apoyo para la ejecución de obras y estudios posteriores más detallados o relacionados ya sea directa o indirectamente.

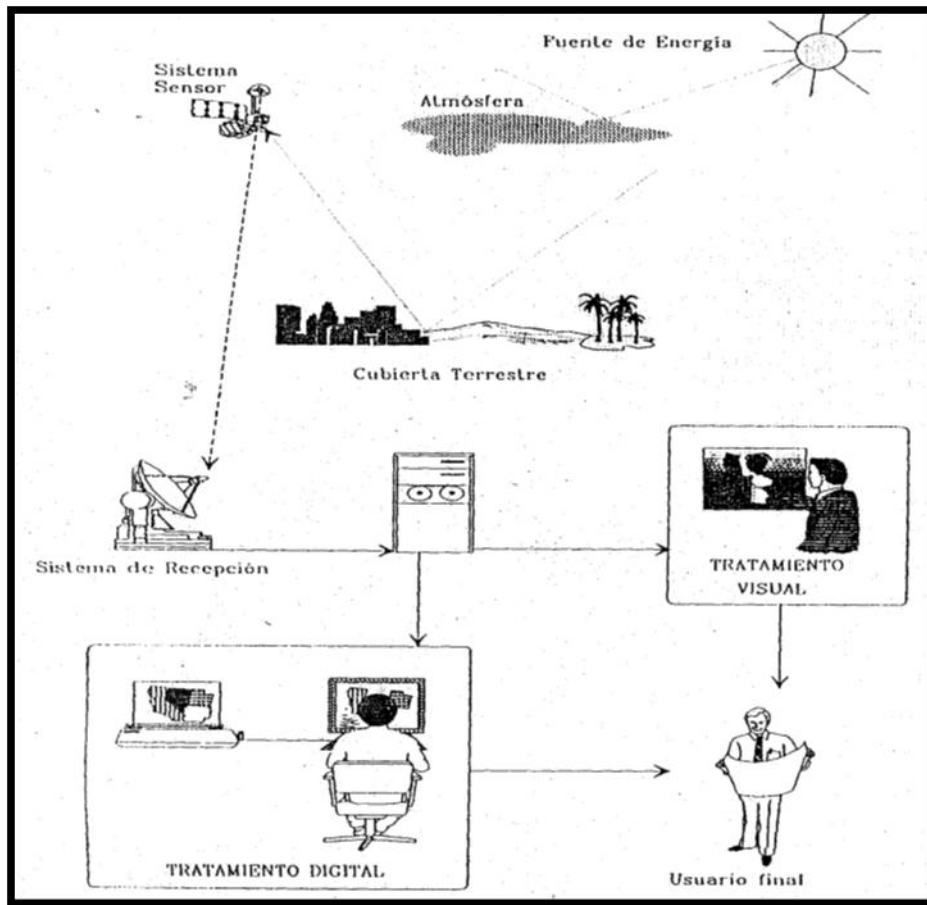
### **3. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATELITE**

#### **3.1 FUNDAMENTOS DE LA TELEDETECCION**

Los trabajos enmarcados en el uso de sensores remotos datan desde por lo menos 30 años en el mundo, y, desde que el uso de información satelital, se masifico a la comunidad que trabaja con tales herramientas, las posibilidades de mejoramiento en el análisis de fenómenos morfodinámicos, se han incrementado fuertemente y con cada nuevo aporte a esta rama del conocimiento, la calidad de la información generada también se ha optimizado considerablemente. (Vargas, 1997)

La observación mediante mecanismos o herramientas remotas constituye el marco de estudio de la teledetección, que no solo incluye los procesos mediante los cuales se obtienen las imágenes como producto de la percepción remota, sino también su posterior tratamiento, procesamiento Y/O análisis.

**Figura 3. Componentes de un sistema de teledetección.**



Fuente: Tomado de Chuvieco, 1990, p 26.

Un sistema de teledetección espacial incluye los siguientes elementos incluye, los siguientes elementos (Figura 3):

- I) Fuente de energía, que supone el flujo energético detectado por el sensor. Puede tratarse de un foco externo al sensor, en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por este (teledetección activa). La fuente de energía más importante, obviamente es la solar.
- II) Cubierta terrestre, formada por distintas masas de vegetación, suelos, aguas o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de (I), y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.

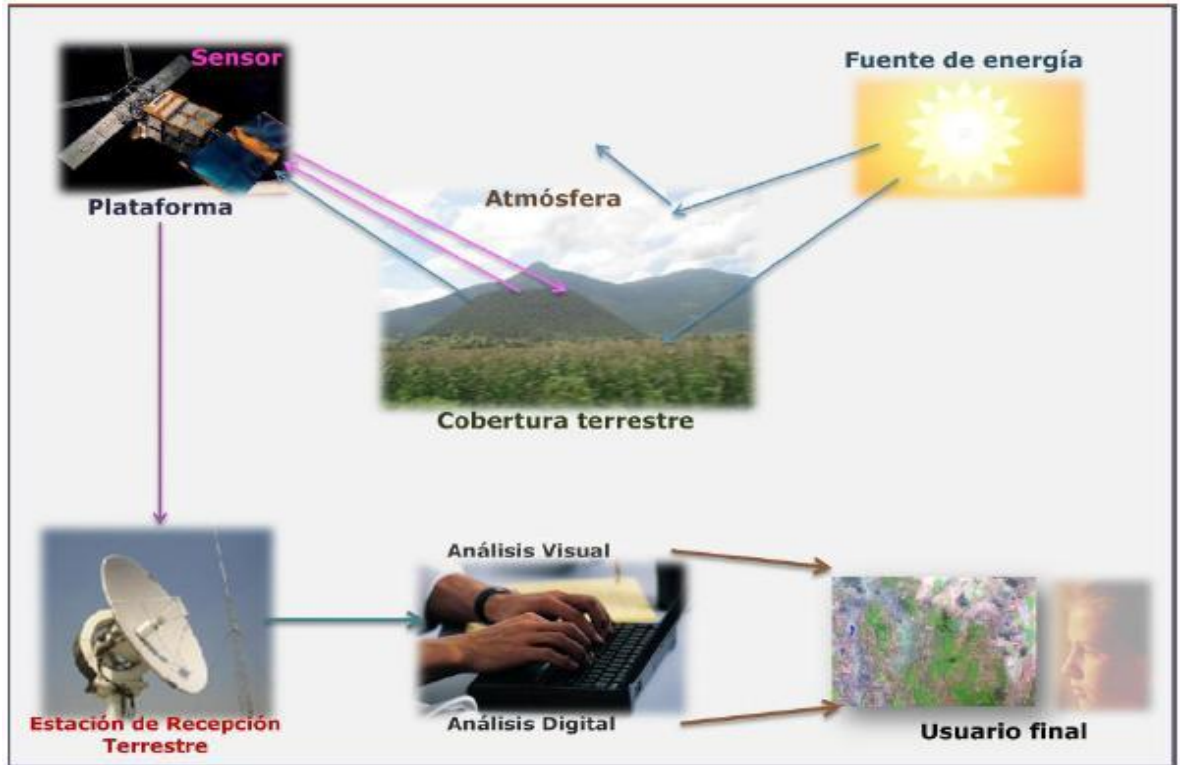
- III) Sistema sensor, compuesto por el sensor, propiamente dicho, y la plataforma que lo sustenta. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- IV) Sistema de recepción – comercialización, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras oportunas correcciones, se distribuye a los intérpretes.
- V) Intérprete, que analiza esa información –normalmente en forma de imágenes análogas o digitales-, convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa, orientada a facilitar la evaluación del problema en estudio.
- VI) Usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar, así como de dictaminar sobre las consecuencias que dé él se deriven. (Chauvieco, 1990, p 27,28).

### **3.2 PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA TELEDETECCION**

Para que la observación remota sea posible, es necesario que entre los objetos y el sensor exista una interacción, esta puede deberse a la reflexión, emisión y emisión – reflexión de ondas – electromagnéticas. Para el presente caso la respuesta captada por el sensor ubicado en la plataforma del satélite Landsat se debe a la reflexión de longitudes de onda procedentes de la interacción de la superficie terrestre con la luz solar, las ondas reflejadas son percibidas por el sensor y transmitidas posteriormente a las estaciones receptoras en tierra.

La respuesta generada en este caso debido a la interacción de la luz solar y la superficie terrestre componen un sistema de teledetección pasiva, pues, la fuente energética es externa. (Figura 4)

**Figura 4: Sistema de teledetección pasiva.**



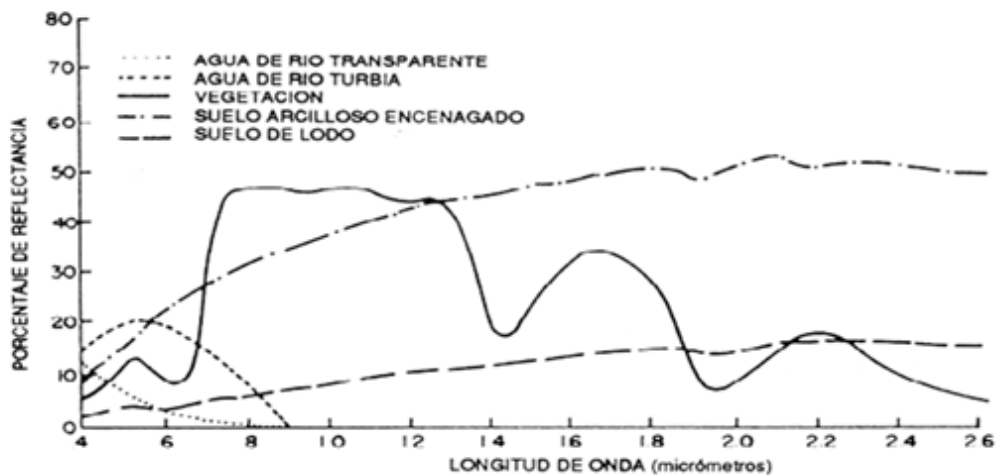
Fuente: Modificado de: <http://www.inegi.org.mx>

La proporción de ondas electromagnéticas reflejadas por la superficie terrestre dependen de las características de la superficie y de las longitudes de onda del flujo incidente. Por esto, es necesario conocer el comportamiento de las superficies en distintas longitudes de onda, para así poderlas distinguir. En el caso del espectro visible, el comportamiento diferente de los objetos a distintas longitudes de onda se manifiesta en lo que llamamos color: un objeto es azul, si refleja intensamente la energía de esa banda del espectro y poco en el resto. (Chuvienco, 1990)

El objeto localizado en la superficie terrestre y que se encuentra en el campo visual del sensor produce, por reflexión o emisión, la radiación electromagnética medida por el teleperceptor. La cantidad de energía transmitida o reflejada por el objeto al interactuar con la luz solar depende de la composición del objeto.

Todos los elementos u objetos sobre la superficie del planeta emiten y reflejan diferentes intensidades de REM de distintas partes del espectro generando así, una firma espectral específica que se puede predecir y repetir. Las firmas espectrales pueden variar en el objeto en la medida del tiempo y dependiendo de la naturaleza del mismo, por ejemplo las diversas etapas del crecimiento de una planta o la respuesta espectral del suelo en épocas de lluvia y/o verano. (Figura 5)

**Figura 5. Firma espectral de diversas características naturales de la superficie de la tierra**



Fuente: Sabins, 1978

### 3.3 ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

Los sensores remotos se pueden clasificar en dos tipos:

- **Sensores pasivos:** son aquellos que utilizan la energía reflejada del sol como fuente de energía. Por ejemplo los satélites Landsat y Spot. Dado que utilizan la luz solar y por tanto no útiles en la noche.

- Sensores activos: son aquellos que emplean una fuente de energía propia que emiten y perciben la radiación reflejada por la superficie terrestre. Por ejemplo el Radar.

Los sensores remotos exploran secuencialmente la superficie terrestre, adquiriendo la radiación que proviene de esta. El sensor detecta la radiación media de una parcela dentro de un terreno equivalente al tamaño de un pixel (unidad visual más pequeña). Cada pixel almacena un nivel digital (ND) entre 0 y 255, que representa la intensidad promedio característica de las diferentes coberturas. A partir de estos valores digitales se realiza el tratamiento digital para analizar las imágenes y obtener resultados, como mapas temáticos de usos del suelo, litología, etc. (Chuvieco, 1995)

Algunos satélites obtienen imágenes superficiales provenientes de radares. Los radares de generación de imágenes utilizan un sistema de iluminación activo, a diferencia de los sistemas pasivos de generación de imágenes ópticas, recién descritos, que se basan en la iluminación del sol. Este modo de operación confiere a los sistemas de radar la capacidad para generar imágenes a través de las nubes y durante la noche, lo cual constituye una ventaja clara con respecto a los sistemas que utilizan la luz natural.

Una antena instalada en un avión o en una nave espacial transmite la señal de radar. Denominado radar de antena lateral, este dispositivo contacta la superficie terrestre en forma oblicua y se dispersa. La misma antena recibe la señal reflejada, conocida como eco. La amplitud del eco se registra y, si se utiliza para el procesamiento de las señales de radares coherentes tales como el radar de apertura sintética (SAR), también se registra la fase del eco recibido.

La amplitud de la señal captada, dentro de cada pixel, representa la retro-dispersión del radar para esa zona del terreno, donde las áreas brillantes indican

una cantidad significativa de la energía del radar que se refleja, regresando a la antena. Esta energía reflejada depende de diversas condiciones del área objetivo, tales como sus propiedades eléctricas, el contenido de humedad y, quizás la más importante, la dimensión física de los puntos dispersores existentes en el área. Por lo general, la presencia de una retro-dispersión más brillante en la imagen indica una superficie más rugosa, mientras que las áreas oscuras representan superficies planas. Las imágenes de radar también pueden utilizarse para obtener la elevación superficial utilizando el radar SAR interferométrico. Uno de los métodos para obtener la elevación genera paralaje mediante la utilización de dos antenas independientes instaladas en la misma plataforma. La imagen estereoscópica resultante se utiliza para crear un modelo de elevación digital (DEM). Una fuente común de la vista paraláctica, utilizada para la interpretación topográfica, proviene de un transbordador espacial de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de EUA (NASA); misión llevada a cabo en el año 2000.

Las imágenes ASTER del satélite Terra, son una fuente para los modelos DEM. Dicho satélite posee dos cámaras VNIR que pueden disponerse de manera de obtener una imagen estereoscópica. El modelo DEM resultante posee una resolución vertical de 30 m y una resolución lateral de 15 m.

La sigla ASTER, en inglés, significa Radiómetro Espacial Avanzado de Emisión y Reflexión Térmica. Terra es el satélite insignia del Sistema Orbital Terrestre; una serie de naves espaciales de la NASA (Oilfield Review Primavera de 2009: 20, No. 4. 2009 Schlumberger).

### 3.4 LANDSAT

El programa denominado LANDSAT por la agencia espacial norteamericana (N.A.S.A) fue diseñado a finales de la década de los años 60 como el primero proyecto dedicado exclusivamente a la observación de los recursos naturales dentro del proyecto ERTS (Earth Resources Technology Satellites). El primer satélite de esta serie fue lanzado en julio de 1972 denominado ERSTS 1 que posteriormente fue llamado LANDSAT y luego lanzado LANDSAT 2 (Figura 6)

**Figura 6: Misiones LANDSAT.**

SATELITE	LANZAMIENTO (Fin operación)	SENSORES	RESOLUCIÓN Espacial (metros)	Altura Km	Resolución Temporal (días)
ERTS-1	23/07/1972 (05/01/1978)	RBV MSS	80 80	917	18
LANDSAT- 2	22/01/1975 (27/07/1983)	RBV MSS	80 80	917	18
LANDSAT- 3	05/03/1978 (07/09/1983)	RBV MSS	30 80	917	18
LANDSAT- 4	16/07/1982 (agosto de 1993)	MSS TM	80 30	705	16
LANDSAT- 5	01/03/1984 (en operación)	MSS TM	80 30	705	16
LANDSAT- 6	03/10/1993 (03/10/1993)	ETM	15 (Pan) 30 (MS)	705	16
LANDSAT- 7	15/04/1999 (en operación)	ETM+	15 (Pan) 30 (MS)	705	16

Fuente: Tomado de: Introducción a los sensores remotos, aplicación en geología- Daniel J. Pérez, 2001- U.B.A

El éxito del programa ERTS fue apenas el inicio de un vertiginoso desarrollo y una carrera científica desde el espacio mediante la implementación de los sensores

remotos para el estudio tanto del universo como de la tierra, significando un avance en tecnológico en muchas áreas del conocimiento científico.

Los primeros satélites LANDSAT incorporaron un equipo de barrido multiespectral denominado MSS, son instrumentos que registran la radiación solar reflejada a partir de la superficie terrestre, la cual es medida en cuatro bandas espectrales que van de 0.5 a 1.1 micrómetros (Visibles en infrarrojo cercano) en la región del espectro electromagnético. Los datos de radiación son registrados digitalmente, suministrando 64 niveles de gris, con una resolución espacial de 57m x 79m.

Los satélites LANDSAT posteriores eliminan las cámaras y la sustituyen por un nuevo explorador, denominado TM (Thematic Mapper) que proporciona mayor resolución espacial y espectral que el previo MSS.

El LANDSAT TM tiene una órbita casi polar repetitiva, sobre el ecuador con un ángulo de inclinación circular de 98.22 grados, con una altitud que varía de 696 km a 741 km. Cada orbita alrededor de la tierra dura 98.9 minutos (Chuvieco, 1995).

La generación de los satélites LANDSAT con mapeadores temáticos TM poseen tres bandas visibles, una infrarroja cercana y dos medianas con una resolución terrestre de 30 metros de tamaño de celda y una banda IR térmica con un tamaño de celda de 120 metros de resolución terrestre.

Posterior a la incorporación y mejoramiento del sensor TM, fueron incorporado mejores y sofisticados equipos con mucha mejor resolución y un más amplio uso dando lugar a una nueva generación de satélites Landsat.

Las pantallas de televisión y los monitores de las computadoras ofrecen al ojo humano una variedad impresionante de color, mediante la combinación de tres colores solamente: rojo, verde y azul (RGB). En base a la porción del espectro

correspondiente sólo a RGB, las personas comúnmente efectúan el tipo de discriminación que realiza la técnica de teledetección satelital. Tendemos a asociar el verde con la vegetación y el azul con el agua, y muchas rocas corresponden a sombras de habano y gris.

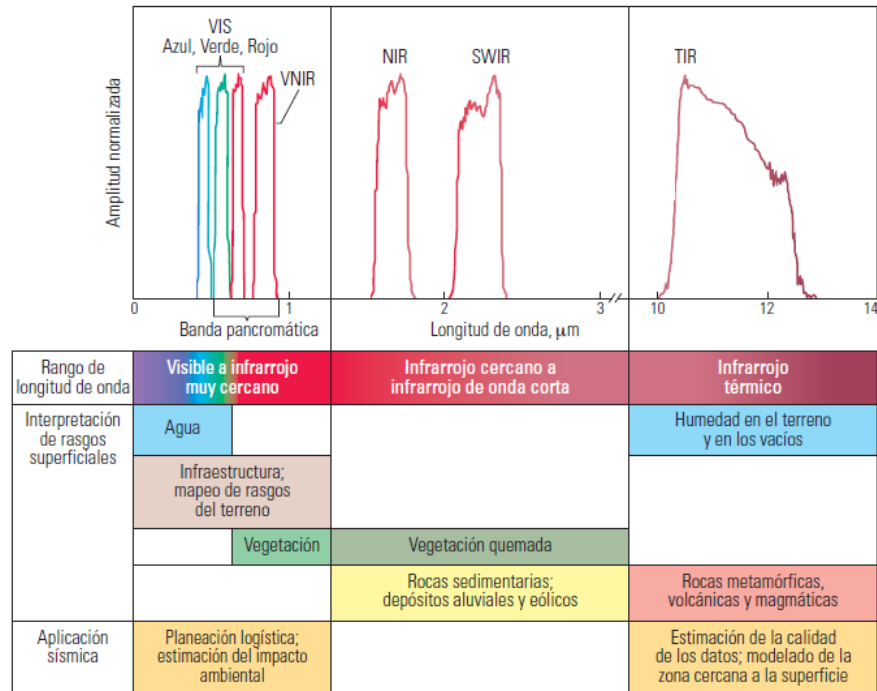
Algunos satélites captan la luz del sol, reflejada desde la superficie terrestre en estas tres bandas espectrales; la intensidad de cada banda dada como un valor de la escala de grises, puede ser asignada como valores de intensidad para cada color respectivo y recombinarse para generar una imagen a color familiar.

La mayor parte de los satélites de teledetección poseen sensores para las bandas adicionales de otras partes del espectro electromagnético; estas bandas agregan un rango de información más amplio. A modo de ejemplo, los sensores del satélite Landsat 7 captan los datos de intensidad de siete bandas espectrales, más una banda pancromática, o PAN. Las tres bandas del espectro visible (VIS) cubren aproximadamente los colores rojo, verde y azul. Una banda infrarroja muy cercana (VNIR) ayuda a diferenciar los distintos tipos de vegetación, mientras que otra banda del espectro infrarrojo cercano (NIR) es sensible al volumen de agua presente en las plantas, o turgencia.

La geología superficial se discrimina mediante la utilización de una banda infrarroja de onda corta (SWIR). Por otro lado, el sensor pancromático del satélite Landsat 7 cubre la mayor parte del espectro visible y algo del espectro VNIR. Posee mayor resolución que otras bandas, lo cual ayuda a ajustar las imágenes finales. Estos sensores (Para seis bandas espectrales más la banda pancromática) detectan la luz del sol reflejada desde la superficie terrestre. El último sensor del Landsat 7 detecta el calor irradiado en la banda infrarroja térmica (TIR), la cual posee una longitud de onda significativamente más larga que las otras bandas (Figura 7).

Las propiedades térmicas superficiales, derivadas de la banda TIR, distinguen la mineralogía. Muchas rocas y el alquitrán o bitumen que son de color negro en la banda visible y en la banda SWIR se diferencian por su respuesta en el rango TIR porque los minerales que componen las rocas irradian calor con diferentes intensidades. La respuesta TIR de los rasgos superficiales fríos, tales como el hielo y el agua, es baja. De un modo similar, el enfriamiento inducido por la evaporación en los lechos de los uadis, las fallas abiertas y los rasgos cársticos también se caracteriza por una respuesta TIR de baja energía. Otros satélites de teledetección perciben bandas diferentes; algunos poseen más bandas que el Landsat 7, y otros menos. Por consiguiente, la metodología específica aplicada para distinguir los rasgos superficiales de los rasgos cercanos a la superficie depende en cierta medida de las capacidades del satélite. El área incluida en una imagen y la resolución de la imagen también dependen de la fuente de los datos. Por ejemplo, el satélite Landsat 7 posee una ventana de visualización grande, de 185 km [115 mi] por 180 km [112 mi]. Su resolución en la banda térmica es de 60 m [197 pies]; en las bandas visible e infrarroja, es de 30 m [98 pies]. La mayor resolución proviene de una banda pancromática: 15 m [49 pies]. En el otro extremo, un satélite de alta resolución con un área de visión pequeña, el QuickBird, posee un ventana cuadrada de 16.5 km [10.3 mi] de lado y una resolución de 61 cm [2 pies], en su banda pancromática, y de 2.4 m [8 pies] en una banda infrarroja (Oilfield Review Primavera de 2009: 20, No. 4. 2009 Schlumberger).

**Figura 7: Bandas espectrales del sensor ETM+ de Landsat 7 y algunos de sus usos seleccionados de la información de las bandas.**

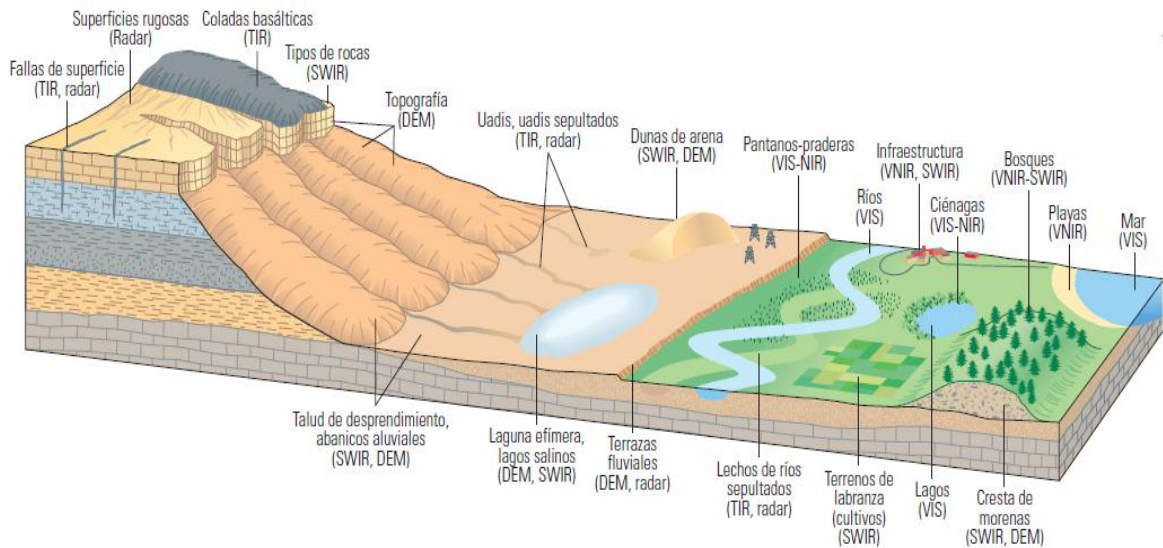


VIS-visible; VNIR-infrarrojo muy cercano; Pan-pancromática; NIR-infrarrojo cercano; SWIR-infrarrojo de onda corta; TIR-infrarrojo térmico

Fuente: Tomada de: Oilfield Review Primavera de 2009: 20, No. 4. 2009 Schlumberger, pag 41.

El conocimiento de los sensores, el uso y combinación de cada una de las bandas proporcionadas por estos dependiendo el tipo, proporcionan una herramienta avanzada indiscutible en la resolución de problemas a niveles prospectivos y en la identificación de rasgos geológicos mediante la combinación de métodos de teledetección. Cada banda está especializada en proporcionar una mejor resolución para la identificación de rasgos en la superficie terrestre (Figura 8).

**Figura 8: Selección de bandas y su principal uso en la identificación de objetos y rasgos en la superficie terrestre.**



Fuente: Oilfield Review Primavera de 2009: 20, No. 4. 2009 Schlumberger, pag 43.

Los sistemas de radar proporcionan imágenes a los satélites utilizando sistemas de iluminación activos los cual confiere a este sistema la posibilidad de generar imágenes durante la noche y a través de las nubes.

Una antena instalada en un avión o en una plataforma satelital o espacial transmite la señal del radar hacia la superficie terrestre en forma oblicua y dispersa. La misma antena receptiona la señal devuelta luego de la interacción con la superficie, esta señal conocida como ECO se registra, y se utiliza para el procesamiento de las señales de radares coherentes tales como el radar de apertura sintética (SAR), también se registra la fase del eco recibido.

### **3.5 INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES**

La información que captan los sensores remotos de la superficie terrestre aparece en las imágenes en variados tonos y texturas (Lilles y Kiefer, 1992). Por tanto, el geólogo al interpretar debe:

- Delinear, clasificar e identificar las características del paisaje expresados en la imagen.
- La interpretación preliminar debe estar acompañada en lo posible y teniendo en cuenta los fines del proyecto, de un análisis de los procesos geomorfológicos que moldean el relieve y de todos los procesos que llevan a la evolución de las características observadas en la imagen.

### **3.6 CRITERIOS VISUALES PARA INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES**

El tratamiento digital se basa casi exclusivamente sobre la intensidad radiométrica de cada pixel en las distintas bandas utilizadas, pero para la interpretación visual de imágenes se utilizan los siguientes criterios con el fin de determinar las características de los objetos y rasgos sobre la imagen. (Chuvienco, 1995)

- Tono de la imagen
- Textura
- Sombras
- Color
- Patrón espacial o arreglo de los objetos individuales dentro de la imagen.
- Situación espacial.

### **3.7 TECNICAS QUE CORRIGEN LA IMAGEN**

El tratamiento digital se basa casi exclusivamente sobre la intensidad radiométrica de cada pixel en las distintas bandas utilizadas, pero para la interpretación visual de imágenes se utilizan los siguientes criterios con el fin de determinar las características de los objetos y rasgos sobre la imagen. (Chuvieco, 1995)

- Tono de la imagen
- Textura
- Sombras
- Color
- Patrón espacial o arreglo de los objetos individuales dentro de la imagen.
- Situación espacial.

#### 4. GEOLOGÍA

La cuenca de los Llanos está limitada por el sistema de fallas de Guaicaramo al oeste y por el Escudo de Guyana al Este (COOPER et al. 1995). La geometría de la cuenca y las relaciones de traslape de los estratos del Cenozoico sobre las rocas más antiguas, indican que la cuenca de los Llanos constituye un sistema de antepaís adyacente a un Orógeno, que corresponde a la Cordillera Oriental. Las fases de deformación y la configuración de las cargas tectónicas a lo largo de la Cordillera Oriental han cambiado durante el Maastrichtiano (Cenozoico). (BAYONA et al. 2008). Los estratos del Maastrichtiano al Eoceno son registrados en la parte más occidental de la cuenca de los Llanos y en el piedemonte llanero (ver referencias en BAYONA et al. 2008).

Durante el Oligoceno y Mioceno, el relleno de la cuenca flexural y el levantamiento continuo de la Cordillera Oriental generó espacio de acomodación en la parte distal de la cuenca de antepaís, reactivación de fallas y la migración hacia el este del alto flexural (BAYONA et al. 2008). La migración hacia el este de la ondulación flexural generó las condiciones para la depositación de las areniscas cuarzosas basales, uno de los reservorios más importantes en el área. La parte proximal de la cuenca fue rellenada con areniscas fluvio-deltáicas y lodolitas de la Formación Carbonera, provenientes del oeste (Cordillera Oriental) y del este (Escudo de la Guyana). La reactivación de las fallas pre-Cenozoicas en la parte distal de la cuenca de antepaís, controló localmente la distribución de los ambientes de depósito y la arquitectura de los estratos de los depósitos continentales. Durante el Mioceno Medio un incremento abrupto en el espacio de acomodación controló la depositación de los estratos finogranulares de la Formación León. Análisis bioestratigráficos recientes en las cuencas de los Llanos y Amazonas han indicado

que la cuenca fue inundada por un sistema de aguas frescas con incursiones menores de aguas salobres. (Modificado de BAYONA et al. 2008).

#### **4.1 ESTRATIGRAFÍA**

En las zonas cercanas de la cordillera y de la serranía de La Macarena, los materiales se depositaron de tal manera que semejan grandes y extendidos abanicos recostados en la cordillera, terminados en terrenos largos en una serie de colinas, este tipo de ambiente característico fue llamado piedemonte y altillanura. El Escudo Guayanés (Precámbrico), conformo la base para soportar la acumulación de esta gran cantidad de sedimentos, los cuales rellenaron sus principales depresiones dando origen a la llanura. Estas geoformas hacen parte del departamento de Meta y principalmente del área de estudio donde se observan unidades estratigráficas de edad Precámbrico y Paleozoico datados en rocas metamórficas, edades del Devónico, Jurásico, Cretácico, Paleógeno y Neógeno datados en rocas sedimentarias (sedimentitas) y Cuaternarios o recientes datados por sedimentos no consolidados. (Modificado de la memoria explicativa: MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DEL META 2001, propiedad de INGEOMINAS).

En datos bibliográficos mostrados en el Mapa geológico del meta (escala 1:500.000) la zona de estudio está formado por seis unidades estratigráficas representadas de acuerdo con la división de las áreas fisiográficas: Serranía de La Macarena y Planicie Oriental. (Tomado del Mapa Geológico del Meta INGEOMINAS 2002).

**4.1.1 Serranía de la macarena** La Serranía de La Macarena es una posible extensión del Macizo de Garzón (memorias del Atlas geológico Digital de Colombia, 1997), constituye el límite sur oeste de la cuenca de los Llanos

Orientales y de acuerdo con los trabajos exploratorios de algunas compañías petroleras, está constituida estratigráficamente de más antiguo a más reciente por el basamento precámbrico o zócalo metamórfico, dentro del cual afloran unas ventanas de plutonitas constituidas por granitos similares al Granito de Parguaza o los de El Remanso o San Felipe (Bruneton, et al, 1982), la Serie Güejar de edad Cámbrico-Silúrico, la Formación Macarena del Cretácico Superior, la Formación Guayabero del Paleoceno, la Formación Losada del Eoceno Inferior y la Formación San Fernando del Oligoceno (Suárez, M., et al, 1984). (Modificado de la memoria explicativa: MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DEL META 2001, propiedad de INGEOMINAS).

- **Basamento Precámbrico (NPtg y MPtg):** El basamento cristalino Precámbrico está constituido por rocas ígneo-metamórficas que conforman el núcleo del bloque tectónico levantado, conocido como La Sierra de La Macarena. Por simple correlación estratigráfica con el basamento de otras zonas de la cuenca de los Llanos orientales, se considera que está constituido por rocas intrusivas graníticas tales como el Granito de Parguaza el cual presenta algunas facies Rapakivi, sienitas, pórfidos, diabasas o metamórficas de tipo neis y migmatitas tales como las que conforman el Complejo Migmatítico de Mitú.

Unidad (MPtg): Está compuesta por una secuencia bandeada de rocas metamórficas cuarzo feldespáticas, facies granulítica y anfibolita con intercalaciones máficas de edad Mesoproterozoico.

Unidad (NPtg): Constituidas por conglomerados areniscas y lutitas, afectados por un metamorfismo de bajo grado de edad Neoproterozoico.

- **Formación Macarena (Kisi):** Suprayaciendo también de manera discordante a la Serie Güejar se encuentra una sucesión de rocas sedimentarias

indiferenciadas cartográficamente, constituidas por una alternancia de estratos de arenitas masivas ocasionalmente calcáreas, intercaladas con arenitas lodosas glauconíticas, finamente estratificadas, con intercalaciones de conglomerados y shales carbonoso-micáceos, muy similares a los estratos que constituyen la Formación La Macarena. La información del subsuelo obtenida mediante perforaciones, reporta secuencias de areniscas, lutitas oscuras y localmente capas de calizas. Según Pérez y Bolívar (1985), la sedimentación de estas rocas estuvo controlada por un paleo-relieve originado después del Paleozoico Inferior. Se le ha asignado a la Formación Macarena una edad del Cretácico Superior (Santoniano-Campaniano-Maastrichtiano Inferior), Pérez y Bolívar (1985).

- **Formación Losada (Ngc):** Suprayaciendo la anterior secuencia se encuentra una alternancia de areniscas masivas, cuarzosas, blancas, conglomeráticas y de grano muy grueso a grueso, intercaladas con pequeños paquetes de arcillolitas grises, que Paba et al (1958) asocia con la formación Losada, la cual correlaciona con la Formación Areniscas del Limbo de la cordillera oriental, pero que la industria petrolera denomina erróneamente como Formación Mirador. Paba et al (op. Cit.), le asignan una edad del Eoceno Inferio a Medio, lo que podría significar que el contacto con la infrayacente Formación Guayabero es discordante, sin embargo estos autores lo anotan como un contacto concordante. A la Formación Losada le suprayace la Formación San Fernando en un contacto concordante, normal.
- **Unidad (Ksm):** Areniscas cuarzosas, lodolitas silíceas lutíticas y shales oscuros calcáreos localmente conglomerados, esta unidad es de origen marino de edad Cretácico superior. Tomado de la memoria explicativa: MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DEL META 2001, propiedad de INGEOMINAS y El Mapa Geológico del Meta (escala 1:500.000) INGEOMINAS.

**4.1.2 Planicie oriental** Corresponde a la zona plana donde se han venido acumulando los productos de los procesos denudativos que de manera incesante, han actuado sobre la cordillera oriental desde su emergencia como cadena montañosa u orógeno, hasta modelar su actual morfología y relieve. El gran levantamiento de la cordillera oriental durante el Cuaternario causó una tremenda erosión en ella, cuyos productos fueron transportados hacia los llanos y depositados allí formando los grandes depósitos del Pleistoceno y Reciente. Pero de igual manera la tectónica de fallamiento también se manifestó en los llanos produciendo hundimientos que afectaron extensas zonas. Esta puede ser una razón que nos permitiría explicar por qué al sur del Río Meta los materiales expuestos en superficie son más antiguos que al norte -amplia zona de hundimiento durante el Pleistoceno, que afecta igualmente a Casanare y Arauca- y que permite la exposición en superficie de materiales de formación más recientes (Cuaternarios) que al sur (Terciarios: Paleógenos y Neógenos). (Modificado de la memoria explicativa: MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DEL META 2001, propiedad de INGEOMINAS).

- **Neógeno indiferenciado (Ngc):** Consisten en sedimentitas de edad Mio-Plioceno, de claro origen continental, conformadas por areniscas con intercalaciones de arcillolitas, conglomerados y localmente calizas. La escasez de afloramientos ha impedido su descripción y clasificación estratigráfica más completa y detallada. Es de anotar que los mismos registros geofísicos no presentan diferencias importantes que permitan diferenciarlas en unidades.
- **Depósitos Cuaternarios (Qal, Qt):** Depósitos pobremente consolidados, correspondientes a abanicos aluviales, terrazas aluviales en varios niveles y aluviones recientes.

Depósitos aluviales (Qal): Durante el período Cuaternario-Reciente, los cauces de la mayoría de corrientes actuales han depositado espesos coluviones, al

pasar de la zona montañosa a la parte plana tanto en las llanuras aluviales o de inundación, como en los abanicos de las desembocaduras. Los mejores depósitos aluviales recientes están restringidos a los cauces de los ríos mayores. El retrabajamiento continuo de las orillas, producido por los constantes cambios entre aguas altas y bajas, ha producido las llanuras aluviales de desborde, los diques y los bancos, que se elevan unos pocos metros por encima del nivel de la llanura pero que producen gran dificultad al transporte en algunas épocas del año.

Depósitos de Ladera (Qt): Por acción de la gravedad y dadas las condiciones de topografía, morfología y denudación, ocurre con mucha frecuencia la caída y arrastre de bloques y masas de materiales hacia el piedemonte, los cuales en general se conocen como depósitos de ladera y están conformados por bloques angulares de gran tamaño mezclados desordenadamente con fragmentos de menor tamaño hasta finos, sin ninguna cohesión o cementación entre ellos, lo que genera una alta amenaza de deslizamiento. Dentro de esta clase de depósitos se encuentran los abanicos aluviales e incluso algunos flujos de lodo que normalmente se presentan en el piedemonte. Tomado de la memoria explicativa: MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DEL META 2001, propiedad de INGEOMINAS y El Mapa Geológico del Meta (escala 1:500.000) INGEOMINAS.

**4.1.3 Interpretación litológica mediante los sensores remotos** Las imágenes Landsat se componen de siete bandas diferentes, representando una porción diferente del espectro electromagnético. Con el fin de trabajar con combinaciones de bandas Landsat, compuestos RGB de tres bandas. Es necesario conocer las especificaciones de cada banda para así dar uso a ellas de acuerdo a sus características.

La identificación de unidades litológicas a partir de las imágenes ASTER y satelitales LANDSAT 7,5 y 8 se realizó teniendo en cuenta su geomorfología, el tipo de vegetación y la red hidrográfica. Mediante el procesamiento de las imágenes e interpretación se realizó la cartografía del área de estudio donde se obtuvieron ocho unidades litológicas nombradas aleatoriamente e identificadas por la composición de la banda 7 landsat 7, la combinación de bandas 7,4,2 RGB landsat 7 y las bandas 5,4,3 RGB landsat 5 que fueron seleccionadas por sus aplicaciones al estudio realizado. (VER ANEXO 1 MAPA GEOLOGICO)

#### **4.1.3.1 Criterios de selección de bandas para aplicaciones litológicas**

- **Banda 3 (Rojo):** Es usada para la discriminación de especies de plantas, la determinación de límites de suelos y delineaciones geológicas así como modelos culturales.
- **Banda 4 (Infrarrojo Reflectivo):** Determina la cantidad de biomasa presente en un área, enfatiza el contraste de zonas de agua-tierra, suelo-vegetación
- **Banda 5 (Infrarrojo Medio):** Es sensible a la cantidad de agua en las plantas. Usada en análisis de las mismas, tanto en época de sequía como cuando es saludable. También es una de las pocas bandas que pueden ser usadas para la discriminación de nubes, nieve y hielos.
- **Banda 7 (Infrarrojo medio):** Es importante para la discriminación de tipos de rocas y suelos, así como el contenido de humedad entresuelo y vegetación.
- **Combinación Bandas 7,4,2 (RGB):** Permite discriminar los tipos de rocas. Ayuda en la interpretación estructural de los complejos intrusivos asociados a los patrones volcano - tectónicos.

- **Combinación Bandas 5,4,3 (RGB):** Esta combinación contiene una banda de cada una de las tres regiones reflexivas espectrales importantes (infrarrojo de onda corta, infrarrojo cercano y visible). La vegetación verde aparece diferente con esta combinación de banda, y la infrarroja de onda corta pueden mostrar el stress de vegetación y mortalidad.<sup>1</sup>

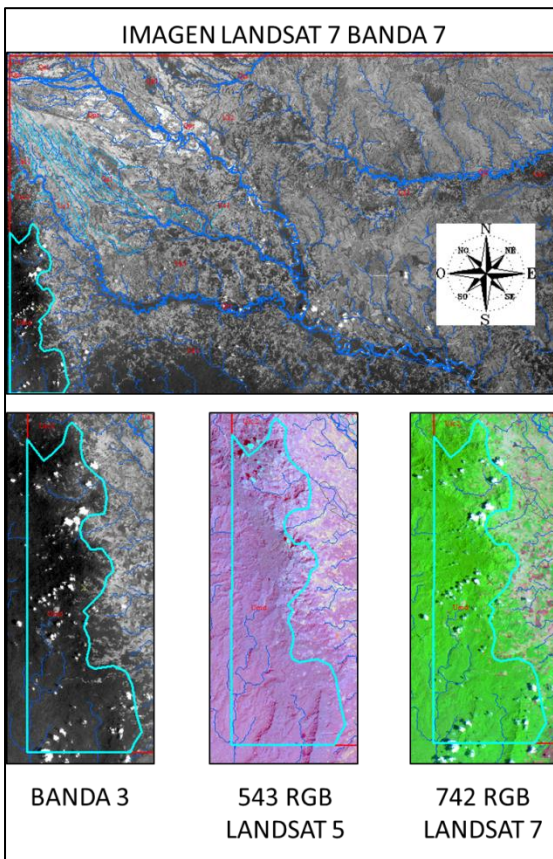
**4.1.3.2 Clave de interpretación estratigráfica para cada unidad** La identificación de cada unidad cuenta con criterios de interpretación fotogeológico como el tono, textura, sombra, drenaje y estructuras características de un tipo de roca. Todas las claves que se indican para identificar y separar diferentes litologías, no son absolutas, sino que son una aproximación generalizada, la cual siempre debe ser chequeada en el campo para asegurar su confiabilidad.

**4.1.3.2.1 Unidad Umd** Esta unidad corresponde a una secuencia de rocas metamórficas identificada teniendo en cuenta criterios fotogeológicos, presenta un color Gris oscuro, en su textura se observan un bandeo direccional SW-NE característico de este tipo de roca según criterios (543RGB). la geoforma en esta unidad son montañas ramificadas con un drenaje subdendritico controlado. Características mostradas (Figura 9).

---

<sup>1</sup> SCRIBD Combinacion Bandas TM-ETM [en línea] disponible en: <http://es.scribd.com/doc/86702331/4-Combinacion-Bandas-TM-ETM> [consultado el 23/07/14]

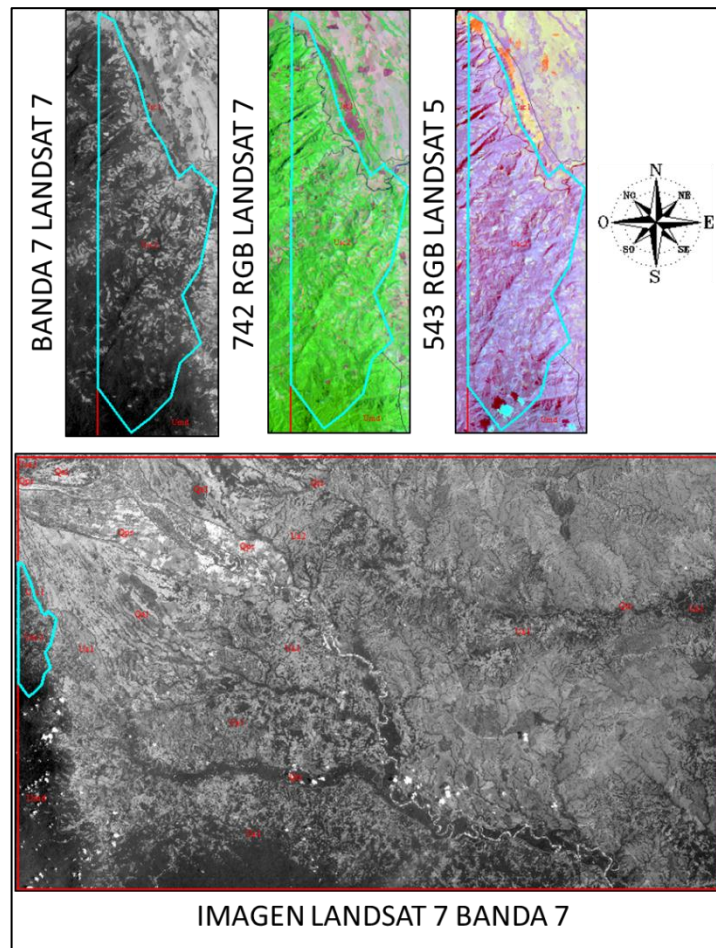
**Figura 9: Umd resaltada en color azul, la unidad de roca metamórfica identificada por características fotogeológicas**



Fuente: Imágenes tomadas de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**4.1.3.2.2 Unidad Usc2** Esta unidad corresponde a una roca sedimentaria, presenta un una variedad de texturas entre rugosa a fina y tonos entre grises claros a oscuros que evidencia una diferente composición de material sedimentario indicando posibles intercalaciones, el tipo de drenaje es subdendrítico en unas zonas a dendrítico en otras, se puede establecer que en el drenaje dendrítico está asociado a un tono oscuro y textura fina, el drenaje subparalelo a texturas rugosa y tono más claro. Podemos inferir que el tipo de roca presente de acuerdo las características de tono, textura y drenaje es una roca sedimentaria de grano fino a medio con intercalaciones composicionales que varían de sementó calcáreo, silíceo a ferruginoso. (Figura 10)

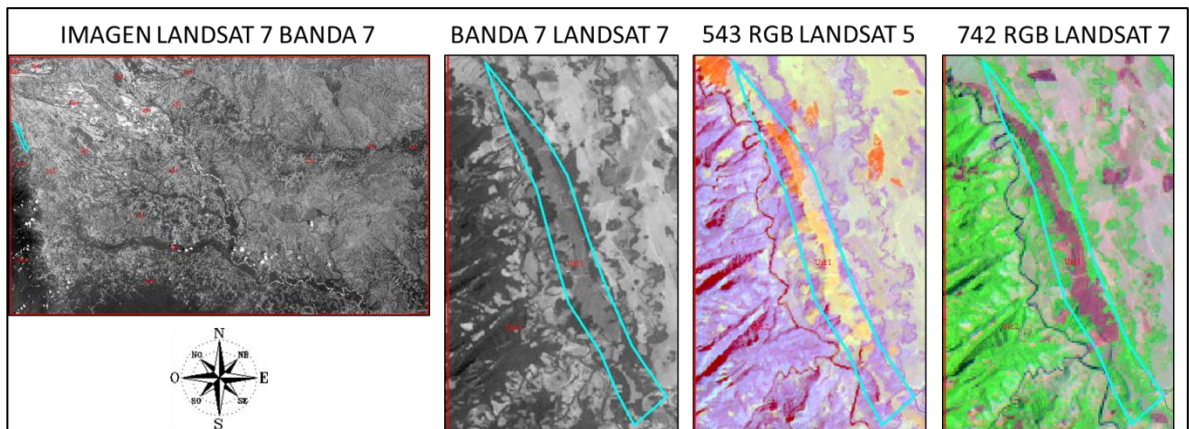
**Figura 10: Usc2 roca sedimentaria marcada de color azul, identificada por combinaciones de bandas.**



Fuente: Imágenes tomadas de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**4.1.3.2.3 Unidad Usc1** Es una unidad sedimentaria identificada por presentar una textura fina, tono gris claro, el patrón de drenaje es subparalelo con control estructural mostrado una geoforma, según estas características se puede inferir una roca sedimentaria de grano fino con cemento ferruginoso. (Figura 11)

**Figura 11: Usc1 roca sedimentaria marcada por color azul, identificadas por fotointerpretación de bandas.**

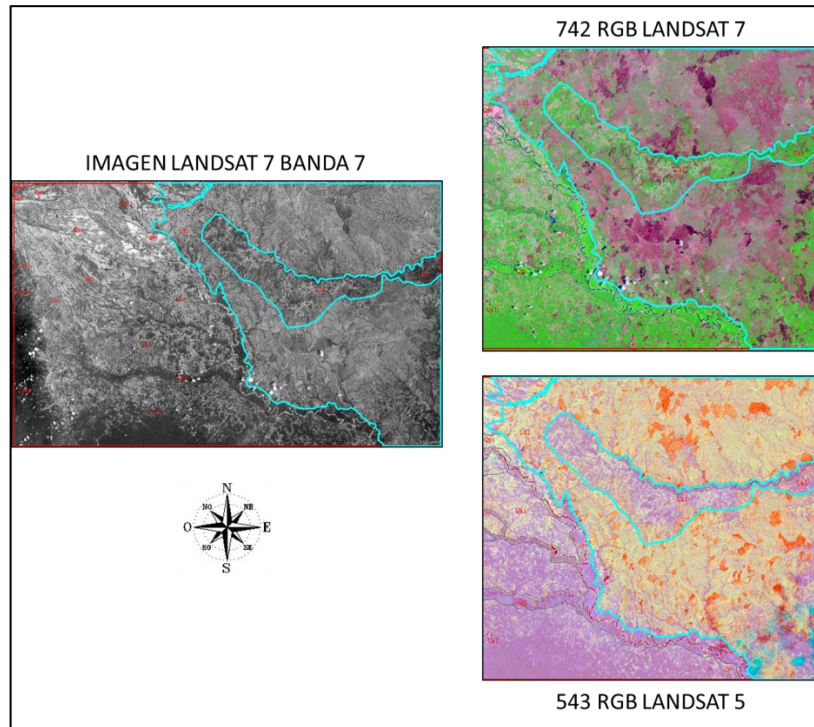


Fuente: Imágenes tomadas de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**4.1.3.2.4 Unidad Ua1** Esta unidad litológica identificada hacia la margen sur-oriental del Rio Ariari y bordeando el Rio Manacacías; está compuesta principalmente por roca sedimentaria de un tamaño de grano que varía de grueso a fino, predominando un tamaño de fino a medio. Las características observadas mediante el análisis de las imágenes muestran una textura fina a moderadamente granulosa suave, colores o tonos claros a moderadamente claros e intermedios, donde predomina un drenaje de tipo dendriforme y un relieve moderadamente suave con algunas colinas, antiguas cubetas de relleno y lagos colmatados producto de antiguos meandros abandonados indicando todo un proceso de depositación fluvial durante antiguos cursos del rio principal. Por lo cual, se infiere todo el tipo de material colivio-aluvial del cual se compone la unidad (Figura 12).

Composicionalmente predominan las arenas cuarzosas y las partículas de tamaño fino, como limos y arcillas.

**Figura 12: Ua1 roca sedimentaria delimitada por color azul, identificada por características fotogeológicas de las bandas.**



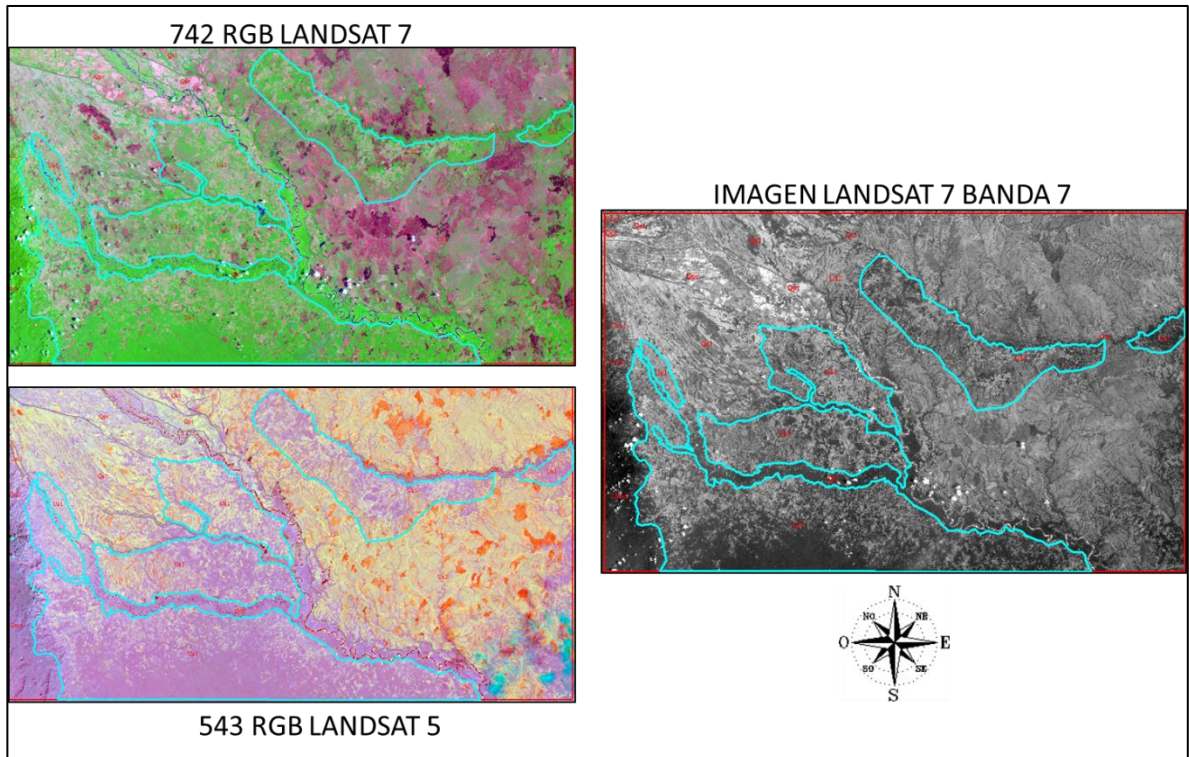
Fuente: Imágenes tomadas de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**4.1.3.2.5 Unidad Ua2** Composicionalmente esta unidad localizada hacia la margen Noreste del Rio Ariari, presenta similitudes con la unidad anterior. Pues, corresponde a roca sedimentaria de granulometría media a fina, predominando un tamaño de grano fino debido a los tonos de grises intermedios a moderadamente oscuros y oscuros, textura fina, moderadamente fina y relieve ondulado suaves de pequeñas colinas, diques no inundables donde se presenta un tono más claro y mayor tamaño de grano y zonas de esteros de morfología convexa suave e inundables donde se fija el sedimento principalmente fino (figura 13).

Composicionalmente predominan de acuerdo a las características observadas en la imagen en color real, material con alto contenido de sílice y cemento ferruginoso.

La principal diferencia y característica que hacen que esta unidad se identifique separada de la anterior es la porque presentar los mayores índices de estrés en la vegetación y poca cobertura vegetal en relación a dicha unidad.

**Figura 13: Ua2 roca sedimentaria identificada en color azul, se observa el alto estrés de las plantas mostrado en landsat 5.**

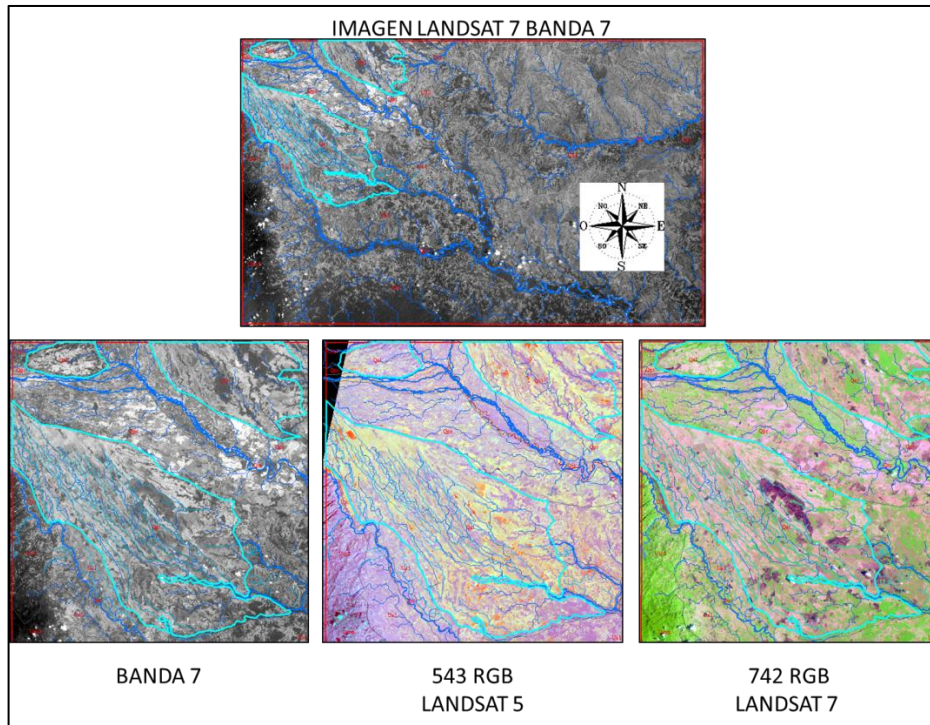


Fuente: Imágenes tomadas de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**4.1.3.2.6 Unidad Qal** Esta unidad corresponde a depósitos cuaternarios de tipo aluvial, según descripción fotogeológica presenta una textura rugosa a fina, su tono es gris intermedio a claro, el tipo de drenaje predominante es paralelo con control estructural, se puede inferir que el tipo de roca presente es material sedimentario por su tonos gris claro y su textura puede ser material de grano medio a conglomeráticos (figura 14).

Estos depósitos aluviales posiblemente están asociados a bancos de gravas y arenas redondeadas, limos y arcilla estratificados formados por la acumulación reciente del río ariari y quebradas del área.

**Figura 14: Qal cuaternario aluvial marcado por el color azul, identificado por la interpretación fotogeológica de las combinación de bandas.**



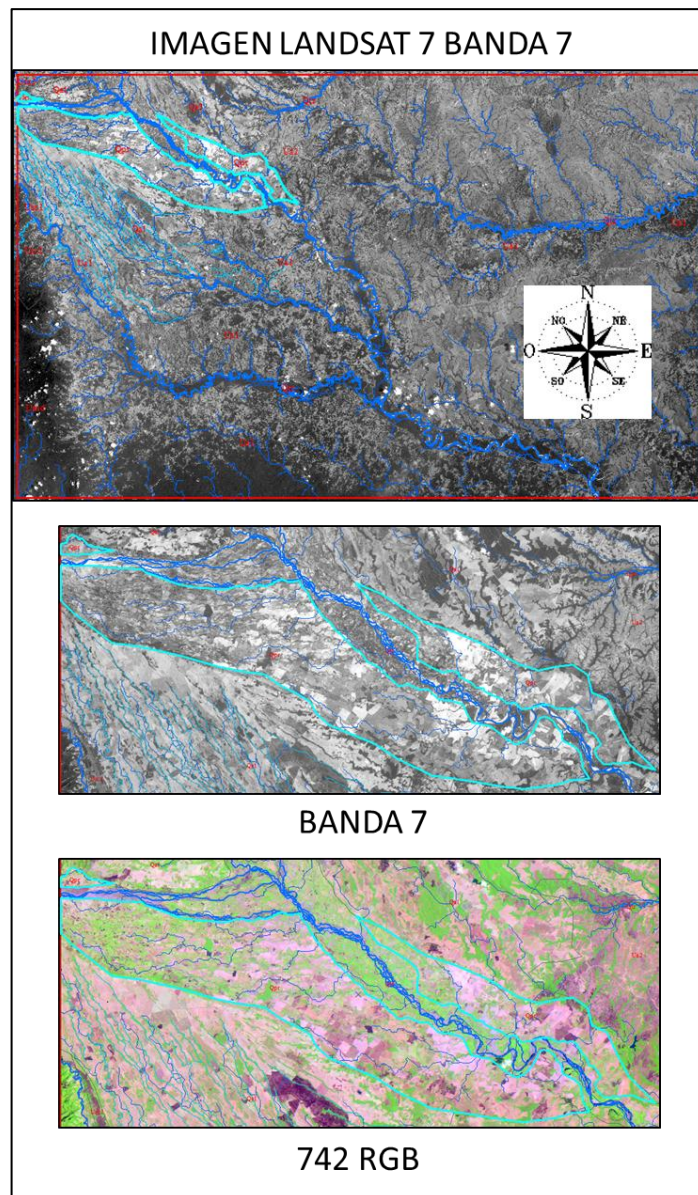
Fuente: Imágenes tomadas de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**4.1.3.2.7 Unidad Qpr** Unidad correspondiente a un cuaternario aluvión en zona proximal, según características de fotointerpretación se observa un tono gris claro a blanco, su textura es rugosa, el tipo de drenaje predominante en esta área es subdendritico, por las anteriores características se puede inferir que esta unidad presenta material sedimentario más gruesos (Figura 15).

Estos depósitos aluviales en zona proximal están asociados a conglomerados y arenas poco redondeados. Los sedimentos se caracterizan por ser conglomerados

gruesos, muestran una falta de imbricación y de estratificación, con una concentración de clastos gruesos. Ellos se interdigitan con los estratos horizontales de ortoconglomerados con cantos imbricados, depositados por las corrientes rápidas.

**Figura 15: Qpz unidad sedimentaria de alta energía derivando de un aluvión en zona proximal**

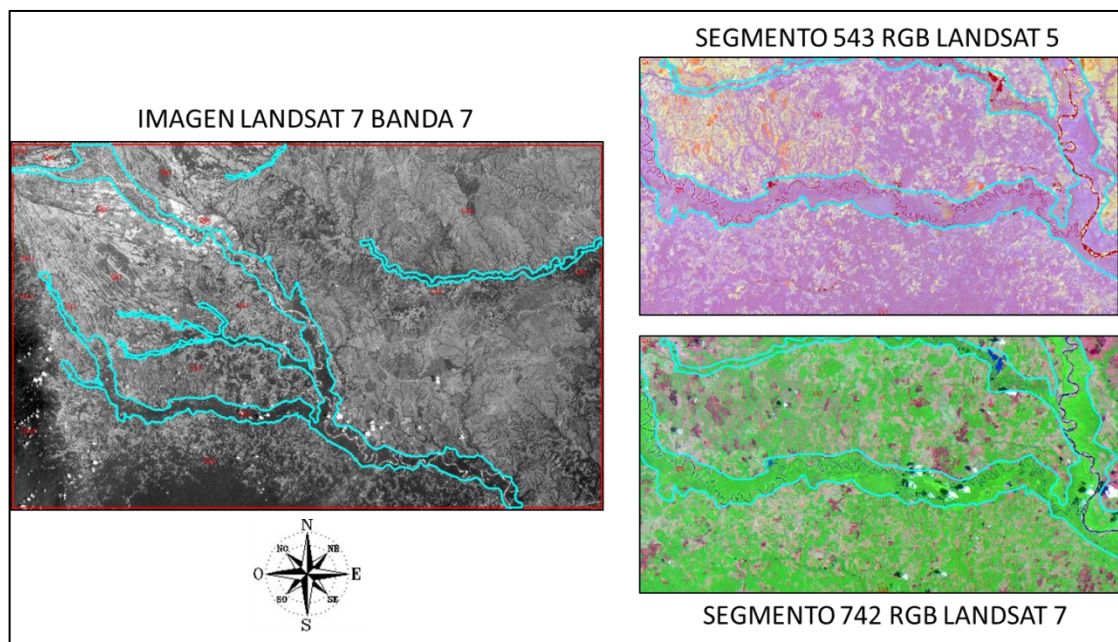


Fuente: Imágenes tomadas de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**4.1.3.2.8 Unidad Qtz** Esta unidad corresponde a todo el vértice del río Ariari, río Manacacías y otros canales principales donde son depósitos cuaternarios de terrazas aluviales resientes, esta unidad presenta un textura fina con tono gris oscuro , el tipo de drenaje predominante es entrecruzado el cual es característico de llanuras y terrazas. Se puede inferir que por el tipo de drenaje presente el materia es grueso y permeable, arenas gruesas transportadas durante crecidas y depositadas en el curso del río Ariari y de sus otros afluentes, la parte de caudal que no se infiltra a través de la arena puede distribuirse en causes que derivan entre barras arenosas como se observa en algunos sectores (figura 16).

Los terrenos con esta forma de drenaje pueden ser objeto de intensa explotación de arena y grava, así como fuente de importantes caudales de agua en pozos poco profundos

**Figura 16: Qtz material sedimentario depositado en cause del río Ariari, identificado como terrazas aluviales.**



Fuente: Imágenes tomadas de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

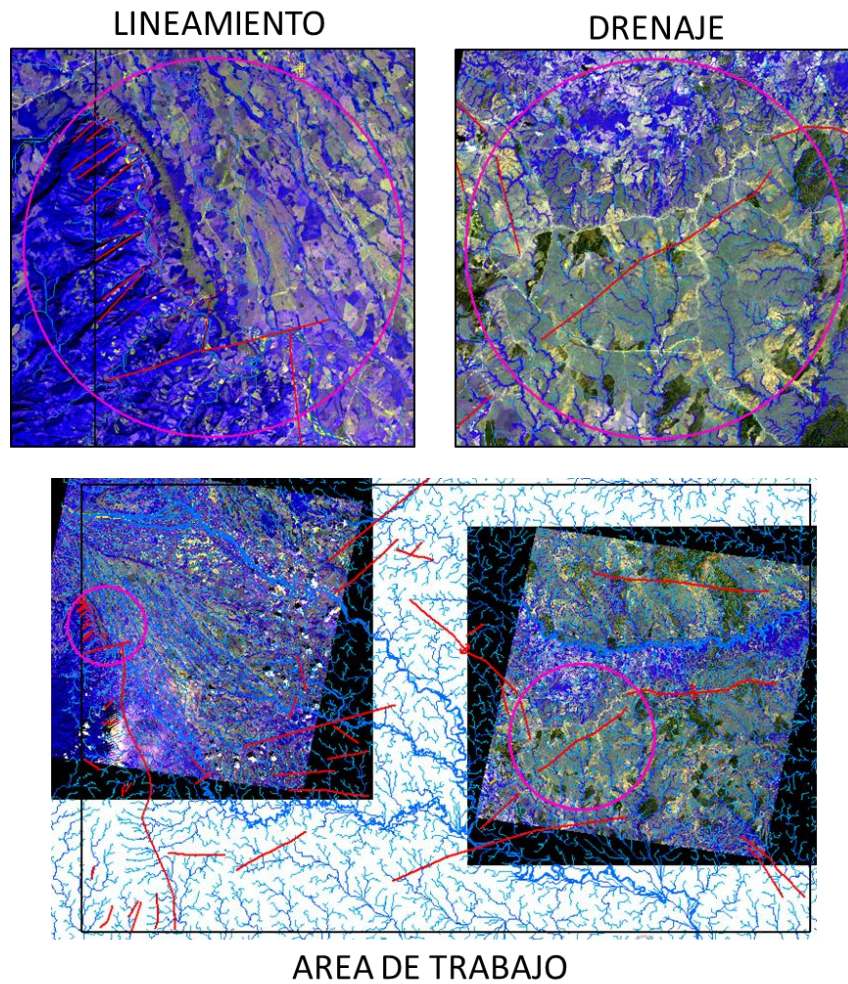
## 4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El Departamento del Meta participa de la tectónica regional del cinturón plegado u orógeno que conforma la cordillera oriental, en donde fuerzas de tipo compresional produjeron un tectonismo de plegamiento y cabalgamiento de antepaís, que originó la presencia de fallas normales, de rumbo, de cabalgamiento y reactivó otras antiguas; el desplazamiento de la cobertura sedimentaria a lo largo de estas fallas dio lugar a la formación de numerosos pliegues estrechos y alargados con una dirección sensiblemente SW-NE. (Modificado de la memoria explicativa: MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DEL META 2001, propiedad de INGEOMINAS).

Debido a todos los procesos de compresión y distensión que se dieron anteriormente hoy se encuentran evidencias de deformaciones observados mediante imágenes Áster satelitales tipo landsat 5,7 y 8 en la zona estudio como lineamientos, fallas y estructuras, marcadas por rasgos estructurales como facetas triangulares, drenajes alineados y rectilíneos, cambios de vegetación y litología (Figura 17).

En la interpretación de las imágenes mostradas se aprecia que la zona se encuentra afectada por una leve deformación tectónica y el tren estructural predominante sigue un dirección SW – NE, corroborando mediante el procesamiento de las imágenes estudios anteriores acerca de la dinámica estructural de zona. (VER ANEXO 1 MAPA GEOLOGICO).

**Figura 17: Se muestran los rasgos estructurales identificados mediante las características del relieve y la red de drenajes.**



Fuente: Imágenes Aster comparadas a la división de sistemas espaciales de teleobservación de la tierra de Japón (J-Spacesystems).

## 5. USOS Y COBERTURA SUELO

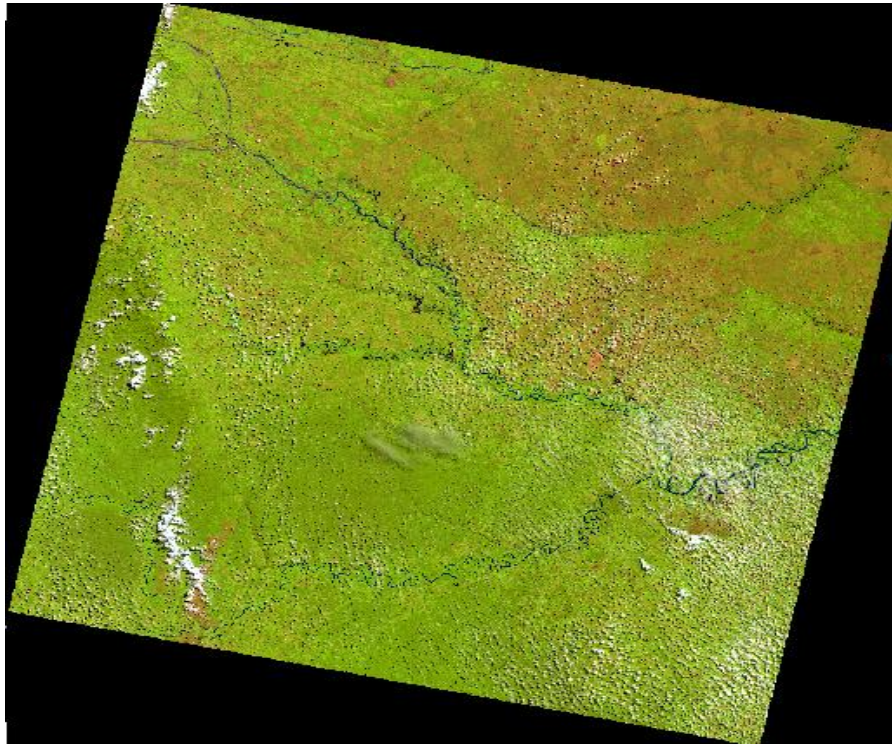
La identificación y/o clasificación para los diferentes usos y cobertura actual del suelo en el área del proyecto, permitió generar un mapa de coberturas mediante el procesamiento de las imágenes satelitales. Para la clasificación de usos se emplearon 3 métodos mediante herramientas de software y las características proporcionadas por la imagen resaltando diferentes aspectos mediante la combinación de las bandas y la selección de firmas espectrales.

### 5.1 CLASIFICACIÓN MANUAL O DIRECTA.

Para esta clasificación se emplearon las siguientes imágenes y se identificaron los siguientes usos o coberturas, mediante polígonos trazados directamente:

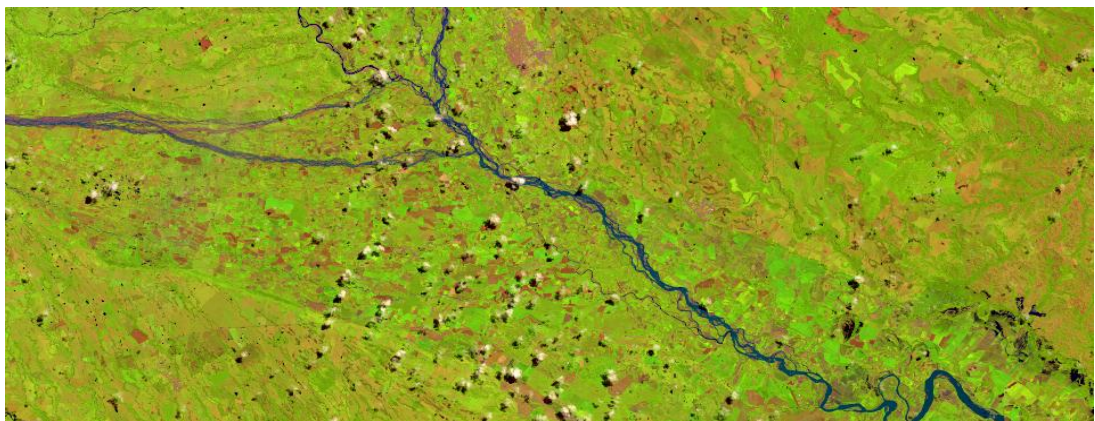
**5.1.1 Cultivos** Para la identificación de los cultivos se empleó una imagen Landsat\_8 y las combinaciones de bandas RGB-5.4.1 y RGB-6.5.2. (Figura 18, 19, 20).

**Figura 18. Imagen satelital Landsat8 en RGB-5.4.1. Departamento del Meta. Colombia.**



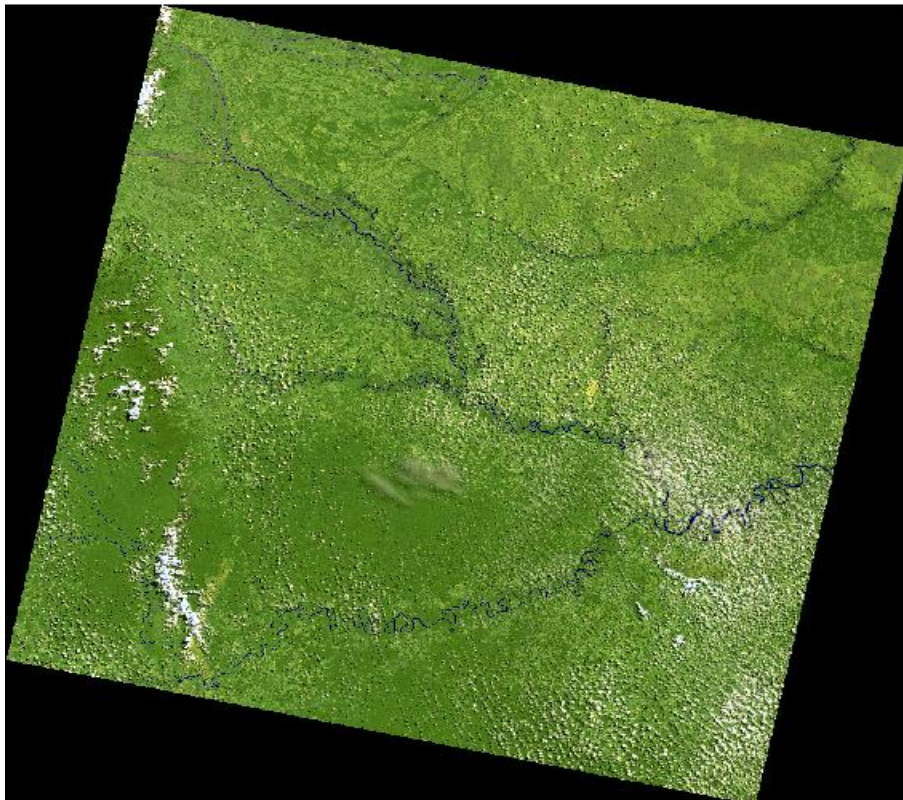
Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 19: Imagen satelital Landsat8 en RGB-5.4.1. Departamento del Meta. Colombia.**



Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 20: Imagen satelital Landsat8 en RGB-6.5.2. Departamento del Meta. Colombia.**

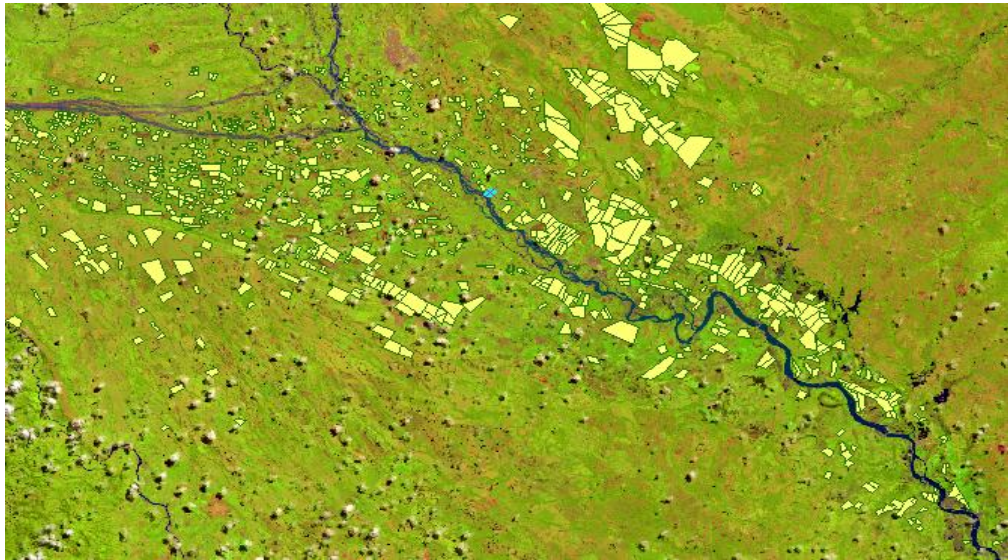


Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

Estas combinaciones de bandas usadas para la clasificación de plantaciones, no reflejan un patrón de color natural (falso color), por lo tanto se observa la vegetación u otras características resaltadas de colores como el amarillo o un verde claro. Las fotografías muestran características detectadas por las bandas infrarrojo reflectivo, medio y termal para la identificación de biomasa, plantaciones o incluso aquellas zonas donde se lleva a cabo el uso de insecticidas. Como

Resultado del análisis de las imágenes se identificó las zonas de cultivos localizadas al NO, centro y en las riveras del rio Ariari dentro del área del proyecto. (VER MAPA USOS DEL SUELO EN ANEXO 2). (Figura 21).

**Figura 21. Clasificación de cultivos. Imagen satelital Landsat\_8. Escala: 1:500000.**



Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**5.1.2 Infraestructura, ciudades y/o centros poblacionales.** Para esta clasificación se usó una imagen Landsat\_7 usando una combinación RGB-3.5.6 y color verdadero, identificando ciudades y carreteras principales y secundarias principalmente. (Figura 22).

**Figura 22. Imagen Landsat\_7 RGB-356. Ciudades y Carreteras. Escala 1:80.000**

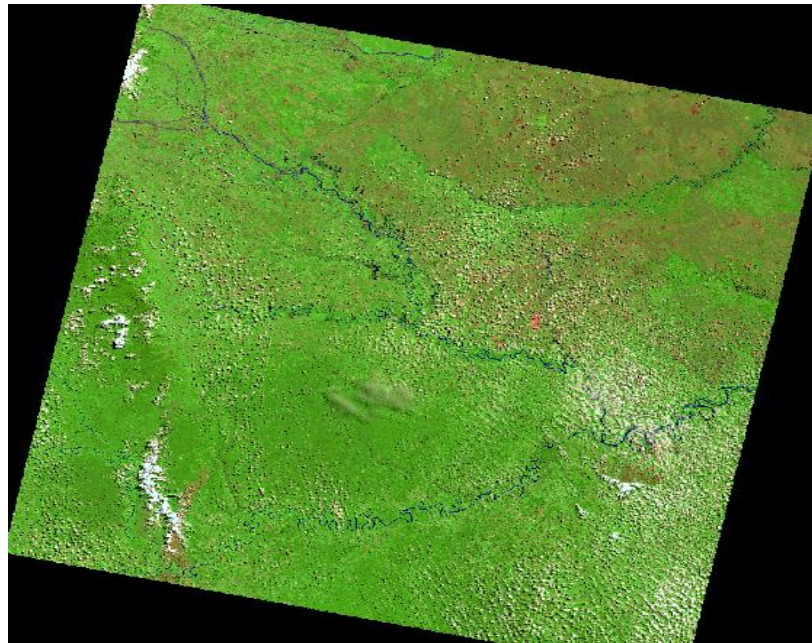


Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

Luego del análisis se identificaron 13 asentamientos poblacionales de los cuales los principales corresponden a las ciudades de Vista hermosa, Puerto Lleras, Granada, San Juan de Arama y Puerto Rico en el Departamento del Meta. (Ver mapa usos del suelo. Anexo 2).

**5.1.3 Cuerpos de agua (ríos, quebradas y lagos principales).** Para esta clasificación se utilizó una imagen Landsat\_7 RGB 6.4.2. Resaltando los cuerpos de agua mediante el uso de la banda cuatro para discriminar ecosistemas acuáticos. (Figura 23).

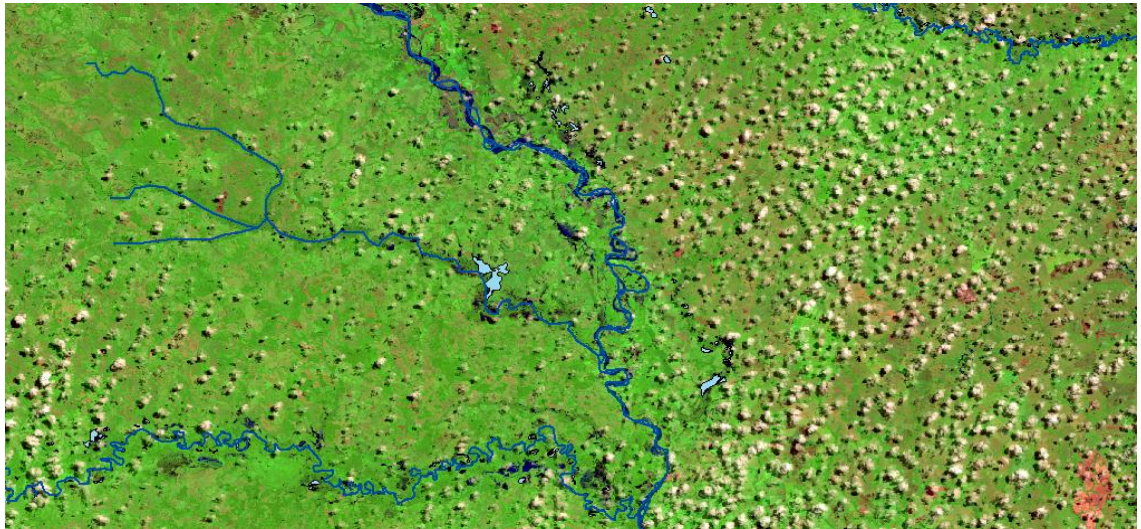
**Figura 23: Imagen Landsat\_7 RGB 6.4.2**



Fuente: Descargada de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

Los ríos principales identificación dentro del área del proyecto y trazados usando mediante poli-líneas; corresponden al Ríos Ariari, Manacacías y la quebrada La Cobra (Figura 24).

**Figura 24: Resalta en azul oscuros los Ríos y quebradas principales, en azul celeste los lagos. Escala 1:300000.**

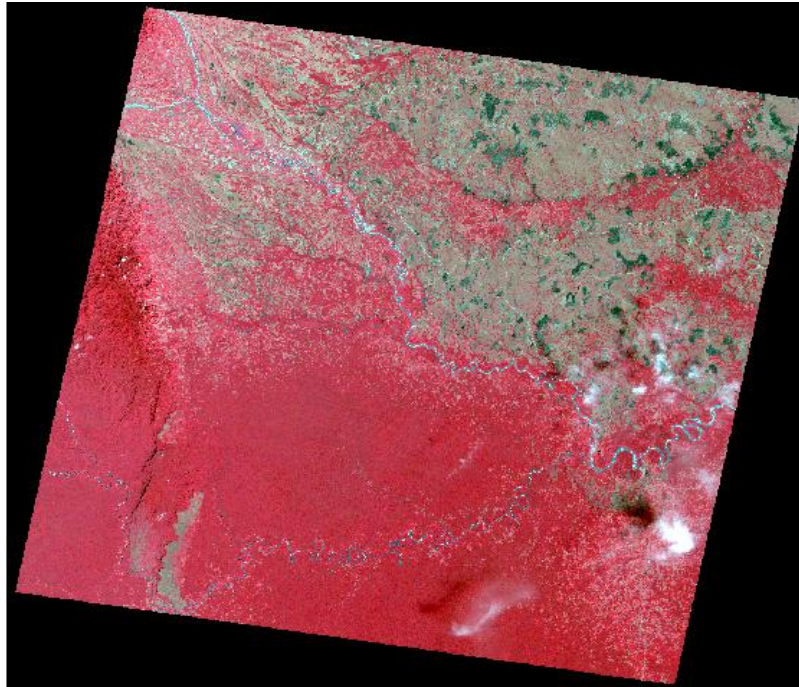


Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

## **5.2 CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA SUPERVISADA (USO DE FIRMAS ESPECTRALES).**

mediante este método y seleccionando muestras de firmas espectrales características en este caso de un tipo de vegetación específica (Herbazal arbolado inundable) se realizó una clasificación automática mediante el software dentro de toda el área del proyecto. Definiendo automáticamente las zona donde se presenta este tipo de cobertura vegetal. Para tales efectos se empleó una imagen Landsat\_5 RGB 4.3.2. (Figura 25).

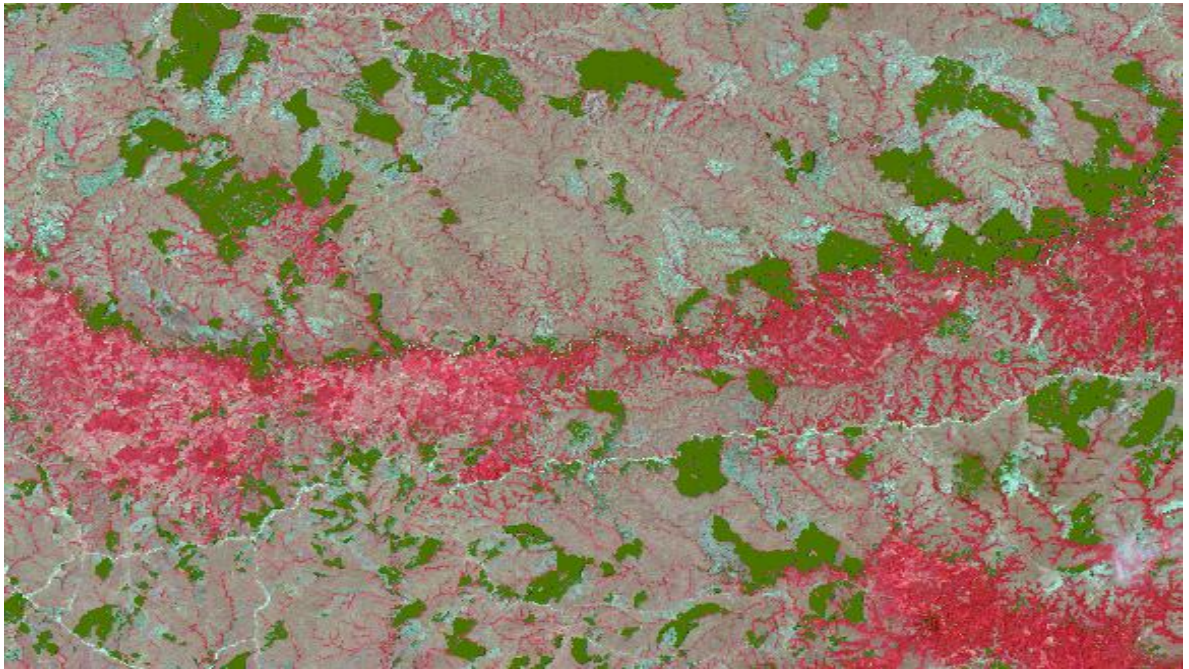
**Figura 25: Imagen Landsat\_5 RGB 4.3.2.**



Fuente: Descargada de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov).

El análisis arrojó la ubicación de los Herbazales Inundables de acuerdo a las muestras tomadas de firmas espectrales. Este tipo de vegetación se ubica principalmente al NE del área y es característica de esta zona del país y en general de las llanuras orientales. Corresponde a aquellas superficies dominadas por vegetación natural herbácea, en suelos permanentemente sobresaturados, que durante los periodos de lluvia (4-8 meses al año en la temporada de lluvias de abril a noviembre) pueden estar cubiertos por una lámina de agua. Puede presentar elementos arbóreos en forma de parches ó “matas de monte” y áreas con comunidades de palmas ó “morichales”, dispersos, que en ningún caso superan el 2%, y que pueden estar rodeados de áreas de bosques riparios. (Figura 26).

**Figura 26: Imagen Landsat\_5 RGB 4.3.2. En verde aceituna se resaltan el Herbazal arbolado inundable. Escala 1:500.000.**



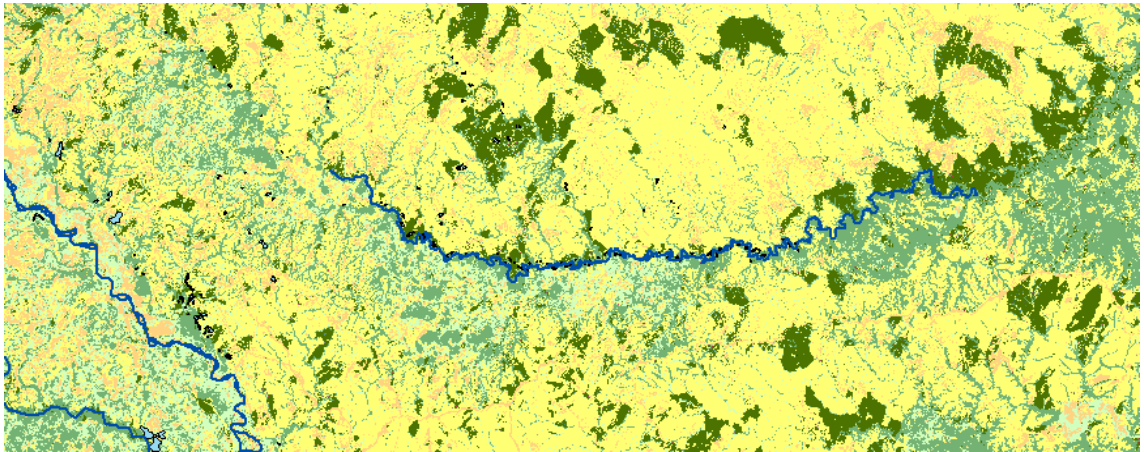
Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

### **5.3 CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA.**

Mediante este método se clasificó el resto de la cobertura vegetal usando la misma imagen y combinación de la anterior herramienta. Hecho el análisis automático por el software se identificaron las siguientes coberturas a nivel de vegetación:

**5.3.1 Pastos naturales** Agrupa la vegetación principalmente herbácea con algunos arbustos o rastrojos de poca altura. Están localizados principalmente en las zonas más bajas y bañadas por los tributarios de los ríos Ariari y Manacacías. (Figura 27).

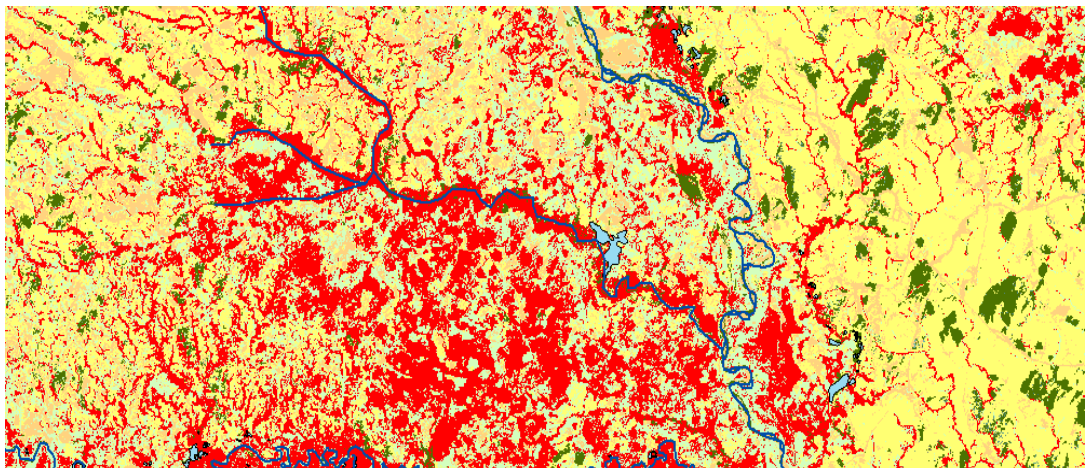
**Figura 27: Resalta en amarillo las áreas cubiertas por pastos naturales. Escala 1:500000.**



Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**5.3.2 Bosques de galerías** Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas. (Figura 28).

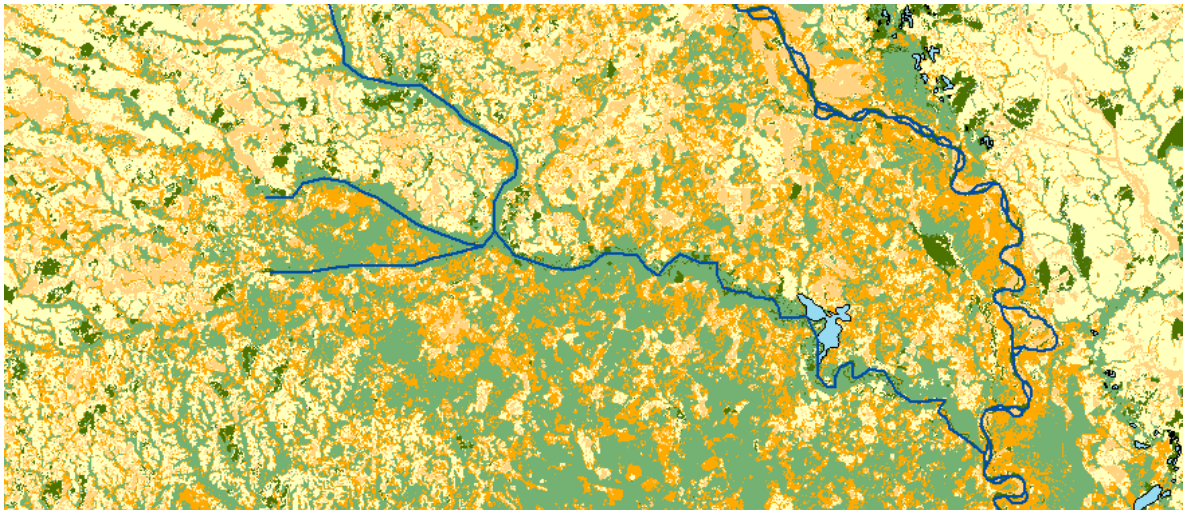
**Figura 28: Resalta en rojo los bosques de galerías. Escala 1:200000**



Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**5.3.3 Herbazal arbolado** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación), el cual se desarrolla en áreas que no están sujetas a períodos de inundaciones, con presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos que ocupan entre el 2% y el 30% de la unidad, los cuales se localizan en áreas con limitaciones de suelos, generalmente en zonas bajas con alturas máximas de 800 msnm. (Figura 29).

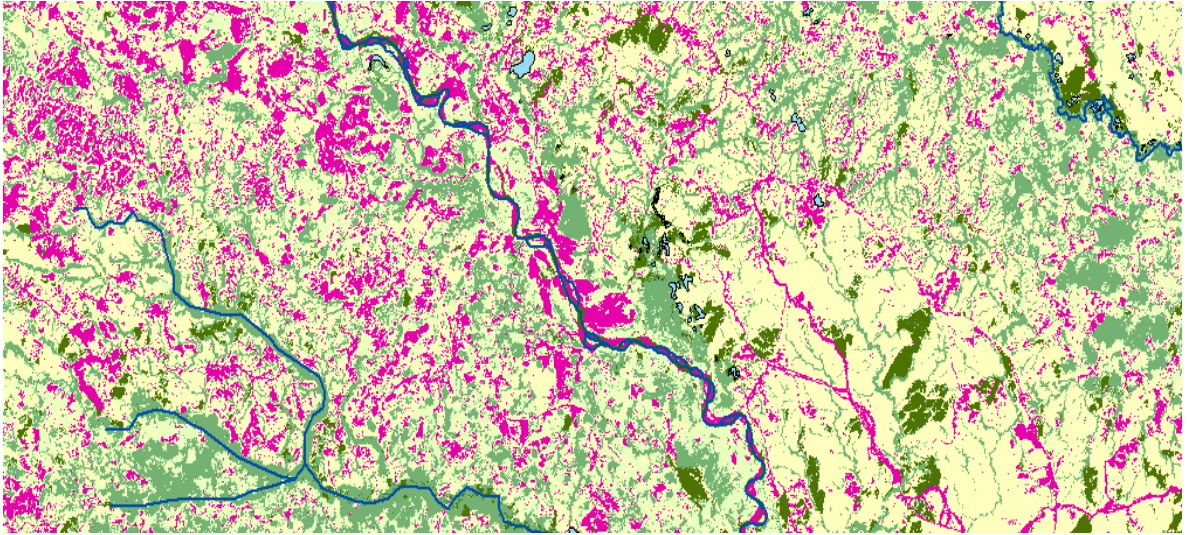
**Figura 29: Resalta en naranja el herbazal de tierra firme arbolado presente en el área. Escala: 1:250.000**



Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**5.3.4 Suelo descubierto** Corresponde a zonas que no presentan cobertura vegetal y terrenos que posiblemente fueron utilizados para el pastoreo u otra actividad humana. Ya sea por factores humanos (Trazado de caminos o carreteras) o naturales el suelo está expuesto sin cobertura alguna. Dentro de esta clasificación entra también aquellas áreas localizadas en las rivieras de los ríos en donde se forman playas, islas o barras de arena. (Figura 30).

**Figura 30: Resalta en fucsia los suelos sin cobertura. Escala 1:250.000**



Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

## **6. GEOMORFOLOGÍA**

### **6.1 DETERMINACIÓN DE PROCESOS, AMBIENTES Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.**

El paisaje terrestre está compuesto por rocas y suelos, modelados según las condiciones y los procesos internos y externos de la tierra, los cuales han actuado a través del tiempo geológico. Por lo tanto un paisaje es el resultado o el producto de la interacción entre el tipo de material y su disposición, y los agentes y los procesos naturales típicos de un ambiente morfogenético en particular, lo cual se manifiesta a través de los procesos de la degradación (química y/o física) y de la acumulación o sedimentación de materiales. (Bloom 1974) (VER ANEXO 3: MAPA GEOMORFOLÓGICO),

Mediante el análisis de imágenes satelitales se pudo establecer las unidades geomorfológicas características del paisaje, dentro del área del proyecto. El aspecto final del paisaje es dado debido a la asociación de las condiciones naturales que intervienen en la región, ya sean endógenas o exógenas. Determinando así el ambiente morfogenético dentro del cual se desarrollan las geoformas. Los principales ambientes morfogenéticos naturales dentro de los cuales tiene lugar la modelación del paisaje dentro de la región que comprende el proyecto, son los siguientes.

#### **6.1.1 Ambientes morfoestructural y geoformas**

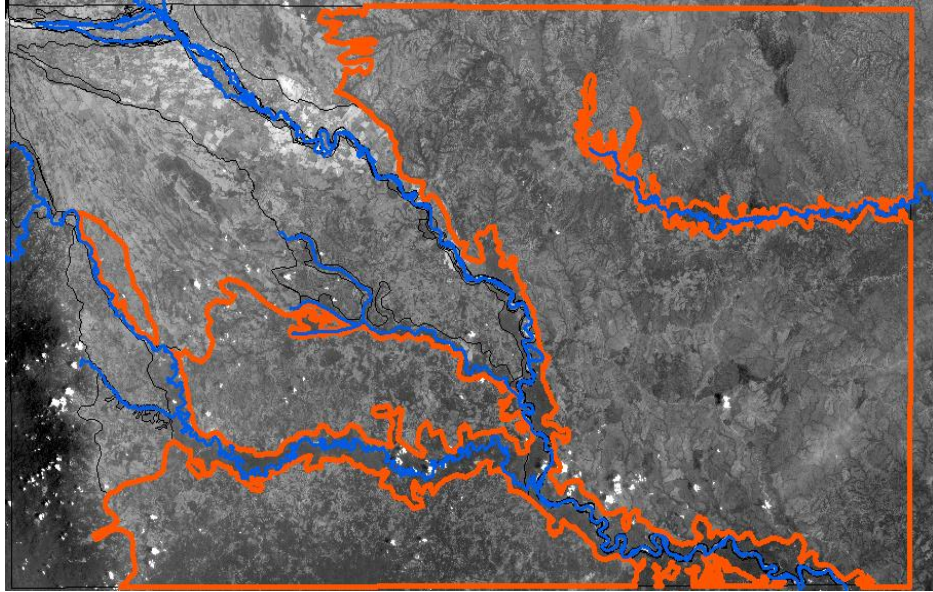
**6.1.1.1 Ambiente morfoestructural** Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente relacionada con fallamientos y/o

plegamientos. Dentro de este ambiente se identifican las siguientes unidades geomorfológicas mayores:

- **Altillanura (Llanos orientales)**: Corresponde a la llanura de desborde de los ríos procedentes de la cordillera oriental y se extiende casi paralela al río Orinoco y antes del cruce hidrográfico del río Meta. Su historia de formación está ligada a procesos estructurales complejos relacionados con el piedemonte y el levantamiento de la cordillera y en general al proceso tectónico evolutivo de la esquina Nororiental del sur de América. Dentro del área de estudio las geoformas relacionadas a esta unidad mayor, ocupan cerca del 70 % de la zona. Las subunidades geomorfológicas menores localizadas dentro de esta mega-unidad corresponden a:

1. Paleocanales o esteros: zonas de inundación de morfología cóncava suave y que favorecen el desarrollo de los morichales que además fijan los sedimentos.
2. Bajos o paleocubetas de inundación ensanchables un poco parecidos a los esteros.
3. Lomas muy pequeñas, colinas, vallecitos suaves y diques no indudables durante la época de lluvias, de morfología convexa en su parte superior y cóncava hacia la parte baja en contacto con los esteros (**Figura 31**).

**Figura 31: En rojo, la llanura suave ondulada caracterizada por pequeñas lomas, colinas y esteros, perteneciente a la unidad geomorfológica Altillanura (Llanos Orientales). Escala de la imagen: 1:600000.**



Fuente: Fondo: Imagen Landsat 7 banda 5 descargada de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

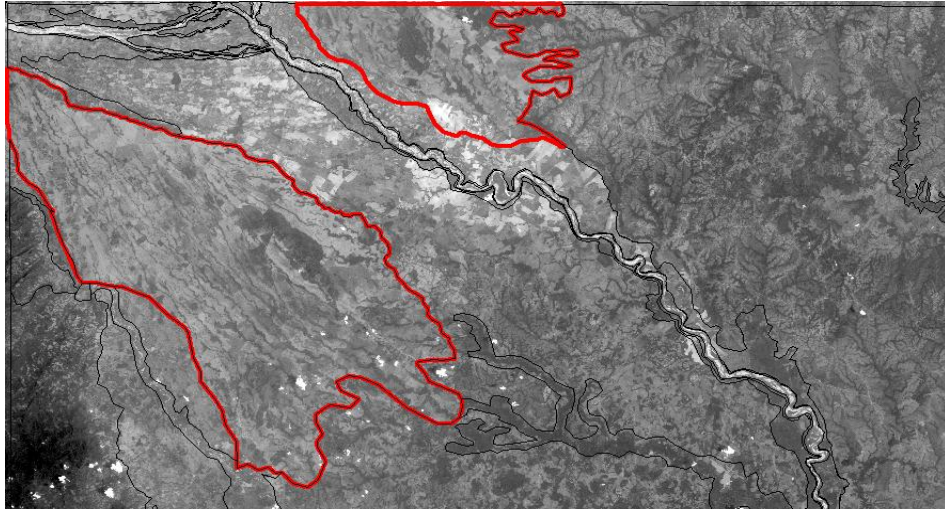
**6.1.1.2 Ambiente fluvial:** Corresponde a las geoformas generadas por la actividad aluvial. Dentro de este ambiente y clasificadas dentro de la mega-unidad de la Altillanura de los Llanos Orientales Colombianos se distinguen las siguientes geoformas:

- 1 Terrazas coluvio-aluviales: localizadas al NO del área y paralelas al río Ariari, de escurrimiento difuso generalizado y de baja altura. Constituyen depósitos localizados a los costados del cauce del río principal formando plataformas de muy baja altura en las que se pueden reconocer antiguos cursos o canales del río que les dieron origen. (Figura 32).
- 2 Planicie de inundación: corresponde a la llanura paralela al canal por donde escurre el río principal, afectada por inundaciones y ensanchamientos. Presenta microrelieves cóncavo-convexos, lagos producto de meandros

abandonados colmatados o en vía de colmatación, diques, cauces abandonados y cubetas. (Figura 33).

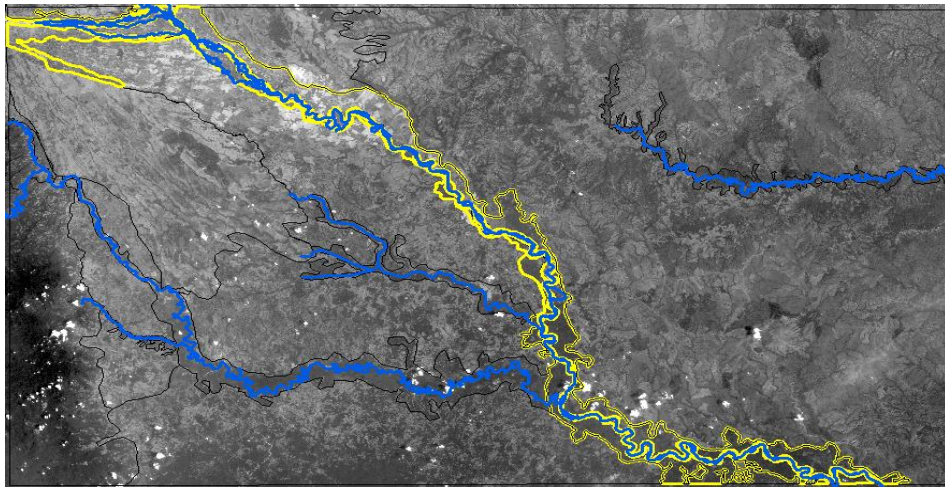
- 3 Cauce fluvial: corresponde a la zanja, canal o cauce por donde discurre el río principal, en este caso el río Ariari. Presenta geoformas características de ríos trezados y meandriformes, como: diques, terrazas, islas o barras de punto, laterales y/o verticales. (Figura 34).
- 4 Mezas y terrazas agradacionales de diferentes niveles: corresponde a las terrazas ubicadas inmediatamente después de la llanura de inundación actual. Estas terrazas comprenden plataformas suaves inactivas producto de llanuras de inundación antigua y paralelas al curso actual de río principal. (Figura 35).
- 5 Abanicos subcrecientes: esta geoforma se localiza en la parte más nororiental del área de estudio y corresponde a un abanico antiguo que constituye una plataforma elevada por encima del nivel de río que erosiona los bordes del mismo. (Figura 36)..
- 6 Valles aluviales menores: corresponden a los pequeños conformados por los cauces menores al río principal y con características similares a la llanura de inundación. (Figura 37).

**Figura 32: En rojo las terrazas fluvio-aluviales.**



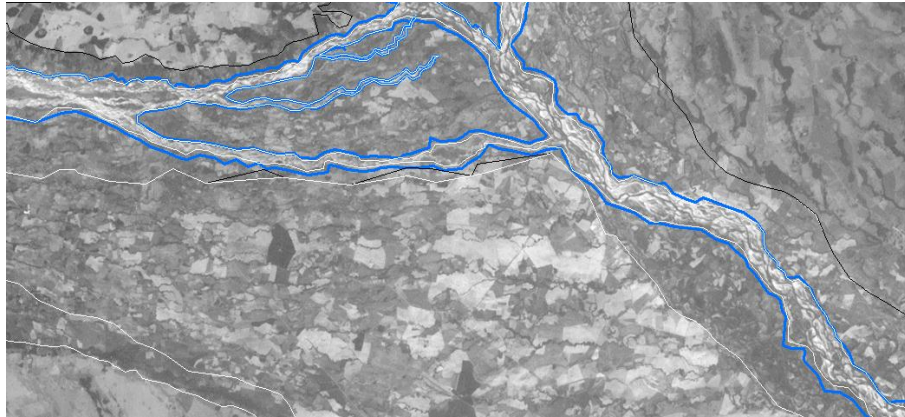
Fuente: Fondo imagen Landsat\_7 banda 5 escala: 1: 400000 descargada de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 33: En amarillo la llanura de inundación del cauce principal.**



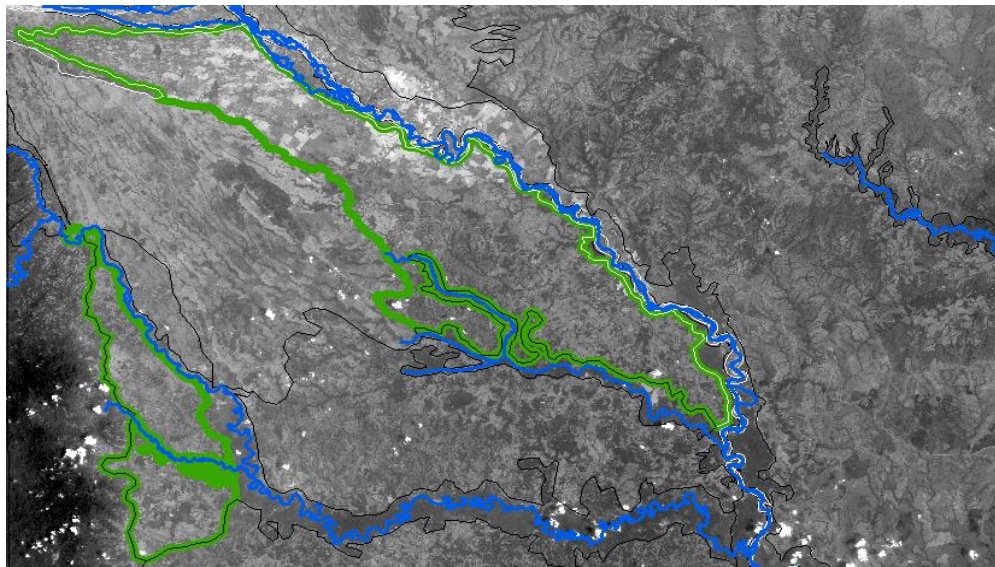
Fuente: Fondo Imagen landsat\_7 Banda 5. Escala 1:600000 descargada de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 34: En azul el canal o cauce del rio Ariari.**



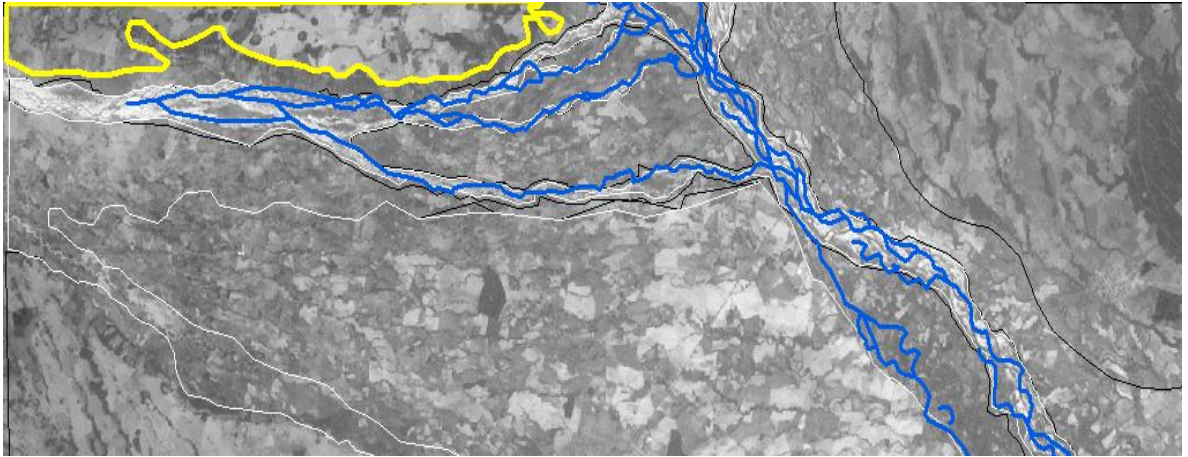
Fuente: Fondo Imagen Landsat 7 banda 7. Escala 1:100000. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 35: En verde Mezas y terrazas agradacionales de diferentes niveles.**



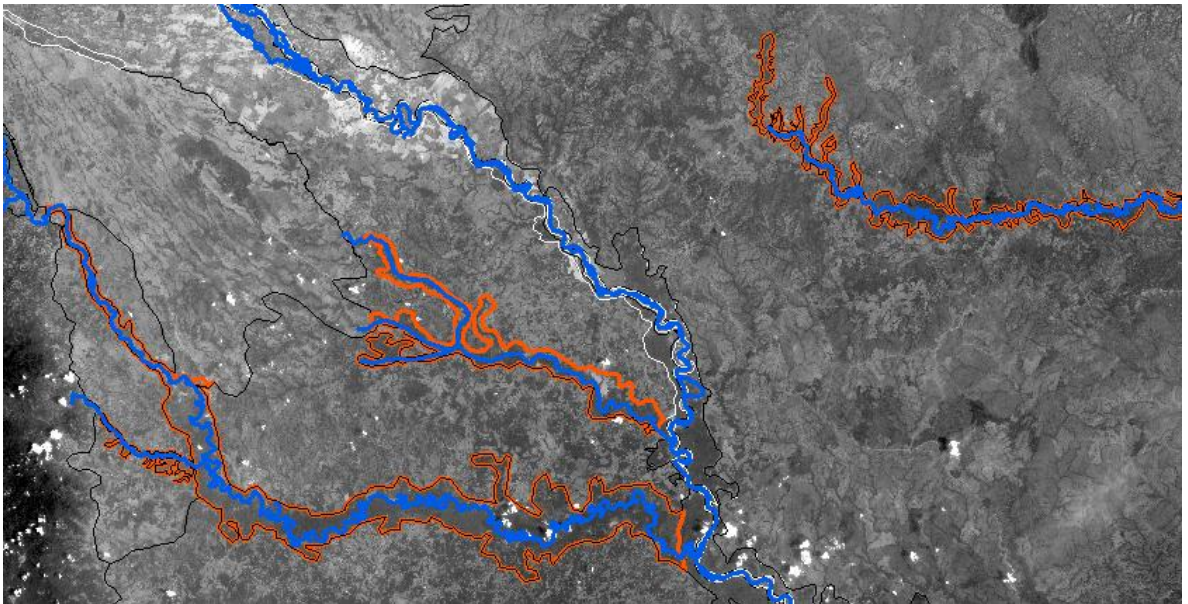
Fuente: Fondo Imagen Landsat\_7 escala 1:500000. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 36: En amarillo Abanico subcreciente.**



Fuente: Fondo Imagen Landsat\_7 escala 1:150000. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 37: En rojo Valle aluviales menores.**



Fuente: Fondo Imagen Landsat\_7 escala 1:600000. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**6.1.1.3 Ambiente estructural fluvio-erosional.** Como su nombre lo indica, corresponde a las geformas originas por la dinámica interna de la tierra y los procesos fluvio erosiónales en conjuntos. Estas geformas están localizadas hacia

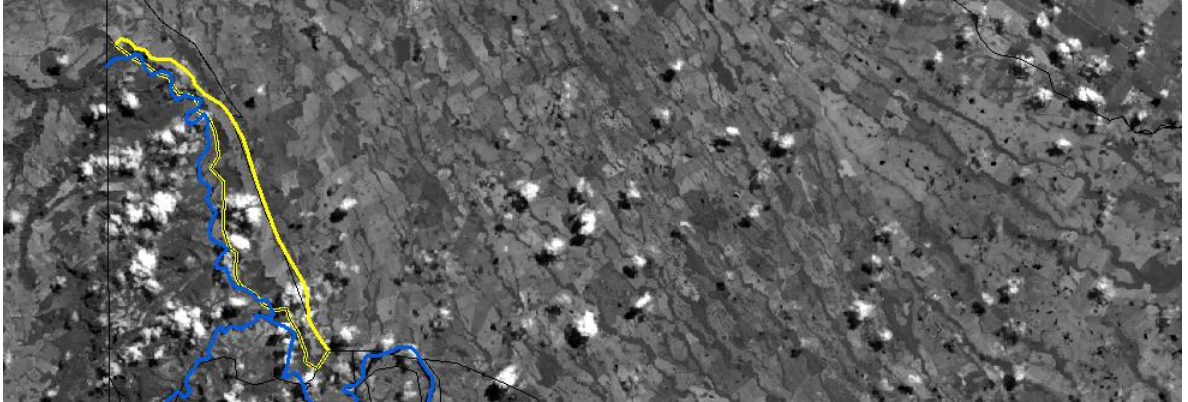
el sur oriente principalmente, del área de estudio y están clasificadas dentro de la mega-unidad Sierra de la Macarena.

La Macarena, estructuralmente y como macroforma corresponde a un bloque levantado de edad paleozoica y perteneciente a la formación Araracuara. La Macarena representa una serranía con inclinación suave hacia el oriente, delimitada por flancos abruptos con algunos límites controlados por lineamientos

Dentro de esta unidad geomorfológica mayor se localiza en el área tres geoformas:

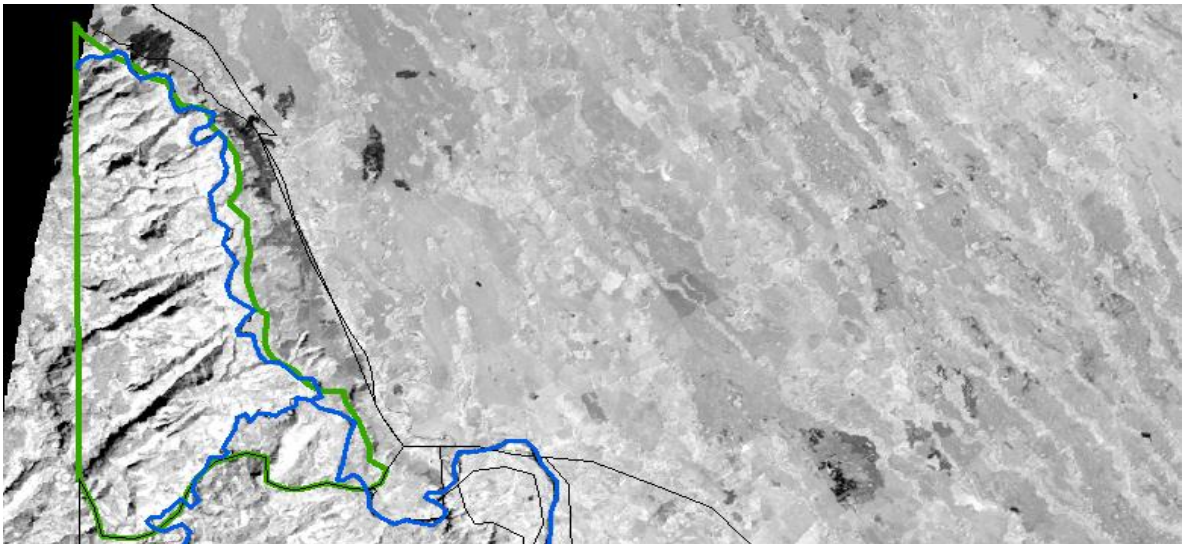
- 1 Crestas Y/o crestones: esta geoforma localizada al nororiental del área corresponde a una cresta de origen estructural en una de los flancos de influencia de la Sierra de La Macarena. presenta escurrimiento difuso, es afectada por fuertes vientos lo que hace que su cobertura en vegetación sea poca o de muy poca altura. (Figura 38).
- 2 Mesas, cuevas y superficies onduladas: estas geoformas se localizan al oriente del área del proyecto y hacen parte de las mesas o superficies onduladas levantadas de la Sierra de la Macarena. Se observa un escurrimiento difuso y lineamientos y flexiones estructurales a manera de zanjas o surcos. (Figura 39).
- 3 Mesas y montañas ramificadas: esta geoforma presenta zonas de derrumbes y caídas de bloques rocosos en pequeños cañones, zanjas o deflexiones con procesos de escurrimiento superficial difuso. Presentan cimas estrechas, empinadas y valles en v, así como pequeñas mesas (Figura 40).

**Figura 38: En amarillo Cresta estructural.**



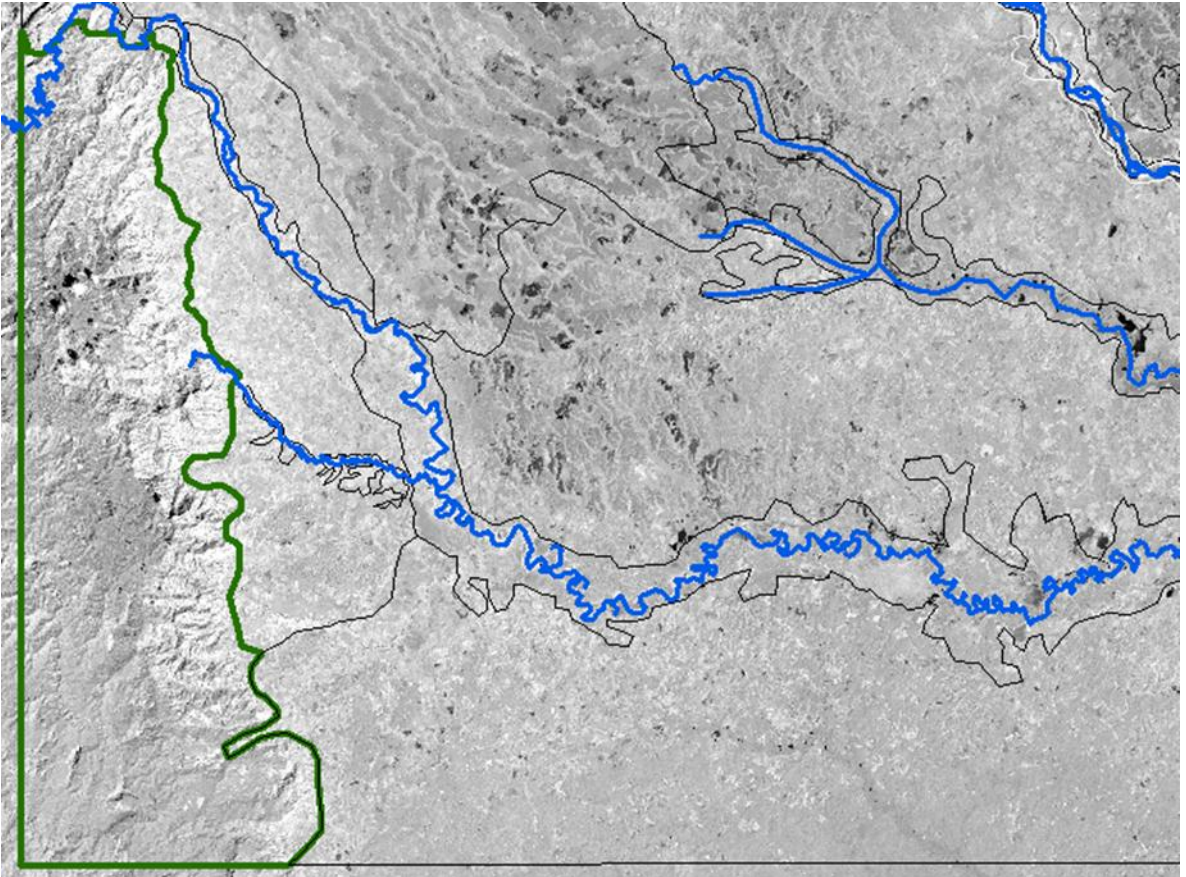
Fuente: Fondo Imagen Landsat\_8 banda 7. Escala 1:150000. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 39: En verde Mesas, Cuestas y superficies onduladas.**



Fuente: Fondo Imagen Landsat\_5 banda 4. Escala 1:125000. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**Figura 40: En verde Mesas y montañas ramificadas.**



Fuente: Fondo Imagen Landsat\_5 banda 4. Escala 1:400000. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**6.1.2 Drenajes** Cuando las corrientes de agua se concentran, la superficie terrestre se erosiona creando un canal. Los canales de drenaje forman una red que recoge las aguas de toda la cuenca y las vierte en un único río que se encuentra en la desembocadura de la cuenca. El clima y el relieve del suelo influyen en el patrón de la red, pero la estructura geológica subyacente suele ser el factor más importante.

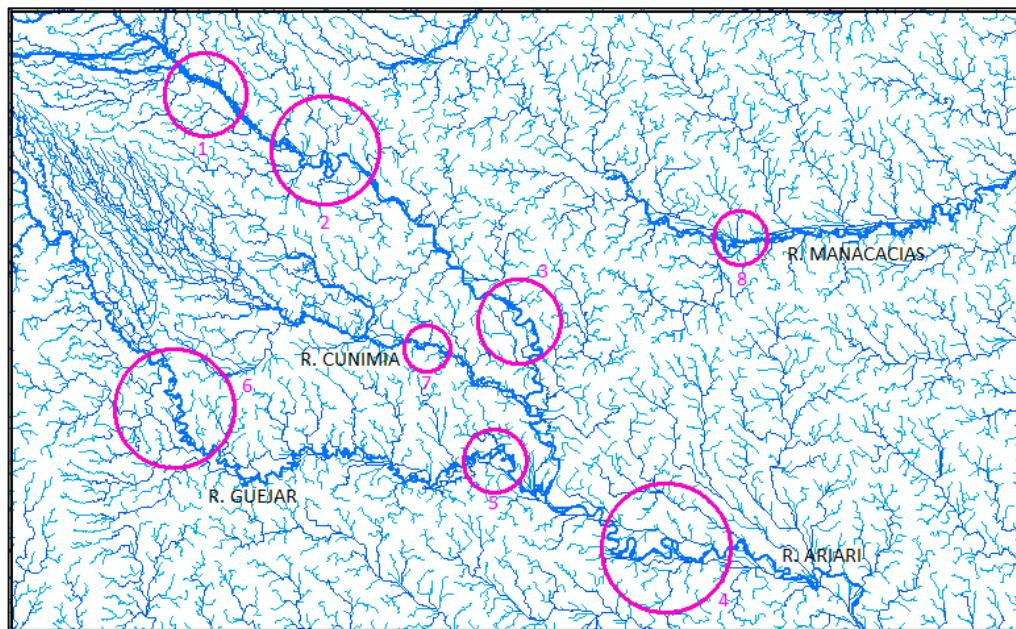
Los patrones hidrográficos están tan íntimamente relacionados con la geología que son de gran interés porque por medio de ellos podemos interpretar estructuras y litologías. La clasificación de los principales patrones del Río Ariari y sus afluentes está caracterizado por una forma o patrón modelo, donde el índice de

erosión o remoción es muy importante y la textura es el grado de espaciamento entre los canales del drenaje. La textura en rocas puede ser gruesa, media o fina, y la erosión, laminar, por surcos o por cargas mostrando una red de canales característico de cada afluente (VER ANEXO 4, MAPA HIDROLÓGICO).

**6.1.2.1 Característica de canales principales** Con base en el procesamiento de imágenes Aster, satelitales (landsat 5, 7, y 8) y el modelo digital de la zona de estudio se identificaron dos tipos de canales en las corrientes principales que son los Rio Ariari, Güejar, Cunimía y Manacacias donde cada rio se caracteriza por presentar canales meandriforme y trenzados o la combinación de meandriforme y entrelazado (figura 41).

Estos canales se desarrollan en una dinámica fluvial, se modifican con rapidez adaptándose a la geometría de los parámetros hidráulicos aumento de caudal y crecidas.

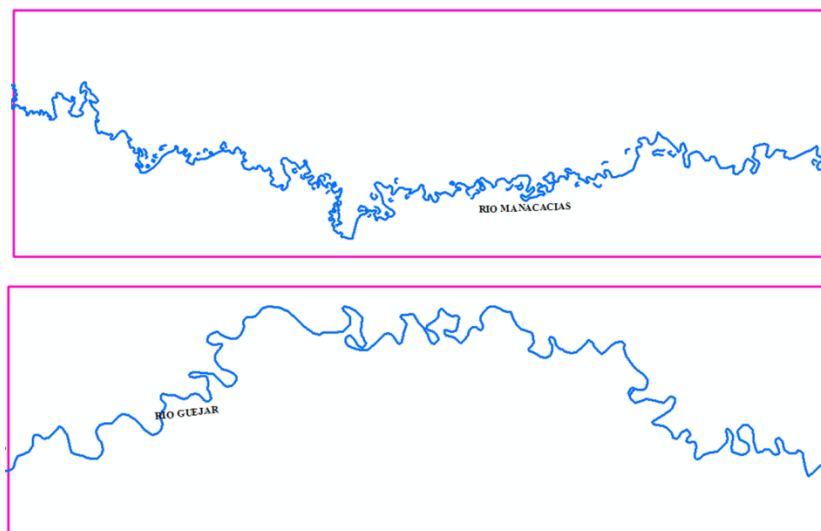
**Figura 41: Red de drenaje de la zona de estudio, se identifican la ubicación de los canales principales. Escala 1:750.000**



- **Canales meandriformes:** Son canales fluviales móviles caracterizados por el desarrollo de su trazado de curvas alterantes. Estas curvas significan un alargamiento del curso del agua y una disminución de su pendiente. Esto será como resultado de un flujo rápido y activo cargadas de partículas de calibre medio a alto, la evolución de los meandros consiste en que las corrientes realizan una labor de erosión en los puntos de impacto de las márgenes y centran su acción excavadora en esta parte, mientras que el margen opuesto la velocidad del flujo es menor haciendo que los fenómenos de erosión disminuyan. Solo se producen acumulaciones, de este modo por crecimiento de un lado y reducción del otro el lecho tiene a encorvarse y a cambiar de anchura.

Si se incrementa la velocidad y turbulencia se rompe la situación anterior de este modo el trazado alcanzara una evolución hasta el punto de que los meandros sucesivos van aproximándose para finalmente enlazar, con lo que las curvas van siendo abandonadas dando lugar a meandros abandonados (figura 42)

**Figura 42: Canales meandriformes en los ríos Güejar escala 1:80.000 y Manacacías escala 1:60.000.**

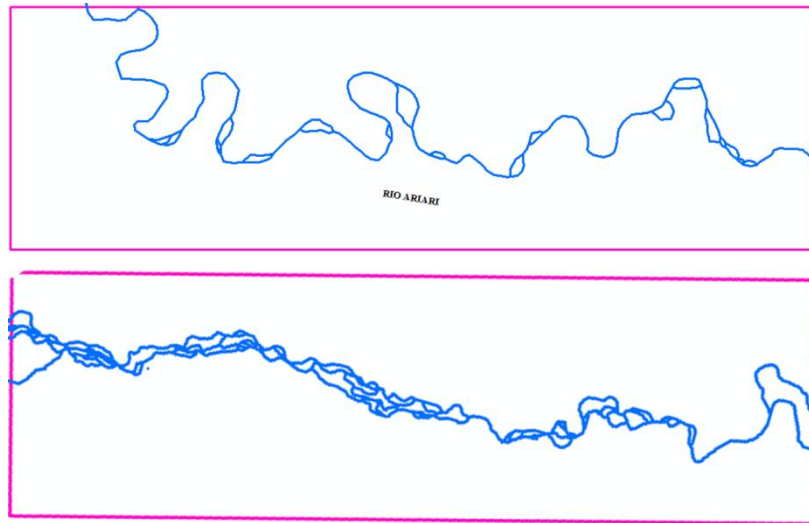


- **Canales entrelazados:** Los canales entrelazados o anastomosados son característicos de las corrientes que tienen grandes fluctuaciones en el flujo y en la carga de sedimentos. El entrelazamiento se inicia al formarse barras sumergidas, al bajar el nivel del agua después de una creciente. Tales barras desvían las aguas a su alrededor y se convierten en zonas estables dentro del canal. En los ríos intermitentes, estas barras generalmente cambian de posición durante las crecientes al ser cortadas por nuevos canales. En los ríos perennes las barras crecen por agravación y llegan a ser semipermanentes, aunque también pueden cambiar de forma a causa de una creciente fuerte. Los complejos de corrientes entrelazadas aumentan por el proceso de acreción vertical, especialmente en los ríos intermitentes los cuales, después de las crecidas, descargan grandes volúmenes de sedimentos y obstruyen los canales. Al producirse una reducción gradual en la velocidad de la corriente, se inicia una gradación (grueso en la base, fino hacia el tope) en cada unidad sedimentaria, así como también una disminución en la magnitud de las estructuras sedimentarias.

Los sedimentos de corrientes entrelazadas son el resultado de la alternancia de las etapas de socavación por inundación y posteriormente, del relleno de múltiples canales interconectados dentro de los límites del valle de un río. Los canales que se anastomosan, canales trenzados, se forman en las partes de la corriente con pendientes relativamente altas, sujetas a una amplia fluctuación en el flujo y con una fuente abundante pero intermitente de sedimentos (Figura 43)

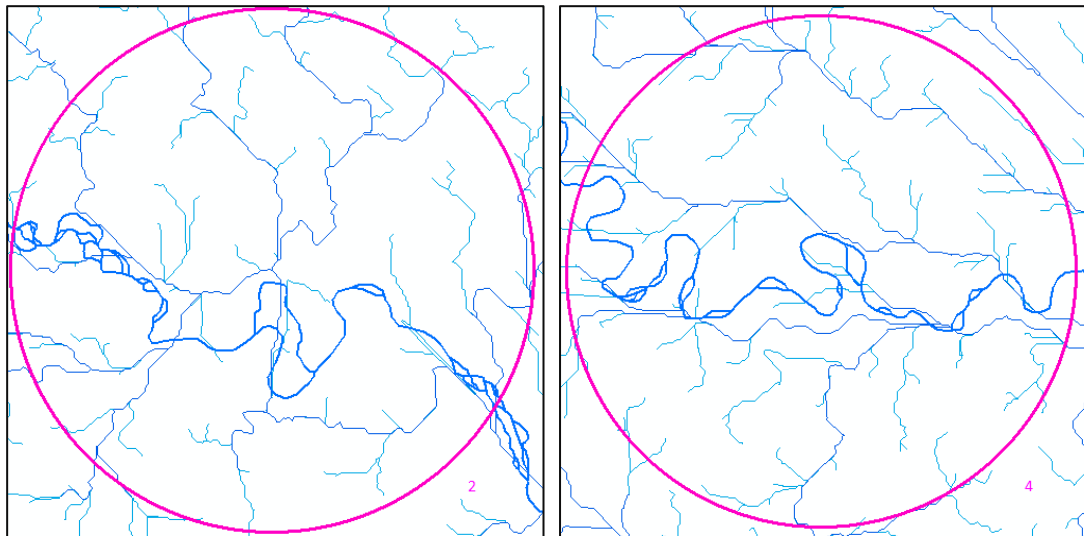
Los sedimentos de corrientes entrelazadas son de excelente calidad como rocas almacén; típicamente son muy porosos y permeables, y la existencia de barreras de permeabilidad, o de restricción al flujo de los fluidos, es mínima

**Figura 43: Corrientes entrelazadas formadas en el Rio Ariari, escala 1:100.000**



En las épocas cuando el nivel de las aguas es bajo, el flujo de la corriente queda confinado a los canales, los cuales están separados por barras de sedimentos. Estas barras se forman durante la época de descenso del río, cuando los sedimentos se acumulan alrededor de alguna obstrucción o de los restos de una antigua barra. Los cuerpos de arena depositados por las corrientes anastomosadas se adaptan a la geometría del valle del río. Durante la época de creciente, todo el valle está frecuentemente sujeto a socavación, la corriente crea nuevos cauces en los sedimentos del fondo y los canales últimamente rellenos se desarrollan a lo ancho (figura 44).

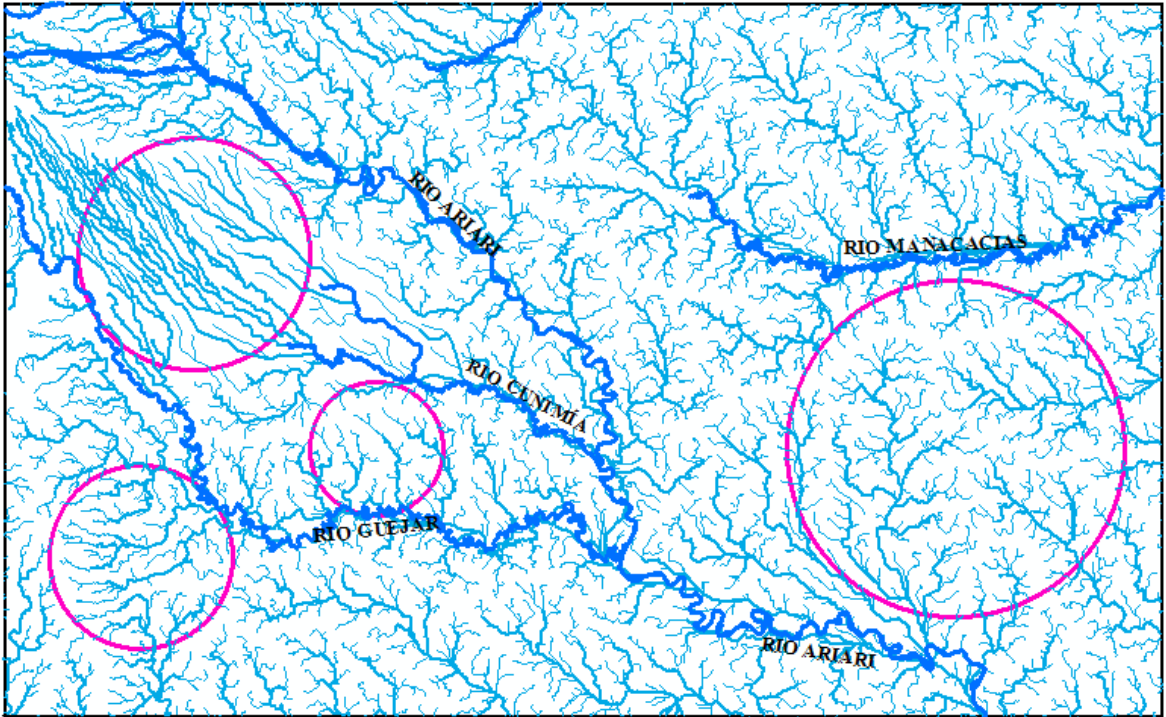
**Figura 44: Corrientes entrelazadas dentro de corrientes canales meandríformes por un cambio de dinámica fluvial. Escala 1:125.000**



**6.1.2.2 Estructura de la red de canales** Se define como patrón de drenaje a la forma cómo una red se aprecia en un área determinada. Estos patrones dependen de varios factores: Pendiente de las laderas y del área de drenaje, Cobertura vegetal, Resistencia de la litología, Caudal, Permeabilidad del suelo, Nivel e intensidad de lluvias y Actividad estructural

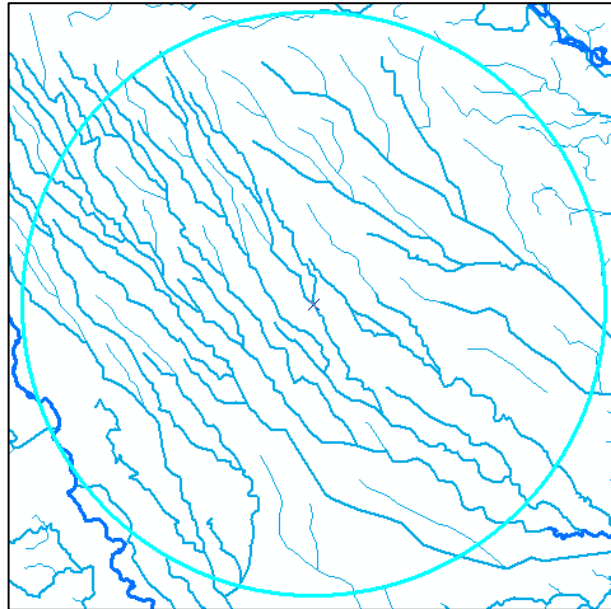
Los afluentes que alimentan los canales se han clasificado de acuerdo a la interpretación de imágenes Aster y satelitales (landsat 5,7 y 8) con base en esto se identificaron drenajes subdendrítico, Retorcidos, paralelo y dendrítico cada uno de ellos representa características importantes que ayudaron a conocer la litología y estructuras presentes en la zona de estudio (figura 45).

**Figura 45: Red hidrográfica de la zona de estudio, marca las áreas donde se observan diferentes drenajes. Escala 1:750.000**



- **Drenaje paralelo:** Este tipo de drenaje se observa en la parte NW del área de trabajo se caracteriza por presentar una dirección definida por la pendiente regional del terreno. Cuando mayor se la pendiente en una dirección, mayor y más paralelos serán los canales, por el contrario, cuando la pendiente es casi plana el paralelismo será visible con una cobertura fotográfica regional como se observa en la zona de trabajo, este drenaje presenta un control estructural marcado por el lineamiento del río Ariari (Ujueta, G 1992) o por un estructura monoclinal que presenta pendientes suaves y drenajes paralelo a dendrítico, se forman predominantemente en suelos de textura gruesa (arenosos) (figura 46).

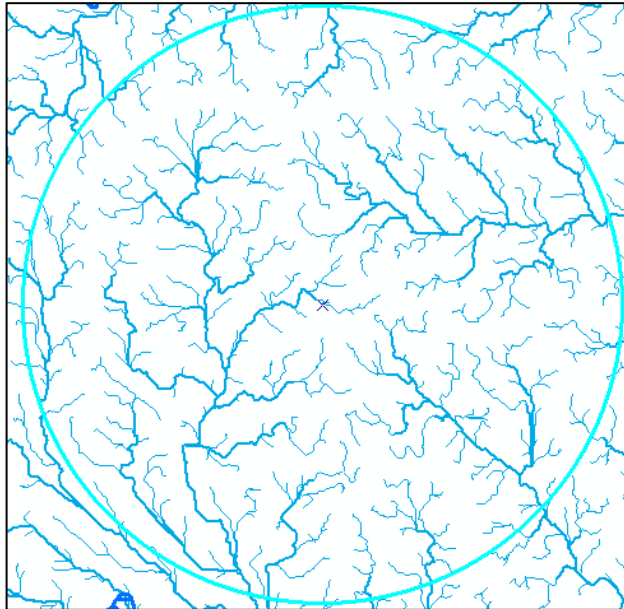
**Figura 46: Drenaje paralelo marcado por un control estructural de tipo regional o local. Escala 1:150.000**



- **Drenaje dendrítico:** Se compara con pequeñas hebras o hilos. Son cursos pequeños, cortos e irregulares, que andan en todas las direcciones, cubren áreas amplias y llegan al río principal formando cualquier ángulo. Se forman en áreas con la interacción de varios, Este patrón de drenaje se origina con predilección en suelos homogéneos de textura fina (arcillosos u orgánicos) o en suelos que presentan un estrato rocoso superficial. Estos suelos poseen una permeabilidad baja al poseer pocos macroporos, esto quiere decir que el agua atraviesa lentamente el perfil del suelo.

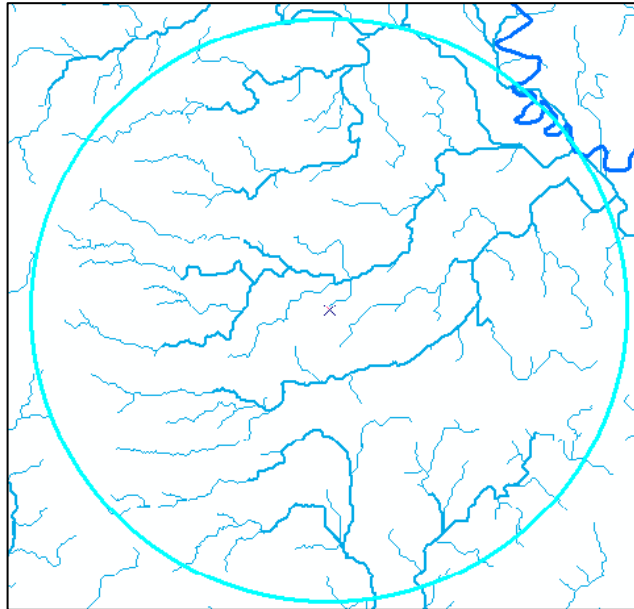
En el área de la zona de estudio este tipo de drenajes es predominante en muchos sectores se observa un patrón formado por una corriente principal con sus afluentes primarios y secundarios uniéndose libremente en todas direcciones. Entonces esto indica que la pendiente inicial del área era más bien plana y compuesta de materiales uniformes (figura 47).

**Figura 47: Drenaje dendrítico vertiendo al río Manacacías localizado en el NE de la zona de estudio. Escala 1:200.000**



- **Drenaje subdendrítico:** Este tipo de drenaje es muy similar al anterior, con la particularidad que los diferentes cauces tienen una conformación casi paralela. En este caso se tiene un tributario mayor bien definido, con mayor cantidad de caudal, donde llegan una serie de afluentes pequeños. Se presentan cuando hay una captura intensa y además existe un control estructural o topográfico (Figura 48).

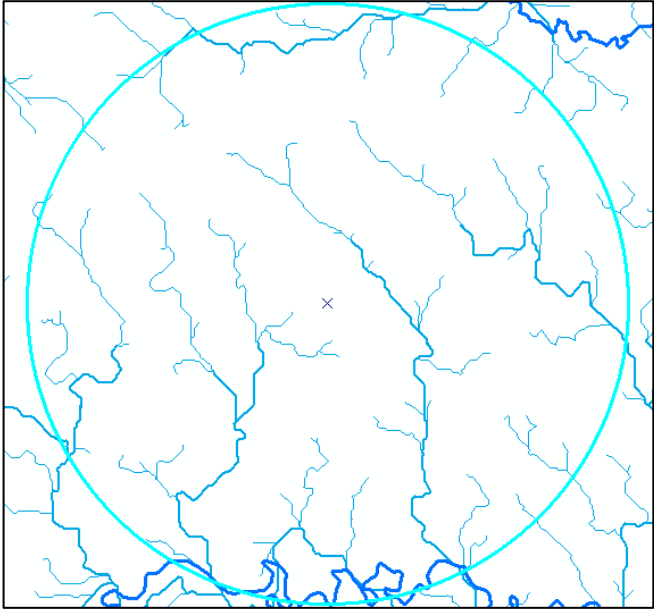
**Figura 48: Drenaje subdendritico vierte el rio Güejar, se encuentra localizado en la parte SW de la zona de estudio. Escala 1:200.000**



- **Drenaje retorcidos:** Son aquellas en que la dirección del drenaje puede invertirse totalmente, cambiando su rumbo radical mente, son resultado de un absoluto control estructural. Los cambios bruscos de dirección son debidos a la intercepción del drenaje con una barrera de roca resistente. Puede también aparecer este tipo de drenaje al atravesar niveles sedimentarios que presentan discontinuidades. Las barreras rocosas pueden ser notorias en su organización estructural. (Figura 49)

Este tipo de drenaje se encuentra esparcido por el área de trabajo, sirve como guía de la organización estructural de la zona donde se observan lineamientos marcados por los afluentes (ver anexo 01)

**Figura 49: Drenaje retorcido, presenta un control estructural local. Escala 1:200.000**

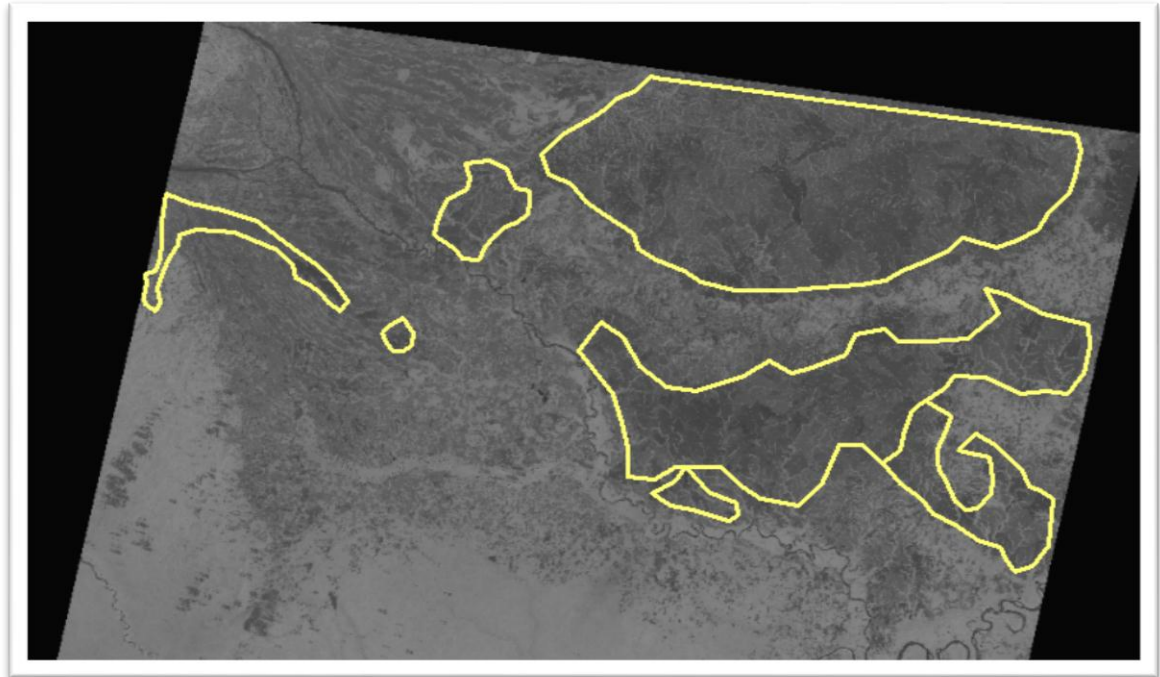


## 7. CONCLUSIONES

- Las imágenes satelitales, en el caso de las que se puede adquirir sin costo alguno, representan una importante herramienta para estudios dentro del campo de la geología. Ofrecen una visión preliminar del terreno que permite corroborar antes y después de trabajos de campo características del suelo a diferentes escalas.
- El estudio y/o procesamiento de las imágenes satelitales, permite diferenciar la explotación o los diferentes usos que se le dan al suelo, e tipo de vegetación, litología, la elevación y las características del relieve de la superficie.
- Mediante el análisis de imágenes satelitales es posible establecer factores de riesgo para poblaciones: humana, plantas, animales y en general para los diferentes ecosistemas, con miras a estudios no solo de tipo geológico. si no aquellos que evalúan condiciones de desarrollo con fines a un mejoramiento en la calidad de vida.
- Las imágenes Aster brindan gran información sobre la topografía del terreno, gracias a su resolución se facilita la identificación de procesos fluviales que marcan ambientes de depositación.
- Las imágenes satelitales constituyen un recurso invaluable en las etapas tempranas de exploración de recursos minero-energéticos.
- Los productos obtenidos de los diferentes tipos de sensores remotos son útiles, mucho más allá de su capacidad para mapear la topografía, la geología regional, los lineamientos y las tendencias estructurales.

- Los datos o imágenes satelitales adquiridos en tierra se analizan para inferir la presencia de hidrocarburos a través de signos indirectos y como estudio complementario que ofrece una visión global del terreno y permite diferenciar cambios o anomalías en el terreno o en el comportamiento Y/o distribución de la vegetación.
- Cuando los gases procedentes del subsuelo, se filtran hacia la superficie, desplazan parcialmente el oxígeno del suelo, creando un ambiente pobre en vegetación o aumentando el estrés en las plantas. Esta característica es fácilmente determinable por medio del análisis de las imágenes de percepción remota. Usando una imagen Landsat\_7 RGB 5,4,2 dentro del área de este proyecto, mediante el uso del software se permite establecer las áreas de mayor estrés en la vegetación asignándoles valores de -1 a 1 y discriminado aquellas zonas de vegetación más verde en escala de grises desde muy claro hasta muy oscuro para las áreas de mayor estrés las cuales coinciden con las zonas donde actualmente se hace exploración. (Ver Figura 50).

**Figura 50: Se muestran en amarillo, las áreas de mayor estrés en la vegetación. Dentro del área de estudio.**



Fuente: Imagen NDVI\_Landsat\_7 . [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

- Los efectos productos de cambio químicos del suelo, son manifestados en la deficiencia en el crecimiento de las plantas o el desarrollo normal de estos ecosistemas. Dichos cambios se registran en la respuesta espectral de las plantas y detectados por los sensores ópticos de los satélites.
- La configuración, la intensidad o la respuesta espectral característica de cada elemento sobre la superficie, constituye el más importante indicador para su reconocimiento y delineación.
- Las características del relieve y las geoformas producto de la dinámica del suelo o de los agentes modeladores del paisaje, son un factor fundamental dentro de los estudios geológicos de exploración. Pues la identificación de estructuras o mega estructuras en superficie está relacionada con una

dinámica interna de la corteza sometida a procesos tectónicos que crean las condiciones favorables para albergar hidrocarburos.

- Mediante los sensores remotos es posible identificar mega estructuras o grandes geoformas en áreas de terreno de miles de kilómetros facilitando la interpretación y el mapeo en estudio de exploración.

## BIBLIOGRAFÍA

BAYONA, G., CORTES, M., JARAMILLO, C., OJEDA, G., ARISTIZABAL, J. & REYES-HARKER, A. (2008): An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: Latest Cretaceous-Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia. Geological Society of America Bulletin, v. 120, p. 1171-1197.

BAYONA, G., VALENCIA, A. MAHECHA, H., VILLAMIZAR, P., ACOSTA, D., VILLAMIZAR, C., MORA, A., OJEDA, G., GAMBA, N. (2008). Enterramiento erosión- levantamiento de dominios estructurales del Piedemonte N, central y llanos Sur integrando modelamiento flexural con datos de termocronología. Ecopetrol.

CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de teledetección. Ediciones Rialp S.A. Segunda edición. 1995.

COOPER, M. A., ADDISON, F. T., ALVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R. H., HAYWARD, A. B., HOWE, S., MARTINEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A. J. & TABORDA, A. (1995): Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 79, p. 1421-1443.

CORDOBA Edgar Vargas.. LA FOTOGRAFIA AÉREA Y SU APLICACIÓN A ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS. TOMO I , Bolivia 1992.

DE PEDRAZA GILSANZ Javier, Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones." Editorial Rueda. Madrid, 1996. <http://www.redes-cepalcala.org/ciencias1/geologia/geomorfologia/geomorfofluvialtotal.htm>

DUQUE-ESCOBAR, Gonzalo Manual de geología para ingenieros (2003) . Universidad Nacional de Colombia, Manizales. (Rev. 2013). Cap20 Geomorfología, <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/23/geo20.pdf>

EMILIO CHUVIECO. Fundamentos de teledetección espacial, segunda edición. Ediciones Rialp, S.A. Madrid. 1990.

GÓMEZ HERRERA Julio Ernesto, TOLEDO Ramón Cruz, Aplicación De La Geomorfología En La Exploración Petrolera Mediante El Procesamiento De Imágenes Y Gis. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 869-876.

JIMÉNEZ JÁCOME, MIGUEL FERNANDO Temporalidad de la Deformación en la Zona Sur de la Cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. Universidad Industrial de Santander ACGGP. 2009

LEYVA PINTO Tobías. metodología para la identificación y determinación de geoformas y sus principales variaciones temporales mediante el uso de sensores remotos. caso servita, tesis de maestría universidad nacional 2011

LILLES; KIEFER.. Remote Sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. Third edition. 1992

M. A. Cooper, F. T. Addison, R. Alvarez, M. Coral, R. H. Graham, A. B. Hayward, S. Howe, J. Martinez, J. Naar, R. Peñas, A. J. Pulham,3 and A. Taborda. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and

Middle Magdalena Valley, Colombia, AAPG Bulletin, V. 79, No. 10 (October 1995), P. 1421–1443.

Mapa geológico, Departamento del Meta, escala 1:500.000. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2004.

Mapa P.O.A sector Rios Guejar, Cafre y Ariari, Departamento del Meta. Escala1:400.000. INGEOMINAS 2012.

PEREZ V.E. y BOLIVAR A.L., 1985. Cuenca Llanos Orientales. Exploración Petrolera en la Subcuenca Apiay-Ariari. II Simposio Bolivariano. Bogotá, Colombia.

Plancha 306. Puerto Ileras, Departamento del Meta. Escala1: 100.000. INGEOMINAS 2011.

Redes cepalcala. Geomorfología fluvial total [en línea] disponible en: <http://www.redscephalcala.org/ciencias1/geologia/geomorfologia/geomorfofluvialtotal.htm> [consultado el 23/07/14]

Reocities. Ambientes fluviales. [en línea] disponible en: <http://www.reocities.com/SiliconValley/bridge/3339/fluvial.html>[consultado el 23/07/14]

SABINS, F. Floyd. Remote sensing for petroleum exploration, parte: overview of imaging system. Leading Edge. 1992.

SHARE Patrones de drenaje [en línea] disponible en: [http://www.share-pdf.com/3f7c1033cf7647d7803393a7e151e5b3/PATRONES\\_DE\\_DRENAJE.pdf](http://www.share-pdf.com/3f7c1033cf7647d7803393a7e151e5b3/PATRONES_DE_DRENAJE.pdf) [consultado el 23/07/14.]

Teledetección satelital: Mapeo de riesgos para los levantamientos sísmicos. Oilfield Review Primavera de 2009: 20, No. 4. Copyright © 2009 Schlumberger.

TOBÍAS LEYVA PINTO (2011), Metodología para la identificación y determinación de geoformas y sus principales variaciones temporales mediante el uso de sensores remotos. Caso servitá. Tesis, programa de maestría en ciencias – geología. Universidad nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

UCLM. Formas de relieve derivadas de las acciones fluviales [en línea] disponible en: <http://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/fluvial.pdf> [consultado el 23/07/14]

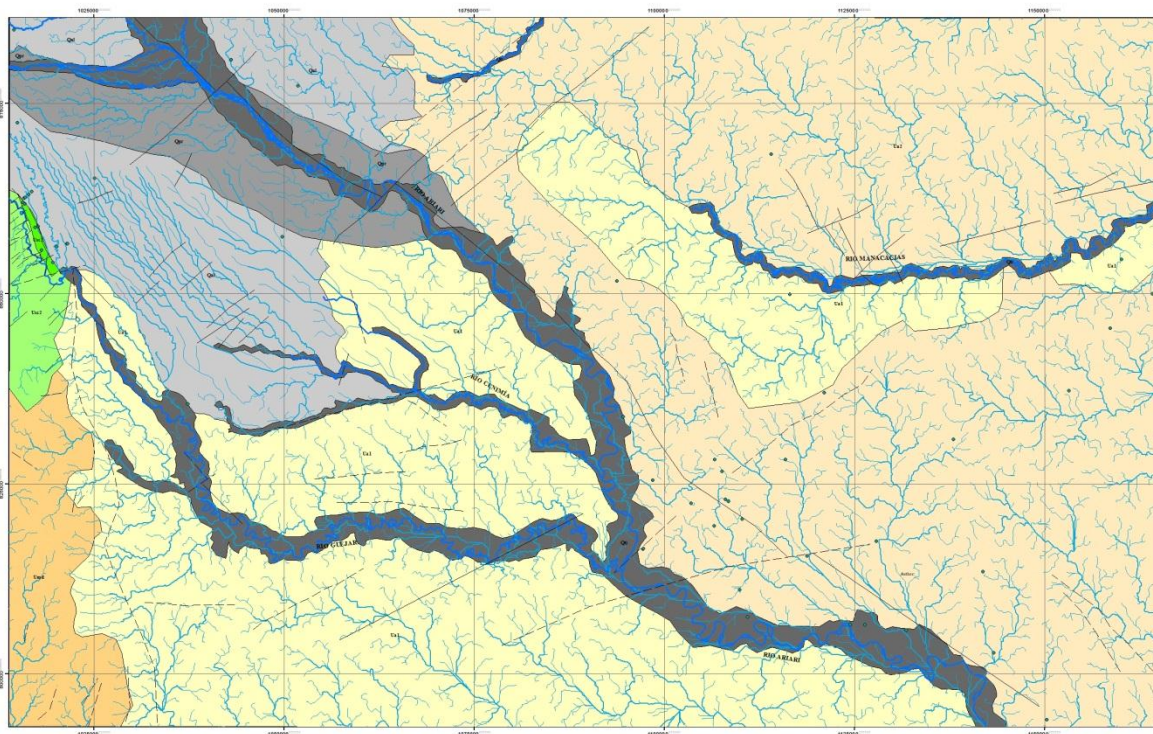
UJUETA G., Geomorfología Aplicada a la Exploración de Petróleo en Tierras Planas. I Simposio Bolivariano. Bogotá, Colombia. 1982

UJUETA, G: levantamiento rio Ariari, bogota y gachala en los departamentos de Cundinamarca y meta, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 18 (70): 345-358. 1992. ISSN 0370-3908

VARGAS CUERVO German Guía Y Catálogo De Unidades Geomorfológicas En Colombia Por Sensores Remotos, Universidad Nacional De Colombia Facultad De Ciencias Humanas Departamento De Geografia. 2013

# **ANEXOS**

## ANEXO A: MAPA GEOLÓGICO Y ESTRUCTURAL



## MAPA GEOLÓGICO Y ESTRUCTURAL

### CONVENCIONES

- RIOS
- QUEBRADAS
- FALLAS
- LINEAMINETOS
- POZOS

### LITOLOGÍA

- Qal
- Ua2
- Qpr
- Umd
- Qtz
- Usc1
- Ua1
- Usc2

Qal	Cuaternario Aluvial
Qpx	Cuaternario Aluvial Proximal
Qtz	Cuaternario de terrazas Aluviales
Ua1	Unidad Sedimentaria (Arenisca de grano Fino a)
Ua2	Unidad Sedimentaria (Arenisca de grano Fino )
Usc1	Unidad Sedimentaria (Arenisca de grano Medio a)
Usc2	Unidad Sedimentaria (Arenisca de grano Medio a)
Umd	Unidad Metamorfica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
ESCUELA DE GEOLOGÍA	
GENERACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y USOS Y COBERTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES EN LA ZONA SUR DE LA CUENCA LLANOS EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA EN UN ÁREA DETERMINADA DENTRO LOS BLOQUES CAÑO SUR, CPO 14, 17 Y RÍO ARIARI PARA LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES.	
FECHA : 01/08/2014	AUTORES: SUÁREZ G. NELLY I., REGALADO L. JOSÉ J.
ESCALA: 1:250.000	DIRECTORA: LILIANAN MARÍA SARMIENTO PLATA

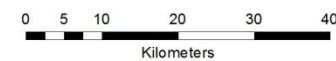


CONSTRUIAMOS FUTURO

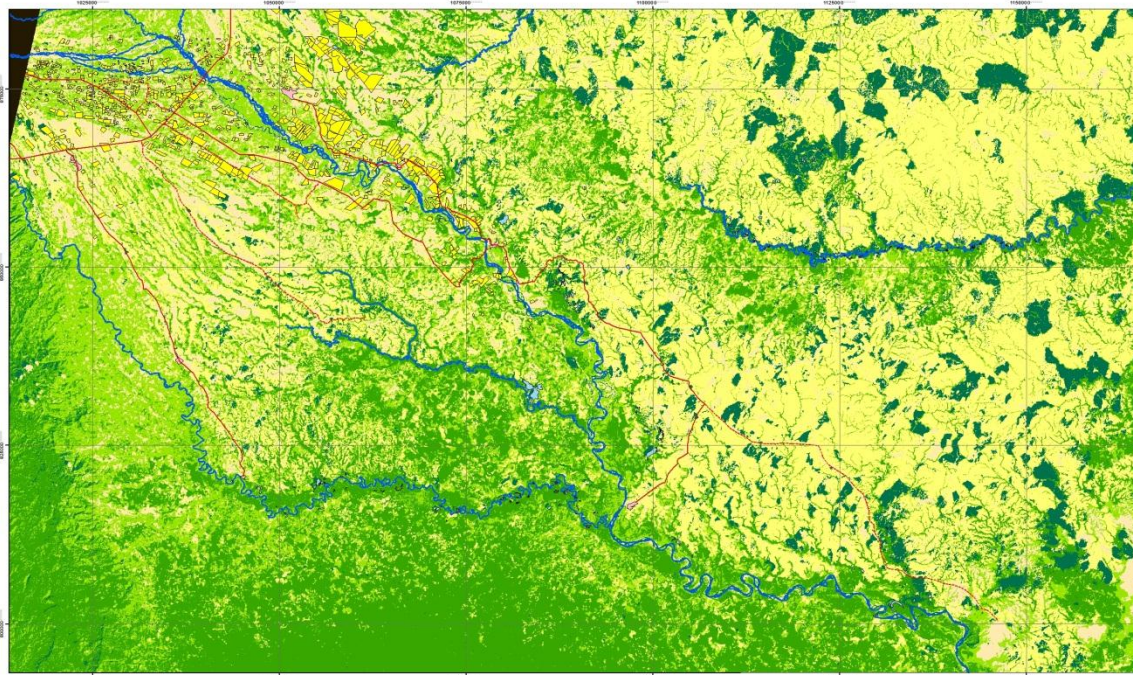
INFORMACIÓN DE REFERENCIA	
Mapa geológico generado a partir de Imágenes Landsat y Aster	
Path: 7 Row: 58	
PROYECCIÓN: Transversa de Mercator	
ORIGEN: Bogotá	



ESCALA : 1:250.000



## ANEXO B: MAPA DE USOS Y COBERTURA DEL SUELO



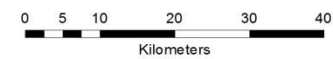
### MAPA DE USO Y COBERTURA DEL SUELO

#### CONVENCIONES

- Vias Principales
- Carreteables, Caminos
- Rios
- Cultivos
- Ciudades
- Lagos
- Sombra
- Herbazal arbolado inundable
- Pastos naturales
- Bosques de galerías
- Herbazal arbolado
- Suelo descubierto



ESCALA : 1:250.000



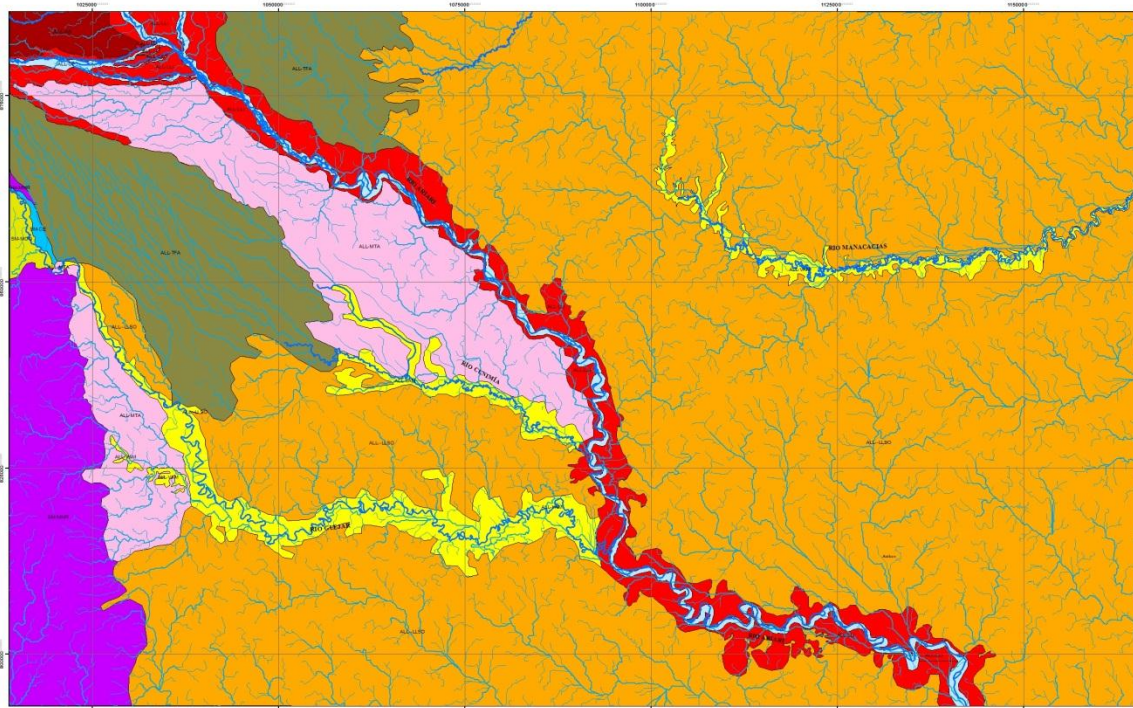
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE GEOLOGÍA	
GENERACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y USOS Y COBERTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES EN LA ZONA SUR DE LA CUENCA LLANOS, EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA, EN UN ÁREA DETERMINADA DENTRO LOS BLOQUES CAÑO SUR, CPO 16.11 Y RIO ARIARI PARA LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES	
FECHA: 01/09/2014	AUTORES: SUAREZ G. NELLY I., REGALADO L. JOSE F.
ESCALA: 1:250.000	DIRECTORA: LILIAN MARÍA SARMENTO PLATA



INFORMACIÓN DE REFERENCIA	
Mapa geológico generado a partir de Imágenes Landsat y Aster	
Path: 7 Row: 58	
PROYECCIÓN: Tránsversa de Mercator	
ORIGEN: Bogotá	



## ANEXO C: MAPA MORFOLÓGICO



### MAPA MORFOLÓGICO

#### CONVENCIONES

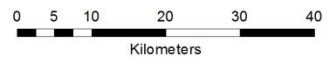
- RIOS
- QUEBRADAS
- ALL-LLSO
- ALL-AS
- ALL-CF
- ALL-LLI
- ALL-MTA
- ALL-TFA
- ALL-VAM
- SM-CE
- SM-MCO
- SM-MMR

ALTILLANURA-LLANOS ORIENTALES (ALL)	
ALL	Aluvial subcreciente
MTA	Meza y Terrazas Agradacionales
LLSO	Llanura Suave Ondulada
CF	Canal Fluvial
LLI	Llanura de Inundacion
TCA	Terrazas Cobrizo-Aluviales
VAM	Valles Aluviales Menores
SERRANÍA DE LA MACARENA (SM)	
CE	Cresta Estructural
MCO	Mesas, Cuestas y Superficies Onduladas
MMR	Mesas y Montañas Ramificadas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUOLA DE GEOLOGÍA	
GENERACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y USOS Y COBERTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES EN LA ZONA SUR DE LA CUENCA LLANOS, EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA, EN UN ÁREA DETERMINADA DENTRO LOS BLOQUES CAÑO SUR, CPO 16.17 Y RIO ARIARI PARA LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES	
FECHA: 01/08/2014	AUTORES: SUÁREZ G. NELLY I., REGALADO L. JOSE I.
ESCALA: 1:250.000	DIRECTORA: LILIANAN MARÍA SARMIENTO PLATA

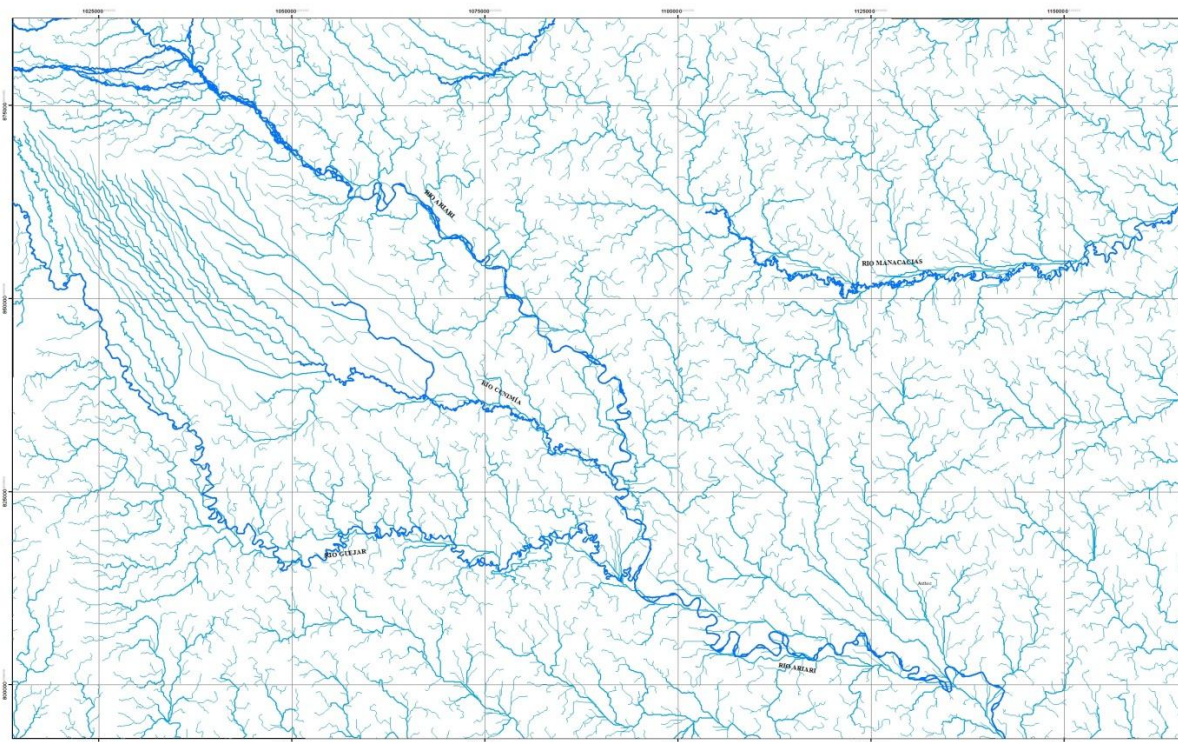


**ESCALA : 1:250.000**



<b>INFORMACIÓN DE REFERENCIA</b> Mapa geológico generado a partir de Imágenes Landsat y Aster Path: 7 Row: 58 PROYECCIÓN: Tránsversa de Mercator ORIGEN: Bogotá
---

## ANEXO D: MAPA DE PATRON DE DRENAJES



### MAPA DE PATRON DE DRENAJES

#### CONVENCIONES

- RIOS
- QUEBRADAS



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE GEOLOGÍA	
GENERACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y USOS Y COBERTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES EN LA ZONA SUR DE LA CUENCA LLANOS, EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA, EN UN ÁREA DETERMINADA DENTRO LOS BLOQUES CAÑO SUR, CPO 16, 17 Y RIO ARIARI PARA LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES	
FECHA: 01/08/2014	AUTORES: SUAREZ G. NELLY L., REGALADO L. JOSE J.
ESCALA: 1:250.000	DIRECTORA: LILIAN MARÍA SARMIENTO PLATA



INFORMACIÓN DE REFERENCIA
Mapa geológico generado a partir de Imágenes Landsat y Aster
Path: 7 Row: 58
PROYECCIÓN: Traslversa de Mercator
ORIGEN: Bogotá



ESCALA : 1:250.000

