Libertad y Orden

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

MEMORÍA GEOLÓGICA DE LA PLANCHA 196 RÍO GUACHIRÍA A ESCALA 1:100.000

Bogotá, junio de 2012

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

Libertad y Orden

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

PROYECTO GEO 09-05

ACTUALIZACIÓN MAPA GEOLÓGICO DE COLOMBIA

MEMORÍA GEOLÓGICA DE LA PLANCHA 196 RÍO GUACHIRÍA A ESCALA 1:100.000

Por:

Freddy Alexander Romero González
Jorge Luis Bojaca Bonilla

Edgar Joaquín Carrillo Lombana
Supervisor del Proyecto

Bogotá D.C, junio de 2012

CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCIÓN 13

2. GENERALIDADES 14
2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA 14
2.2 INFRAESTRUCTURA VIAL Y URBANA 16
2.3 CLIMA Y VEGETACIÓN 17
2.4 SUELOS 18
2.5 HIDROGRAFÍA 23

3. METODOLOGÍA 24
3.1 COMPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA 24
3.2 COMPILACIÓN E INTERPRETACIÓN DE FOTOS AÉREAS E IMÁGENES SATELITALES 24
3.3 COMISIÓN DE CAMPO CON OBTENCIÓN DE MUESTRAS 25
3.3.1 Muestreo Geoquímico en campo 29
3.4 ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS EN CAMPO E INTERPRETACIÓN 30
3.5 DESARROLLO DE MAPAS E INFORME FINAL 30

4. INTERPRETACIÓN DE SENSORES REMOTOS 31
4.1 INTRODUCCIÓN 31
4.2 MARCO REGIONAL 36
4.2.1 Planicie Aluvial 37
4.2.2 Depósitos Eólicos 37
4.2.3 Terrazas y Llanuras Aluviales 37
4.2.4 Terrazas Aluviales del Río Meta 38

5. GEOMORFOLOGÍA 39
5.1 UNIDADES DE ORIGEN ALUVIAL 41
5.1.1 Planicies Aluviales 42
5.1.2 Llanuras Aluviales 43
5.1.2.1 Terrazas Aluviales 43
5.1.2.2 Barras laterales 44
5.1.2.3 Barras longitudinales 45
5.1.2.4 Llanuras de inundación 45
5.1.3 Terrazas Aluviales del Río Meta 46
5.2 UNIDADES DE ORIGEN EÓLICO 47

6. ESTRATIGRAFÍA 49
6.1 UNIDADES VISTAS EN CAMPO 49

6.1.1 CUATERNARIO 49
6.1.1.1 Depositos de Terrazas y Llanuras Aluviales (Qhdta) 49
6.1.1.2 Depósitos en Planicies Aluviales (Qhpa) 54
6.1.1.3 Depósitos Eólicos (Qpde) 56
6.1.1.4 Terrazas Aluviales del Río Meta (Tarm) 59
6.2 UNIDADES DEL SUBSUELO 59
6.2.1 TERCIARIO 61
6.2.1.1 Formación Guayabo 62
6.2.1.2 Formación León 62
6.2.1.3 Formación Carbonera 62
6.2.1.4 Formación Mirador 63
6.2.2 CRETÁCEO 63
6.2.2.1 Grupo Guadalupe 64
6.2.3 PRECÁMBRICO 64
6.2.3.1 Basamento Granítico 64

7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 65
7.1 BULGE DEL RÍO META 67
7.1.1 Falla del Río Meta 67

8. GEOQUÍMICA 68
8.1 PLANICIES ALUVIALES 68
8.2 DEPÓSITOS DE LLANURA Y TERRAZAS ALUVIALES 69
8.3 TERRAZAS ALUVIALES DEL RÍO META 71
8.4 DEPÓSITOS EÓLICOS 71
8.5 UNIDADES NO SUPERFICIALES 72

9. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA 73
9.1 PALEOCLIMATOLOGÍA EN EL CUATERNARIO 74

10. GEOLOGÍA ECONÓMICA 76

11. PROBLEMÁTICA GEOAMBIENTAL 78

12. CONCLUSIONES 80

13. BIBLIOGRAFÍA 82

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ubicación de la Plancha 196 Río Guachiría. **15**

Figura 2. Vías de Acceso a la Plancha 196 Río Guachiría. **16**

Figura 3. Histograma de precipitación 2008 – 2009 – 2010 y 2011. Estaciones IDEAM Paz de Ariporo y Trinidad. **18**

Figura 4. Mapa de Suelos de la Plancha 196 Río Guachiría (Tomado de www.igac.gov.co, 2011). **22**

Figura 5. Identificación morfológica de los depósitos aluviales (Tomado de Hürlimann, 2008). **25**

Figura 6. Clasificación composicional para rocas siliciclásticas modificado de Dott, 1964; en Terraza, 2009. ..... **27**

Figura 7. (Izquierda) Términos descriptivos para la forma de la estratificación de Campbell, 1967; en Terraza, R., 2009. (Derecha) Escala para espesores de capas y laminas, basado en Reineck & Singh, 1973; en Terraza, 2009. ..... **29**

Figura 8. Líneas de Vuelo de la Plancha 196 – Rio Guachiría. **32**

Figura 9. Fotointerpretacion de aerofotografias. **34**

Figura 10. Imagen Satelital Interpretada de la Plancha 196 (Bandas 3, 4, 5). **35**

Figura 11. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999), Ingeominas (2000). Tomado de Carvajal (2008). **40**

Figura 12. Metodología para la interpretación geológica y geomorfológica de sensores remotos (Tomado de Carrillo E, 2008). **41**

Figura 13. Planicies aluviales (Colores café, verde a negro); y llanuras aluviales (verde amarillo). **42**

Figura 14. Zona de planicie aluvial, observe su vegetación baja, son pastos bajos en la zona de bancos y pastos altos en la zona de bajos; al fondo llanura aluvial (vegetación frondosa) (N: 1'090.854 m, E: 1'012.478 m). **42**

Figura 15. Llanura de Aluvial Caño Las Guamas (Puente Pozo Cuervas 6) **43**

Figura 16. Terraza Generada por efectos erosivos del Río Guachiría (N: 1'091.148 m, E: 1'031.148 m). **44**

Figura 17. Barra Lateral Río Guachiría, se ven los niveles de inundación por cambios de pendiente. (N: 1'092.318 m, E: 1'032.718 m)..... **44**

Figura 18. Barra longitudinal Río Meta (Puerto Mister, Vichada)..... **45**

Figura 19. Zona del Caño Los Venados, se ven dos niveles de inundación (N: 1'102.247 m, E: 1'006.771 m). **45**

Figura 20. Terrazas bajas del Río Meta, ver sus zonas disectadas (Flanco Vichadense). **46**

Figura 21. Vista de imagen de satelite de las Terrazas Aluviales del Río Meta .. **46**

Figura 22. Vista de duna (Médano del Gaván) en la zona de la Vereda San Esteban, vista de su forma globular y su poca presencia de vegetación (N: 1'102.636 m; E: 1'037.238 m) **47**

Figura 23. Imagen satélite; depósitos Eólicos zona noreste de la Plancha 196 Río Guachiría (Azul aguamarina)..... **48**

Figura 24. Terraza del Caño Yatea, la línea blanca en la parte superior señala el límite de esta el cual está a 20 m de la orilla del afluente y se extiende 50 m a ambos lados. **50**

Figura 25. Columna detallada deposito de terraza aluvial del Caño Chiquito coordenadas limites con la Plancha 196 – Guachiría E: 995.441 m. N: 1.098.726 m. **51**

Figura 26. Depósito del Río Guachiría arena lítica de grano medio a grueso (un 75% cuarzo sub-redondeado a sub-esférico y 25% líticos) se observa facies como laminación inclinada planar y festoneada indicando la dirección de la corriente. **52**

Figura 27. La foto izquierda muestra un claro ejemplo de cómo se ve la llanura de inundación en los afluentes de la zona, en este caso particular la imagen (izquierda) mostrando la llanura del Río Guachiría (Zona de Finca Campoalegre),

la foto derecha muestra una barra longitudinal de composición arenosa del Río Meta (Puerto Mister). **53**

Figura 28. Talud de 4 m del Río Guachiría localizado en las coordenadas. E: 1.033.125 m; N 1.094.028 m. **53**

Figura 29. Litología de arenas finas a gruesas (un 85% cuarzo y 15% líticos), depósito del Río Guachiría. **54**

Figura 30. Columna de la llanura de los depósitos aluviales de llanura de inundación del Caño La Hermosa. Localizada en las coordenadas, E: 1041209 m, N: 1113729 m. **54**

Figura 31. Vista planicies extensas en la Zona de Candilejas (Limite con la Plancha 196 - Río Guachiría). **55**

Figura 32. Resultado Granulométrico de los depósitos eólicos en la Zona de Anolaima. **57**

Figura 33. Depósitos Eólicos (Dunas) en la zona de la Finca San Esteban, obsérvese sus formas elongadas, litología (arenas cuarzosas) y vegetación incipiente. **58**

Figura 34. Perfil esquemático de la zona, basado en los pozos estratigráficos observados. **60**

Figura 35. Columna estratigráfica generalizada de la Plancha - 196 Río Guachiría. Tomado de Barrero D*. et al.,* 2007 **61**

Figura 36. Sección transversal esquemática de la Cuenca de los Llanos Orientales (Tomado de Barrero *et al*., 2007) **66**

Figura 37. Distribución de campos de Perenco, se ve ciertos alineamientos estructurales, ya que estas trampas son de este tipo (Perenco, 2011). **67**

Figura 38. Zonas de altos de planicie aluvial, ver lodos cafés – grises por efecto de lavado (pastos bajos) (N: 1’118.577 m, E: 1’045.449 m) **68**

Figura 39. Zona de planicie aluvial (bajos (zonas de inundación casi permanente con pseudopastos y las zonas fluctuantes con pastos altos) rica en materia orgánica e incipiente formación de costras de hierro (?) (N: 1’112.486 m, E: 1’035.764 m). **69**

Figura 40. Zona de paleo oxbow lake, ya que presenta capas lenticulares de hierro (abajo) y de materia orgánica (turba arriba), en zona actual de terraza (Caño La Hermosa) (N: 1’113.729 m, E: 1’041.209 m) **70**

Figura 41. Zona de terraza en donde se ve el lavado de los sedimentos asociados, dando estas matices típicas de colores rojizos a cafés (N: 1'091.167 m, E: 1'032.185 m) **..... 70**

Figura 42. Barra donde se observa la estratificación, se ven los Siliciclasticos (Cuarzo) con algo de hierro y líticos, típicos de barras laterales (N: 1'093.753 m, E: 1'036.039 m). **..... 71**

Figura 43. Arenas silíceas con algunas costras incipientes de hierro y aluminio (N: 1'102.636 m, E: 1'037.238 m) **..... 72**

Figura 44. Títulos mineros dentro de la Plancha 196 Río Guachiría y sus alrededores. **..... 76**

Figura 45. La figura indica el terraplén el cual impide el descole de las aguas**. ... 78**

Figura 46. En la fotografía de la izquierda, zona de erosión del talud del Río Guachiría – Caño Los Bejucos localizado en la Hacienda Palmeiras. En la fotografía de la derecha talud del Río Guachiría mostrando erosión (Finca El Disonante). **..... 79**

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Ubicación de la Plancha 196 Río Guachiría..... **14**

Tabla 2. Escala de tamaño de granos, basada en Wentword, 1922; en Terraza, 2009. ..... **28**

Tabla 3. Muestras Recolectadas para geoquímica, representativas de cada unidad. (Qhdta: Depósitos de Terrazas y Llanuras Aluviales; Qhpa: Depósitos de Planicies Aluviales; Qpde: Depósitos Eólicos) **29**

Tabla 4. Fajas de fotos aéreas y dirección de la línea de vuelo (N.D: No hay datos disponibles). **31**

Tabla 5. Clasificación de las Unidades Geomorfológicas según el ITC (Modificado de Forero, 1977 y 1978; Khobzi, 1980 y 1981; Flores *et al*., 2010; y UNSL, 2011). **36**

Tabla 6. Ubicación pozos Estratigráficos analizados. **59**

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Resultados de tamizaje **89**
Anexo B. Resultados de Geoquímica **90**
Anexo C. Mapa de estaciones de campo y muestreo **91**
Anexo D. Libretas de campo Plancha 196 ..... **92**
Anexo E. Mapas de campo escala 1:25.000 ..... **93**
Anexo F. Pozos Estratigráficos de la zona de trabajo **94**
Anexo G. Plancha Geológica 196 Río Guachiría escala 1:100.000 ..... **95**

RESUMEN

La Plancha 196 Río Guachiría, en escala 1:100.000, se encuentra ubicada al Noreste del Departamento del Casanare, entre el Municipio de Trinidad, el cual está ubicado al sur de la plancha y el Municipio de Paz de Ariporo, al Norte de la misma; y en Noroeste del Departamento del Vichada, en los Municipios de Santa Rosalía y Primavera, que están localizados en la parte sureste del mapa, abarcando un área de 2.400 Km^2.

En los últimos 30 años la región ha registrado un importante desarrollo en la industria petrolera, por lo que cada vez es más común encontrar campo petroleros en ejecución y además porque a la luz de los trabajos realizado por las empresas petroleras que están incursionando en la región, han surgido propuestas de modelos estructurales. Sin embargo a la fecha el Servicio Geológico Colombiano no ha podido disponer de información referente a estos estudios.

Geológicamente en esta plancha, a nivel superficial, se presentan solo unidades cuaternarias, desde las de origen eólico del Pleistoceno, hasta las de origen aluvial, de edad holocena. A nivel subsuperficial se presenta una cobertera cuaternaria a la que infrayacen unidades del Terciario, Mesozoico y Paleozoico que pertenecen a la Subcuenca de los Llanos Orientales, la cual tiene un alto grado de evolución y no evidencia actividad tectónica relevante. La cobertera sedimentaria tiene un gran espesor y a nivel estructural se observan fallamientos normales, que no afloran en superficie, así como estructuras con una componente de cabalgamiento.

Desde el punto de vista ambiental, se plantean aspectos relevantes relacionados con la evolución del paisaje que varía desde semidesértico en el Pleistoceno a sabana tropical en el presente. Estas apreciaciones deben ser tenidas en cuenta y abordadas por parte de los organismos gubernamentales a fin de que sean involucradas dentro de los POT, para que de esta forma se puedan tomar decisiones acertadas dentro la ejecución de cualquier proyecto socioeconómico o cultural.

ABSTRACT

The “Plancha 196 Río Guachiría”, in 1:100.000 scale, it is located in the northeastern of Casanare Department, between the Municipio of Trinidad, which is located in the south part of the map and the Municipio de Paz de Ariporo, in the North of the one; and in the northwest of Vichada Department in the municipios of Santa Rosalía and Primavera, that they are located in the southeastern part of the map, occupying an area of 2400 Km^2.

In the last 30 years, the region has registered an important development in the petroleum industry, therefore is more common to find petroleum fields in development and also the works publication done by the petroleum companies that are inroad in the region, has emerged proposals of structural models. Regardless, the Servicio Geologic Colombiano had not had get the information referring of related studies.

Geologically in this plot, on surface, there are only Quaternary units, since the Pliestocene Eolian origin units until the alluvial origin units, of Holocene age. On subsurface, there is the Quaternary coverage that is overlying the Tertiary, Mesozoic and Paleozoic units, That belong to the Eartern Plains Sub – Basin, which has a high grade evolution and non evidence of relevant tectonic activity. The sedimentary coverage has a great thickness and in the structural level is looking normal faulting, that do not outcrop in surface, such as thrusting component structure.

Since the environmental point, there are espousing relevant things related with the landscape evolution, which changes since semidesertic in the Pleistocene to the actual tropical savanna. These considerations should be considered and taken by the governmental entities to be involved in the POTs, in way to take the correct decisions into the execution of any socioeconomic or cultural project.

1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de avanzar en el conocimiento geológico integral del territorio colombiano, el Servicio Geológico Colombiano a través del Proyecto GEO 09-05, realizó la cartografía geológica y muestreo geoquímico de la Plancha 196 Río Guachiría a escala 1:100.000.

En este informe se muestran los resultados del estudio geológico de la plancha en cuestión, la cual fue levantada con el objetivo principal de cartografiar, describir y reconocer las unidades litológicas y geomorfológicas que afloran en el área, además de realizar un muestreo geoquímico sistemático de sedimentos.

El presente informe busca proporcionar una herramienta fundamental al gobierno nacional, departamental, municipal, corporaciones regionales, así como a otras entidades de carácter oficial y privado del Departamento de Casanare, para la planificación, desarrollo de proyectos y obras de infraestructura civil (vías, embalses, presas, riegos, entre otros), prospección y aprovechamiento de recursos del subsuelo, e identificación de amenazas geológicas.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La Plancha 196 Río Guachiría se ubica en los departamentos de Casanare y Vichada, abarcando una extensión de 2400 km^2, donde se tiene un relieve plano, que va ubicado en las coordenadas con referencia MAGNA SIRGAS Colombia Este (ver Tabla 1).

Como localidades importantes se reconocen el Municipio de Trinidad al sur, con las Veredas Porvenir del Guachiría, El Banco (Bocas del Pauto), al Municipio de Paz de Ariporo en la parte norte con las Veredas Normandía, San Pablo, San Esteban, La Hermosa y Centro Gaitán, separados estos dos municipios con limite en el Río Guachiría, en el oeste del Río Meta (Departamento de Casanare) y al sureste del Río Meta con los municipios de La Primavera y Santa Rosalía (Departamento del Vichada), tal y como se puede observar en la Figura 1.

Su topografía es relativamente plana, ya que sus pendientes son menores a 5º, típico de llanuras, su altitud va desde los 120 m en las zonas planas hasta 130 m en las zonas de elevación, que los pobladores de la zona llaman medanos, que son elementos excepcionales del paisaje.

Tabla 1. Ubicación de la Plancha 196 Río Guachiría.

Punto	Este (m)	Norte (m)
1	1.000.000	1.080.000
2	1.060.000	1.080.000
3	1.000.000	1.120.000
4	1.060.000	1.080.000

De la Plancha 196 Río Guachiría escala 1:100.000 se derivan las siguientes planchas 1:25.000, en el lado noroeste están la 196-I-A, 196-I-B, 196-I-C y 196-I-D. En el lado noreste están la 196-II-A, 196-II-B, 196-II-C y 196-II-D. En el lado suroeste están la 196-III-A, 196-III-B, 196-III-C y 196-III- D. Y en el lado sureste están la 196- IV-A, 196- IV-B, 196- IV-C y 196-IV-D.

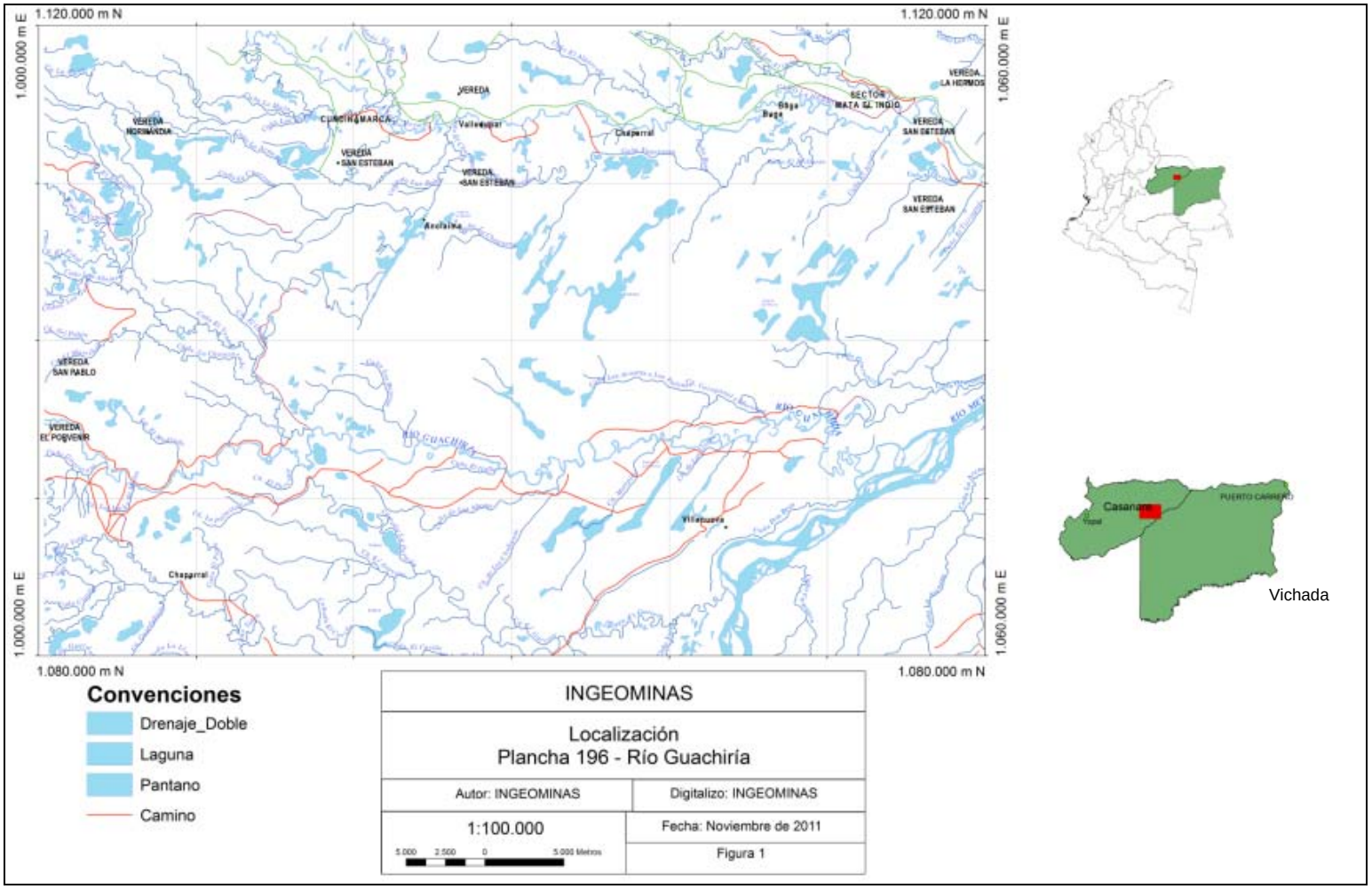


Figura 1. Ubicación de la Plancha 196 Río Guachiría.

2.2 INFRAESTRUCTURA VIAL Y URBANA

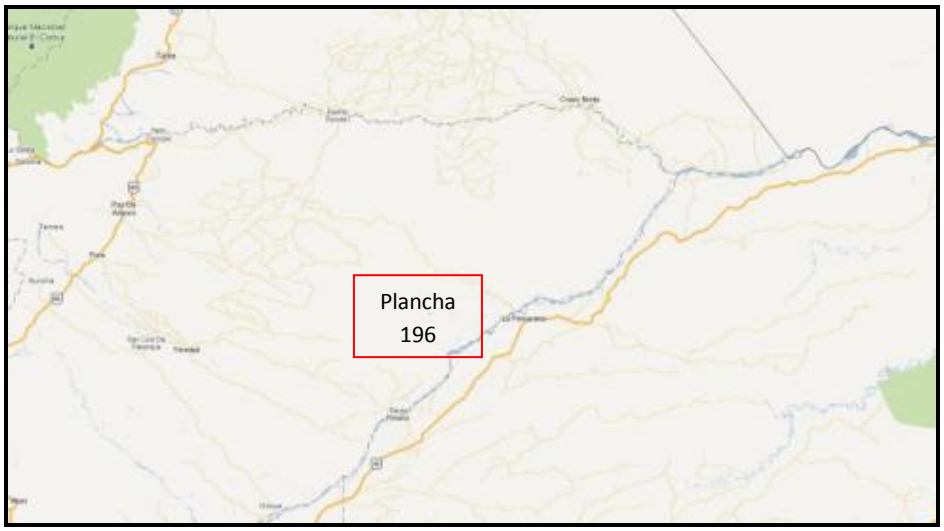


Figura 2. Vías de Acceso a la Plancha 196 Río Guachiría.

- Para acceder a las Planchas 196-I-A, 196-I-C y 196-III-A, se llega por la vía que conduce de Paz de Ariporo hacia la Vereda Caño Chiquito, pasando por la Vereda Centro Gaitán, desviándose por las baterías de extracción del campo Dorotea oeste.

- A las Planchas 196-I-B y 196-II-A y 196-II-B se tiene acceso por la vía principal que comunica la población de Paz de Ariporo con la con la Vereda de Caño Chiquito y posteriormente hacia el noreste la Vereda de Centro Gaitán, por el camino a los pozos 6, 7 y 8 de campo Cuervas, o por la vía que va de Paz de Ariporo a Montañas del Totumo – Las Guamas – La Hermosa.

- Para las Planchas 196-I-D, 196-II-A, 196-II-B, 196-II-C y 196-II-D, se ingresa por la vía principal que comunica el Municipio de Paz de Ariporo con la Vereda de Caño Chiquito y posteriormente hacia el noreste la Vereda de Centro Gaitán, por la vía que va la Finca Anolaima, por el camino a los pozos de campo Cuervas, tomando el desvío para cuervas 11 y 12 o para los pozos cuervas 14 y 15, o por la vías que va de Paz de Ariporo a Montañas del Totumo – Las Guamas – La Hermosa, desviando por los puentes del Caño Las Guamas, pasando el puente del Caño la Hermosa, tomando el primer desvío.

- A las Planchas 196-III-A, 196-III-B, 196-III-C, 196-III-D y 196-IV-A solo tienen acceso por la vía que conduce del Municipio de Trinidad hasta el Porvenir del Guachiría, o de Paz de Ariporo – Caño Chiquito y previo a llegar Centro

Gaitán, se toma el puente, que conduce a la vía anterior, o desde Bocas del Pauto – Porvenir del Guachiría, en solo época seca.

- Para las Planchas 196-IV-A, 196-IV-B y 196-IV-C se llega por la vía principal de comunica la población de Trinidad – Vereda Bélgica – Vereda Mandarino – Caserío Bocas del Pauto – Finca el Campin, este último es un camino de verano.

- Para ingresar a las Planchas 196-IV-B y 196-IV-D, se llega por lancha desde el Municipio de La Primavera (Vichada) o desde el Municipio de Santa Rosalía (Vichada).

De estas vías se desprenden varias carreteras viables (terraplenes, caminos de veranos, etc.) que conducen a los diferentes caseríos y veredas de la región, de las cuales la mayoría son difícilmente transitables en vehículo durante la temporada lluviosa; por lo tanto a la mayor parte del área de estudio se debió acceder en semovientes o en lancha.

2.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

Con base en el análisis del histograma de frecuencia de la precipitación (ver

Figura 3), de las estaciones meteorológicas de Trinidad y Paz de Ariporo, la temporada lluviosa empieza en abril y se prolonga hasta noviembre, presentándose en este lapso de tiempo cerca del 90% del total de las lluvias del año; las mayores precipitaciones (totales mensuales) se presentan en los meses de mayo, junio y julio, siendo julio generalmente el mes más lluvioso. El periodo seco va de diciembre a marzo y se caracteriza por una disminución notable de la precipitación. Comúnmente durante estos cuatro meses sólo llueve cerca del 10% del total anual, siendo generalmente enero el mes más seco.

El comportamiento de las lluvias, tiene influencia de las corrientes procedentes del Océano Atlántico venezolano y NE colombiano. Esta influencia trae consigo que exista una continuidad entre el invierno provocado por los vientos procedentes de la Amazonía durante el movimiento regular de la zona de confluencia intertropical, cuando baja en abril o mayo al Ecuador y regresa hacia los meses de octubre y noviembre al Atlántico, generando en la zona de piedemonte un régimen Monomodal de precipitación. (CORPORINOQUIA, 2008).

Los vientos de la región están dados en su mayoría por los alisios que atraviesan la región de NE a SO, estos vientos se originan en el centro anticiclonal de las Azores en el Atlántico norte. (ECOFONDO, 2007).

Según la clasificación Koepen el clima del área de estudio, es Tropical lluviosa de bosques y sabanas y según Holdridge clima cálido húmedo (ECOFONDO, 2007).

La temperatura promedio mensual en el área varía entre 27.5 grados centígrados en las partes más bajas. El comportamiento de la temperatura es uniforme a través del año (EOT, 2007).

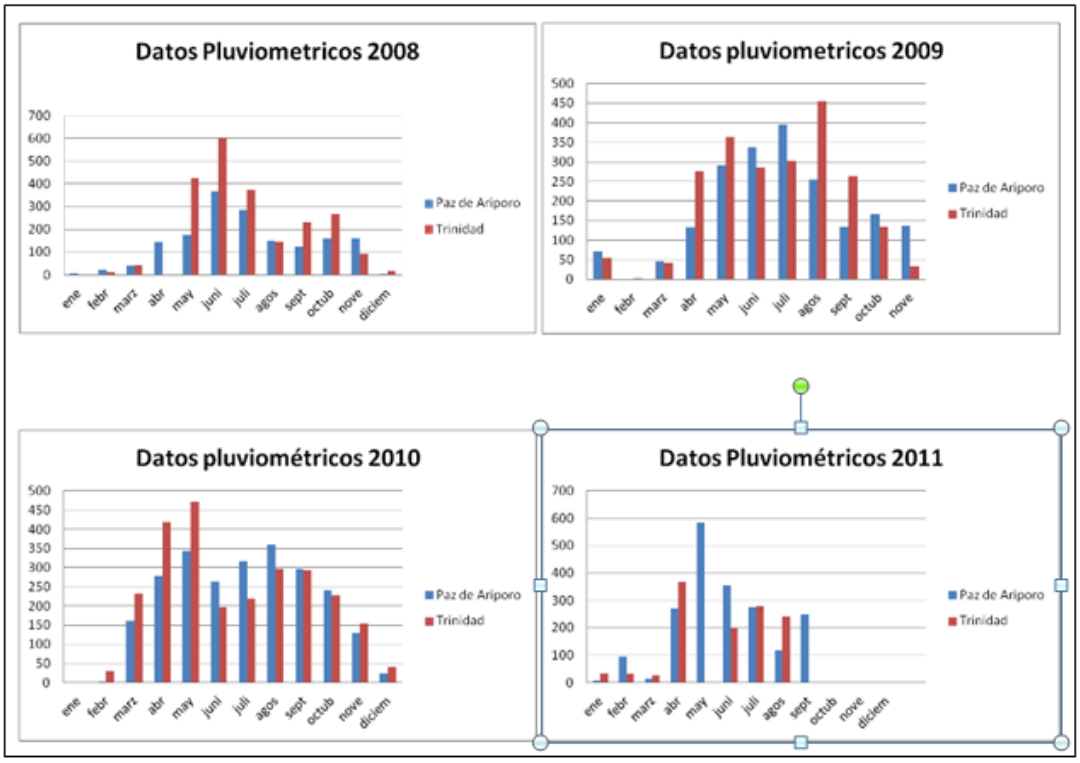


Figura 3. Histograma de precipitación 2008, 2009, 2010 y 2011. Estaciones IDEAM Paz de Ariporo y Trinidad.

2.4 SUELOS

Para la Plancha 196 Río Guachiría , los estudios realizados sobre el suelo tienen como referencia el documento Suelos Departamento del Casanare, realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en 1993; de acuerdo con el origen y evolución de los suelos, en el área de estudio estos son relativamente jóvenes o poco evolucionados, pertenecientes a los órdenes de los Entisoles (suelos jóvenes sin desarrollo de horizontes, generalmente fértiles, excepto los arenosos) e Inceptisoles (suelos jóvenes con desarrollo de horizontes y de fertilidad variable) principalmente.

En general los suelos de la Plancha 196 Río Guachiría son planos, con pendientes máximas de tres a siete grados que dan como resultado suelos superficiales, limitados por la presencia del nivel freático fluctuante, ya que sufren inundaciones o encharcamientos durante la época de lluvias (IGAC, 1995). La mayoría de los suelos en esta parte de los Llanos Orientales corresponden a sedimentos limo – arcillosos recientes de origen aluvial y con laterización, caracterizados por alto

contenido de hierro y aluminio y la pérdida de minerales básicos por lixiviación debido al exceso de humedad durante la época de lluvias (IGAC, 1995).

Son suelos de baja fertilidad, de reacción muy ácida, de saturación de bases mediana y contenido de fósforo bajo. El desarrollo de estos suelos ha sido a partir de sedimentos aluviales del Pleistoceno transportados desde la cordillera oriental. Las texturas son de medias a finas, predominando las primeras en los suelos de rebordes de caños y ríos, y las finas en los bajos.

Los suelos que abarcan la Plancha 196, de acuerdo a su posición topográfica, se definen esencialmente en dos unidades fisiográficas (IGAC, 1993).

- *Los suelos de planicie*, se encuentran en zonas planas o ligeramente onduladas. El origen y la evolución de los suelos de planicie fueron influenciados por los factores clima, tiempo, topografía, organismos y a los materiales provenientes del sistema montañoso. La planicie está conformada por la llanura fluvial y la llanura con influencia eólica.

En esta clasificación se tienen los tipos V y VI, que son de planicie aluvial y el tipo VII, de origen eólico, que son explicados de la siguiente forma:

- *Tipo V o Planicies Convexa:* Estos suelos se dan en zonas planas (pendiente de 1 – 3%) convexas, se caracterizan por ser de textura muy fina a fina, arcillosos a limosos, con lentes de hierro y turba en profundidad; poca permeabilidad; porosidad variable de acuerdo a la textura; fertilidad pobre a moderada hacia el borde con la zona de terraza aluvial; en sectores ricos en materia orgánica, pero son en general pobres en potasio, nitrógeno, fosforo, magnesio y calcio, pero ricos en aluminio.

  Sectores con escarceos y surcales, mostrando un grado ligero de erosión, y son mal drenados, quedando inundados casi todo el tiempo.

  En esta clasificación entran las abreviaturas AVAa1 (Vichada), VRAa, VREa y VRFa1.

- *Tipo VI o Planicies Cóncavas:* Estos suelos se dan en zonas planas pendiente de1 – 3%) cóncavas, se caracterizan por ser de textura muy fina a fina, limosos, ácidos, poco fértiles, pobres en materia orgánica, potasio, calcio, nitrógeno, magnesio y fosforo, pero ricos en aluminio; a profundidad se observan lentes de concreciones de hierro y turba; son muy porosos y muy permeables, fluctuantes con el nivel freático.

  Se dan tramos con erosión ligera, son en general bien drenados.

  En esta clasificación se incluyen las abreviaciones AVAa1 (Vichada), VRAa, VREa y VRFa1.

- *Tipo VII o Planicie Eólica:* Estos suelos, concuerdan con las dunas, de pendiente plana - ondulada (1 – 3 % y 3 – 7%), cóncavo – convexas, debido a su geomorfología, de textura fina – media, cuarzo - arenosos, turberas en medio de cada duna, formando lodos arenosos gris – café – negro ricos en materia orgánica, pero en general son pobres en materia orgánica, potasio, nitrógeno, magnesio y fosforo, pero ricos en aluminio y sílice; porosidad y permeabilidad variable.

Son de drenaje variado, de acuerdo a la zona, erosión leve a moderada en tramos.

En esta clasificación están los suelos tipo VRGa1 y VRGa2.

- *Los suelos de valle* se encuentran en superficies alargadas y se forman por la incisión de las corrientes de agua que descienden de la cordillera y de otras zonas altas.

En esta clasificación están los tipo IV o de llanura aluvial, los tipo VII o de terraza aluvial, y los tipos IV, V y VI o de terrazas aluviales del Río Meta

- *Tipo IV o Llanura Aluvial/Terraza Aluvial Río Meta 2:* Estos suelos se caracterizan por tener una pendiente plana, texturas medias a gruesas, limos a arenas medias; no incluye meandros abandonados, inundación fluctuante con el nivel freático; poco a moderadamente fértiles (son los sitios más con suelos más fértiles); ácidos y pobres en calcio, magnesio y nitrógeno.

  Son suelos bien drenados en general, pero hacia el Río Meta hay tramos inundables y con drenaje imperfecto, y sin erosión evidente

  En esta clasificación entran las abreviaturas VVEa, VVGa y VVDai (Terraza Río Meta 2).

- *Tipo V o Terraza Aluvial Río Meta 1:* Estos suelos, exclusivos de las terrazas del Río Meta, se da en pendientes planas, con texturas finas a medias, con fertilidades muy pobres, poca porosidad y permeabilidad, ácidos, pobres en nitrógeno, fosforo y potasio, pero ricos en materia orgánica y aluminio.

  Son suelos poco drenados, que se la pasan inundados buena parte del año, que no han sido erodados.

  Dentro de esta clasificación están la abreviación VVAai.

- *Tipo VI o Terraza Aluvial Rio Meta 3:* Estos suelos, exclusivos de las terrazas del Río Meta, se dan en pendientes planas (1 – 3%), con texturas finas a medias, que varían en su nivel freático, muy porosos y permeables, ácidos, pobres en nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, pero ricos en sílice (cuarzo) y aluminio; con lentes esporádicos de concreciones y turba.

Son suelos bien drenados, que varían con respecto al nivel freático su nivel de inundación (se inunda en épocas de lluvia), y sin erosión.

Con esta clasificación se tienen las abreviaciones AVGaz y VVEa

- *Tipo VII o Terraza Aluvial:* Estos suelos se caracterizan por tener pendiente variable de plana – ondulada - moderada, texturas zonadas de fino a grueso, muy ácidos, poco fértiles, incluye zonas de meandros abandonados, pobres en calcio, potasio, fosforo, nitrógeno y magnesio, pero ricos en aluminio y en tramos en materia orgánica y hierro.

Son suelos de erosión sectorizada, y drenaje sectorizado.

En esta clasificación se incluyen las abreviaturas AVIai (Riachuelos Río Meta) VRFa1 y VRDa.

- *Sin Tipo o Barras Aluviales:* Estos suelos son muy jóvenes, temporales, por la dinámica del río, de textura gruesa, arenosos de grano grueso a muy grueso, dependientes de la dinámica fluvial en épocas de lluvias

En esta clasificación está la abreviatura VVAai.

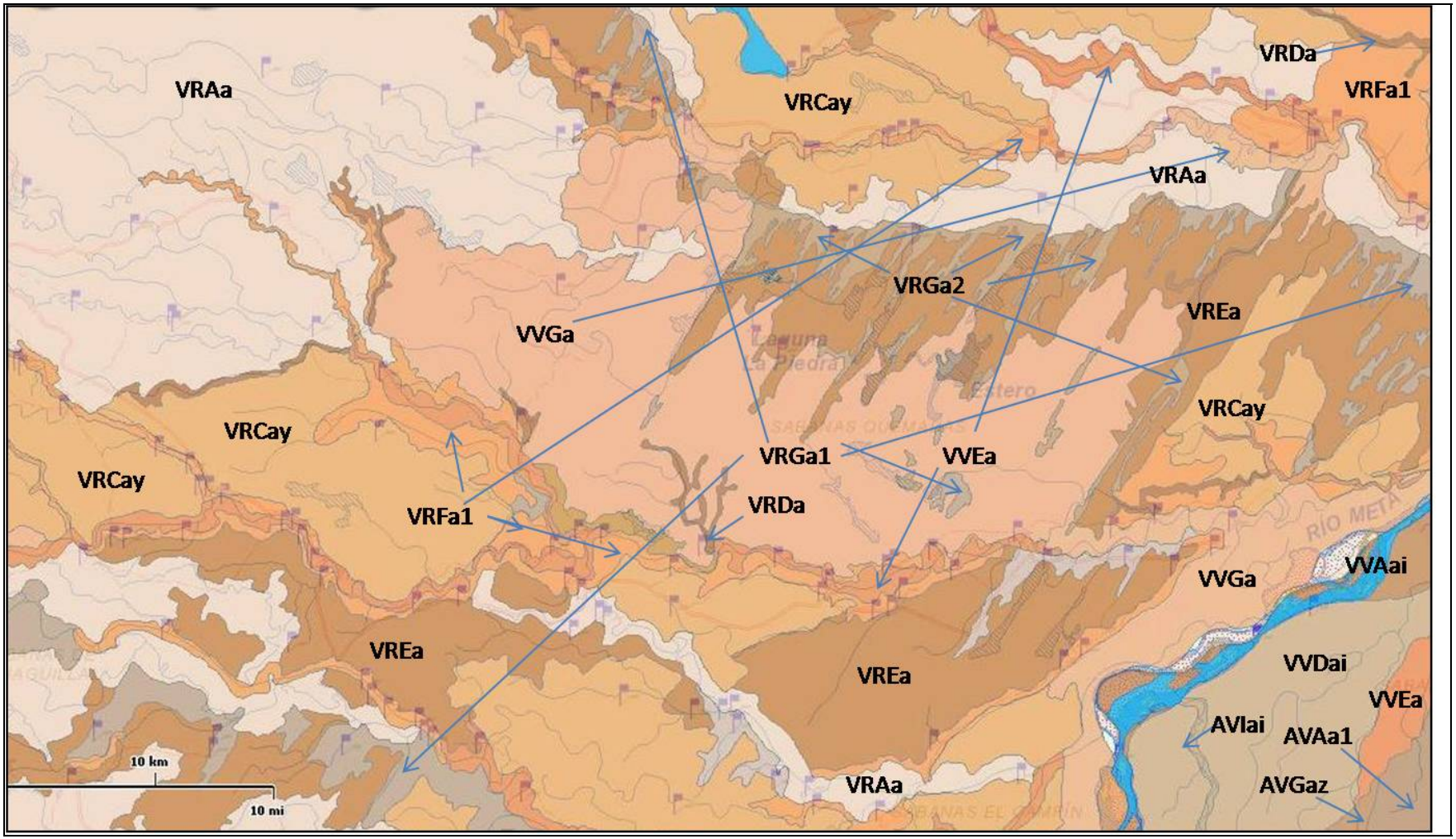


Figura 4. Mapa de Suelos de la Plancha 196 Río Guachiría (Tomado de www.igac.gov.co, 2011).

2.5 HIDROGRAFÍA

Las principales cuencas hidrográficas que están dentro de la Plancha 196 Río Guachiría (Tomado de EOT, 2007), son:

- *La Cuenca el Río Guachiría:* con una longitud de 230 km se extiende desde el Piedemonte Llanero hasta su confluencia en el Río Meta, drenando áreas de los municipios de Pore, Paz de Ariporo y Trinidad. Presenta un patrón de flujo de río sinuoso, ancho y uniforme y tiene pocos tributarios por la margen izquierda, sector de Trinidad, debido a que su recorrido en sentido SE al igual que la pendiente del terreno, obligan a que los caños corran en su mayoría paralelos a su cauce y que confluyan al Río Meta. Entre los 23 tributarios principales del Río Guachiría están la Cañada Santa María, Guarataro, las Abejas y otros menores. El área total de esta cuenca es del orden de 1113,8 km^2, de las cuales le corresponde al Municipio de Trinidad un total de 55.935,1 Has.

- *Los caños Yatea y Yaguarapo:* la unión de varios caños, como el Caño El Totumo, que conforman el Caño Yaguarapo y que a su vez se une con el Caño Yatea, son tributarios del Río Meta. Atraviesan casi todo el municipio, en dirección Este - Oeste y se constituyen en algunos de los drenajes más importantes, recibiendo en el recorrido el desagüe de otros caños con una red de drenaje dendrítica a subparalela densa. El área total aproximada es de 997.4617 has, que representan el 32,6% del área del Municipio Trinidad.

- *El Caño la Hermosa y Las Guamas;* nacen en la sabana y van en dirección O-E, dentro de estos convergen varios caños, y las aguas provenientes de varios morichales, bajíos y esteros, atravesando casi todo el Municipio de Paz de Ariporo, son de tipo meándrico. El Caño Las Guamas desemboca en el Caño la Hermosa, y este último desemboca en el Río Meta.

- *Gran Cuenca del Río Meta;* Tiene una longitud de 1250 km, y cede al Río Orinoco 3500 metros cúbicos por segundo. El Río Meta nace en el Páramo de Sumapaz, lo integran multitud de riachuelos que forman el Río Humadea al cual le confluyen las aguas del Acacias y el Guayuriba, para pasar a denominarse Metica. Recibe por la margen izquierda las aguas del Humea y pasa a llamarse Meta. A partir de allí continua su curso medio que va hasta la desembocadura del Casanare, por la margen izquierda recibe aportes del Cabuyaro, Upía, Tua, Cusiana, Cravo Sur, Guanapalo, Pauto, Guachiría y Casanare, por el lado opuesto le llegan los Ríos Manacacias y Yucao. El Bajo Meta comienza en la desembocadura el Casanare y desemboca con gran vigor en el Orinoco. Un tramo de la parte media del Río Meta, de unos 48 km. aproximadamente, es el límite oriental del Municipio de Trinidad, con el Vichada, este río es de tipo trenzado y tiene un trazo muy lineal.

3. METODOLOGÍA

Para la elaboración de la cartografía, descripción y reconocimiento de las unidades litológicas y geomorfológicas que afloran en la Plancha 196 Río Guachiría, se utilizó la siguiente metodología:

- Compilación bibliográfica.
- Compilación e interpretación de fotos e imágenes satelitales.
- Comisiones de campo con obtención de muestras.
- Análisis de datos obtenidos en campo e interpretación.
- Desarrollo de mapas e informe final.

Con base a estos procedimientos se desarrolló este informe.

3.1 COMPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó la compilación y análisis de la información existente, consultada en fuentes tales como INGEOMINAS, IGAC, Universidad Nacional de Colombia, Ecopetrol, ANH, el Banco de Información Petrolera (EPIS, consulta de líneas sísmicas y gráficos compuestos de pozos), CORPORINOQUÍA, IDEAM y revistas de ciencias geológicas.

3.2 COMPILACIÓN E INTERPRETACIÓN DE FOTOS AÉREAS E IMÁGENES SATELITALES

En esta etapa de oficina, se adquirieron las imágenes de satélite ETM+ de Landsat 7, de la base de datos ESDI de la Universidad de Maryland (U.S.A) y el USGS. Para esta zona se dispuso de las imágenes con Path 006 Row 056 7 (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), las cuales fueron fusionadas por medio de un mosaico, con sinergismo a 30 m a o bandas, ecualización de histograma, que fue la base para realizar una interpretación espectral supervisada y de patrones texturales, con controles geomorfológicos iníciales.

Para mejorar el detalle de la interpretación se compilaron las aerofotografías a escala aproximada, 1:30.000 y 1:40.000, distribuidas en vuelos en sentido N-S (ver Tabla 4).

Al final de esta fase, mediante análisis de sensores remotos utilizando software especializado, se obtuvieron mapas digitales en donde se diferenciaron las unidades litológicas, rasgos geomorfológicos y tipos de drenajes.

3.3 COMISIÓN DE CAMPO CON OBTENCIÓN DE MUESTRAS

Con base en la información fotogeológica, se diseñó un plan de trabajo de campo que consistió en el análisis de rutas viables que permitieran verificar la existencia de las unidades geológicas interpretadas mediante la fotogeología, y la interpretación de imágenes de satélite. Lo anterior con el propósito de poder tener estaciones geológicas favorables en cuanto a exposición de las diferentes unidades ya que el trabajo de campo se tuvo que realizar durante época lluviosa, circunstancia que dificultó el acceso a la mayoría de las áreas.

La etapa de campo se ejecutó en tres comisiones de 20 días cada una. La información de campo se recopiló sobre planchas topográficas a escala 1:25.000 (ver Anexo D); igualmente, se compiló toda la información a escala 1:100.000. Además de la cartografía geológica de las distintas unidades litoestratigráficas del Cuaternario, las labores de campo también incluyeron un muestreo de sedimento para análisis geoquímico.

Para la cartografía y descripción de las unidades litológicas y geomorfológicas que afloran en la Plancha 196 Río Guachiría, se hizo la identificación morfológica de los depósitos aluviales en cada una de las áreas visitadas (ver

Figura 5).

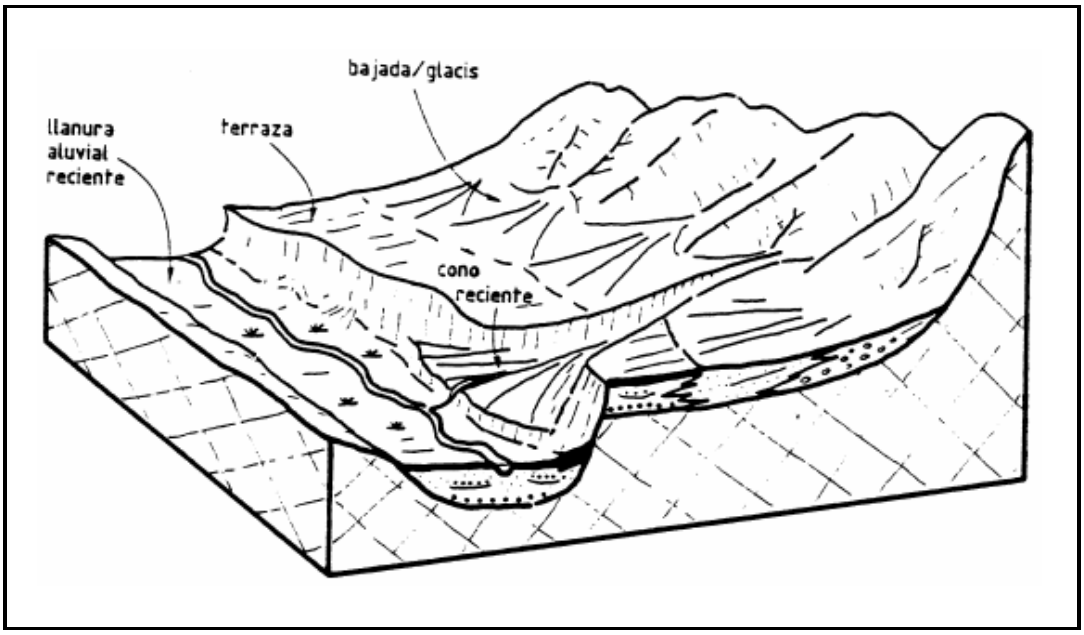


Figura 5. Identificación morfológica de los depósitos aluviales (Tomado de Hürlimann, 2008).

Se manipulo brújula Brunton, GPS, pala o palín, libreta de campo, cámara fotográfica digital y las demás herramientas adecuadas para realizar pruebas mínimas de campo y mediciones básicas para el levantamiento de la cartografía geológica.

Debido a que el relieve de la Plancha 196 Río Guachiría presenta una morfología plana a ligeramente ondulada, no es posible reconocer afloramientos rocosos que permitan realizar un levantamiento litológico y estructural, lo que limitó el estudio a excavaciones de aproximadamente 1m de profundidad, o hasta que se alcanzaba el nivel freático, con el objetivo de poder tener una identificación y caracterización litológica del depósito.

En cada uno de las estaciones geológicas, se hizo una descripción macroscópica de la siguiente forma (Tomado de Terraza, 2009):

- Tipo de depósito, por ejemplo depósitos coluviales, depósitos aluviales, depósitos lacustres, depósitos eólicos, etc.
- Litología (ver Figura 6).
- Color.
- Tamaño de grano (ver Tabla 2).
- Geometría (ver
- Figura **7**).
- Estructura sedimentaria (ver
- Figura **7**).
- Grado de meteorización.
- Características del grano (forma, redondez, selección).
- Porosidad.
- Composición mineral.

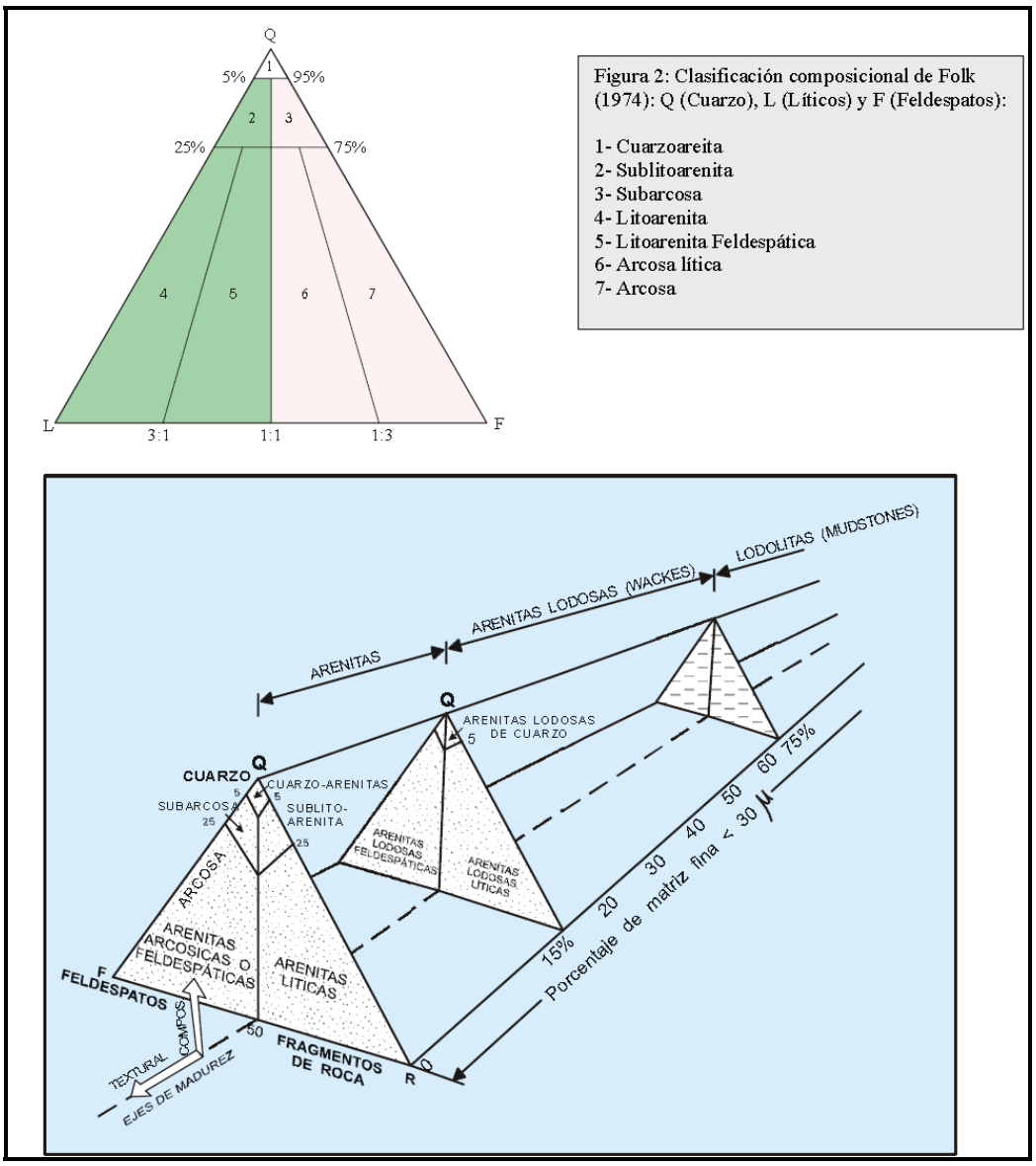


Figura 6. Clasificación composicional para rocas siliciclásticas modificado de Dott, 1964; en Terraza, 2009.

Tabla 2. Escala de tamaño de granos, basada en Wentword, 1922; en Terraza, 2009.

CLASES DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS

	NOMBRE	MILÍME-TROS	TAMAÑO EN MICRONES	PHI	PRODUCTO LITIFICADO	
GRAVA	Bloque	256.0		- 8.0	Conglomerado	RUDITAS
	Guijarro	64.0		- 6.0	Conglomerado	
	Guijo	4.0		- 2.0	Conglomerado	
	Gránulo	2.0		- 1.0	Conglomerado	
ARENA	Arena muy gruesa	1.0		0.0	Arenita muy gruesa	ARENITAS
	Arena gruesa	0.5	500.0	1.0	Arenita gruesa	
	Arena media	¼	250.0	2.0	Arenita media	
	Arena fina	1/8	125.0	3.0	Arenita fina	
	Arena muy fina	1/16	62.5	4.0	Arena muy fina	
LODO	Limo grueso		31.0	5.0	Limolita	LUTITAS
	Limo medio					
	Limo fino					
	Limo muy fino	1/256	3.9	8.0		
	Arcilla	< 1/256			Arcillolita	

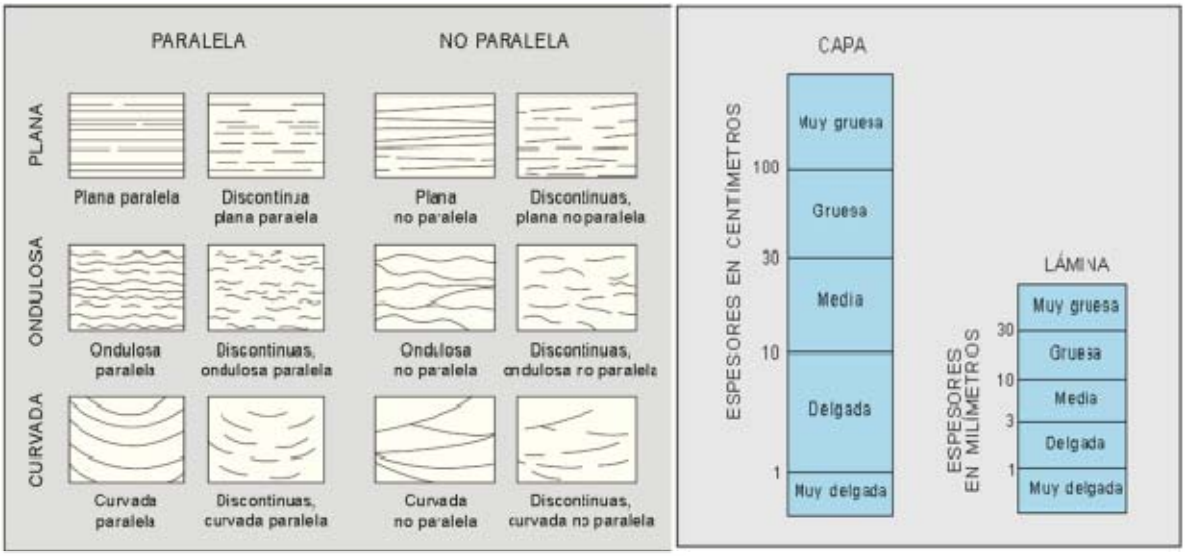


Figura 7. (Izquierda) Términos descriptivos para la forma de la estratificación de Campbell, 1967; en Terraza, R., 2009. (Derecha) Escala para espesores de capas y laminas, basado en Reineck & Singh, 1973; en Terraza, 2009.

3.3.1 Muestreo geoquímico en campo

Se realizó el muestreo de sedimento para geoquímica, de la Plancha 196 Río Guachiría, con una distancia entre ellas de aproximadamente 5 Kilómetros; en cada punto de muestreo se hizo una perforación de 1 a 2 metros de profundidad o en los otros casos, en donde estuviese el nivel freático en superficie tomando una libra de sedimento para análisis geoquímico (ver Anexo C).

Tabla 3. Muestras Recolectadas para geoquímica, representativas de cada unidad. (Qhdta: Depósitos de Terrazas y Llanuras Aluviales; Qhpa: Depósitos de Planicies Aluviales; Qpde: Depósitos Eólicos).

Muestra	Norte	Este	Unidad Geológica
JLBB 175	1.091.119	1.053.313	Qhdta
JLBB 177	1.112.927	1.057.084	Qhdta
JLBB 109	1.102.636	1.037.238	Qpde
JLBB093	1.105.053	1.017.038	Qhpa
JLBB110	1.103.195	1.037.074	Qhpa
JLBB111	1.097.725	1.005.273	Qhpa

3.4 ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS EN CAMPO E INTERPRETACIÓN

Con la información de campo, ya digitalizada y con el envío de muestras a laboratorio, se realizaron las digitalizaciones respectivas del mapa, con los resultados de laboratorio se realizaron las interpretaciones respectivas, en la cual se aplicaron las diferentes teorías dadas en la literatura, los conocimientos geológicos de campo con ello realizando una interpretación final, observado en la definición de unidades sensu stricto y la evolución geológica con los datos más adecuados, para obtener un resultado final de la mejor calidad (ver Anexo D).

3.5 DESARROLLO DE MAPAS E INFORME FINAL

Con toda la información obtenida y completa, se procede a realizar esta última fase, que es la unión de todas las anteriores, con un previo control y monitoreo, para dar resultados de presentación adecuada, en donde se compila los resultados de los mapas 1:25.000 previos (ver Anexo E), las estaciones de campo, resultados de geoquímica, granulometría, líneas sísmicas para ver en profundidad las unidades del Terciario, Cretáceo y Paleozoico, con el fin de entregar un resultado afín a las calidades exigidas por el público al cual se le brinda esta información.

4. INTERPRETACIÓN DE SENSORES REMOTOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En general, el principal objetivo de este capítulo es identificar las principales unidades fotogeológicas presentes en la zona, generadas como consecuencia de los procesos morfo - modeladores activos actualmente. Como resultado de la interpretación de estas unidades, se obtuvo la definición de las unidades fotogeológicas en sus distintos grados de caracterización para la Plancha 196 Río Guachiría.

Las diferentes observaciones e interpretaciones realizadas de forma preliminar fueron principalmente soportadas en campo con imágenes Landsat 7 ETM+ de la base de datos de la Universidad de Maryland (USA) con Path 006 Row 056 (ver

Figura 10) y de Radar a escalas 1:50000 y 1:100000, mediante una supervisión espectral estadística sobre la imagen.

Posteriormente se compilaron las aerofotografías a escala aproximada, 1:30.000 y 1:40.000, distribuidas en vuelos en sentido N-S (ver Tabla 4 y

Figura 8), para la realización de la observación estereoscópica e interpretación en escala 1:25.000, en donde finalmente se plasmó en un mapa físico del IGAC en escala semejante.

Tabla 4. Fajas de fotos aéreas y dirección de la línea de vuelo (N.D: No hay datos disponibles).

Faja	Fotos	Dirección	Sobre
C - 2213	204	N - S	S – 33056
C - 2536	260 – 269	N – S	S – 36903
C - 2707	221	S – N	S – 39177
C - 2536	270 - 276	S – N	S – 36904
C - 2706	40	S – N	S – 39165
C - 2704	N.D	N - S	S – 39149
C - 2704	199 - 202	N – S	S – 39147
C - 2535	3 - 9	S – N	S – 36889
C - 2704	146	N – S	S – 39146
C - 2535	42 – 54	N - S	S – 36884
C - 2704	141 - 144	N - S	S - 39145

C - 2615	48 - 55	S60W – N60E	S – 37726
C - 2614	181 - 190	S50W – N50E	S – 37715

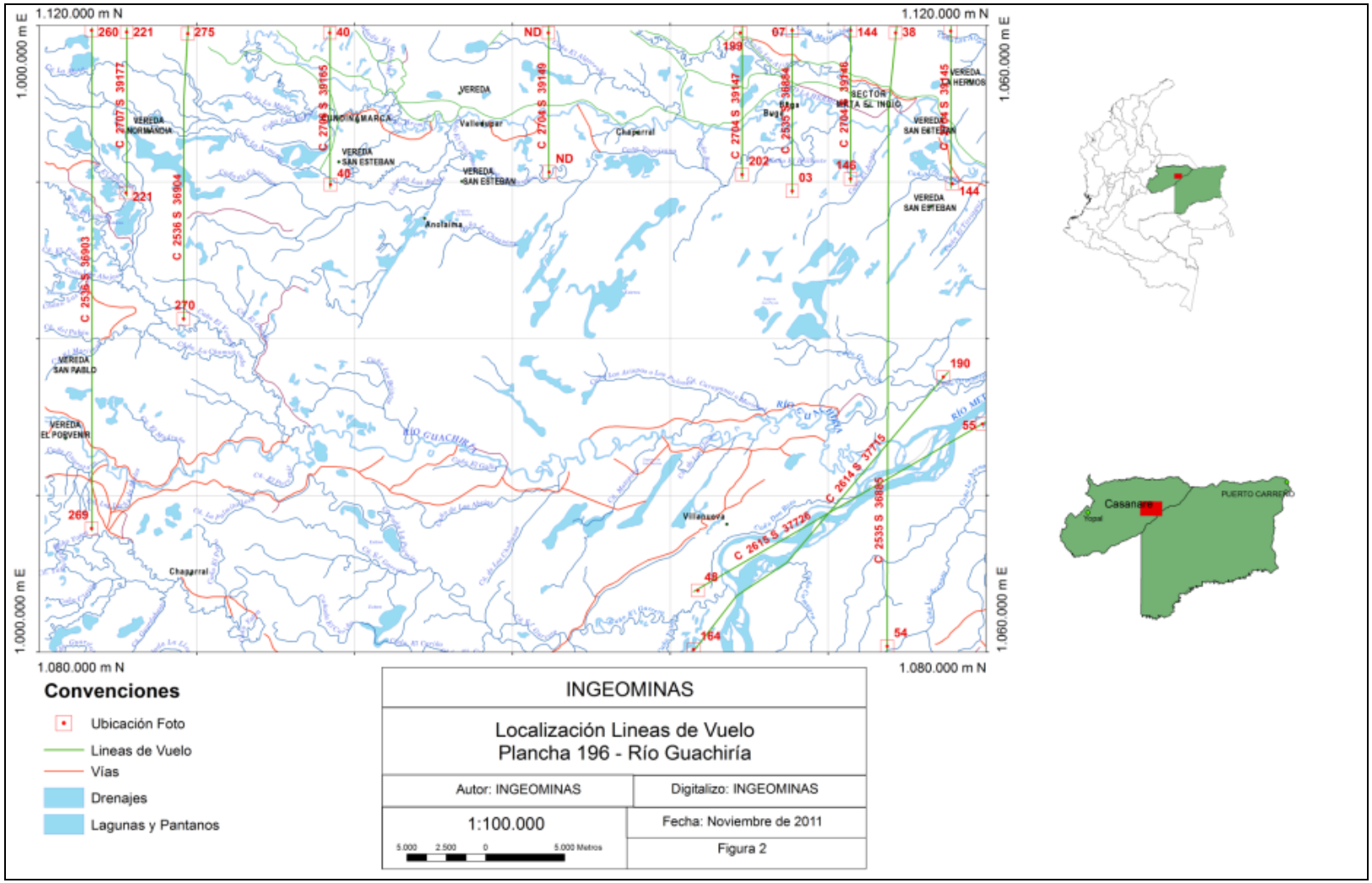


Figura 8. Líneas de Vuelo de la Plancha 196 Río Guachiría.

Dichas observaciones (ver

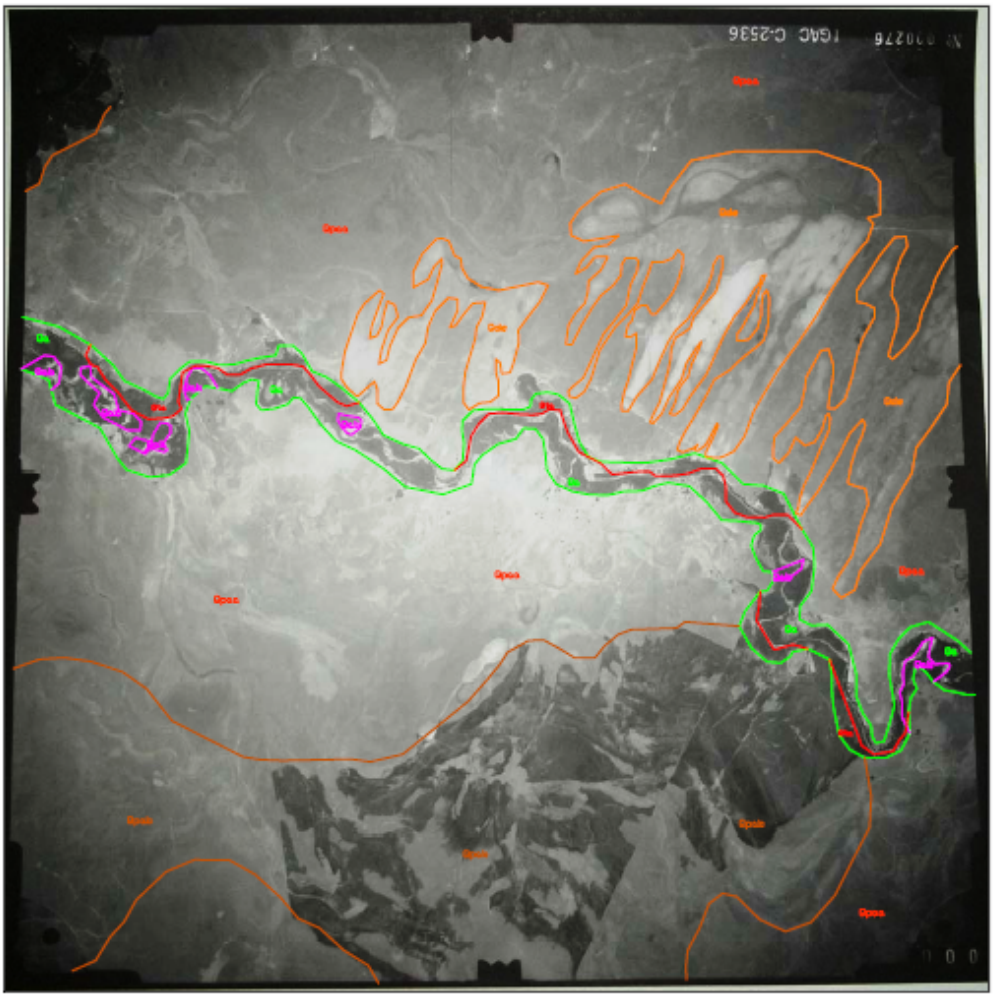
Figura 9 y

Figura 10) fueron tenidas en cuenta para las fases posteriores, como la verificación de unidades en campo, en pro de mejorar la descripción del paisaje, teniendo en cuenta las características sedimentológicas de las unidades previamente establecidas en esta fase. Las unidades observadas y establecidas en este trabajo corresponden a la Planicies Inundables del Casanare – Arauca (Modificado de Goosen, 1971; y Flores *et al*., 2010), perteneciente a la gran Altillanura Andina (Goosen, 1971).

En la interpretación, las geoformas se encuentran en un marco de referencia con procesos similares y geoformas divergentes, asociadas a las facies distales de los abanicos aluviales con afectación eólica y aluvial por inundaciones estacionales, evidenciadas por la presencia conjunta de dunas fósiles y esteros, presentes en los departamentos de Casanare y Arauca, en Colombia y en los estados de Apure y Guárico en Venezuela (Goosen, 1971; Forero, 1977 y 1978; y Khobzi, 1980 y 1981).

La plancha en mención, está dominada por los cursos del agua con alta carga de sedimentos provenientes desde la Cordillera Oriental, pertenecientes al Sistema Hídrico del Rio Meta (Hubach, 1954; en Goosen, 1971; Flores *et al*., 2010), el cual los corta de forma abrupta en dirección S 30°W a N 30°E, separando esta provincia fisiográfica de la Altillanura del Meta – Vichada.

Cabe denotar, que las unidades fotogeológicas a mencionar han sido influenciadas por agentes exógenos actuantes durante el Cuaternario, que por presentar fluctuaciones en el clima desencadenaron diferentes procesos morfo - genéticos y morfo - modeladores dominados por procesos fluviales y que particularmente se resalta la presencia de depósitos asociados a sistemas eólicos (Khobzi, 1980 y 1981; Irondo, 1998; e Irondo *et al*., 2007), los cuales se describen más en detalle en capítulos posteriores.



Leyenda Fotografía		Digitalizo: servicio Geológico Colombiano
Qab: Barras Laterales	Qpaa: Zonas altas de planicies aluviales	Fotointerpretación zona plancha 196
Qe: Depositos Eólicos	Qpab: Zonas bajas e inundables de planicies aluviales	
Qa: Llanuras Aluviales Inudables	Qat: Terrazas Aluviales	Fecha: Enero de 2012

Figura 9. Fotointerpretación de aerofotografías.

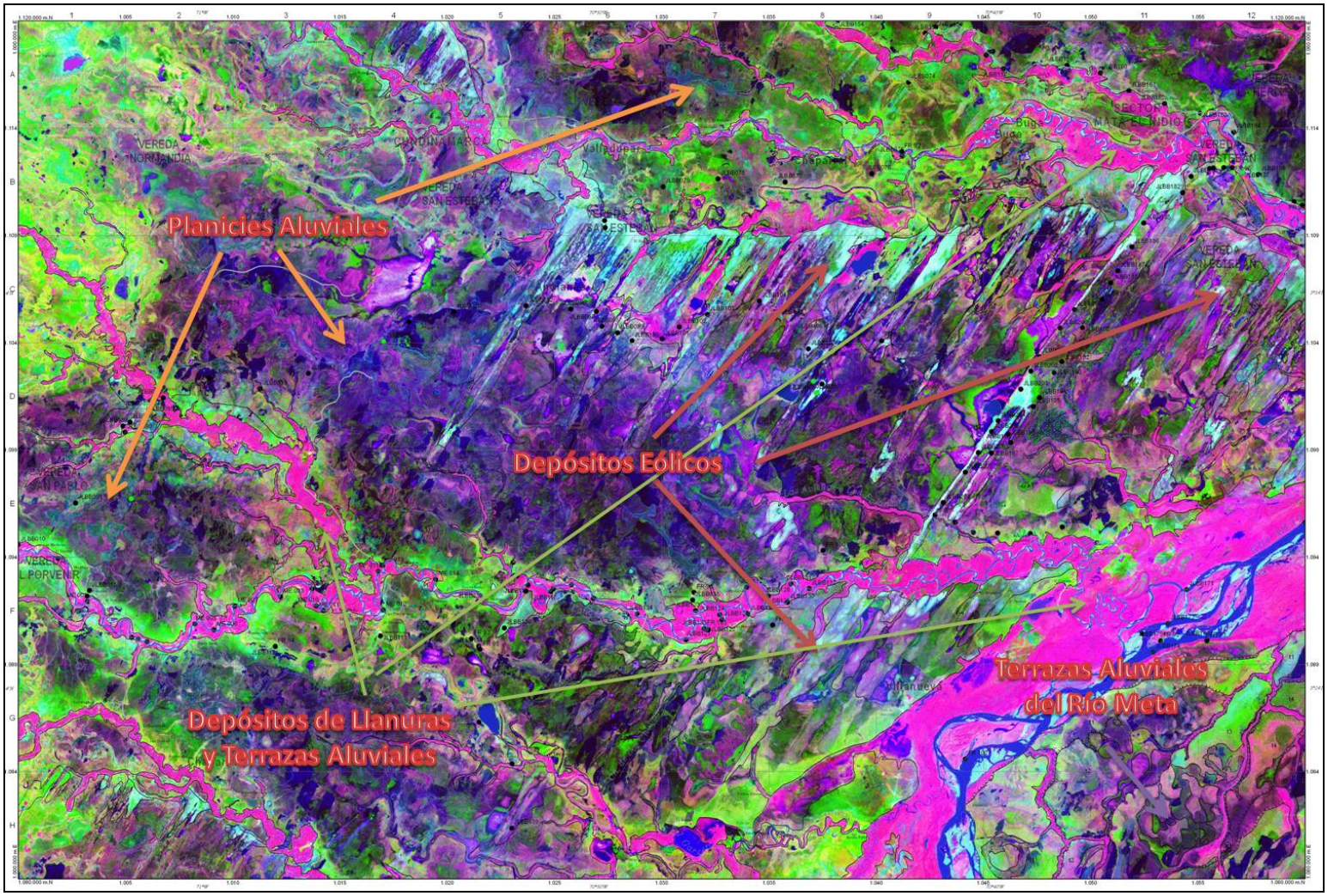


Figura 10. Imagen satelital interpretada de la Plancha 196 (Bandas 3, 4, 5).

4.2 MARCO REGIONAL

Mediante análisis de sensores remotos se diferenciaron varios patrones asociados a la litología, con base en los contrastes, colores y texturas de las diferentes unidades observadas en las imágenes Landsat ETM+ así como en las fotografías aéreas (UNSL, 2011). Estos cambios de patrón, además de obedecer a diferentes litologías, están relacionados con variaciones del nivel de inundación, variedad de vegetación y cambios de pendiente, parámetros que se muestran como los más relevantes en la interpretación de estas imágenes. Las observaciones realizadas por los autores de trabajos previos a éste, indican que las unidades definidas en este capítulo son pertenecientes a las Planicies Inundables de Casanare – Arauca (modificado de Hubach, 1954; Goosen, 1971; Forero, 1977 y 1978; Khobzi, 1980 y 1981; IGAC, 1983; IGAC, 1989; y Flores *et al*., 2010), las cuales tienen unos fenómenos morfogenéticos y modeladores muy específicos, que han sido muy variables en los últimos 2.5 millones de años, en especial los factores tectónicos y climáticos a nivel regional, lo que permite clasificar estas unidades morfoestructurales en varios rangos:

Tabla 5. Clasificación de las unidades geomorfológicas según el ITC (Modificado de Forero, 1977 y 1978; Khobzi, 1980 y 1981; Flores *et al*., 2010; y UNSL, 2011).

Unidad Morfoestructural	Unidad Morfométrica	Morfodinámica	Agente Modelador
Planicie Aluvial	Inundable	Disección en grado muy bajo	• Lavado y arroyada • Escarceo • Erosión Remontante
	No inundable		
Depósitos Eólicos	Dunas longitudinales	Eólico y pedogénesis incipiente	• Viento • Escorrentía Superficial
	Dunas parabólicas		
Terrazas y Llanuras Aluviales	Terrazas Aluviales	Fluvial Erosión lineal Depositación	• Erosión lineal • Erosión remontante “Cárcavas” • Depositación en zonas de baja energía
	Cursos meándrico		
	Llanuras de Inundación		
	Barras laterales		
	Oxbow lake		
Terrazas Aluviales del Río Meta	Terrazas Tectónicas	Fluvial Erosión lineal Neotectónica	• Erosión lineal • Erosión remontante “Cárcavas” • Depositación en zonas de baja energía • Levantamiento Tectónico

4.2.1 Planicie Aluvial

Son las zonas producto de acumulación de sedimentos aluviales en zonas extensas. Estas geoformas se distinguen por su textura plana y uniforme, mostrando pendientes bajas entre 0° y 3°; sus tonalidades son grises plomo a grises claros, variación que se presentan como producto de cambios de humedad, vegetación y zonas inundadas. En las imágenes de satélite se observan con una superficie lisa y tonalidades de verde por cambios de vegetación, pastizales y arbustos más altos, morados suaves en zonas con presencia de agua o niveles freáticos en superficie (ver
Figura 9 y

Figura 10).

Su morfodinámica es estacional, ya que es afectada por las inundaciones, y un muy bajo grado de disección evidenciándose con caños menores en la mitad de su planicie y los escarceos en zonas de bajos y esteros, produciendo una erosión remontante en baja escala.

4.2.2 Depósitos Eólicos

Se presentan en la parte SE de la Plancha 196 Río Guachiría, se observan cuerpos elongados y paralelos de tonos claros a blancos en formas elevadas (mostrando su contraste topográfico con pendientes de 12° en promedio) con una dirección preferencial al NE. Éstos depósitos se observan en las imágenes de satélite de colores azules claros a oscuros; su vegetación depende del aporte de agua, motivo por el cual es poca, presentando pastizales de poca altura (ver
Figura 9 y

Figura 10).

En cuanto a la morfodinámica de esta unidad, se presenta escorrentía superficial, tanto por recarga de cuerpos de agua superficial como subsuperficial, mostrando una pedogénesis incipiente asociada a la vegetación y vientos esporádicos en estaciones de sequia.

4.2.3 Terrazas y Llanuras Aluviales

Son las zonas con texturas sensores remotos, mostrando las zonas de mayor pendiente (12° – 25°), pero con un alto contraste asociado a la gran cantidad de biomasa en estas áreas, con tonos rojos cobalto en la imagen de satélite (ver

Figura 10), un gris a negro en la fotografía aérea (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En donde se puede ver en mayor detalle, algunas subformas asociadas a éste, como son las que se observan claramente por la variación del relieve cerca del cauce indicando las terrazas aluviales (Qta); barras laterales y longitudinales (Qab).

La morfodinámica que se da en estas zonas está relacionada a la acción de las corrientes hídricas, ocurriendo erosión lineal en zonas de cauce y erosión remontante evidenciada por cárcavas en las zonas de terraza aluvial.

La morfodinámica que se da en estas zonas está relacionada a la acción de las corrientes hídricas, ocurriendo erosión lineal en zonas de cauce y erosión remontante evidenciada por cárcavas en las zonas de terraza aluvial. La depositación se da en las zonas de más baja energía, como son los oxbow lakes y las barras laterales y longitudinales.

De acuerdo a la forma de los meandros o la disposición de las barras longitudinales, se pueden delimitar las zonas afectadas por la morfodinámica de esta unidad.

4.2.4 Terrazas Aluviales del Río Meta

Se observan con texturas deprimidas, de gran tamaño, con respecto a las planicies aluviales (ver

Figura 10) del lado vichadense del Río Meta, en la cual cada nivel está limitado por surcos, que denotan los escarpes de estas mismas, están siendo erodadas por los cauces actuales, teniendo implicaciones en la interpretación final de la zona. Se ven cinco niveles de terrazas.

Su morfodinámica es similar a cualquier terraza aluvial, sin embargo lo que la distingue de la unidad anterior es el componente neotectónico que esta unidad presenta, evidenciado por la diferencia de altitud (en el Casanare es de 90 m y en el Vichada es de 120 m), y la cantidad de niveles de terrazas del flaco oriental del Río Meta (cinco en total).

5. GEOMORFOLOGÍA

La Geomorfología aplicada está enfocada hacia la clasificación de los terrenos para lograr la agrupación de los materiales naturales (rocas y suelos), dentro de una variedad de categorías con base en características tales como: composición mineralógica y litológica, disposición estructural, procesos activos, y la distribución geométrica de los cuerpos rocosos y depósitos de suelo. En ese sentido la información geomorfológica básica y temática, se constituye en el documento de integración de las variables mencionadas, además de la información particularmente morfométrica básica, que da la posibilidad de definir zonas con características geomecánicas homogéneas.

Por lo tanto para lograr una descripción y caracterización adecuada se representa y es transmitirla en forma gráfica o de mapas, en la cual se incluyen aspectos como Morfología y Morfometría, Morfogénesis y Morfodinámica (ver

Figura 12).

La geomorfología es una disciplina que juega un papel importante en la identificación de los procesos que le dan forma al paisaje, muchos de los cuales permiten predecir la evolución de los mismos y su comportamiento. Los diferentes tipos de geoformas, las cuales han sido estudiadas y explicadas desde el punto de vista de su forma geométrica así como de su origen o los procesos que las han originado.

Las categorías definidas de escala menor a mayor son: Geomorfoestructuras, provincias, regiones, unidades, subunidades y componente geomorfológico, ver esquema (ver

Figura 11).

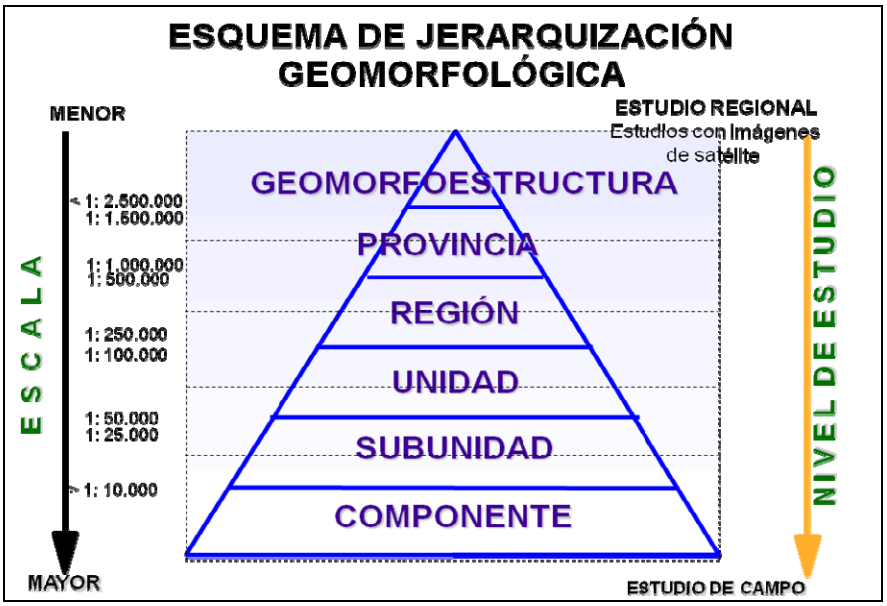


Figura 11. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999), Ingeominas (2000). Tomado de Carvajal (2008).

Debido a las características del terreno, y especialmente a la ausencia de afloramientos, la realización de esta cartografía está basada en estudio de la morfología, morfometría y morfodinámica del terreno. Por consiguiente se hace relevante incluir este capítulo como método y apoyo al trabajo realizado (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

En la zona se tiene un buen conocimiento de los regímenes fluviales, tal y como se denotan tanto en las fotos como en las imágenes de la zona, distinguiéndose muy bien los detalles de esta, permitiendo separar inicialmente las distintas geoformas tanto a nivel fotogeológico, como a nivel de unidades litológicas como tal.

Estas unidades fueron generadas a lo largo de los últimos miles de años, en la cual hoy en día se tienen evidencias de variaciones climáticas a nivel macro, que conllevaron a desertificaciones de la zona (ver Montoya *et al*., 2011; Ruter *et al*., 2009; y Hessler, 2010), con un actual equilibrio en el clima de la zona, como se pueden evidenciar con las dunas y con los sustratos areno – arcillosos (cargados de agua subterránea), que infrayacen los niveles lodosos actuales, que son influenciados por la vegetación a lo largo de estos 10.000 años, de forma más acentuada desde hace 6.000 años (Dryas Reciente) (de acuerdo con Montoya *et al*., 2011; Ruter *et al*., 2009; y Hessler, 2010), e influyendo de cierta forma con los procesos pedogenéticos y las propiedades de estos suelos, que no son aptos para la agricultura básica (IGAC, 1979; Smith *et al*., 2000; y San José *et al*., 2010).

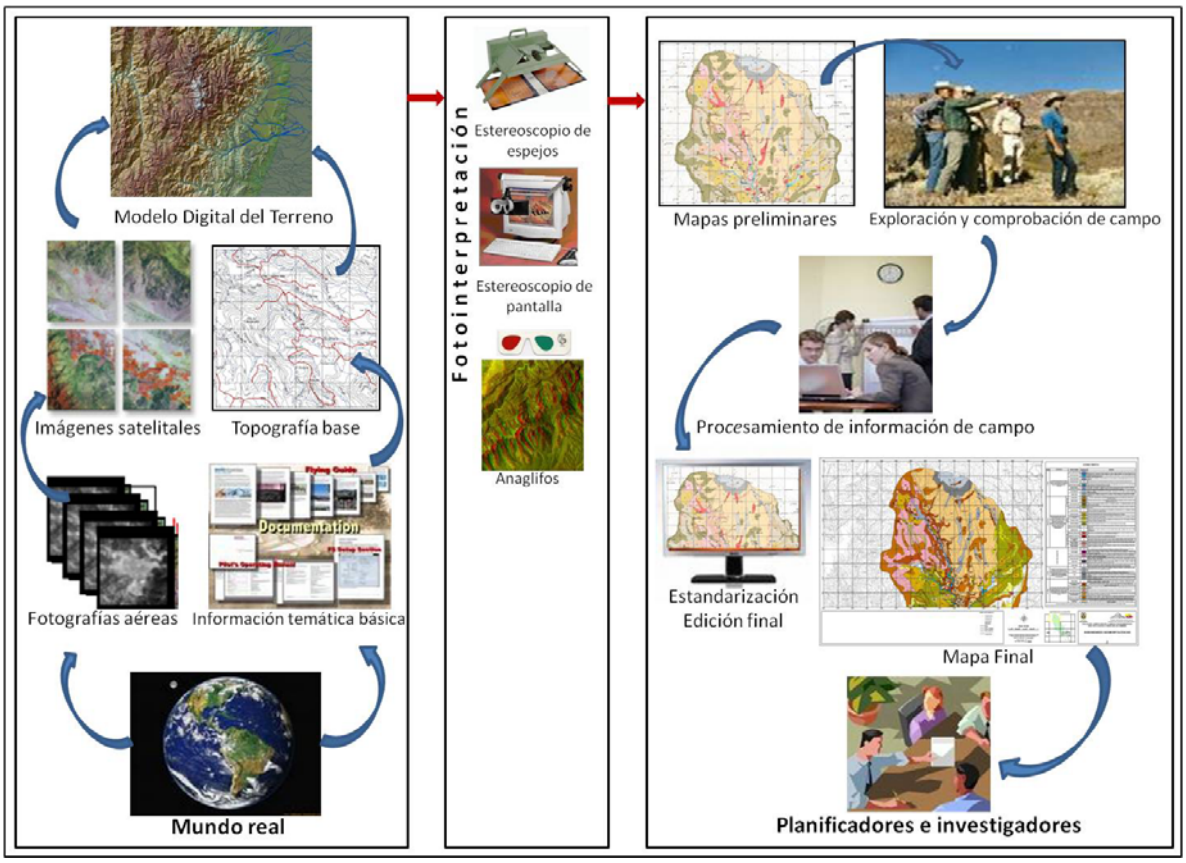


Figura 12. Metodología para la interpretación geológica y geomorfológica de sensores remotos (Tomado de Carrillo E, 2008).

Los ríos de la zona son meándricos con nivel de energía medio por su sinuosidad, con procesos de inundación acorde al tiempo de lluvias (Ritter *et al.*, 2002), son zonas sub resonantes y súper resonantes (Frascati *et al*., 2009), que generan todo lo anteriormente descrito en las unidades litológicas, y la dinámica climática se debe a los bajíos y las terrazas que son los limites de inundación máximo.

Por consiguiente existen unidades con dos orígenes básicamente, aluvial y eólico.

5.1 UNIDADES DE ORIGEN ALUVIAL

Corresponde a depósitos ubicados en zonas sometidas a constantes inundaciones, especialmente en épocas de invierno. Se encuentran localizados principalmente cerca a las márgenes de los ríos Guachiría y Meta.

Un ejemplo de esta unidad se ilustra en la

Figura 13, observándose en las fotos aéreas colores grises claros a oscuros, los cuales indican vegetación frondosa y espesa, de gran amplitud; mientras que en la

imagen satelital se puede distinguir por sus colores rojo cobalto por lo que generan un gran contraste en campo.

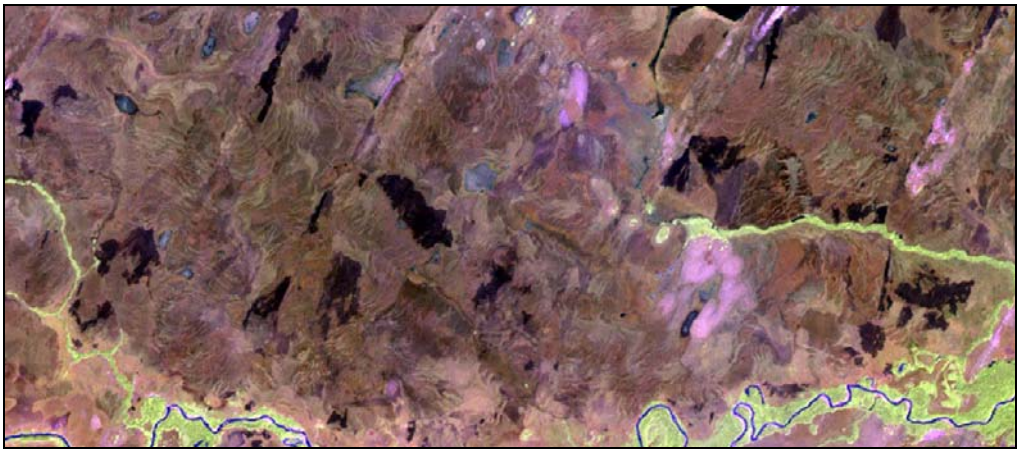


Figura 13. Planicies aluviales (Colores café, verde a negro) y llanuras aluviales (verde amarillo).

5.1.1 Planicies Aluviales

En las fotos aéreas éstas unidades se denotan por acentuados tonos grises claros, mostrando una vegetación de baja altura; en la imagen satelital se pueden observar los bajos en tonalidades azules y morados, que corresponden a las zonas inundables, y en tonos verdes claros a los altos de sabana, (ver

Figura 14).

Igualmente estos depósitos con pendientes menores a 5º, por ende se ven planos, y no se observa una mayor variación.

Figura 14. Zona de planicie aluvial, observe su vegetación baja, son pastos bajos en la zona de bancos y pastos altos en la zona de bajos; al fondo llanura aluvial (vegetación frondosa) (N: 1'090.854 m, E: 1'012.478 m).

5.1.2 Llanuras Aluviales

Esta unidad en la foto se observan con colores grises muy oscuros, los cuales indican vegetación frondosa y espesa, de gran amplitud, en donde si se hace comparación con la imagen satelital se puede distinguir por sus colores rojo cobalto (ver

Figura 10), y estas generan un gran contraste en campo (ver

Figura 15).

Figura 15. Llanura de Aluvial Caño Las Guamas (Puente Pozo Cuervas 6).

Hay unas geoformas menores asociadas a este grupo, las cuales no son cartografiables en la escala de la plancha a presentar, pero en las que pertenecen las terrazas aluviales, barras laterales, y llanuras de inundación.

5.1.2.1 Terrazas Aluviales

Se presenta con alturas de más de 4 – 5m de alto en los afluentes de menor escala como el Caño La Hermosa, El Yatea, Caño Venado y Las Guamas; esta unidad se presenta con unas alturas hasta de 10m en el Río Guachiría como en el Rio Meta (ver

Figura 16), pero no tienen la suficiente amplitud para ser cartografiables, ya que su máximo son de 800 m, las paleo terrazas, que se dan a niveles interiores cercanos a la planicie, no tienen más de 2 – 3 m de alto.

Figura 16. Terraza Generada por efectos erosivos del Río Guachiría (N: 1'091.148 m, E: 1'031.148 m).

5.1.2.2 Barras laterales

Esta geoformas tampoco son cartografiables a la escala de trabajo pues son de poca amplitud ya que miden menos de 30 m de largo por 200 m de ancho y son el resultado de la dinámica fluvial actual. Se distinguen en los ríos meándricos y trenzados, como los Ríos Guachiría y Meta, así como en los Caños El Venado y Yatea (ver
Figura 17).

Figura 17. Barra Lateral Río Guachiría, se ven los niveles de inundación por cambios de pendiente. (N: 1’092.318 m, E: 1’032.718 m).

5.1.2.3 Barras Longitudinales

Son formadas por dinámica de ríos trenzados, como es el caso del Río Meta, donde es posible observar de uno a dos niveles de inundación, son muy evidentes y de gran amplitud (ver

Figura 18).

Figura 18. Barra longitudinal Río Meta (Puerto Mister, Vichada).

5.1.2.4 Llanuras de inundación

Son formadas por la dinámica el nivel del río en épocas de sequia y de lluvia, generando 2 a 3 niveles de llanuras, como se puede ver en el flanco casanareño del Río Meta, Río Guachiría, Caño El Venado y Caño Las Abejas, su pendiente es de 20º en las zonas de cambio de nivel y de 10º en las zonas planas (ver

Figura 19).

Figura 19. Zona del Caño Los Venados, se ven dos niveles de inundación (N: 1’102.247 m, E: 1’006.771 m).

5.1.3 Terrazas Aluviales del Río Meta

Esta unidad, que en las fotos y en la imagen de satélite, se da deprimida, con parámetros complejos de distinguir, con respecto a las otras unidades, orientadas en dirección N30E, en varios niveles (5), llegando hasta los 20 m del alto, y 5 Km de ancho, con una pendiente de 12 – 25°, son exclusivas del sector vichadense del Río Meta, mostrando la evolución de este afluente (ver
Figura 20).

Figura 20. Terrazas bajas del Río Meta, ver sus zonas disectadas (Flanco Vichadense).

Estas terrazas están siendo erodadas por los cauces actuales, por lo que permite decir que son más antiguas, y han sufrido un posible levantamiento tectónico (ver

Figura 21).

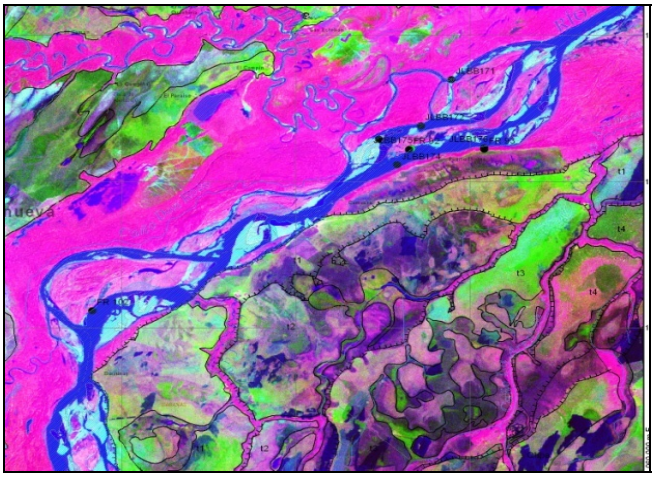


Figura 21. Vista de imagen de satelite de las terrazas Aluviales del Río Meta.

5.2 UNIDADES DE ORIGEN EÓLICO

Estas unidades, que se llaman dunas o médanos (llamados en la zona) se denotan por su forma tan definida, por presentar colores muy claros en las fotos aéreas (blancos), y por su baja presencia de vegetación, a excepción de unas gramas incipientes, en la imagen de satélite se muestra con unos tonos de verdes lima a azul aguamarina intenso (ver

Figura 10 y

Figura 22), que confirman lo anteriormente dicho, son elongadas con una dirección de N30E a N40E, van casi en paralelo una con otra, en el caso de esta plancha se dan en lado sureste de la misma. La altura de estas varían de 2 a 4 m en algunos lados hasta 8 – 10m en los límites de esta, con un largo que oscila entre 7 – 8 Km ejemplo la duna de Los Toros que es disectada por el Caño Yatea en la Plancha 195 (al W de la zona de trabajo).

Figura 22. Vista de duna (Médano del Gaván) en la zona de la Vereda San Esteban, vista de su forma globular y su poca presencia de vegetación (N: 1'102.636 m; E: 1'037.238 m).

Su pendiente es de 30º, y se ven en formas globulares, estas son dunas crenuladas – transversales en forma de U, que inicialmente fueron tipo Barján y se unificaron (observado ejemplos de Ritter *et al*., 2002; y aplicándolos a este trabajo).

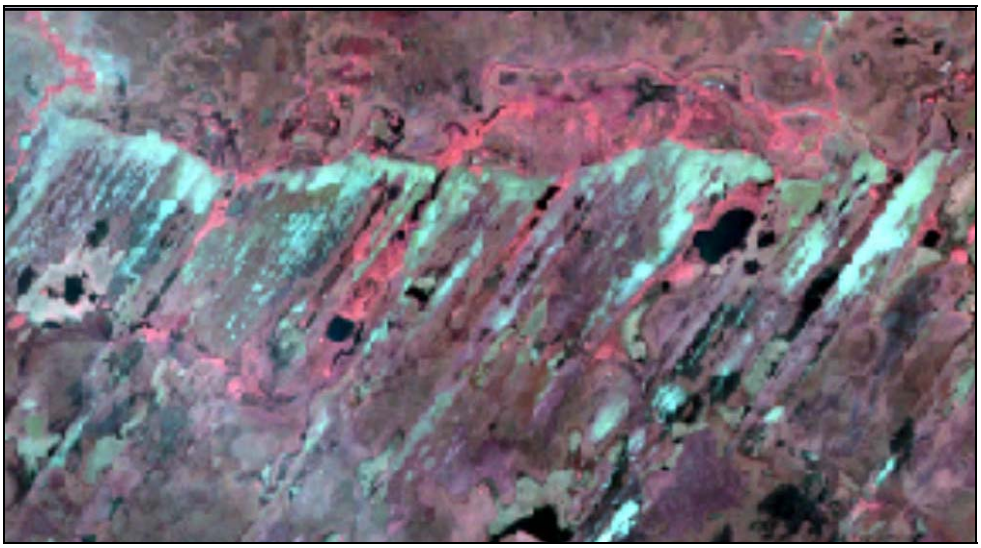


Figura 23. Imagen satélite; depósitos Eólicos zona noreste de la plancha 196 – Río Guachiría (Azul aguamarina).

6. ESTRATIGRAFÍA

Las unidades estratigráficas que conforman el suelo y subsuelo del área de estudio comprenden varios ciclos sedimentológicos que se han desarrollado desde el Precámbrico hasta el Cenozoico.

Las condiciones geológicas de la Plancha 196 Río Guachiría son especiales, debido a que en la zona no afloran rocas que nos permitan realizar un levantamiento litológico ó estructural, por lo cual la litología superficial del área debe ser tratada principalmente desde el punto de vista geomorfológico.

Las unidades que se definieron en el subsuelo, son a partir de datos de pozos petrolíferos realizados en la zona.

6.1 UNIDADES VISTAS EN CAMPO

La Plancha 196 Río Guachiría presenta rocas Mesozoicas y Cenozoicas cubiertas por depósitos cuaternarios de origen fluvial, aluvial y eólicos. Particularmente son llanuras aluviales en planicies extensas e inundables, originadas por ríos de carácter meándrico y/o anastomosado, los cuales depositaron materiales provenientes del flanco oriental de la Cordillera Oriental. Las unidades cuaternarias no han sido diferenciadas en las perforaciones petrolíferas ni en los registros geofísicos. Sin embargo, se estima que el espesor de los sedimentos de origen aluvial subyacentes no consolidados es del orden de 300 m a 500 m, secuencia de sedimentos que es denominada en los pozos como Formación Guayabo.

6.1.1 CUATERNARIO

En la Plancha 196 Río Guachiría se definió las siguientes unidades Cuaternarias.

6.1.1.1 Depósitos de Terrazas y Llanuras Aluviales (Qhdta)

Estos depósitos asociados a los cauces de los ríos presentes en la zona de trabajo, los cuales se subdividen en las siguientes unidades.

6.1.1.1.1 Terrazas Aluviales

Esta unidad se identifica como un cambio geomorfológico en campo; un pequeño nivel o cambio de altura en la topografía en las márgenes de los ríos de la zona. Son los depósitos generados por los Ríos Meta, Guachiría y Pauto principalmente,

es de anotar que estos depósitos son de poca extensión, no cartografiables a escala 1: 25000 (ver
Figura **24**) así como los generados también en menor escala por los Caños La Hermosa, Yatea, Los Venados y Las Abejas, respectivamente, en donde se observan una sucesión grano decreciente de limos y arenas cuarzosas con matriz lodosa de grano fino a muy fino, ricas en oxido e hidróxidos de hierro y aluminio (ver
Figura **25**) por efecto de meteorización (lavado), y en la parte superior de la terraza se depositan limos, lodos y arcillas ricos en óxidos de hierro, algunos de estos óxidos se presentan como fragmentos esféricos irregulares, sub redondeados no superiores a 1cm.

Figura 24. Terraza del Caño Yatea, la línea blanca en la parte superior señala el límite de esta el cual está a 20 m de la orilla del afluente y se extiende 50 m a ambos lados.

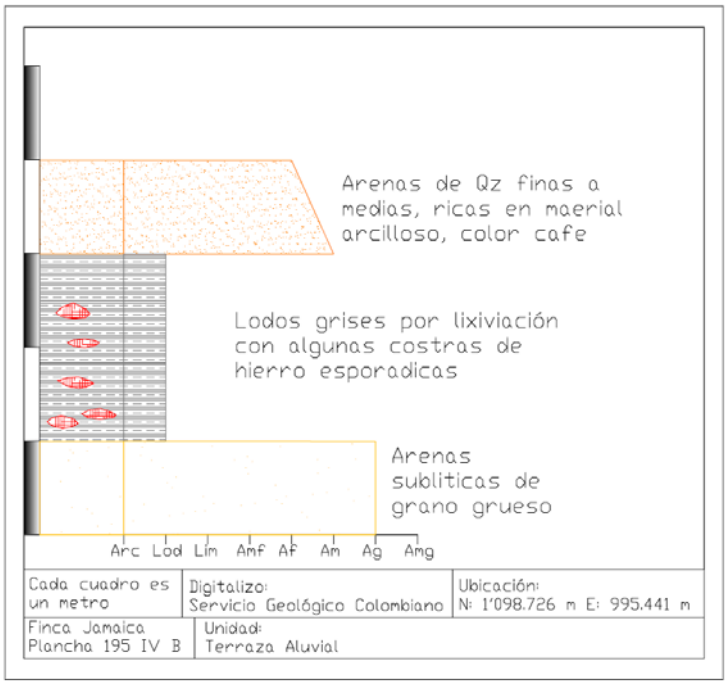


Figura 25. Columna detallada deposito de terraza aluvial del Caño Chiquito coordenadas limites con la Plancha 196 Guachiría E: 995.441 m. N: 1.098.726 m.

Debido a la alta tasa de erosión de estos depósitos, así como el arrastre de la corriente de los diferentes afluentes, la cual es aumentada por la erosión lateral fluvial de estos, así como la alta tasa de deforestación evidenciada en la zona (tala de bosques primarios para hacer potreros para el pastoreo de ganado en forma intensiva), el espesor de estas terrazas es variable, siendo la época de invierno la de más afectación para estos depósitos, fenómeno que produce carcavamientos en algunas zonas del talud del rio, especialmente notorio en algunos sectores del Meta y Rio Guachiría el cual, particularmente, posee una mayor energía que los otros afluentes. Los depósitos generados por este en la terraza son arenas de tamaño fino a grueso en las cueles se notan algunas estructuras como laminación inclinada y festoneada, rasgos que no son muy permanentes debido a los cambios de altura en el nivel del río (ver
Figura **26**)

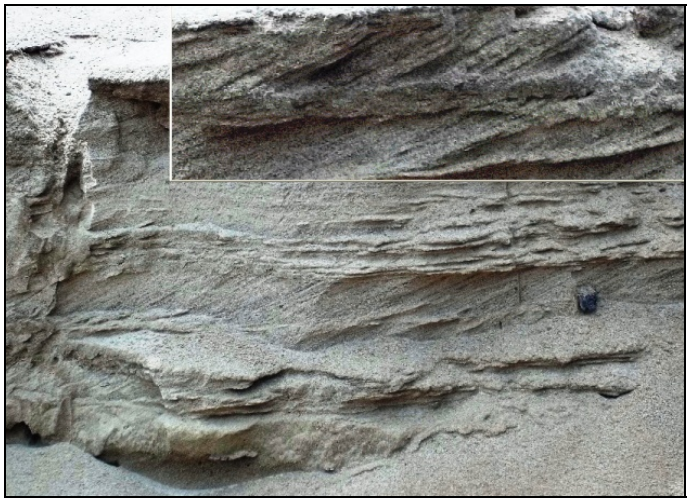


Figura 26. Depósito del Río Guachiría arena lítica de grano medio a grueso (un 75% cuarzo subredondeado a subesférico y 25% líticos) se observa facies como laminación inclinada planar y festoneada indicando la dirección de la corriente.

6.1.1.1.2 Depósitos de Llanuras Aluviales

Las llanuras de inundación son áreas de superficie adyacente a ríos o riachuelos, sujeta a inundaciones recurrentes.

Se pueden observar las llanuras de inundación desde varias perspectivas diferentes: "La definición de llanuras de inundación depende algo del objetivo a realizar. Como la categoría topográfica es muy plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión; hidrológicamente, está mejor definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río padre. Una combinación de estas características posiblemente cubre los criterios esenciales para definir una llanura de inundaciones" (Schmudde, 1968).

En algunas de estas zonas se originan de barras laterales, con dos o tres niveles de inundación como es el caso del Río Guachiría y Río Meta, en este último se dan barras longitudinales de gran extensión; donde se observan depósitos arenosos grano decrecientes de composición sub lítica a lítica, así como lagunas de media luna en zonas de meandros cortados, además de la generación de lodos orgánicos a turberas (lentes, como se ven en las paredes de las zonas de erosión), son distinguibles distinguible por su variación topográfica y su tipo de vegetación, que se dan arbustos y árboles, haciendo esta zona muy frondosa, (ver Figura **27**).

Figura 27. La foto izquierda muestra un claro ejemplo de cómo se ve la llanura de inundación en los afluentes de la zona, en este caso particular la imagen (izquierda) mostrando la llanura del Río Guachiría (zona de Finca Campoalegre), la foto derecha muestra una barra longitudinal de composición arenosa del Río Meta (Puerto Mister).

En esta unidad, se observa erosión lateral, generando taludes casi verticales de hasta 4 m de alto en algunos sitios (ver
Figura **28**), esto dependiendo de la energía, material de arrastre, pendiente, caudal del afluente, así como la disposición del material de los taludes, pueden ocasionar efectos desde erosión laminar hasta carcavamiento en la zona.

Figura 28. Talud de 4 m del Río Guachiría localizado en las coordenadas. E: 1.033.125 m; N 1.094.028 m.

Tanto la litología como la granulometría de estos depósitos es uniforme en los afluentes de la zona; mostrado una litología de limos, arenas finas a gruesas en baja proporción algunos limos, arcillas y líticos (ver
Figura **29**).

Figura 29. Litología de arenas finas a gruesas (un 85% cuarzo y 15% líticos), depósito del Rio Guachiría.

Un ejemplo importante es el descrito en la llanura del afluente Caño La Hermosa (ver
Figura **30**), se observa muy bien una secuencia la cual indica las diferentes variaciones en el nivel del afluente (épocas de inviernos y veranos) en el caso del nivel de oxidación nos puede evidenciar una sequia más extensa que los otros niveles.

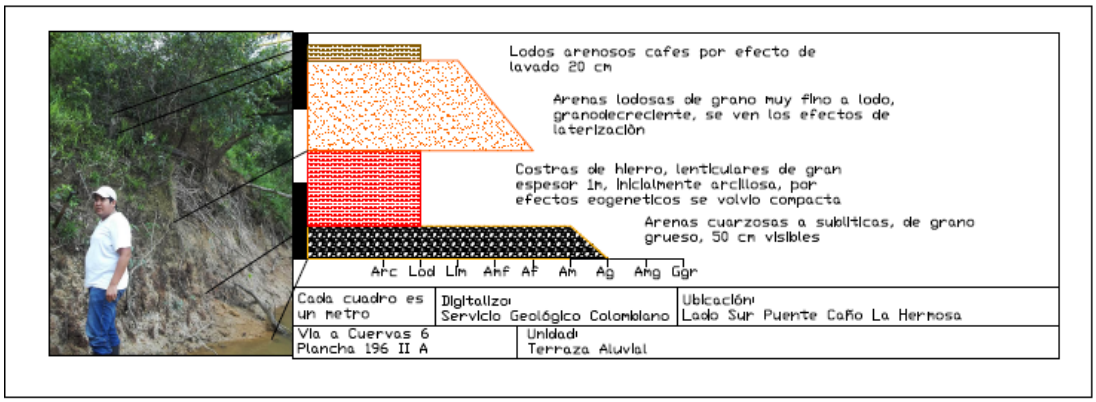


Figura 30. Columna de la llanura de los depósitos aluviales de llanura de inundación del Caño La Hermosa. Localizada en las coordenadas, E: 1041209 m, N: 1113729 m.

6.1.1.2 Depósitos en Planicies Aluviales (Qhpa)

Estos depósitos muestran una morfología plana a sub-plana (pendientes menores a 5°) y están compuestos por lodos arenosos (hasta un 25 % de su contenido en partes) de color gris a café en las zonas de alto de sabana (o bancos de sabana), los cuales son los que tienen menor grado de inundación.

En los bajos de sabana, son zonas de mayor grado de inundación, en donde algunas áreas se mantienen inundadas durante todo el año, compuestos por lodos negros a turba, con menor contenido de arena (< 5%), y con óxidos de hierro en forma de costras superficiales.

De la misma forma en zonas de menor erosión, en los bancos de sabana se tiene mayor lavado de los óxidos y materia orgánica dando estos colores, mientras que en las zonas bajas se da una acumulación de materia orgánica (incluyendo fósforo). Localmente se encuentran costras esporádicas de hierro precipitado en sistemas hídricos cerrados (con base en Chacón *et al*., 2005), especialmente esteros y morichales.

También se produce generación de turberas de mayor extensión, haciendo contraste con las partes secas evidenciado por el tipo de vegetación presente, que presentan pastos altos en las zonas inundadas, y arbustos menores en las zonas de baja inundación. Estas zonas muestran enriquecimiento de aluminio por efecto de lavado superficial y sub superficial (basado en IGAC, 1979; Figura 31)

Figura 31. Vista planicies extensas en la Zona de Candilejas (Limite con la Plancha 196 Río Guachiría).

El perfil litológico de esta unidad se presenta como una sucesión de lodos grises con algunas intercalaciones de costras de hierro y paleosuelos - turba incipiente, hasta los 3m, es su máximo espesor; lo suprayace una serie de arcillas arenosas, y anterior a este van una serie de arenas cuarzosas y sublíticas, que indican una alternancia de periodos lluviosos e inundados, y secos con mucha aridez.

A nivel geoquímico, en los bajos se da un dominio de materia orgánica con una asociación de hierro - fósforo (origen organoléptico) e hierro en costras (en sistemas cerrados, por efectos de un lavado previo y posterior precipitación en zonas de pH < 5), mientras que en las partes menos inundadas se tiene el lavado de estos elementos (laterización) y se tiene una mayor concentración de hidróxidos de aluminio e hierro residual (basado en Chacón *et al.,* 2005).

6.1.1.2.1 Ambientes de Depósito

De manera como nos muestra la geomorfología y la litología presente; tanto los bajos como las partes altas (Bancos de Sabana) se componen de depósitos de materiales finos a muy finos con óxidos de hierro generalizados, el cual su orden especifico no permite caracterizar su gradación, se evidencia en el terreno que estos depósitos no se encuentran afectados directamente por ciclos de depositación y erosión de los cauces actuales de los ríos Guachiría, Meta y los afluentes menores como La Hermosa, Yatea y el Venado, algunos tributarios de tercer orden, los procesos actuales se limitan a los asociados a procesos de decantación por encharcamiento en periodos de lluvias excesivas (época de invierno).

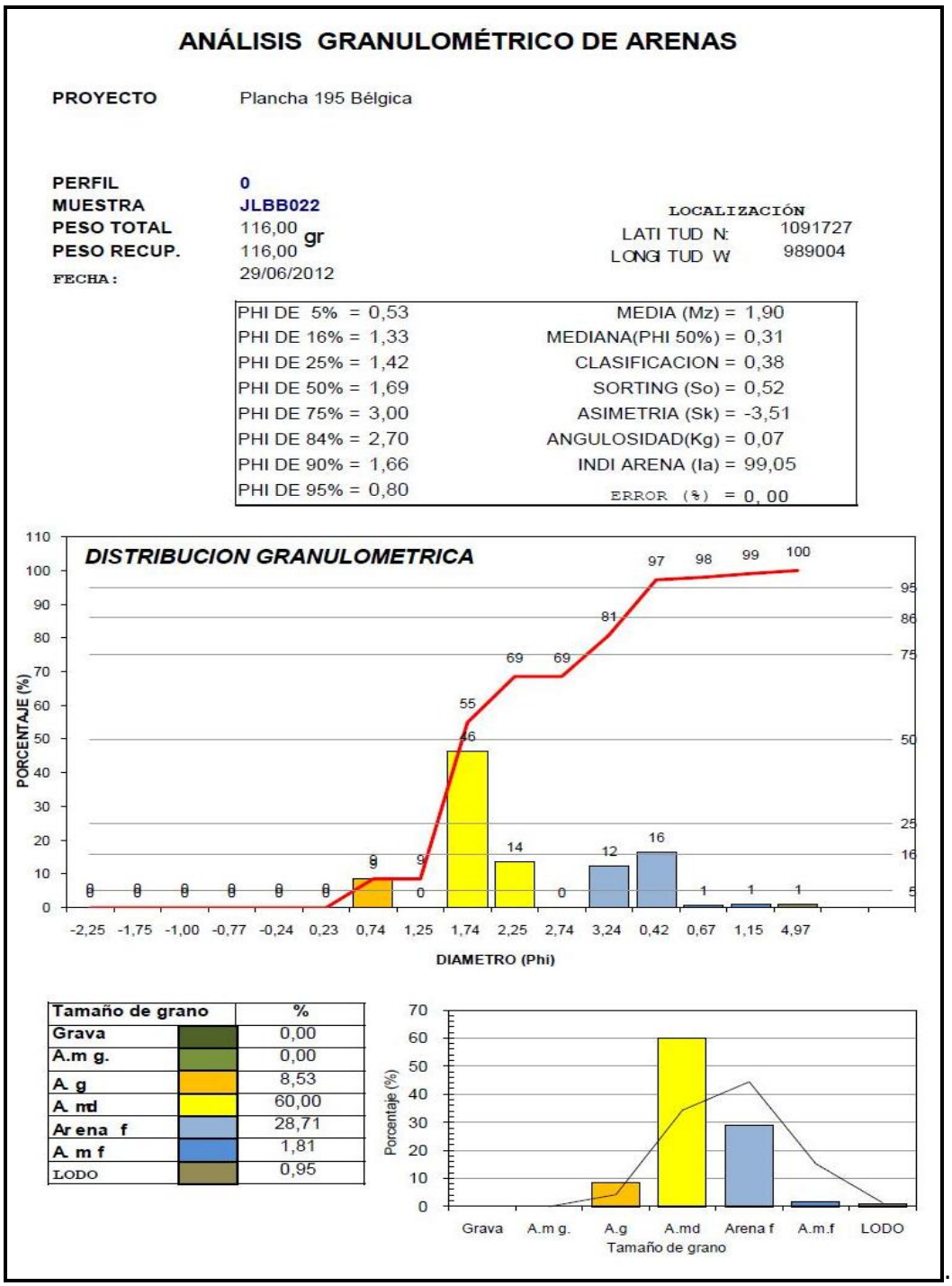
Su origen es marcado por un ambiente fluvial meándrico, el material posiblemente se deriva de intensos procesos de erosivos denudativos de la Cordillera Oriental y a los aportes por la acción de la dinámica fluvial en los depósitos del piedemonte Llanero. Estos eventos generaron aluviones; que por la granulometría presente en el área; depósitos de arenas y limos nos llevan a la parte distal del abanico; que forman estos depósitos de llanuras extensas aluviales.

Su edad es menor a 10.000 años, Holoceno (actual), en la cual ha sufrido los procesos más fuertes de la actividad humana, de los incendios generados de forma natural, más que todo en las épocas de mayor sequia como el Young Dryas (12.000 A.C) y de la pequeña era de hielo, en los hechos más recientes, en la cual se ha generado los niveles más arenosos y el establecimiento de los esteros y morichales (Montoya *et al*., 2011), que son las zonas generadoras de turberas (Ruter *et al*., 2009) y costras de hierro, en donde se denotan los lentes de turba y de costras de hierro, que en la zona los llaman arrecifes, haciendo concordancia a su paleo topografía.

6.1.1.3 Depósitos Eólicos (Qpde)

Estos depósitos muestran una composición arenosa cuarzosa de grano medio a muy fino, con buena selección, redondeados, con presencia de oxido de hierro adjunto a sus granos (evidenciando un ambiente netamente continental seco), dando una coloración café parda (ver
Figura **32** - Anexo A, modificado de IGAC, 1979).

Estas formas son de igual importancia ya que muestran un buen contraste morfométrico por tener elevaciones de 5 a 15m de alto, con grandes extensiones a lo largo y a lo ancho, llegando a tener hasta 15 Km de largo por 0.4 Km de ancho, con una dirección regional aproximada de N 30° E, e indicando que los vientos provenían de esta dirección, observándose éstos niveles arenosos en profundidad.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ARENAS

PROYECTO Plancha 195 Bélgica

PERFIL 0
MUESTRA JLBB022
PESO TOTAL 116,00 gr
PESO RECUP. 116,00
FECHA: 29/06/2012

LOCALIZACIÓN
LATITUD N: 1091727
LONGITUD W: 989004

PHI DE 5% = 0,53	MEDIA (Mz) = 1,90
PHI DE 16% = 1,33	MEDIANA(PHI 50%) = 0,31
PHI DE 25% = 1,42	CLASIFICACION = 0,38
PHI DE 50% = 1,69	SORTING (So) = 0,52
PHI DE 75% = 3,00	ASIMETRIA (Sk) = -3,51
PHI DE 84% = 2,70	ANGULOSIDAD(Kg) = 0,07
PHI DE 90% = 1,66	INDI ARENA (Ia) = 99,05
PHI DE 95% = 0,80	ERROR (%) = 0,00

Tamaño de grano	%
Grava	0,00
A.m g.	0,00
A. g	8,53
A. md	60,00
Arena f	28,71
A. m f	1,81
LODO	0,95

Figura 32. Resultado Granulométrico de los depósitos eólicos en la zona de Anolaima.

Los depósitos eólicos son observables en las zonas de Anolaima, El Rubí, La Esmeralda, y El Campin haciendo de estos depósitos extensos en algunas áreas.

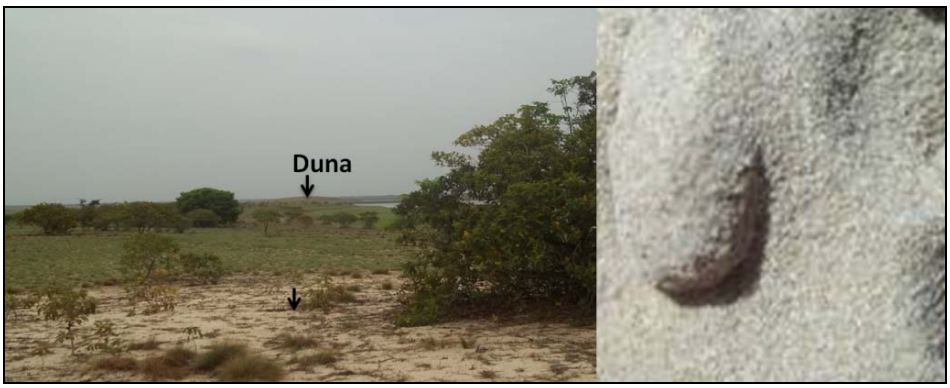


Figura 33. Depósitos Eólicos (Dunas) en la zona de la Finca San Esteban, obsérvese sus formas elongadas, litología (arenas cuarzosas) y vegetación incipiente.

Los ríos de la zona se sobre imponen a estos, indicando condiciones previas de sequía, a desertización de la zona de trabajo, dando lugar de dunas crenuladas – transversales en forma de U, que inicialmente fueron tipo Barján – longitudinal (Khobzi. 1981) y que luego se unificaron (observado de ejemplos de Ritter *et al*., 2002 aplicados a este trabajo).

En estas unidades no se distingue un desarrollo contundente de suelos, excepto de gramas (pastos bajos -
Figura **23**), que marcan un muy buen contraste en la zona, tanto en las fotos como en las imágenes de satélite.

Son zonas donde hay mayor recarga de acuíferos, los cuales están a menos de 2 m de profundidad, así estos niveles son areno arcillosos y arenosos cuarzosos a sublíticos en profundidad (ver
Figura **33**), con laminación plano - paralela.

Por relaciones paleoclimáticas en análisis de perfiles de suelo, por análisis previos de palinología Van Der Hammen (1958 y 1973) y descripciones de Flórez (en Banco de Occidente, 2005), se define una edad Pleistoceno Superior (Tarantiense), de hace 20.000 a 13.000 años para estos depósitos (Wikipedia, 2011; y Khobzi, 1981), coincidiendo con las condiciones de sequia extrema ofrecidas durante la última glaciación, ya que se retuvo mucha agua en los casquetes. Éstos procesos se dieron en especifico en las épocas de 12000 a 11000 AC, lapso de tiempo durante el cual hubo sequias fuertes, con un clima en donde se presentaba mayor vegetación cerca a los cuerpos de agua, contrastando con las épocas de sequia en las que se daba una reducción de éstos, que incluso en las zona de pastos se desertificaban, (Forero, 1977 y 1978; Khobzi, 1980 y 1981; Ruter *et al*., 2009; y Montoya *et al*., 2011).

6.1.1.4 Terrazas Aluviales Del Río Meta (Tarm)

Estos depósitos son una secuencia de arcillas, arenas, limos y esporádicamente gravillas cuarzosas de color gris claro a marrón, exclusivas del flanco vichadense del Río Meta; se observan cinco niveles de terrazas, que muestran la evolución del trazado del Río Meta, con una altura de 20 m hasta el inicio de la planicie aluvial, y un ancho de 5 km en promedio; teniendo posibles implicaciones tectónicas por su geometría en dirección N30E (casi concordante con la Cordillera Oriental), ya que son un buen indicador de posible falla normal o de una protuberancia tectónica (bulge).

6.2 UNIDADES DEL SUBSUELO

Estas unidades subsuperficiales descritas a partir de datos de pozo, su granulometría, porosidad y espesor se disminuye hacia el Este (ver Figura 34).

Con datos de los pozos Dorotea – 1 y S – 9 (Tabla 6) (Anexo F), se denotan muy bien las discordancias del Maatrichtiano – Paleoceno, Eoceno Medio - Tardío y Mioceno – Plioceno, Barrero *et al*. (2007) y Fajardo *et al.* (2000), nombran las unidades e interpretan la génesis de estas unidades en subsuperficie, tal y como se puede ver en la Figura 35.

Tabla 6. Ubicación pozos estratigráficos analizados.

Pozo	Norte (m)	Este (m)
Dorotea – 1	1.119.310	1.049.385
S – 9	1.111.658	1.059.979

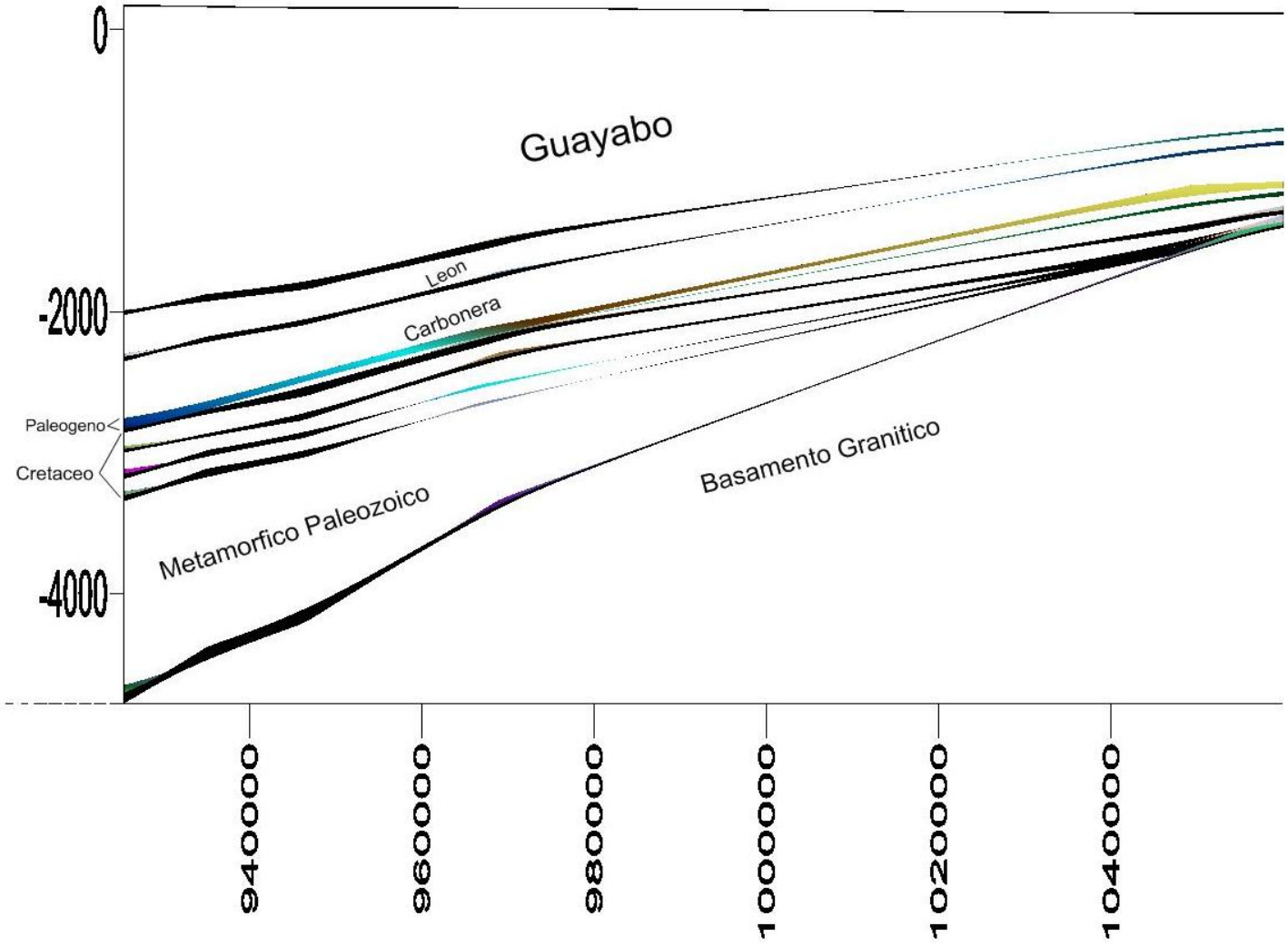


Figura 34. Perfil esquemático de la zona, basado en los pozos estratigráficos observados.

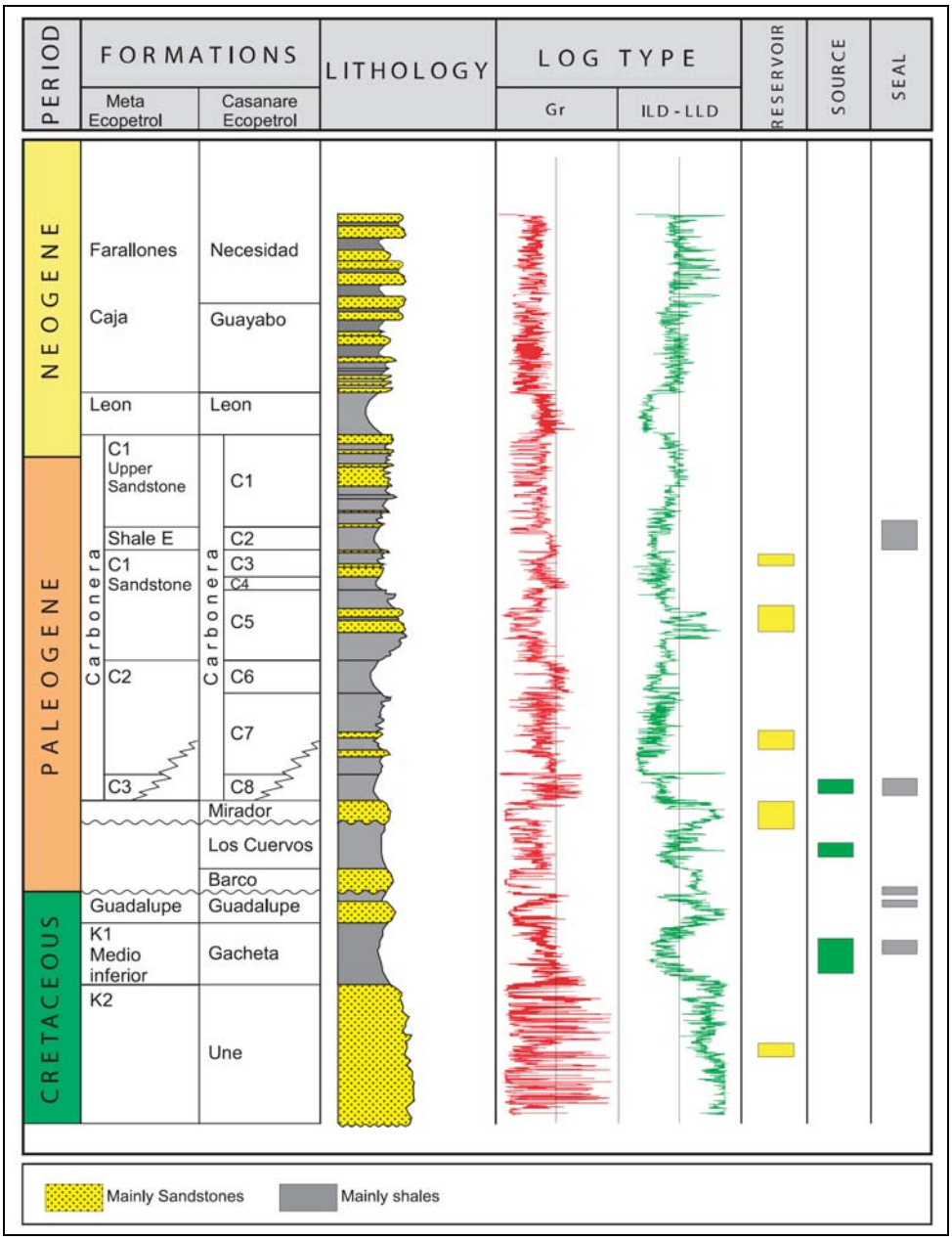


Figura 35. Columna estratigráfica generalizada de la Plancha 196 Río Guachiría. Tomado de Barrero D*. et al.,* 2007.

6.2.1 TERCIARIO

De acuerdo a la ANH (2010), se tienen definidas estas unidades de gran espesor y de gran importancia para la industria petrolera, y no se observa las unidades del Paleoceno Superior – Eoceno Inferior, haciendo denotar una discordancia importante, pero se hacen descripciones breves de pozo, ya que no afloran en campo.

6.2.1.1 Formación Guayabo

Esta Formación nombrada por Notestein (1944) en el Catatumbo, e inicialmente llamada Formación Caja (Miembro Superior) y Formación Corneta por Valencia (1938) en el Piedemonte, consiste de una asociación de facies de arenitas intercaladas con arenitas conglomeráticas, arcillolitas grises y limolitas, predominando las arenitas y las lodolitas, con algunos lentes de hierro, caolín y turba, con limite concordante inferior con la Formación León; con un espesor de 870 m en el Pozo Dorotea – 1 y 810 m en S - 9, de edad Mioceno Tardío a Hoy?.

Esta formación muestra toda la etapa de exhumación de la Cordillera Oriental y colmatación del antiguo lago, ya que son ambientes continentales de ríos meándricos a anastomosados, con algunos pantanos en donde se ha depositado carbón y lentes de hierro.

6.2.1.2 Formación León

Esta unidad denominada por Notestein (1944) en el Catatumbo e inicialmente llamada Formación Caja (Miembro Inferior) (Valencia, 1938) en el Piedemonte, se compone de lodolitas gris verdosas, con lentes de limolitas, con un espesor de 102 m en el Pozo Dorotea – 1 y 94 m en S – 9; con límites concordantes entre las formaciones Guayabo y Carbonera, de edad Mioceno Temprano a Mioceno Medio.

De acuerdo con Fajardo *et al.* (2000), “En este lago o cuerpo de agua restringido se depositaron lodolitas con intercalaciones arenosas de la Formación León durante el Mioceno Medio. El tope de la Formación León corresponde a un evento de máxima progradación, cuando prácticamente desapareció este cuerpo de agua en la Cuenca de los Llanos”.

6.2.1.3 Formación Carbonera

Esta unidad denominada por Notestein (1944) en el Catatumbo e inicialmente llamada Formación San Fernando (C5 a C8) y Formación de Diablo (C1 a C4) (Renz, 1938) en el Piedemonte, se compone de una sucesión de areniscas arcosas de grano fino a grueso con lodolitas gris – negras, con lentes de carbón, divididos en 8 miembros (C1, C3, C5 y C7 son arenosos, y C2, C4, C6 y C8 son arcillosos), concordante en sus límites inferior y superior con las formaciones León y Mirador; de edad Oligoceno Tardío a Mioceno Temprano, con un espesor de 242 m en el Pozo Dorotea – 1 y 298 m S – 9.

Fajardo *et al.* (2000), explica lo siguiente:

“Sobreyaciendo la Formación Mirador se encuentra intercalaciones de arcillolita, limolita y arenisca de la Formación Carbonera. Se reconocen depósitos de canales fluviales y canales estuarinos, depósitos de areniscas progradantes en llanuras de inundación o en bahías/estuarios y lodolitas de llanura de inundación, lagos, bahías o estuarios. Se interpreta que en el sector S (Meta) y E de la cuenca los

ambientes son predominantemente continentales y que hacia el N y O pasan a ser predominantemente transicionales.

Esta formación se depositó durante la finalización del Eoceno Tardío, el Oligoceno y el Mioceno Temprano. En la Formación Carbonera se identificaron cinco ciclos estratigráficos, los eventos progradacionales que se definen por la transición de depósitos de lodolitas de llanuras de inundación, lagos, bahías o estuarios a depósitos arenosos progradacionales de rellenos de lagos, bahías o estuarios y a veces se encuentran al tope depósitos de canales. Los eventos transgresivos o de aumento en A/S presentan una sucesión de depósitos inversa a la anterior, a la base se pueden o no encontrar depósitos de canales. En Fajardo et al., (2000) se interpreta que las Unidades pares (C2, C4, C6, C8 y C10) de la Formación Carbonera corresponden a los eventos progradacionales y que las Unidades impares (C1, C3, C5, C7 y C9) corresponden a eventos agradacionales y retrogradacionales).

La Formación Carbonera finaliza en un evento de máxima inundación, el cual ocasionó la aparición de un cuerpo de agua que cubrió gran parte de la Cuenca de los Llanos, se interpreta como semejante al Lago de Maracaibo donde hay condiciones de agua dulce hacia el S y E de la cuenca y agua salobre hacia el NE de la cuenca donde estaría la conexión con ambientes más marinos”.

6.2.1.4 Formación Mirador

Definida por Notestein (1944) en el Catatumbo, e inicialmente llamada Formación Areniscas del Limbo (Hubach, 1941) en el Piedemonte, se compone de areniscas sub arcosas, de grano fino a medio, con lentes esporádicos de lodolitas grises – verdosas, de límite superior concordante con la Formación Carbonera, y límite inferior discordante con la Formación los Cuervos; de edad Oligoceno Temprano a Oligoceno Tardío, con un espesor de 127 m en Pozo Dorotea – 1 y 61 m en S – 9.

De acuerdo a Fajardo *et al*. (2000), durante el Eoceno Medio y Tardío, el área de estudio está sujeta a exposición subaérea y erosión desarrollándose una superficie de inconformidad, sobre la cual se depositaron primero areniscas cuarzosas y luego lodolitas de la Formación Mirador (Eoceno tardío) en un ambiente que cambia de fluvial a transicional (estuarios o bahías). El tope de la Formación Mirador se define en una superficie de inundación que marca la finalización de un evento transgresivo, cercano a esta superficie de máxima inundación se encuentra el límite entre el Eoceno Tardío y el Oligoceno. La Formación Mirador representa el relleno de un valle de incisión.

6.2.2 CRETÁCEO

Según la ANH (2010), Ecopetrol definió las unidades de esta zona y se tienen las siguientes, y se hace forma breve, con las descripciones de pozo, ya que no afloran en campo.

6.2.2.1 Grupo Guadalupe

Definida por Hetner (1892) para las areniscas de la parte alta del Cretáceo, en los Cerros Orientales de Bogotá, y llamada Formación Areniscas de San Luis de Gaceno (Sarmiento y Guerrero, 1996) del Grupo Palmichal (Ulloa y Rodriguez, 1979) en el Piedemonte, esta unidad se compone cuarzo areniscas de grano fino a medio, masivas, esporádicamente de grano grueso, con unos pocos lentes de lodolita gris – rojo – blanco, con contacto inferior inconforme con el Basamento Granitico y contacto superior discordante con la Formación Mirador; con un espesor de 147 m en Pozo Dorotea – 1; con una edad de Campaniano Tardío.

Fajardo *et al.* (2000) dan la siguiente explicación a la génesis de esta unidad.

"Sobre la superficie de inconformidad desarrollada entre el Santoniano - Campaniano se depositaron areniscas con intercalaciones de lodolitas de la Formación Guadalupe. La parte basal de la Formación corresponde a canales y rellenos de estuarios depositados durante un aumento en nivel del mar. El máximo en la superficie de inundación coincide con un cambio paleo geográfico que origina un ambiente netamente marino en la Cuenca de los Llanos sobre la cual se depositan areniscas de *sobrefaces* o frente deltaico y lodolitas de plataforma, de la parte media del Guadalupe, durante un hemiciclo de disminución en el nivel del mar.

El evento progradacional finaliza en una superficie de inconformidad. Sobre la superficie de inconformidad entra-Guadalupe se depositan areniscas de canales estuarinos sobreyacidas por areniscas y lodolitas de relleno de estuarios y finalmente por lodolitas de plataforma marina durante un aumento del nivel del mar. Hacia el sur de la cuenca la ocurrencia de estratos correlacionables con la Formación Guadalupe no está del todo definida en el área de estudio, se encuentra un hiato desde parte del Campaniano Tardío hasta el Paleoceno Temprano (Reyes *et al.,* 1998; en Fajardo *et al*., 2000)."

6.2.3 PRECÁMBRICO

Se tiene el registro de esta unidad solo en un pozo, y demuestra la reducción de espesores hacia el Este de la zona de trabajo.

6.2.3.1 Basamento Granítico

Se compone de granito rosado, con cuarzo, feldespato potásico y mica, con alteración, dándose el caolín en esta unidad, tal como lo describen en el Pozo Dorotea – 1.

7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la zona no se reconocen geoformas asociadas a fallamientos o plegamientos, por lo que éste tipo de información solo se puede obtener por medio de datos de geofísica, ya sea por intermedio de líneas sísmicas o aerogravimetría. Con base a Barrero *et al.* (2007), se muestran en el esquema de la
Figura **36**, una serie de fallas normales que no afloran en superficie.

En la zona se tiene un lineamiento N30E, que corresponde a la Falla del Río Meta, de componente normal, por las características del pobre drenaje y pobre circulación del agua en lado del Casanare, y en la zona del Vichada, ya es un drenaje más desarrollado, pero sin embargo sufre encharcamientos, por los bajos cercanos al Río Meta.

Sin embargo, esta falla se asocia a una zona de rebote isostático (comparando el modelo de Decelles, 1996), por el evidente salto tanto topográfico entre las planicies inundables del Casanare y la Altiplanice del Vichada, siendo la primera la zona de forebulge, y la última como zona de backbulge, dentro de esta cuenca de “foreland”.

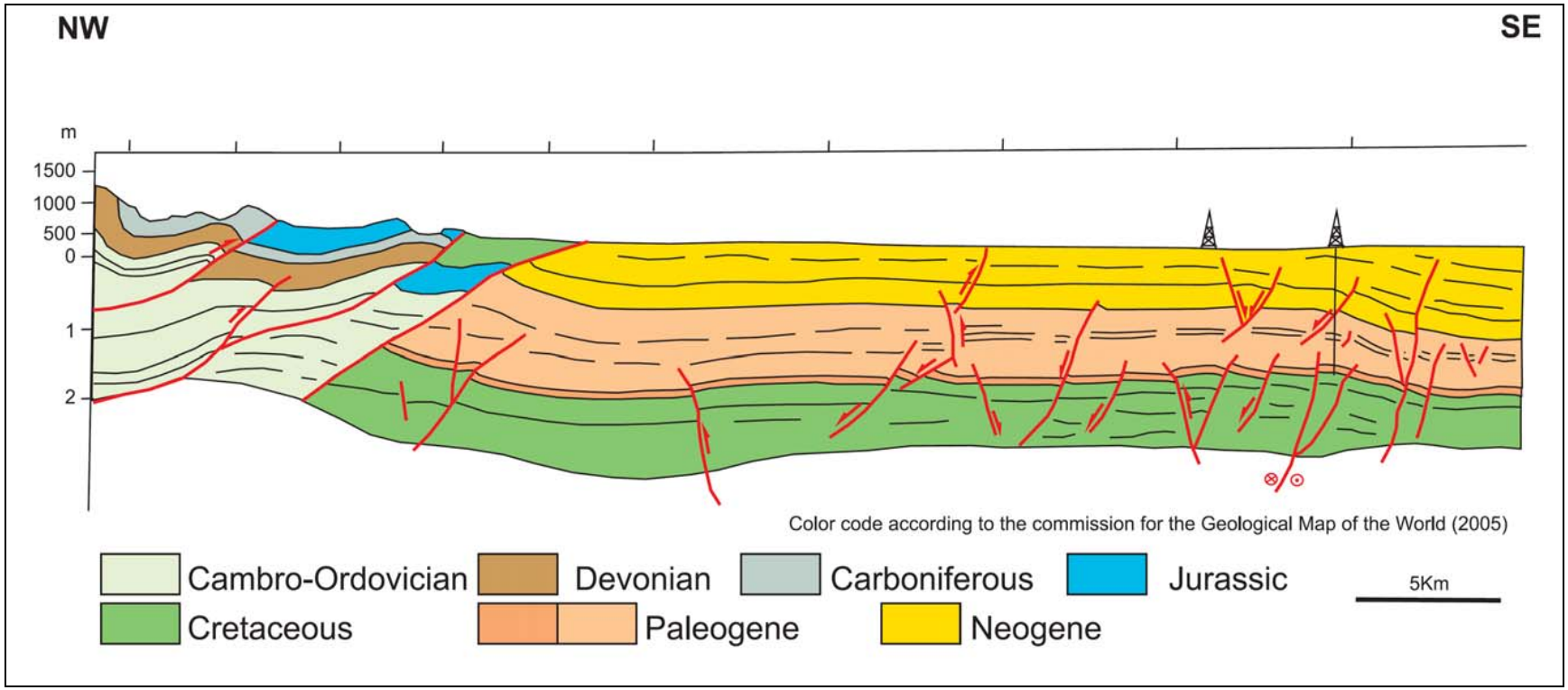


Figura 36. Sección transversal esquemática de la Cuenca de los Llanos Orientales (Tomado de Barrero *et al*., 2007).

Las anomalías magnéticas que han sido detectadas en la parte central de la plancha y con base en la forma de los campos petrolíferos que allí se presentan, demuestran una tectónica en donde la dirección de los lineamientos asociados a fallas normales tienen una dirección de rumbo de N30°E a N 40° E, muy semejante al contexto de la geotectónica regional.

En la zona se denota una serie de fallas normales, las cuales están alineadas en dirección N 40° E, tal y como se ven en la distribución de crudos (Perenco, 2011) (

Figura 37).

Figura 37. Distribución de campos de Perenco, se ve ciertos alineamientos estructurales, ya que estas trampas son de este tipo (Perenco, 2011).

7.1 BULGE DEL RÍO META

Esta protuberancia de origen tectónico es consecuencia del rebote isostático en los últimos pulsos de exhumación de la Cordillera Oriental y de los Andes de Mérida durante el Plioceno Tardío. Esta estructura se extiende a lo largo del Río Meta, en dirección casi paralela a estas dos cadenas montañosas, separando las planicies inundables del Casanare – Arauca (forebulge) de la Altiplanicie del Meta – Vichada (backbulge), y esta estructura coincide con la divisoria de aguas del Río Meta con el resto de ríos de la Altiplanice del Vichada.

7.1.1 Falla del Río Meta

Esta falla, con una componente normal, con una dirección de rumbo N30°E en esta zona y de vergencia desconocida, perteneciente al Bulge del Río Meta, fue definida por Hetner (1957); en Goosen (1971), la cual se extiende a lo largo del río, y sus argumentos para definirlas fueron con base en lo siguiente:

- Río trenzado y de morfología lineal.
- Dirección de drenaje diferente (N30°E) al resto de los drenajes presentes en la zona (S70°E).

- Valle, número de terrazas y concentración de tributarios de forma asimétrica en un relieve plano.

8. GEOQUÍMICA

En la zona de estudio, las unidades se caracterizan por tener una litología característica y por lo tanto una geoquímica muy específica. A nivel superficial, se observa una asociación vegetal (biogeoquímica), (para más detalle ver Anexo B).

8.1 PLANICIES ALUVIALES

Las Planicies Aluviales presentan un alto contenido de aluminio, sílice e hierro como principales componentes terrígenos, fosforo y materia orgánica, como elementos asociados a la abundancia de vegetación en la zona (ver Figura 38).

Figura 38. Zonas de altos de planicie aluvial, ver lodos cafés – grises por efecto de lavado (pastos bajos) (N: 1’118.577 m, E: 1’045.449 m).

Las Planicies Aluviales presentan un alto contenido de aluminio, hierro y sílice como principales componentes terrígenos; además fósforo, hierro organoléptico y materia orgánica, como elementos asociados a la abundancia de vegetación en la zona.

En las zonas de mayor inundación y poca interacción de las corrientes se presenta un alto porcentaje de materia orgánica, que adjunto a su composición contiene hierro y fósforo, que a su vez precipita también hierro libre, debido al lavado previo y al transporte del material.

En las zonas más secas se dan mayores contenidos de hidróxido y óxidos de hierro y aluminio. La materia orgánica y el fósforo se bajan a niveles mínimos (concordando con Chacón *et al*., 2005); estos niveles composicionales dependen de las épocas de sequía y de lluvias y se presenta una ebullición más acentuada

en éstas planicies en época de sequía, haciendo que la materia orgánica se descomponga generando CO_2 y CH_4 y nitratos, observándose colores grises de los lodos en las zonas de inundación temporal (ver Figura 39), mientras que la difusión (descomposición, con transporte en solución) es el proceso de descomposición primario, dado por el transporte del agua (ya que la columna de redox es variable, confirmado en Smith *et al*., 2000; y San José *et al*., 2010).

Figura 39. Zona de planicie aluvial (bajos (zonas de inundación casi permanente con pseudopastos y las zonas fluctuantes con pastos altos) rica en materia orgánica e incipiente formación de costras de hierro (?) (N: 1’112.486 m, E: 1’035.764 m).

En algunas zonas de estas planicies aluviales se tienen costras de hierro superficial, debido que hay sistemas hidrológicos cerrados, y hay alta acidez en esta, zona incluso mayor que la promedio (pH < 4).

8.2 DEPÓSITOS DE LLANURA Y TERRAZAS ALUVIALES

En el caso de lagunas de media luna y meandros cercenados, se ven altos contenidos de materia orgánica con hierro y fósforo asociado a su estructura, hierro libre precipitado por lavado y transporte en solución (Twindale, 2004) (

Figura 40).

En las zonas de baja y media inundación éstos depósitos se muestran ricos en contenidos de hidróxidos de hierro y aluminio, ya que dependen de la emisión de metano y dióxido de carbono, el cual se da por ebullición y difusión constante, dejándolos pobres en los otros elementos (por los niveles redox variables),

Incidiendo en los colores cafés - rojos (basado en Smith *et al*., 2000; y San José. 2010) en las zonas de baja energía (ver también

Figura 41, para perfiles de lavado). Smith *et al*., 2000; y San José *et al.*, 2010) en las de baja energía (ver

Figura 40 y

Figura 41).

Figura 40. Zona de paleo oxbow lake, ya que presenta capas lenticulares de hierro (abajo) y de materia orgánica (turba arriba), en zona actual de terraza (Caño La Hermosa) (N: 1’113.729 m, E: 1’041.209 m).

Figura 41. Zona de terraza en donde se ve el lavado de los sedimentos asociados, dando estas matices típicas de colores rojizos a cafés (N: 1’091.167 m, E: 1’032.185 m).

Mientras que en las zonas de mayor influencia de la corrientes fluviales son ricos en sílice (arenas), aluminio (lodos y restos de arenas líticas) y hierro (pegado a los granos de arena) (ver

Figura 42).

Figura 42. Barra donde se observa la estratificación, se ven los siliciclásticos (Cuarzo) con algo de hierro y líticos, típicos de barras laterales (N: 1’093.753 m, E: 1’036.039 m).

8.3 TERRAZAS ALUVIALES DEL RÍO META

El comportamiento geoquímico de estas unidades, es igual al de una terraza actual, con todos sus demás componentes acompañantes, ya que su litología y su evolución es igual, pero estas quedaron “fósiles”, por efecto de un posible evento tectónico, y juegan un rol como fuente de sedimento.

8.4 DEPÓSITOS EÓLICOS

En las dunas, que son zonas de recarga de acuíferos superficiales, se observa un alto contenido de sílice (de primer orden ya que son arenas cuarzosas) y en menor orden óxidos de hierro y aluminio por lavado (los cuales están pegados a los granos), pero bajo contenido en fósforo inorgánico y nulo en materia orgánica, o simplemente incipientes (ver
Figura 43).

Figura 43. Arenas silíceas con algunas costras incipientes de hierro y aluminio (N: 1’102.636 m, E: 1’037.238 m).

8.5 UNIDADES NO SUPERFICIALES

A profundidad hay una generación de crudo de las unidades de La Carbonera, y Mirador, el cual es de tipo pesado a medio debido a la evolución geotérmica de estos. Los crudos livianos se presentan en las unidades del Cretáceo y del Paleozoico, los cuales son superlivianos a condensados, en profundidad, asociados a rocas metamorfoseadas, en una cuenca inmadura (confirmando lo de ANH, 2010; y Ramon *et al*., 2001), en donde las unidades del Cretáceo tienen kerógeno I y II (tipo marino), y las unidades del terciario II, III y IV (deltaico, lagoons, ciénagas, llegando a lagos continentales), respectivamente, por el cambio de tipo de cuenca (basado en ANH, 2010; y Ramon *et al*., 2001), y estas tienen un mayor aporte de terrígenos al este afectando los porcentajes de TOC (Total Organic Carbon), H y Ro (Reflectancia vitrinita).

A nivel composicional en las unidades cretácicas - terciario inferior arenosas predomina el componente cuarzoso – subarcoso, mientras que en el terciario superior actualmente éstos depósitos pasan de sublítico a lítico, por el levantamiento tectónico de la cuenca que compone actualmente la Cordillera Oriental (Lundberg *et al.*, 1998).

9. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

Ecopetrol & BEICIP, 1995; en Fajardo *et al*., 2000; Lundberg *et al.* (1998) y Guerrero (2002) proponen que el cuadro de evolución geotectónica de la cuenca de los llanos orientales se puede dividir en nueve etapas:

- ***Cambro –Ordovícico***: culmina con la Orogenia Caledoniana.

- ***Devónico – Carbonífero – Pérmico***: finaliza con la Orogenia Hercínica.

- ***Triásico - Jurásico*****:** que corresponde a una cuenca de tipo rift con una subsidencia tectónica, detrás de un arco volcánico localizado en la presente Cordillera Central. Esta cuenca se ubica en los sectores actuales del Magdalena y Cordillera Oriental.

- ***Cretácico temprano*****:** corresponde a una segunda fase de rift (continuación de la secuencia de rift anterior).

- ***Cretácico tardío*****:** ocurre subsidencia térmica y formación de una cuenca detrás del arco volcánico localizado en la Cordillera Central. Durante esta fase se depositaron los intervalos correspondientes a la roca madre principal de la Formación Gacheta, equivalente a la Formación La Luna.

- ***Maastrichtiano – Paleoceno*****:** se presenta la Orogenia pre-Andina durante la cual se produce la colisión del arco volcánico de la Cordillera Occidental con la Cordillera Central y la creación de una cuenca de antepaís ubicada en el Valle de Magdalena, la Cordillera Oriental y los Llanos.

- ***Eoceno temprano y medio*****:** corresponde a un periodo de erosión en el área de los Llanos en donde el material erodado fue transportado hacia el norte y corresponde a las Formaciones Mirador y Misoa C y B de la Cuenca de Maracaibo. La erosión en los Llanos puede deberse a un efecto de rebote.

- ***Eoceno tardío – Oligoceno – Mioceno temprano*****:** para esta edad en el sitio actual de la Cordillera Oriental existían elementos positivos que impedían una comunicación directa entre la Cuenca Llanos y la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

- ***Mioceno Medio a Pleistoceno*:** ocurre la Orogenia Andina con la colisión de Panamá, el levantamiento de la Cordillera Oriental e individualización de las cuencas del Valle del Magdalena y Llanos Orientales.

9.1 PALEOCLIMATOLOGÍA EN EL CUATERNARIO

El clima durante el Pleistoceno Superior y Holoceno está controlado por fenómenos globales que han sucedido en los últimos 100.000 años, y que han influido en gran parte sobre el clima de toda esta zona, como los ciclos de Dansgaard – Oeschger, que son ciclos de rápido calentamiento con un enfriamiento progresivo; además están los estadiales de Heinrich, que corresponden a etapas de enfriamiento abrupto, evidenciado por una gran cantidad de líticos en los registros de capas de hielo de Groenlandia (Hessler *et al*., 2010), muy relacionado con la interrupción en la Circulación Inversa del Atlántico Meridional (AMOC, por sus siglas en ingles), que incide en gran medida en la dinámica de la ITCZ (Zona de inter - convergencia tropical), que en ese entonces, ubicándola cercana al Ecuador y restringiendo sus zonas de influencia.

Estos fenómenos afectaron la distribución y tipo de vegetación en la zona, (Hessler *et al*., 2010). En las épocas interglaciares, el clima era tropical húmedo, existiendo condiciones semejantes a hoy en día, como una gran distribución de la vegetación; pero en épocas de glaciales se restringió la distribución de la vegetación hacia las zonas más húmedas, incluso reducida en tamaño y escasez de pastos en la sabana. Se presentan paisajes característicos de épocas de sequía e incluso con un alto grado de aridez (Hessler, 2010), con la formación de las dunas (Khobzi, 1981) y depósitos de loess (Irondo *et al*., 1997; e Irondo, 2007), debido a que los casquetes de hielo retenían toda la humedad del entorno (evidenciado por reducción del O_2 y CO_2 en el ambiente).

Los vientos en esa época provenían del noroeste (alisios?), manifestándose por la dirección de los depósitos eólicos representados en dunas parabólicas. Desde el final de la última glaciación dio el Dryas Reciente (Younger Dryas), en el cual se produjo un calentamiento muy rápido con un alto grado de desertificación (asociado al descongelamiento, pero con pobre concentración de elementos estabilizadores en la atmósfera), el cual se estabilizó hace 6.000 años, dándole más humedad al entorno por reactivación de grandes ciclos biológicos asociados al clima de la zona, pero con unos ciclos menores de sequia (evidencias en Ruter A. *et al*., 2004; Rodbell *et al*., 2009; y Montoya *et al*., 2011), regresando a un paisaje de sabana en un clima tropical húmedo, y generando las terrazas y planicies de gran extensión, tal y como se ven hoy día, aunque éstas han sufrido una gran afectación antropogénica (Montoya *et al*., 2011), aspecto que queda demostrado con la materia orgánica carbonizada, ya que algunos de estos esteros se han ido disecando, se han modificado para el cultivo de arroz, o se han utilizado para la construcción de vías para acceso a fincas o pozos petrolíferos.

En consecuencia, el efecto de estos fenómenos antropogénicos es agravar el efecto de estos ciclos sobre el clima global, ya que estos ciclos tienen su origen en las corrientes de aguas frías y cálidas, junto con la salinidad del mar (mencionado en Chacón *et al.*, 2005; San José *et al.*, 2010; y Montoya *et al*., 2011).

10. GEOLOGÍA ECONÓMICA

En la zona se tienen los campos de Cuervas y Dorotea, que pertenecen a la Empresa Hupecol (ahora New Granada Energy), y los pozos Corcel de la Empresa Perenco Colombia, en donde se extrae crudo de los niveles de arenosos de la Formación Carbonera, de crudo pesado, y de las unidades cretácicas se tiene crudo liviano, ya por la evolución de estas cuencas y por gradientes geotermales presentes, afectando los contenidos de TOC y la relación O/H.

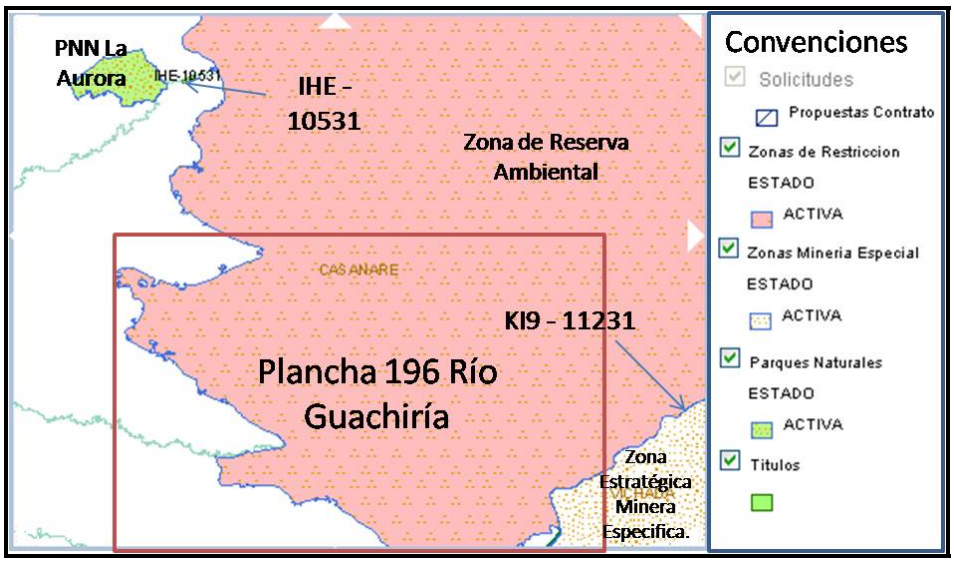


Figura 44. Títulos mineros dentro de la Plancha 196 Río Guachiría y sus alrededores.

Con respecto a los títulos mineros en la zona (ver

Figura 44), en su totalidad son para extracción de materiales de construcción, los cuales son los siguientes:

- Las costras de hierro (localmente llamado arrecife) son usadas para la construcción de terraplenes de acceso en algunas veredas de la zona. Estas formaciones geológicamente son cuerpos muy pequeños que económicamente no son explotables ni a mediana ni a gran escala, a menos que mediante estudios más detallados del área, éstos pudieran ser considerados al menos a mediana escala.

- Los depósitos de arcilla son usados de relleno base en el desarrollo de terraplenes.

- Por otra parte las dunas o depósitos de arena fluvial se perfilan como fuentes muy importantes de material de construcción.

El agua subterránea se encuentra a menos de 30 m de profundidad y se usa para el abastecimiento diario de los predios, en cubrimiento de sus necesidades básicas, aspecto por lo cual debe considerado como un recurso de vital importancia para la región, así como dársele un tratamiento especial en la formulación de los POT.

11. PROBLEMÁTICA GEOAMBIENTAL

Este capítulo presenta como referencia los problemática ambiental y geotécnica observada en el área de estudio, los mayores problemas son generados por intervención antrópica; El hombre como gran protagonista en modificar las condiciones naturales, ambientales, geológicas; bien sea para bien o para entrar a deteriorar las condiciones de un ecosistema o ambiente en general.

Un problema generalizado en el área de estudio, el cual ha causado un mayor impacto en el sector de la vía a los Pozos Cuervas, que la intervención del hombre en la creación de terraplenes en acceso a las fincas, esto ocasionando un cambio en el correcto descole de las aguas creando así zonas inundables (ver Figura **45**). Estas zonas son principalmente para el ganado extensivo o la construcción de plataformas, haciendo inviable cualquier recuperación u otro tipo de cultivo.

Figura 45. La figura indica el terraplén el cual impide el descole de las aguas.

Otro problema generalizado, son las cárcavas y la erosión lateral; que son muy típicas en zonas fluviales, ya que por efectos de estas se generan derrumbes locales, y zonas inestables, en las cercanías de los ríos con ello generando cárcavas, afectando el equilibrio del terreno en algunos sectores (ver Figura **46**).

Figura 46. En la fotografía de la izquierda**,** zona de erosión del talud del Rio Guachiría – Caño Los Bejucos localizado en la Hacienda Palmeiras. En la fotografía de la derecha talud del Rio Guachiría mostrando erosión (Finca El Disonante).

La erosión (carcavamiento) mostrada en la
Figura **46** es producto de la erosión lateral fluvial del Rio Guachiria, aumentada por factores antrópicos interacción del hombre en la tala de bosque primario el cual hacia parte de la vegetación de la llanura de inundación de este afluente.

Un problema, ya a nivel macro, es el desecamiento de los esteros, morichales y demás elementos del sistema hidrológico de la zona, y se debe a varios factores, como al explicado al inicio de este capítulo, la deforestación de bosques de galería, la caza, las perforaciones tanto para el desarrollo de líneas sísmicas como perforaciones de exploración y/o explotación petrolífera, ya que destruyen acuíferos, y generan desequilibrio en el sistema hidrológico, que alimenten a nivel superficial estos cuerpos de agua, y otros ya por efectos naturales, como el calentamiento global, que hace que no se obtenga el equilibrio en las aguas en este sistema.

12. CONCLUSIONES

- En la Plancha 196 Río Guachiría se hace claro la depositación de cuatro unidades geológicas identificadas por parámetros texturales y geomorfológicos, como son los Depósitos de Planicie Aluvial (Qhpa), Depósitos de Terrazas y Llanuras Aluviales (Qhdta), Terrazas Aluviales del Río Meta y los Depósitos Eólicos (Qpde).

- Los vientos tenían dirección N30E a S30W, en el pleistoceno y se argumenta por la dirección de las dunas presentes en la zona.

- Las terrazas aluviales del Río Meta, se presentan en un solo flanco del río, permitiendo hacer deducciones relacionadas con neotectónica.

- El Río Meta puede actuar como una posible falla normal, en donde el flanco casanareño es el bloque caído y el flanco vichadense es el bloque colgante; o un simple fore bulge, también argumentado por la asimetría de las llanuras de inundación y los niveles de terraza en el flanco vichadense.

- Las épocas de sequia y de lluvias inciden en la geoquímica de la zona, e influyen en los distintos procesos naturales, llegando a un equilibrio.

- Las zonas de mayor acumulación de materia orgánica son los bajíos y en menor cantidad las lagunas de media luna (en las zonas de terrazas).

- Estos suelos son generados por efectos lateríticos (más del 60% en Al_2O_3), haciéndolos poco viables para la agricultura.

- La evolución de esta cuenca es inmadura, y el gradiente de temperatura se debe al espesor de las unidades, viéndose una clara correlación de los crudos presente en la zona y las unidades en tiempo / profundidad.

- Esta cuenca en la zona ha tenido nueve etapas muy claras de desarrollo hasta hoy, volviendo de una cuenca de back arc a una cuenca de foreland, ya por los efectos de rebote tectónico en el Paleoceno, y los efectos de levantamiento desde el Eoceno Temprano hasta el Mioceno Tardío, que fue cuando se levanto la Cordillera Oriental, y las separa de las cuencas de Magdalena y del Maracaibo; observando también en su litología.

- Esta zonas tienen unos ciclos de sequia y de humedad globales, modificando los patrones de vegetación, haciendo de estos uno de los paisajes más frágiles.

- Se tienen evidencias de que en las épocas glaciares, esta zona de sabana se convertía en una zona árida, con unas condiciones hostiles, y se evidencia en la presencia de dunas, y niveles arenosos de a poca profundidad.

- Este paisaje en algunas zonas ha sufrido la incidencia de la afectación antropogénica, y de los incendios tanto naturales como generados por él hombre.

13. BIBLIOGRAFÍA

AIS., INGEOMINAS., UNIANDES. (1996). Estudio General de Amenaza Sísmica en Colombia. INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.

ALLEN, J. (1970). Studies in fluviatile sedimentation: a comparison offining-upward cyclothems, with special reference to coarse member composition and interpretation. SEPM (Society for Sedimentary Geology). Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 5 (40), pp. 298–323. Tulsa, OK, USA.

AMOROCHO, R., BAYONA, G., REYES-HACKER, A. (2011)., Controles en la Composición de las Arenas Fluviales en las zonas proximal de una Cuenca de Antepais Tropical. Geología Colombiana, Vol. 36, 1, pp. 163 – 178.

ANH. (2007). Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Bogotá, Colombia.

ANH. (2010). Organic Geochemistry Atlas of Colombia. Second Edition, 182 pp.

ANH., Lithosphera. (2010). Mapa de Anomalía de Intensidad Magnética Total (IMT) de la Republica de Colombia. Versión 1.2, escala 1:2.500.000.

ANH., & Carson Aerogravity. (2009). Levantamiento Aerogravimetrico y Aeromagnetico de los Sectores Norte y Oriental de la cuenca de Los Llanos Orientales. Contrato 34, 51 pp. Colombia.

AREVALO, D., RUBIO, P., PROAÑO, C. (1976). Estudio General de Suelos de los Municipios de Hato Corozal y Paz de Ariporo y Pore, Intendencia del Casanare. IGAC, 329 pp. Bogotá.

ARIMOTO, R. (2001). Eolian Dust and Climate: Relationships to Sources, Tropospheric Chemistry, Transport and Deposition. Earth Science Review, Vol. 54, pp. 29 – 42.

BANCO DE OCCIDENTE. (2005). La Orinoquia de Colombia. Banco de Occidente. Cali, Colombia.

BENITO, G., SANCHEZ, Y., SOPEÑA, A. (2003). Sedimentology of High Stage Floods Deposits of the Tagus River, Central Spain. Sedimentary Geology, Vol. 157, pp. 107 – 132.

BOTERO, P. B. (1999). Paisajes fisiográficos de Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia. IGAC, Análisis Geográficos, pp. 27-28. Bogotá, Colombia.

BOTERO, P. J. (1997). Estudio fisiográfico de la Orinoquia - Amazonia colombiana. IGAC, Revista CIAF, Vol. 15, No 1, pp. 83 - 115. Santa fe de Bogotá, Colombia.

CHACON, N., DEZZEO, N., MUÑOZ, B., RODRIGUEZ, J. (2005). Implication of Organic Soil Carbon and the Biogeochemistry of Iron and Aluminiun on Soil Phosphorus Distribution in Flooded Forest of the Lower Orinoco River, Venezuela. Biogeochemistry, Vol. 73, pp. 555 – 566.

COHEN, K.M, FINNEY, S., GIBBARD, P.L. (2012). International Chronostratigraphic Chart. International Commission on Stratigraphy.

CORPORINOQUIA. (2008). Estrategia de Mejoramiento de la Gestión Ambiental Territorial. Municipio de Paz de Ariporo.

DECELLES, P. (1996). Foreland Basin Systems. European Association of Geoscientists & Engineers and International Association of Sedimentologists, Basin Research, Vol. 8, pp.105-123.

DOS SANTOS-PINHEIRO, G.M., POITRASSON, F., SONDAG, F., CRUZ-VIEIRA, L., MARTINS-PIMENTEL M. (2012). Iron Isotope Composition of the Suspended Matter Along Depth and Lateral Profiles in the Amazon River and its Tributaries. Journal of South American Science, On Line, pp. 1 – 10.

ECOFONDO. (2007). El agua en la Orinoquía.

ECOPETROL., & BEICIP. (1995). Cuenca de los Llanos Orientales. Estudio Geológico Regional. Ecopetrol, 198 pp. Bogotá, Colombia.

EOT. (2007). Esquema de Ordenameinto Territorial del Municipio de Trinidad. Casanare, Colombia.

ESPINAL, S. (1977). Zonas de Vida o Formaciones Vegetales de Colombia. Memoria Explicativa sobre Mapa Ecológico. IGAC. 238 pp. Bogotá, Colombia.

http://explorock.wordpress.com/2010/08/04/depositos-sedimentarios/

FAJARDO, A., ROJAS, L., CRISTANCHO, J. (2000). Definición del modelo estratigráfico en la cuenca de los llanos orientales Piedemonte llanero. Informe Final / ECOPETROL- ICP. Piedecuesta, Santander.

FLORES, A. (2003). Colombia: Evolución de sus Relieves y Modelados. Universidad Nacional de Colombia. 240 pp. Bogotá, Colombia.

FLORES, A., BARAJAS, A.F., JARAMILLO, O., MARTINEZ, N.J., BARRERA, M.S., MONTOYA, J.W., TOBON, E.A., CEBALLOS, J.L., VELANDIA, A., CHAVEZ, L., PRIETO, A.I., RAMIREZ, D. (2010). Sistemas Morfogenéticos del Territorio Colombiano. IDEAM. Bogotá.

FOLK, R.L. (1974). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co. Austin, Texas.

FOLK, R.L. (1951). Stages of textural maturity in sedimentary rocks, SEPM. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 21, pp. 127-130. Tulsa, OK, USA.

FORERO, M. C. (1977). Patrones de dunas de los Llanos Orientales de Colombia sobre imágenes ERTS - MSS y fotografías aéreas. IGAC, Revista CIAF, Vol. 4, pp. 71 – 82. Bogotá, Colombia.

FORTIN, D., LANGLEY, S. (2005). Formation and Occurrence of Biogenic Iron-rich Minerals., Earth Science Review. Vol. 75, pp. 1 – 19.

FRASCATI, A., LANZONI, S. (2009). Morphodynamic Regime and Long Term Evolution of Meandering Rivers. Journal of Geophysical Research, Vol. 114, 12 pp.

FRIEDMAN, G. M. (1978). Principles of Sedimentology. John Wiley & Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.

GEOTEC., ECOPETROL., ROBERTSON RESEARCH. (1997). Seismic Atlas of Colombia. Ingeominas. Bogotá, Colombia.

GÓMEZ, J., NIVIA, A., MONTES, N.E., JIMENEZ, D.M., SEPULVEDA, J., GAONA, T., y otros, Recopiladores) (2007). Mapa Geológico de Colombia, Escala 1:1'000.000. Ingeominas. Bogotá, Colombia.

GOOSEN, D., (1971). Physiography and soils of the Llanos Orientales, Colombia. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences. Enschede, The Netherlands.

GRATEROL, V., ANH. (2009). Mediciones aerogravimétricas y magnetométricas en los Llanos Orientales de Colombia. ACGGP, 10º Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas. Cartagena, Colombia.

GUERRERO, J. (2002). A Proposal on the Classification of the Systems Tracts: Application to the Allostratigraphy and Sequence Stratigraphy of the Cretaceous Colombian Basin, Part 1 and Part 2. Geología Colombiana, Vol. 27, pp. 3 – 49.

HESSLER, I., DUPONT, L., BONNEFILLE, R., BEHLING, H., GONZALEZ, C., HELMENS, K., HOOGHIEMSTRA, H., LELAMBA, J., LEDRU, M.P., LEZINE, A.M., MALEY, J., MARRET, F., VINCENS, A. (2010). Milenial – scale Changes in Vegetation records from Tropical Africal and South America During last Glacial. Quaternary Science Research, Vol. 29, pp. 2882 – 2899.

HERRERA, V., MOLINA, C., BURGOS, L. (1983). Estudio General de Suelos de la Comisaría del Vichada. IGAC, 473 pp. Bogotá.

HOLDRIDGE, L. R., (1967), Life Zone Ecology. (H. J. Saa, Trad.). IICA, 216 pp. San José, Costa Rica.

HOOGHIEMSTRA, H., VAN DER HAMMEN, T. (1998). Neogene and Quaternary Development of the Neotropical Rain Forest: The Forest Refugia Hypothesis, and a Literature Overview. Earth Science Review, Vol. 44, pp. 147 – 183.

Hürlimann, M. (2008). Depósitos Aluviales. Universidad Politecnica de Cataluña, 12 pp. Disponible en:
http://www2.etcg.upc.es/asg/engeol/pdf_files/1.2aluvial_txt.pdf

IDEAM. (2006). Reportes de los Factores Climáticos de las Estaciones Meteorológicas del Area de Influencia del Municipio de Trinidad.

IGAC. (2010). Sistema de Gestión Agrícola. Disponible en www.igac.gov.co

IGAC. (1999). Paisajes fisiográficos de la Orinoquía-Amazonía (ORAM). IGAC, Análisis Geográficos, pp. 27-28. Bogotá, Colombia.

IGAC. (2005). Cartografía oficial de la plancha 195 Escala 1:100000. Bogotá.

IGAC. (1995). Suelos De Colombia. Origen, Evolución, Clasificación y Uso. Subdirección de Agrología. Bogotá.

INGEOMINAS. (1987). Recursos Minerales de Colombia. INGEOMINAS, Publicación Especial. Bogotá, Colombia.

INGRAM, P. L. (1954). Terminology for the Thickness of Stratification and Parting Units in Sedimentary Rocks. GSA Bulletin, Vol. 65, pp. 937-938.

INVIAS. (2006). Mapa de la red vial nacional. http://www.invias.gov.co/

IRONDO, M.H. (1997). Models of Deposits of Loess and Loessoids in the Upper Quaternary in South America. Journal of South American Earth Science, Vol 10, No 1, pp. 71 - 79.

IRONDO, M.H., KRÖHLING, D.M. (2007). Non – Classical Types of Loess. Sedimentary Geology, Vol. 202, pp. 352 – 368.

IRVING, E. M. (1975). Structural Evolution of the Northernmost Andes, Colombia. US Geological Survey, Professional Paper, pp. 846: 47.

KHOBZI, J. K. (1980). Aspectos Geomorfológicos de la Amazonía y Orinoquía Colombiana. IGAC, Revista CIAF, Vol. 5, No 1, pp. 97 – 126. Bogotá, Colombia.

KHOBZI, J.K. (1981). Los Campos de dunas del Norte de Colombia y los Llanos del Orinoco (Colombia y Venezuela). IGAC, Revista CIAF, Vol. 6, pp. 1 – 3. Bogotá, Colombia.

KRUMBEIN, W. (1969). Estratigrafía y sedimentación. Ed.Uteha. México.

LAMBERT, P. (1985). Cronosecuencias Morfogenéticas en los Llanos de la Orinoquía Colombiana Durante el Cuaternario. IV Congreso Latinoamericano de Geología. Vol. I, pp. 547 – 562. Bogotá.

LANCASTER, N. (1995). Geomorphology of Desert Dunes. Routledge. New York.

LOPEZ, A., JIMENEZ, L.A., GUEVARA, J., SALAS, J.A., PERDOMO, H., SINNING, G., LOPEZ, M., CORREDOR, J.B., BAHAMON, M.M. (1993). Suelos. Departamento de Casanare. IGAC. Bogotá, Colombia.

LUNDBERG, J.G., MARSHALL, L.G., GUERRERO, J., HORTON, B., MALABARBA, M.C.S.L., WESSELINGH, F. (1998). The Stage for Neotropical Fish Diversification: A History of Tropical South American Rivers. Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes. Part 1 – Fossil and Geological Evidence.

MEUNIER, J.D., ANGELICA, F.D.C., VARAJÃO, A.F.D.C., CESAR, A.C., VARAJÃO, C.A.C., COLIN, F., GRAUBY, O. (2013). Peatland Ferruginization During Late Quaternary in the Uberaba Plateau (South-Eastern Brazil). Journal of South American Science, Vol. 43, pp. 25 – 32.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA., UPME. (2006). Plan Nacional de Desarrollo Minero 2010-2014. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, Colombia.

MONTOYA, E., RULL, V., STANSELL, N., ABBOTT, M., NOGUÉ, S. (2011). Forest – Savanna Morichal Dynamics in Relation to Fire and Human Occupation in the Southern Gran Savanna. Quaternary Research, On line, 10 pp.

www.perenco.com/operations/latin-america/colombia.html

PETTIJOHN, F. P. (1973). Sand and sandstones. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York.

POSAMENTIER, H. W., WALKER, R. G. (2006). Facies Models revisited. SEPM (Society for Sedimentary Geology). Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

RAMON, J.C., DZOU, L.I., HUGHES, W.B., HOLBA, A.G. (2001). Evolution of Cretaceous Organic Facies: Implication of Oil Composition. Journal of South American Earth Science, Vol. 14, pp. 31 – 50.

REINECK, H. (1980). Depositional Sedimentary Environments. Ed. Springer-Verlag. Berlin – Heidelberg - New York.

RITTER, D.F., KOCHEL, R.C., MILLER, J.R. (2002). Process Geomorphology. Waveland Press, Fourth Edition, pp. 134 – 296.

RODBELL, D., SMITH, J., MARK, B., (2009). Glaciation in the Andes During the Lateglacial and Holocene. Quaternary Science Review, Vol. 28, pp. 2165 – 2212.

RUTER, A., ARZT, J., VAVRUS, S., BRYNSON, R.A., KUTZBACH, J.E. (2004). Climate and Environment of the Subtropical and Tropical Americas (NH) in the Mid-Holocene: Comparison of Observations with Climate Model Simulations. Quaternary Science Review, Vol. 23, pp. 663 – 679.

SAN JOSÉ, J., MONTES, R., MAZORRA, M.A., AGUIRRE, E., MATUTE, N. (2010). Patterns an Carbon Accumulation in the Inland Water – Land Palm Ecotoen (Morichal) Across Orinoco Lowlands, South America. Plant Ecological, Vol. 206, pp. 361 – 374.

SMITH, L.K., LEWIS, W.M JR., CHATON, J.P., CRONIN, G., HAMILTON, S.K. (2000). Methane Emissions from the Orinoco River Floodplain, Venezuela. Biogeochemistry, Vol. 51, pp. 113 – 140.

TERRAZA, R. (2009). Conceptos básicos para la descripción de depósitos recientes de origen sedimentario. INGEOMINAS. Bogotá.

TRICART, J. (1976). Existencia de médanos cuaternarios en los Llanos del Orinoco (Colombia y Venezuela). IGAC, Revista Colombia Geográfica, Vol. 1, pp. 69 – 79. Bogotá, Colombia.

UNIVERSIDAD DE SONORA. (2010). Recuperado el 19 de 01 de 2011. Disponible en: http://www.geologia.uson.mx/academicos/grijalva/ambientesfluviales/sistemaderiosmeandricos.htm.

VAN DER HAMMEN, T. (1958). Estratigrafía del Terciario y Maatrichtiano. Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional, Vol. 6, No 1 – 3, pp. 67 – 128.

VAN DER HAMMEN, T. (1973). Palynological Record of the Upheaval of the Northern Andes: a Study of the Pliocene and Lower Quaternary of the Colombia Easterrn Cordillera and the Early Evolution of its High - Andean Biota. Review of Paleobotany and Palynology, Vol. 16, No. 1, pp. 1-122.

VERSTAPPEN, H. T. (1972). On dune types, families and sequences in areas of unidirectional. Gottinger Geogr, Vol. 6, pp. 341-353.

WASSER, G. A Comparison of meandering River Deposits from the Middle Belly River and Horsefly with recent Milk River Valley Deposits, Central and Southern Alberta. Canadian Natural resource Limited. pp. 329 - 338, Canada.

WARREN, L.A., HAACK, E.A. (2001). Biogeochemical Controls on Metal Behaviour in Freshwater Environments. Earth Science Review, Vol. 54, pp. 261 – 320.

WIKIPEDIA. (2011). Wikipedia Enciclopedia Libre. .Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sabana>

ANEXO A

RESULTADOS DE TAMIZAJE

ANEXO B

RESULTADOS DE GEOQUÍMICA

ANEXO C

MAPA DE ESTACIONES DE CAMPO Y MUESTREO

ANEXO D

LIBRETAS DE CAMPO PLANCHA 196

ANEXO E

MAPAS DE CAMPO ESCALA 1:25.000

ANEXO F

POZOS ESTRATIGRÁFICOS DE LA ZONA DE TRABAJO

ANEXO G

PLANCHA GEOLÓGICA 196 RÍO GUACHIRÍA ESCALA 1:100.000