

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE 51267.45 Km<sup>2</sup> EN LA CUENCA CAGUÁN –  
PUTUMAYO A PARTIR DE SENSORES REMOTOS A ESCALA 1:100.000 Y  
739 Km<sup>2</sup> CON CONTROL DE CAMPO A ESCALA 1:50.000 EN LAS  
PLANCHAS IGAC 413 Y 414  
DEPARTAMENTOS DE META, CAQUETÁ, PUTUMAYO**

**UPTC**

**Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia**

**Agosto, 2009**

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>1 INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b><u>12</u></b>
<b>1.1 PERSONAL PARTICIPANTE .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 LOCALIZACIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 TRABAJOS EXPLORATORIOS REALIZADOS EN EL ÁREA .....</b>	<b>16</b>
<b><u>2 METODOLOGÍA .....</u></b>	<b><u>18</u></b>
<b>2.1 RECOPIACIÓN, EVALUACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 PROCESAMIENTO DIGITAL DE DATOS DE TELEOBSERVACIÓN.....</b>	<b>21</b>
2.2.1 MOSAICO LANDSAT .....	21
2.2.2 MOSAICO RADARSAT 1 .....	22
<b>2.3 INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS.....</b>	<b>26</b>
2.3.1 INTERPRETACIÓN DEL PROTEROZOICO-CARBONÍFERO .....	27
2.3.2 INTERPRETACIÓN DEL CRETÁCEO.....	28
2.3.3 INTERPRETACIÓN DEL CENOZOICO .....	29
2.3.4 INTERPRETACIÓN DEL CUATERNARIO .....	30
<b>2.4 VERIFICACIÓN DE CAMPO (PLANCHAS IGAC 413 Y 414).....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 INTEGRACIÓN GIS E ITERPRETACIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b><u>3 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b>3.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL .....</b>	<b>32</b>
3.1.1 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS .....	33
<b>3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y POSIBILIDADES EXPLORATORIAS .....</b>	<b>41</b>
<b><u>4 ÁREAS PROSPECTIVAS .....</u></b>	<b><u>60</u></b>
<b>4.1 ESPESORES.....</b>	<b>62</b>
<b><u>5 CARTOGRAFÍA DE CAMPO .....</u></b>	<b><u>67</u></b>

<b>5.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESO .....</b>	<b>68</b>
<b>5.2 UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE LOS ALREDEDORES DE FLORENCIA</b>	
<b>69</b>	
5.2.1 COMPLEJO GARZÓN (NPG).....	69
5.2.2 FORMACIONES CABALLOS Y VILLETA (K <sub>1</sub> -K <sub>2</sub> CV).....	73
5.2.3 "FORMACIÓN NEME" (K <sub>2</sub> -E <sub>1</sub> N) .....	76
5.2.4 FORMACIÓN PEPINO (E <sub>2</sub> P) .....	79
5.2.5 FORMACIÓN ORTEGUAZA (E <sub>2</sub> -E <sub>3</sub> O).....	81
5.2.6 DEPÓSITOS ALUVIALES DEL CUATERNARIO (Q <sub>2</sub> AL).....	83
<b>5.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL DEL AREA VERIFICADA EN CAMPO</b>	
<b>83</b>	
5.3.1 FALLAS MAYORES.....	84
5.3.2 FALLA DE FLORENCIA .....	85
5.3.3 FALLA DE BRASIL .....	87
5.3.4 FALLA DE LAS HERMOSAS.....	87
5.3.5 FALLA DE SAN PEDRO.....	88
5.3.6 FALLA DE DONCELLO.....	89
5.3.7 FALLA DE PAUJIL.....	90
5.3.8 SISTEMA DE FALLAS AGUAS CALIENTES-BODOQUERO.....	90
5.3.9 PLIEGUES.....	92
5.3.10 SINCLINAL DE SAN ANTONIO.....	92
5.3.11 SINCLINAL DE MARACAIBO.....	94
5.3.12 ANTICLINAL DE MONTAÑITA .....	94
5.3.13 PLIEGUES MENORES .....	95
<b>5.4 LOCALIDADES PARA EL LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS</b>	
<b>ESTRATIGRAFICAS.....</b>	<b>96</b>
5.4.1 QUEBRADA AGUAS CALIENTES .....	97
5.4.2 QUEBRADA LA ARENOSA .....	100
5.4.3 SECCIONES COMPLEMENTARIAS.....	101
<b>6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>103</b>
<b>7 REFERENCIAS .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Localización del área del proyecto .....</b>	<b>14</b>
<b>figura 2. Mapa de información base: (a) mapas geológicos departamentales de putumayo y caquetá del ingeominas. (b) planchas topográficas a escala 1:100000. ....</b>	<b>17</b>
<b>figura 2.1. Corema que representa el proceso de la integración de información. ....</b>	<b>18</b>
<b>figura 2.2. Interpretación geológica a partir de sensores remotos con verificación de campo ....</b>	<b>19</b>
<b>figura 3. Escenas landsat etm en el área de estudio. ....</b>	<b>25</b>
<b>figura 4. Escenas radarsat 1 que registran el área de estudio. ....</b>	<b>26</b>
<b>figura 5. Carta crono-estratigráfica cuenca caguán-putumayo. Tomado de icp, 1997. ....</b>	<b>33</b>
<b>figura 6. Columnas crono-estratigráficas. Derecha: putumayo, medio: caguán y macarena, izquierda: llanos. Modificado de gems, 2008.....</b>	<b>34</b>
<b>figura 7. Mapa residual del tope del paleozoico en el putumayo. Tomado de anh 2009 .....</b>	<b>45</b>
<b>figura 8. Mapa de interpretación del tope del paleozoico en el putumayo. Tomado de anh 2009. ....</b>	<b>46</b>
<b>figura 9. Perfil 1 correspondiente al trazo mas austral de la figura 7. Nótese que la interpretación de inversión de bloques del basamento satisface la respuesta gravimétrica y magnética. Tomado de anh 2009. ....</b>	<b>47</b>
<b>figura 10. Perfil 2 correspondiente al trazo mostrado en la figura 7. Muestra un basamento de composición compleja afectado por tectónica de inversión. Tomado de anh 2009. ....</b>	<b>48</b>
<b>figura 11. Perfil 3 correspondiente al trazo septentrional mostrado en la figura 7. Muestra un basamento de composición compleja afectado por tectónica de inversión. Nótese el adelgazamiento de las secuencias cretáceas (en verde) hacia el oriente tomado de anh 2009....</b>	<b>49</b>
<b>figura 12. Mapa residual del tope del paleozoico en el caguán. Tomado de fonade-anh 2006.....</b>	<b>50</b>
<b>figura 13. Mapa de interpretación del tope del paleozoico en el caguán. Tomado de fonade-anh 2006. ....</b>	<b>51</b>
<b>figura 14. Perfil 1 correspondiente al trazo septentrional mostrado en la figura 13. Muestra un basamento de composición compleja afectado por tectónica transpresiva. Nótese que la</b>	

<b>estructura en flor positiva (sierra de la macarena), satisface en esta interpretación las anomalías magnéticas y gravimétricas medidas. Tomado de fonade-anh 2006.....</b>	<b>52</b>
<b>figura 15. Perfil 1 correspondiente al trazo austral mostrado en la figura 13. Muestra el basamento complejo en franca inversión tectónica afectando sedimentos terciarios inclusive. Tomado de fonade-anh 2006.....</b>	<b>53</b>
<b>figura 16. Mapa imtrp del caguán. Tomado de fonade-anh 2006. ....</b>	<b>54</b>
<b>figura 17. Mapa imtrp del putumayo. Tomado de anh 2009. ....</b>	<b>55</b>
<b>figura 18. Perfil al norte de la sierra de la macarena. ....</b>	<b>56</b>
<b>figura 19. Perfil al sur de la sierra de la macarena. ....</b>	<b>56</b>
<b>figura 20. Perfil controlado por el pozo aeropuerto-1 .....</b>	<b>57</b>
<b>figura 21. Perfil al norte de belén de los andagués .....</b>	<b>58</b>
<b>figura 22. Perfil practicado al norte del pozo catira-1.....</b>	<b>59</b>
<b>figura 23. Interpretación de la línea sísmica or-1993-22.....</b>	<b>60</b>
<b>figura 24. Localización del área controlada cartográficamente. Se ilustra su ubicación dentro del polígono mayor de cartografía con imágenes de sensores remotos.....</b>	<b>68</b>
<b>figura 25. Columna estratigráfica esquemática del área de estudio. Fuente: este informe.....</b>	<b>71</b>
<b>figura 26. A. Migmatitas con estructura estromática; el neosoma de coloración rosada (feldespático) se dispone como bandas alargadas paralelas a la foliación. B. Aunque en la mayoría de casos el contacto entre paleosoma y neosoma es difuso por mezcla de materiales; en este, se observa un contacto neto bien definido.....</b>	<b>72</b>
<b>figura 27. A. Migmatitas con estructura plegada. B. Detalle de la anterior.....</b>	<b>72</b>
<b>figura 28. Contacto discordante de la formación caballos y el complejo garzón. Se observa la morfología de pendientes estructurales bien definidas características de la formación caballos. 74</b>	<b>74</b>
<b>figura 28. A. Cuarzoarenitas de la formación caballos cubriendo inconformemente neises del complejo garzón. B. La unidad inicia con una capa gruesa (0,4 m) de conglomerado matriz-soportado de guijos subredondeados de cuarzo blanco.....</b>	<b>74</b>

- figura 29. Vista panorámica de las unidades del cretácico (quebrada aguas calientes), discordantes sobre el complejo garzón y cubiertas por la "formación neme". Se observa la morfología suave característica de la formación villeta entre las unidades arenosas; las formaciones caballos y "neme". ..... 75**
- figura 29 a. Contacto entre las formaciones caballos y villeta, ubicado en el techo del último paquete de cuarzoarenitas (quebrada aguas calientes). B. Arcillolitas negras con interposición de capas medias de biomicritas *wackestones* compuestas de fragmentos de conchas de bivalvos (quebrada aguas calientes). ..... 75**
- figura 29 b. Arenitas de la "formación neme" impregnadas de hidrocarburo cubriendo inconformemente migmatitas del complejo garzón. B. Detalle de la anterior. .... 76**
- figura 29 c. La "formación neme" se caracteriza por presentar sets bien definidos de laminación inclinada, en este caso muy gruesos con laminación inclinada planar de bajo ángulo (310/24). B. Más comunes en la unidad son los sets medianos (0,1-0,3 m) subtabulares con laminación inclinada de bajo ángulo, localmente tangencial..... 77**
- figura 30. La parte superior de la "formación neme" consiste en un intervalo arcilloso de unos 50 m el cual es cubierto discordantemente por los conglomerados y arenitas de la formación pepino. A. Paquete de 50 m de arcillolitas grises claras moteadas de rojo que conforman el techo de la unidad (quebrada la arenosa). B. Intervalo de *wacas* grises claras (no moteadas) con interposición de litoarenitas de grano fino hacia la parte superior del conjunto (quebrada el saludo)..... 78**
- figura 30 a. Potentes niveles conglomeráticos presentes en la "formación neme" en el sector del anticlinal de montaña (quebrada las delicias). B. Son conglomerados matriz-soportados de guijos subangulares de cuarzo blanco, con matriz arenosa impregnada de hidrocarburo pesado. 79**
- figura 30 b. Parte inferior de la formación pepino. Capa muy gruesa de conglomerado clasto-soportado de guijos con laminación inclinada planar de alto ángulo. B. Detalle de la anterior. Los clastos son tamaño guijo subredondeados compuestos en su gran mayoría de chert (70%) y en menor proporción de cuarzo (30%). La matriz es tamaño arena y está impregnada de hidrocarburo pesado ..... 80**
- figura 31. Parte superior de la formación pepino. A. Intervalo de arenitas de grano muy fino con matriz arcillosa grises claras moteadas, le suprayace una capa muy gruesa de sublitoarenita de grano medio. El moteado se presenta en forma de parches irregulares de color vino tinto. B. Arenitas de grano muy fino con matriz arcillosa, grises claras con moteado en forma de bandas normales a la estratificación de color vino tinto..... 81**
- figura 31. Paisaje de colinas redondeadas definido por las arcillolitas de la formación orteguaza cubiertas por depósitos aluviales del cuaternario. Esta morfología se extiende al oriente del área de estudio como una amplia planicie ondulada. .... 82**

- figura 31 a.** Lodolitas de color gris verdoso con interposición de capas medianas y delgadas tabulares de arenitas muy finas. B. Capa media de biomicrita *wackestone* (localmente *packstone*) en intervalo de predominio arcilloso. Está compuesta en su gran mayoría de conchas bien preservadas de gasterópodos..... 82
- figura 31 b.** Nivel muy grueso (1,7 m) de gravas matriz-soportadas, cubierto por un horizonte (3m) de suelo de color rojo. B. Detalle de la anterior. Los clastos son tamaño canto, subredondeados, compuestos predominantemente de rocas metamórficas, inmersos en matriz tamaño arena media ..... 83
- figura 32.** En el área controlada cartográficamente se presentan dos grupos de fallas regionales; una ubicada al oriente de florencia con orientación nne-ssw (trazo rojo), vergencia al oriente y bajo ángulo de buzamiento. La segunda (trazo azul), integrada por las fallas de florencia y brasil, tienen rumbo ne-sw, son fallas de alto ángulo con vergencia al suroriente. .... 85
- figura 33.** Falla de florencia (quebrada la yuca). Esta falla de alto ángulo y vergencia al suroriente, pone en contacto las migmatitas del complejo garzón (bloque izquierdo), con arcillolitas grises de la formación orteguaza (derecha). .... 86
- figura 34.** Falla inversa de alto ángulo en la formación orteguaza (quebrada la yuca). Esta estructura está relacionada probablemente a la falla de florencia y tiene vergencia opuesta (plano de falla: 90/70) a la de esta falla regional. .... 86
- figura 35.** La falla de brasil es una estructura rumbo deslizante observada hacia el norte del área urbana de florencia en las veredas brasil y nueva jerusalem. En este sector (fotografía) la falla desplaza dextralmente el complejo garzón, enfrentándolo con la formación "neme". Esta última unidad, presenta suaves pendientes estructurales que buzando al suroccidente..... 87
- figura 36.** Falla de las hermosas. Esta estructura es de bajo ángulo y constituye la superficie a lo largo de la cual cabalga el complejo garzón (pg) sobre la formación pepino (e<sub>2p</sub>), que en este sector (san antonio de atenas) conforma el flanco occidental del anticlinal de san antonio. .... 88
- figura 37.** La falla de san pedro es una estructura de bajo ángulo que pone a cabalgar el complejo garzón sobre la formación pepino y orteguaza. En este sector, muy cerca al corregimiento de maracaibo, pone en contacto el basamento con la formación pepino, que conforma el flanco occidental del anticlinal de maracaibo..... 89
- figura 38.** Falla de doncello (quebrada las margaritas). En este sector, al norte del municipio de montañita, la falla de doncello, de bajo ángulo, cambia su rumbo a e-w y pone a cabalgar el complejo garzón (derecha) sobre una cuña tectónica de la "formación neme" (izquierda)..... 90
- figura 39.** Falla perteneciente al sistema de fallas aguas calientes-bodoquero (quebrada aguas calientes). Esta estructura pone a cabalgar basamento sobre la formación villeta (parte superior de la unidad). La foliación de las metamorfitas tiene azimut de buzamiento hacia el noroccidente, mientras que las capas de la formación villeta están buzando hacia el suroriente..... 91

- figura 40. Corte esquemático cortando sistema de fallas aguas calientes-bodoquero (quebrada aguas calientes). Se aprecia el grupo de fallas denominado: sistema de fallas aguas calientes-bodoquero. Estas estructuras presentan vergencia al noroccidente, a diferencia de las otras estructuras regionales como la falla de florencia (ilustrada en este perfil) que presenta vergencia al suroriente. .... 92**
- figura 41. El sinclinal de san antonio es una estructura amplia, asimétrica con flanco oriental (a la izquierda) de bajo ángulo de buzamiento (10°-20°) y el occidental con alto ángulo buzamiento entre 40° a 60°. Los flancos de la estructura están conformados por las formaciones neme y pepino, en este sector se observan laderas estructurales de la última unidad. .... 93**
- figura 42. El sinclinal de san antonio cierra al norte de san antonio de atenas en el sitio conocido como vuelta de queso, en este sector la carretera san antonio – santa ana, va paralela al contacto entre las formaciones pepino y orteguaza, el cual gira debido al cierre que experimenta la estructura..... 93**
- figura 43. Vista panorámica del sinclinal de maracaibo. Los flancos de la estructura están conformados por la formación pepino en este sector y el núcleo por la formación orteguaza. El flanco occidental (derecha) del sinclinal, se encuentra truncado por la falla de san pedro. .... 94**
- figura 44. Afloramiento de la formación caballos en la quebrada aguas calientes. El flanco noroccidental de los pliegues menores asociados al sistema de fallas aguas calientes-bodoquero, se caracteriza por presentar altos ángulos de buzamiento (320/70)..... 95**
- figura 45. Pliegues asociados al sistema de fallas aguas calientes-bodoquero en el río bodoquero ("formación neme"). Se observa que el flanco noroccidental (izquierda) de estas estructuras presenta alto ángulo de buzamiento. El bloque yacente (derecha), de bajo ángulo de buzamiento, corresponde al flanco suroriental de otro pliegue relacionado a una falla ubicada más al noroccidente (derecha, fuera de la foto). .... 96**
- figura 46. Localización quebrada aguas calientes. Se ilustra el sector (línea amarilla) para el levantamiento de la formación caballos y parte inferior de la formación villeta. .... 98**
- figura 47. Afloramiento de la formación caballos en la quebrada aguas calientes. A. Se observa la laminación planoparalela en las cuarzoarenitas y la frecuente interposición de conjuntos muy delgados (1-2 cm) de láminas finas de arcillolita negra carbonosa. B. Las láminas en los conjuntos son onduladas paralelas y planoparalelas ligeramente onduladas..... 99**
- figura 47 a. Afloramientos de arcillolitas negras físis (*shales*) en la parte inferior de la formación villeta en la quebrada aguas calientes. B. Se interponen localmente capas delgadas lenticulares de limolitas de cuarzo macizas, grises oscuras, superficialmente de color rojizo..... 99**
- figura 48. Contacto inconforme de las cuarzoarenitas de la formación caballos sobre migmatitas del complejo garzón. La formación caballos inicia con una capa media (0,15 cm) de conglomerado matriz-soportado de guijos subredondeados de cuarzo. .... 100**

**figura 49. Afloramientos de la "formación neme" en la quebrada el salado. A. Arenitas impregnadas (hidrocarburo pesado) de la "formación neme" reposando discordantemente sobre el complejo garzón. Se aprecian los sets medianos de laminación inclinada presentes en estas rocas. B. Localmente los sets de laminación inclinada planar de alto ángulo son muy espesos, superando un metro de espesor..... 101**

**figura 49 a. Paquetes lodosos interpuestos con arenitas y conglomerados de la "formación neme" en la quebrada la barrialosa (el borugo). Estos intervalos son comunes en el área de pajuil y montañita y ausentes al sur de florencia en el área de morelia. B. Detalle de la anterior. Laminación planoparalela en estas lodolitas. Estos intervalos son ideales para realizar un muestreo (para bioestratigrafía) denso con el fin de corroborar la edad de la "formación neme".  
102**

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Vértices del polígono y parámetros de proyección del proyecto.....</b>	<b>15</b>
<b>tabla 2. Características del sensor landsat etm .....</b>	<b>21</b>
<b>tabla 3. Escenas landsat etm .....</b>	<b>22</b>
<b>tabla 4. Características de las escenas radarsat 1 .....</b>	<b>24</b>
<b>tabla 5. Resumen de la información de pozos .....</b>	<b>63</b>
<b>tabla 6. Cuadro comparativo de los espesores medidos en levantamiento de columnas (tomado de mora et. Al., 1998). .....</b>	<b>64</b>
<b>tabla 7. Cálculo de espesor promedio de las unidades y espesor cartográfico aparente, sector putumayo. ....</b>	<b>65</b>
<b>tabla 8. Cálculo de espesor promedio de las unidades y espesor cartográfico aparente, sector caguán.....</b>	<b>66</b>

## **ÍNDICE DE ANEXOS DIGITALES**

**Anexo 1** Revisión Bibliográfica, Líneas sísmicas, Pozos

**Anexo 2** Productos de teleobservación imagen LANDSAT y RADARSAT

**Anexo 3** Información de campo, bases de datos, estaciones, carteras de campo

**Anexo 4** Información cartográfica

## **ÍNDICE DE ANEXOS EN BOLSILLO**

Mapa Geológico controlado en campo, Escala 1:50.000

Mapa Geológico Cuenca Caguán – Putumayo, Escala 1:500.000

Mapa Geológico detallado de la zona del Piedemonte, Escala 1:100.000 1-4

Mapa Geológico detallado de la zona del Piedemonte, Escala 1:100.000 2-4

Mapa Geológico detallado de la zona del Piedemonte, Escala 1:100.000 3-4

Mapa Geológico detallado de la zona del Piedemonte, Escala 1:100.000 4-4

## 1 INTRODUCCIÓN

La interpretación geológica de la zona suroriental de la Cordillera Oriental que corresponde a la Cuenca Caguán – Putumayo y La Sierra de la Macarena se desarrolló a partir de diferentes mosaicos de imágenes RADARSAT, de LANDSAT y un modelo digital de elevaciones del terreno DEM desarrollado para toda el área. El reconocimiento de patrones de drenaje, de geoformas, del tono y textura entre otros, permitieron diferenciar regionalmente la geología en seis áreas características: La Serranía de la Macarena, Florencia, Caguán, La Uribe, San Juan de Arama y Cartagena del Chaira.

La información obtenida a partir de las diferentes fuentes, a saber, sensores ópticos o fotosensibles (LANDSAT), sensores electrónicos (RADARSAT), del modelo digital del terreno, de la evaluación de la información geológica de superficie y subsuelo se integró en un Sistema de Información Geográfica – GIS, que tiene un área aproximada de 51.267,45Km<sup>2</sup>.

Se adelantó un programa de verificación en campo en el área aledaña a Florencia (planchas IGAC 413 y 414) con un cubrimiento de 739 Km<sup>2</sup>. Los resultados del trabajo se muestran en un mapa geológico a escala 1:50.000 en la zona verificada y varios mapas a escala 1:100.000 en zonas no verificadas respetando la información cartográfica del INGEOMINAS levantada en las áreas de piedemonte y, a escala 1:500.000 para las zonas planas.

El propósito de este trabajo es hacer un estudio cartográfico integrado de la cuenca Caguán-Putumayo de carácter regional, de importancia directa en Exploración de Hidrocarburos.

En su estructura, este informe contiene un capítulo introductorio, un capítulo donde se expone la metodología aplicada para el procesamiento de imágenes y se definen los criterios de interpretación, un capítulo dedicado al estudio integral de la cuenca soportada con los trabajos realizados en el área y observaciones propias encontradas en este proyecto. En el cuarto capítulo se describen las observaciones del control de campo y sus resultados más importantes así como las secciones donde se propone estudiar la estratigrafía en proyectos futuros. Por último se exponen las conclusiones y las recomendaciones del estudio.

### ***1.1 PERSONAL PARTICIPANTE***

Las personas que contribuyeron en la realización de este trabajo fueron:

**Carlos Julio Rodríguez**, Director del proyecto, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC.

**Cesar Mora Hernández**, Director técnico del proyecto, Gems Ltda.

**Alvaro Vargas Gómez**, Coordinador del proyecto, quién participó en la planificación general, el campo y la interpretación de resultados. Geólogo asesor Gems Ltda.

**Alexander Piragua Alarcón**, Jefe de campo, geólogo encargado de planificar, analizar e interpretar los datos de campo, asesor Gems Ltda.

**Oscar Romero Bayén**, Geólogo de campo. Asesor Gems Ltda.

**Rafael García Delgado**, Geólogo de campo. Asesor Gems Ltda.

**Catalina Moreno**, Geóloga encargada del procesamiento de la información y preparación del informe, Gems Ltda.

**Sandra Manosalva**, Ingeniera Geóloga asesora en estratigrafía y geología estructural, UPTC.

**Hector Fonseca**, Ingeniero Geólogo, asesor en cartografía, UPTC.

**Roniber Pinzón**, Geógrafo, encargado de la integración de los datos en el Sistema de Información Geográfica. Asesor Gems Ltda.

**Liliana Sierra**, Geóloga, encargada de preparación del informe final. Gems Ltda.

## 1.2 LOCALIZACIÓN

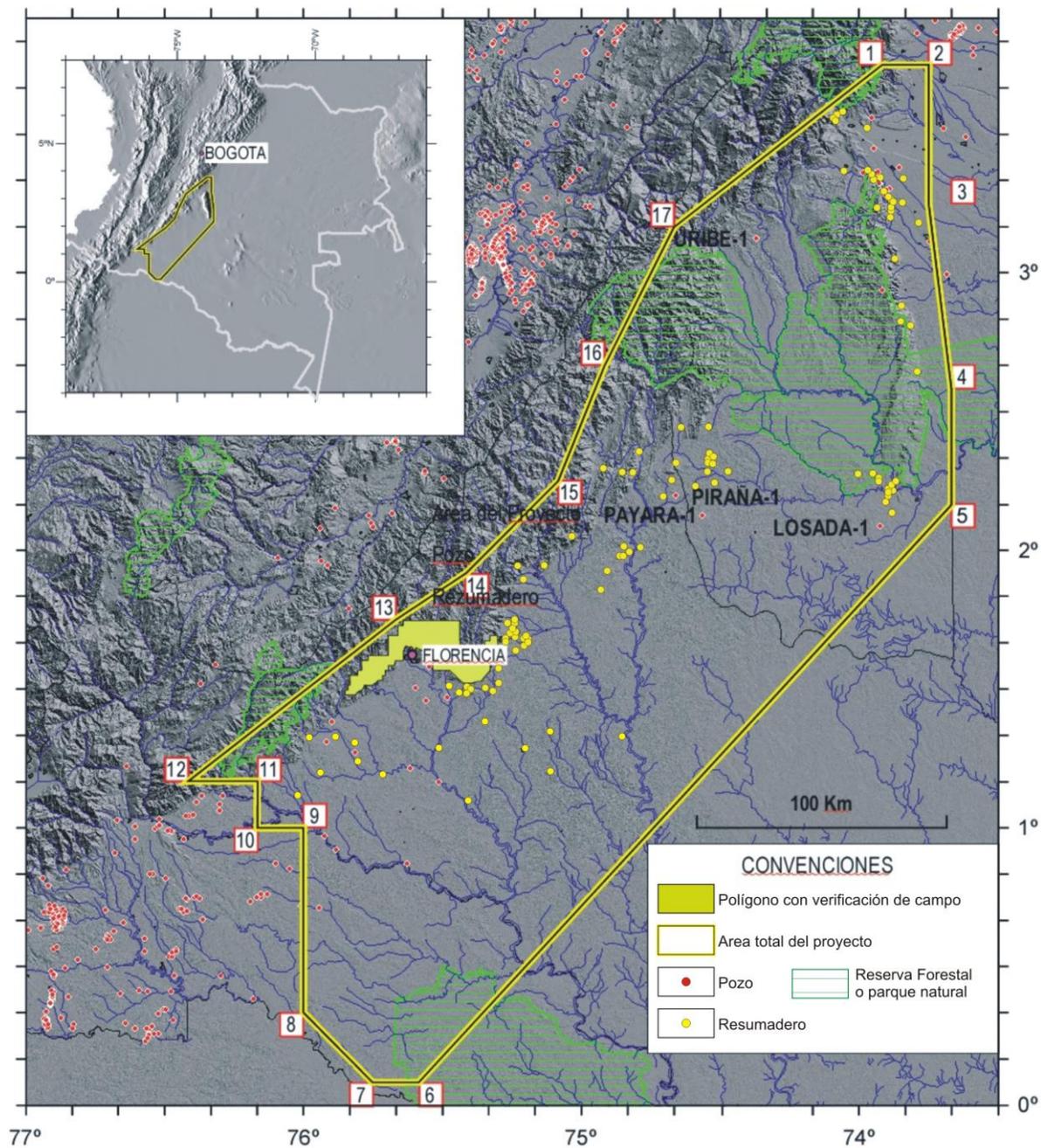


Figura 1. Localización del área del proyecto

El área comprende tres zonas generales: el área de la sección sedimentaria del Caguán, en el norte, la zona del Putumayo en el sur, y el alto estructural de la Macarena al nororiente. Limita al oeste con el sistema de fallas de la parte oriental de la Cordillera Oriental, hacia el nororiente con los Llanos Orientales y al sur con el Río Caquetá. **(Tabla 1).**

El polígono está conformado por 17 vértices que contienen un área de 51.267,45 Km<sup>2</sup> correspondiente a la Cuenca Caguán – Putumayo, hace parte del piedemonte suroriental de la Cordillera Oriental incluyendo la Sierra de la Macarena y otras reservas naturales adscritas a los Parques Nacionales Naturales. **(Figura 1).**

VÉRTICE	mE	mN
1	1017866,74	906422,76
2	1036380,70	906427,92
3	1036400,00	851137,81
4	1045688,89	777421,19
5	1045702,58	731346,59
6	832353,06	500979,37
7	813792,63	500980,12
8	785952,35	528640,64
9	785981,16	602398,72
10	767419,26	602410,06
11	767431,98	620851,51
12	739586,91	620873,43
13	823154,86	685342,14
14	850994,78	703754,72
15	888112,03	740593,61
16	906682,44	786660,31
17	934513,50	841935,70
1	1017866,74	906422,76

Sistema de coordenadas: MAGNA SIRGAS (ORIGEN BOGOTÁ)

Proyección: TRANSVERSA MERCATOR

Falso este: 1'000.000

Falso norte: 1'000.000

Meridiano central: -74.077508

Factor de escala: 1

Latitud de origen: 4.59620042

Datum: WGS84

**Tabla 1. Vértices del polígono y parámetros de proyección del proyecto**

### **1.3 TRABAJOS EXPLORATORIOS REALIZADOS EN EL ÁREA**

La exploración en el área se inició a mediados de los años 70; a partir del interés que despertó la presencia de las numerosas manifestaciones de aceite en superficie (*oil seeps*) en la parte norte de la Serranía de la Macarena y las areniscas impregnadas correspondientes a la unidad informal denominada "Areniscas del Neme".

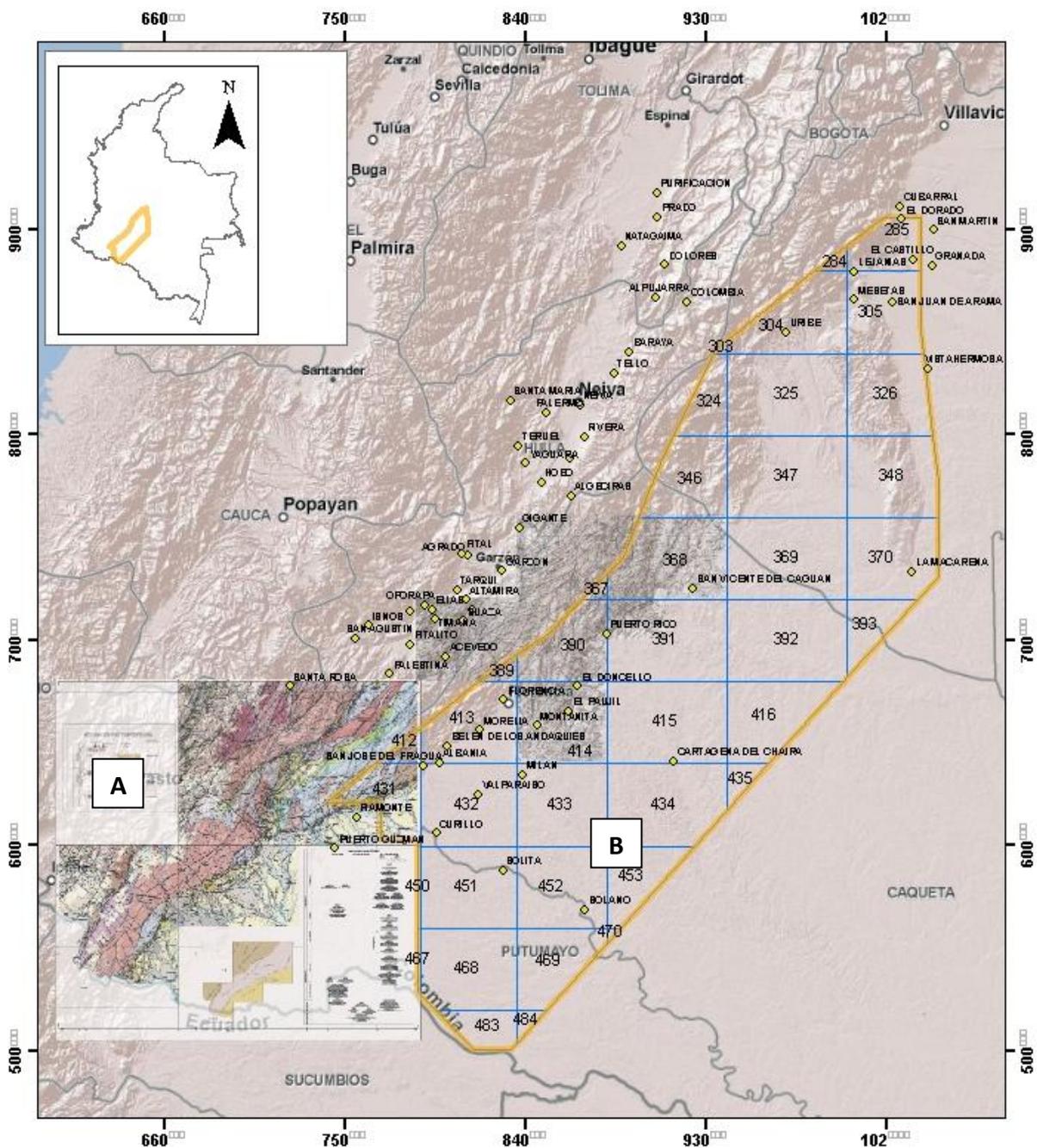
La compañía Shell de Colombia comenzó trabajos de exploración a través de una intensa actividad de geología de campo de la cual no se tienen los resultados. Otras compañías que han llevado a cabo actividades de exploración son Intercol, Texaco, Petrocol, ECOPETROL y Occidental entre otras.

La exploración sísmica en el sector del Caguán ha sido escasa y se ha concentrado en sectores muy puntuales sin que se tenga una campaña con un cubrimiento regional.

Como resultado de la información adquirida se han perforado alrededor de 33 pozos, la gran mayoría concentrados hacia el sur de Florencia. 18 pozos han tenido manifestaciones de hidrocarburos pero no se definieron en su momento volúmenes comerciales (ICP, 2003).

La cartografía oficial de INGEOMINAS a escala 1:100.000 se ha restringido hacia la zona sur siguiendo el piedemonte hasta San Vicente del Caguán, y la información colectada por las compañías exploradoras no se conoce completamente. En el **Anexo 1** se presenta una tabla resumen de la información geológica disponible del área, en donde se discrimina el autor, el año de publicación, el título, el tipo de documento y la disponibilidad del mismo.

En la **Figura 2** se muestra la relación entre la cartografía base, los mapas geológicos oficiales existentes y el polígono de trabajo. La topografía se encuentra cubierta en su totalidad a escala 1:100.000. La información geológica oficial disponible corresponde al mapa departamental del Putumayo y al mapa de Caquetá que cubren las planchas 412, 414, 390, 368, 431 y parte de las planchas 389, 391 y 368. Toda la cartografía oficial existente cubre menos del 15% del área total.



**Figura 2. Mapa de información base: (A) Mapas geológicos departamentales de Putumayo y Caquetá del Ingeominas. (B) Planchas topográficas a escala 1:100000.**

## 2 METODOLOGÍA

Las labores se agruparon en cuatro fases que fueron ejecutadas, a veces simultáneamente, iniciando con la búsqueda y evaluación de la información geológica disponible para la zona. Se adquirieron los insumos de sensores remotos y se procesaron en etapas previas al reconocimiento de campo. **Figura 3**



**Figura 3.** Corema que representa el proceso de la integración de información.

La cartografía generada se ha formado a partir de la integración de la información cartográfica recopilada en campo y oficina, la interpretación satelital, la información geológica oficial e información de pozos y la información sísmica, presentadas en una única plataforma de GIS. **Figura 4**

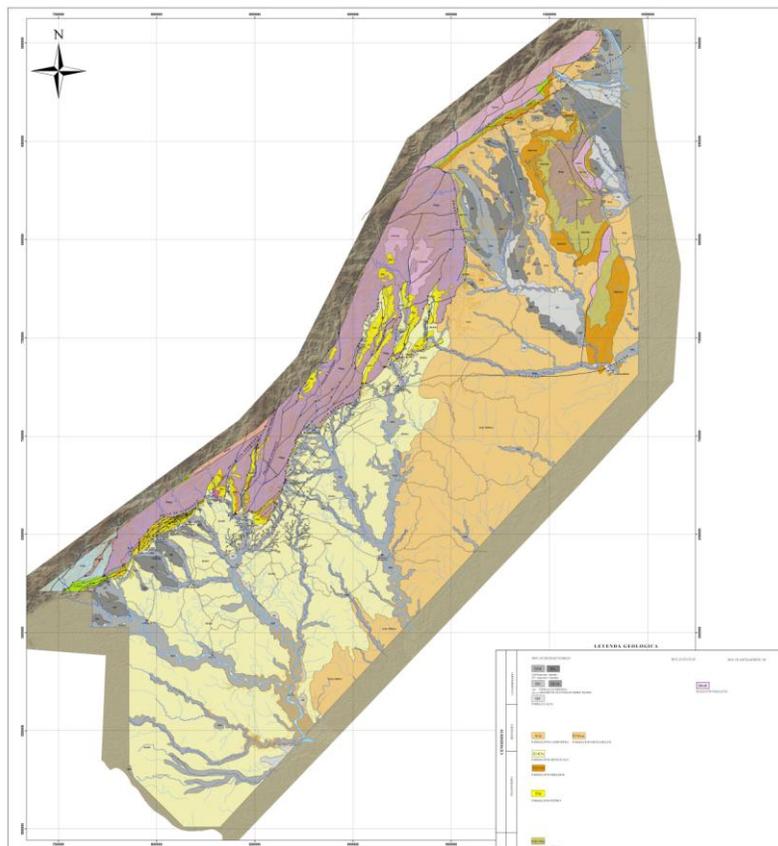
La plataforma del SIG vectorial se construyó a partir de una base de datos localizados geográficamente (pares de coordenadas) lo que implica un proceso de abstracción, para

pasar de la complejidad del mundo real a una representación reducida a puntos, líneas y polígonos.

En general, en el piedemonte afloran unidades del MesoNeoproterozoico (basamento Cristalino del Macizo de Garzón, Macizo de Quetame y Precámbrico y Cámbrico de la Macarena), del Jurásico (Formación Saldaña), del Cretácico (Villeta y Caballos) y del Cenozoico (Rumiyaco, Pepino/Mirador). Están afectadas por fallas inversas y de rumbo.

En la zona pericratónica afloran unidades del Holoceno diferenciadas según su ambiente de depósito y hacia la zona norte se diferencian varias unidades geomorfológicas recientes como: abanicos, terrazas y terrazas disectadas.

Posiblemente hacia este sector de la cuenca se presenta un mayor espacio de acomodación de materiales provenientes de la Cordillera Oriental y de la Serranía de la Macarena.



**Figura 4. Interpretación geológica a partir de sensores remotos con verificación de campo**

## **2.1 RECOPIACIÓN, EVALUACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA**

Se realizó una búsqueda de información en bases de datos propias, públicas y privadas. Posteriormente se evaluó la información geológica disponible de superficie y de subsuelo, incluyendo información sísmica y de pozos disponible en el área.

Se tuvo en cuenta toda la información cartográfica disponible en INGEOMINAS, considerada como información bien colectada a lo largo de muchos años, se conservó esta cartografía pública inalterada en este proyecto. En el Anexo 1 se presenta una tabla resumen de la información geológica disponible del área, en donde se discrimina el autor, el año de publicación, el título, el tipo de documento y la disponibilidad del mismo.

Las líneas sísmicas disponibles fueron:

Y-73-08  
PW-1988-1965  
OR-1993-22  
BF-1994-506

Los pozos estudiados fueron:

<b>POZO</b>	<b>CUENCA</b>
Acae-1	Putumayo
Alea-1	Putumayo
Caimán-1	Putumayo
Caiman-4	Putumayo
Linda-1	Putumayo
Mansoya-1	Putumayo
Maxine-1	Putumayo
Miraflor-1	Putumayo
Nancy-1	Putumayo
Orito-1	Putumayo
Orito-3	putumayo
Putumayo-1	Putumayo
Quilili-1	Putumayo
Quillacinga-2	Putumayo
San Antonio-1	Putumayo
San Miguel-1	Putumayo
Sucio-1	Putumayo
Sucumbios-1	Putumayo
Unicornio-1	Putumayo
Payara-1	Caguán
Uribe-1	Caguán

## 2.2 PROCESAMIENTO DIGITAL DE DATOS DE TELEOBSERVACIÓN

Los productos de sensores remotos interpretados tienen un cubrimiento completo del área y fueron adquiridos directamente a RADARSAT. Las imágenes LANDSAT son imágenes de archivo públicas.

La obtención de la información de la superficie se realizó a partir de la captación de la radiación electromagnética emitida y capturada por un emisor-receptor satelital y reflejada por la superficie terrestre. El resultado del proceso son las imágenes de RADARSAT y LANDSAT TM y el DEM.

Las escenas fueron orto-rectificadas al sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS Origen Bogotá utilizando sus parámetros orbitales y el modelo digital de elevación SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) de la NASA, que posee una resolución espacial de 90m (ver <http://srtm.cgiar.org>).

### 2.2.1 Mosaico LANDSAT

Un mosaico de siete escenas Landsat TM fue ensamblado para el proyecto y de ellas se extrajeron las bandas 2, 4, 5 y 7 que presentan alta reflectancia a la vegetación.

Las imágenes LANDSAT TM, permitirán orientar posteriormente la interpretación de los datos del sensor RADARSAT1. **Tabla 2.**

Número de Banda	Rango Espectral (micrones)	Resolución Espacial (m)
1	0.45 a 0.515	30
2	0.525 a 0.605	30
3	0.630 a 0.690	30
4	0.75 a 0.90	30
5	1.55 a 1.75	30
6	10.40 a 12.5	60
Pancromática	0.52 a 0.90	16

**Tabla 2. Características del sensor Landsat ETM**

El área tema del proyecto está registrada totalmente por las siguientes escenas Landsat ETM. **Tabla 3:**

Escena (Fig. 2)	Path	Row	Fecha
1	8	59	16 noviembre 1999
2	8	58	5 enero 2001
3	8	60	30 agosto 2000
4	8	57	5 enero 2001
5	7	58	3 marzo 2001
6	9	59	24 agosto 2001
7	7	59	23 agosto 2001

**Tabla 3. Escenas Landsat ETM**

Todas las escenas fueron georeferenciadas al sistema de coordenadas métricas MAGNA-SIRGAS, se ensamblaron para producir un mosaico que coincide con el polígono que delimita la zona del proyecto. Debido a la cobertura vegetal presente en la totalidad del área de interés, se ensayaron composiciones en falso color con énfasis en las bandas que muestran mayor reflectividad de la vegetación.

Estas bandas son la 2 del visible y las 4, 5 y 7 del infrarrojo; finalmente se escogió la composición 4 en rojo, 5 en verde y 2 en azul, que resalta los diferentes patrones de textura y permiten diferenciar unidades geológicas, cartografiar estructuras de extensión regional y expresar el patrón de drenaje en color azul, que muy frecuentemente está controlado por las estructuras geológicas.

A estos datos se les aplicó un filtro de expansión de contraste de ecuilización de histogramas, para resaltar texturas y lineamientos. Este mosaico de siete (7) escenas Landsat ETM tiene una resolución espacial de 30 m, permite hacer una primera aproximación regional a escala 1:100.000, para cartografía geológica y geología estructural.

Se aprovechó la mayor resolución espacial que aporta la Banda 8 del sensor Landsat ETM (15 m) para mejorar la resolución de las bandas 4, 5 y 2 de 30 m haciendo el sinergismo de la Banda 8 (visible- infrarrojo cercano) con las bandas 4, 5 y 2, para generar el mismo mosaico de siete (7) escenas Landsat ETM (Figura 3), en composición de falso color RVA 452 con ecuilización de histogramas, pero con una mayor resolución espacial de 15 m, que permite llegar hasta la escala 1:50000. Anexo 2.

### **2.2.2 Mosaico RADARSAT 1**

El análisis de imágenes que atraviesan la cobertura vegetal, tales como las imágenes de radar satelitales con longitudes de onda L ó C, imágenes corregidas sin filtrar y filtradas;

incluyó la aplicación de algoritmos para el realce de lineamientos, identificación de unidades geológicas y análisis de texturas. Esta interpretación geológica preliminar se integró con la información geológica disponible. **Anexo 2.**

El sensor RADARSAT opera en la porción de las microondas conocida como Banda C, coincidente con la frecuencia de 5.6 GHz y una longitud de onda de 5.6 cm (Paradella et. al., 1996). Para tener el acceso más rápido a los datos de teledetección, se escogieron las escenas de archivo del satélite canadiense RADARSAT 1 (**Figura 6**).

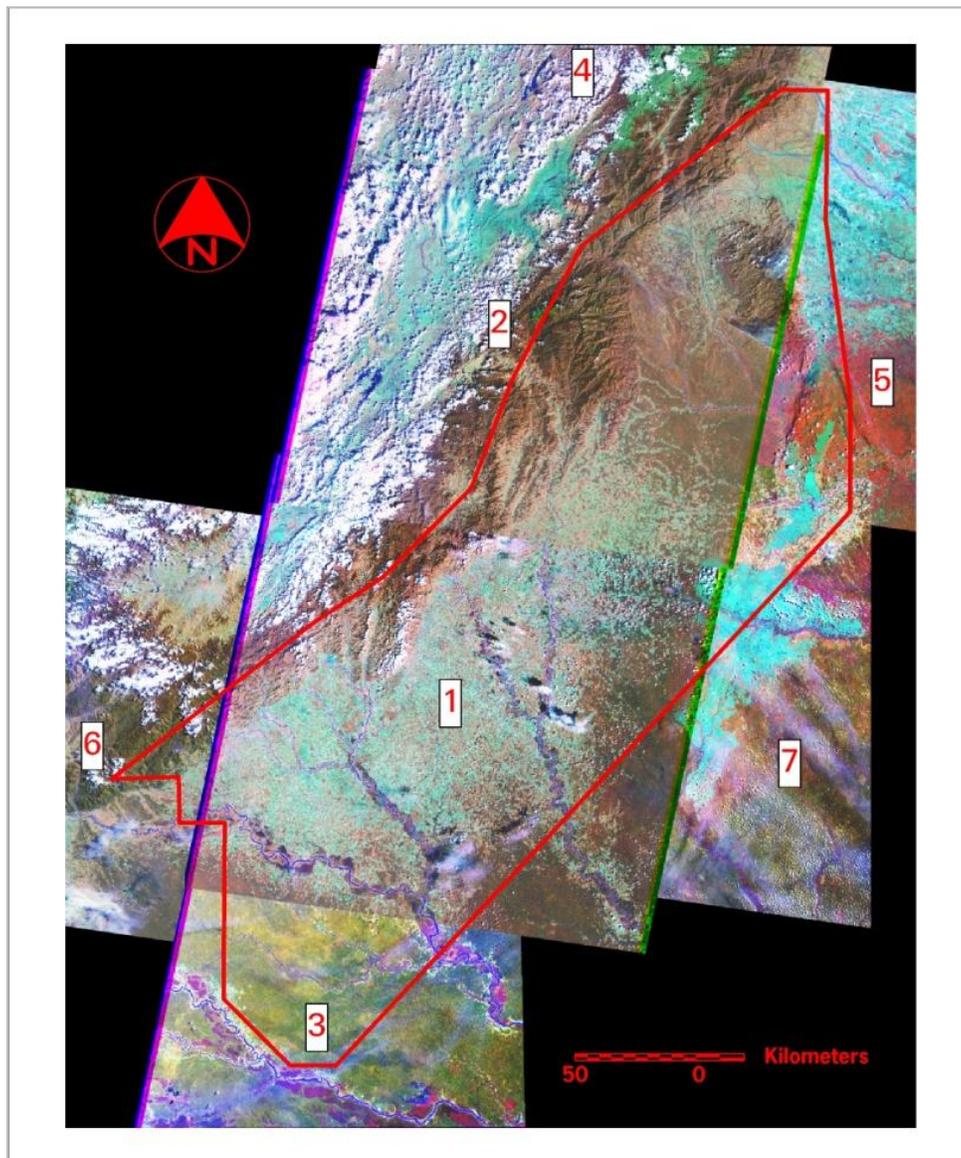
El *Speckle* o textura básica de las imágenes de radar, producido por la interacción de las ondas en esta porción del espectro electromagnético y se manifiesta como un "ruido" de pixeles claros y oscuros, que se percibe visualmente con una textura conocida como "sal y pimienta". Este ruido nunca se suprime en su totalidad; para el caso del mosaico de escenas RADARSAT 1 se aplicó un filtro GAMMA-MAP, que es recomendado para utilizarlo en áreas totalmente cubiertas de vegetación (Paradella et. al., 1996), como la considerada por este estudio.

Se ensayaron diferentes filtros direccionales para realzar lineamientos, pero en las imágenes generadas no se percibió ningún efecto de realce, sino de enmascaramiento de las principales estructuras geológicas, mediante "artefactos" generados por la convolución. En la totalidad de los datos, se aplicó un método de expansión de contraste por desviación estándar

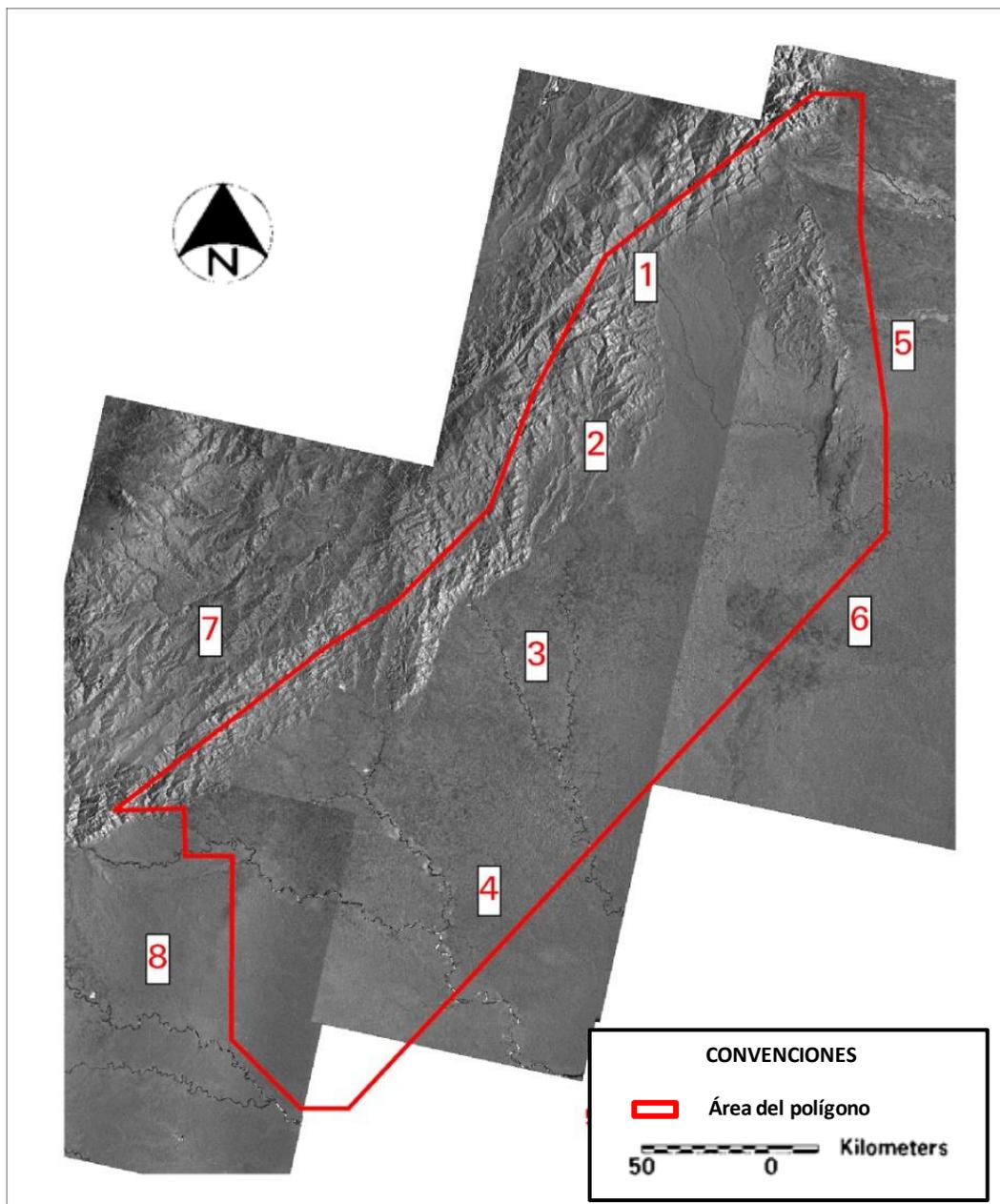
El área considerada en el proyecto está cubierta por escenas tipo WIDE o STANDARD, cuyas resoluciones espaciales son de 30m y 25m respectivamente, permiten llegar hasta la escala 1:100.000 (**Figura 6**). Las principales características de las ocho (8) escenas RADARSAT 1, adquiridas para generar el mosaico que registra el área de estudio, se resumen en la (**Tabla 4**).

ID (Fig. 4)	Fecha	Hora de inicio	Orbita	Tipo	Modo	Angulo de Incidencia
1	22/04/1999	10:34:55.69	18077.4915	Descendente	Standard S7	46.95
2	22/04/1999	10:35:09.64	18077.4915	Descendente	Standard S7	46.95
3	22/04/1999	10:35:23.58	18077.4915	Descendente	Standard S7	46.95
4	22/04/1999	10:35:37.52	18077.4915	Descendente	Standard S7	46.95
5	27/05/2000	10:39:01.48	23808.4905	Descendente	Wide WR2	35.11
6	27/05/2000	10:39:22.56	23808.4905	Descendente	Wide WR2	35.11
7	30/06/2000	10:47:47.22	24294.4941	Descendente	Wide WR2	35.11
8	30/06/2000	10:48:08.29	24294.4941	Descendente	Wide WR2	35.11

**Tabla 4. Características de las escenas RADARSAT 1**



**Figura 5. Escenas Landsat ETM en el área de estudio.**



**Figura 6. Escenas RADARSAT 1 que registran el área de estudio.**

### **2.3 INTERPRETACIÓN DE IMAGÉNES DE SENSORES REMOTOS**

Para la interpretación geológica se utilizaron como criterios, el marco geológico regional y su expresión en las imágenes, la clasificación textural y de color, los mapas geológicos oficiales con datos medidos en campo, el estilo estructural predominante en la cuenca y la columna estratigráfica (**Anexo 4**).

La clasificación de imágenes RADARSAT-1 fue realizada utilizando *clustering classification*. Este procedimiento es utilizado en el tratamiento digital de imágenes RADARSAT-1, y ayuda a la identificación de áreas con diferente rugosidad y color.

La clasificación de textura no supervisada, se realiza mediante un algoritmo *Isodata Clustering*. El método ISODATA es un procedimiento en el cual los centros del *cluster* son iterativamente determinados por medio de muestreo. Un set de  $n$  puntos de datos en un espacio  $n$ -dimensional es dado junto con un entero  $K$ , indicando el número inicial de *cluster* y un número de parámetros adicionales. El objetivo general es computar un set de *clusters centers* en un  $n$ -espacio. Una ventaja del algoritmo ISODATA es que el usuario solamente determina un número inicial de *clusters* ya sea por eliminación, por unión de *clusters* cercanos o por división de grandes *clusters* difusos (Memarsadeghi et. al., 2003). Después de la clasificación, una agregación interactiva es desarrollada, donde grupos de píxeles son agregados para definir características texturales con temática significativa. El objetivo es discriminar áreas de textura suave (con baja rugosidad) de áreas de textura intermedia y rugosa en imágenes RADARSAT-1.

La información obtenida a través del análisis de otros sistemas de sensores, tales como LANDSAT TM, se utilizan para descartar áreas de textura suave de las imágenes RADARSAT-1.

En los **Anexos de bolsillo** se presentan los mapas geológicos con la información integrada.

Las unidades geológicas informales que se trabajaron a partir de la información geológica existente, la clasificación textural digital y la expresión morfológica son las siguientes:

### 2.3.1 Interpretación del Proterozoico-Carbonífero

#### Sector Macarena

**Precámbrico de La Macarena:** El Proterozoico en la zona de estudio aflora únicamente en el centro de la Serranía de la Macarena. En la imagen RADARSAT se observa como una textura homogénea con lineamientos de fracturación y pendientes altas. En la zona nor-oriental del área de estudio se puede determinar claramente el contacto entre las rocas cristalinas pertenecientes al Proterozoico y las rocas sedimentarias del Cretácico.

**Grupo Güejar:** Las rocas Cámbricas del Grupo Güejar afloran en el área nororiental de la Serranía de la Macarena y en la imagen RADARSAT corresponde con una zona con relieve denudacional y pendiente baja debido a su litología arcillosa. Se observan lineamientos suaves intraformacionales correspondientes a la estratificación.

### Sector Putumayo

**Complejo de Garzón:** El basamento cristalino aflorante a lo largo del sector occidental del área de estudio tiene variaciones composicionales significativas por lo que presenta una geomorfología compleja e irregular. Se definen como áreas con pendientes altas, con erosión hídrica profunda y textura homogénea; sin embargo, cuando el basamento está compuesto de metasedimentitas se observa una morfología suave con lineamientos correspondientes a la foliación que se pueden confundir con rocas sedimentarias más jóvenes correspondientes al Paleozoico y/o Jurásico.

**Formación Saldaña:** Las rocas vulcano- clásticas del Jurásico afloran en el sector sur del área de estudio y se definen como una franja homogénea continua buzando hacia el sureste y están en contacto fallado con el basamento. Se observan lineamientos evidentes delimitando el bloque donde aflora la Formación Saldaña.

### Sector Caguán

**Macizo de Garzón:** Con similares características al denominado Complejo de Garzón del Sector Putumayo.

### Sector La Uribe

**Macizo de Quetame:** El basamento correspondiente al sector noroccidental del área de estudio tiene pendientes altas, con erosión hídrica profunda y textura homogénea. Hay lineamientos correspondientes a la foliación y fracturas dentro de la secuencia.

## 2.3.2 Interpretación del Cretáceo

### Sector Macarena

**Grupo Macarena:** Esta unidad aflora exclusivamente en la Serranía de la Macarena con una expresión morfológica fuerte, de litología competente, altas pendientes y baja densidad de vegetación. Hay alguna dificultad de diferenciar morfológicamente el Cretáceo arenoso correspondiente al Grupo Macarena y la Unidad Mirador del Cenozoico.

### Sector Putumayo

**Formación Caballos:** Expresión morfológica fuerte con la estratificación bien desarrollada, litologías generalmente en discordancia con el Macizo de Quetame.

**Formación Villeta:** Estas unidades tienen una expresión suave representada por valles.

**Formación Rumiayaco:** Muestra unas expresiones morfológicas fuertes a la base y suaves hacia el techo

### Sector Caguán

**Formaciones Caballos y Villeta:** Las unidades del Cretácico en el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental en este sector son muy delgadas y corresponden a litologías generalmente finas, con una expresión suave de pendiente moderada y valles amplios en forma de "U". El Cretácico aflorante en el sector Putumayo es una franja delgada que se acuña hacia el norte, en cercanías de Florencia.

**Unidad Neme:** La unidad Neme se presenta con una morfología fuerte, con pendientes empinadas por la litología competente, restringida a la parte sur de la zona. Se observa en contacto discordante a veces con el Macizo de Garzón y se percibe con claridad el cambio abrupto de morfología.

### Sector la Uribe

**Grupo Villeta:** El Cretácico vuelve a aflorar en el sector de Uribe donde se ha usado tradicionalmente la nomenclatura de la Cuenca de Cordillera. Este grupo tiene una expresión suave, con la estratificación bien desarrollada, litologías generalmente finas discordantes sobre el Macizo de Quetame.

## 2.3.3 Interpretación del Cenozoico

### Sector Macarena y la Uribe

**Formación Mirador:** Morfologías fuertes bien marcadas.

**La Carbonera:** Morfologías suaves con pequeños escarpes paralelos.

### Sector Putumayo y Caguán

**Formación Pepino:** La unidad correspondiente al Pepino tiene una expresión morfológica característica con una secuencia de tres facetas triangulares, buzamientos altos y litología competente. Aflora en el sector sur del área de estudio, la unidad desaparece hacia el norte cuando la configuración estructural y la nomenclatura estratigráfica cambian.

**Unidad Orito-Belén:** Esta unidad presenta un relieve de suaves colinas simétricas y asimétricas con vegetación densa aflorante en el sector oriental del área. En algunas zonas localizadas se observa los efectos antrópicos en la vegetación.

### 2.3.4 Interpretación del Cuaternario

**Terrazas altas y Terrazas bajas:** Las terrazas se diferencian de las unidades del Cenozoico por la morfología suavemente inclinada con bajas pendientes hacia el oriente, son de gran extensión, y hacia el norte del área son más abundantes que hacia el sur. El límite o diferenciación de las terrazas altas y bajas se realizaron por medio del DEM. De tal manera que, las terrazas más antiguas son las denominadas altas y tienen una altura significativa, mientras que las terrazas bajas son aquellas con una elevación alrededor de los 400m.

**Coluviones:** Debido a la escala de los coluviones en el área la definición de de éstas fue determinada exclusivamente por el control de campo

**Llanura Aluvial:** En la imagen LANDSAT TM, muestra muy bien el contraste de la vegetación y de la humedad, se puede identificar el límite lateral de las llanuras aluviales de los ríos porque hay una alta concentración de agua y vegetación acuática. Son áreas planas con algunas geofomas como meandros y canales abandonados, diques, depósitos de desborde entre otros.

### 2.4 VERIFICACIÓN DE CAMPO (PLANCHAS IGAC 413 Y 414)

El sector elegido para realizar control cartográfico orientado a la confirmación litoestratigráfica y la obtención de datos estructurales fue un polígono en los alrededores de Florencia que está incluido en las planchas IGAC 413 y la parte occidental de la 414, cuyo límite sur es el municipio de Belén de los Andaquíes y el límite norte es el corregimiento de El Doncello. **Figura 1.**

La salida de campo tuvo una duración de 42 días en donde se trabajaron con cuatro cuadrillas con el fin de comprobar la interpretación de sensores remotos y a cartografiar unidades litoestratigráficas agrupadas en unidades cartográficas aptas para ser presentadas a escala 1:50.000 de un área aproximada de 739 km<sup>2</sup>.

Las carteras de campo y la información recolectada de la zona se encuentran en el **Anexo 3.**

## ***2.5 INTEGRACIÓN GIS E ITERPRETACIÓN***

Como producto principal de integración de la información geológica, interpretación RADARSAT y el trabajo de campo se construyeron varios proyectos GIS, todos con el sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS origen Bogotá a escalas 1:500.000 para toda el área, 1:100.000 para las zonas de piedemonte y 1:50.000 con verificación de campo (Planchas IGAC 413 y 414). Todos tienen cargada la información georeferenciada, ortorectificada e integrada de los productos de tele-observación (mosaico RADARSAT, mosaico LANDSAT TM y el DEM), la información geológica y cartográfica existente, la cartografía levantada en campo con el fin de mantener actualizada la información e integrar nuevos productos al sistema.

### 3 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La cuenca Caguán-Putumayo es clasificada tradicionalmente como de *foreland* con respecto a la cadena montañosa Andina. Limita al occidente con el sistema de fallas de vergencia sur oriental que produjo el levantamiento de la Cordillera Oriental durante el Cenozoico Tardío.

La secuencia sedimentaria que rellena la cuenca abarca desde el Paleozoico hasta el Reciente. Durante el Paleozoico Inferior se han reportado sedimentos de margen pasivo, mientras que en el Triásico y Jurásico se han reportado condiciones de *rifting*. En el Cretáceo Superior - Cenozoico continúa el depósito de la secuencia sedimentaria que evidencia el inicio de la deformación compresiva, que se intensifica en el Plioceno. Las estructuras generadas en estos periodos pueden identificarse por su fosilización o por unidades remanentes que las evidencian.

#### 3.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Estratigráficamente el sector norte de la cuenca se correlaciona mejor con la Cuenca de los Llanos, pero operativamente se le asignará a éste la misma nomenclatura estratigráfica del sector del Putumayo. Esta nomenclatura aplica excepto para el Cretáceo; ya que estas rocas están conformadas por facies más arenosas hacia el este, y algunas intraformaciones desaparecen por cambios faciales o por erosión. **(Figura 7)**.

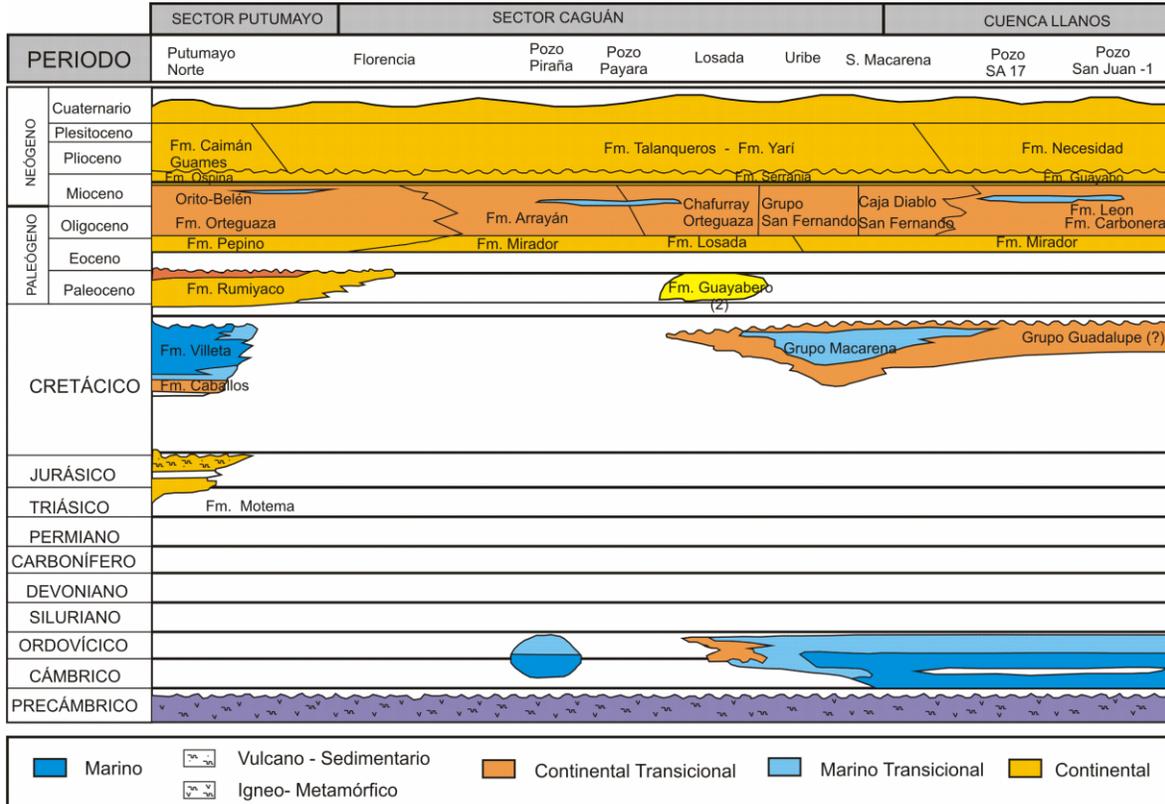


Figura 7. Carta crono-estratigráfica Cuenca Caguán-Putumayo. Tomado de ICP, 1997.

### 3.1.1 Unidades Estratigráficas

A partir de la recopilación de información de varios estudios que involucran aspectos litológicos, paleogeográficos, análisis de facies e interpretaciones ambientales referentes a la cobertura sedimentaria de la zona, se definen las siguientes unidades estratigráficas. Es importante mencionar que se emplean nomenclaturas diferentes para la zona norte (Caguán) y la zona sur (Putumayo) que son correlacionables con la Cuenca de los Llanos. (Figura 8).



## A. Proterozoico

Según REPSOL, 2006, durante este Eón se formaron rocas ígneas y metamórficas de un amplio rango composicional pertenecientes al Macizo de Garzón y otros litodemas genéticamente relacionados con el Escudo de Guyana. Se tiene registro del basamento en los pozos Losada-1.

## B. Paleozoico

Según REPSOL, 2006, el basamento paleozoico de la cuenca es de tipo continental y no se ha estudiado.

### Sector Putumayo

En este sector no se han encontrado registros de rocas de edad Paleozoica, la secuencia sedimentaria conocida comienza en el Triásico-Jurásico.

### Sector Caguán

La secuencia sedimentaria en este sector es espesa, litológicamente variable y con ambientes de depositación de frente arrecifal y turbiditas predominantemente. Las unidades se han discriminado de la siguiente manera:

**Formación Ariari:** descrita en ICP, 1997, para la zona de Caguán, como calizas, localmente estromatolitos y dolomitas en la parte superior; formada en un ambiente de transición de frente de arrecife a laguna arrecifal. Se reportan 500 m de espesor en los Cerros de Calime, aunque su base no aflora. Bridger, 1982 en ICP, 1997 considera esta unidad del Cámbrico Inferior?.

**Formación Güape:** descrita en ICP, 1997, para la zona del Caguán. Está compuesta por esquistos, diabasas y cuarcitas, concordantes con la Unidad Ariari. Su espesor aproximado es de 1.250 m en el cañón del Río Guape. Bridger, 1982 en ICP, 1997, considera esta unidad del Ordovícico Inferior?- Medio?.

**Formación Duda:** descrita por ICP, 1997 como una unidad compuesta por areniscas calcáreas y lodolitas de origen turbidítico en los cerros de Calime en la zona de Caguán. Bridger, 1982 en ICP, 1997 considera esta unidad del Ordovícico Inferior?-Medio?.

**Grupo Güejar:** en ICP, 1997, la secuencia litoestratigráfica en el sector de la Serranía de la Macarena es de base a tope:

- i) Aproximadamente 15 m de lutitas negras con delgadas capas de caliza, de edad Tremadociano Temprano.
- ii) Aproximadamente 150 m de sedimentos de edad Tremadociano Tardío.
- iii) Unidad más lutítica que las anteriores, aproximadamente de 160 m de espesor

Bridger, 1982 en ICP, 1997 denomina esta unidad como: Unidad Guayapita, Formación Cananari y Unidad Zanza. Estas rocas fueron datadas por Rushton en Geotec, 1972, como del Cámbrico Superior.

### C. Triásico- Jurásico

El registro Triásico-Jurásico, solo se ha descrito para el sector sur de la Cuenca Caguán-Putumayo con unidades de ambientes continentales y en menor proporción ambientes marinos restringidos al sector de Orito. En el sector norte la secuencia se encuentra discontinua por la presencia de altos de basamento.

#### Sector Putumayo

Las unidades que se depositaron durante el Triásico-Jurásico fueron los sedimentos vulcano-sedimentarios de las Formaciones Motema y Saldaña.

**Formación Motema:** descrita en REPSOL, 2006 como una formación de capas rojas de limolitas, arenas y conglomerados, con ocurrencia ocasional de tobas, brechas volcánicas e intrusiones de rocas hipoabisales. El ambiente asociado a esta unidad es fluvial de bajas condiciones oxidantes y con gran aporte volcánico. Esta formación puede correlacionarse en el sur con las Formaciones Chapiza, Misahualli, Sarayaquillo de edad Triásico- Jurásico, según Tectonic Analysis Inc, 1998.

**Formación Saldaña:** descrita por INGEOMINAS, 2003 como una secuencia vulcanosedimentaria con intercalaciones de tobas, flujos de lava, aglomerados, areniscas tobáceas y limolitas del Triásico/Jurásico en la zona sur de la cuenca.

#### Sector Caguán

Durante el Triásico Jurásico en el sector Caguán se produjo el levantamiento del basamento por lo que no hubo depositación de unidades.

### D. Cretáceo

Durante el Cretácico el oriente de la cuenca corresponde a un sector con un alto estructural por lo que la depositación se restringe al sur, en el sector Putumayo, donde aflora la secuencia marino somero, clástico- calcárea de las Formaciones Caballos y Villeta. Hacia la zona noroccidental del sector Caguán, las unidades reflejan un ambiente de depósito transicional deltaico con influencia continental.

#### Sector Putumayo

**Formación Caballos:** Unidad referenciada en el área por primera vez por Grosse, 1935, quien diferenció en la cuenca alta del río Caquetá una unidad que denominó "piso de areniscas blancas", luego McGirk, 1949, utilizó el término Formación Caballos y finalmente la sucesión fue descrita por primera vez por Olson, 1956 en REPSOL, 2006, en el área sur en la Sierra de Churumbelo al este de Mocoa.

Se caracteriza por la ocurrencia de una secuencia granodecreciente de edad Aptiano-Albiano, Geoestudios, 1993, o Albiano tardío a Cenomaniano, Mora et al., 1998, que descansa discordante sobre la Formación Saldaña y que tiene contacto a veces neto y a veces transicional con la suprayacente Formación Villeta.

La Formación Caballos inicia a veces con conglomerados finos de cuarzo transparente en la base y a veces con cuarzoarenitas. Las cuarzoarenitas son de tamaño de grano medio a grueso interlaminaadas con carbón y arcillolitas carbonosas, hacia la parte media y superior de la unidad se observa alternancia de calizas, pelitas grises oscuras y areniscas se pueden interpretar paleoambientalmente como resultado de oscilaciones del mar y de la depositación en ambientes más transicionales a marinos poco profundos (barras de boca de distributario y depósitos de playa). La secuencia en general es transgresiva con algún aporte de material volcánico.

Los espesores reportados son variables que van desde los 40 m en la carretera Pitalito – Mocoa, hasta los 150 m en la Q. La Cristalina. Nuñez A., 2003. Este autor sugiere, con base en el espesor reducido de la unidad, que la edad asignada debe comprender un intervalo de tiempo menor, y recomienda realizar estudios más detallados para ajustar mejor el rango de edad.

Según REPSOL, 2006, en la base del Cenozoico se encuentran depósitos clásticos provenientes de la Formación Caballos de edad Aptiano-Albiano alcanzando un espesor de 320 pies (en pozo) y 525 pies (en superficie). La unidad tiende a adelgazarse hacia el este.

**Formación Villeta:** Corresponde al intervalo comprendido entre el Albiano y el Maastrichtiano Temprano. La secuencia fue descrita por los mismos autores que identificaron y estudiaron en el área a la subyacente Formación Caballos. Mora et al., 1998, y posteriormente Nuñez A., 2003, también recomiendan no usar este nombre en la cuenca por falta de criterios claros para extenderla desde el Valle Superior del Magdalena.

Compuesta principalmente por lodolitas de color gris muy oscuro a negro, con estratificación fina y laminación plana paralela a ondulosa paralela, con fósiles de bivalvos que se intercalan con estratos medios a muy gruesos tabulares de "intraesparitas a pelmicritas" de bioclastos, de color gris muy oscuro a negro, bioperturbadas. Son frecuentes fósiles de restos de peces, abundantes pellets y oolitos, fragmentos de materia orgánica, intensa bioperturbación, así como impresiones de amonitas y bivalvos articulados, Nuñez A., 2003.

La Formación Villeta descansa normalmente sobre la Formación Caballos pero su límite superior a veces es disconforme, veces paraconforme con la Formación Rumiyaco y, a veces fallado con las Formaciones Rumiyaco y Pepino. Su espesor oscila entre 320 y 380 m, Nuñez A., 2003.

Actualmente se reconocen dos Miembros: el Villeta Inferior y el Villeta Superior.

1. *Villeta Inferior (Albiano-Cenomaniano)*: se reconocen 6 intervalos litoestratigráficos que representan periodos de sedimentación marina interrumpidos por periodos de aporte continental. (BEICIP y FRANLAB, 1988).

Las facies más gruesas, *grainstone*, *packstone*, *packstone / wackstone* se caracterizan por la presencia de bivalvos, ostreidos y en menor proporción gasterópodos y equinodermos, fragmentos de conchas generalmente recristalizados y sin una orientación preferencial, peloides micritizados y glauconita con bioclastos.

2. *Villeta Superior (Cenomaniano-Maastrichtiano)*: predominan las facies arcillosas y limosas y en menor proporción facies calcáreas generalmente como delgados niveles de *wackstone* y *packstone* de bioclastos. Las facies finas se interpretan como depósitos de plataforma media a externa con ocasionales depósitos de tormenta que corresponderían a las facies calcáreas.

La depositación del Miembro Villeta Superior se produce en respuesta a una subida del nivel base (hem ciclo de subida); se evidencia en el cambio facial y en los valores altos del registro *Gamma Ray - GR* que corresponde a arcillas principalmente.

### Sector Caguán

**Formación Caballos:** Descrito por ICP, 1997 como una secuencia de areniscas de grano fino a conglomerático, intercaladas con niveles lodosos. Depositada en una llanura aluvial hasta litoral que representa posiblemente un ambiente lacustre durante el ciclo transgresivo del Aptiano.

**Grupo Macarena:** Las sedimentitas del grupo Macarena son bastante arenosas y son descritos en dos segmentos por ICP, 1997:

1. *Macarena Inferior*: Intercalación de niveles de arenisca crema, cuarzosa, muy fina a fina, con clastos angulares a subangulares, localmente conglomerática; niveles de arcillolitas físis gris oscuro a negro. Ocasionalmente se observan niveles de carbón. Se interpreta como un depósito de llanura aluvial costera.
2. *Macarena Superior*: Areniscas cuarzosas, de color crema, con clastos subangulares y angulares, con moderada a mala selección, fragmentos carbonosos e intercalaciones de arcillolitas gris claro, masivas, localmente físis. Se interpreta como depósito de llanura aluvial hasta litoral.

Los ambientes observados en el área de la Macarena, pozo Río Güejar, indican influencia fluvial de ríos trenzados hacia la base del depósito y una progresiva influencia marina hacia el tope.

## E. Cretáceo- Paleógeno

En el sector Caguán, el piso Maastrichtiano está ausente, excepto al norte donde hay sedimentitas de tipo continental provenientes posiblemente de las áreas exhumadas que abarcan la mayoría de la zona. En el sector del Putumayo, se observa una secuencia clástica de arcillas, depositadas en ambientes de pantanos costeros e inter-mareales correspondientes a la Formación Rumiyaco.

### Sector Putumayo

**Formación Rumiyaco:** La primera referencia corresponde a Saville, 1943, en Miley & McGirk, 1948; y definida posteriormente en el ámbito petrolero por Mc. Girk, 1949, esta formación se compone en la base de niveles arenosos intercalados con delgadas capas conglomeráticas que según Mora et al. 1998 puede ser equivalente con la Arenisca del Neme, en el Valle Superior del Magdalena. El tope de la unidad corresponde a arcillolitas, limolitas rojas y algunos niveles arenosos. La parte central presenta una intercalación de delgadas capas de arenas arcillosas y limolíticas. Hacia el oeste de la cuenca, esta se compone de arcillas y limolitas que hacia el tope se vuelve más arenosa.

El ambiente de depositación varía de marino a continental marcando el cambio de las condiciones marinas que prevalecían en el Cretácico, a continental durante el Cenozoico.

Hacia el oeste, la parte más profunda de la cuenca corresponde a ambientes marinos restringidos. Su contacto inferior con la Formación Villeta es discordante debido a un hiato; en el oeste y centro de la cuenca el contacto superior con la Formación Pepino es discordante y probablemente coetánea con la elevación del paleo alto de Florencia y el levantamiento de la Cordillera Oriental.

Durante el Eoceno los primeros pulsos de la Orogenia Andina dieron lugar a la elevación de áreas en el oeste. La dirección de la fuente para los sedimentos clásticos cambió del este (Escudo de Guyana) a los terrenos andinos levantados al oeste.

## F. Paleógeno

En el sector Putumayo, el Eoceno está representado por la Formación Pepino depositada en ambientes continentales. En el sector Caguán, la depositación está restringida al sector norte de la cuenca y está caracterizada por sedimentos de ambientes continentales identificados como la Formación Mirador.

### Sector Putumayo

**Formación Pepino:** Descrita por Saville, 1943, en Miley & McGirk, 1948. Se divide en tres miembros estratigráficos. El miembro inferior está constituido principalmente por conglomerados, el miembro medio por arcillolitas, limolitas rojas ocasionalmente calcáreas

y areniscas marrón con matriz arcillosa; el miembro superior presenta lentes de conglomerados gruesos intercalados con areniscas, arcillolitas duras y limolitas no calcáreas. Su espesor aumenta hacia el oeste de la cuenca, de 200 a 300 pies hasta valores superiores a los 1600 pies alcanzados en el depocentro cuya orientación es nortesur, entre los pozos Azul Grande-2 y Tambor-1. Su ambiente deposicional es continental - fluvial. La composición del material sugiere que el área de la fuente para estos sedimentos fue la Cordillera Central.

El contacto inferior con la Formación Rumiayaco es discordante y localmente erosivo. El contacto superior es concordante con la Formación Orteguaza debido al aumento gradual de condiciones de baja energía.

### Sector Caguán

**Formación Mirador:** Descrita por ICP, 1997, en los sectores de San Vicente del Caguán y el Palealto de Florencia como una arenisca grisácea a blanca y conglomerática, de grano medio a grueso, de moderada selección, con líticos metamórficos de chert. Localmente se presentan lodolitas gris verdosas, intercaladas con niveles de areniscas lodosas, cuarzosas, con granos subangulares a angulares, moderada a mala selección, con fragmentos carbonosos y arcillolitas gris oscuro claro, masivas, localmente fisiles; depositadas en un ambiente litoral a nerítico interno localmente con influencia aluvial.

## **G. Paleógeno-Neógeno**

El área expuesta durante estos sistemas se encuentra en el occidente, ocupando gran parte de la cuenca. Hacia el sector del Putumayo se deposita el Grupo Orito, la Formación Orteguaza y la Formación Orito-Belén. En el sector Caguán, al oriente, estas litologías se describen como pertenecientes a las series Eoceno Superior-Oligoceno dentro de las formaciones Serranía y Orteguaza.

### Sector Putumayo

**Formación Orteguaza:** Descrita por Saville, 1943, en Miley & McGirk, 1948, como "Conjunto Cenozoico Medio a Superior". Las rocas de esta formación se depositaron durante un episodio sedimentario depositado entre las dos fases tectónicas importantes en las que se levantó la Cordillera Andina.

Esta unidad consiste en una intercalación de arcillolitas, limolitas grises, areniscas finas y ferruginosas y delgadas capas carbonosas. Posee abundantes intercalaciones de lignito. El espesor de esta formación disminuye hacia el oeste, estando ausente en la parte noreste del Putumayo debido a la erosión causada por el tectonismo Andino.

El ambiente de depositación de esta formación es salobre restringido. El contacto inferior con la Formación Pepino es concordante. El contacto superior con el Grupo de Orito-Belén es discordante.

**Grupo Orito: Formación Belén y Formación Ospina:** Las formaciones Belén y Ospina se componen de arcillas intercaladas con limolitas con escasos lentes de arenisca arcillosa (algunas de las cuales exhiben estratificación cruzada) y abundantes intercalaciones de lignito. El contacto inferior con la Formación Ortegaza y el superior con los depósitos Cuaternarios sobrepuestos son discordantes.

### Sector Caguán

**Formación Arrayan:** Según ICP, 1997 consta de una intercalación de rocas lutíticas grises a rojas con niveles de areniscas de grano fino, laminas de carbón y algunos niveles fosilíferos en los que se distinguen gasterópodos, ostrácodos y foraminíferos en el sector de Uribe y San Fernando en la Serranía de la Macarena.

Los depósitos del Mioceno se formaron en condiciones de llanura aluvial a transicional, con incursiones marinas locales.

**Formación Serranía:** Según ICP, 2001 consta de niveles de limolitas y arcillolitas varicoloreadas intercaladas con arenisca fina a conglomerática reportados en el sector del Caguán con un espesor de 45m.

## **3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y POSIBILIDADES EXPLORATORIAS**

Los Andes del Norte de Suramérica se produjeron a raíz de diversos movimientos tectónicos complejos desarrollados desde el Mesozoico, todo el Cenozoico y parte del Cuaternario (Noble et al., 1996). Desde inicios de los noventa se ha considerado por diverso autores que los Andes del Norte es un bloque tectónico que se mueve esencialmente hacia el noreste con respecto a la Placa Suramericana (Pennington, 1981; Kellog et al., 1985; Freymuller et al., 1993; Mann, 1995; Kellogg and Vega, 1995; Trenkamp et al., 2002), cuyo límite es el denominado "Sistema Frontal del Este de los Andes" formado por los sistemas de fallas de piedemonte de Guaycaramo en Colombia y Boconó en Venezuela. Los modelos geotectónicos basados en movimientos reales medidos por GPS realizados por Kellog and Vega, 1995 y Ego et al., 1996 han mostrado concluyentemente que aún persiste este régimen transpresivo en el norte de Suramérica.

La falla de Algeciras, que tiene un importante componente de rumbo dextral identificado por Vergara, 1996; Chorowitz et al., 1996; Velandia, 1997; Velandia and Komuro, 1998, se ha identificado como el límite más oriental del régimen transpresivo actuante en la cuenca Caguán Putumayo y que se conecta hacia el noreste con el Sistema de Fallas de Guaycaramo, Velandia et al., 2005. El movimiento complejo acumulado del "Sistema Frontal del Este de los Andes" y sus fallas asociadas tanto al occidente como al oriente del trazo principal del sistema consideramos que es el responsable de toda la deformación y patrón estructural que se observa en el área de estudio.

En el área que nos ocupa, únicamente se tiene información estratigráfica y estructural moderadamente estudiada siguiendo el piedemonte de la Cuenca del Putumayo hacia el norte hasta la altura de San Vicente del Caguán. Las planchas 1:100.000 involucradas son, de sur a norte, la 431, 412, 414, esquina sur de la 389, 390, esquina sur de la 367 y 368. Es notoria la ausencia de cartografía en la plancha 413 Florencia capital del Departamento del Caquetá.

Para la zona plana, al oriente del piedemonte, dentro del área de estudio la información es muy escasa y se restringe a lo que se obtiene de algunos pozos, informes y sísmica. **Ver Anexo 1.**

Para poder entender la configuración del subsuelo en las zonas planas, se ha usado la información magnetogravimétrica adquirida en los programas Yará-Caguán, 2006 y Putumayo 2009, de Fonade-ANH y la ANH respectivamente.

### **3.2.1 Tectónica de bloques e Inversión Tectónica**

Sistemas de grabens y horst se han identificado muy bien en la Cuenca del Putumayo - Napo, con períodos de reactivación durante el Devoniano – Carbonífero y Triásico - Jurasico, resultado de procesos regionales de apertura de cuencas de *rift* peri e intra cratónicas, algunas de las cuales muestran evidencias de inversión tectónica incipiente durante el Cenozoico visible en la sísmica. Ver Baby, P. et al., 2004.

En Colombia y en especial en el área de estudio, estas estructuras aun no están estudiadas regionalmente y, muy seguramente, deben tener un gran control sobre la distribución de sedimentos e hidrocarburos en las zonas del Putumayo y del Caguán. Así lo sugieren los estudios gravimétricos desarrollados por la ANH en el Caguán – Vaupés (2006) y Putumayo (2009). Hasta el momento no se tiene mejor información para estos propósitos.

En la **Figura 9** se observan un mapa residual en metros desde el nivel del mar hasta el Tope del Paleozoico actual y la **Figura 10** es su interpretación a partir de información de subsuelo en la zona del Putumayo. La zona de anomalías positivas de rumbo norte-sur que domina la parte oriental del levantamiento, viene del Ecuador y continúa hacia Yará-Caguán (**Figura 9**) y corresponde a zonas donde el basamento aflora o se encuentra próximo a la superficie actual del terreno. Dentro de la zona de anomalías predominantemente negativas que se extiende hasta el Piedemonte, se observan algunas anomalías positivas y sinuosidades que corresponden a la tectónica de bloques de basamento y estructuras de rumbo (strike-slip) presentes en el piedemonte y que son coherentes con lo expresado en los trabajos de Velandia et al., 2005. Esta interpretación de la estructura del basamento es consistente con las soluciones magnéticas y gravimétricas mostradas en los cortes practicados a lo largo de los mapas residuales de basamento, **Figuras 9, 10 y 11**, cuyo trazo se observa en la **Figura 7**.

Estos perfiles estructurales satisfacen las respuestas gravimétricas y magnéticas capturadas en esta área y sirven como guía para los futuros programas sísmicos regionales necesarios para entender en detalle la geología de esta área, en especial, para resolver el papel del basamento ígneometamórfico en el control evolutivo de las secuencias sedimentarias que lo cubren. En estos perfiles se muestra que las secuencias cretáceas son cada vez más restringidas hacia el norte de la cuenca, hasta que desaparecen algo más al norte de Florencia. **Ver Mapas Geológicos anexos y Figuras 9, 10 y 11.** Adicionalmente se observa como los pozos practicados en el Putumayo, que sirven de control en profundidad a lo largo de los perfiles, han buscado las estructuras de inversión tectónica en los sedimentos Cretáceos y Terciarios, algunos sin éxito por encontrarse desplazados de los *plays*.

En el Caguán, una anomalía positiva de gran extensión se observa en la **Figura 12** a lo largo del borde sur-oriental y en la zona central. Es la misma anomalía que viene desde el sur y que se conecta con la superficie actual del terreno de la Sierra de La Macarena. Las áreas bajas a ambos lados de la Sierra de La Macarena corresponden a las zonas de la Cuenca Yarí-Caguán y Llanos Orientales donde ocurren los mayores espesores de las secuencias Terciarias y Cretácicas y posiblemente paleozoicas no metamorizadas. La alternancia de anomalías positivas y negativas en el piedemonte cordillerano muestra la complejidad tectónica existente en el mismo, mostrando subcuencas asociadas a la deformación compresional y de rumbo dextral discutida antes y relacionada con el emplazamiento de dicha cordillera.

La **Figura 13** es la interpretación del basamento en la zona del Caguán y muestra el mismo patrón de tectónica de bloques e inversión tectónica con importantes componentes de rumbo dextral que viene desde el Putumayo. Se identifican estructuras altas y bajas orientadas norte sur sepultadas por secuencias sedimentarias más jóvenes y hacia las zonas de piedemonte se evidencia la interacción con el denominado "Sistema Frontal del Este de los Andes" ya definido.

Toda esta tectónica compleja de Wrench (Wilcox et al., 1973), se refleja en los mapas geológicos a todas las escalas, **ver mapas 1.500.000, 1:100.000 y 1:50.000 anexos de bolsillo, Figuras, 20, 21, 22, 23, 24.** También se ha identificado a escalas regionales en los trabajos de Vergara, 1996; Chorowitz et al., 1996; Velandia, 1997; Velandia and Komuro, 1998 y Velandia et al., 2005

Los mapas de la Intensidad Magnética Total Reducida al Polo que se observan en las **Figuras 18 y 19**, muestran que las anomalías positivas corresponden a las unidades ígneo-metamórficas de las rocas de basamento del Macizo de Garzón, la Sierra de la Macarena y el Alto de Morcote, en el Caguán, y las rocas jurásicas expuestas en la zona de piedemonte en el Putumayo. De especial interés es la gran extensión que ocupan las anomalías magnéticas negativas al occidente del alto de La Macarena, oriente del Macizo de Garzón y hacia el norte de la frontera con el Perú. Es en estas zonas es donde ocurren los mayores espesores de las secuencias sedimentarias de interés petrolero. Estos mapas

muestran gran correlación con los mapas de Bouguer y posiblemente contengan espesores muy importantes de sedimentos paleozoicos no metamorfizados que abren nuevas posibilidades exploratorias de acuerdo con las siguientes consideraciones adicionales:

Se observan espesores superiores a los 2000 m.s.n.m. de secuencias Cretácicas-Terciarias a ambos lados de la Sierra de La Macarena. Dentro de estas sub-cuencas, se han sombreado tres altos estructurales de basamento que pueden haber originado estructuras de entrapamiento en las secuencias Cretácicas-Terciarias suprayacentes. Los mayores espesores de las secuencias Terciarias y Cretácicas ocurren a ambos lados de La Macarena y en la esquina Sur-oriental del levantamiento donde se observan valores superiores a los 3000 m. El mapa de Interpretación Estructural de la Cuenca de Yarí-Caguán que se observa en la **Figura 15**, muestra sub-cuencas donde se resaltaron en color en rojo tres altos estructurales de basamento que pueden haber originado estructuras de entrapamiento en las secuencias Cretácicas-Terciarias.

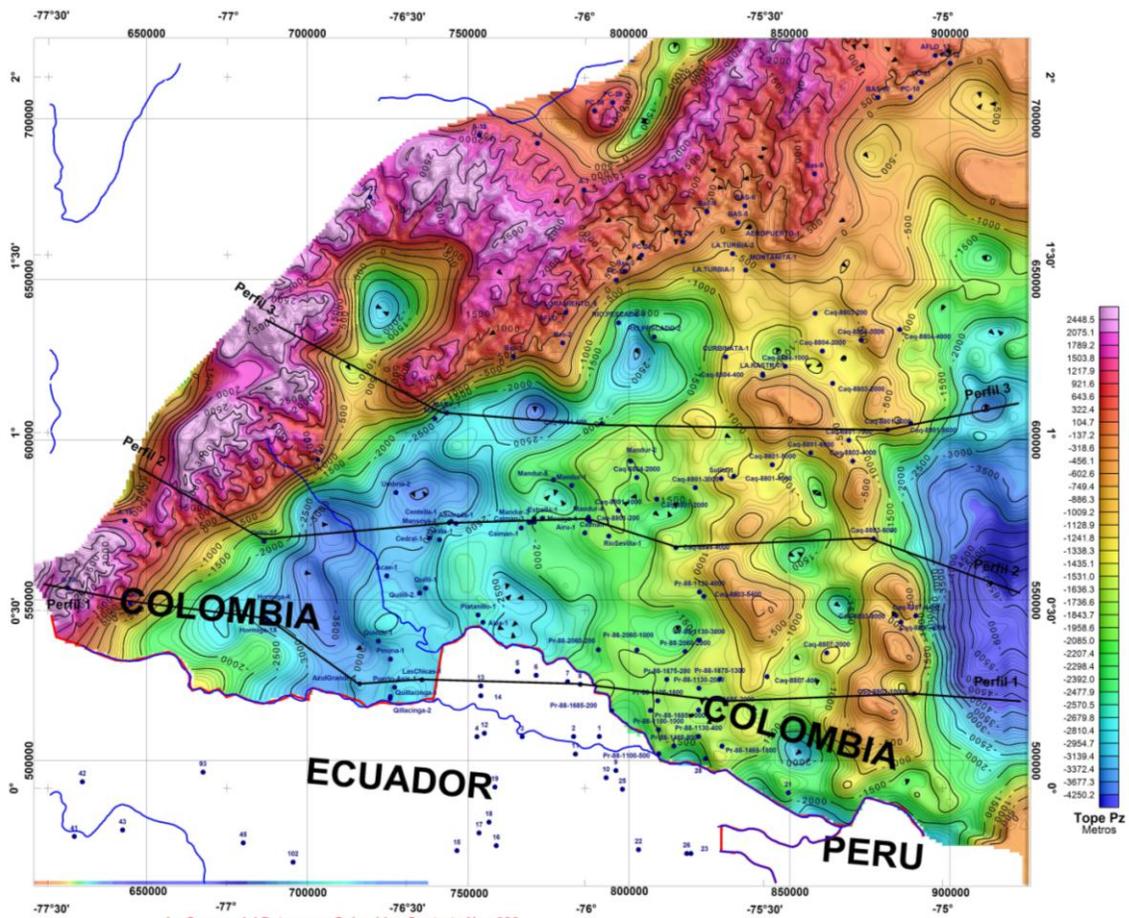
En el Putumayo, los altos y bajos estructurales de orientación nor-noroccidente que son bien conocidos en Ecuador continúan dentro de territorio Colombiano, destacándose claramente la continuación de la Cuenca de Oriente-Marañón. El basamento pre-Cretácico aflora o se encuentra próximo a la superficie actual del terreno a lo largo del Piedemonte de la Cordillera Oriental y en los altos estructurales de orientación norte-sur en el extremo oriental del área. Al oriente de este alto estructural central, orientado norte-sur, que sirve como límite a la Cuenca del Putumayo se observa cómo las secuencias, probablemente Paleozoicas rellenan un graben, con espesores de sedimentos superiores a los 5000 m. el cuál vale la pena comprobarlo perforando un pozo estratigráfico. La porción central elevada se caracteriza por un basamento muy complejo, con presencia de altos y bajos que se conoce como Alto de Florencia. Al occidente de este alto hasta el Piedemonte se desarrolla la porción más interesante de la cuenca del Putumayo, que en su parte más profunda las secuencias sedimentarias tienen espesores comprendidos entre los 3800 m a 4000 m de profundidad.

Estos bajos estructurales constituyen sub-cuencas, donde muy posiblemente se encuentren unidades Paleozoicas-Jurásicas nunca exploradas. Casi todos los descubrimientos en Ecuador se ubican en el flanco occidental de los altos estructurales, por consiguiente la exploración en Colombia debería concentrarse siguiendo la extensión de estos alineamientos. Si los altos de basamento central forman estructuras de cierre o acúñamientos en las secuencias Terciarias suprayacentes, hidrocarburos generados en las unidades Cretácicas o más antiguas provenientes de las partes profunda de las cuencas pueden haberse entrapado en los mismos.

Los modelos geológicos mostrados en las **Figuras 11, 12, 13, 16, y 17** sustentan que el fallamiento es predominantemente normal y de ángulo alto, y que los residuos controlados positivos y negativos son principalmente producidos por contrastes laterales de densidad entre el basamento cristalino Precámbrico y los semigrábenes Jurásico-Paleozoicos afectados por tectónica de transpresión.

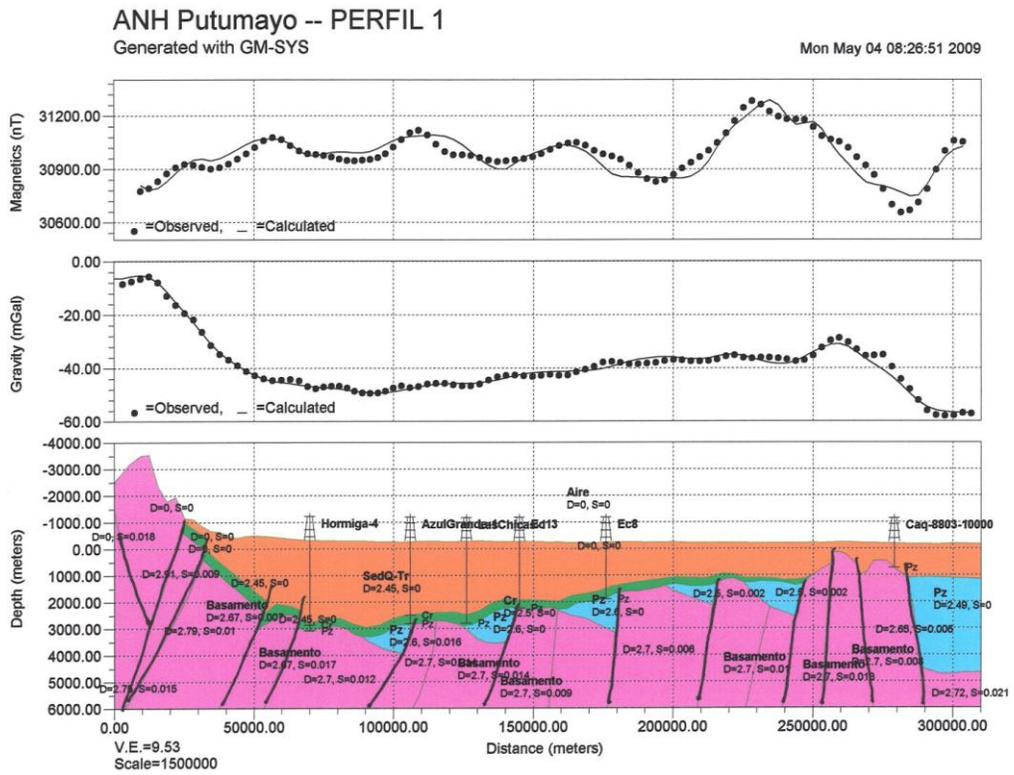
Se nota con claridad como los pozos están ubicados en estructuras anticlinales formadas por reactivación de las fallas originalmente normales que limitan el flanco oriental de los semigrábenes. Los modelos también sustentan como las secuencias Cretácicas van disminuyendo de espesor desde el piedemonte hacia el oriente, hasta acuñarse contra el basamento o las secuencias Terciarias suprayacentes. Ver mapas geológicos (**anexos de bolsillo**).

Las **Figuras 20, 21, 22, 23 y 24**, son perfiles estructurales practicados en diferentes sectores del área de estudio, controlados con geología de superficie y de subsuelo, muestran consistentemente estructuras en flor propias de tectónica de *Wrench* que plantean posibilidades exploratorias nuevas.

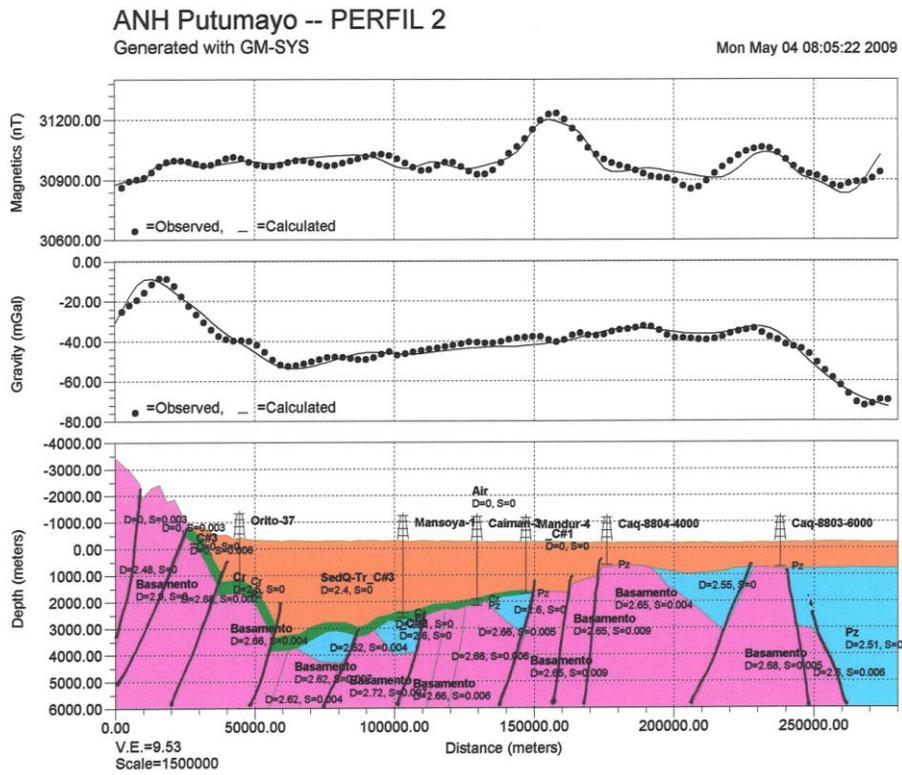


**Figura 9. Mapa residual del Tope del Paleozoico en el Putumayo. Tomado de ANH 2009**





**Figura 11. Perfil 1 correspondiente al trazo mas austral de la Figura 7. Nótese que la interpretación de inversión de bloques del basamento satisface la respuesta gravimétrica y magnética. Tomado de ANH 2009.**

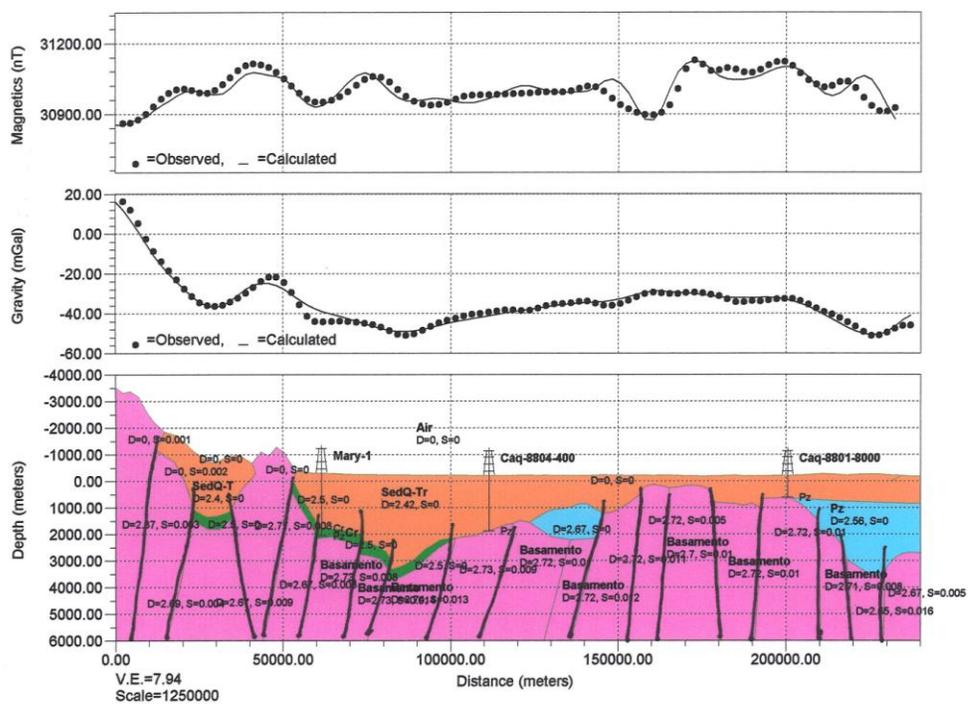


**Figura 12. Perfil 2 correspondiente al trazo mostrado en la Figura 7. Muestra un basamento de composición compleja afectado por tectónica de inversión. Tomado de ANH 2009.**

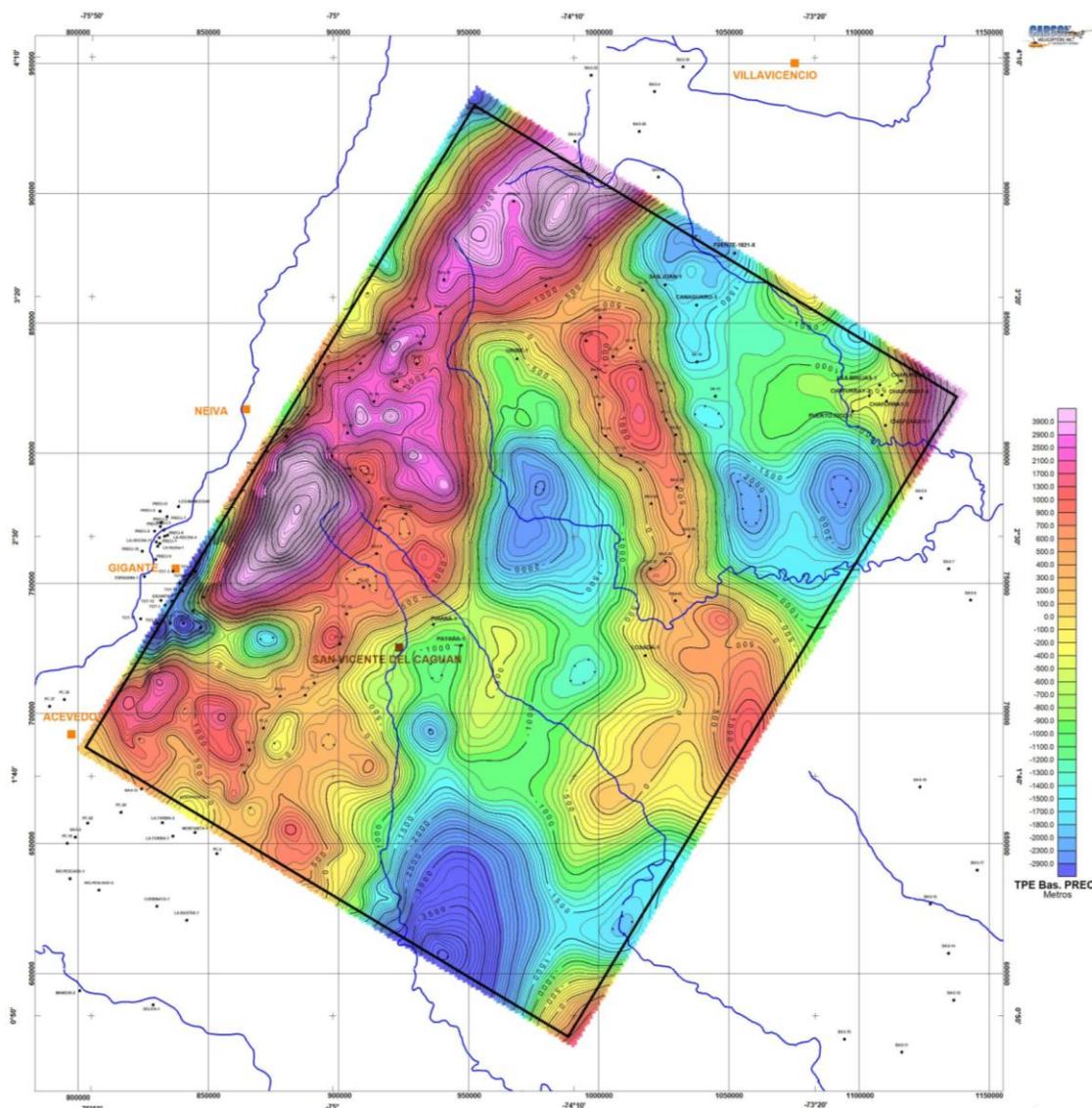
ANH Putumayo -- PERFIL 3  
Generated with GM-SYS

Figura 16

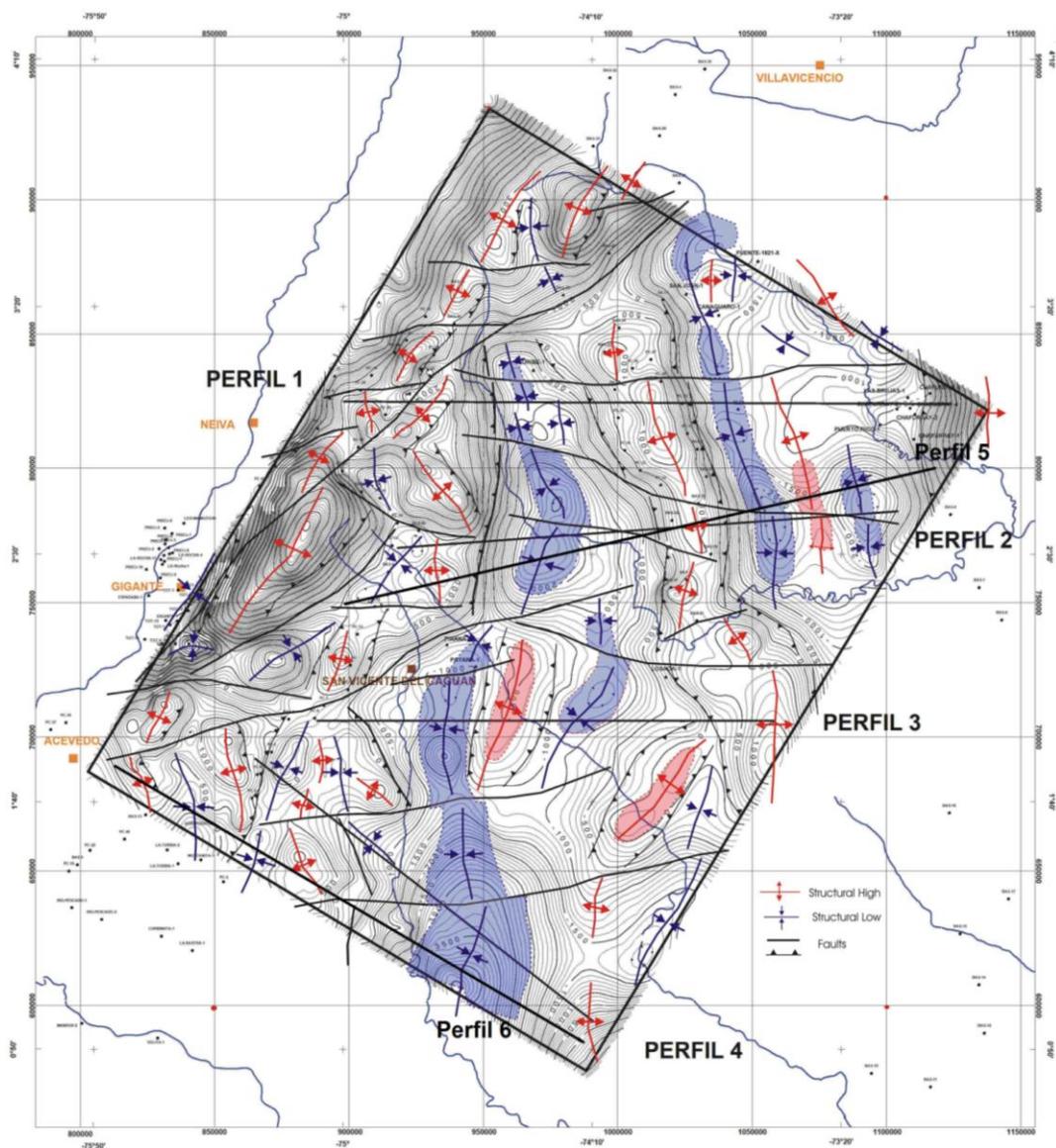
Tue May 19 14:04:02 2009



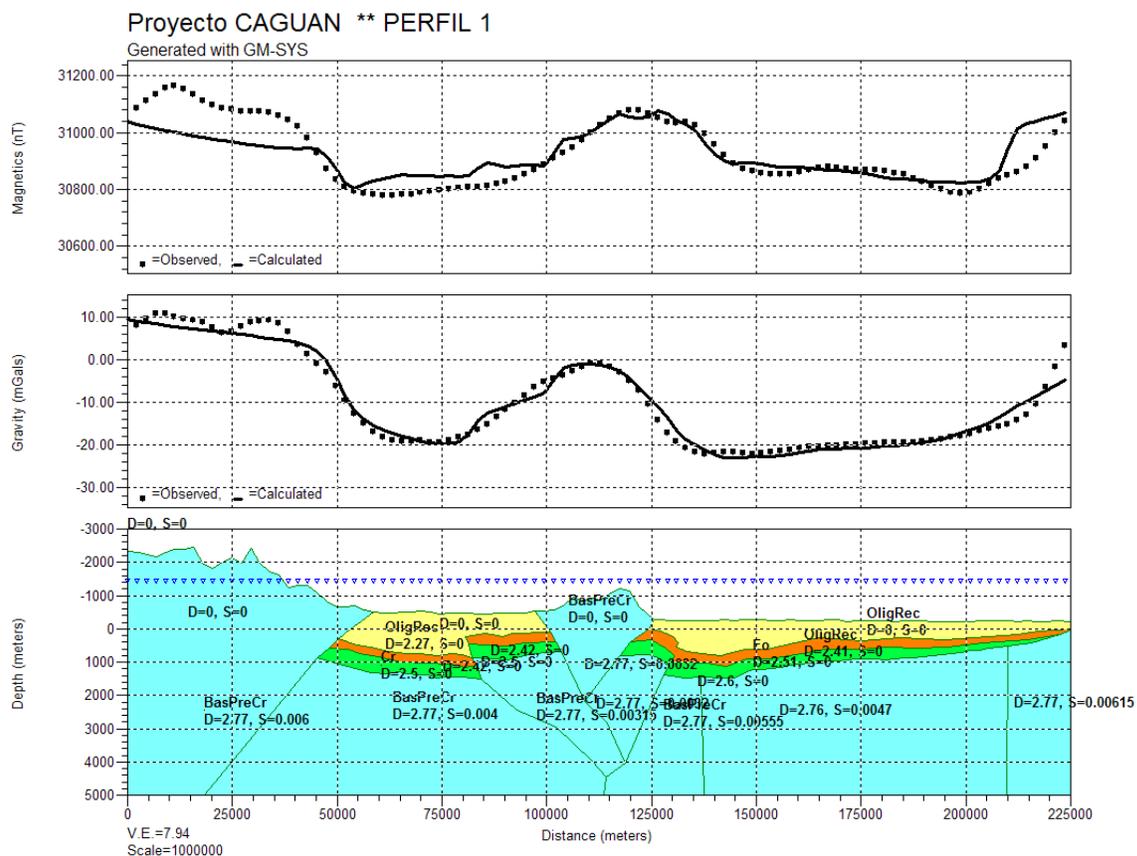
**Figura 13. Perfil 3 correspondiente al trazo septentrional mostrado en la Figura 7. Muestra un basamento de composición compleja afectado por tectónica de inversión. Nótese el adelgazamiento de las secuencias cretáceas (en verde) hacia el oriente Tomado de ANH 2009.**



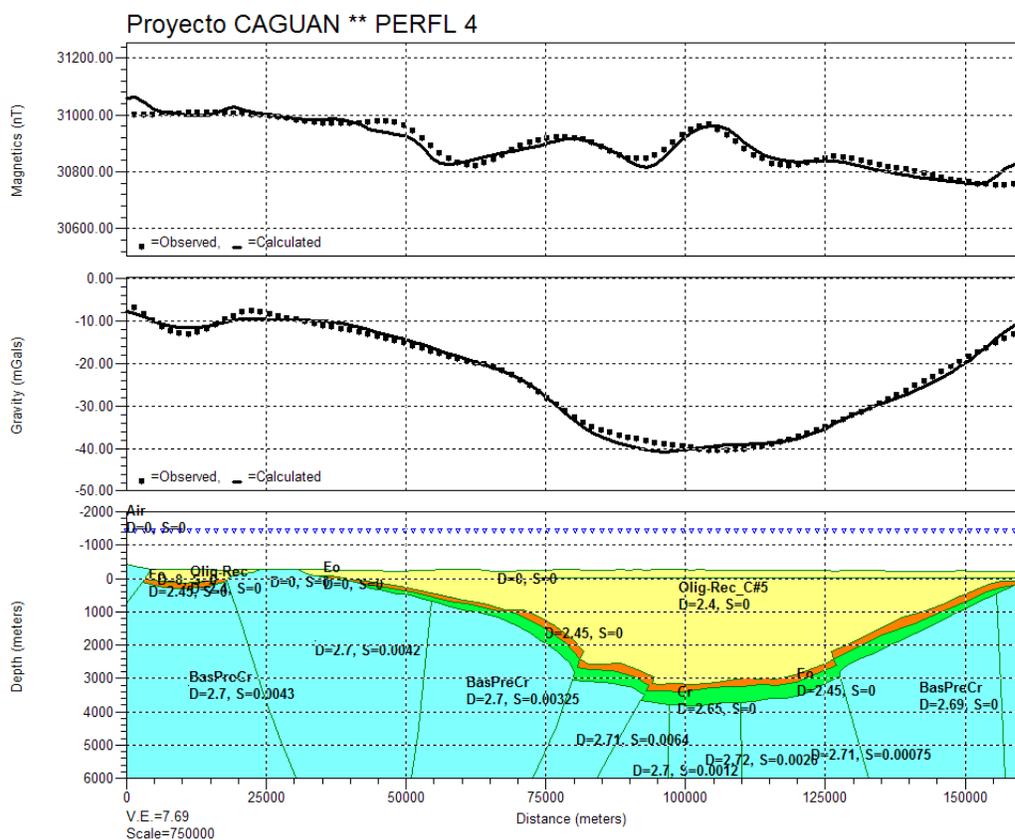
**Figura 14. Mapa residual del Tope del Paleozoico en el Caguán. Tomado de Fonade-ANH 2006**



**Figura 15. Mapa de interpretación del Tope del Paleozoico en el Caguán. Tomado de Fonade-ANH 2006.**



**Figura 16. Perfil 1 correspondiente al trazo septentrional mostrado en la Figura 13. Muestra un basamento de composición compleja afectado por tectónica transpresiva. Nótese que la estructura en flor positiva (Sierra de la Macarena), satisface en esta interpretación las anomalías magnéticas y gravimétricas medidas. Tomado de Fonade-ANH 2006.**



**Figura 17. Perfil 1 correspondiente al trazo austral mostrado en la Figura 13. Muestra el basamento complejo en franca inversión tectónica afectando sedimentos terciarios inclusive. Tomado de Fonade-ANH 2006.**

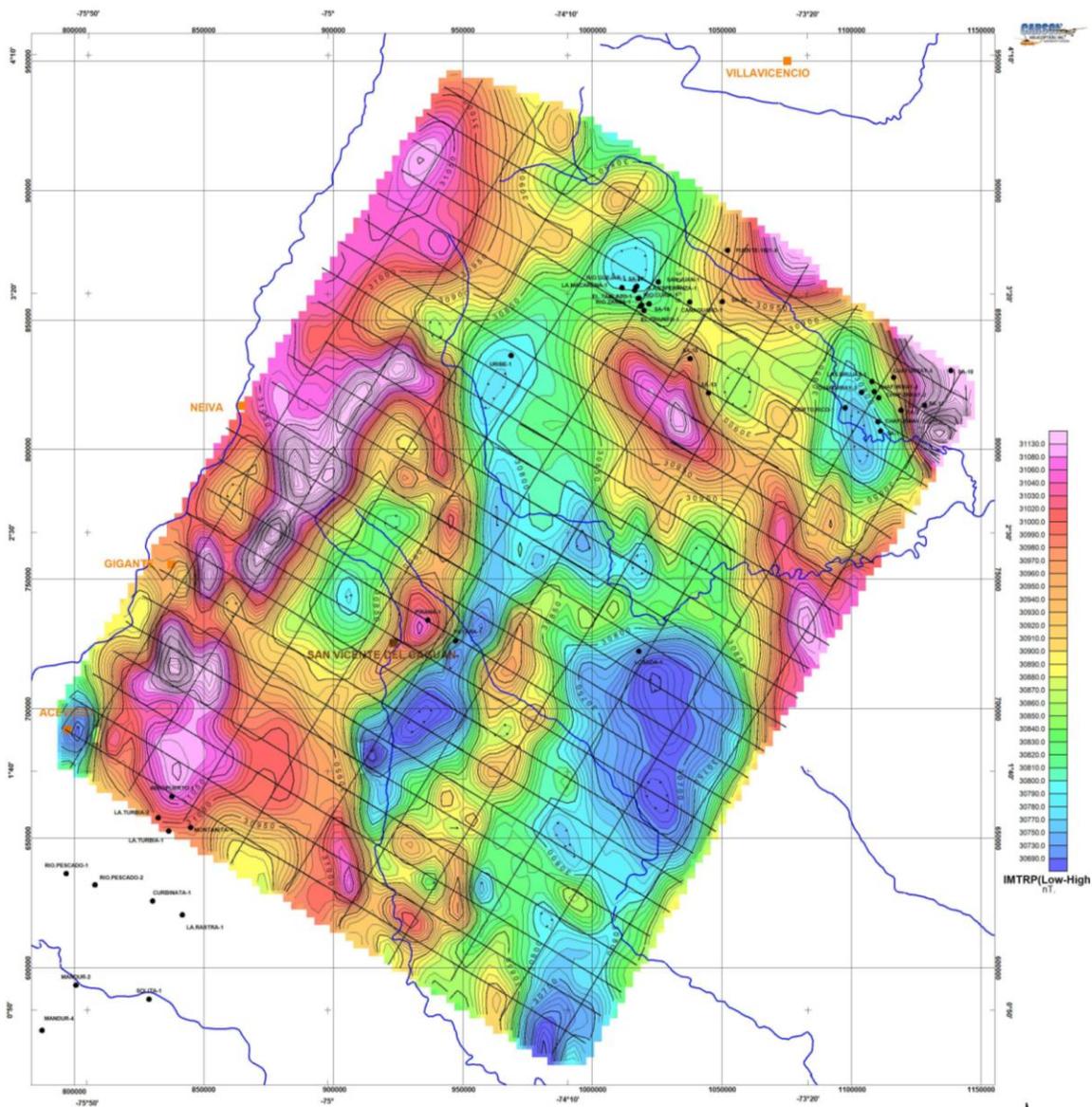


Figura 18. Mapa IMTRP del Caguán. Tomado de Fonade-ANH 2006.

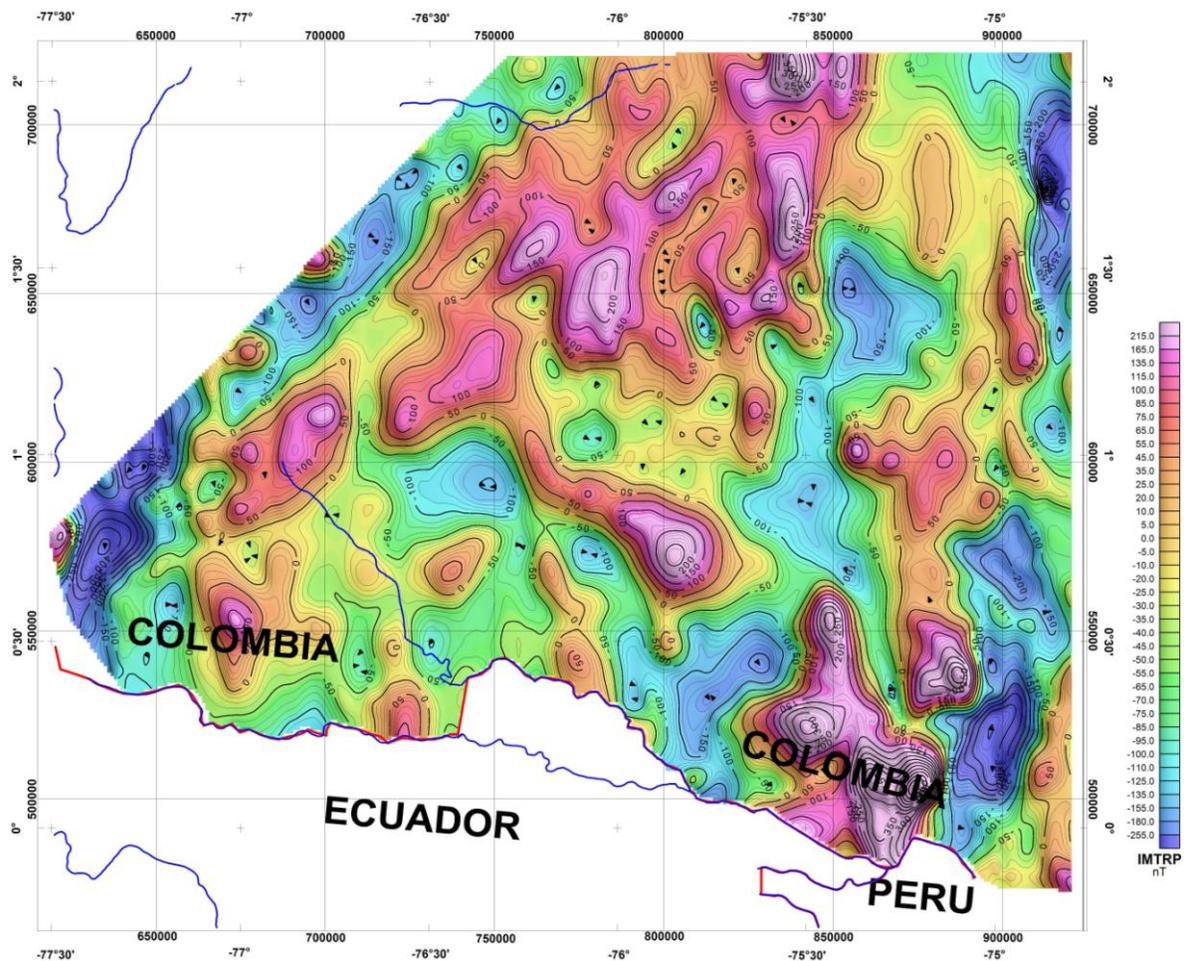


Figura 19. Mapa IMTRP del Putumayo. Tomado de ANH 2009.

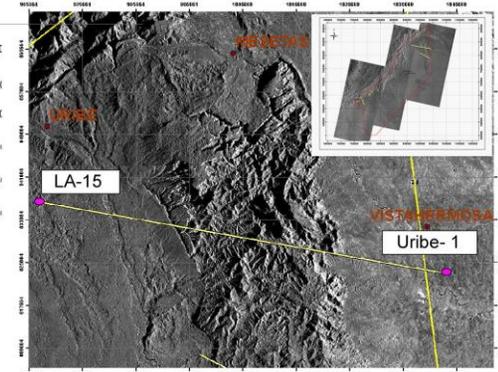
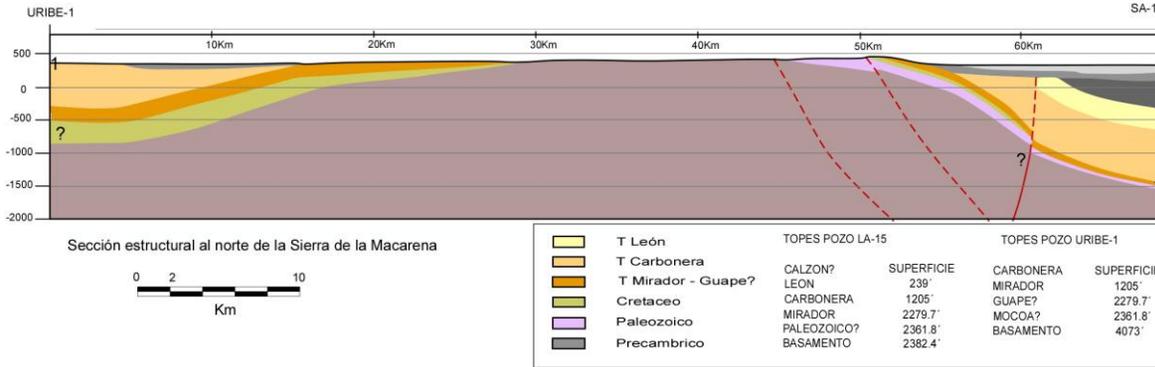


Figura 20. Perfil al norte de la Sierra de la Macarena.

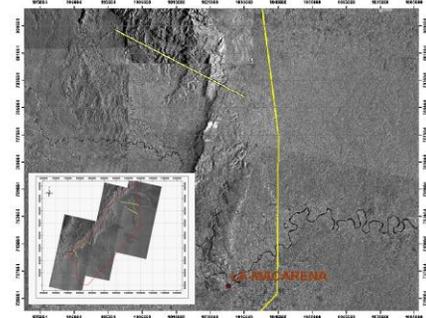
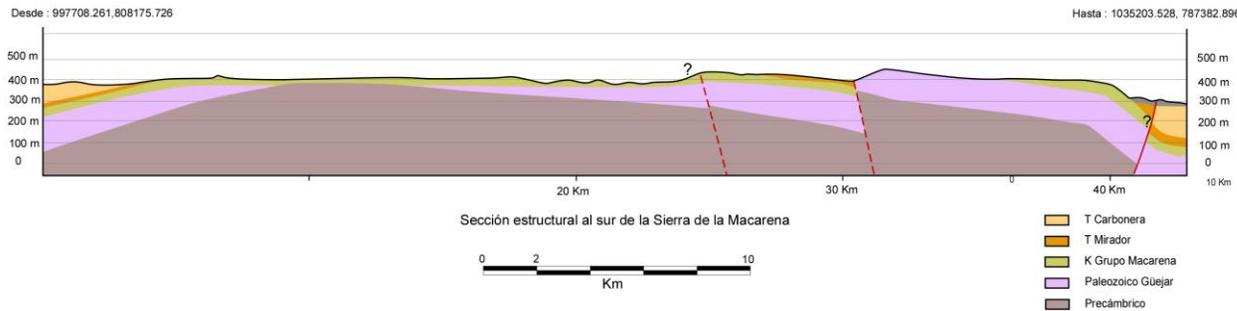
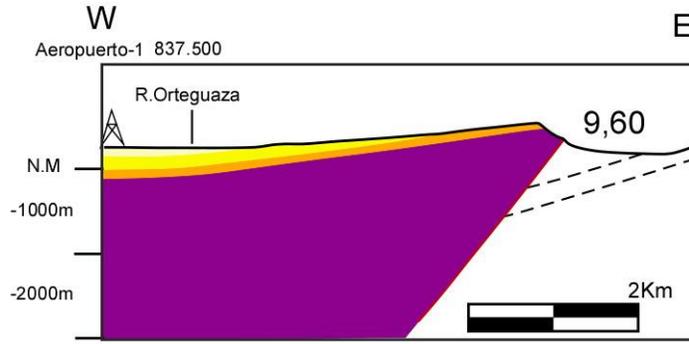


Figura 21. Perfil al sur de la Sierra de la Macarena.



Sección estructural Aeropuerto-1

Espesores Pozo Aeropuerto - 1		
Ortegua - Belén	128 m	Fm. Ortegua
Pepino	135 m	Fm. Pepino
Rumiyaco - Neme	118 m (105 Neme - 11 Rumiyaco)	Fm. Rumiyaco-Neme
Complejo Garzón	TD	Cretácico
		Complejo de Garzón

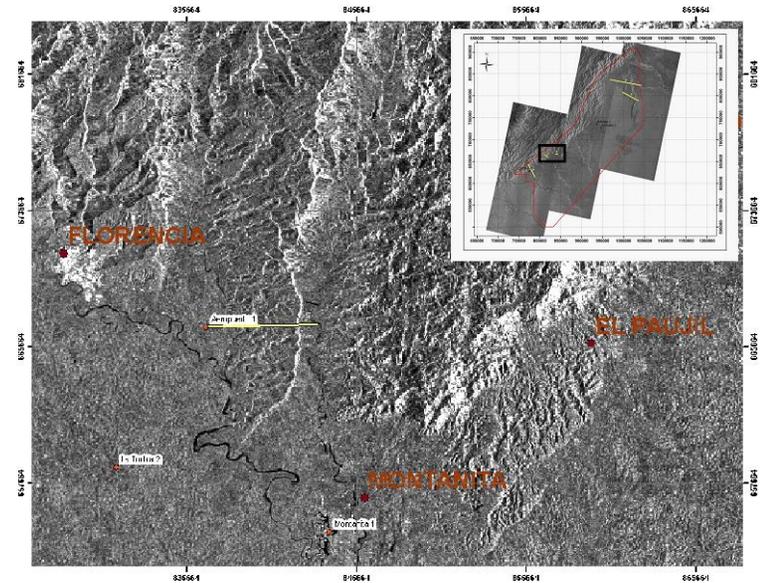


Figura 22. Perfil controlado por el pozo Aeropuerto-1

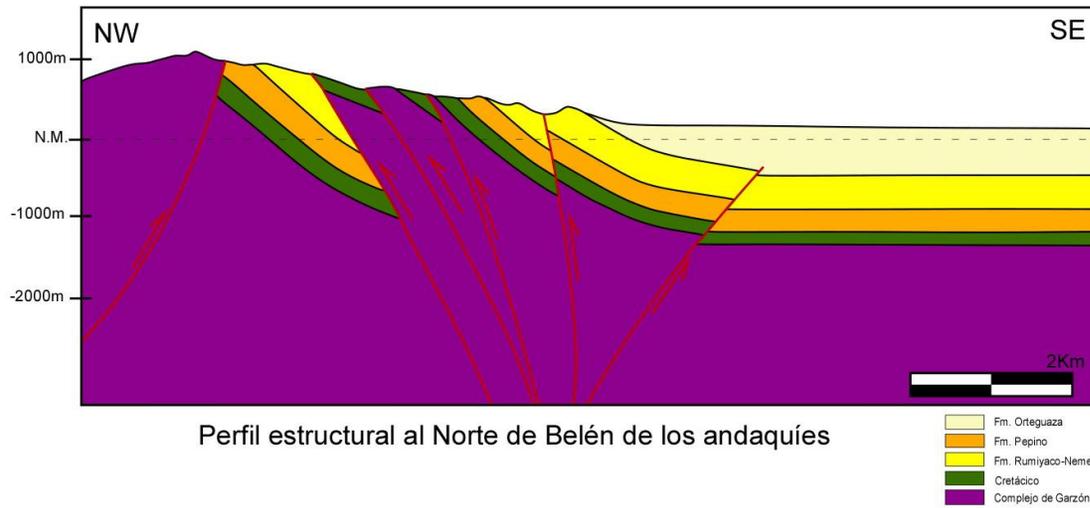
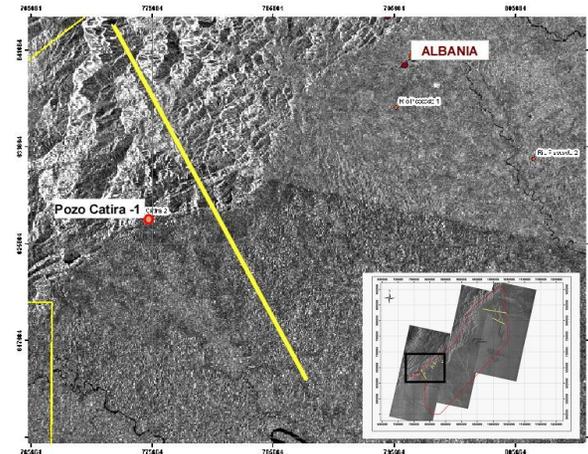
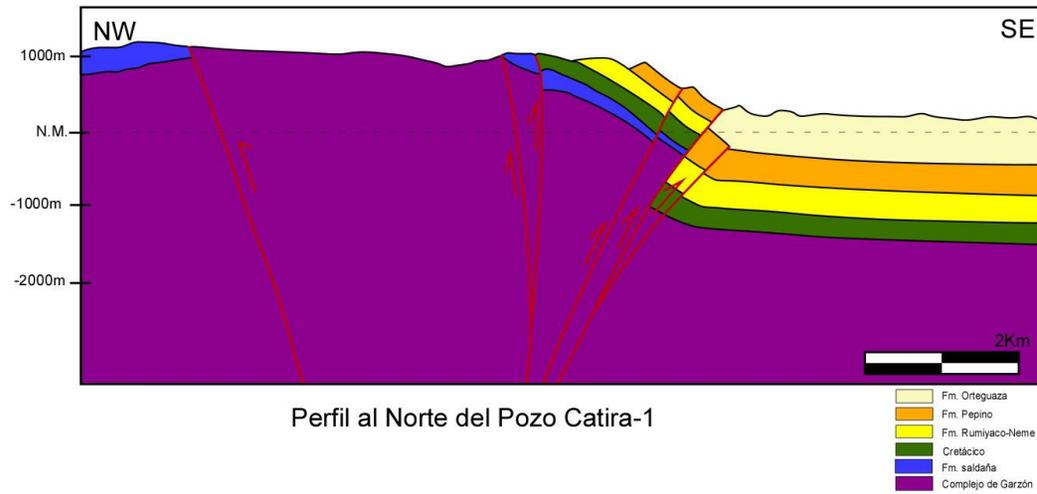


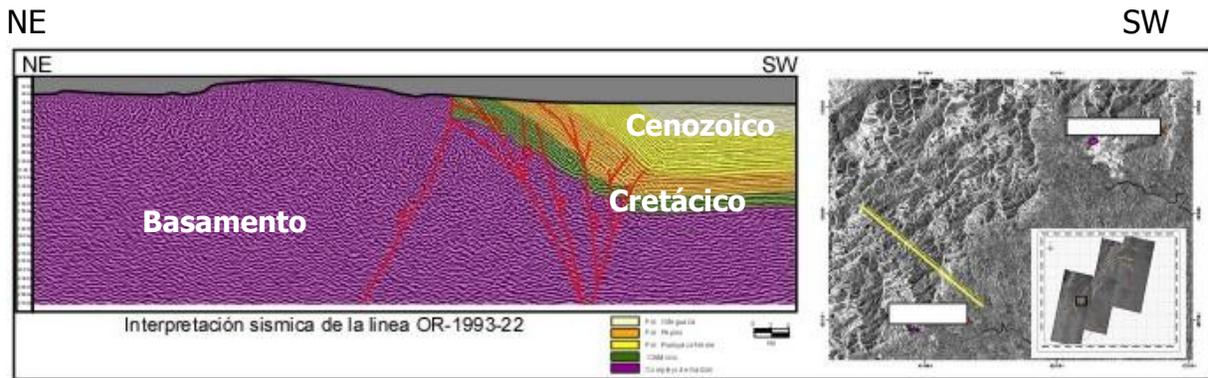
Figura 23. Perfil al norte de Belén de los Andaguíes



**Figura 24. Perfil practicado al norte del pozo Catira-1**

## 4 ÁREAS PROSPECTIVAS

Aunque el propósito fundamental del proyecto fue la generación la cartografía geológica, la interpretación de información geológica y geofísica tanto de subsuelo como de superficie permite formular algunas ideas sobre la prospectividad de la cuenca. Por ejemplo, la línea sísmica OR-1993-22 interpretada e integrada a la cartografía (**Figura 23**), ubicada entre los municipios de Morelia y Florencia, muestra posibilidades de trampas estructurales asociadas al fallamiento ciego de la Falla de Yopal y a estructuras en flor positivas asimétricas que afectan unidades depositadas antes del Oligoceno, se observa desplazamiento de las unidades cretáceas y las Cenozoicas basales. Es importante adquirir y evaluar más sísmica regional en la parte norte de la cuenca para definir mejor los estilos estructurales planteados en la sección anterior en subsuelo y buscar posibilidades en las rocas Cenozoicas y posiblemente paleozoicas presentes en el subsuelo hacia el oriente. Esto se sugiere debido a la importante impregnación visible en las rocas de las planchas 413 y 414 cartografiadas.



**Figura 25. Interpretación de la línea sísmica OR-1993-22**

Considerando los mapas de basamento a partir de gravimetría y los diferentes perfiles, es indudable que los Altos y bajos estructurales de orientación nor-noroccidente que se ha reconocido en Ecuador continúan dentro de territorio Colombiano. Estos bajos estructurales constituyen sub-cuencas, donde muy posiblemente se encuentren unidades Paleozoicas-Jurásicas nunca exploradas. Casi todos los descubrimientos en Ecuador se ubican en el flanco occidental de los altos estructurales, por consiguiente la exploración en Colombia se puede orientar siguiendo la extensión de estos alineamientos ya descritos en la sección anterior. Si los altos de basamento central, forman estructuras de cierre o acuíñamientos en las secuencias cenozoicas suprayacentes, hidrocarburos generados en las unidades cretáceas en la parte occidental profunda de la cuenca y también en la propia Cuenca de Oriente ecuatoriana, que hayan migrado hacia el nor-noreste pueden haberse entrampado en los mismos.

La abundancia de impregnaciones de hidrocarburos, especialmente en los intervalos conglomeráticas de la "Formación Neme" en el sector aledaño a la población de Florencia, confirma la existencia de un sistemas petrolífero activo que conectaría y daría continuidad a una zona productora de hidrocarburos desde el sector de Piraña al norte del Caguán y el sector de Mary- Toroyaco en la cuenca Putumayo.

Uno de los aspectos más relevantes que pueden destacarse de la cartografía geológica en términos de las implicaciones exploratorias, es el hecho de que en el sector intermedio de la cuenca, en la zona de influencia de la población de Florencia, se aprecia claramente en superficie la convergencia entre dos sistemas estructurales de orientación diferente (**Anexo 4**):

- Uno de los sistemas corresponde a fallas con rumbo preferencial Norte-Sur o ligeramente Noreste, como las fallas de las Hermosas y San Pedro. Este sistema de fallas tiene una orientación similar a la que tienen en subsuselo, las fallas que controlan algunas de las acumulaciones del *foreland* de la cuenca Putumayo (campos Quililí, Alea, Loro-Hormiga, San Miguel y los campos gigantes de la cuenca Oriente en Ecuador (Sacha y Chuchufinde).
- El otro sistema tiene una orientación mucho más marcada hacia el nor- este e involucra fallas como la de Florencia, Pajuil y el Doncello. Este sistema tiene una orientación similar a la que tienen en subsuelo, las fallas que controlan los campos más importantes del piedemonte como Orito en Colombia y Bermejo en Ecuador.

La confirmación de estos dos sistemas en superficie, en la parte intermedia de la cuenca permite proponer un área de alto interés exploratorio ubicada en el subsuelo inmediatamente al sur de la población de Florencia. Es en esta zona, donde los dos sistemas pueden estar convergiendo y donde es posible encontrar trampas asociadas a cualquier de los sistemas.

Las secuencias cretáceas son las que tradicionalmente han representado los objetivos exploratorios para hidrocarburos en la cuenca. Los grandes yacimientos de la cuenca están concentrados hacia el Putumayo en las unidades basales arenosas, controlados por estructuras o por variaciones laterales de facies, y en los niveles fracturados de las liditas superiores. Se debe tener en cuenta las posibles acumulaciones sedimentarias paleozoicas descritas en cuencas hacia el oriente, es recomendable perforar pozos estratigráficos y correr programas sísmicos regionales para comprobarlas.

Hacia el norte, el objetivo primario se puede centrar en las unidades del Eoceno y Paleoceno, en las cuales la recarga se ha dado gracias a la generación producida por los *shales* del Turoniano y del Paleoceno, durante el pulso de generación del Mioceno Medio que ha sido documentado por diferentes autores y que no son motivo de este informe.

Estudios detallados del subsuelo integrando métodos geofísicos como la gravimetría y la magnetometría y nuevos programas sísmicos en este sector permitirán la definición de áreas prospectivas y prospectos. En especial es posible reinterpretar en un solo proyecto la información de campos potenciales adquiridos en Caguán 2006 y Putumayo 2009 haciendo inversión 3D a profundidad con horizontes en rocas pre-Paleozoicas para ver mejor la forma de la cuenca integrada.

#### **4.1 ESPESORES**

En este apartado se incluyen los espesores de las unidades tomados en los pozos, espesores estratigráficos tomados en campo reportados por Mora, et. al., 1998, espesores calculados del espesor aparente en superficie por la interpretación satelital y los espesores cartográficos tomados directamente en el trabajo de campo y que son la información básica para la identificación de las unidades.

En la **tabla 5** se presenta un resumen de la profundidad de los topes de las unidades para los pozos estudiados.

Por las diferentes condiciones y aspectos estratigráficos que comprende el área se dividió en los pozos del sector Caguán y sector Putumayo. El cálculo de espesores aparentes de las unidades aflorantes necesarios para la interpretación de la imagen RADARSAT-1 se realizó mediante cálculos aritméticos teniendo en cuenta únicamente los pozos y la escala de la interpretación (1:100.000).

POZO	FORMACIÓN	TOPE SUP. (pies)	ESPESOR (pies)
Aeropuerto - 1	Orteguaza	Superficie	420
	Pepino	420	444
	Rumiyaco	864	36
	Neme	900	343
	Basamento	1243	
El Triunfo	Cretáceo	0 – 271	271
Guamalito - 1	Mirador	Superficie	45
	Kt	45	773
La Turbia - 1	Orito – Belén	Superficie	707
	Orteguaza	707	603
	Pepino	1310	364
	Rumiyaco	1674	40
	Neme	1714	282
	Basamento	1996	
Losada - 1	Plio-Pleistoceno	Superficie	310
	Arrayán	310	670
	Eoceno Tardío	910	750
	Basamento Mtmf.	1660	
Montañita - 1	Orteguaza	Superficie	840
	Pepino	840	185
	Rumiyaco	1025	99
	Neme	1124	196
	Basamento	1320	
Payara - 1	Cuatemario	Superficie	120
	Fm Arrayán	120	2900
	Fm Mirador	2920	805
	Paleozoico Sed	3725	772
	Basamento	4497	
Piraña - 1	Cuatemario	Superficie	100
	Fm Arrayán	100	3275
	Fm Mirador	3200	252
	Basamento	3452	
Río Güejar 1	Mirador	Superficie	100
	Cretáceo	100	440
Río Zanza	Cretáceo	0- 130	
San Juan - 1	Guayabo	Superficie	2900
	León	2900	788
	Carbonera	3688	2492
	Eoceno Sup.	6020	360
	Cretáceo (K2)	6380	455
	Paleozoico (Sed)	6835	
SA - 13	León	1615	995
	Carbonera	2610	2190
	Mirador	4800	162
	Pz Sedimentario	4962	
Uribe - 1	Fm Arrayán	Superficie.?	2200
	Eoceno Mirador	2170	660
	Camp. (Mac.Sup)	2830	50
	Con-Sa. (Mac.Sup)	2880	485
	Cen (Mac Inf- Med)	3365	535
	Alb. (Caballos)	3900	180
	Pz Sedimentario	4080	

Tabla 5. Resumen de la información de pozos

– *Espesores reales*

Las relaciones estratigráficas solo se pudieron verificar en la zona donde se realizó el control de campo. La información promedio de los topes de los pozos y los espesores estimados en campo dan una aproximación al arreglo geométrico de las unidades en el área. Aunque no se toma la nomenclatura estratigráfica local propuesta por Mora, et. al., 1998, los espesores estratigráficos para las unidades formales de la Cuenca Caguán - Putumayo son tomados de ese trabajo (**Tabla 6**). Los pozos que se tienen en cuenta para esta comparación son: Catira-1, Aeropuerto-1 y Montañita-1.

Unidad	Formación	Espesor de Pozo	Espesor estratigráfico (Mora et. al., 1998)	Espesores estimados (en campo)
Oligoceno	Orteguaza	620	-	500*
Eoceno medio superior	Pepino	250	-	300-450
Maaschtrichiano-Paleoceno	Rumiyaco-Neme	356	220	170
Cenomaniano-Santoniano	Caballos y Villeta	192	250	200
Jurásico	Motema/Saldaña	-	-	-

\*En la zona controlada cartográficamente no aflora la unidad suprayacente a la Formación Orteguaza; La Formación Orito-Belén. Esta unidad puede alcanzar los 500m aproximadamente

Tabla 6. Cuadro comparativo de los espesores medidos en levantamiento de columnas (tomado de Mora et. al., 1998).

En la **Tabla 6** se presentan algunas variaciones en el espesor del Cretácico debido a que el espesor estratigráfico de las unidades de Caballos y Villeta se va disminuyendo hacia el norte hasta acunarse con el basamento.

La Unidad informal de Neme tiene diferentes variaciones en cada uno de los espesores estimados porque las características litológicas y las relaciones estratigráficas no están definidas.

– *Espesores cartográficos aparentes*

Los espesores aparentes calculados a partir de la información de pozos son la información preliminar para la interpretación de imágenes satelitales porque dan una aproximación a los contactos y a la expresión morfológica de las unidades. El espesor cartográfico aparente se define como el espesor de la unidad aproximada en la imagen de RADARSAT-1 a escala 1:100.000.

En el sector Putumayo, los pozos analizados y el cálculo de espesores se realizó para las unidades del Cretácico y del Cenozoico (**Tabla 7**).

Pozo	Caiman-7		Bare W1		Putumayo-1		Aeropuerto-1		La Turbia-A		Montañita-1		Belen-1		Promedio		Espesor aparente cm
	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	Pies	m	
Terrazas				-											1300	396,2	4,0
Orito-Belén			1148	350					707	215,5			4503	1372,5	2139,6	552,1	6,5
Orteguaza			328	100	514	156,7	490,0	149,3	675,0	205,7	913,0	278,3	667,0	203,3	576,7	175,8	1,8
Pepino			820	250	1265	385,6	374,0	113,9	292,0	89,0	131,0	39,9	900,0	274,3	697,5	212,6	2,1
Rumiyaco			3215	980	1641	500,2	36,0	10,9	40,0	12,2	80,0	24,4	572,0	174,3	1169,2	356,4	3,6
Villeta	839	255,7	1214	370	991	302,1	343,0	104,5	282,0	86,0	196,0	59,7	238,0	72,5	656,6	192,2	1,9
Caballos			328	100	92	28,0							50,0	15,2	205,0	62,5	0,6

Tabla 7. Cálculo de espesor promedio de las unidades y espesor cartográfico aparente, sector Putumayo.

En el sector Caguán, los pozos analizados y el cálculo de espesores se realizó para las unidades del Cretácico y del Cenozoico (**Tabla 8**).

Pozo Unidad	Losada		Payara		Piraña-1		Uribe-1		Promedio		Espesor aparente cm
	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	Pies	m	
Talanquero	310	94,5	120	36,6	100	30,5			177	53,8	0,5
Serranía	500	152,4							500	152,4	1,5
Arrayan	850	259,1	3020	920,5	3275	998,2	2196	669,3	2335	711,8	7,1
Mirador- Pepino			370	112,8	77	23,5	345	105,2	264	80,5	0,8
Grupo Macarena							513	156,4	513	156,4	1,6
Caballos							1026	312,7	1026	312,7	3,1
Guejar	28	8,5							28	8,5	0,1
Duda									-	-	
Guape									-	-	
Ariari	56	17,1							56	17,1	0,2

Tabla 8. Cálculo de espesor promedio de las unidades y espesor cartográfico aparente, sector Caguán.

## 5 CARTOGRAFÍA DE CAMPO

En esta sección se exponen los resultados del trabajo de campo desarrollado durante 32 días cuyo objetivo fue realizar el control cartográfico a escala 1:50.000 de un área mínima de 650 Km<sup>2</sup> en un sector de la cuenca Caguán-Putumayo que comprendió las planchas 413 y parte de la 414 (**Figura 1**). Como producto de integración de la información se obtuvo un mapa geológico a escala 1:50.000 de un área de 739 Km<sup>2</sup>, el cual se presenta en el **Anexo 4**.

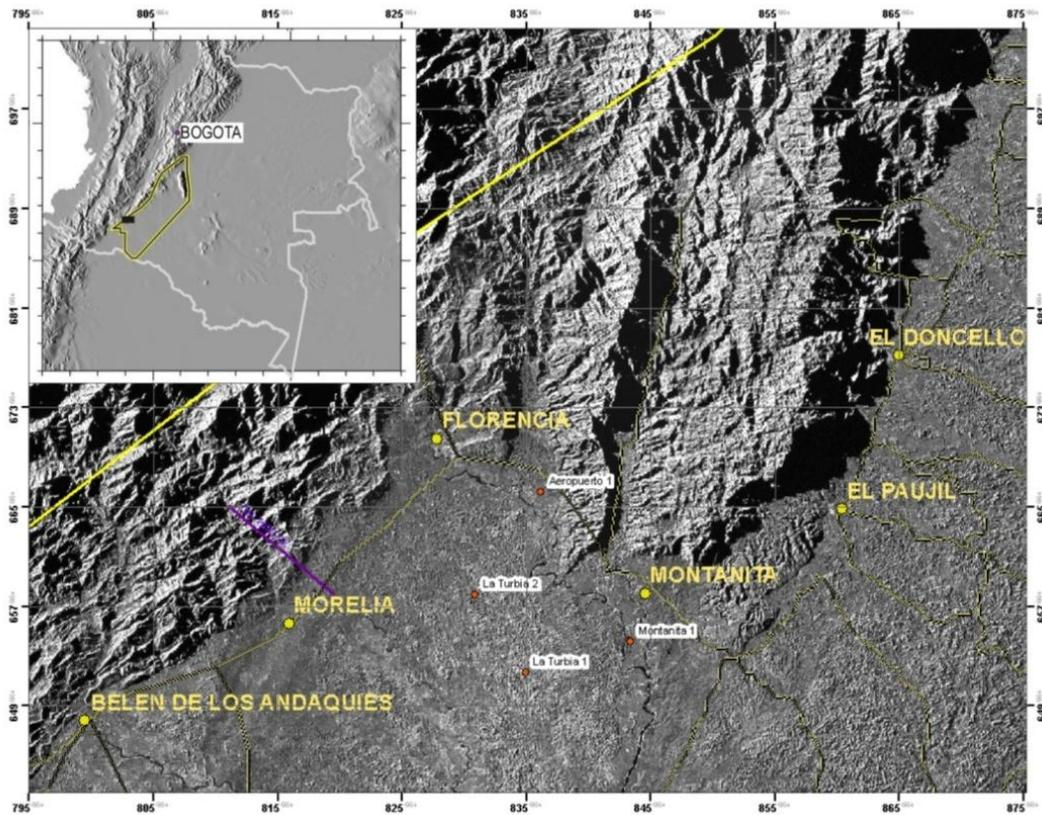
Existe también información pública dentro de la cual se destaca el trabajo de Geoestudios Ltda- Ingeominas, 2000, quienes realizaron la cartografía geológica de la plancha 414 El Doncello, resultados revisados, complementados y publicados por Rodríguez et. al., 2002. De igual manera es de importancia el trabajo de Mora et. al, 1998 quien realizó un estudio estratigráfico de la sucesión del Cretácico- Cenozoico que aflora en los alrededores de Belén de Los Andaquíes y Morelia como trabajo de grado ante la Universidad Nacional de Colombia y publicó de manera sintética los resultados el mismo año en la revista Geología Colombiana, Mora et. al., 1998.

La cartografía geológica desarrollada en esta zona se limita a los trabajos de compañías privadas que han explorado la región para la prospección de hidrocarburos y recientemente para exploración de metales base y preciosos, un ejemplo de tales compañías es Anglo Gold Ashanti.

Algunos de los resultados del control cartográfico desarrollado para este proyecto muestran diferencias con los trabajos de estos autores. Principalmente en cuanto al modelo estructural de la zona y en el reconocimiento de nuevas unidades estratigráficas no identificadas a una escala más regional (1:100.000). Así mismo se identifican localidades para el levantamiento de columnas estratigráficas detalladas cuya información, complementada con la ya existente, ayudaría a tener un mejor conocimiento geológico del área. La información de las bases de datos de estaciones, listado de muestras, fotografías y mapa geológico de campo se presentan en los **Anexos 4. Mapa geológico del área con control de campo**

## 5.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESO

La zona cartografiada tiene un área 739 Km<sup>2</sup> y está localizada en el departamento de Caquetá en jurisdicción de los municipios de Paujil, Montañita, Florencia, Morelia y Belén de Los Andaquíes (**Figura 26**). Se tiene acceso al área desde Florencia a través de las vías que comunican esta ciudad; al norte con San Vicente del Caguán y al sur con Belén de Los Andaquíes (vía hacia Mocoa). El ingreso hacia las transectas de control cartográfico se hizo a través de las carreteras principales (Florencia-San Vicente, Florencia-Belén de Los Andaquíes), vías hacia las fincas y veredas de la región.



**Figura 26. Localización del área controlada cartográficamente. Se ilustra su ubicación dentro del polígono mayor de cartografía con imágenes de sensores remotos.**

## **5.2 UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE LOS ALREDEDORES DE FLORENCIA**

En este trabajo se utilizó la nomenclatura estratigráfica introducida por Miley & McGirk, 1948, en Nuñez, 2003), para el área con control cartográfico, que fue ampliamente adoptada por las compañías petroleras y que en la actualidad fue acogida por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (**Figura 27**). Corresponde a las unidades litoestratigráficas definidas para la Cuenca del Putumayo cuya prolongación se extiende al norte del área de estudio; hacia Florencia y el Caguán y las cuales tienen también continuidad al sur (Nuñez, 2003; Rodríguez et. al., 2002). Estas unidades han sido correlacionadas con las de la Cuenca de Oriente (Napo) del Ecuador (Cáceres & Teatín, 1985).

El basamento económico en el área de estudio está compuesto por rocas de alto grado de metamorfismo del Complejo Garzón. En la parte norte de la zona (Florencia, Montañita, Paujil), reposan inconformemente sobre estas rocas sedimentos del Cenozoico de la "Formación Neme", hasta los alrededores de Florencia. A partir de este sitio (Quebrada La Arenosa) hasta el Sur (Morelia y Belén de Los Andaquíes), yacen discordantemente sobre las rocas del Complejo Garzón las cuarzoarenitas de la Formación Caballos. En la zona revisada cartográficamente no se observó registro del Paleozoico y Jurásico, como lo reportan algunos autores más al sur del área de estudio en las localidades de Mocoa, Orito y Churuyaco (Nuñez, 2003).

Se diferencian en el área de trabajo, seis unidades cartográficas con espesores aptos para ser cartografiadas a escala 1:50.000: El Complejo Garzón, las formaciones Caballos y Villeta, "Formación Neme", Formación Pepino, Formación Orteguaza y los depósitos aluviales del Cuaternario. Es necesario acotar que en el mapa geológico verificado en campo a escala 1:50.000 anexo a este informe las formaciones Caballos y Villeta se han agrupado debido a su espesor promedio menor que 180 metros que a esta escala serían representadas con solo 4 mm.

### **5.2.1 Complejo Garzón (NPg)**

El Complejo Garzón fue definido por Rodríguez et. al., (2002), para reemplazar el término Grupo Garzón empleado por Ingeominas & Geoestudios (2000) y el cual junto con el Neis de Guapotón- Mancagua, conforman el Macizo Metamórfico de Garzón.

Esta unidad en la zona de trabajo conforma la parte alta del piedemonte y se caracteriza por definir una morfología escarpada de fuertes pendientes. Está constituida por rocas de alto grado de metamorfismo del Proterozoico, localmente intruidas por cuerpos de poca extensión superficial y composición granítica a diorítica probablemente de edad jurásica.

Son en su mayoría migmatitas, en menor proporción neises, anfibolitas y rocas ultramáficas (?). Las migmatitas en la mayoría de casos presentan una mezcla de la roca original y la roca fundida (mesosoma), aunque localmente se observan dos partes bien definidas; el paleosoma (roca parental) que consiste de neises y anfibolitas y el neosoma (parte nueva) de composición generalmente sienítico con cristales de tamaño medio, localmente grueso a pegmatítico. El neosoma en la mayoría de casos se presenta como un agregado compuesto en su mayor parte de feldespato potásico (leucosoma), muy localmente con bandas de minerales máficos (melanosoma). Los dos componentes diferenciables localmente en las migmatitas (paleosoma y neosoma) se encuentran dispuestos de diversas formas originando variedad de estructuras migmatíticas, dentro de las cuales predominan; estromática, flevítica, plegada, ptygmática y augen (**Figura 28**).

Los contactos entre paleosoma y neosoma son en general difusos con una mezcla entre los dos materiales, aunque localmente se diferencian muy bien los dos componentes siendo el contacto neto y bien definido (**Figura 28**).

El Complejo Garzón conforma el basamento de la sucesión expuesta en el área de trabajo y constituye la unidad de mayor distribución superficial en la zona. Se encuentra subyaciendo discordantemente a las unidades sedimentarias de la zona o en contacto fallado con éstas (Falla de Florencia, Falla de Las Herosas, Falla de San Pedro, entre otras). Hacia la parte nororiental el área cartografiada, conforma el núcleo del Anticlinal de Montañita, en la suroccidental (proximidades de Morelia) se encuentra conformando el núcleo de pliegues menores con vergencia al noroccidente.

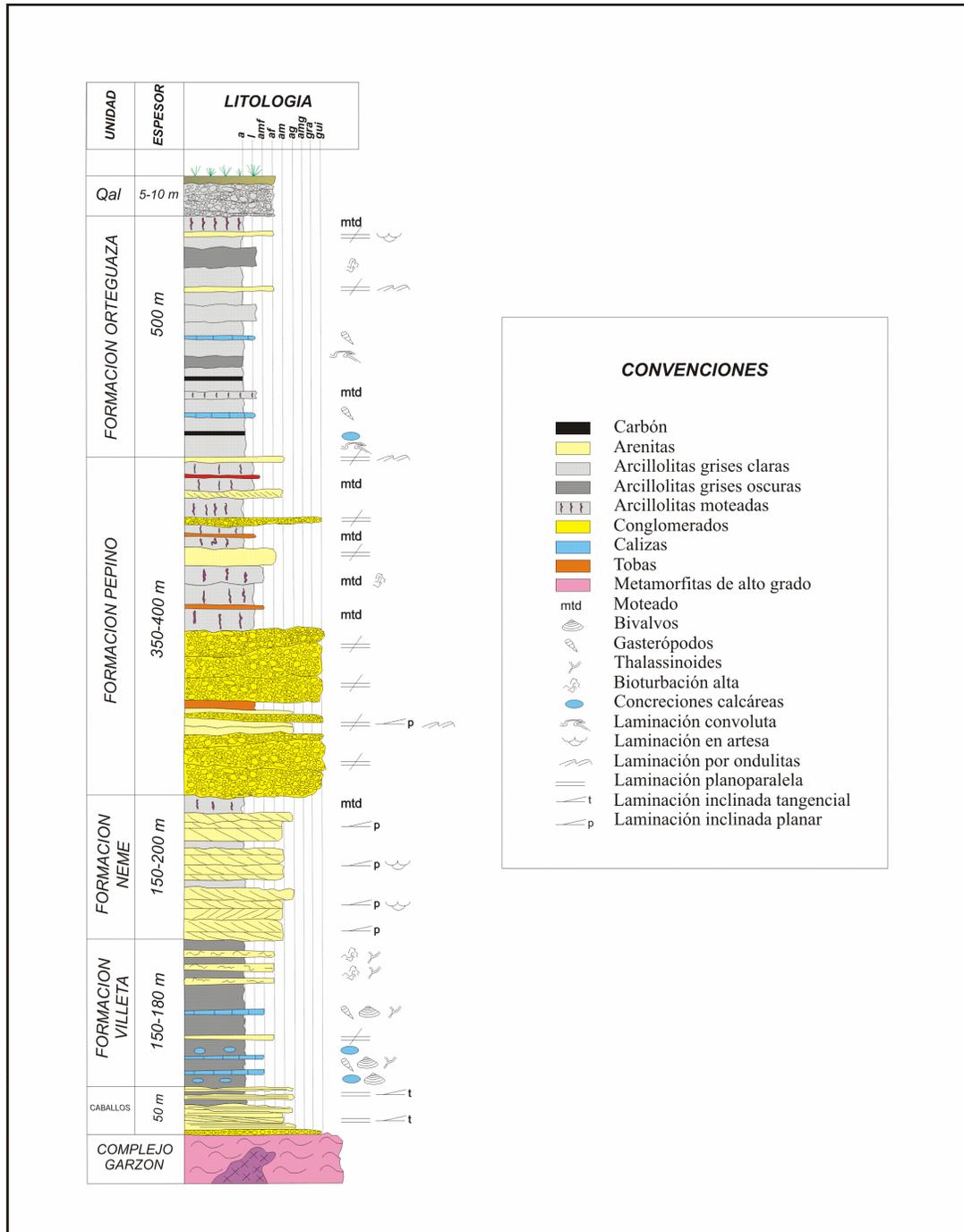


Figura 27. Columna estratigráfica esquemática del área de estudio. Fuente: Este informe.



**Figura 28. A. Migmatitas con estructura estromática; el neosoma de coloración rosada (feldespático) se dispone como bandas alargadas paralelas a la foliación. B. Aunque en la mayoría de casos el contacto entre paleosoma y neosoma es difuso por mezcla de materiales; en este, se observa un contacto neto bien definido.**



**Figura 29. A. Migmatitas con estructura plegada. B. Detalle de la anterior.**

El Complejo de Garzón se encuentra cubierta discordantemente al norte y al oriente en los alrededores de Florencia, por la "Formación Neme", inconformidad de carácter regional que se prolonga al norte hasta el área de San Vicente del Caguán (Rodríguez, et. al., 2002). Al Sur del área de estudio reposan las arenitas de La Formación Caballos inconformemente sobre el Complejo Garzón (Quebrada Aguas Calientes y Río Bodoquero), discordancia, regional también, que se prolonga al sur hasta la región del Putumayo (Nuñez, 2003).

### 5.2.2 Formaciones Caballos y Villeta (K<sub>1</sub>-K<sub>2</sub>cv)

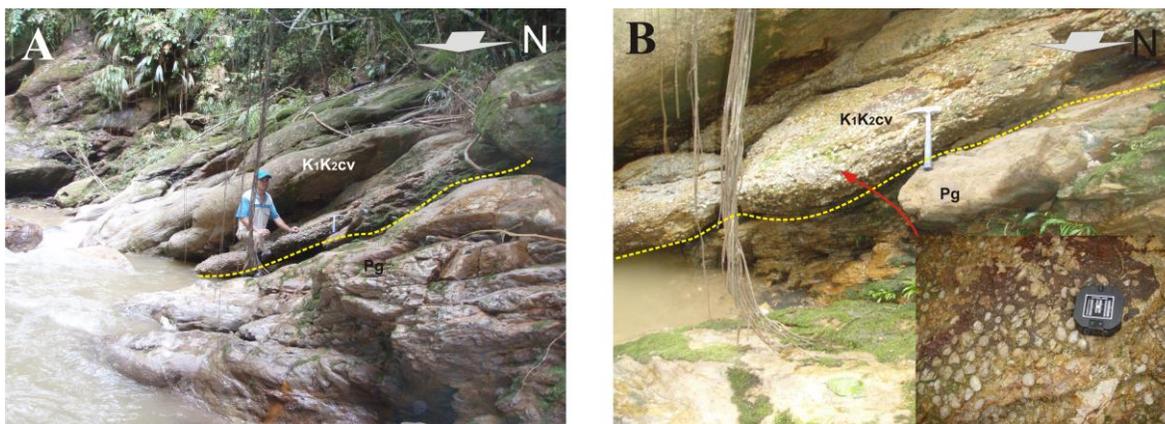
Se agrupan las formaciones Caballos y Villeta en una sola unidad cartográfica debido a que sus reducidos espesores dificultan la diferenciación cartográfica a esta escala de trabajo (1:50.000). El término Formación Caballos, parte inferior de esta unidad cartográfica, fue introducido en el área por Miley & McGirk, 1948 en: Nuñez, 2003, nombre derivado del Cerro Caballos, cerca de la localidad de Ortega (Tolima), en el Valle Superior del Magdalena y el cual fue propuesto por McArthur, 1938; en Nuñez, 2003. Varios autores (Mora et. al., 1998; Nuñez, 2003) recomiendan no emplear este nombre para el área del Putumayo ya que no se tienen criterios suficientes para extenderlo desde el Valle Superior del Magdalena hasta esta zona. Sin embargo, se usa el nombre Formación Caballos en el presente trabajo considerando que constituye un término tradicionalmente empleado en la literatura geológica del área.

Se encuentra esta unidad cartográfica distribuida al nororiente del Municipio de Morelia en forma de delgadas franjas con rumbo aproximado N50E. La exposición en el área de trabajo está restringida al área de Morelia, estando ausente al Norte (Florencia, Paujil y Montañita); su primera ocurrencia (al Norte) se presenta en la sección de la Quebrada La Arenosa y tiene continuidad al Sur hasta la región del Putumayo (Nuñez, 2003).

La Formación Caballos, define una morfología de suaves pendientes estructurales características que permiten diferenciarla del Complejo Garzón y Formación Villeta, unidades infrayacente y suprayacente respectivamente (**Figura 30**). Está compuesta por un conjunto de cuarzoarenitas blancas de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas estratificadas en capas medias a gruesas cuneiformes y subtabulares con contactos ondulados, laminación planoparalela fina e inclinada tangencial. Se interponen algunas capas delgadas a medias de arcillolitas negras carbonosas y conjuntos medianos de láminas finas a gruesas de arenita y arcillolita negra. Tiene un espesor de 50 m, cubre discordantemente las metamorfitas del Complejo Garzón y subyace en contacto neto abrupto a las arcillolitas de la Formación Villeta. Localmente (Quebrada La arenosa, al Sur de Florencia) esta unidad está cubierta directamente por la "Formación Neme" evidenciando la ausencia de la Formación Villeta en este sector (**Figura 43**). En la sección de la Quebrada Aguas Calientes (estación AP063) la Formación Caballos inicia con una capa gruesa (0,4 m) de conglomerado matriz-soportado de guijos subredondeados de cuarzo blanco (100%), el cual reposa directamente sobre neises del Complejo Garzón. El contacto es plano, ligeramente ondulado con orientación similar a la de los estratos de la Formación Caballos (**Figura 31**).



**Figura 30. Contacto discordante de la Formación Caballos y el Complejo Garzón. Se observa la morfología de pendientes estructurales bien definidas características de la Formación Caballos.**

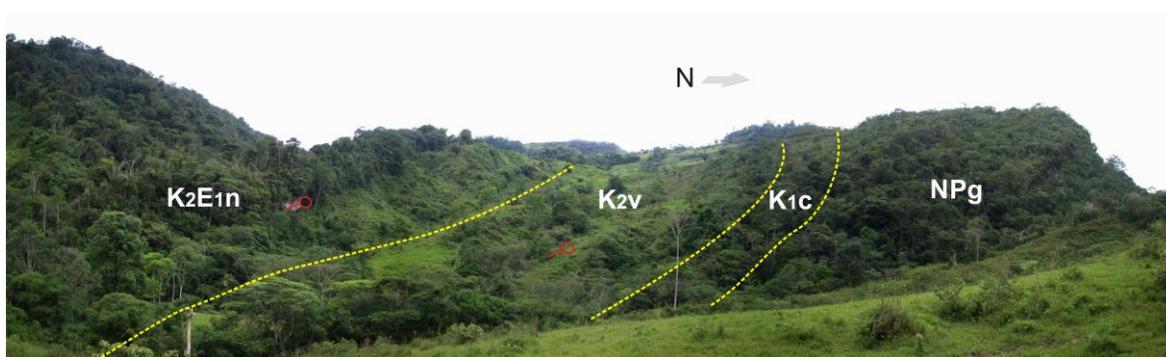


**Figura 31. A. Cuarzoarenitas de la Formación Caballos cubriendo inconformemente neises del Complejo Garzón. B. La unidad inicia con una capa gruesa (0,4 m) de conglomerado matriz-soportado de guijos subredondeados de cuarzo blanco.**

El nombre Formación Villeta, introducido en la Cuenca del Putumayo por Miley & McGirk, 1948 en Nuñez, 2003, se adopta en este trabajo para describir el conjunto de predominio arcilloso que yace entre las formaciones Caballos y Neme. Al igual que en el caso de la Formación Caballos, a pesar de su utilización no recomendable (localidad tipo en la Cordillera Oriental), se emplea este nombre debido a que constituye un término tradicionalmente empleado en la literatura geológica y por ser aplicado y reconocido por la industria petrolera en el área.

La Formación Villeta en el área de estudio cubre en contacto neto y abrupto las cuarzoarenitas de la Formación Caballos (**Figura 33A**) y es suprayacida en contacto neto transicional por las cuarzoarenitas de la "Formación Neme". Tiene un espesor de 150 a 180 m y define una morfología suave, característica entre dos paquetes arenosos conspicuos: las formaciones Caballos y "Neme". Consiste en un conjunto de arcillolitas

negras fisiles (*shales*) con moldes de bivalvos, interposiciones aisladas de capas delgadas lenticulares de limolitas silíceas con cemento siderítico, concreciones micríticas ovoides y hacia la parte media de la unidad, capas medias cuneiformes de biomicritas *wackestone* compuestas de bioclastos (fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos) con *thalassinoides* hacia la base de las capas (**Figura 33B**). La parte superior de la unidad se caracteriza por la interposición de paquetes de arcillolitas grises oscuras con capas gruesas de cuarzoarenitas y subarcosas de grano medio a fino intensamente bioturbadas, localmente con láminas gruesas lenticulares de carbón y *thalassinoides* hacia la base de las capas.



**Figura 32. Vista panorámica de las unidades del Cretácico (Quebrada Aguas Calientes), discordantes sobre el Complejo Garzón y cubiertas por la "Formación Neme". Se observa la morfología suave característica de la Formación Villeta entre las unidades arenosas; las Formaciones Caballos y "Neme".**



**Figura 33 A. Contacto entre las formaciones Caballos y Villeta, ubicado en el techo del último paquete de cuarzoarenitas (Quebrada Aguas Calientes). B. Arcillolitas negras con interposición de capas medias de biomicritas *wackestones* compuestas de fragmentos de conchas de bivalvos (Quebrada Aguas Calientes).**

### 5.2.3 "Formación Neme" (K<sub>2</sub>-E<sub>1n</sub>)

Esta unidad fue introducida en la nomenclatura estratigráfica del Putumayo por Miley & McGirk, 1948; en Cáceres & Teatín, 1985) como Miembro El Neme, el cual corresponde a la variación lateral de las arcillolitas varicoloreadas de la Formación Rumiaco a facies arenosas (Cáceres & Teatín, 1985). En este trabajo se utiliza informalmente el nombre "Formación Neme" con el objeto de diferenciar la unidad de cuarzoarenitas que yace entre la formaciones Villeta y Pepino y que corresponde en posición estratigráfica a la Formación Rumiaco de la Cuenca del Putumayo.

La "Formación Neme" se encuentra en toda el área de estudio, teniendo mayor distribución superficial hacia la parte Norte, en inmediaciones de Florencia. Tiene un espesor promedio de 170 m y cubre discordantemente al Complejo Garzón en la parte norte del área de estudio (**Figura 34**) y a las Formaciones Villeta, al sur en Morelia y Belén de Los Andaquíes (**Figura 32**) y Caballos en la Quebrada La Arenosa.

Está constituida por cuarzoarenitas blancas de grano medio a grueso, subangulares, bien seleccionadas con muy buena porosidad, localmente conglomeráticas (gránulos, eventualmente guijos) en capas muy gruesas subtabulares con sets medianos a gruesos de laminación inclinada (alto a bajo ángulo), tangencial y localmente sets lenticulares con laminación inclinada en artesa (**Figura 26**). Localmente se encuentran interpuestos potentes niveles (1-3 m) de tobas de ceniza/polvo? macizas de color gris claro, superficialmente amarillo ocre muy compactas y livianas.

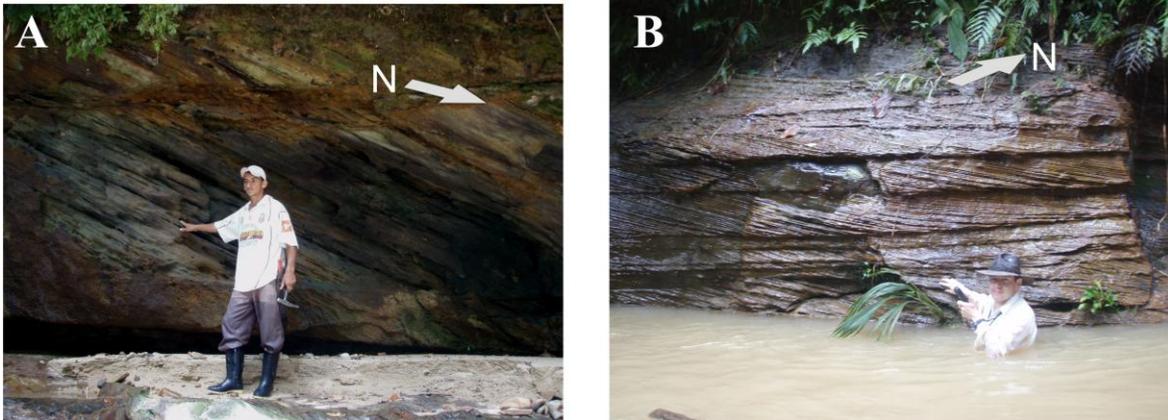


**Figura 34B. Arenitas de la "Formación Neme" impregnadas de hidrocarburo cubriendo inconformemente migmatitas del Complejo Garzón. B. Detalle de la anterior.**

La "Formación Neme" inicia con una capa media cuneiforme de conglomerado matriz-soportado de guijos angulares a subangulares de cuarzo blanco.

La unidad se observa intensamente impregnada siendo más común hacia la parte norte, en inmediaciones de Florencia, donde no se presentan las unidades cretácicas y reposa inconformemente esta unidad sobre el basamento. En estas localidades, la roca adopta

una coloración negra debido a la impregnación de hidrocarburo pesado. Asociados a esta unidad se presentan en el área varios yacimientos de Neme que han sido explotados para el mantenimiento de las vías principales. Hacia la región de Belén y Morelia, la "Formación Neme" se encuentra por sectores impregnada de hidrocarburos y adopta una coloración blanco amarillenta debido a su composición cuarzosa.



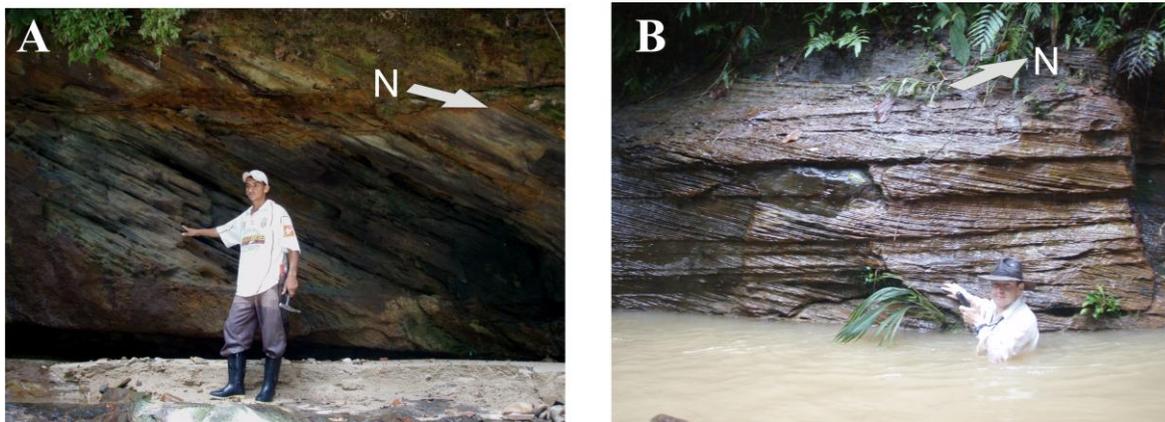
**Figura 35. A. La "Formación Neme" se caracteriza por presentar sets bien definidos de laminación inclinada, en este caso muy gruesos con laminación inclinada planar de bajo ángulo (310/24). B. Más comunes en la unidad son los sets medianos (0,1-0,3 m) subtabulares con laminación inclinada de bajo ángulo, localmente tangencial.**

Hacia el techo de la unidad se presenta un paquete de 50 m aproximadamente de arcillolitas y limolitas moteadas y abigarradas, ocasionalmente con interposición de algunos paquetes de arenitas (**Figura 35**). Este intervalo se encuentra cubierto discordantemente por las arenitas y conglomerados de la Formación Pepino. Lateralmente estas arcillolitas hacia el sector norte del área de trabajo (Corregimiento de Maracaibo), experimentan un incremento en el contenido de material clástico convirtiéndose en *wacas* con interposición de litoarenitas de grano fino (**Figura 36B**). Este intervalo al parecer se acuña más al nororiente, debido a que en el sector del Anticlinal de Montañita, no se presenta y se observan las arenitas de la "Formación Neme" cubiertas directamente por los conglomerados de la Formación Pepino.



**Figura 36.** La parte superior de la “Formación Neme” consiste en un intervalo arcilloso de unos 50 m el cual es cubierto discordantemente por los conglomerados y arenitas de la Formación Pepino. **A.** paquete de 50 m de arcillolitas grises claras moteadas de rojo que conforman el techo de la unidad (Quebrada La Arenosa). **B.** Intervalo de *wacas* grises claras (no moteadas) con interposición de litoarenitas de grano fino hacia la parte superior del conjunto (Quebrada El Salado).

En el sector del Anticlinal de Montañita, la “Formación Neme” muestra también un incremento en la presencia de intervalos conglomeráticos, al igual que un aumento en el tamaño de los clastos. Se observan potentes niveles de (5 m) de conglomerados matriz-soportados (**Figura 37**) (localmente clastosoportados) interpuestos con arenitas de grano grueso conglomeráticas (guijos). De igual forma en esta zona, se observan aisladas interposiciones de capas delgadas a gruesas de limolitas, arcillolitas y arenitas grises claras de grano fino con matriz arcillosa. Es muy frecuente la presencia de fragmentos de estos niveles blandos dentro de las arenitas conglomeráticas y conglomerados, muy evidentes en la roca impregnada debido a su carácter impermeable.



**Figura 37. A. Potentes niveles conglomeráticos presentes en la "Formación Neme" en el sector del Anticlinal de Montañita (Quebrada Las Delicias). B. Son conglomerados matriz-soportados de guijos subangulares de cuarzo blanco, con matriz arenosa impregnada de hidrocarburo pesado.**

#### 5.2.4 Formación Pepino (E<sub>2p</sub>)

La Formación Pepino fue definida por Saville, 1943, en; Miley & McGirk, 1948; en Rodríguez, et. al, 2002, cerca de la Inspección de policía de Pepino en el Municipio de Mocoa. En este trabajo se emplea el nombre para describir un intervalo de conglomerados, arenitas y arcillolitas moteadas que yace entre las Formaciones Neme y Orteguzza.

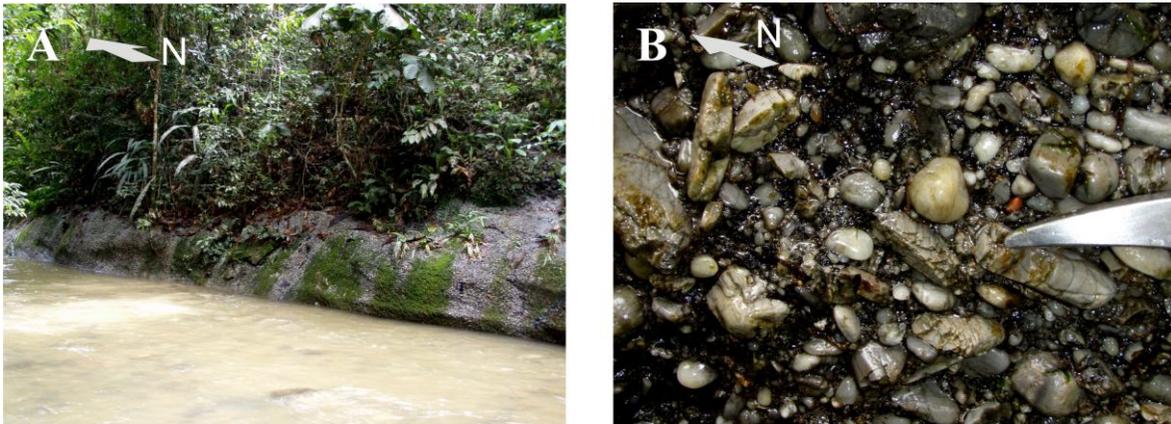
En el área de estudio la Formación Pepino después del Complejo Garzón es la unidad de mayor extensión superficial en la zona de estudio. Al norte en inmediaciones de Florencia, Montañita y Paujil, define los primeros filos del frente montañoso, tanto en contacto fallado (Falla de Paujil) como discordante con la Formación Orteguzza (sinclinales de San Pedro y Maracaibo). En sectores aledaños a Florencia, se caracteriza por definir un paisaje estructural de suaves pendientes que buzcan al sur, con fuertes contrapendientes. Las pendientes finalizan en el contacto discordante con la Formación Orteguzza, la cual define una morfología suave localmente cubierta por los depósitos aluviales del Río Hacha. En el sector suroccidental de Florencia, Morelia y Belén de los Andaquíes la Formación Pepino, conforma los primeros cerros del Piedemonte. El techo de la Formación Pepino, en contacto discordante con la Formación Orteguzza, define pendientes estructurales que buzcan entre 30 a 40 grados, las cuales hacia la parte más sur del área de trabajo, quebradas La Chocho y La Salada, se encuentran en contacto con depósitos aluviales del Cuaternario (**Anexo 3**).

La Formación Pepino tiene un espesor que oscila entre 350 y 400 m, suprayace e infrayace discordantemente a las Formaciones Neme y Orteguzza respectivamente. El contacto con la Formación Orteguzza es definido en la terminación del frente montañoso y

el ingreso a la planicie ondulada definida por las arcillolitas de la Formación Orteguzza, zona en la cual se presentan las áreas urbanas de los municipios y la carretera principal San Vicente-Florencia-Mocoa.

Esta unidad presenta cubiertos en amplios intervalos de las diferentes traversas de control cartográfico realizadas en el área, razón por la cual es muy difícil identificar los tres segmentos en que ha sido dividida la formación en otras zonas. Aunque es claro que la parte inferior de la unidad se caracteriza por el predominio de un conjunto constituido de conglomerados y arenitas y el superior de limolitas y arcillolitas moteadas, arenitas, conglomerados y tobas.

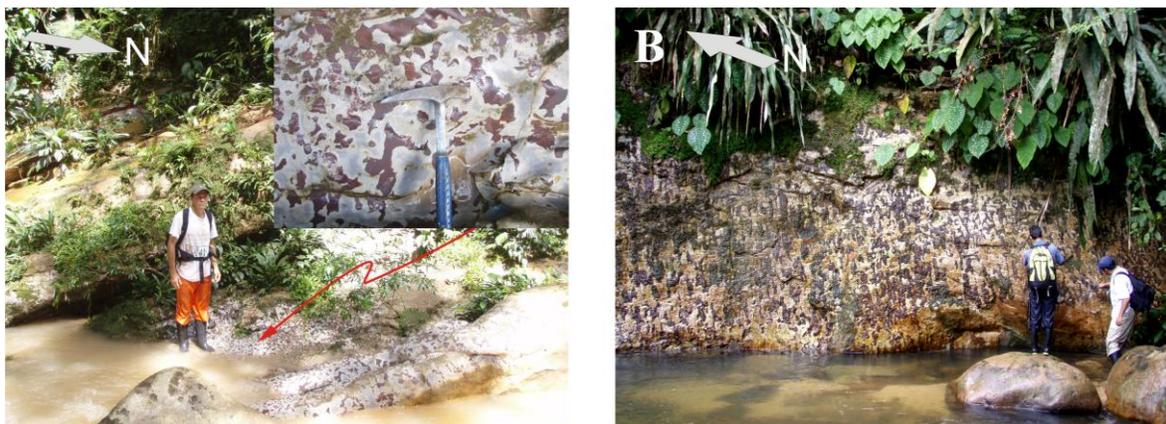
La parte inferior de la unidad con un espesor de 180 a 200 m consiste en un conjunto de capas muy gruesas de conglomerados macizos, localmente con laminación inclinada, clasto-soportados de guijos subredondeados de chert gris claro y negro y limolitas silíceas (subordinadamente cuarzo blanco), por sectores con cierta imbricación (**Figura 38**). Las capas de conglomerados se interponen con paquetes de capas gruesas a muy gruesas de litoarenitas, sublitoarenitas (eventualmente cuarzoarenitas) de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas y *wacas* tobáceas macizas de color gris claro.



**Figura 38. B. Parte Inferior de la Formación Pepino. Capa muy gruesa de conglomerado clasto-soportado de guijos con laminación inclinada planar de alto ángulo. B. Detalle de la anterior. Los clastos son tamaño guijo subredondeados compuestos en su gran mayoría de chert (70%) y en menor proporción de cuarzo (30%). La matriz es tamaño arena y está impregnada de hidrocarburo pesado**

La parte superior de la Formación Pepino está compuesta predominantemente de capas gruesas (3-5 m) de arcillolitas, limolitas, arenitas de grano muy fino con matriz arcillosa grises claras, moteadas de color vino tinto. El moteado se presenta tanto en parches irregulares (**Figura 39A**) como en bandas normales a las superficies de estratificación (**Figura 39B**). Se interponen con estos paquetes, capas gruesas de arenitas (cuarzoarenitas y sublitoarenitas) de grano fino a medio, conglomerados clasto-soportados

macizos de guijos, y capas muy gruesas de tobas de ceniza/polvo macizas grises claras, superficialmente de color amarillo ocre, muy abundantes por sectores (sección de la Quebrada Atenas, corregimiento San Antonio de Atenas).



**Figura 39. Parte superior de la Formación Pepino. A. Intervalo de arenitas de grano muy fino con matriz arcillosa grises claras moteadas, le suprayace una capa muy gruesa de sublitoarenita de grano medio. El moteado se presenta en forma de parches irregulares de color vino tinto. B. Arenitas de grano muy fino con matriz arcillosa, grises claras con moteado en forma de bandas normales a la estratificación de color vino tinto.**

### 5.2.5 Formación Orteguzaza (E<sub>2</sub>-E<sub>30</sub>)

La Formación Orteguzaza es la más antigua de las dos unidades en que se dividió el Grupo Orito; las Formaciones Orteguzaza y Orito-Belén. El Grupo Orito fue definido por Miley & McGirk, 1948; en: Cáceres & Teatín, 1985, al norte y oriente de la población de Orito, el cual cubre la mayor parte de la Llanura Amazónica (Rodríguez, et. al., 2002).

Esta unidad está restringida hacia la parte baja de la zona, definiendo un paisaje de colinas redondeadas, el cual se prolonga al oriente del área controlada cartográficamente como una amplia planicie ondulada (**Figura 40**).



**Figura 40.41 Paisaje de colinas redondeadas definidas por las arcillolitas de la Formación Ortegaza cubiertas por depósitos aluviales del Cuaternario. Esta morfología se extiende al oriente del área de estudio como una amplia planicie ondulada.**

Está constituida por arcillolitas grises claras a oscuras (eventualmente negras), macizas y con laminación fina planoparalela, arcillolitas moteadas, con interposiciones aisladas de capas delgadas a gruesas de arenitas de grano fino a medio macizas y con laminación planoparalela e inclinada. Localmente hacia la parte inferior de la unidad (sección del Río Bodoquero) presenta capas delgadas de carbón y capas medias cuneiformes de biomicritas *mudstone* a *packstone* de color gris claro (superficialmente rojizas) compuestas de conchas bien preservadas de gasterópodos (sección del Río Bodoquero y Quebrada La Arenosa) (**Figura 42**).



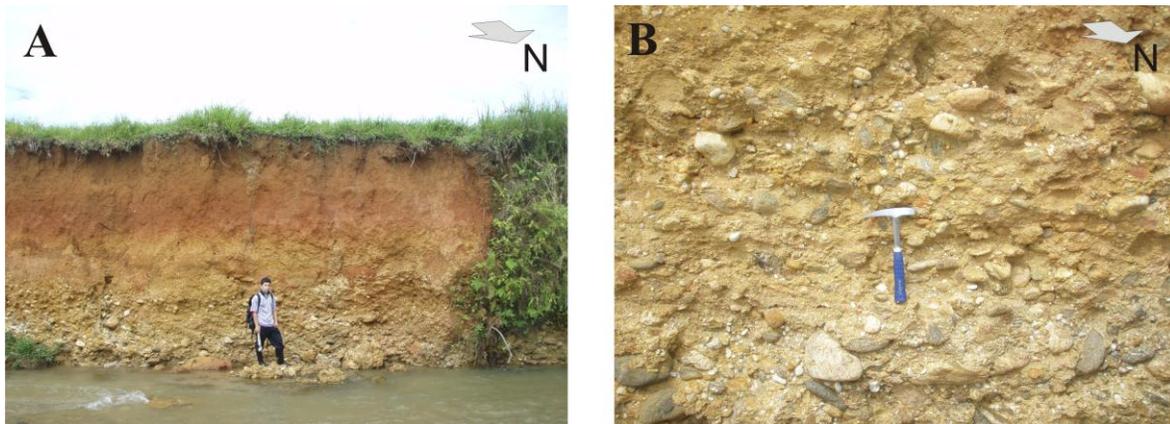
**Figura 42. 43 A. Lodolitas de color gris verdoso con interposición de capas medianas y delgadas tabulares de arenitas muy finas. B. Capa media de biomicrita *wackestone* (localmente *packstone*) en intervalo de predominio arcilloso. Está compuesta en su gran mayoría de conchas bien preservadas de gasterópodos.**

La Formación Ortegaza cubre discordantemente a la Formación Pepino, contacto muy notorio por la definición de dos morfologías características; la primera definida por la Formación Pepino como los primeros filos del frente montañoso y la segunda la Formación

Orteguaza, caracterizada por un paisaje ondulado de colinas redondeadas. Esta unidad está cubierta a su vez por los depósitos aluviales de las corrientes mayores de la región. Aunque la unidad suprayacente, la Formación Orito-Belén, no aflora en la zona, se estima que la Formación Orteguaza tiene un espesor aproximado de unos 500 m.

### 5.2.6 Depósitos Aluviales Del Cuaternario (Q<sub>2al</sub>)

Se encuentran definiendo planicies y terrazas bajas en los márgenes de las corrientes principales de la zona, cubriendo discordantemente las rocas de la Formación Orteguaza. Están compuestos de depósitos de gravas matriz-soportadas pobremente seleccionadas de guijos a bloques subredondeados de fragmentos de rocas metamórficas predominantemente, inmersos en matriz tamaño arena gruesa. Por lo general se encuentran cubiertos por un horizonte de suelo de color rojo (**Figura 44**).



**Figura 44. A. Nivel muy grueso (1,7 m) de gravas matriz-soportadas, cubierto por un horizonte (3m) de suelo de color rojo. B. Detalle de la anterior. Los clastos son tamaño canto, subredondeados, compuestos predominantemente de rocas metamórficas, inmersos en matriz tamaño arena media**

### 5.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL DEL AREA VERIFICADA EN CAMPO

La zona de trabajo es muy compleja desde el punto de vista estructural, con variedad de estructuras orientadas en dos direcciones principales: NNE-SSW y NE-SW. Se trata de pliegues regionales amplios con flancos fallados, fallas inversas de alto y bajo ángulo con vergencias tanto al noroccidente como al suroriente. Así también como pliegues menores asociados a fallas de bajo ángulo y ocurrencia local.

Estas estructuras están asociadas a fallas regionales equivalentes al norte con el Sistema de Fallas del Caguán (en el sentido de Geoestudios & Ingeominas, 2000) el cual constituye

el límite oriental de la Cordillera Oriental. Para Geoestudios & Ingeominas, 2000; en Rodríguez, et. al., 2002 estas estructuras conforman en conjunto el Sistema de Fallas del Borde Amazónico. Son fallas con vergencia al Oriente y orientación preferencial NE-SW, levantan el bloque tectónico de la Cordillera Oriental, constituido por metamorfitas del Complejo Garzón y lo montan sobre la cobertura sedimentaria de la Cuenca Caguán-Putumayo.

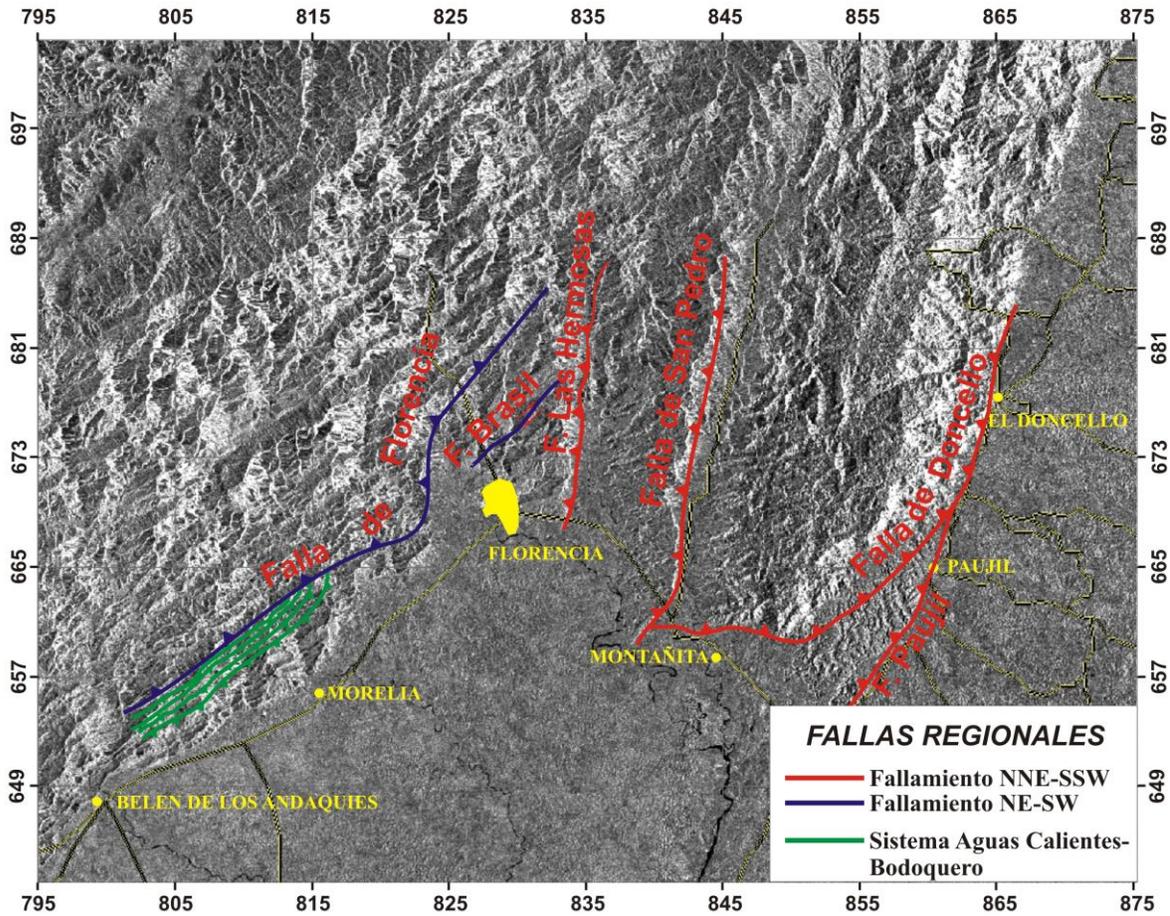
### 5.3.1 Fallas Mayores

Se diferencian en el área de trabajo dos grupos de fallas regionales con vergencia al suroriente; localizadas al oriente y occidente de Florencia, asociados a las dos direcciones preferenciales de fallamiento en la zona: NE-SW y NNE-SSW (**Figura 45**).

Las del occidente de Florencia son dos fallas de alto ángulo con rumbo NE-SW; la Falla de Florencia que levanta basamento sobre cobertura sedimentaria y la Falla de Brasil estructura rumbo deslizante dextral, la cual desplaza tanto al basamento como a la cobertura sedimentaria (**Anexo de bolsillo**). Las estructuras localizadas al Oriente, entre Florencia y Paujil, se caracterizan por tener una orientación NNE-SSW con vergencia al suroriente y ángulos de buzamientos más bajos (30°-40°). De estas estructuras las fallas de Doncello y Paujil tienen una orientación NE-SW, en el área controlada, pero más al norte entre Paujil y Puerto Rico adoptan la orientación predominante NNE-SSW (**Figura 45**). Estas estructuras, principalmente las fallas de San Pedro, El Doncello y Las Hermosas, hacia la parte suroriental de Florencia, muestran cierta tendencia a converger en el subsuelo hacia el este.

El rumbo NS de las estructuras entre el área urbana de Florencia y Montañita (y la convergencia de estas al sur de Florencia por cambio de rumbo a E-W) producen un cambio de orientación del frente montañoso. Entre Belén de Los Andaquíes y Morelia el frente de montaña es NE-SW, cambiando entre Florencia y Montañita a una orientación EW. Al norte de Montañita y entre Paujil y el Doncello, el Frente Montañoso continúa al norte con una orientación NE-SW.

Presentes hacia la parte suroccidental de la zona, entre Belén de Los Andaquíes, Morelia y la Vereda La Arenosa (Florencia), se observa otro grupo de fallas a menor escala, trazos sinuosos, bajo ángulo y vergencia al noroccidente, al cual se le ha asignado en este trabajo el nombre Sistema de Fallas de Aguas Calientes-Bodoquero. Estas estructuras repiten sección enfrentando bloques de basamento cubierto con rocas del Cretácico con unidades más jóvenes.



**Figura 45..** En el área controlada cartográficamente se presentan dos grupos de fallas regionales; una ubicada al oriente de Florencia con orientación NNE-SSW (trazo rojo), vergencia al oriente y bajo ángulo de buzamiento. La segunda (trazo azul), integrada por las fallas de Florencia y Brasil, tienen rumbo NE-SW, son fallas de alto ángulo con vergencia al suroriente.

### 5.3.2 Falla de Florencia

La Falla de Florencia, nombre propuesto en este trabajo y cuyo nombre deriva de la ciudad de Florencia, es la estructura regional ubicada más al occidente del área controlada cartográficamente. Se extiende al sur desde Belén de Los Andaquíes y se prolonga hacia la parte noroccidental de Florencia continuando al norte, dentro del bloque estructural de la Cordillera Oriental. Esta estructura levanta el Complejo Garzón y lo monta sobre la cobertura sedimentaria, tiene rumbo NE-SW, alto ángulo de buzamiento y vergencia al suroriente.

Al sur, en el área de Belén de Los Andaquíes-Morelia esta falla tiene un rumbo aproximado N60E y pone en contacto las metamorfitas del Complejo Garzón con las unidades del

Cretácico y la Formación Pepino. Hacia el sector occidental de Florencia el rumbo de la estructura cambia a una orientación entre N10E y N30E y pone en contacto el Complejo Garzón con las formaciones Neme, Pepino y Orteguzaza.

En la sección de la Quebrada La Yuca, al occidente de Florencia, esta estructura pone en contacto las migmatitas del Complejo Garzón con el conjunto predominantemente arcilloso de la Formación Orteguzaza (**Figura 46**). Se observa dentro de esta última unidad, una falla de alto ángulo y de vergencia opuesta (antitética) a la Falla de Florencia probablemente asociada a esta estructura (**Figura 47**). En el bloque colgante de la falla que afecta a la Formación Orteguzaza, se observan pliegues amplios con ejes orientados en dirección NS.

Es probable que la Falla de Florencia debido a su orientación similar a la Falla de Brasil, con trazo relativamente recto y de alto ángulo, tenga un importante componente de rumbo.



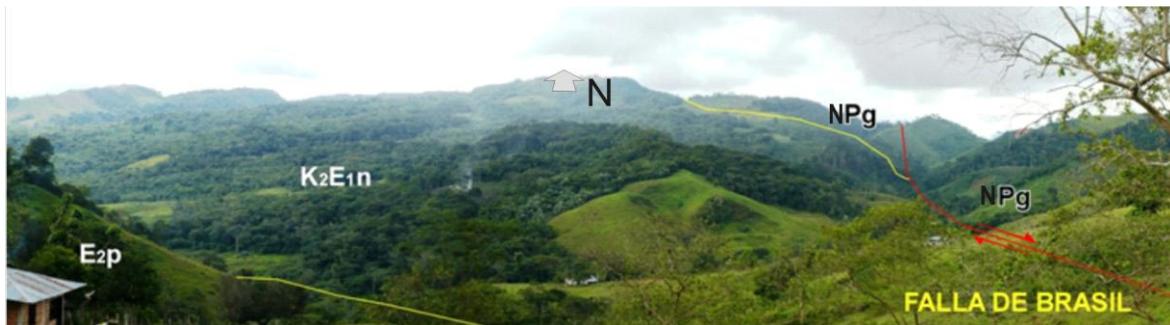
**Figura 46.. Falla de Florencia (Quebrada La Yuca).** Esta falla de alto ángulo y vergencia al suroriente, pone en contacto las migmatitas del Complejo Garzón (bloque izquierdo), con arcillolitas grises de la Formación Orteguzaza (derecha).



**Figura 47.. Falla inversa de alto ángulo en la Formación Orteguzaza (Quebrada La Yuca).** Esta estructura está relacionada probablemente a la Falla de Florencia y tiene vergencia opuesta (plano de falla: 90/70) a la de esta falla regional.

### 5.3.3 Falla de Brasil

Se propone en este trabajo el nombre Falla de Brasil para una estructura, ubicada al norte del área urbana de Florencia (Vereda Brasil), de tipo rumbo-deslizante dextral con componente inverso. Esta estructura presenta un trazo recto con rumbo N35E y desplaza las metamorfitas del Complejo Garzón, las formaciones "Neme" y Pepino una distancia de 4,7 Km aproximadamente (**Figura 48**). Junto con la Falla de Florencia esta estructura forma en conjunto una familia de fallas ubicada hacia la parte occidental de Florencia caracterizada por su orientación NE-SW, alto ángulo y vergencia al suroccidente.



**Figura 48.. La Falla de Brasil es una estructura rumbo deslizante observada hacia el norte del área urbana de Florencia en las veredas Brasil y Nueva Jerusalem. En este sector (fotografía) la falla desplaza dextralmente el Complejo Garzón, enfrentándolo con la Formación "Neme". Esta última unidad, presenta suaves pendientes estructurales que buzan al suroccidente.**

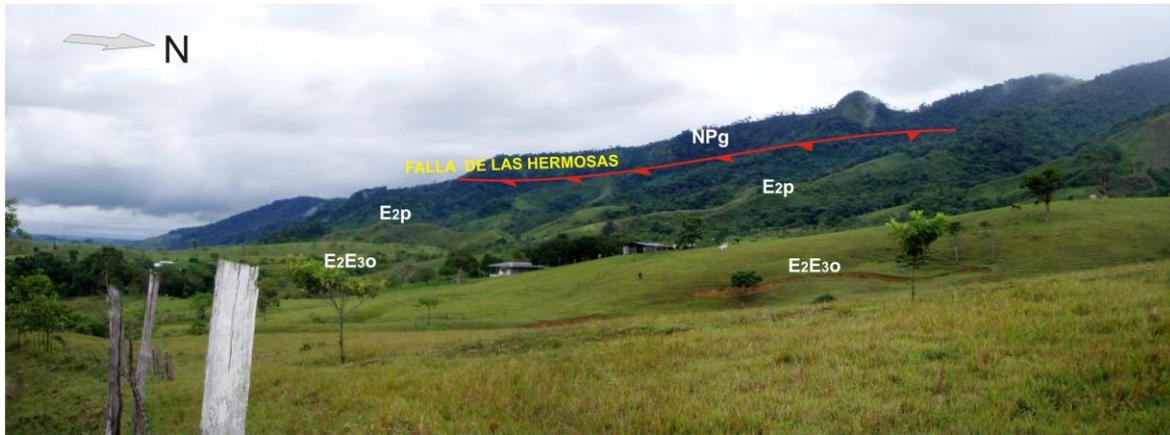
### 5.3.4 Falla de Las Herosas

Esta estructura fue definida por Ingeominas & Geoestudios, 2000; en: Rodríguez, et. al., 2002, marca el límite oriental del Macizo de Garzón, en las planchas 367 Gigante, 389 Timaná y 414 El Doncello. Su nombre fue tomado de la localidad de Las Herosas en el departamento del Caquetá (Rodríguez, et. al., 2002).

En el área de estudio esta estructura está ubicada al oriente de Florencia y es la primera falla de occidente a oriente de la familia de estructuras con orientación NNE-SSW, bajo ángulo de buzamiento y vergencia al suroccidente.

Es identificada con facilidad en el sector de la carretera Florencia-Montañita y la desviación hacia el corregimiento de San Antonio de Atenas, donde muestra un contraste morfológico acentuado generado por el contacto entre el área montañosa (Formación Pepino y el Complejo Garzón) y el paisaje ondulado de la Formación Orteguaza.

Esta estructura tiene rumbo aproximado N10E, trazo sinuoso, vergencia al Suroriente y bajo ángulo de buzamiento. Hacia la parte Sur, cerca a la carretera Florencia-Montañita, pone en contacto las formaciones Pepino y Orteguzaza y hacia el sector Norte, pone a cabalgar el Complejo Garzón sobre las Formaciones Pepino y Neme (**Figura 49**), que en esta zona conforman el cierre del Anticlinal de San Antonio. Más al norte y fuera del área de control, la estructura pone en contacto basamento con basamento, continuando probablemente al norte dentro del bloque tectónico de la Cordillera Oriental.

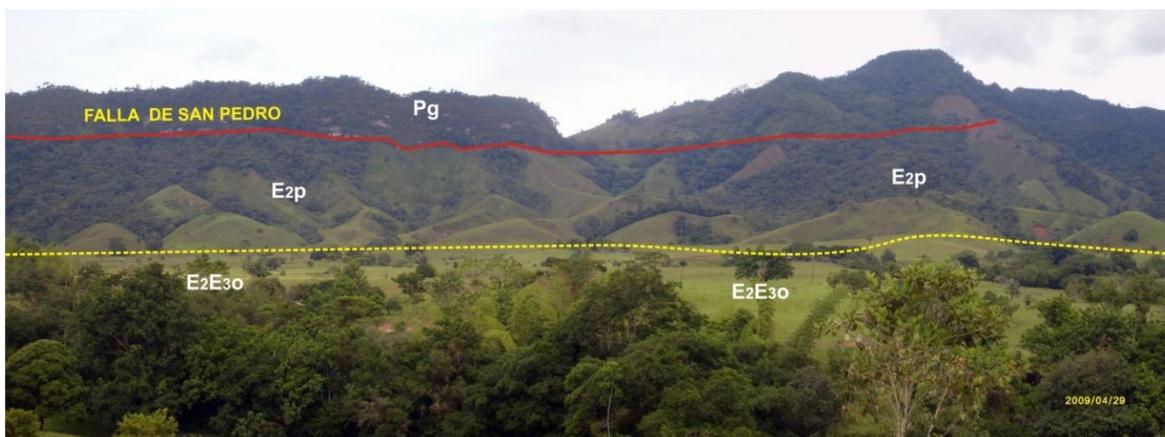


**Figura 49. Falla de las Hermosas. Esta estructura es de bajo ángulo y constituye la superficie a lo largo de la cual cabalga el Complejo Garzón (Pg) sobre la Formación Pepino (E<sub>2p</sub>), que en este sector (San Antonio de Atenas) conforma el flanco occidental del Anticlinal de San Antonio.**

### 5.3.5 Falla de San Pedro

Definida como Sistema de Fallas de San Pedro por Ingeominas & Geoestudios, 2000 en: Rodríguez, et. al., 2002 en el lado oriental del Macizo de Garzón, deriva su nombre del Río San Pedro (Departamento del Caquetá), que es controlado por una de las fallas del sistema (Rodríguez, et. al., 2002).

Esta estructura ubicada más al oriente de la Falla de Las Hermosas, con orientación subparalela al Río San Pedro, tiene rumbo NS al sur del Corregimiento de Maracaibo y adopta una orientación N20E al norte de esta localidad. Es una falla de trazo sinuoso y bajo ángulo, a lo largo de la cual cabalga el Complejo Garzón sobre las formaciones Pepino y Orteguzaza, tanto en el flanco occidental del Sinclinal de Maracaibo como en el eje de esta estructura (**Figura 50**). La Falla de San Pedro al sur entre las veredas Alto Venecia y Puerto Arango, varía su rumbo a N50E y se une con la Falla de Doncello que en este sector tiene una orientación EW.



**Figura 50. La Falla de San Pedro es una estructura de bajo ángulo que pone a cabalgar el Complejo Garzón sobre la Formación Pepino y Orteguaza. En este sector, muy cerca al corregimiento de Maracaibo, pone en contacto el basamento con la Formación Pepino, que conforma el flanco occidental del Anticlinal de Maracaibo.**

### 5.3.6 Falla de Doncello

La Falla de Doncello fue definida por Ingeominas & Geoestudios, 2000 en; Rodríguez, et. al., 2002 en el flanco oriental del Macizo de Garzón, Departamento del Caquetá, localizada en las planchas de Ingeominas 368 San Vicente del Caguán, 390 Puerto Rico, 391 Lusitania y 414 El Doncello. Su nombre fue tomado del Municipio de El Doncello, en el Caquetá. Esta estructura marca el límite tectónico entre el Complejo Garzón y las unidades Cenozoicas que afloran en la Llanura Amazónica (Rodríguez, et. al., 2002).

La Falla de Doncello está ubicada hacia el sector oriental del área de trabajo (norte y occidente de las poblaciones de Montañita y Paujil, respectivamente), limitando el frente montañoso de mayor pendiente conformado por las metamorfitas del Complejo Garzón. Esta estructura tiene un rumbo predominante N40E, el cual varía al Norte del Municipio de Doncello (fuera del área controlada cartográficamente) a la orientación preferencial NNE-SSW del segundo grupo de fallas regional. La Falla de Doncello es de bajo ángulo con vergencia al suroriente y pone en contacto el Complejo Garzón con las Formaciones "Neme" y Pepino principalmente (**Figura 51**), que en esta zona conforman el flanco noroccidental del Anticlinal de Montañita. Esta estructura pone a cabalgar basamento sobre basamento en el sector nororiental del área de trabajo, al sur del municipio de Doncello, donde se acuña el Anticlinal de Montañita por la convergencia entre las fallas de Doncello y Paujil. Al norte del área urbana de Montañita, la Falla de Doncello varía el rumbo a EW (**Figura 51**) y se une al oriente, en el sector de Puerto Arango con la Falla de San Pedro.



**Figura 51. Falla de Doncello (Quebrada Las Margaritas). En este sector, al Norte del municipio de Montañita, la Falla de Doncello, de bajo ángulo, cambia su rumbo a E-W y pone a cabalgar el Complejo Garzón (derecha) sobre una cuña tectónica de la "Formación Neme" (izquierda).**

### **5.3.7 Falla de Paujil**

Ingeominas & Geoestudios, 2000 en; Rodríguez, et. al., 2002 definieron la Falla de Paujil como el límite oriental del Macizo de Garzón, en la plancha de Ingeominas 414, El Doncello, departamento del Caquetá.

Esta estructura está localizada al oriente del área está controlada cartográficamente entre las áreas urbanas de los municipios de Montañita, Paujil y El Doncello. Limita al oriente con el frente montañoso bajo, separando la zona de cordillera de la planicie ondulada generada por las rocas del Grupo Orito (Llanura Amazónica). La Falla de Paujil, tiene un rumbo que varía entre N10E a N30E, es de bajo ángulo, con vergencia al suroriente y pone a cabalgar tanto el flanco suroriental del Anticlinal de Montañita (Formaciones "Neme" y Pepino) como su núcleo (Complejo Garzón) sobre las arcillolitas de la Formación Orteguzza. Esta estructura se une hacia el norte, en la Vereda Quebradón (sur de Doncello) con la Falla de Doncello, la cual a partir de este sitio cambia su rumbo a una orientación NNE-SSW.

### **5.3.8 Sistema de Fallas Aguas Calientes-Bodoquero**

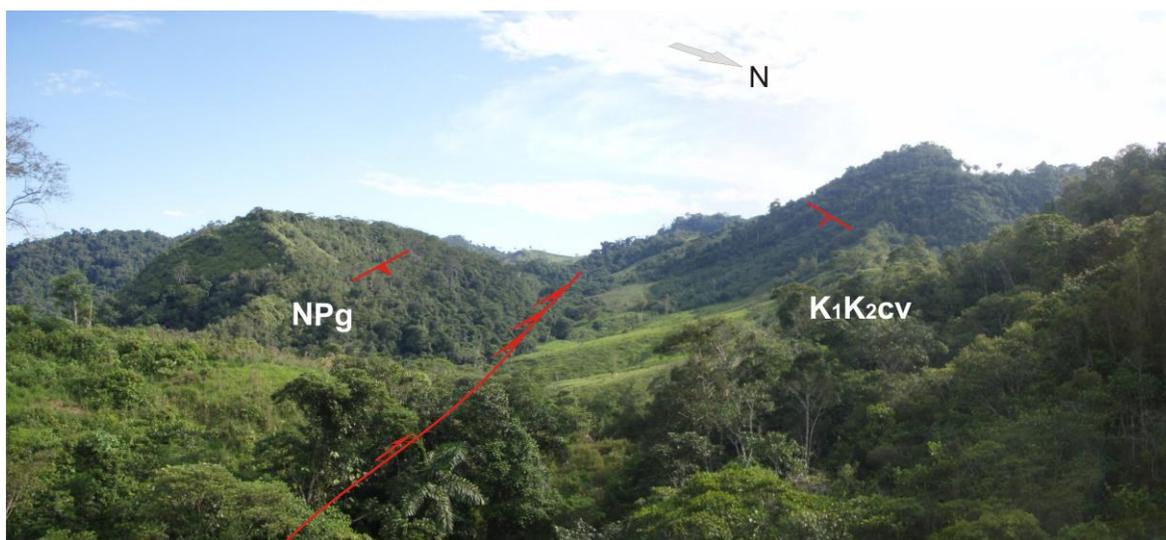
Con este nombre se agrupa en este trabajo, un conjunto de fallas de cabalgamiento presentes hacia el sector de Belén de Los Andaquíes, Morelia y sur de Florencia, las cuales afectan la cobertura sedimentaria desde las unidades del Cretácico (Formaciones Caballos-Villeta) hasta la Formación Pepino. Se caracterizan por ser estructuras con orientación N50E, vergencia al noroccidente y bajo ángulo de buzamiento. Este sistema de fallas se observa sólo en este sector, a partir de la Quebrada La Arenosa, al sur de Florencia y tiene continuidad al sur de Belén de Los Andaquíes, fuera del área controlada cartográficamente.

Estas estructuras en algunos casos presentan en los bloques cabalgantes pliegues asimétricos por flancos de alto ángulo en dirección NW y de bajo en dirección SE, probablemente originados por mecanismos de propagación de falla, algunos de los cuales pueden apreciarse asociados con las fallas en la Quebrada Aguas Calientes y el Río Bodoquero (**Figuras 57 y 58**).

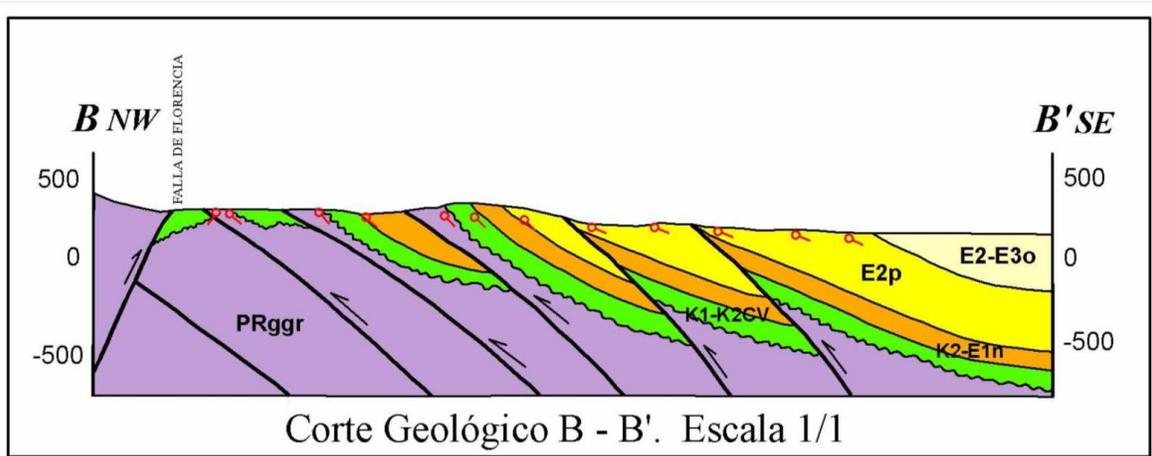
Son las estructuras encargadas de levantar cuñas de basamento que están cubiertas inconformemente con rocas del Cretácico y enfrentan a unidades sedimentarias más jóvenes. En la Quebrada Aguas Calientes estas estructuras enfrentan basamento con rocas de las Formaciones Neme y Villeta (**Figura 52**). Hacia la parte baja de la transecta, se encuentran repitiendo sección dentro de la Formación Pepino.

Las fallas de este sistema presentan saltos de diferente magnitud siendo mayores hacia el sector de la Quebradas Aguas Calientes donde las fallas exhuman basamento cubierto con rocas del Cretácico enfrentándolo con el mismo Cretácico o con Unidades del Cenozoico. Lateralmente estas fallas, al sur en la Quebrada La Chocho y al norte en el Río Bodoquero, repiten porciones de una misma unidad o unidades del Cenozoico entre sí. (**figura 53**)

Debido a la orientación contrastante de la vergencia de este sistema de fallas con las estructuras presentes en la zona de trabajo, es probable que estas estructuras correspondan a retrocabalgamientos asociados a una estructura mayor con vergencia al suroriente presente en el área profunda, de bajo ángulo y que probablemente afloraría al oriente, fuera del área controlada cartográficamente.



**Figura 52. Falla perteneciente al sistema de Fallas Aguas Calientes-Bodoquero (Quebrada Aguas Calientes). Esta estructura pone a cabalgar basamento sobre la Formación Villeta (parte superior de la unidad). La foliación de las metamorfitas tiene azimut de buzamiento hacia el noroccidente, mientras que las capas de la Formación Villeta están buzando hacia el suroriente.**



**Figura 53. Corte esquemático cortando sistema de Fallas Agua Calientes-Bodoquero (Quebrada Agua Calientes). Se aprecia el grupo de fallas denominado: Sistema de Fallas Agua Calientes-Bodoquero. Estas estructuras presentan vergencia al noroccidente, a diferencia de las otras estructuras regionales como la Falla de Florencia (ilustrada en este perfil) que presenta vergencia al suroriente.**

### 5.3.9 Pliegues

Se presentan dos tipos de pliegues que fueron controlados cartográficamente:

- Pliegues regionales amplios asimétricos ubicados hacia la parte norte de la zona, en inmediaciones a Florencia que afectan unidades del Cenozoico.
- Pliegues de menor extensión, asimétricos asociados a fallas de cabalgamiento que afectan rocas del Cretácico a Cenozoico, ubicados al sur en el área de Morelia-Belén de Los Andaquíes.

Dentro de las estructuras regionales se destacan los sinclinales de San Antonio y Maracaibo y el Anticlinal de Montañita.

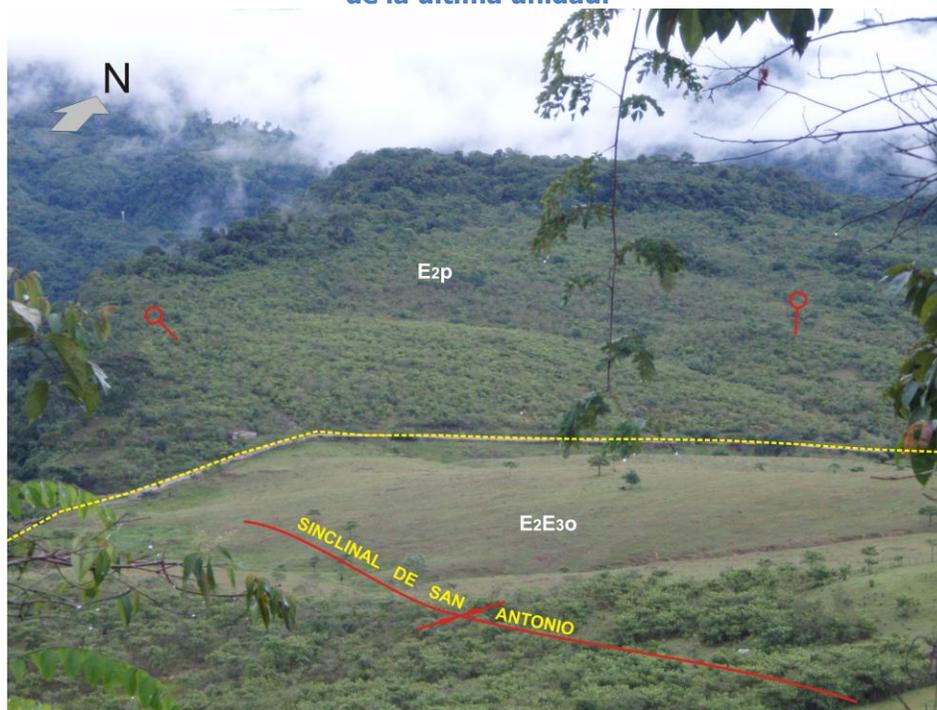
### 5.3.10 Sinclinal De San Antonio

Esta estructura ubicada al oriente de Florencia entre la Hacienda Capitolio (carretera Florencia-Montañita) y el corregimiento de San Antonio de Atenas, del cual toma el nombre, es una estructura asimétrica amplia con eje subparalelo a la Falla de Las Hermosas y orientación NS. Este sinclinal cierra al norte de San Antonio en el sitio denominado Vuelta de Queso (**Figura 55**), es asimétrico con bajo ángulo de buzamiento

del flanco oriental y alto ángulo ( $40^{\circ}$ - $80^{\circ}$ ) del occidental. El núcleo está conformado por arcillolitas de la Formación Orteguaza y sus flancos por las Formaciones "Neme" y Pepino (**Figura 54**). El Flanco occidental de la estructura está truncado al occidente de San Antonio por la Falla de Las Hermosas, al sur en la Vereda La Estrella, la estructura pone en contacto rocas de la Formación Pepino con arcillolitas de la Formación Orteguaza del núcleo del Sinclinal de San Antonio.



**Figura 54.. El Sinclinal de San Antonio es una estructura amplia, asimétrica con flanco oriental (a la izquierda) de bajo ángulo de buzamiento ( $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ) y el occidental con alto ángulo buzamiento entre  $40^{\circ}$  a  $60^{\circ}$ . Los flancos de la estructura están conformados por las Formaciones Neme y Pepino, en este sector se observan laderas estructurales de la última unidad.**



**Figura 55.. El Sinclinal de San Antonio cierra al norte de San Antonio de Atenas en el sitio conocido como Vuelta de Queso, en este sector la carretera San Antonio – Santa Ana, va paralela al contacto entre las Formaciones Pepino y Orteguaza, el cual gira debido al cierre que experimenta la estructura.**

### 5.3.11 Sinclinal De Maracaibo

El Sinclinal de Maracaibo es un pliegue amplio asimétrico ubicado en el corregimiento de Maracaibo (oriente de Florencia), con eje orientado en dirección NS. Al igual que el Sinclinal de San Antonio, los flancos de la estructura están conformados por las Formaciones "Neme" y Pepino y el núcleo por la Formación Orteguzza. El flanco Oriental de la estructura es de bajo ángulo y el occidental de alto ángulo de buzamiento (40°-60°) (**Figura 56**). El núcleo del sinclinal y el flanco occidental están truncados por la Falla de San Pedro.



**Figura 56. Vista panorámica del Sinclinal de Maracaibo. Los flancos de la estructura están conformados por la Formación Pepino en este sector y el núcleo por la Formación Orteguzza. El flanco occidental (derecha) del sinclinal, se encuentra truncado por la Falla de San Pedro.**

### 5.3.12 Anticlinal de Montañita

El Anticlinal de Montañita fue definido por Ingeominas & Geoestudios 2000 en; Rodríguez, et. al., 2002 en la plancha de Ingeominas 414, Municipio El Doncello. Se caracteriza por ser una estructura amplia con bajos ángulos de buzamiento. Está ubicada al oriente del área controlada cartográficamente, entre los municipios de Montañita y Paujil. El eje de la estructura tiene orientación NE-SW, sus flancos están limitados por las fallas de Doncello (occidente) y Paujil (oriente) y cabecea al suroccidente, hacia Montañita. El núcleo de la estructura está conformado por rocas del Complejo Garzón y sus flancos por las Formaciones "Neme" y Pepino. Los estratos de las unidades en el flanco noroccidental de

la estructura presentan bajos ángulos de buzamiento, no superiores a 10°, a excepción del sector adyacente a la Falla de Doncello. En la Quebrada La Conga el contacto entre las formaciones Pepino y Neme es horizontal. Por el contrario las unidades en el flanco suroriental del pliegue presentan altos ángulos de buzamiento por efecto de la Falla de Paujil.

### 5.3.13 Pliegues Menores

Ubicados en el sector Morelia – Belén de Los Andaquíes, se presentan estas estructuras en los bloques colgantes de fallas de cabalgamiento pertenecientes al Sistema de Fallas Aguas Calientes-Bodoquero. Son anticlinales asimétricos con vergencia al Noroccidente, presentes tanto en las unidades cretácicas como cenozoicas, caracterizadas por presentar siempre su flanco Noroccidental con alto ángulo de buzamiento y el Suroriental de menor ángulo (**Figuras 57 y 58**), orientación y buzamiento similar a la tendencia de los estratos en este sector. Estas estructuras se originaron probablemente por mecanismos de propagación de falla.



**Figura 57. Afloramiento de la Formación Caballos en la Quebrada Aguas Calientes. El flanco noroccidental de los pliegues menores asociados al Sistema de Fallas Aguas Calientes-Bodoquero, se caracteriza por presentar altos ángulos de buzamiento (320/70).**



**Figura 58. Pliegues asociados al Sistema de Fallas Aguas Calientes-Bodoquero en el Río Bodoquero ("Formación Neme"). Se observa que el flanco noroccidental (izquierda) de estas estructuras presenta alto ángulo de buzamiento. El bloque yacente (derecha), de bajo ángulo de buzamiento, corresponde al flanco suroriental de otro pliegue relacionado a una falla ubicada más al noroccidente (derecha, fuera de la foto).**

#### **5.4 LOCALIDADES PARA EL LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS**

Se identificaron dos sitios para el levantamiento de columnas estratigráficas en el área de estudio, correspondientes a las quebradas Aguas Calientes y La Arenosa, ubicadas al occidente de Morelia y suroccidente de Florencia respectivamente, donde se presentan buenas exposiciones de las Formaciones Caballos y Neme (**Anexo 4**).

Se ubicaron también en este trabajo secciones donde las unidades afloran parcialmente pero en las cuales se puede coleccionar información complementaria que puede ser empleada para la integración de columnas compuestas. Las Formaciones Villeta y Pepino no afloran de forma continua en una sección específica en el área controlada cartográficamente, sino que afloran localmente (por tramos) en diferentes secciones. Es necesario por tal razón realizar reconocimientos detallados con el fin de identificar buenas secciones para el levantamiento.

Es probable que hacia el sector del cierre del Sinclinal de San Antonio se presente una sección adecuada para el levantamiento de la Formación Pepino. De igual forma, sería recomendable realizar un reconocimiento en el área de Belén de Los Andaquíes con el fin de ubicar una sección para el levantamiento de la Formación Villeta.

Las formaciones Caballos y "Neme" fueron levantadas y muestreadas por Mora et. al. (1998), en las quebradas Aguas Calientes y La Arenosa y propuestas como secciones tipo y de referencia de la Formación Morelia, denominada en este trabajo "Formación Neme".

Con base en asociaciones palinológicas provenientes de cinco muestras, determinaron que la Formación Morelia ("Formación Neme") tiene una edad Eoceno Medio a Eoceno Superior.

Mora et. al. (1998) asignaron también una edad Cenomaniano-Turoniano a las arenitas que yacen discordantemente sobre el basamento en estas localidades, reconocidas en este trabajo como Formación Caballos y denominadas por ellos Formación Masaya. Consideran que esta unidad no es equivalente a la Formación Caballos del Putumayo sino a la caliza C de Cáceres & Teatín (1985) que reposa sobre la Formación Caballos en los pozos Catira-1 y Catira-2.

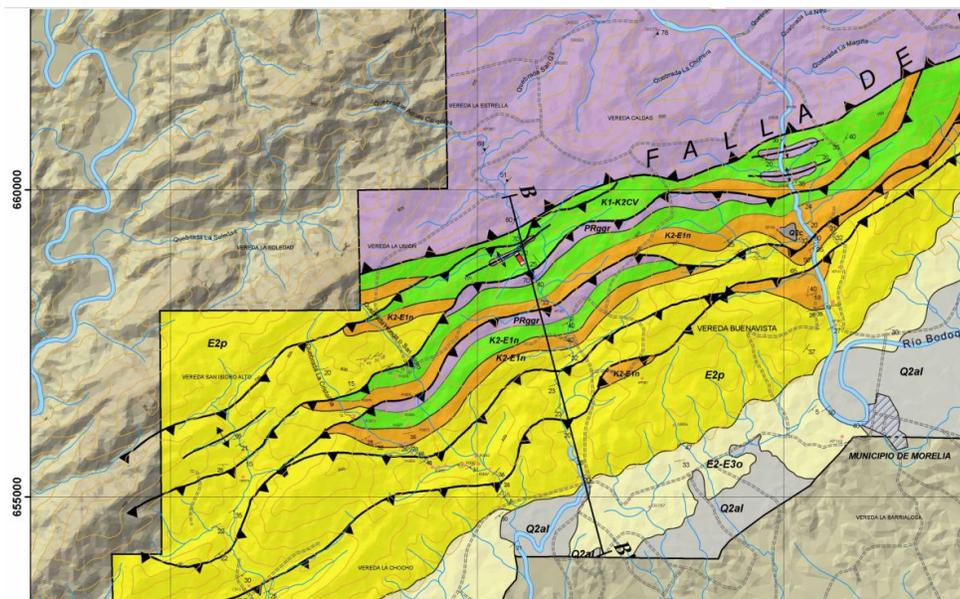
Teniendo en cuenta estos resultados se hace necesario, realizar un muestreo denso de estas unidades en las secciones de Aguas Calientes y La Arenosa y correlacionar los resultados con los de otras secciones para corroborar las edades obtenidas por Mora et. al. (1998). Resultados encaminados a conocer mejor en superficie los reservorios presentes en esta área, así también como las unidades sello y generadoras, lo cual implicaría también un muestreo denso de los *shales* de la Formación Villeta para análisis geoquímicos.

A continuación se hace una descripción de las localidades que presentan buena exposición de las unidades para levantamiento estratigráfico.

#### 5.4.1 Quebrada Aguas Calientes

Esta sección está ubicada al occidente del área urbana del Municipio de Morelia y se tiene acceso a esta localidad desde el pueblo, por la vía que lo comunica con Belén de los Andaquíes (**Anexo 4**). Se llega hasta la finca Los Lagos (sobre la vía principal), a un costado de la Quebrada la Barrialosa y se toma el camino que conduce hasta la escuela de la Vereda La Unión, desplazamiento que gasta alrededor de dos horas. Cuando se llega a la escuela se toma un camino paralelo a la Quebrada Aguas Calientes y en el sitio más próximo a ésta se desciende por la ladera.

En esta quebrada se presentan tres cuñas de basamento cubierto por Cretácico levantadas y repetidas por fallas de bajo ángulo, con vergencia al noroccidente (Sistema de Fallas Aguas Calientes-Bodoquero). En estas tres cuñas se presenta bien expuesta la Formación Caballos y parcialmente la Formación Villeta, en una de las cuñas la secuencia Caballos-Villeta se presenta incompleta por acción de una de estas fallas. La primera cuña, ubicada más al noroccidente, cerca al contacto fallado de la cobertura sedimentaria con el Macizo de Garzón, es la más adecuada para el levantamiento estratigráfico de la Formación Caballos debido a que los otros sitios donde aflora (las otras cuñas) son de difícil acceso por el fuerte encañonamiento que produce esta litología en la quebrada (**Figura 59**).



**Figura 59. Localización Quebrada Aguas Calientes. Se ilustra el sector (línea amarilla) para el levantamiento de la Formación Caballos y parte inferior de la Formación Villeta.**

En este sitio se presenta continua la Formación Caballos, aflorando los contactos inferior, inconforme, con el Complejo Garzón y superior, neto abrupto, con las arcillolitas de la Formación Villeta. Tiene un espesor de 50 m y está compuesta por un conjunto de cuarzoarenitas blancas y grises claras de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas estratificadas en capas subtabulares y cuneiformes medias a gruesas con laminación planoparalela e inclinada tangencial. Se interponen con estas capas, estratos medianos de arcillolitas negras y conjuntos medianos de láminas gruesas de cuarzoarenita blanca y arcillolita negra.



**Figura 60. Afloramiento de la Formación Caballos en la Quebrada Aguas Calientes. A. Se observa la laminación planoparalela en las cuarzoarenitas y la frecuente interposición de conjuntos muy delgados (1-2 cm) de láminas finas de arcillolita negra carbonosa. B. Las láminas en los conjuntos son onduladas paralelas y planoparalelas ligeramente onduladas.**

La Formación Villeta se presenta incompleta en esta sección aflorando aproximadamente unos 50 m de la parte inferior, los cuales se pueden levantar con el objeto de integrar una columna compuesta de la unidad con información proveniente de otras secciones (**Figura 61**).



**Figura 61. A. Afloramientos de arcillolitas negras fisiles (*shales*) en la parte inferior de la Formación Villeta en la Quebrada Aguas Calientes. B. Se interponen localmente capas delgadas lenticulares de limolitas de cuarzo macizas, grises oscuras, superficialmente de color rojizo.**

### 5.4.2 Quebrada La Arenosa

Ubicada a unos 15 minutos de Florencia por la vía que comunica esta ciudad con el Municipio de Morelia, se tiene acceso a esta quebrada por la finca Ceilán (sitio de la virgen) ubicada a un costado de la carretera, o por los potreros ubicados al frente de la entrada de la Hacienda Buenos Aires (**Anexo 4**).

En esta sección reposa discordantemente la Formación Caballos (30 m de espesor aproximadamente) sobre rocas del Complejo Garzón. Sobre esta unidad aflora completa la "Formación Neme" hasta el contacto suprayacente con la Formación Pepino (**Figura 62**), tiene un espesor de unos 170 m y finaliza hacia la parte superior con un paquete de unos 50 m de arcillolitas moteadas. El segmento inferior de la Formación Pepino cubre discordantemente las arcillolitas del techo de la "Formación Neme", tiene un espesor de unos 170 m y aflora continuamente hasta la base del segmento superior de la Formación Pepino. Este último intervalo, el segmento superior de la Formación Pepino, aflora por sectores hasta la terminación del área montañosa e ingreso a la zona de paisaje ondulado de colinas definido por la Formación Orteguaza. Aunque no aflora de manera continua el segmento superior de la Formación Pepino puede integrarse una columna compuesta con información de la Quebrada Atenas al nororiente del área, muy cerca al corregimiento San Antonio de Atenas, donde aflora un espeso intervalo de esta unidad caracterizado por interposición de paquetes de arcillolitas, arenitas y tobas de ceniza.



**Figura 62. Contacto inconforme de las cuarzoarenitas de la Formación Caballos sobre migmatitas del Complejo Garzón. La Formación Caballos inicia con una capa media (0,15 cm) de conglomerado matriz-soportado de guijos subredondeados de cuarzo.**

De igual manera, la Formación Orteguaza en esta sección no aflora de forma continua; sin embargo, hacia la parte baja de la quebrada, cerca a la vía Florencia-Morelia, se presenta

un espeso intervalo de esta unidad en donde afloran arcillolitas, arenitas y algunas capas de calizas fosilíferas. Este intervalo estaría ligeramente por encima de otro conjunto continuo de unos 80 m de la Formación Orteguzaza expuesto en el Río Bodoquero de arcillolitas, arenitas, calizas y capas de carbón. Los dos intervalos pueden ser levantados e integrados en una columna compuesta.

### 5.4.3 Secciones Complementarias

En estas localidades las unidades afloran parcialmente pero pueden levantarse columnas estratigráficas para complementar información, observar con detalle los cambios faciales y tomar muestras para diferentes objetivos.

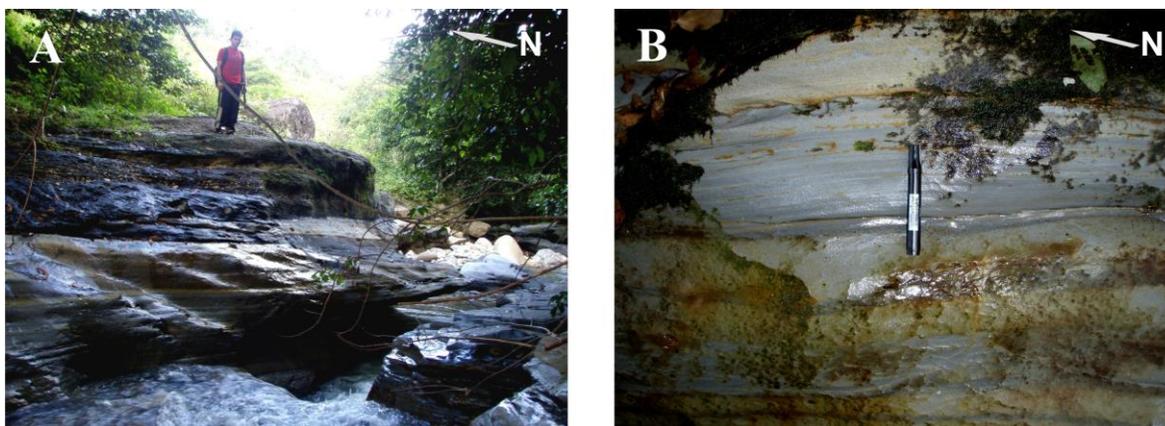
En la Quebrada El Salado, afluente del Río San Pedro y ubicada al suroriente del corregimiento de Maracaibo (**Anexo 4**), se observa una buena exposición de la "Formación Neme". Se tiene acceso a esta localidad desde Maracaibo por la entrada hacia la Hacienda Barcelona, se cruza el Río San Pedro por un puente y se toma un camino paralelo al río aguas abajo hasta la confluencia de la quebrada con éste. En esta sección aflora casi continua la "Formación Neme" excepto la parte superior, la unidad descansa inconformemente sobre las migmatitas del Complejo Garzón (**Figura 63**). Se observa al techo de la unidad el paquete de arcillolitas que aflora en otras localidades al techo de la unidad.



**Figura 63. Afloramientos de la "Formación Neme" en la Quebrada El Salado. A. Arenitas impregnadas (hidrocarburo pesado) de la "Formación Neme" reposando discordantemente sobre el Complejo Garzón. Se aprecian los sets medianos de laminación inclinada presentes en estas rocas. B. Localmente los sets de laminación inclinada planar de alto ángulo son muy espesos, superando un metro de espesor.**

La Quebrada Barrialosa o Borugo (Paujil) la cual corre transversalmente al Anticlinal de Montañita presenta buenas exposiciones de la "Formación Neme". Se ingresa a esta quebrada desde la intersección con la carretera Montañita-Paujil o aguas arriba desde la

Vereda la Cristalina (**Anexo 4**). Es muy común la presencia en esta sección de paquetes arcillosos interpuestos, frecuentes en el sector (Anticlinal de Montañita) y ausentes en el área de Morelia (**Figura 64**), como también los espesos intervalos conglomeráticos de la "Formación Neme" impregnados de hidrocarburo, característicos de esta zona (**Figura 48**). De esta manera, la sección puede levantarse con el objeto de realizar un muestreo denso en los paquetes arcillosos muy comunes en el sector así también como coleccionar muestras e información de los intervalos conglomeráticos.



**Figura 64. A. Paquetes lodosos interpuestos con arenitas y conglomerados de la "Formación Neme" en la Quebrada La Barrialosa (El Borugo). Estos intervalos son comunes en el área de Paujil y Montañita y ausentes al sur de Florencia en el área de Morelia. B. Detalle de la anterior. Laminación planoparalela en estas lodolitas. Estos intervalos son ideales para realizar un muestreo (para bioestratigrafía) denso con el fin de corroborar la edad de la "Formación Neme".**

Así mismo, los intervalos de arcillolitas moteadas interpuestos con arenitas y tobas que afloran en la Quebrada Atenas (San Antonio de Atenas) (**Anexo 4**) pueden levantarse con el objeto de establecer equivalencia e integrar una columna compuesta del segmento superior de la Formación Pepino.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La interpretación del mosaico de RADARSAT-1 se realizó a partir de la identificación de áreas con diferente rugosidad y color, la información geológica existente, la morfología y el trabajo de verificación de campo. Existen zonas de difícil acceso y escasa información geológica, como la Serranía de la Macarena y las áreas boscosas planas desplegadas hacia el oriente del piedemonte donde la aplicación de esta metodología es altamente apropiada.

Estructuralmente hay fuertes evidencias de campo y de subsuelo expuestas por diversos autores y confirmadas por las observaciones magnetogravimétricas y de campo de este trabajo, que indican que en toda el área de piedemonte y por debajo de los sedimentos del Neógeno superior, existe una tectónica tipo Wrench que ha configurado áreas de transtensión y transgresión. Este estilo tectónico está precedido de una tectónica de bloques que muestra fuertes evidencias de inversión. La confirmación de esta historia tectónica en el área posibilita nuevas fronteras en la exploración de hidrocarburos.

Las evidencias de inversión tectónica se pueden observar en los diferentes perfiles realizados a partir de la información magnetogravimétrica y de geología de superficie y de subsuelo a todas las escalas de trabajo presentadas en los mapas adjuntos a este informe.

La estratigrafía de la cuenca Caguán Putumayo merece ser estudiada ampliamente a nivel de afloramiento y de subsuelo, debido a que hay cambios de facies hacia el norte y algunas unidades desaparecen. También se recomienda realizar programas de sismica regional donde se identifican posibles acumulaciones sedimentarias paleozoicas que configurarían nuevas oportunidades exploratorias.

Se recomienda caracterizar la nomenclatura estratigráfica debido a que se usan dos nomenclaturas la primera del Putumayo heredada del Valle Superior del Magdalena, y la segunda que se utiliza en el Caguán que es traída por costumbre de la zona de los Llanos. Para ello se recomienda levantar columnas estratigráficas con el suficiente detalle que permita describir las secuencias involucradas para su comparación a nivel regional. Se sugiere escala 1:500

En los bajos de basamento o cuencas identificadas al oriente del Alto de Florencia se recomienda realizar un pozo estratigráfico para confirmar la profundidad y tipo de secuencias que llenan estas estructuras.

En este trabajo se aporta la cartografía del piedemonte con verificación de campo a escala 1:50.000 de la plancha 413 y se modifica parte de la 414.

Se identificaron dos sitios para el levantamiento de columnas estratigráficas en el área de estudio, correspondientes a las quebradas Aguas Calientes y La Arenosa, ubicadas al

occidente de Morelia y suroccidente de Florencia respectivamente, donde se presentan buenas exposiciones de las formaciones Caballos y Neme.

Se ubicaron también en este trabajo secciones donde las unidades afloran parcialmente; pero en las cuales se puede coleccionar información complementaria que puede ser empleada para la integración de columnas compuestas. Las formaciones Villeta y Pepino no afloran de forma continua en una sección específica en el área controlada cartográficamente, sino que afloran localmente (por tramos) en diferentes secciones. Es necesario por tal razón realizar reconocimientos detallados con el fin de identificar buenas secciones para el levantamiento.

Es probable que hacia el sector del cierre del Sinclinal de San Antonio se presente una sección adecuada para el levantamiento de la Formación Pepino. De igual forma, sería recomendable realizar un reconocimiento en el área de Belén de Los Andaquíes con el fin de ubicar una sección para el levantamiento de la Formación Villeta.

Las formaciones Caballos y "Neme" fueron levantadas y muestreadas por Mora et. Al, 1998, en las quebradas Aguas Calientes y La Arenosa y propuestas como secciones tipo y de referencia de la Formación Morelia, denominada en este trabajo "Formación Neme". Con base en asociaciones palinológicas provenientes de cinco muestras, determinaron que la Formación Morelia ("Formación Neme") tiene una edad Eoceno Medio a Eoceno Superior. Mora et. al. (1998) asignaron también una edad Cenomaniano-Turoniano a las arenitas que yacen discordantemente sobre el basamento en estas localidades, reconocidas en este trabajo como Formación Caballos y denominadas por ellos Formación Masaya. Consideran que esta unidad no es equivalente a la Formación Caballos del Putumayo sino a la caliza C de Cáceres & Teatín, 1985, que reposa sobre la Formación Caballos en los pozos Catira-1 y Catira-2.

Teniendo en cuenta estos resultados se hace necesario, realizar un muestreo denso de estas unidades en las secciones de Aguas Calientes y La Arenosa y correlacionar los resultados con los de otras secciones para corroborar las edades obtenidas por Mora et. al. (1998). Resultados encaminados a conocer mejor en superficie los reservorios presentes en esta área, así también como las unidades sello y generadoras, lo cual implicaría también un muestreo denso de los *shales* de la Formación Villeta para análisis geoquímicos.

En localidades que se describen a continuación las unidades afloran parcialmente pero pueden levantarse columnas estratigráficas para complementar información, observar con detalle los cambios faciales y tomar muestras para diferentes objetivos:

En la Quebrada El Salado, afluente del Río San Pedro y ubicada al suroriente del corregimiento de Maracaibo se observa una buena exposición de la "Formación Neme". Se tiene acceso a esta localidad desde Maracaibo por la entrada hacia la Hacienda Barcelona, se cruza el Río San Pedro por un puente y se toma un camino paralelo al río aguas abajo

hasta la confluencia de la quebrada con éste. En esta sección aflora casi continua la "Formación Neme" excepto la parte superior, la unidad descansa inconformemente sobre las migmatitas del Complejo Garzón. Se observa al techo de la unidad el paquete de arcillolitas presentado en otras localidades con el que finaliza la unidad.

La Quebrada Barrialosa o Borugo (Paujil) la cual corre transversalmente al Anticlinal de Montañita presenta buenas exposiciones de la "Formación Neme". Se ingresa a esta quebrada desde la intersección con la carretera Montañita-Paujil o aguas arriba desde la Vereda la Cristalina. Es muy común la presencia en esta sección de paquetes arcillosos interpuestos, frecuentes en el sector (Anticlinal de Montañita) y ausentes en el área de Morelia, como también los espesos intervalos conglomeráticos de la "Formación Neme" impregnados de hidrocarburo, característicos de esta zona. La sección puede levantarse con el objeto de realizar un muestreo denso en los paquetes arcillosos muy comunes en el sector así también como coleccionar muestras e información de los intervalos conglomeráticos.

La abundancia de impregnaciones de hidrocarburos, especialmente en los intervalos conglomeráticos de la "Formación Neme" en el sector aledaño a la población de Florencia, confirma la existencia de un sistema petrolífero activo que conectaría y daría continuidad a una zona productora de hidrocarburos desde el sector de Piraña al norte del Caguán y el sector de Mary-Toroyaco en la cuenca Putumayo.

Así mismo, los intervalos de arcillolitas moteadas interpuestos con arenitas y tobas que afloran en la Quebrada Atenas (San Antonio de Atenas) pueden levantarse con el objeto de establecer equivalencia e integrar una columna compuesta del segmento superior de la Formación Pepino.

Uno de los aspectos más relevantes que pueden destacarse de la cartografía geológica en términos de las implicaciones exploratorias, es el hecho de que en el sector intermedio de la cuenca, en la zona de influencia de la población de Florencia, se aprecia claramente en superficie la convergencia entre dos sistemas estructurales de orientación diferente (ver mapa, Anexo 4): uno de los sistemas corresponde a fallas con rumbo preferencial Norte-Sur o ligeramente Noreste, como las fallas de las Hermosas y San Pedro. Este sistema de fallas tiene una orientación similar a la que tienen en subsuelo, las fallas que controlan algunas de las acumulaciones del *foreland* de la Cuenca Putumayo (campos Quililí, Alea, Loro-Hormiga, San Miguel) y los campos gigantes de la cuenca Oriente en Ecuador (Sahcha y Chuchufinde). El otro sistema tiene una orientación mucho más marcada hacia el noreste e involucra fallas como la de Florencia, Paujil y el Doncello. Este sistema tiene una orientación similar a la que tienen en subsuelo, las fallas que controlan los campos más importantes del piedemonte, como Orito en Colombia y Bermejo en Ecuador. La confirmación de estos dos sistemas en superficie, en la parte intermedia de la cuenca permite proponer una área de alto interés exploratorio, ubicada en el subsuelo inmediatamente al sur de la población de Florencia, donde los dos sistemas pueden estar

convergiendo y donde es posible encontrar trampas asociadas a cualquiera de los sistemas.

Estudios detallados del subsuelo integrando métodos geofísicos como la gravimetría y la magnetometría y nuevos programas sísmicos en este sector permitirán la definición de áreas prospectivas y prospectos.

se recomienda organizar programas de geología de superficie con escala de detalle superiores a 1:50.000 con muestreo sistemático y levantamiento de columnas estratigráficas, secciones estructurales para incrementar la comprensión integral de la cuenca y unificar la nomenclatura estratigráfica.

## 7 REFERENCIAS

**AMOCO, ROBERTSON. RESEARCH INTERNATIONAL LIMITED, 1987.** Geological reconnaissance of the Colombian Amazonas.

**ANH, 2009.** Levantamiento Aerogravimétrico de la Cuenca del Putumayo.

**ANH, 2008.** Colombia oil & gas. Promotional brochures of the Caguán-Yarí Round 2005. Agencia Nacional de Hidrocarburos.

**ANH, 2007.** Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. 92p.

**ANH, 2006.** Atlas Geoquímico de Colombia. Agencia Nacional de Hidrocarburos.

**ANH, 2006.** Levantamiento Aerogravimétrico de la Cuenca del Caguán.

**ANH, 2005.** Colombia oil & gas. Promotional brochures of the Caguán-Yarí Round 2005. Agencia Nacional de Hidrocarburos.

**BABY, P., RIVADENEIRA, M. Y BARRAGÁN, R. (2004).** La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo. Travaux de l'Institut Français d'Etudes Andines

**BEICIP Y FRANLAB Y FRANLAB, 1996.** Petroleum exploration play-types in the sub-Andean basins, volume 2.

**BEICIP Y FRANLAB, 1988.** Evaluación regional geológica y geofísica de la Cuenca del Putumayo, ECOPETROL, Informe Geológico 1584, 151 p. Santafé de Bogotá.

**CACERES H & TEATÍN P, 1985.** Cuenca del Putumayo, provincia petrolera meridional de Colombia. II Simposio Bolivariano: Exploración petrolera en las cuencas subandinas. Ecopetrol, Bogotá.

**CORDOBA ET. AL., 1997.** Sistemas petrolíferos de la Cuenca del Putumayo. ECOPETROL, reporte interno.

**CHOROWICZ, J., CHOTIN, P., GUILLANDE, R., 1996.** The Garzon fault: active southwestern boundary of the Caribbean plate in Colombia. Geologische Rundschau 85, 172-179.

**ECOPETROL, 1994.** Proyecto cuencas fronteras informe de recopilación de información. ICP, División de exploración y explotación. Vicepresidencia de producción y exploración gerencia de exploración.

**ECOPETROL, 1998.** Vicepresidencia de exploración y producción., Oportunidades para la exploración de hidrocarburos en cuencas inactivas, 230.

**ECOPETROL, 2000.** Atlas of sedimentary basins and petroleum geology of Colombia. Digital Atlas.

**EGO, F., SEBRIER, M., LAVENU, A., YEPES, H., UGUES, A., 1996.** Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. In: Deway, J.F., Lamb, S.H. (Eds.), Geodynamics of the Andes, Tectonophysics, vol. 259, pp. 101– 16.

**FREYMUELLER, J., KELLOGG, J., VEGA, V., 1993.** Plate motions in the North Andean region. Journal of Geophysical Research 98, 21853–21863.

**GEOESTUDIOS. 1993.** Análisis bioestratigráficos efectuados por BIOSS Ltda., Anticlinal de Romerillo y río Conejo. Informe Interno INGEOMINAS, Bogotá.

**GEMS, 2008.** Colpetsys, Petroleum Systems and Play Analysis of Colombian Basins (Version 2.0).

**GEOTEC ,1972.** Informe geológico preliminar Caquetá, 47p.

**GONCALVES FELIX et. al., 2002.** Petroleum generation and migration in the Putumayo Basin, Colombia: insides forma an organic geochemistry and basin model in the foothills, Marine and Petroleum Geology, Geología 19, 711-725P

**GROSSE, E. 1935.** Acerca de la geología del sur de Colombia I. Informe rendido al Ministerio de Industrias sobre un viaje al Huila y Alto Caquetá. CEGOC, 3: 31-137. Bogotá.

**INGEOMINAS; GEOESTUDIOS. 2000c.** Mapa geológico de Colombia: Plancha 412 San Juan de Villalobos. Escala 1:100.000. INGEOMINAS, Informe interno. Bogotá

**INGEOMINAS, 2003.** Distribución de Facies y ámbito tectónico en el proterozoico de Colombia. Escala 1:2.000.000. Ingeominas

**INGEOMINAS, 2007.** Mapa geológico de Colombia-MGC. Escala 1:1.000.000. Publicaciones Geológicas especiales del Ingeominas.

**ICP, 1997.** Evaluación Regional de la Cuenca Yarí-Caguán., 177p.

**ICP, 2001.** Evaluación Geoquímica Preliminar de Crudos Pesados en las Cuencas Llanos, Yarí-Caguán, Putumayo y VMM. 53p.

**ICP, 2003.** Interpretación sísmica estructural en el área de Yari-Caguán, informe final, 42P.

**JACQUES, B., 1992.** Proyecto Ríos Guaviare-Amazonas. Evaluation of data and preliminary geological model.

**KELLOGG, J., VEGA, V., 1995.** Tectonic development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: constraints from global positioning system geodetic studies and gravity. Geological Society of America. Special Paper 295, 75– 90.

**KELLOGG, J., OGUJIOFOR, I., KANSAKAR, D., 1985.** Cenozoic tectonics of the Panama and North Andes blocks. 6 Congreso Latinoamericano de Geología, Memoria, vol. I. Ingeominas, Bogota', pp. 40– 59.

**MANN, P. (1995).** Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America, Special Paper, vol. 295. Geological Society of America. preface.

**McGIRK, D. 1949.** Geological report on the area between the Guamés and San Miguel rivers. Department of Nariño and Comisaría of Putumayo. Texas Petroleum Company. Bogotá.

**MEMARSADEGHI et. al., 2005** N. Memarsadeghi, J. Le Moigne, D.M. Mount and J. Morissette, A new approach to image fusion based on kriging, The Eighth International Conference on Information Fusion, July, 25–29, Philadelphia, PA, USA (2005).

**MILEY, R.; McGIRK, D. 1948.** Geological report on portions of the Orito Concession, Comisaria de Putumayo. Texas Petroleum Company, Report 345, 610 p. Bogotá.

**MORA, A.; VANEGAS, D.; VERGARA, L. 1998.** Estratigrafía del Cretácico superior y Cenozoico Inferior en el Sector Norte de la Cuenca del Putumayo, Departamento del Caquetá, Geología Colombiana 23: 31-77. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá

**MORA, C., 2000.** Evaluación de los sistemas petrolíferos en las cuencas Cretácicas con producción de hidrocarburos de Colombia. Tesis de Maestría, Universidad Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

**NOBLET, C., LAVENU, A., MAROCCO, R., 1996.** Concept of continuum as opposed to periodic tectonism in the Andes. Tectonophysics 255, 65– 78.

**NUÑEZ A, 2003.** Reconocimiento geológico regional de las planchas 411 La Cruz, 412 San Juan de Villalobos, 430 Mocoa, 431 Piamonte, 448 Monopamba, 449 Orito y 465

Churuyaco. Departamentos de Caquetá, Cauca, Huila, Nariño, Putumayo. Ingeominas, Bogotá.

**PARADELLA, W.R.; PIETSCH, R.W.; TOUTIN, T.; BIGNELLI, P.A.; VENEZIANI, P.; SINGHROY, V.H. 1996.** Airborne and spaceborne SAR integration with TM-Landsat and Gamma ray spectrometry for geological mapping Amas alla in a Tropical Rain Forest environment. In: Eleventh Thematic Conference and Workshops on Applied Geologic Remote Sensing, Las Vegas, NV, 27-29, Feb., 1996.

**PENNINGTON, W., 1981.** Subduction of the eastern panama basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research* 86, 10753– 10770.

**REPSOL, 2006.** Informe anual Ministerio de Minas y Energía, Bloque Alea.

**RODRIGUEZ G, ZAPATA G, VELASQUEZ M, COSSIO U, & LONDOÑO A, 2002.** Geología de las planchas 367 Gigante, 368 San Vicente del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 391 Lusitania (parte Noroccidental) y 414 El Doncello, departamentos de Caquetá y Huila. Ingeominas, Medellín.

**RONALD E. WILCOX, T. P. HARDING, AND D. R. SEELY., 1973.** En echelon structures, laboratory clay models simulation, possibilities of hydrocarbon reserve, en: *Basic Wrench Tectonics, AAPG Bulletin*; January 1973; v. 57; no. 1; p. 74-96

**SHELL DE COLOMBIA INC., 1988.** Aeromagnetic Interpretation - Llanos Orientales Colombia

**TABOADA, A.; RIVERA, L. A.; FUENZALIDA, A.; CISTERNAS, A.; PHILIP, H.; BIJWAARD, H.; OLAYA, J.; RIVERA, C. 2000.** Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19(5):787-813.

**TECTONIC ANALYSIS, INC., 1998,** The Colombian hydrocarbon habitat: integrated sedimentology, geochemistry, paleogeographic evolution, geodynamics, petroleum geology, and basin analysis, portfolio of plates.

**TRENKAMP, R., KELLOGG, J., FREYMUELLER, F., MORA, H., 2002.** Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences* 15, 157– 171.

**VELANDIA, F., ACOSTA, J., TERRAZA, R., VILLEGAS H. 2005.** The current tectonic motion of the Northern Andes along the Algeciras Fault System in SW Colombia, *Tectonophysics* 399 (2005) 313– 329

**VELANDIA, F., 1997.** SAR Imagery Analysis of Geological Lineaments in an Area of SW Colombia, the Northern Andes. MSc thesis, Shimane University. Matsue, Japan.

**VELANDIA, F., KOMURO, H., 1998.** Análisis de lineamientos geológicos a partir de imágenes SAR de un area al SW de Colombia, Andes del Norte. 10 Congreso Latinoamericano de Geología, Resumen, Memoria, vol. 3. Segemar, Buenos Aires, Argentina, p. 369.

**VERGARA, H., 1996.** Rasgos y actividad neotectónica de la Falla de Algeciras. Memorias VII Congreso Colombiano de Geología vol. I, 491– 500.

**WESTERN, 1985.** A vibrosis seismic survey operation report. Hobo and Caguán Área.