

**ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DE LAS UNIDADES AFLORANTES EN LAS  
QUEBRADAS LA PIÑALERITA (SABANALARGA) Y LA PESCANÁ  
(MONTERREY) CASANARE, COLOMBIA.**

**SEBASTIAN AGUILAR RANGEL**

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

**2012**

**ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DE LAS UNIDADES AFLORANTES EN LAS  
QUEBRADAS LA PIÑALERITA (SABANALARGA) Y LA PESCANA  
(MONTERREY) CASANARE, COLOMBIA.**

**SEBASTIAN AGUILAR RANGEL**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título  
de Geólogo**

**Director:**

**ALBERTO ORTIZ FERNANDEZ**

**Senior Consultant Geologist**

**Geólogo MSc.**

**Co-Director:**

**CESAR CARLOS GUERRA**

**Geocientista Senior**

**Ingeniero Geólogo**

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

**2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Quiero agradecer y dedicar este trabajo en especial a dos mujeres que cambiaron mi vida: mi Mama quien fue quien me formo como persona y me guio en mi camino para llegar hacer una persona de bien, y a alguien que estuvo conmigo brindándome su cariño y apoyo durante toda mi carrera, mi novia Julie.*

*También muchas gracias a la prestigiosa Universidad Industrial de Santander, al grupo de docentes que se empeñan por ayudar al país desde las aulas formando buenos profesionales y a todos mis amigos y colegas que estuvieron conmigo durante mi estadía en Bucaramanga.*

*Muchas Gracias y estaré hoy y siempre para todos aquellos que me necesiten.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	20
3.1. OBJETIVO GENERAL	20
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. GENERALIDADES	21
4.1. LOCALIZACIÓN Y ACCESO	21
4.2. HIDROGEOLOGIA	22
4.3. FISIOGRAFÍA Y CLIMA.	22
5. METODOLOGÍA	25
5.1. RECOPIACIÓN DEL MATERIAL BIBLIOGRÁFICO Y ELABORACIÓN DEL PLAN DE TRABAJO	25
5.2. TRABAJO DE CAMPO	25
5.2.1. Cartografía geológica detallada	25
5.2.2. Levantamiento de columna tipo sedimentaria	27
5.3. TRABAJO DE OFICINA	28
6. MARCO GEOLÓGICO GENERAL	30
6.1. ANTECEDENTES	30
6.2. ESTRATIGRAFÍA	43
6.2.1. Formación Une (Kiu)	43

6.2.2. Formación Gacheta (Ksc)	44
6.2.3. Formación Guadalupe.	45
6.2.4. Formación Barco (E1b).	46
6.2.5. Formación Los Cuervos (E1-E2lc).	47
6.2.6. Formación Mirador (E2m).	48
6.2.7. Formación Carbonera (E2-E3c).	49
6.3. TECTÓNICA	51
7. RESULTADOS	62
7.1. FACIES Y AMBIENTES SEDIMENTARIOS DE LAS FORMACIONES EN EL AREA DE ESTUDIO	62
7.1.1. Formación Carbonera Base (Miembros C8 y parte C7).	62
7.2.2. Formación Mirador	67
7.2.3. Formación Los Cuervos.	72
7.2.4. Formación Barco.	76
7.2.5. Formación Guadalupe.	81
7.2.6. Formación Gacheta.	85
7.2.7. Formación Une	89
7.3. AMBIENTES DEPOSICIONALES DEL AREA DE ESTUDIO, ENCADENADOS A LOS HST, TST Y LST	92
7.3.1. Formación Carbonera base (Miembros C8 y parte C7).	92
7.3.2. Formación Mirador	95
7.3.3. Formación Los Cuervos.	96
7.3.4. Formación Barco.	98
7.3.5. Formación Guadalupe.	99
7.3.6. Formación Gacheta	100
7.3.7. Formación Une.	101
7.4. RECONOCIMIENTO DE LAS SECUENCIAS ESTRATIGRAFICAS	101
7.4.1. Secuencia Depositional I (Cenomaniano al Santoniano).	104
7.4.2. Secuencia Depositional II (Campaniano al Maastrichtiano Inferior)	105

7.4.3. Secuencia Deposicional III (Paleoceno).	106
7.4.4. Secuencia Deposicional IV (Eoceno a Mioceno Inferior).	106
8. CONCLUSIONES	108
9. RECOMENDACIONES	110
BIBLIOGRAFIA	111
ANEXOS	118

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización de las zonas de estudio, Quebradas La Piñalerita y La Pescana; modificado de la foto aérea 013 IGAC C-2534 y de Google earth.	21
Figura 2. Panorámica en la que se observa las Formación Barco suprayaciendo a la Formación Los Cuervos, la Formación Los Cuervos suprayaciendo a la Formación Mirador y la Formación Mirador suprayaciendo a la Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7). las cuales se encuentran en esa disposición debido a que se encuentran en el núcleo del anticlinal de Tierranegra y disectan en la quebrada la Piñalerita (Sabanalarga). Azimut 100.	23
Figura 3. Panorámica de la Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga) ubicados hacia el nacimiento de la quebrada, en la parte superior derecha el Rio Upía y las planicies que lo rodean. Azimut 260	24
Figura 4. Estación 16 de campo, Formación Carbonera. Quebrada La Piñalerita.	27
Figura 5. Estación 24 quebrada la Piñalerita, mostrando el engrosamiento hacia el techo y la somerización en una sección de la Formación Mirador. Levantamiento de la columna.	28
Figura 6. Columna Generalizada del área de estudio (propuesta por Fajardo, 2000)	50
Figura 7. Mapa estructural del Segmento Tauramena, donde se identifican las zonas de estudio, a. Q. La Piñalerita, b. Q. La Pescana, FG. Falla Guaicáramo, FP. Falla de Porvenir, FT. Falla de Tesalia, SP. Sinclinal del Porvenir, SR. Sinclinal de Recetor, SN. Sinclinal de Nazareth, AS. Anticlinal de Silbadero, ATn. Anticlinal de Tierranegra; ( <i>Modificado de Piraquive A., 2011</i> )	55
Figura 8. Mapa Estructural donde aparece parte del sistema de fallas del borde llanero, a. Sector de la Q La Piñalerita, b. Sector de la Q La Pescana. ( <i>Modificado de INGEOMINAS, 1996</i> )	56
Figura 9. Mapa Geológico sintetizado y secciones estructurales del área de estudio. (Tomado de Piraquive A., 2011)	59

Figura 10. Secciones estructural del trazo de la sección A-A'. (Tomado de Piraquive A., 2011)	60
Figura 11. Secciones estructural del trazo de la sección C-C'. (Tomado de Piraquive A., 2011)	60
Figura 12. Leyenda explicativa para las figuras 7, 9, 10 y 11. (Tomado de Piraquive A., 2011)	61
Figura 13. Formación Carbonera, quebrada la Piñalerita, donde se observa la intercalación entre las arcillolitas y las areniscas. Azimut 25°.	63
Figura 14. Mapa Isocoro de la Formación Carbonera. (Tomado de Fajardo A., 2000).	64
Figura 15. Comportamiento estadístico de las facies de la Fm Carbonera Base (miembros C8 y parte C7).	66
Figura 16. Muestra (PIÑ-A-CAR 012-TG-UIS-076), Intercalaciones entre Arenisca Subarcosa y Limolita, según Folk (1974). Muestra de la Formación Carbonera (miembros C8 y parte C7), donde se muestran las variaciones faciales, (Anexo 7).	66
Figura 17. Ambiente en el que se depositó la Fm Carbonera según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004)	67
Figura 18. Contacto entre la Fm Mirador Superior y la Fm Mirador Inferior, quebrada la Piñalerita. Azimut 355°.	68
Figura 19. Mapa Isocoro de la formación Mirador. (Tomado de Fajardo A., 2000).	69
Figura 20. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Mirador.	71
Figura 21. Ambiente de depositación de la Fm Mirador según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004)	72
Figura 22. Formación Los Cuervos, quebrada la Piñalerita. Azimut 125°.	73
Figura 23. Mapa Isocoro de las Formaciones Los Cuervos y Barco. (Tomado de Fajardo A., 2000).	74

Figura 24. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Los Cuervos.	75
Figura 25. Ambiente de depositación de la Fm Los Cuervos según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004)	76
Figura 26. Muestra (PIÑ-A-BAR 004-TG-UIS-004), Arenisca- Cuarzo arenita, según Folk (1974). Muestra de la formación Barco con porosidad primaria intergranular de 15% a 20%, (Anexo 7).	77
Figura 27. Formación Barco, quebrada la Piñalerita. Azimut 340°.	77
Figura 28. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Barco.	79
Figura 29. Ichnofosiles: Pascichnia de tipo Planolites, de la Fm. Barco.	79
Figura 30. Ichnofosiles: domichnia de tipo thalassinoides, de La Fm. Barco	80
Figura 31. Ambiente de depositación de la Fm Barco. Cuervos según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004).	80
Figura 32. Formación Guadalupe, quebrada la Pescana donde se observa el plegamiento generado en el sinclinal del Porvenir, Azimut 100°.	82
Figura 33. Mapa Isocoro de la formación Guadalupe. (Tomado de Fajardo A., 2000).	82
Figura 34. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Guadalupe.	84
Figura 35. Ambiente de depositación de la Fm Guadalupe según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004).	84
Figura 36. Formación Gacheta, quebrada la Pescana donde se observa el plegamiento generado en el anticlinal de Monserrate, Azimut 95	86
Figura 37. Mapa Isocoro de la formación Gacheta. (Tomado de Fajardo A., 2000).	86
Figura 38. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Gacheta.	88

Figura 39. Ambiente de depositación de la Fm Gacheta, según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004).	88
Figura 40. Formación Une, quebrada la Pescana, donde se observa el plegamiento generado en el núcleo del anticlinal de Monserrate, Azimut 300°	89
Figura 41. Mapa Isocoro de la formación Une. Tomado de (Fajardo A., 2000).	90
Figura 42. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Une.	91
Figura 43. Ambiente de depositación de la Fm Une, según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004).	92
Figura 43. Se observa los ambientes deposicionales que están representados en un TST y como es la posición del nivel del mar. (Tomado de Ortiz, 2010).	94
Figura 44. Límite entre la Fm Carbonera Base (miembros C8 y parte C7) y la Fm Mirador en la quebrada la Piñalerita, el cual es una Superficie de Inundación y presenta la Formación Mirador suprayaciendo a la Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7) debido a que se encuentran en el núcleo del anticlinal de Tierranegra . Azimut 165°.	94
Figura 45. Se observa los ambientes deposicionales que están representados en un LST y como es la posición del nivel del mar. (Tomado de Ortiz, 2010).	96
Figura 46. Se observa los ambientes deposicionales que están representados en un HST y como es la posición del nivel del mar. (Tomado de Ortiz, 2010).	97
Figura 47. Límite entre la Fm Los Cuervos y la Fm Barco, quebrada la Piñalerita, el cual es una Superficie de Máxima Inundación. Azimut 320°.	98
Figura 48. Eventos Palinológicos para cada secuencia deposicional, con los cuales se pudo corroborar las inconformidades debido a la falta de registro y mostrar los eventos palinológicos representativos en cada secuencia deposicional. (Modificado de Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008))	103
Figura 49. Ciclos eustáticos globales del nivel relativo del mar durante el Cenomaniano al Mioceno Temprano. (Tomado de Vail et al., 1977).	105

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Evolución Geológica de la Cuenca de los Llanos Orientales.	52
Tabla 2. Facies encontradas en el área de estudio.	62

## **LISTA DE ANEXOS**

- Anexo A. Columna Tipo Sedimentaria encadenada a los HST, TST, LST, MFS. Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga, Casanare)
- Anexo B. Columna Tipo Sedimentaria encadenada a los HST, TST, LST, MFS. Quebrada La Pescana (Monterrey, Casanare)
- Anexo C. Mapa Geológico local Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga, Casanare)
- Anexo D. Mapa Geológico local Quebrada La Pescana (Monterrey, Casanare).
- Anexo E. Catálogo de Muestras Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga, Casanare)
- Anexo F. Catálogo de Muestras Quebrada La Pescana (Monterrey, Casanare)
- Anexo G. Catálogo de Secciones Delgadas de las Facies Representativas del Área de Estudio

## RESUMEN

TÍTULO: ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DE LAS UNIDADES AFLORANTES EN LAS QUEBRADAS LA PIÑALERITA (SABANALARGA) Y LA PESCANÁ (MONTERREY) CASANARE, COLOMBIA.1

AUTOR: SEBASTIAN AGUILAR RANGEL 2 \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Estratigrafía Secuencial, Facies, System Track, Cuenca de los Llanos Orientales, Paleogeografía.

### DESCRIPCIÓN:

En general, la interpretación de la secuencia SI (Cenomaniano al Santoniano), muestra la depositación de las formaciones Gacheta (con un ambiente depositacional de tipo Planicie Deltaica, Shoreface, Plataforma Marina Interna y Externa, estos ligados a HST) y Une (con ambientes de depositación de tipo litoral deltaico con influencia fluvial, este ligado al TST), las cuales en sus litologías arcillosas son una de las rocas fuente en la cuenca de los llanos orientales, la secuencia SII (Campaniano al Maastrichtiano Temprano) muestra que se depositó la formación Guadalupe con sus ambientes deposicionales de tipo Delta Estuarino y de Plataforma Somera, estos ligados a TST y HST, en sus areniscas continentales son uno de las principales rocas reservorios en la cuenca, en la secuencia SIII (Paleoceno), se depositaron las formaciones Barco (con ambientes deposicionales de tipo Canales Fluviales y Barreras Estuarinas, estos ligados a TST) y Los Cuervos (con un ambiente deposicional de tipo Llanura Costera, este ligado a HST), en sus litologías arcillosas representan una de las rocas fuentes en la cuenca de los llanos orientales y en sus areniscas continentales una de las principales rocas reservorios en la cuenca y la secuencia SIV (Eoceno al Mioceno Temprano) presenta la depositación de las formación Mirador con sus ambientes deposicionales de tipo Estuarios, Llanuras de Inundación y Canales Fluviales, estos ligados a TST y LST, en sus areniscas continentales uno de las principales rocas reservorios en la cuenca. Las arcillolitas de la formación Carbonera Base (miembro C8 y C7) en su ambiente de depositación (Lagunar Costero y de Bahías o Estuarios), estos ligados a TST, representan el sello que sobrepone a la Formación Mirador.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad De Ingenierías Físicoquímicas, Escuela De Geología, Director. Alberto Ortiz Fernandez Senior Consultant Geologist Geólogo Msc. Codirector Cesar Carlos Guerra Geocientista Senior

## ABSTRACT

**TITLE: SEQUENCE STRATIGRAPHY OF OUTCROPPING GEOLOGICAL UNITS ON LA PIÑALERITA AND LA PESCANA CREEKS, CASANARE, COLOMBIA\***

**AUTHOR: SEBASTIAN AGUILAR RANGEL\*\***

**KEYWORDS:** Sequence Stratigraphy, Facies, Track System, Eastern Llanos Basin, Palaeogeography.

### **DESCRIPTION:**

In general, the interpretation of the sequence SI (Cenomanian to Santonian) shows the deposition of Gacheta formations (with a type depositional environment Deltaic Plain, Shelf, Internal and External Platform Marina, these related to HST) and Une (with environments type of coastal deltaic deposition of fluvial-influenced, is connect with the TST), which in their clay lithologies are some of the source rock in the basin of the eastern plains, the seciencia SII (Campanian to Early Maastrichtian) shows that the deposit Guadalupe formation with their depositional environments of type Delta Estuary and shallow shelf, these related to TST and HST, in its continental sandstones are one of the main reservoir rocks in the basin, the SIII sequence (Paleocene) formations were deposited Boat (with type depositional environments Canals and Estuarine barriers, these related to TST) and Ravens (with a type depositional environment Coastal Plain, this bound HST) in its clay lithologies represent one of the source rocks in the basin the eastern plains and in the continental sandstones of the main reservoir rocks in the basin and the SIV sequence (Eocene to early Miocene) shows the deposition of the Mirador formation with type depositional environments of estuaries, floodplains and river channels, these associated with TST and LST, in its continental sandstones one of the main reservoir rocks in the basin and Carbonera The claystones of the formation (member C8 and C7) in depositional environment (Coastal Lagoons and Estuaries Bays or), these related to TST represent the label that overcomes Looked Train

---

\* \* Work Degree

\*\* Physicochemical Faculty of Engineering, School of Geology, Director. Ortiz Alberto Fernandez Senior Consultant Geologist Geologist MSc. Codirector Cesar Carlos Guerra Geocientista Senior

## INTRODUCCIÓN

Localizada en el Sureste de Colombia, la Cuenca de los Llanos Orientales hace parte de la provincia petrolífera más grande de Colombia, la cual ha ganado la atención especial de grandes empresas del sector de los hidrocarburos, dados los recientes descubrimientos de prospectos y objetivos, hacia la zona compleja estructuralmente hablando, el Piedemonte Llanero.

La Cuenca de los Llanos Orientales se encuentra localizada en la zona frontal de cabalgamiento de la Cordillera Oriental colombiana, (Martínez, 2006). Ubicada en las estribaciones de la cordillera, esta zona muestra características geomorfológicas muy diferentes que van desde montañas muy altas exhibiendo el frente de deformación donde se desarrollaron estructuras como pliegues y fallas, hasta colinas bajas correspondientes a la cuenca de los Llanos Orientales la cual es catalogada como foreland o de antepaís.

En este trabajo se interpreta las secuencias deposicionales en la Cuenca de los Llanos Orientales para las unidades aflorantes en el área de estudio, las cuales han sido controladas principalmente por los cambios eustáticos del nivel del mar, el tectonismo y el aporte de sedimentos, estos controles han hecho que la secuencia haya experimentado variaciones faciales que indican la alternancia de ambientes continentales, transicionales y marinos, que resultaron durante eventos regresivos y transgresivos.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cuenca de antepaís “llanos orientales”, es la más grande (con un área que se extiende a los 96000 km<sup>2</sup>) e importante de Colombia, ya que produce la mayor cantidad de hidrocarburos (aproximadamente 425.231 BPD y en un 66,45% en la producción total del país) (ANH, 2009). Sin embargo, no se tiene los suficientes estudios de cómo fueron los estadios de los ciclos eustáticos en el momento de la formación y posterior acumulación de los sedimentos. En general la estratigrafía de secuencias en dicha cuenca sedimentaria puede reducir costos y evitar pérdidas de tiempo a la hora de realizar las campañas exhaustivas que al final no generan los objetivos anhelados, a partir de esta herramienta es posible predecir de forma acertada los mejores sitios para realizar pozos estratigráficos de interés económico, y en estos tiempos que se están buscando hidrocarburos en periodos y lugares que antiguamente no se tenían en cuenta, esta puede ser una herramienta que reduciría la incertidumbre en la nueva labor que se aproxima.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

La estratigrafía de secuencias es una herramienta de la geología que permite reconocer la calidad de algunos componentes de un sistema petrolífero, ya que podemos relacionar la posición relativa del nivel del mar a la hora de la depositación de los diferentes componentes de dicho sistema y mejorar el conocimiento sobre aspectos claves en el momento de hacer referencia a la calidad de generación de hidrocarburos en una cuenca sedimentaria como lo son la roca generadora, la roca sello, la roca reservorio y las condiciones de depositación de materia orgánica. Teniendo en cuenta que la cuenca de los Llanos Orientales es una de las provincias petrolíferas de Colombia se hace necesario complementar el estudio que se tiene de esta cuenca determinando las secuencias estratigráficas en la misma.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar el levantamiento de la columna tipo sedimentaria a escala 1:10, la recopilación bibliográfica y la utilización de las diferentes herramientas de la estratigrafía de secuencias, reconstruyendo las secuencias estratigráficas a partir de los sistemas deposicionales encadenados (HST, TST, LST) en la quebrada la Piñalerita (Sabanalarga), y la quebrada la Pescana (Monterrey), Casanare, Colombia.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Reconocer las formaciones, discordancias e inconformidades geológicas, por medio del levantamiento de la columna tipo sedimentaria mediante una cartografía detallada a escala 1:25.000.
- Reconstruir los sistemas deposicionales. (Sistemas encadenados, HST, TST, LST), basados en las facies y ambientes del área de estudio
- Determinar los límites de secuencias en el área de estudio a partir de los datos tomados en campo y apoyados en la revisión bibliográfica.
- Identificar las secuencias estratigráficas para el área de estudio.

## 4. GENERALIDADES

### 4.1. LOCALIZACIÓN Y ACCESO

El área de estudio comprende dos quebradas La Piñalerita y La Pescana ubicadas en los municipios de Sabanalarga y Monterrey respectivamente, en el departamento de Casanare; geográficamente en la Cuenca de los Llanos Orientales Colombianos (ver figura 1).

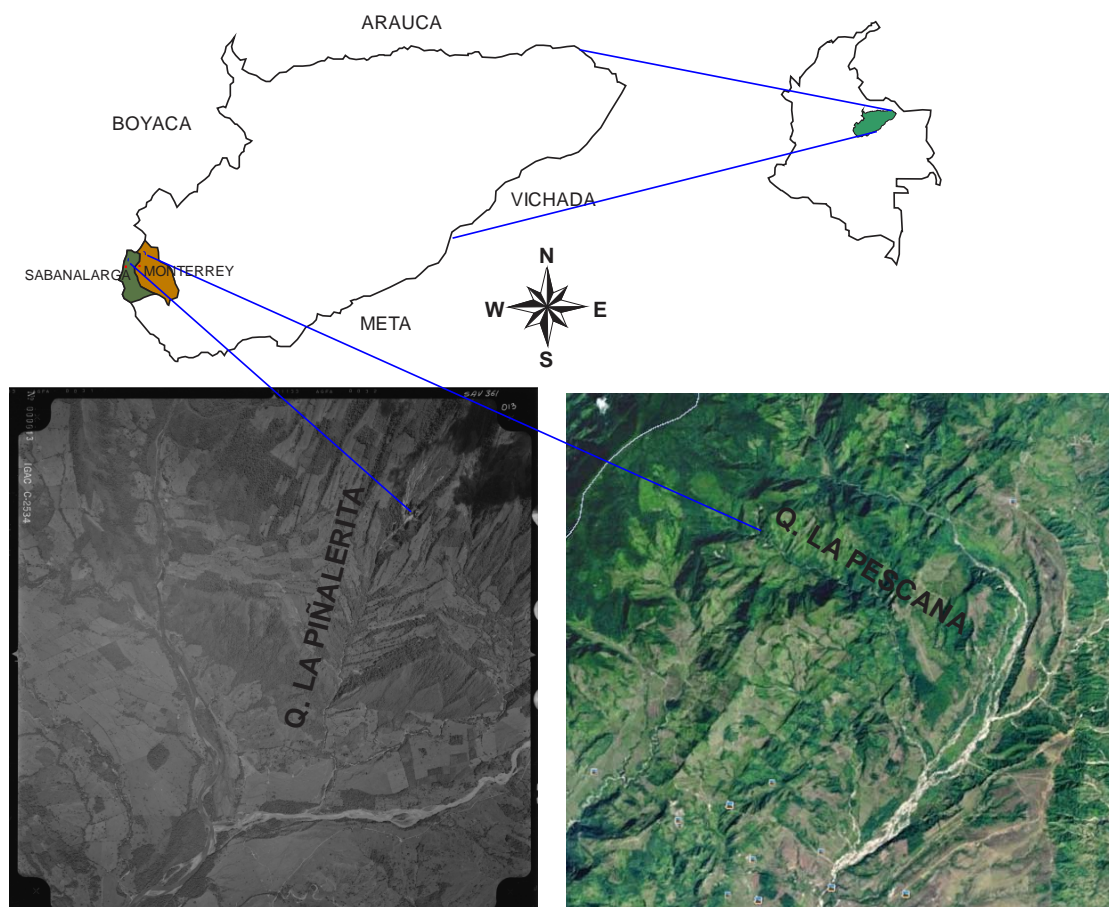


Figura 1. Localización de las zonas de estudio, Quebradas La Piñalerita y La Pescana; modificado de la foto aérea 013 IGAC C-2534 y de Google earth.

Para acceder a la Quebrada La Piñalerita se tomó la vía destapada que sale del municipio de Sabanalarga atravesando las Veredas San Antonio y La Piñalera para luego tomar el cauce de la quebrada; para acceder a la Quebrada La Pescana se tomó la vía destapada que sale del municipio de Monterrey atravesando las Veredas de La Tigrana, Guadualito y Guayabal hasta encontrar el cauce de la quebrada; las quebradas se cartografiaron hasta donde la topografía permitió el acceso.

#### **4.2. HIDROGEOLOGIA**

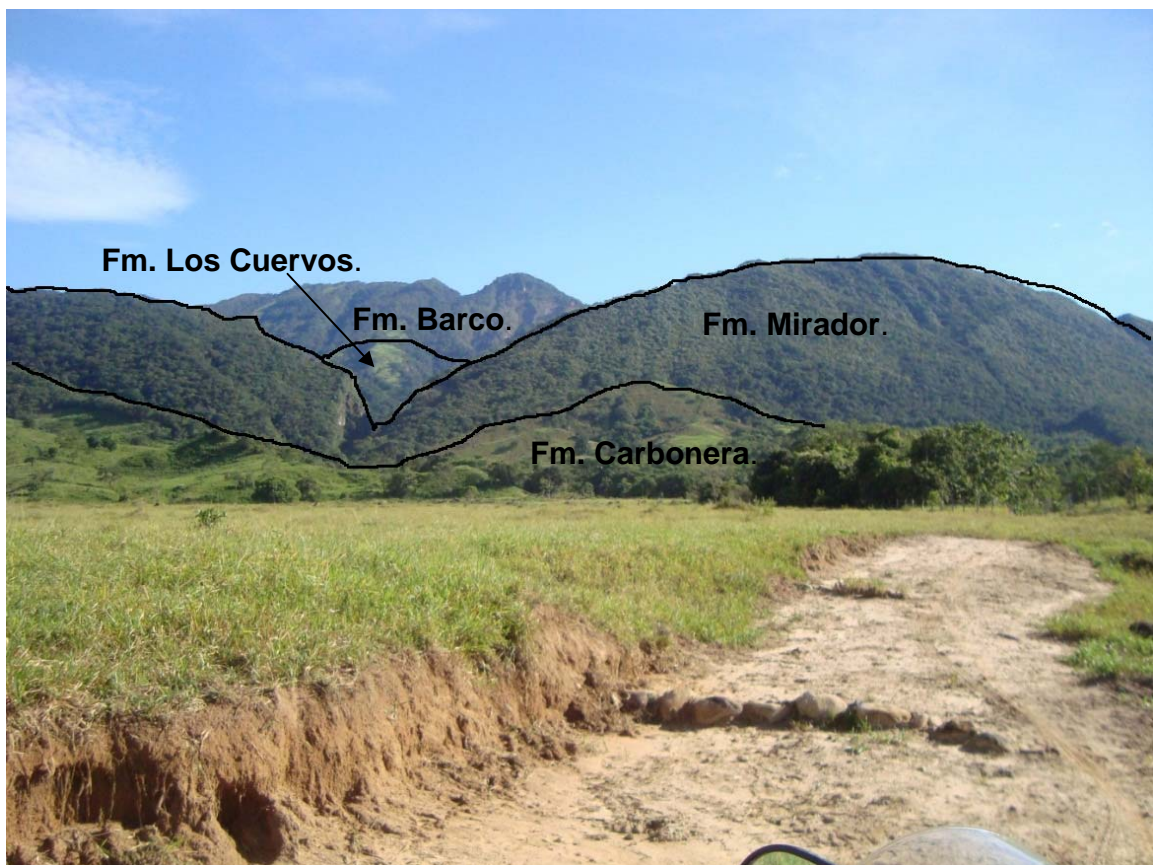
Las principales corrientes hídricas de las zonas de estudio son los ríos Upía vertiente de la quebrada La Piñalerita y Túa vertiente de la quebrada La Pescana, quienes a su vez son afluentes del río Meta que hace parte de la cuenca hidrográfica del Orinoco.

El río Meta nace en la Cordillera Oriental de los Andes en el departamento del Meta; bañando la cuenca de los Llanos Orientales en dirección noreste, convirtiéndose en el límite natural entre varios departamentos entre los cuales están Meta y Casanare, tramo en el que recibe al río Upía y Túa entre otros.

#### **4.3. FISIOGRAFÍA Y CLIMA.**

Las zonas de estudio se caracterizan por presentar variedad en la topografía (ver figuras 2 y 3) observándose zonas de planicie con alturas de 200 metros seguidas de zonas con pendientes abruptas de hasta 1500 metros de altura sobre el nivel del mar, todo esto debido a que se encuentran en el Piedemonte llanero, en el paso de la Cuenca de los Llanos Orientales a la Cordillera Oriental, donde se han dado eventos compresivos que llevaron a dichos levantamientos. En la zona se

presenta clima boscoso húmedo tropical con altas temperaturas que están alrededor de 28 °C; sin embargo hacia las partes más altas, hacia el nacimiento de las quebradas se pueden presentar temperaturas hasta de 15 °C especialmente en las noches (tomado de <http://www.sabanalarga-casanare.gov.co>. y <http://www.monterrey-casanare.gov.co>)



**Figura 2. Panorámica en la que se observa las Formación Barco suprayaciendo a la Formación Los Cuervos, la Formación Los Cuervos suprayaciendo a la Formación Mirador y la Formación Mirador suprayaciendo a la Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7). las cuales se encuentran en esa disposición debido a que se encuentran en el núcleo del anticlinal de Tierranegra y disectan en la quebrada la Piñalerita (Sabalarga). Azimut 100.**



**Figura 3. Panorámica de la Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga) ubicados hacia el nacimiento de la quebrada, en la parte superior derecha el Rio Upía y las planicies que lo rodean. Azimut 260**

## **5. METODOLOGÍA**

El trabajo consistió en tres fases: la primera fase se centró en recolectar el material bibliográfico para esta zona. La segunda fase hace referencia a las actividades de campo las cuales se realizaron en dos quebradas (La Piñalerita (Sabanalarga y La Pescana (Monterrey), Casanare), en donde se hizo una cartografía geológica en detalle a escala 1:25.000 (recolectando las muestras que mejor describían los afloramientos estudiados) y a su vez el levantamiento de la columna tipo de las unidades aflorantes en dichas quebradas a escala 1:10, y la tercera fase consistió en el trabajo de oficina donde se digitalizaron las dos columnas tipo sedimentarias, se realizaron los dos catálogos de las muestras recolectadas, se realizó el catálogo de las secciones delgadas y se culminó realizando todos los objetivos planteados a cabalidad.

### **5.1. RECOPIACIÓN DEL MATERIAL BIBLIOGRÁFICO**

La adquisición del material se realizó mediante dos formas. La primera fue consultando en medio físico los diferentes trabajos del área de estudio en la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander y la Biblioteca de Escuela de Geología. La segunda forma fue mediante la Web, consultando las bases de datos que ofrecen la ANH, INGEOMINAS y la Universidad.

### **5.2. TRABAJO DE CAMPO**

**5.2.1. Cartografía geológica detallada.** En las dos quebradas se realizó una cartografía en detalle, sobre las planchas topográficas (229-II-B para la Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga, Casanare), 230-I-A y 210-IV-D para la Quebrada La Pescana (Monterrey, Casanare)) a escala 1:25000, modificadas por el autor,

donde se reconocieron y se delimitaron las formaciones aflorantes (determinando los contactos, las inconformidades y discordancias geológicas) en dichas quebradas, con la asesoría inmediata del Sénior Consultan Geologist M.Sc Alberto Ortiz Fernández y la supervisión del Geocientista sénior Cesar Carlos Guerra.

Las labores comenzaron identificando las quebradas y las vías de acceso mediante fotogeología, ya en campo, el trabajo inició en la parte más alta de la quebrada, hasta donde la topografía dejó, lo que permitió comenzar el trabajo en el orden estratigráfico correcto debido a que en la Quebrada la Piñalerita las unidades se encuentran invertidas por procesos estructurales.

Sobre los recorridos se hicieron estaciones de campo (figura 4), en sitios donde se reconocía un nuevo espesor para el caso de las mismas formaciones y también en lugares donde se reconocía un cambio litológico en el caso que se encontrara una nueva formación, que para las áreas de estudio fueron las siguientes: Formaciones Une, Gacheta, Guadalupe, Barco, Los Cuervos, Mirador y la base de la Formación Carbonera (miembros C8 y parte C7); estas estaciones se localizaban con la ayuda del GPS y se hizo las descripciones de los afloramientos teniendo en cuenta el tipo de litología, espesor, rasgos geológicos y datos que sirvieron para la identificación de ambientes sedimentarios (tipo de estratificación, texturas y armazón de las rocas, granulometría y en ocasiones identificación de fósiles), recolectando las muestras más representativas de cada afloramiento. Todos estos datos se registraron en una libreta de campo.



**Figura 4. Estación 16 de campo, Formación Carbonera. Quebrada La Piñalerita.**

**5.2.2. Levantamiento de columna tipo sedimentaria.** Junto con la cartografía en detalle, se realizó el levantamiento de las dos columnas tipo sedimentarias a escala 1:10 (figura 5), una en la Quebradas La Piñalerita (Sabanalarga, Casanare) con 566,45 metros de espesor donde se encontraron la Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte de C7), la Formación Mirador, la Formación Los Cuervos y la Formación Barco; y la segunda en la Quebrada La Pescana (Monterrey, Casanare) con 696,7 metros de espesor, donde se encontraron las Formación Guadalupe, Formación Gacheta y la Formación Une. Este trabajo consistió en los siguientes pasos: en primer lugar se tomaron los datos en campo acorde al formato anexos 1 y 2 (realizado en conjunto por el autor y los directores de tesis). En segundo lugar se realizó una descripción, de las muestras recolectadas en campo, con la ayuda de un estereomicroscopio y por último se le añadió a la columna, datos de la estratigrafía de secuencias, como son la relación

de la posición relativa del nivel del mar con las formaciones encontradas, las discordancias e inconformidades que sirvieron para identificar los límites de las secuencias estratigráficas.



**Figura 5. Estación 24 quebrada la Piñalerita, mostrando el engrosamiento hacia el techo y la somerización en una sección de la Formación Mirador. Levantamiento de la columna.**

### **5.3. TRABAJO DE OFICINA**

En esta fase del trabajo se digitalizaron las dos columnas tipo sedimentarias de las quebradas, se realizaron los catálogos de las muestras recolectadas en campo, el catálogo de las secciones delgadas, los mapas geológicos de las quebradas,

resultados que se encuentran en los anexos, y posterior integración de todos los datos para la obtención de los objetivos plateados.

Para identificar las secuencias estratigráficas en las unidades aflorantes en el área de estudio en primer lugar se determinaron los ambientes deposicionales en las Formaciones Une, Gacheta, Guadalupe, Barco, Los Cuervos, Mirador y la base de la Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7)., basados en la descripción de las muestras de mano y de sección delgada, la interpretación de las columnas tipo levantadas, en características encontradas en la cartografía tales como tipo de estratificación, texturas y armazón de las rocas, granulometría y en ocasiones identificación de fósiles, junto al análisis estadístico de las facies para cada formación; en segundo lugar se relacionaron los ambientes encontrados con la posición relativa del nivel del mar para identificar en que parte del system track se encontraba cada una de las formaciones; en tercer lugar se reconocieron los límites de las secuencias acorde a inconformidades y discordancias citadas en anteriores investigaciones (Fajardo, 2000; Ecopetrol y otros, 1995).

## **6. MARCO GEOLÓGICO GENERAL**

### **6.1. ANTECEDENTES**

#### **INGEOMINAS., 1975**

Propone la creación de seis nueva unidades estratigráficas que corresponden a 1) Formación Batá, de edad Rhético-Liásico, 2) Las Calizas del Guavio, Titoniano-Berriasino Superior, 3) Lutitas de Macanal, Berriasiano-Valanginiano, 4) Areniscas de Las Juntas, Hauteriviano, 5) Grupo Palmichal, Cretáceo Superior, y 6) Formación Corneta, Pleistoceno Superior, la Cordillera Oriental, en el área de este trabajo, está constituida por cuatro regiones estructurales.

#### **INGEOMINAS., 1976**

Describe las unidades según la cuenca y las correlaciona, para la cuenca del Borde Llanero desde la más antigua a la más joven Grupo Palmichal que la correlaciona con Las Formaciones Guadalupe y Guaduas de La Sabana de Bogotá, Formación Arcillas De El Limbo correlacionada con la Formación Los Cuervos para las petroleras, Formación Areniscas de El Limbo correlacionada con la Formación Mirador de la Cuenca de Maracaibo, Formación San Fernando correlacionada con las Formaciones León y Carbonera de la cuenca de Maracaibo, Formación Diablo correlacionada con la Formación Guayabo de la cuenca de Maracaibo entre otras , Formación Caja equivale a la parte superior de la Formación Chapal y Formación Corneta corresponde a la parte superior del Grupo Medina de Segovia.

**Ulloa C., Caro P., Pérez V., Rincón G., Pérez G., 1985**

A lo largo de la sección Bogotá – Villavicencio se observa una serie de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, que hacen parte de la estratigrafía del área de la Sabana de Bogotá, Farallones, Quetáme y las estribaciones de los Llanos. Estas áreas presentan las siguientes características, rasgos estructurales: la Sabana de Bogotá es un área firme con largos pliegues; los Farallones están afectados hacia su centro por fallamiento en bloques, y hacia el Este y Oeste predominan bordes de fallas normales y de cabalgamiento.

En las estribaciones de los llanos, los pliegues son cortos y estrechos, cortados por fallas normales y strike-slip paralelas al eje del pliegue, en esta área se producen varios fallamientos mostrando actividad neotectónica. En el área de las estribaciones de los Llanos los afloramientos de las unidades, Grupo Palmichal, Arcillolitas del Limbo, Areniscas del Limbo, Formación San Fernando, Areniscas de Diablo, formación Corneta y Depósitos Cuaternarios incluyendo el abanico de Villavicencio, terrazas y aluviales recientes. **Grupo Palmichal (TKp)**: en el área de Villavicencio-Acacias, la base de la unidad es cuarzosa, contiene arenisca de grano fino a grueso, con horizontes impregnados de fosfatos y asfalto; los miembros arenosos superiores C y E, son cuarzosos, de grano fino a grueso, masivos, con areniscas blancas amarillentas con impregnaciones de asfalto; el horizonte arenoso con laminación ondulada cruzada y la frecuente presencia de fósiles. La secuencia B y D son shale gris oscuro y mudstones con delgadas capas de arenisca. La edad no está bien determinada paleontológicamente y a través de la correlación y posición estratigráfica podría ser considerado Coniaciano – Paleoceno, la parte superior se correlaciona con El Morro de Arenisca y la Formación Barco. **Arcillolitas de El Limbo (Tarl)**: Presenta arcillolita gris verdosa intercalada con arenisca cuarzosa de unos pocos metros de espesor; la edad de la formación es considerada del Paleoceno dada por Van Der Hammen, T (1957b), se observa superponiendo concordantemente al Grupo Palmichal. **Areniscas de El Limbo (Teal)**: Se compone de areniscas blancas,

cuarzosas, intercaladas con lentes de Chert y cuarzo conglomeráticos, con impregnación de asfalto, la unidad se superpone discordantemente a las Arcillolitas de El Limbo y su edad, basados en los estudios paleontológicos como del Eoceno Tardío dada por Duque, H.; formación que podría estar correlacionada con las Formaciones Mirador y Regadera. **Formación San Fernando (Tsf):** compuesta de arcillolitas y mudstones verdosas, color rojo por meteorización, con intercalaciones arcillosas y areniscas de grano fino en capas de pocos metros de espesor, se observa que suprayace concordantemente las Areniscas de El Limbo y su edad fue determinada como del Oligoceno-Mioceno Temprano; se correlaciona con la Formación Carbonera. **Formación El Diablo (Tmd):** Secuencia de 8 a 10 metros de arenisca cuarzosa de grano fino a medio separada por series de 20 a 30 metros de arcillolita gris y mudstones, con color rojo por meteorización, la unidad Suprayace concordantemente a la Formación San Fernando, su edad es del Mioceno Temprano a Medio. **Formación La Corneta (Otlc):** Son un conjunto de conglomerados compuestos por cantos rodados, guijarros y gravas, de areniscas y mudstones dentro de una matriz de arena arcillosa, formando una morfología de colina, la unidad está en contacto fallado con formaciones del Cretáceo y terrazas subyacentes al Piedemonte, su edad es considerada del Plioceno-Pleistoceno, basado en su posición estratigráfica.

Las estribaciones de los Llanos Orientales están limitados al oeste por la falla El Mirador y al este por la Falla Cola de Pato ambos son cabalgamientos, la sección localizada entre Villavicencio – Acacias en la zona fronteriza de los Llanos, se caracteriza por tener estructuras anticlinales y sinclinales con dirección N-S limitados por fallas paralelas a los ejes de las estructuras.

### **Cooper et al., 1995**

La cuenca de los Llanos Orientales se ubica al oriente de la Cordillera Oriental en el nororiente de Colombia, su desarrollo comenzó con una megasecuencia de

Synrift Triásica-Jurásica relacionada con la separación de Norte y Suramérica en el Caribe, su desarrollo continuó durante el Cretácico con una secuencia de Back-arc en frente de la zona de subducción de los Andes; la sedimentación marina terminó abruptamente durante el Maestrichtiano temprano debido a la acreción final de la Cordillera Occidental.

La acreción de la Cordillera Occidental dio origen a una megasecuencia pre-andina de antepaís (Paleoceno-Mioceno Inferior) la cual cubrió el valle del Magdalena, La Cordillera Oriental y la cuenca de los Llanos Orientales. Esta megasecuencia está dominada por sedimentos fluvio-deltaicos. La megasecuencia andina de antepaís suprayacente comenzó con la deformación de la cordillera central y el Valle del Magdalena. La megasecuencia andina de antepaís también incluye la Formación Guayabo la cual es una clásica molasa proveniente de la erosión de la naciente Cordillera Oriental a medida que la deformación se movió hacia el este en el piedemonte de los llanos. La deformación en el piedemonte llanero en una combinación de inversión de las fallas extensionales preexistentes y cabalgamientos de escamación delgada.

La historia tectónica de la región registra una fase inicial localizada en un Rifting Triásico-Jurásico seguido por una cuenca de Back-arc del Cretáceo Temprano que se convirtió en menos activa durante el Cretáceo Medio. En el Cretáceo Tardío la colisión de la Cordillera Occidental inició la cuenca antepaís, megasecuencia que predomina hasta el presente.

La evolución tectónica ha influenciado fuertemente el desarrollo estratigráfico de la cuenca. La megasecuencia de back-arc se caracteriza por estratos marinos que están en la cuenca más hacia el oeste. Los eventos de colisión en el Cretáceo Tardío restablecieron la plataforma continental y costera. Al oeste de estas estructuras está el mayor sinclinal regional. Los miembros occidentales de los sinclinales son elevados por una serie de estructuras que involucran a las

secuencias sedimentarias del Cretáceo Superior y el Terciario Inferior. Estas estructuras se pueden modelar como una serie de basamentos involucrados o de cobertura (sobre el basamento) (Gacheta Shale K60 despegue) cabalgamientos dúplex, en gran parte basadas en la evidencia de la repetición de la falla en el Pozo Mirador El Morro-1. El reciente trabajo de Dengo y Covey (1993) es la ausencia de inversión en el sistema de fallas de basamento aplicado a Cusiana-Yopal. Ambientes de toda la cuenca el pre-andino de la cuenca de antepaís megasecuencia que muestra los patrones cíclicos de sedimentación con la alternancia continental, llanura costera y ambientes marginales marinos, esto se interpreta como el resultado de la alta penillanura del interior escudo de la Guayana, que tenía un bajo paleo-gradiente y por tanto susceptible a inundaciones y regresiones rápidas; a su vez permitió la rápida migración de los cinturones de facies dentro de la extensión del sistema. La principal fase de deformación Andina causó inversión de las fallas preexistentes y estructuras de cabalgamiento sobre el basamento.

### **Fajardo A., 2000**

Durante el Cenomaniano a Coniaciano se depositaron areniscas cuarzosas con delgadas intercalaciones lodosas de la Formación Une; hacia la base predomina un ambiente de canales fluviales entrelazados y hacia el tope se pasa a un ambiente transicional de bahías o estuarios, interpretada esta transición como un evento transgresivo o de aumento de A/S que finalizó en una superficie de inundación en el área de estudio, sobre la superficie de inundación (máximo en A/S) se depositaron Lodolitas con intercalaciones arenosas de la Formación Gachetá en un ambiente de plataforma marina en la mayor parte de la cuenca y transicional de bahías o estuarios o marino restringido hacia el sur (área del Meta) y el oriente de la cuenca. Los estratos de esta formación corresponden a un evento progradacional o de disminución en la en la relación A/S desarrollado durante Coniaciano a Santoniano. Finalizando con exposición subaérea e incisión de valles cuyo registro es una superficie de inconformidad presente en la cuenca

de los llanos orientales. Durante el Campaniano se depositaron areniscas con intercalaciones de la formación Guadalupe. La parte basal corresponde a canales y rellenos de estuarios depositados durante un aumento en A/S. el máximo en A/S (superficie de inundación) coincide con un cambio paleográfico que origina un ambiente marino en la cuenca de los llanos sobre la que se depositan areniscas de shoreface o frente deltáico y Lodolitas de plataformas, de la parte media del Guadalupe. Durante un hemicycle de disminución en A/S. el evento progradacional finaliza en una superficie de inconformidad. Sobre la superficie de inconformidad intra-Guadalupe se depositan areniscas de canales estuarinos sobreyacidas por areniscas por areniscas y Lodolitas de relleno de estuarios y finalmente por Lodolitas de plataforma marina durante un aumento en A/S. sobre la superficie de inconformidad al tope del Cretáceo se depositaron areniscas con intercalaciones lodosas de las Formaciones Barco-Los Cuervos durante el Paleozoico tardío. La formación Barco está constituida por areniscas por areniscas depositadas en canales fluviales y estuarinos, corresponde a un evento gradacional desarrollado durante un aumento en la relación A/S. La formación Los Cuervos se depositó en un ambiente de llanura fluvial o llanura costera superior. La aparición de rocas del Paleoceno se restringe al sector occidental de la cuenca. Durante el Eoceno temprano y medio el área de estudio está sujeta a exposición subaérea y erosión desarrollándose una superficie de inconformidad sobre la cual se depositaron primero areniscas cuarzosas y luego Lodolitas de la Formación Mirador (Eoceno tardío) en un ambiente que cambia de fluvial a transicional (estuarios-bahías). El tope de la Formación Mirador se define en una superficie de inundación que marca la finalización de un evento transgresivo o de aumento en A/S. La Formación Mirador representa el relleno de un valle de incisión. Durante el Oligoceno a Mioceno temprano se depositaron intercalaciones de Arcillolita, Limolita y arenisca de la Formación Carbonera. Se reconocen depósitos de canales fluviales y canales estuarinos, depósitos de areniscas progradantes en llanuras de inundación o en bahías/estuarios y Lodolitas de llanura de inundación, lagos, bahías o estuarios. Se interpreta en el sector sur (Meta) y oriental de la cuenca,

los ambientes son predominantemente continentales y que hacia el norte y a occidente pasan a ser predominantemente transicionales. En la Formación Carbonera se identificaron cinco ciclos estratigráficos en donde los hem Ciclos de disminución A/S o eventos progradacionales corresponden a las unidades pares (C2, C4, C6, C8 y C10) y los hem Ciclos de aumento en A/S o eventos agradacionales y retrogradacionales corresponden a las unidades impares (C1, C3, C5, C7 y C9); la Formación Carbonera finaliza con un evento máximo A/S, el cual ocasiono la aparición de un cuerpo de agua que cubrió gran parte de la cuenca de los Llanos durante el Mioceno Medio. Las areniscas de las Formaciones Une, Gachetá, Guadalupe, Barco y Mirador y de las unidades C7 y C1 de la Formación Carbonera conforman intervalos de areniscas de buena continuidad lateral, hacia el sureste de la cuenca y ocasionalmente hacia el norte las areniscas de las diferentes formaciones se amalgaman por lo tanto la configuración de trampas netamente estratigráficas es poco factible para estas formaciones, se requiere de una componente estructural para la configuración de una trampa. Las unidades C5 y C3 de la Formación Carbonera, contienen en algunos sectores de la cuenca canales fluviales o estuarios de poca continuidad lateral los cuales pueden constituir trampas estratigráficas.

### **Martínez A., 2006**

El Piedemonte Llanero ubicado en la zona de empuje frontal de la Cordillera Oriental, ha sido estudiado por la British Petroleum desde 1988 (Martínez A., 2006), quienes han descubierto variedad de campos con hidrocarburo (aceite, condensado o gas), donde la roca reservorio está conformada por cuarzo-arenitas muy compactas. El estilo y complejidad estructural de los pliegues y fallas, el cambio de las capas tiende a ser desde estructuras simples hasta imbricaciones de cinco hojas en una zona de triangulo. La pobre calidad de los registros sísmicos en ambientes altamente complejos, genera gran dificultad a la hora de llevar a cabo la interpretación, la adquisición continua de datos permite la evolución de los modelos estructurales. El modelo estructural inicial requerido para

la inversión de la cuenca y el fin de la orogenia andina. El concepto de deformación temprana y múltiples fases se ha introducido, las tres principales fases se distinguen: 1) un evento temprano durante la depositación de la Baja Carbonera (39-29 M.a.), con incipientes estructuras formadas en depósitos sintectónicos, 2) un fase de subsidencia que incrementó notablemente a finales del periodo (29-7 M.a.), 3) la última fase (7-0 M.a.), cuando ocurrió la mayor deformación. La migración de los hidrocarburos ocurrió simultáneamente con la deformación y la distribución final, cantidad y variación en composición está relacionado con la evolución estructural del área,

**García D., Barrios W., Rubiano J., Caro M., 2006**

La calidad del petróleo en gran parte afecta las decisiones en exploración y producción, especialmente en las áreas geológicamente complejas, donde la exploración es altamente riesgosa debido a la baja resolución sísmica, objetivos más profundos y ajustes estructurales muy complejos.

Basados en la geología, geomecánica y datos de PVT de 35 yacimientos petrolíferos; localizados en la parte central de la cuenca foreland y en los dominios de las estribaciones de la cuenca de los Llanos Orientales en Colombia.

En el presente artículo se propone un modelo de cambio y modificación de petróleo; el cual identifica y ordena cronológicamente el proceso principal responsable de la compleja distribución de las propiedades del petróleo (API y GOR) dentro de la cuenca. Aproximadamente 150 ejemplos de petróleo y gas fueron colectados y analizados geoquímicamente. Se separó el crudo usando líquido cromatográfico, en ácidos grasos saturados, aromáticos y NSO compuestos y GC/MS que se realizó en todas las fracciones saturadas y en las fracciones de aromáticos de algunos ejemplos seleccionados. La biodegradación y la mezcla de petróleo son el principal control de las propiedades físicas de los fluidos del reservorio en la parte central de la cuenca de los Llanos. El grado de

degradación parece ser el principal control de los grados API en el estudio del área. Ejemplos no biodegradados desde ambas familias marinas y terrestres, evaluaciones originales de los grados API muestran rangos entre 30-40° como se puede observar hacia el norte en los dominios de las estribaciones y la cuenca foreland.

En efecto casi todo el aceite Cretáceo marino muestra algún nivel de biodegradación, probablemente llegó antes de la deformación de la cuenca en el Mioceno. Este proceso de paleo-biodegradación afectó solo el grupo marino especialmente en la parte sur de la cuenca donde los grados API llegan hasta los 20°. Los altos valores de GOR (> 12000) son característicos del grupo de aceite Terciario terrestre como se observa al norte de las estribaciones. El petróleo degradado y no degradado del grupo marino tiene bajos valores de GOR (<6000), sin embargo cerca de las estribaciones los fluidos incrementan drásticamente el GOR debido a la mezcla efecto de la migración del aceite desde el oeste.

#### **Dueñas H., Van der Hammen T., 2007**

El estudio reciente de la Palinología en sedimentos de la Formación Diablo Inferior indican que se depositaron en ambientes fluviales de alta energía durante la edad Mioceno Tardío y según sus asociaciones palinológicas, se caracterizan por la presencia de palinomorfos redepositados provenientes del Mioceno Temprano, Oligoceno, Eoceno Tardío, Paleoceno, y varios niveles del cretácico; los sedimentos que conforman la formación Diablo Inferior según dichos estudios son el resultado de un intenso periodo erosivo en la Cordillera Oriental durante la fase inicial de la orogenia andina. Por otro lado los sedimentos de la formación San Fernando Superior se depositaron en mares someros durante el Mioceno Medio, los cuales ocupaban la mayor parte de las cuencas de los Llanos Orientales, Maracaibo, de Barinas-Apure y transgredieron hacia el sur influenciando la parte más occidental de la Cuenca Amazónica.

**Cuartas C., Jaramillo C., Arjona A., Da Silva S., 2008**

Actualmente no se tiene claridad de la cantidad y calidad de la información palinológica producida en Colombia, evaluando información de diversas fuentes y filtrando según su importancia y calidad bioestratigráfica, para luego actualizarla taxonómicamente, para luego realizar una zonación bioestratigráfica. El 5% de los pozos tienen estudio palinológico y la mayoría están en la cuenca de los Llanos Orientales, la industria requiere muestreos de 30 pies/muestra. Menos del 10% de información proviene de núcleos o secciones de superficie, la gran mayoría proviene de ripios, siete cuencas sedimentarias de Colombia poseen la información necesaria para el análisis bioestratigráfico cuantitativo, Llanos, Valle Medio y Superior del Magdalena, Cordillera Oriental, Catatumbo, Caguan Putumayo y Guajira.

**Vargas C., 2009**

Nuevos Aportes a la estimación del potencial de hidrocarburos en Colombia; hace una evaluación acerca de los estudios realizados en todas las cuencas sedimentarias de Colombia, referentes al potencial de hidrocarburo convencional, mostrando los rasgos sobresalientes de cada una de ellas, su potencial de acuerdo a aproximaciones probabilísticas, lo que concluye con unos resultados en OOIP para los percentiles P10-P90 de 1.368.621,4 – 569.024 MBPE, dando un promedio de 930.758,8 MBPE, proponiendo riesgos geológicos máximo del 30% y un factor de recobro máximo de 20%, lo cual finalmente sugiere un recurso prospectivo recuperable de 82.117,3 a 34.141,5 MBPE.

**García M., Mier R., Cruz L., Vásquez M., 2009**

Muestran los Sistemas petrolíferos de las cuencas colombianas junto a modelos geoquímicos 1D, con información estratigráfica y geoquímica, elaboran cuadros de eventos de los sistemas petrolíferos basados en la información de los modelos; identificando rocas fuente, reservorio, sello, contenido promedio de porcentaje de carbono orgánico total (TOC), índice de hidrógeno (HI), reflectancia de vitrinita

(Ro), espesor promedio de la formación generadora y extensión de la cocina de hidrocarburos, basados en los datos de Organic Geochemistry Atlas of Colombia (2009). Para el caso de las formaciones aflorantes en el área de estudio Formaciones Gacheta y Barco se consideran Generadoras, las Formaciones Mirador, Barco y Carbonera son reservorio y Las Formaciones Carbonera y Guadalupe se consideran sello. Eso para la cuenca de los Llanos, la Formación Barco también aparece para la Cuenca del Catatumbo como reservorio y la Formación Los Cuervos como sello para la misma cuenca, la Formación Une aparece como roca generadora para la Cuenca de la Cordillera Oriental.

**Parra M., Mora A., Jaramillo C., Torres V., Zeilinger G., Manfred R. Strecker., 2010**

Con el fin de evaluar la relación entre esfuerzos de cabalgamientos y evolución de facies sedimentarias, este artículo analizó la progradación en el sistema de la cuenca de antepaís retro-arco del norte de los Andes colombianos, comparando la distribución de las facies sedimentarias observadas en el cálculo unidimensional 1 D, de las tasas de acumulación de sedimentos desde el Eoceno hasta el Cuaternario en la parte superior de la cuenca de Medina con un cálculo tridimensional 3D basado en la interpretación de aproximadamente 1800 Km de perfiles sísmicos y datos de pozos. Desde una nueva cronología basada en un amplio estudio palinológico de fósiles se encuentran contrastes de edad. Los datos sedimentológicos de la cuenca de Medina revelan una rápida acumulación de sedimentos fluviales y lacustres, con tasas por encima de  $500 \text{ m my}^{-1}$ , durante el Mioceno. Basados en datos provenientes de petrografía y paleo corrientes, que revelan que los sistemas fluviales del Mioceno fueron de origen del Cretáceo Superior y Paleoceno, unidades expuestas en la Cordillera Oriental. Las velocidades de sedimentos acumulados en la parte superior de la Formación Carbonera y el Grupo Guayabo de grano grueso, ocurrieron durante episodios de facies progradantes en el Mioceno temprano y tardío, se interpretaron correlaciones entre sedimentos acumulados de gravas secuencias directamente

depositadas durante las actividades del cabalgamientos a lo largo de las fallas de Servitá-Lengupá. Esto contrasta con un modelo que relata progradación en la posición más distal del sistema de cuenca foreland o antepaís por episodios de quietud tectónica.

### **Piraquive A., 2011**

La evolución temprana de la Cuenca Cretácica Colombiana representa un caso ilustrativo de una cuenca tectónica extensional en un ambiente tectónico de retroarco. La paleogeografía variada en cuencas de Rift es un factor principal que controla las transiciones faciales de una unidad sintectónica. Una particularidad de este marco estructural se refiere a la reactivación Neógena de las fallas inicialmente normales como fallas inversas y a la inversión de la cuenca que fue particularmente severa en esta parte del Piedemonte y expuso a la faja plegada a una deformación muy notable.

El trabajo presentado aquí consiste en una reconstrucción de superficies 3D a partir de secciones seriadas en el área comprendida entre los municipios de Sabanalarga y Aguazul (Casanare) que corresponde al Segmento Tauramena; este proceso involucró: una digitalización 3D, análisis estratigráfico, y análisis estructural detallado de las estructuras cinemáticas de las fallas de Chámeza y Guaicáramo, clivajes asociados a pliegues, zonas de deformación y marcadores fósiles. Por medio de retro deformaciones gráficas a sus formas iniciales de espiral, obtuvimos valores de elipticidad para las amonitas deformadas. Los ejes largos de estas elipses de deformación coinciden con el trazo de un clivaje regional, el cual en cercanías de la Falla de Chámeza gira a una dirección casi E-W, volviéndose sub-paralelo a este accidente transversal. Con estas deformaciones documentamos que la Falla de Chámeza se relaciona, por lo menos en su nivel de exposición actual, a un plegamiento dúctil. Especulamos que esta zona de deformación se desarrolló como consecuencia de una oblicuidad entre transporte tectónico y una falla heredada del evento de Rift del Neocomiano,

que prefiguró la actual Falla de Chámeza. En contraste en el frente de deformación externo la orientación del esfuerzo principal es perpendicular a rumbo NE de la Falla de Guaicáramo donde los datos de planos y dirección de estrías excluyen una contracción oblicua, y definen una dirección de transporte tectónico SE. Durante la orogenia andina, la contracción de los bloques de basamento resulta en una exhumación que se movió del centro del orógeno hacia el borde oriental. En consecuencia se observa una reactivación de la Falla de Chámeza como falla inversa y la generación de pliegues paralelos contra límites estructurales predefinidos, que en sus estadios tardíos se ven afectados por un fallamiento fuera de secuencia. La diferencia en el estilo de reactivación se atribuye a la orientación de las anisotropías preexistentes y a la dirección del campo de esfuerzos regional.

**Sánchez-Villar N., Kammer A., Mora A., Tamara J., & Montaña J., 2011**

El Anticlinal de Monterralo es parte de la faja de plegamiento-cabalgamiento del piedemonte oriental de la Cordillera Oriental y es uno de los pliegues más desarrollados en amplitud y relieve estructural de este frente. Este pliegue presenta un eje con rumbo NE-SW, una asimetría con vergencia al sureste y un doble cabeceo. Fracturas se analizaron en 25 pavimentos con el fin de documentar la evolución cinemática de este pliegue. Los sets de diaclasas comprenden un sistema ortogonal con un set orientado paralelamente (NE-SW) y otro perpendicularmente (NW-SE) al eje de pliegue y un sistema ligeramente oblicuo al tren estructural con sets orientados N-S y E-W. Cada set de diaclasas se desarrolló durante el pre-plegamiento por su perpendicularidad a la estratificación. Durante el plegamiento se desarrollaron fallas normales y clivajes en unidades terciarias a lo largo de la zona de bisagra y clivajes en unidades cretácicas finas en el núcleo del pliegue, documentando mecanismos tipo buckling como la flexura ortogonal y el flujo por flexura. En este periodo pudo ocurrir también la intensificación los sets NW-SE y NE-SW. En la última fase de plegamiento los mecanismos de deformación del buckling se bloquean y el flanco

frontal es afectado por fracturas tipo “stretching faults” que rotan y adelgazan tectónicamente el flanco frontal.

## **6.2. ESTRATIGRAFÍA**

Las rocas aflorantes en el área de estudio presentan edades que van desde el Cretáceo superior (Coniaciano-Santoniano) hasta el Paleoceno tardío; para la descripción geológica se han encontrado diferencias según el área ya que la zona de trabajo está dividida; las unidades aflorantes, para el caso de la Quebrada La Piñalerita (Sabanalarga) y para el tramo de la misma el cual fue cartografiado de base a techo son: Formación Barco, Formación Los Cuervos, Formación Mirador y parte de la Formación Carbonera, para el caso de la Quebrada La Pescana (Monterrey) ubicada al noreste de La Piñalerita, de base a techo afloran: Formación Une, Formación Gacheta, Formación Guadalupe, Formación Barco y Formación Carbonera, estando estas dos últimas formaciones en contacto discordante y afectadas por el trazo de la falla Guaicáramo, lo cual justifica la gran cantidad de estructuras encontradas sobre esta quebrada.

### **6.2.1. Formación Une (Kiu).**

Nombrada por Hubach E., (1957a), para representar el conjunto de areniscas que afloran en la carretera Bogotá-Villavicencio, entre las poblaciones de Chipaque y Cáqueza (INGEOMINAS, 1975), se correlaciona con la Formación Aguardiente de la cuenca de Maracaibo y la Formación Caballos de la cuenca de Putumayo (INGEOMINAS, 1976).

Conformada por areniscas cuarzosas, grises claras a blanco-amarillentas, de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas, micáceas, con estratificación fina a maciza, presenta estratificación cruzada, calcos de carga y marcas de oleaje, dentro de esta unidad se encuentran delgadas intercalaciones de lutitas negras

presentándose más frecuentemente hacia la parte superior (INGEOMINAS, 1975); otros autores la describen como areniscas cuarzosas con intercalaciones de limolitas carbonosas (Bueno y Mendoza, 2008), en su investigación (Fajardo, 2000), reporta una composición de arenisca cuarzosa con delgadas intercalaciones lodosas hacia el tope, con un ambiente de depositación de canales fluviales en la sección basal y media de la formación, de canales estuarinos y rellenos de estuarios hacia el tope; por otro lado esta formación en la cuenca de los Llanos muestra una transición de ambientes fluviales en la base a ambientes de bahías o estuarios hacia el tope, de oriente a occidente propone una transición de ambiente continentales a ambientes parálidos (Fajardo, 2000), para (INGEOMINAS, 1975), el ambiente de depositación fue marino deltaico, encontrando fósiles hacia la parte inferior de la formación. (Ver figura 6)

**6.2.2. Formación Gacheta (Ksc)** La Formación Gacheta (Miller, 1972; Ulloa y Caro, 1985, Fajardo, 2000), se correlaciona principalmente según Ulloa y Caro, 1985, con la Formación Chipaque (Hubach E., 1931b Renzoni, 1969; INGEOMINAS, 1975; Ulloa y Caro, 1985). Sin embargo, por Conjunto Chipaque Hubach, 1931b, se refiere a la parte superior del Grupo Villeta, dada por el nivel de *Exogyra Squamata*, que marca el límite Villeta-Guadalupe, por otro lado (Renzoni 1962, e INGEOMINAS, 1975) proponen que la Formación Chipaque incluye el conjunto inferior del Grupo Guadalupe, y que ésta formación descansa sobre la Formación Une e infrayace concordantemente a la Formaciones Guadalupe y Palmichal (Ver figura 6).

La unidad está compuesta de shales negros con intercalaciones esporádicas de calizas principalmente hacia la parte inferior, en la parte superior presenta intercalaciones de areniscas cuarzosa grises claras a oscuras de grano fino a estratificadas en bancos que van de 1 a 3 metros de espesor, con un nivel de carbón (INGEOMINAS, 1975). Se encuentra conformada por shales, arcillolita y limolitas con delgadas intercalaciones arenosas en la base y tope de la unidad

(Fajardo, 2000), shales negros a gris oscuros con intercalaciones de areniscas y limolitas de pocos metros de espesor, localmente con niveles de carbón (Ulloa y Caro, 1985); hacia su tope presenta una inconformidad con la formación Guadalupe debido a eventos Eustáticos, presenta una sedimentación de tipo High Stand System Tract o HST. (Fajardo, 2000; Bueno y Mendoza, 2008), su ambiente de formación es marino de aguas poco profundas y circulación restringida (INGEOMINAS, 1975). Algunos de sus intervalos arenosos en lugares como Casanare y Meta se han comportado como reservorio, sin embargo su papel principal en el sistema petrolífero es como roca sello (Fajardo, 2000)

**6.2.3. Formación Guadalupe.** La Formación Guadalupe (Miller, 1972; Ulloa y Caro, 1985 y Fajardo, 2000), se correlaciona principalmente según (Ulloa y Caro, 1985), con la parte inferior del Grupo Palmichal (INGEOMINAS, 1975; Ulloa y Caro, 1985 y Ulloa y Caro, 1985). Sin embargo según (INGEOMINAS 1975), el nombre de Formación Guadalupe fue dado por (Hubach, 1957a) dividida en un conjunto superior arenoso, a su vez subdividido en Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca Tierna y uno inferior arcilloso; por otro lado según INGEOMINAS, (1975) (Julivert, 1962a) basado en columnas estratigráficas en las regiones de Bogotá-Choachí y Tabio-Chía, estableció como Formación Guadalupe: Miembro Raizal (Arenisca Dura), Nivel de Plaeners, Arenisca de Labor, Nivel Lutítico y Arenisca Tierra.

Se encuentra conformada areniscas con intercalaciones delgadas lodosas (Fajardo, 2000); el **Miembro Arenisca del Raizal** se compone de areniscas cuarzosas grises claras a blanco amarillentas, de grano fino con estratificación laminar gruesa, con intercalaciones de Lutitas y limolitas silíceas en bancos de 5 a 50 cm de espesor, el **Miembro Plaeners** se compone de alternancia de limolitas silíceas, Lutitas y areniscas de grano fino, estratificadas en bancos de pocos centímetros de espesor, el **Miembro Areniscas de Labor** constituido por areniscas cuarzosa, grises claras a blanco amarillento, de grano fino, compactas

con estratificación delgada gruesa con intercalaciones delgadas de limolitas silíceas y Lutitas negras, el **Miembro Plaeners Superior** se compone de Lutitas, limolitas arcillolitas y areniscas cuarzosas, de grano fino, el **Miembro Arenisca Tierna** consta de areniscas cuarzosas, grises claras y blanco amarillentas de grano fino a grueso, friables, con intercalaciones delgadas de Lutitas y limolitas silíceas, (INGEOMINAS, 1975). Con un ambiente estuarino, plataforma marina somera, la sección basal se depositó durante un Transgressive System Tract o TST, la sección media se depositó durante un HST y la sección superior se depositó durante un TST (Fajardo, 2000) y (Bueno y Mendoza, 2008); se depositó en un ambiente marino de aguas someras con influencias deltaicas (INGEOMINAS, 1975). Hacia su base presenta una inconformidad en el contacto con la formación Gacheta (Fajardo, 2000) y hacia el tope presenta inconformidad con la Formación Barco-Los Cuervos del Paleoceno, debido a procesos tectónicos (Fajardo, 2000) (Ver figura 6).

**6.2.4. Formación Barco (E1b).** La Formación Barco denominada para la cuenca de Maracaibo (INGEOMINAS, 1976 Y Fajardo, 2000), se correlaciona para la cuenca de la Sabana de Bogotá con la Formación Cacho según (INGEOMINAS, 1975), y para la cuenca del Borde Llanero con la Formación De El Morro como parte superior del Grupo Palmichal (INGEOMINAS, 1976). Haciendo equivalencia también a la parte intermedia de la Formación Los Cuervos según (Miller, 1972 y Ulloa y Caro, 1985).

Se compone de areniscas masiva muy mal calibrada hacia su base, es considerada como un intervalo esencialmente arenoso (Fajardo, 2000), constituida por areniscas cuarzosas, blanco-amarillento de grano grueso a conglomerático, friable, con estratificación cruzada e intercalaciones de lentes de arcillolita (INGEOMINAS, 1975), su ambiente de depositación fue mediante canales fluviales y estuarios (Fajardo, 2000), se depositó en un ambiente lagunar cercano a la costa (INGEOMINAS, 1975); presenta inconformidad de tipo tectónico con la Formación

Guadalupe, su sedimentación fue de tipo TST (Bueno y Mendoza, 2008). (Ver figura 6)

**6.2.5. Formación Los Cuervos (E1-E2lc).** La Formación Los Cuervos (Hubach, 1941, INGEOMINAS, 1975), se correlaciona con la Formación Arcillas de El Limbo según (INGEOMINAS, 1975). Aunque para (Ulloa y Caro, 1985) se correlaciona con Los Cuervos de (Miller, 1972), con Las Areniscas del Morro y Arcillas del Limbo de (INGEOMINAS, 1976), además propone que la parte inferior de Los Cuervos propuestos por (Miller, 1972) hace parte del Grupo Palmichal de (Ulloa y Caro, 1985). Por otro lado, para el Bode Llanero. (Fajardo, 2000), no divide las Formaciones Barco y Los Cuervos aunque asume que su límite hacia el Piedemonte llanero está dado por el criterio del cambio de un intervalo predominantemente arenoso a uno predominantemente lodoso, asegura que hacia el oriente las facies de lodolita de la Formación Los Cuervos pueden cambiar a areniscas desechando dicho criterio.

Se compone principalmente de arcillolitas grises verdosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas, blanco-amarillentas, de grano medio a grueso estratificadas en bancos de hasta 5 m de espesor (INGEOMINAS, 1976), Según INGEOMINAS, (1975), (Hubach, 1941) denominó como Formación Arcillas de El Limbo un conjunto de “arcillas esquistas” grises y verdosas con intercalaciones de areniscas y mantos de carbón, limitadas en su base por la Arenisca de El Morro y su techo por las Areniscas de El Limbo (INGEOMINAS, 1975), o suprayaciendo concordantemente al Grupo Palmichal (INGEOMINAS, 1976), presenta inconformidad tectónica con la Formación Guadalupe y la Formación Mirador; sufrió sedimentación de tipo HST (Bueno y Mendoza, 2008) su ambiente de depositación es pantanoso a lagunar marino (INGEOMINAS 1976), La Formación Los Cuervos se depositó en una llanura de inundación o llanura costera superior (Bueno y Mendoza, 2008). Los intervalos correspondientes a la parte basal y superior de la Formación Los cuervos está compuesta por Lodolitas con delgadas

intercalaciones de areniscas que se depositaron en una planicie costera o llanura de inundación (Fajardo, 2000). (Ver figura 6)

**6.2.6. Formación Mirador (E2m).** La Formación Mirador se correlaciona con la Formación Areniscas De El Limbo (INGEOMINAS, 1975 y 1976), también la Formación Mirador de la Cuenca Maracaibo se correlaciona con Picacho de la Región de Paz del Rio y Usme de la Sabana de Bogotá (INGEOMINAS, 1976), el intervalo arenoso basal se correlaciona con la definición operacional de la Formación Mirador que va desde la superficie de inconformidad al tope de la última arenisca, y la parte superior constituida principalmente por lodolitas se correlaciona con la parte basal de las Unidades operacionales Lutita E4 o E3 en el área del Meta y el Miembro operacional C8 en los sectores de Casanare y Arauca (Fajardo, 2000)

Según INGEOMINAS, (1975), (Hubach, 1941), designó con este nombre a una sucesión de areniscas conglomeráticas, arcillas, areniscas y lutitas que afloran cerca al Casanare; está limitada hacia la base por una superficie de inconformidad de origen tectónico regional reconocida por varios autores en varias cuencas de Colombia, hacia la parte inferior presenta areniscas cuarzosas y areniscas conglomeráticas, conglomerados arenosos con laminación cruzada; hacia el Meta se observan algunas delgadas intercalaciones lodosas (Fajardo, 2000). (INGEOMINAS, 1975), para el área de la Loma de Monserrate la divide en Conjunto A, el cual consta de conglomerados con cantos redondeados de cuarzo de hasta 5 cm de diámetro, cementados en una matriz arenosa, suprayaciendo este conjunto nombra un Conjunto B, constituido por arcillolitas, lutitas y areniscas de grano fino a medio con un estrato lenticular de hierro oolítico, suprayaciendo a esta unidad nombra al Conjunto C, el cual contiene areniscas cuarzosas, blanco-amarillentas, de grano medio a conglomeráticas, con estratificación cruzada y huellas de icnofósiles.

Según INGEOMINAS (1976), esta formación sugiere un ambiente principalmente deltaico con algunas influencias lagunares marinas. Por otro lado para esta formación se han identificado varios ambientes especialmente por (Fajardo, 2000), quien en su estudio menciona hacia la Jagua en la parte inferior un ambiente de canales fluviales de corrientes entrelazadas, hacia el Casanare en la parte inferior canales fluviales, crevasse splay y de llanura de inundación de ambiente continental, hacia la parte superior se ven depósitos de canales, de bay-head deltas y de estuarios o bahías (Fajardo, 2000). (Ver figura 6)

**6.2.7. Formación Carbonera (E2-E3c).** Se correlaciona con la Formación San Fernando (INGEOMINAS 1975); La Formación Carbonera y León de la Cuenca de Maracaibo se correlacionan con la Formación San Fernando (INGEOMINAS, 1976).

Compuesta por arcillolitas grises intercaladas con areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, estratificadas en bandas de hasta 3 metros (9.84 pies) de espesor los cuales presentan estratificación cruzada (INGEOMINAS, 1976), presentando hacia la parte inferior esporádicos lentes de carbón (INGEOMINAS, 1975). Las delgadas intercalaciones de areniscas se hacen más frecuentes hacia el tope de la formación (Fajardo, 2000).

La Formación Carbonera se depositó en un ambiente marino lagunar de influencia deltaica (INGEOMINAS, 1976), para (Bueno y Mendoza, 2008), los ambientes de depositación son continentales y transicionales (lagunas costeras, bahías o estuarios), identificando cuatro ciclos estratigráficos de eventos progradacionales c8, c6, c4, c2 y cuatro eventos aggradacionales c7, c5, c3, c1, también sugieren que la formación en la mayor parte de la cuenca está limitada en la base y el tope por superficies de máxima inundación. (Ver figura 6)

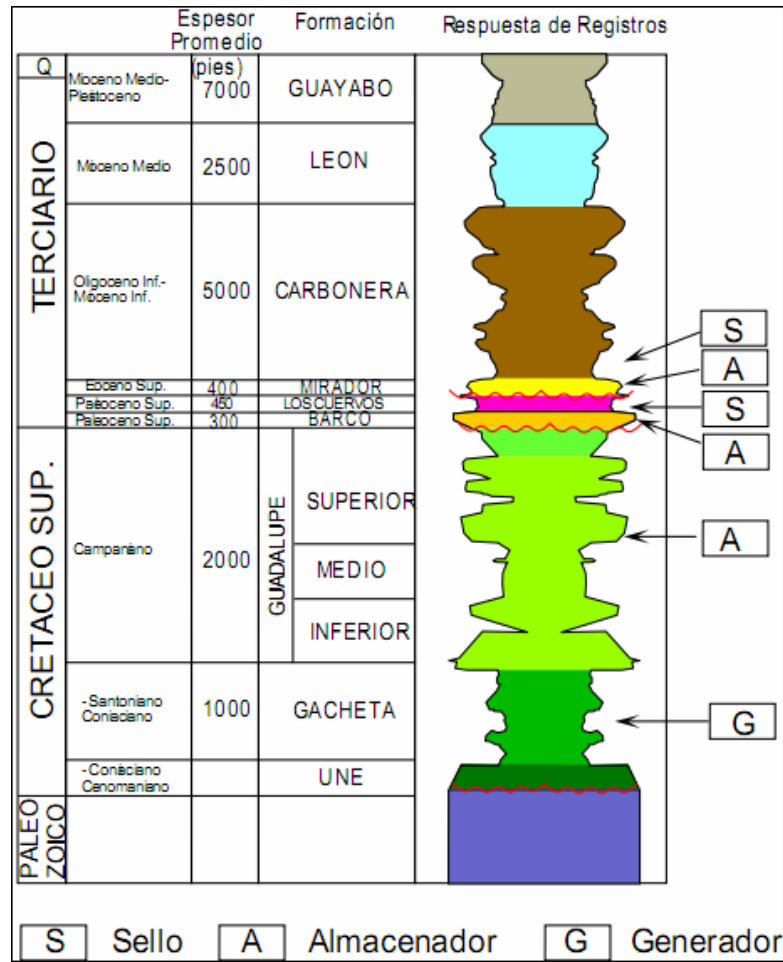


Figura 6. Columna Generalizada del área de estudio (propuesta por Fajardo, 2000)

### 6.3. TECTÓNICA

<b>EVOLUCIÓN GEOLOGICA DE LA CUENCA DE LOS LLANOS</b>	
<b>EDAD</b>	<b>EVENTO</b>
Cambro-Ordovicico	Culmina con la Orogenia Caledoniana
Devónico-Carbonífero-Pérmico	Finaliza con la Orogenia Hercínica
Triásico-Jurásico	Corresponde a una cuenca de tipo Rift con una subsidencia tectónica, detrás de un arco volcánico localizado en la presente Cordillera Central. Esta cuenca se ubica en los sectores actuales del Magdalena y Cordillera Oriental.
Cretáceo-Temprano	Corresponde a una segunda fase de Rift (continuación de la secuencia de Rift anterior).
Cretáceo-Tardío	Ocurre subsidencia térmica y formación de una cuenca detrás del arco volcánico localizado en la Cordillera Central. Durante esta fase se depositaron los intervalos correspondientes a la roca madre principal de la Formación Gacheta, equivalente a la Formación Luna.
Maastrichtiano-Paleoceno	Se presenta la Orogenia pre-Andina durante la cual se produce la colisión del arco volcánico de la Cordillera Occidental con la Cordillera Central y la creación de una cuenca de antepaís ubicada en el Valle de Magdalena, la Cordillera Oriental y los Llanos
Eoceno Temprano y Medio	Periodo de erosión en el área de los Llanos, el material erodado fue transportado hacia el norte correspondiente a las Formaciones Mirador y Misoa C y B de la Cuenca de Maracaibo. La erosión en los Llanos puede deberse a un rebound effect.

Eoceno Tardío-Oligoceno-Mioceno Temprano	Se generó una cuenca antepaís en el Valle del Magdalena, Cordillera Oriental y Cuenca de los Llanos, sin embargo Piraquive, (2011) considera para esta edad en lo que es hoy la Cordillera Oriental existían elementos positivos que impedían comunicación directa entre la Cuenca Llanos y la Cuenca del Valle Medio del Magdalena
Mioceno Medio a Pleistoceno	Ocurre la Orogenia Andina con la colisión de Panamá, el levantamiento de la Cordillera Oriental e individualización de las Cuencas del Valle del Magdalena y Llanos orientales

**Tabla 1. Evolución Geológica de la Cuenca de los Llanos Orientales. (Modificado de Piraquive A, 2011).**

El área de estudio está localizada sobre el Piedemonte Llanero en la zona frontal de cabalgamiento de la Cordillera Oriental colombiana, (Martínez, 2006). Ubicada en las estribaciones de la cordillera, esta zona muestra características geomorfológicas muy diferentes que van desde montañas muy altas exhibiendo el frente de deformación donde se desarrollaron estructuras como pliegues y fallas, hasta colinas bajas correspondientes a la cuenca de los Llanos Orientales la cual es catalogada como foreland o antepaís.

La región del borde llanero se caracteriza por presentar una tectónica compresiva, la cual se refleja en la presencia de grandes fallas de tipo inverso y ángulo alto, sinclinales amplios y anticlinales apretados (Galvis y Suarez, 1984). Las estructuras de la cuenca de los Llanos orientales son complejas, debido a que son la suma de varios ciclos tectonosedimentarios, que se desarrollaron desde el precámbrico hasta el cenozoico (Vásquez, INGEOMINAS Informe No 1599)

(Vásquez, INGEOMINAS Informe No 1599), sugirió que a partir de la asociación de elementos estructurales, su distribución geográfica, características geomorfológicas, repetición y orientación general, se podría dividir la cuenca en el tope del Cretáceo en tres zonas estructurales que se diferencian por su estilo estructural particular las cuales llamo: Zona estructural I (zona de compresión-thrust-belt), Zona estructural II (zona de distensión) y Zona estructural III (zona estable); siendo la zona estructural I o de compresión thrust-belt la que contiene el área de interés del presente trabajo.

Según (Piraquive, 2011) hacia el oriente se desarrolla el Piedemonte llanero y hacia el occidente se desarrolla el piedemonte occidental el cual limita con el valle del Magdalena, además subdivide el piedemonte oriental en central y oriental tomando como principio el control estructural, que para el caso del piedemonte oriental presenta las estructuras sinclinales de gran amplitud, que involucran rocas del terciario, esta subdivisión está limitada por las fallas de Yopal y Guaicáramo; al oeste de la falla Guaicáramo en el bloque colgante según este autor afloran rocas que van desde el Cretáceo hasta el Paleoceno.

Las estructuras del piedemonte son marcadamente segmentadas debido a unos saltos de los frentes de deformación hacia el E., siguiendo el rumbo de las estructuras de S a N, rasgos laterales donde se acentúan los relevos permiten dividir límites entre tres segmentos estructurales de sur a norte: Segmento Guavio, Segmento Tauramena, Segmento Cusiana (Piraquive, 2011) ya (Galvis y Suarez, 1984), había planteado que las fallas generalmente presentan una dirección NE-SW, con el plano de falla inclinado hacia el oeste y salto alto.

(Piraquive, 2011), muestra (ver figura 7) las principales estructuras presentes en el piedemonte llanero, algunas de las cuales son identificadas en el área de interés del presente estudio. Utilizando abreviaturas para su descripción y diferenciación tales como ST: Segmento Tauramena; SC: Segmento Cusiana; SG: Segmento

Guavio; FCh: Falla de Chameza; FY: Falla de Yopal; FG: Falla de Guaicáramo. Dentro del Segmento Tauramena propuesto por (Piraquive, 2011), se encuentran localizadas las Quebradas La Piñalerita (Sabanalarga) y La Pescana (Monterrey) Casanare, áreas de estudio del presente trabajo. Las fallas inversas más importantes son las de Guaicáramo y Yopal (Cabalgamientos), las cuales ponen en contacto rocas Cretáceas con rocas del Terciario superior y Cuaternario del llano, (Galvis y Suarez, 1984)

El Segmento Tauramena propuesto por (Piraquive, 2011) está limitado hacia el sur por el enfrentamiento en la terminación Sur de los Anticlinales de Tierranegra y Silbadero con el Sinclinorio de Medina; y el límite hacia el Norte con el Segmento Cusiana lo limita la transferencia las Fallas de Tesalia Lengupá y Guaicáramo (Piraquive, 2011), las estructuras presentes en el área de interés se muestran en las figuras 7 y 8.

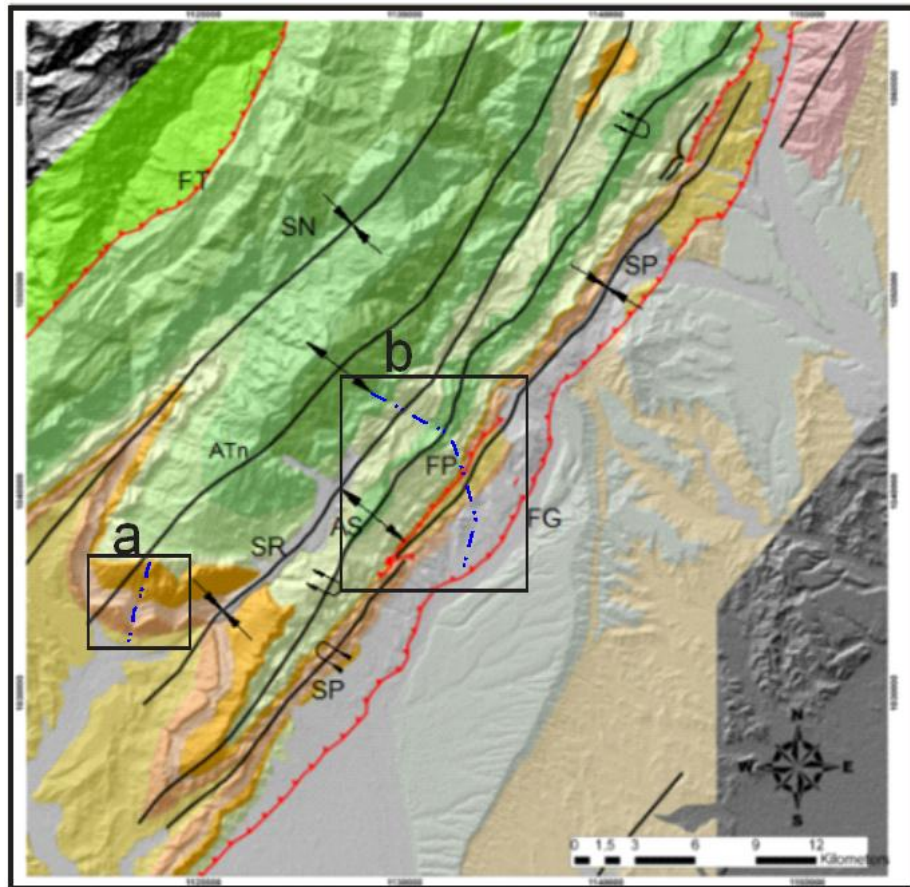


Figura 7. Mapa estructural del Segmento Tauramena, donde se identifican las zonas de estudio, a. Q. La Piñalerita, b. Q. La Pescana, FG. Falla Guaicáramo, FP. Falla de Porvenir, FT. Falla de Tesalia, SP. Sinclinal del Porvenir, SR. Sinclinal de Recetor, SN. Sinclinal de Nazareth, AS. Anticlinal de Silbadero, ATn. Anticlinal de Tierranegra; (Modificado de Piraquive A., 2011)

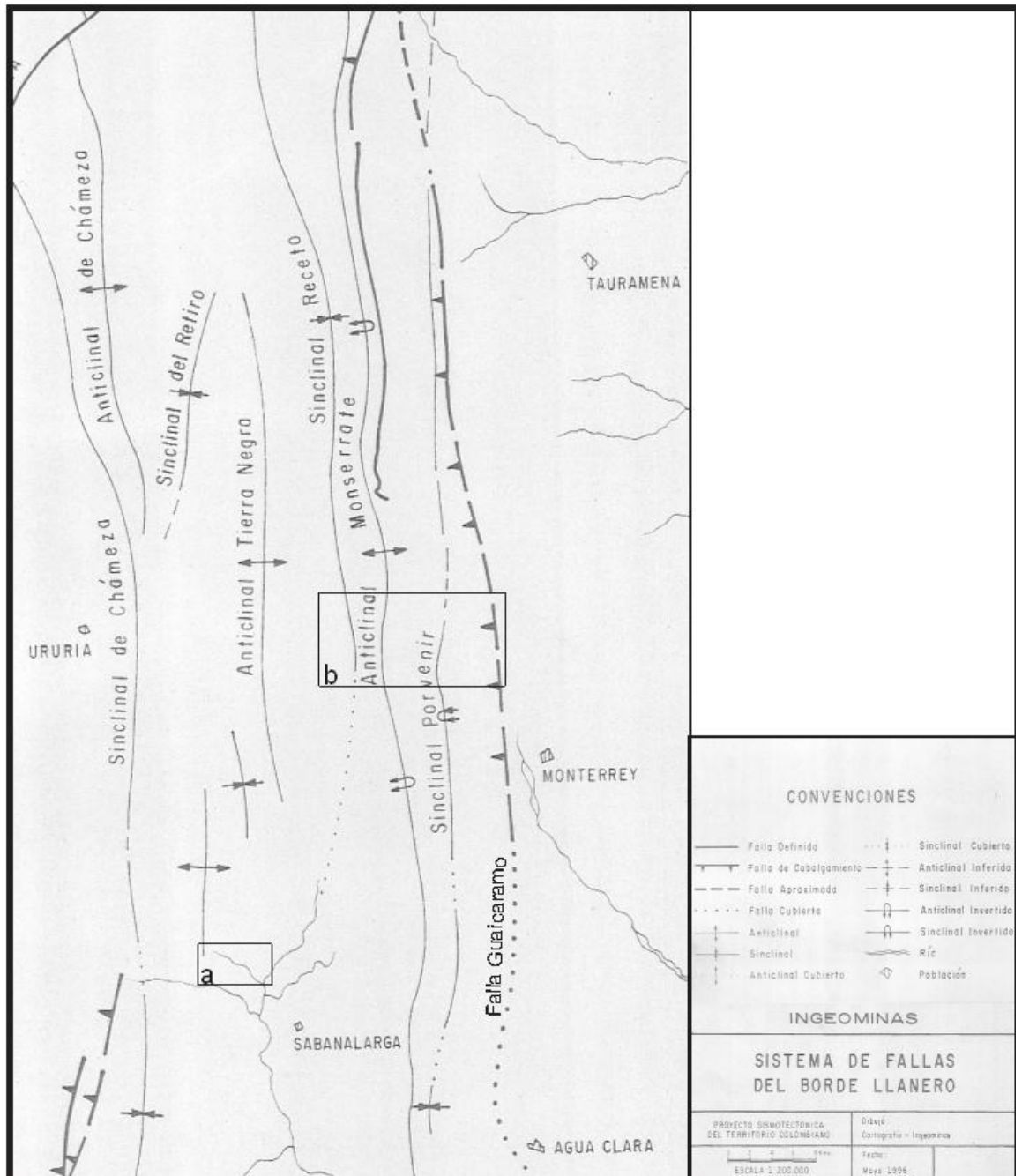


Figura 8. Mapa Estructural donde aparece parte del sistema de fallas del borde llanero, a. Sector de la Q La Piñalerita, b. Sector de la Q La Pescana. (Modificado de INGEOMINAS, 1996)

A pesar de que las figuras 7 y 8 representan los mismos lugares del piedemonte, se puede diferenciar que en la figura 7 no se tiene en cuenta el Anticlinal de Monserrate o se asume como Anticlinal de Silbadero, por otro lado para el caso de la Quebrada La Piñalerita se observa en la figura 8 una anticlinal de menor tamaño el cual no presenta nombre y que podría ser el llamado Anticlinal de Palmichal.

**La Falla Guaicáramo** es la estructura más importante de la zona de estudio ya que al parecer ha afectado la estratigrafía de la zona, esta falla hace parte de la considerada Región del Sinclinorio de Nazareth, es de tipo inversa, de ángulo alto y su plano de falla buza hacia el oeste, su desplazamiento vertical es de gran magnitud, pues pone en contacto los estratos de la formación caja, algunas veces con el Grupo Palmichal y otras con la Formación Fómeque, su extensión en el área de estudio es de 72 Kilómetros aproximadamente, prolongándose hacia el norte al cuadrángulo J-13 y al sureste al área del cuadrángulo K-12, Guateque (INGEOMINAS, 1976).

**El Sinclinal de El Porvenir** es de las estructuras presentes en el área de estudio específicamente sobre la Quebrada La Pescana otra estructura que pertenece a la Región del Sinclinorio de Nazareth, este pliegue es normal, apretado, de forma asimétrica, con el flanco occidental más abrupto que el oriental; en su mayor extensión presenta el flanco occidental invertido y su eje se orienta en dirección N25E con una extensión de 48 Km. El núcleo de esta estructura está formado por los estratos arcillosos de la formación San Fernando (INGEOMINAS, 1976).

**El Sinclinal de Recetor** hace parte de la Región del Anticlinorio de Los Farallones, este pliegue es normal, de forma simétrica, extendiéndose en el cuaternario K-13 en una longitud aproximada de 60 Kilómetros. Hacia el

sureste se prolonga al cuadrángulo K-12, Guateque, mientras que hacia el norte es truncado por la falla de Chámeza.

La variación en los espesores de las formaciones responde fundamentalmente a dos factores: 1) la configuración de la cuenca se define por un fenómeno flexural de cuenca de antepaís con una inclinación del basamento hacia el W, que en consecuencia produce un acuñamiento estratigráfico en la dirección del antepaís y 2) las unidades se acuñan más hacia el frente de deformación en los flancos invertidos de los **Anticlinales de Silbadero-Monserrate**, y **Anticlinal de Montecarlo**; la geometría del **Anticlinal del Silbadero** se acerca más a un pliegue isoclinal; la sección A-A' se ubica en la parte de S del área de los mayores espesores de sedimentos paleógenos ( Fm. Los Cuervo, Fm. Barco) indicando que el sector fue el más profundo de la cuenca terciaria coincidiendo el depocentro espacialmente con la chanela del anticlinal de Tierranegra y la parte más profunda del Sinclinal de Nunchia; la sección C-C' retrata la geometría de los pliegues en su segmento intermedio, el cual se caracteriza por una amplia cresta y un flanco oriental fuertemente inclinado en los pliegues frontales como el **Anticlinal de Silbadero** y el **Anticlinal de Recetor** (Piraquive, 2011), (ver figuras 9, 10, 11 y 12)

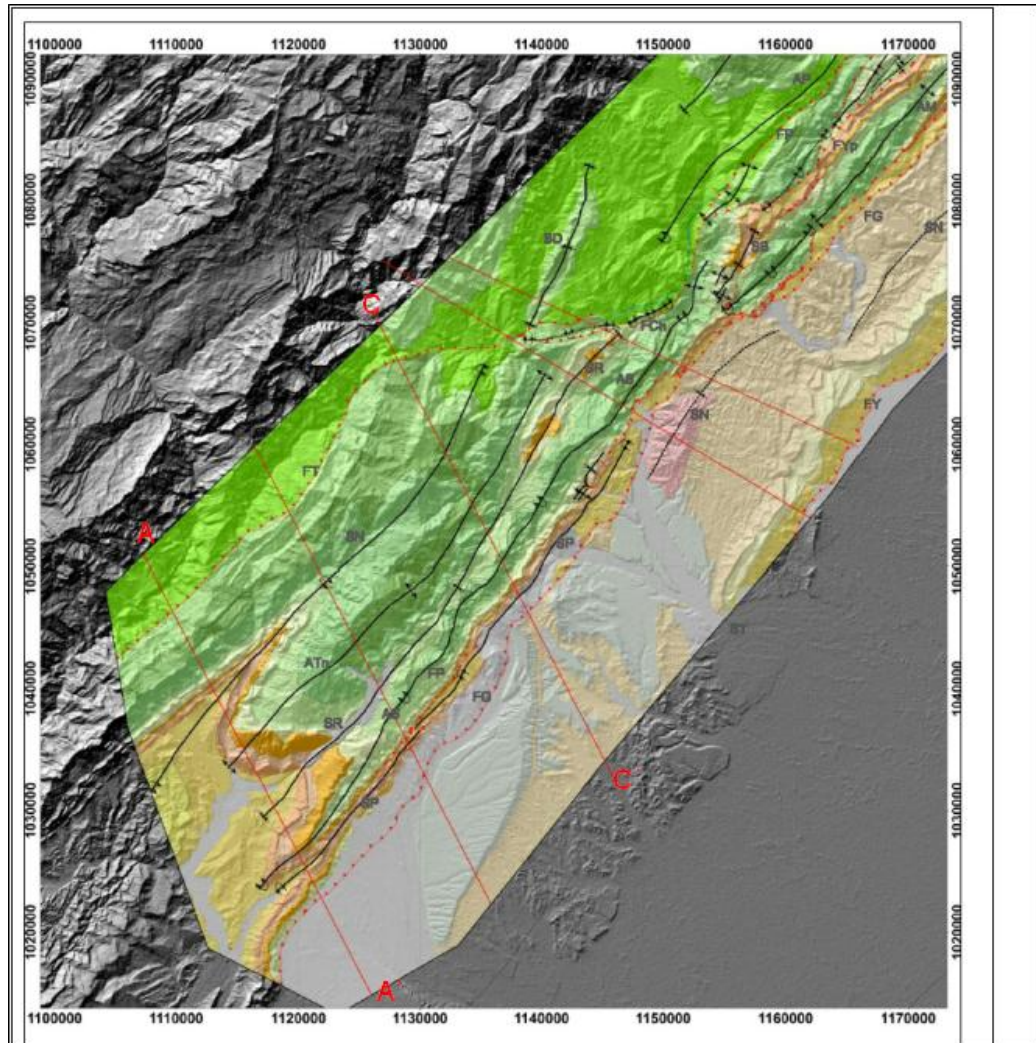
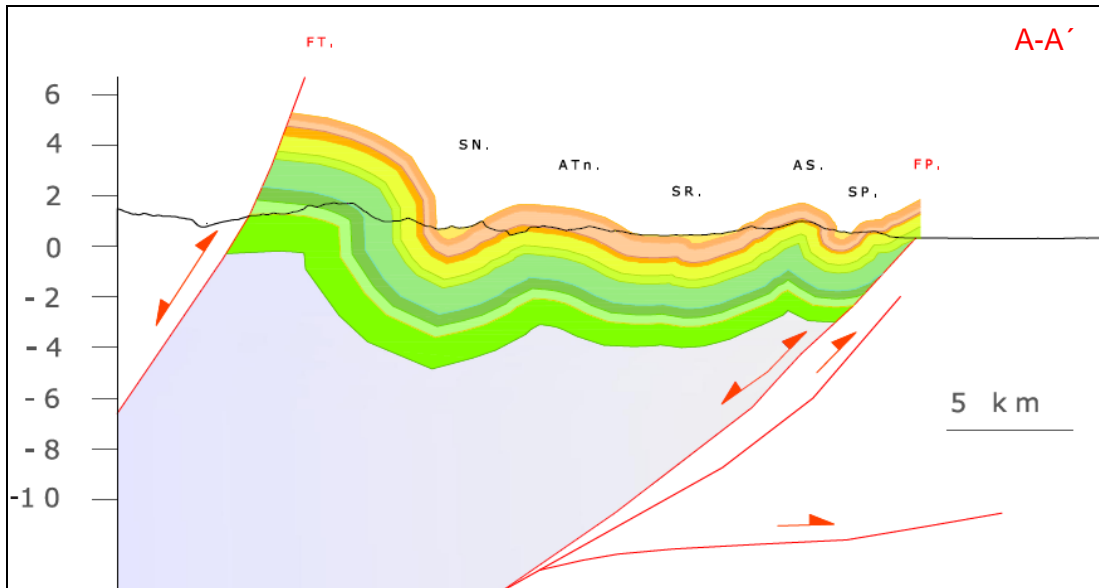
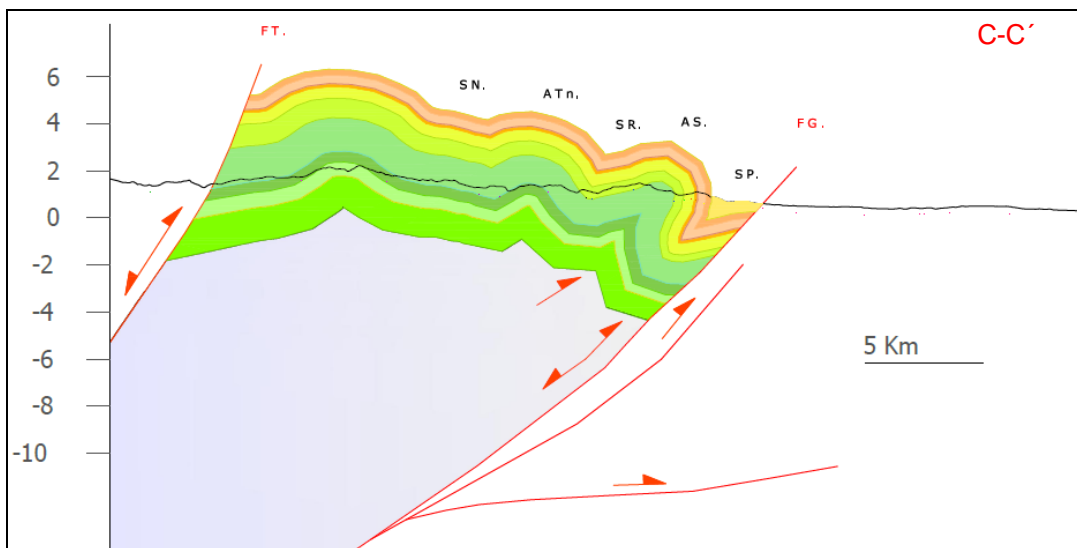


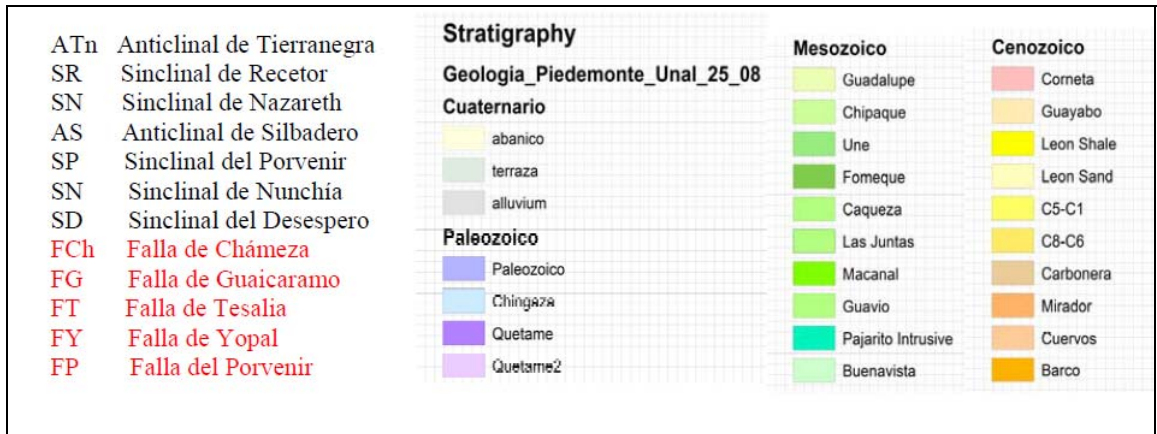
Figura 9. Mapa Geológico sintetizado y secciones estructurales del área de estudio. (Tomado de Piraquive A., 2011)



**Figura 10. Secciones estructural del trazo de la sección A-A'. (Tomado de Piraquive A., 2011)**



**Figura 11. Secciones estructural del trazo de la sección C-C'. (Tomado de Piraquive A., 2011)**



**Figura 12. Leyenda explicativa para las figuras 7, 9, 10 y 11. (Tomado de Piraquive A., 2011)**

## 7. RESULTADOS

### 7.1. FACIES Y AMBIENTES SEDIMENTARIOS DE LAS FORMACIONES EN EL AREA DE ESTUDIO

En el área de estudio, se encontraron las siguientes formaciones nombradas desde la más joven a la más antigua: Fm Carbonera Base (miembros C8 y parte C7)., Fm Mirador, Fm Los Cuervos, Fm Barco, Fm Guadalupe, Fm Gacheta y Fm Une. A continuación se mostrara las características de cada Formación teniendo en cuenta las facies, de acuerdo a la descripción propuesta por Miall (1978), (Ver tabla 2), y los ambientes sedimentarios que dieron origen a cada una de ellas.

Sh	Areniscas con estratificación paralela
Sm	Areniscas masivas
Sp	Arenisca con estratificación cruzada planar.
Sl	Arenisca con estratificación cruzada de bajo ángulo
St	Arenisca con estratificación en artesa
Fsm	Limolita masiva
Fm	Arcillolita masiva
Fh	Arcillolita con laminación fina
Fsh	Limolita con laminación fina
C	Carbón

**Tabla 2. Facies encontradas en el área de estudio. Modificado de Miall (1978).**

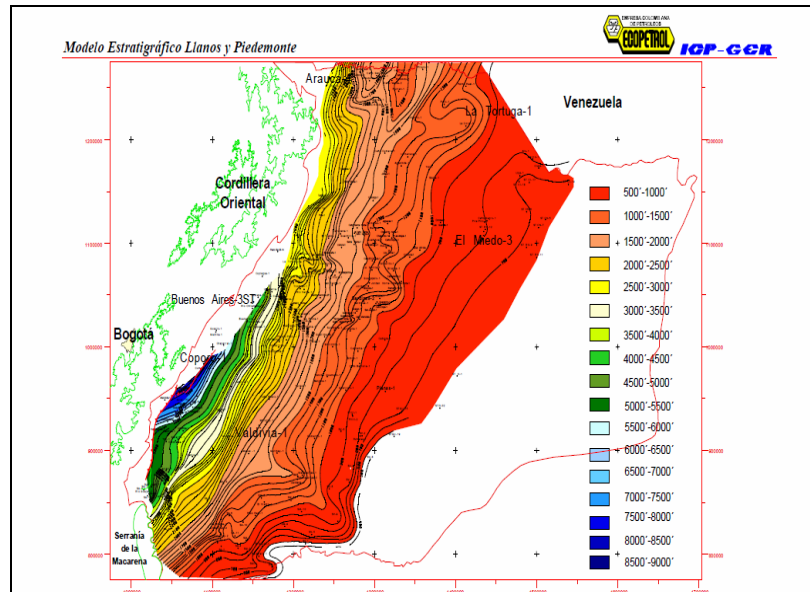
**7.1.1. Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7).** La Formación Carbonera Base (C8 y parte C7) presenta 188.1 metros de espesor medido en la Quebrada la Piñalerita, Sabanalarga, Casanare, Colombia, y consultando la bibliografía autores como (Fajardo, 2000) propone un espesor de toda la

Formación 2743 metros que se encuentra hacia el sector de Arauca. Principalmente está compuesta por arcillolitas de color gris verdoso ligeramente oxidadas con presencia de bioturbación y shales, intercaladas con areniscas cuarzosas de grano muy fino a medio en capas de espesor hasta de 3 metros, con fractura blocosa predominando hacia la base de la formación, (Figura 13).

Para identificar el comportamiento de los espesores de la Formación en la cuenca, se estudiaron algunos trabajos como el de (Fajardo, 2000) (ver figura 14), donde se observa un aumento de espesor hacia el NW de la cuenca, mostrando los mayores espesores en el sector del Meta. Estos datos en los que se indican los mayores espesores de la formación pueden ser de gran ayuda para reconocer las características deposicionales con un mayor detalle y con esto hacer un estudio más confiable de cómo se comportó el nivel relativo del mar a la hora de generarse la formación. La edad de la formación es considerada como Oligoceno a Mioceno temprano (Fajardo, 2000).



**Figura 13. Formación Carbonera, quebrada la Piñalerita, donde se observa la intercalación entre las arcillolitas y las areniscas. Azimut 25°.**



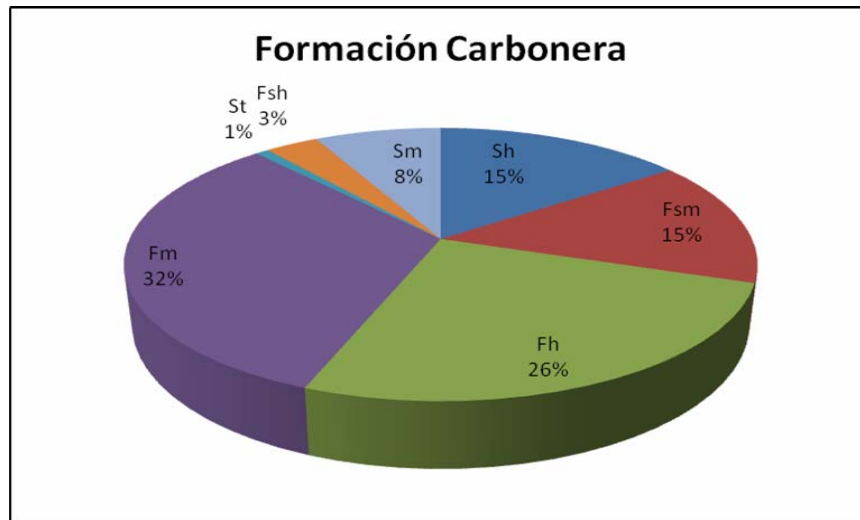
**Figura 14. Mapa Isocoro de la Formación Carbonera. (Tomado de Fajardo A., 2000).**

**Clasificación de las facies con su respectiva interpretación y relación con los ambientes sedimentarios:**

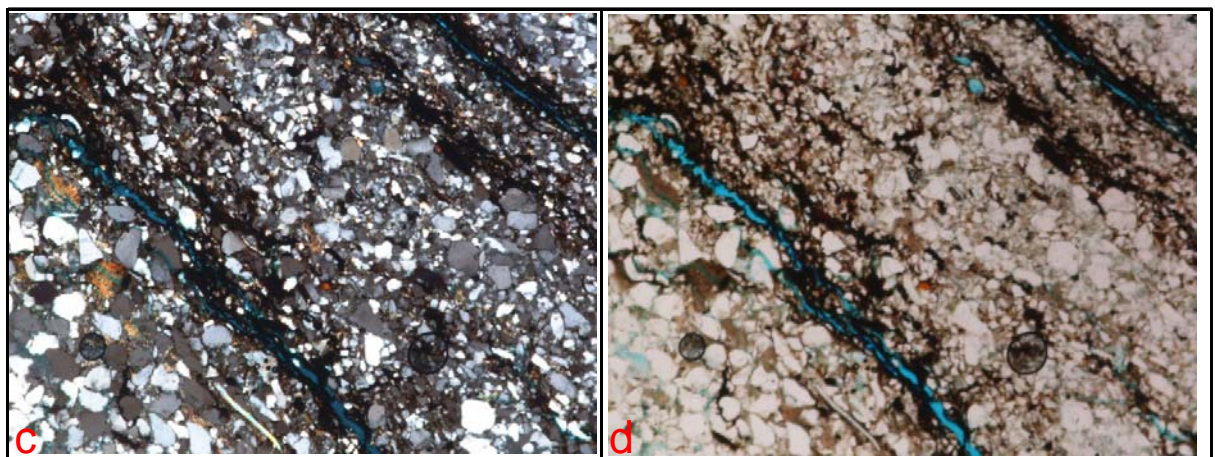
La grafica (figura 15), muestra las facies presentes en la Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7). organizadas según su porcentaje y se puede observar en orden de predominancia de mayor a menor la tendencia de aportes: **32% Fm** (arcillolitas masivas correspondientes a canales abandonados), **26% Fh** (arcillolitas con laminación fina correspondientes a canales abandonados), **15% Fsm** (limolitas masivas correspondientes a canales abandonados), **15% Fh** (Arcillolita con laminación fina), **8% Sm** (Areniscas masivas), **3% Fsh** (Limolita con laminación fina) y **1% St** (Arenisca con estratificación en artesa), (según la clasificación de Miall, 1978), totalizando según su granulometría 73% de tamaños lodo, 18% de tamaños limo y 9% de tamaños arena que van de muy fino a fino e interpretando hacia la parte superior de la Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7). Para la columna levantada en la Quebrada La Piñalerita, Sabanalarga, Casanare, se observa principalmente una granulometría constante y

de tamaño lodo y limo, mostrando un ambiente deposicional de baja energía, con pendientes muy suaves; presenta materia orgánica, oxidación y bioturbación, adicional se observan sus estructuras sedimentarias típicas como lo son la laminación plano paralela, y masiva, que finalmente indican un tipo de ambiente **Lagunar Costero**. En menor proporción aparecen facies de tamaño arena muy fina a fina de poco espesor dispuestas a manera de intercalaciones con las capas de tamaños más finos descritas anteriormente, localizadas principalmente hacia el contacto con la Formación Mirador (infrayacente), presentando geometría tabular en sus estratos, estructuras sedimentarias de baja energía y presencia de glauconita, que podrían indicar un ambientes de tipo **Bahía o Estuarino**. Las variaciones en el tamaño de grano, de granulometrías arcillosas a limosas y arenosas, y la presencia de Glauconita se pueden apreciar a escala microscópica (ver Figura 16) y (anexo 7).

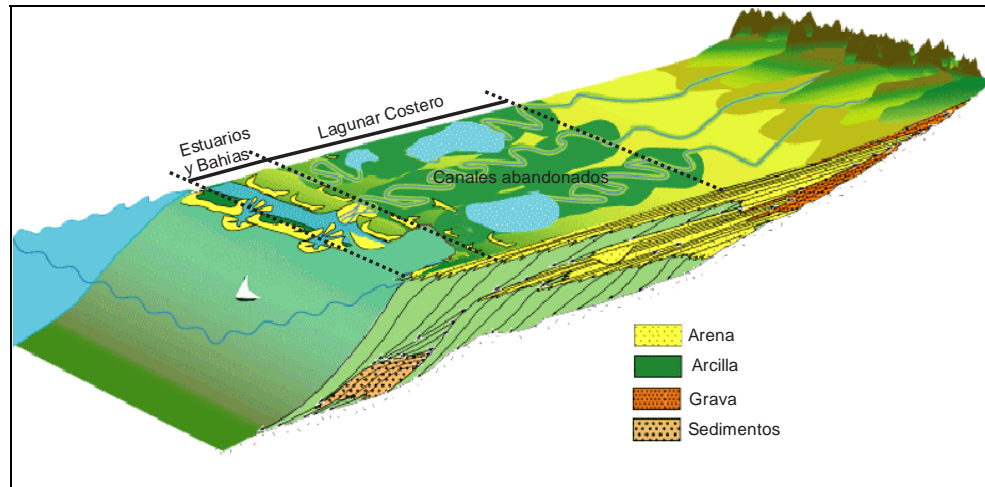
Como resumen en la Formación Carbonera Base (miembro C8 y parte de C7), el ambiente de depositación de dicha Formación fue **TRANSICIONAL (LAGUNAR COSTERO Y BAHIAS O ESTUARIOS)**. Para ilustrar este resultado se tomó la gráfica de Langhorne B., Christopher G., (2003). (*Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004*) quien coincide con la interpretación dada anteriormente (ver figura 17). Junto con la interpretación de las columnas tipo elaboradas para el presente trabajo, logrando finalmente confirmar el tipo de ambiente propuesto para esta Formación.



**Figura 15. Comportamiento estadístico de las facies de la Fm Carbonera Base (miembros C8 y parte C7).**



**Figura 16. Muestra (PIÑ-A-CAR 012-TG-UIS-076), Intercalaciones entre Arenisca Subarcosa y Limolita, según Folk (1974). Muestra de la Formación Carbonera (miembros C8 y parte C7), donde se muestran las variaciones faciales, (Anexo 7).**



**Figura 17. Ambiente en el que se depositó la Fm Carbonera según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004)**

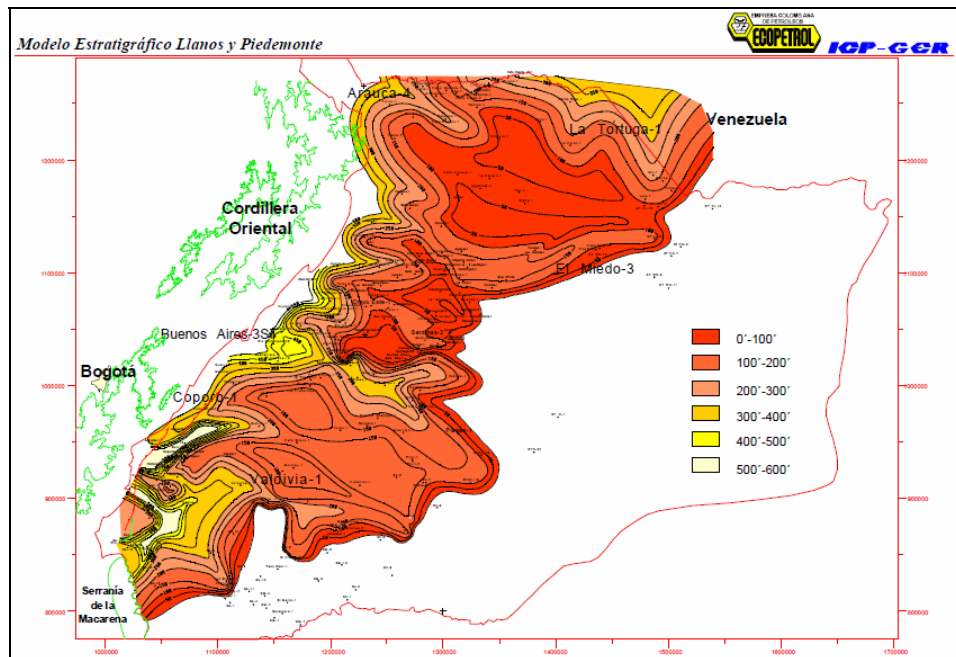
**7.2.2. Formación Mirador:** La formación Mirador presenta 154,3 metros de espesor medido en la Quebrada la Piñalerita Sabanalarga, Casanare, Colombia, Está dividida en 3 partes: Mirador Superior, Mirador Medio y Mirador Inferior. Mirador Superior: compuesto por capas de areniscas cuarzosas que alcanza los 16 metros de espesor, conformadas principalmente de arena muy fina con fractura blocosa, y ocasionalmente láminas de limolitas. Mirador Medio: compuesto por intercalaciones entre limolitas y shales con presencia de materia orgánica, y Mirador Inferior: compuesto por capas de areniscas con estratificación paralela de tamaño arena muy fina consolidada y con presencia de materia orgánica. (Ver Figura 18)

En la (figura 19) de (Fajardo, 2000), se observan un aumento en el espesor hacia el NW o NW. Estos datos en los que se indican los mayores espesores de la formación pueden ser de gran ayuda para reconocer las características deposicionales con un mayor detalle y con esto hacer un estudio más confiable de cómo se comportó el nivel relativo del mar a la hora de generarse la formación. La edad de la formación es considerada como Eoceno Tardío según (Fajardo, 2000)

y para el piedemonte Eoceno Temprano a Medio según (Beicip-Franlab, 1995; Bueno y Mendoza, 2008).



**Figura 18. Contacto entre la Fm Mirador Superior y la Fm Mirador Inferior, quebrada la Piñalerita. Azimut 355°.**



**Figura 19. Mapa Isocoro de la formación Mirador. (Tomado de Fajardo A., 2000).**

**Clasificación de las facies con su respectiva interpretación y relación con los ambientes sedimentarios:**

La grafica (Figura 20), muestra las facies presentes en la formación Mirador acorde a su porcentaje y se puede observar en orden de predominancia de mayor a menor la tendencia de aportes **37% Sh** (areniscas con estratificación paralela correspondientes a flujos de estratificación planar, régimen de flujos altos), **19% Fsh** (limolitas con laminación fina correspondiente a llanuras de inundación), **15% Sm** (areniscas masivas correspondientes a depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales), **8% Sp** (Arenisca con estratificación cruzada planar), **7% Sl** (Arenisca con estratificación cruzada de bajo ángulo), **6% Sm** (Areniscas masivas), **6% Fm** (Arcillolita masiva) y **2% Fsm** (Limolita masiva), (según la clasificación de Miall, 1978), totalizando según su granulometría se observa 73% de tamaños arena que van de muy finos a finos , 21% de tamaños limo y 6% de tamaños lodo; interpretando cada una de las subdivisiones de la Formación

Mirador, en la columna sedimentaria tipo de la Quebrada La Piñalerita, Sabanalarga, Casanare, se tiene:

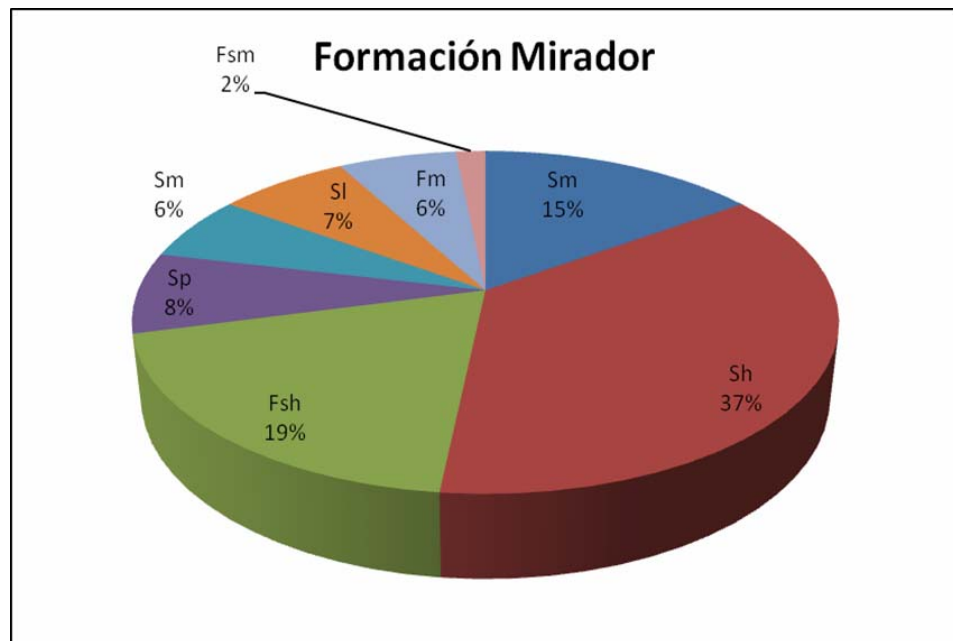
Formación Mirador Superior: segmento que predomina para la formación en el área de estudio, donde se observan granulometrías de arena muy fina a fina, estructuras sedimentarias de baja energía, como son la estratificación plano paralela, disposición tabular de los estratos, en ocasiones delgadas intercalaciones de capas de tamaño de grano lodo y la presenta de glauconita, que podrían indicar un ambiente de tipo **Estuarino**.

Formación Mirador Medio: en este miembro de la formación, al interpretar la columna estratigráfica, se observó una tendencia granulométrica de tamaño fino (lodo y limo), una geometría tabular de los estratos, estructuras sedimentarias tales como: laminaciones plano paralelas homogéneas a masivas, presencia de materia orgánica, algunos paleosuelos y ocasionalmente algunas intercalaciones con capas de areniscas de tamaño de grano muy fino a fino de poco espesor, al parecer estas intercalaciones se generaron por aportes fluviales, características que pueden indicar un tipo de ambiente sedimentario de **Llanura de Inundación**.

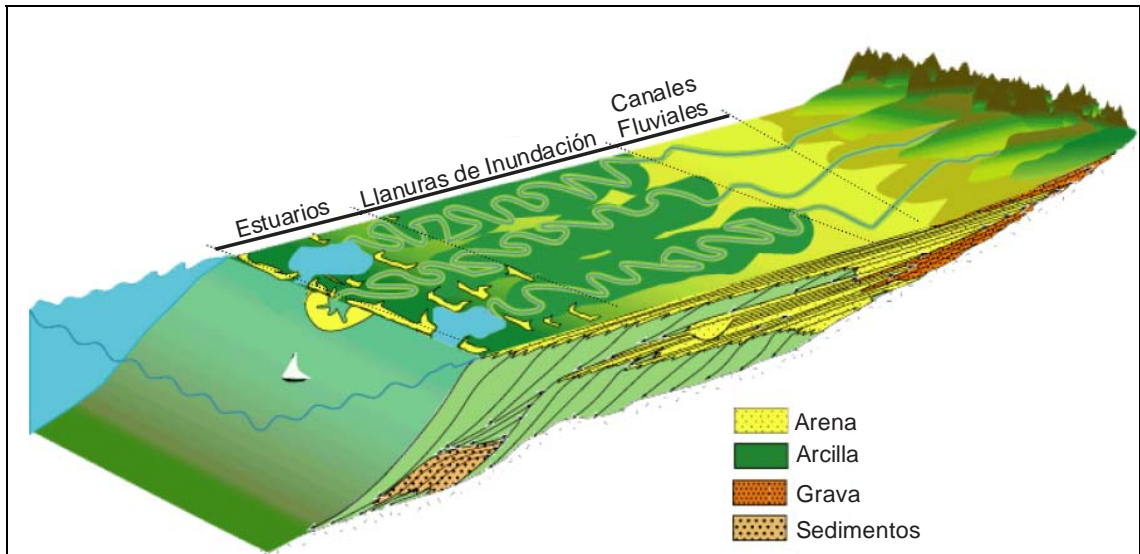
Formación Mirador Inferior: en este miembro de la formación, al interpretar la columna estratigráfica, se observó una tendencia granulométrica de tamaño arena. Se observan estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada y estratificación cruzada de bajo ángulo, geometrías subtabulares de los estratos mostrando contactos netos-irregulares entre los estratos, con presencia de pirita, materia orgánica a manera de láminas, lo cual es indicativo de un ambiente tipo **Canales Fluviales** o de **Canales de Ríos Trenzados**.

Teniendo en cuenta los cambios faciales en la Formación Mirador, se llega a la conclusión de que para la depositación de dicha formación se necesitó de un ambiente **TRANSICIONAL (ESTAURIOS, LLANURAS DE INUNDACION Y**

**CANALES FLUVIALES)**, para ilustrar este resultado se tomó la gráfica de Langhorne B., Christopher G., (2003). (*Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004*) quien coincide con la interpretación dada anteriormente (ver figura 21). Junto con la interpretación de las columnas tipo elaboradas para el presente trabajo, logrando finalmente confirmar el tipo de ambiente propuesto para esta Formación.



**Figura 20. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Mirador.**



**Figura 21. Ambiente de depositación de la Fm Mirador según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004)**

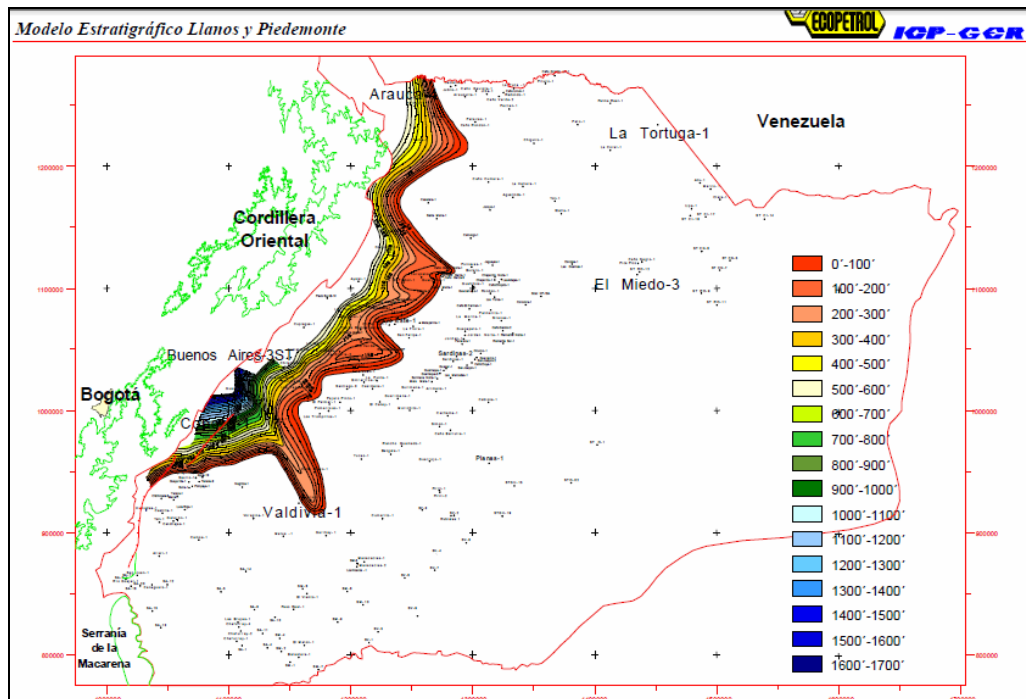
**7.2.3. Formación Los Cuervos.** La formación Los Cuervos presenta 71.5 metros de espesor en la Quebrada la Piñalera, Sabanalarga, Casanare, Colombia, principalmente está compuesta por arcillolitas y limolitas de color gris morado verdoso ligeramente oxidadas con presencia de bioturbación y gran cantidad de materia orgánica, ocasionalmente intercaladas con capas de areniscas de grano muy fino en capas de espesor hasta de 3 metros y con mantos de carbón, (ver Figura 22)

En la (figura 23) de (Fajardo, 2000), se observan los mayores espesores para la Formación Los Cuervos hacia el área del Meta. Estos datos en los que se indican los mayores espesores de la formación pueden ser de gran ayuda para reconocer las características deposicionales con un mayor detalle y con esto hacer un estudio más confiable de cómo se comportó el nivel relativo del mar a la hora de generarse la formación. La edad de la formación es considerada del Paleoceno

según (Beicip-Franlab 1995; Bueno y Mendoza, 2008) y del Paleoceno tardío según (Fajardo, 2000).



**Figura 22. Formación Los Cuervos, quebrada la Piñalerita. Azimut 125°.**



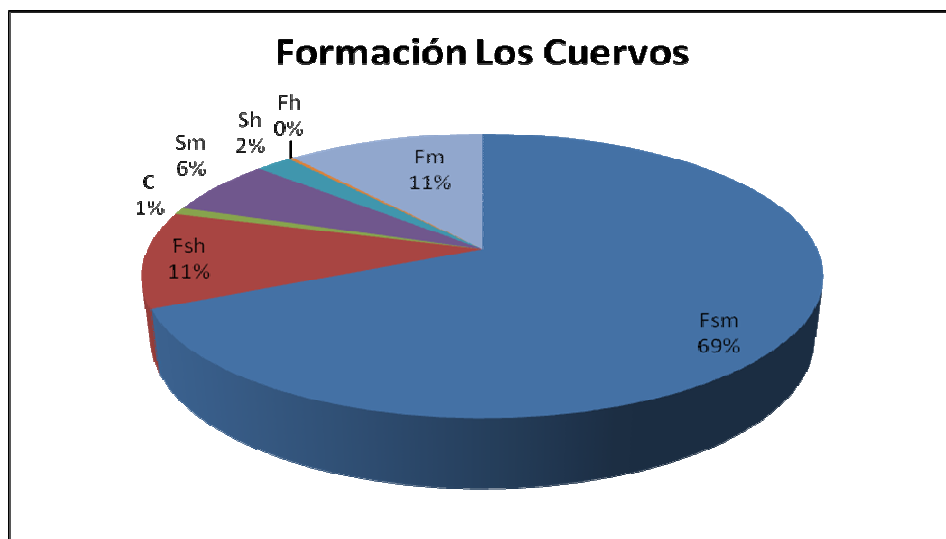
**Figura 23. Mapa Isocoro de las Formaciones Los Cuervos y Barco. (Tomado de Fajardo A., 2000).**

**Clasificación de las facies con su respectiva interpretación y relación con los ambientes sedimentarios:**

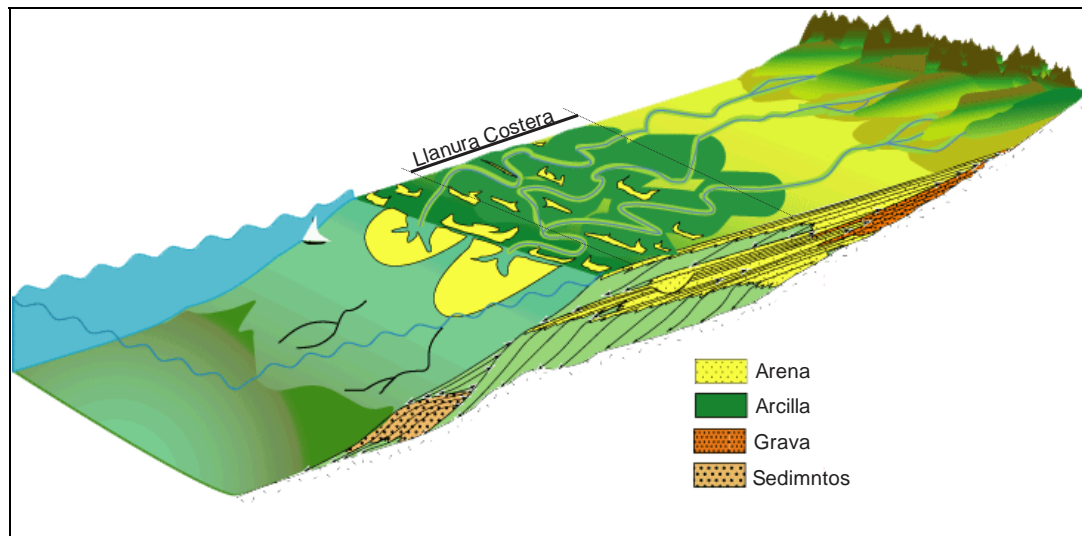
La grafica (Figura 24), muestra las facies presentes en la formación Los Cuervos acorde a su porcentaje y se puede observar en orden de predominancia de mayor a menor la tendencia de aportes **69% Fsm** (limolitas masivas de canales abandonados), **11% Fm** (arcillolitas masivas de canales abandonados), **11% Fsh** (limolitas con laminación fina de canales abandonados), **6% Sm** (Areniscas masivas), **2% Sh** (Areniscas con estratificación paralela), **1% C** (Carbón), con un mínimo porcentaje de **Fh** (Arcillolita con laminación fina) (según la clasificación de Miall, 1978), totalizando según su granulometría se observa 80% de tamaño limo, 11% de tamaño lodo, 8% de tamaños arena de muy fino y 1% de carbón; interpretando la columna sedimentaria tipo levantada en la Quebrada La Piñalerita, Sabanalarga, Casanare, se observa predominantemente una granulometría de tamaño limo que muestra un ambiente deposicional de baja a regular energía, con

pendientes muy suaves, con algunas intercalaciones de areniscas y arcillolitas y niveles de carbón; presenta materia orgánica, oxidación, algunas capas de carbonatos en los niveles arenosos y bioturbación para el caso de las granulometrías de tamaño lodo, adicional se observan sus estructuras sedimentarias típicas como lo son la laminación fina y masiva, que finalmente indican un tipo de ambiente **Llanura Costero**, a lo que se suma la aparición de niveles de carbón que podría indicar un ambiente **Restringido Parcialmente**.

Teniendo en cuenta los cambios faciales en la Formación Los Cuervos, se llega a la conclusión que el ambiente de depositación fue **TRANSICIONAL (LLANURA COSTERA PARCIALMENTE RESTRINGIDA)**, para ilustrar este resultado se tomó la gráfica de Langhorne B., Christopher G., (2003). (*Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004*) quien coincide con la interpretación dada anteriormente (ver figura 25). Junto con la interpretación de las columnas tipo elaboradas para el presente trabajo, logrando finalmente confirmar el tipo de ambiente propuesto para esta Formación.



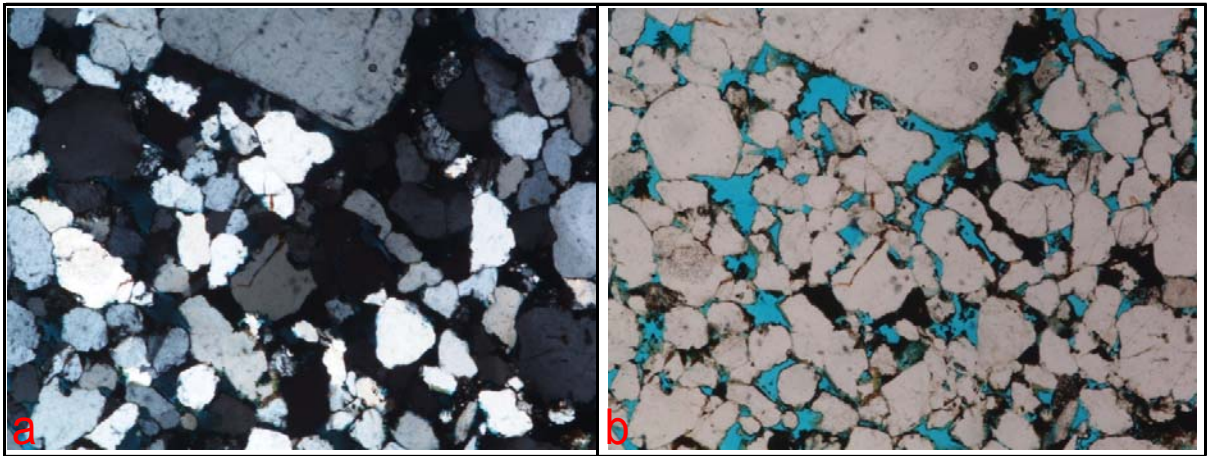
**Figura 24. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Los Cuervos.**



**Figura 25. Ambiente de depositación de la Fm Los Cuervos según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004)**

**7.2.4. Formación Barco.** La formación Barco presenta 152,55 metros de espesor en la Quebrada la Piñalerita, Sabanalarga, Casanare, Colombia, principalmente está compuesta por areniscas de tamaño de grano muy fino a fino con porosidades de hasta de 20% (ver figura 26), localmente presenta láminas de arcillolitas con plasticidad (ver figura 27).

En la (figura 23) (según Fajardo, 2000), La Formación presenta los mayores espesores hacia el área del Meta. Estos datos en los que se indican los mayores espesores de la formación pueden ser de gran ayuda para reconocer las características deposicionales con un mayor detalle y con esto hacer un estudio más confiable de cómo se comportó el nivel relativo del mar a la hora de generarse la formación. La edad de la formación es considerada del Paleoceno según (Beicip-Franlab, 1995; Bueno y Mendoza, 2008) y del Paleoceno tardío según (Fajardo, 2000).



**Figura 26. Muestra (PIÑ-A-BAR 004-TG-UIS-004), Arenisca- Cuarzo arenita, según Folk (1974).Muestra de la formación Barco con porosidad primaria intergranular de 15% a 20%, (Anexo 7).**



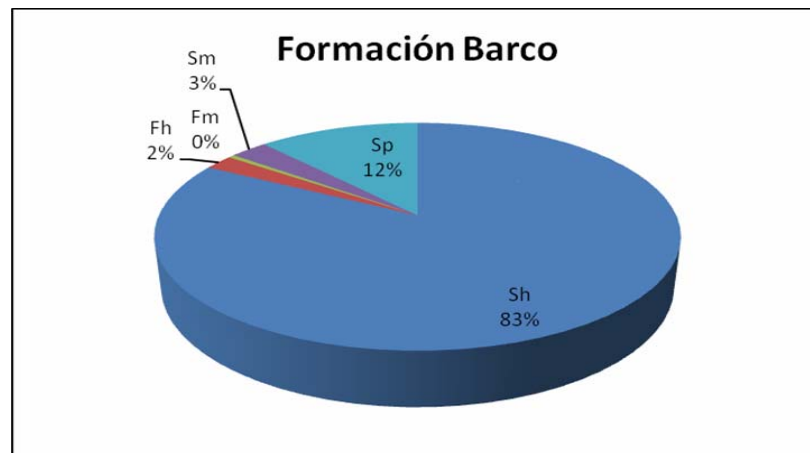
**Figura 27. Formación Barco, quebrada la Piñalerita. Azimut 340°.**

### **Clasificación de las facies con su respectiva interpretación y relación con los ambientes sedimentarios:**

La grafica (Figura 28), muestra las facies presentes en la formación Barco acorde a su porcentaje y se puede observar que predomina la tendencia de aportes **83% Sh** (areniscas con estratificación paralela correspondientes a flujos de estratificación planar), y **12% Sp** (areniscas con estratificación cruzada planar correspondiente a estructuras sedimentarias transversas, dunas 2D), **3% Sm** (Areniscas masivas), **2% Fh** (Arcillolita con laminación fina) y un porcentaje muy pequeño de **Fm** (Arcillolita masiva) (según la clasificación de Miall 1978). totalizando según su granulometría se observa 98% de tamaño arena muy fina a fina y 2% de tamaño lodo; interpretando la columna sedimentaria tipo levantada en la Quebrada La Piñalerita, Sabanalarga, Casanare, se observa predominantemente una granulometría de tamaño arena, con estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada planar a transversal, geometrías subtabulares de los estratos mostrando contactos netos-irregulares, con presencia de materia orgánica a manera de láminas, lo cual es indicativo de un ambiente de **Canales Fluviales**. Por otro lado presenta pequeñas intercalaciones de roca de granulometría tamaño lodo con el tipo de roca anteriormente descrita, que para el caso de la Quebrada la Piñalerita presenta glauconita, materia orgánica y oxidación, estructuras sedimentarias tales como laminaciones fina y masiva, geometría tabular en los estratos; para el caso de la Quebrada La Pescana, Monterrey, Casanare la Formación Barco presenta dos tipos de ichnofosiles: los más delgados corresponden con *Pascichnia* de tipo *Planolites*, es decir galerías de alimentación de *gusanos poliquetos* (Figura 29), y los más grandes son *domichniade* tipo *thalassinoides* producidos por *crustaceos decapodos* (Figura 30), los criterios anteriormente descritos indican un ambiente **Estuarino**.

Teniendo en cuenta los cambios faciales en la Formación Barco, se llega a la conclusión de que para la depositación de dicha formación se necesitó de un ambiente **TRANSICIONAL (CANALES FLUVIALES Y BARRERAS**

**ESTUARINAS)**, para ilustrar este resultado se tomó la gráfica de Langhorne B., Christopher G., (2003). (*Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004*) quien coincide con la interpretación dada anteriormente (ver figura 31). Junto con la interpretación de las columnas tipo elaboradas para el presente trabajo, logrando finalmente confirmar el tipo de ambiente propuesto para esta Formación.



**Figura 28. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Barco.**



**Figura 29. Ichnofosiles: Pascichnia de tipo Planolites, de la Fm. Barco.**



Figura 30. Ichnofosiles: domichnia de tipo thalassinoides, de La Fm. Barco

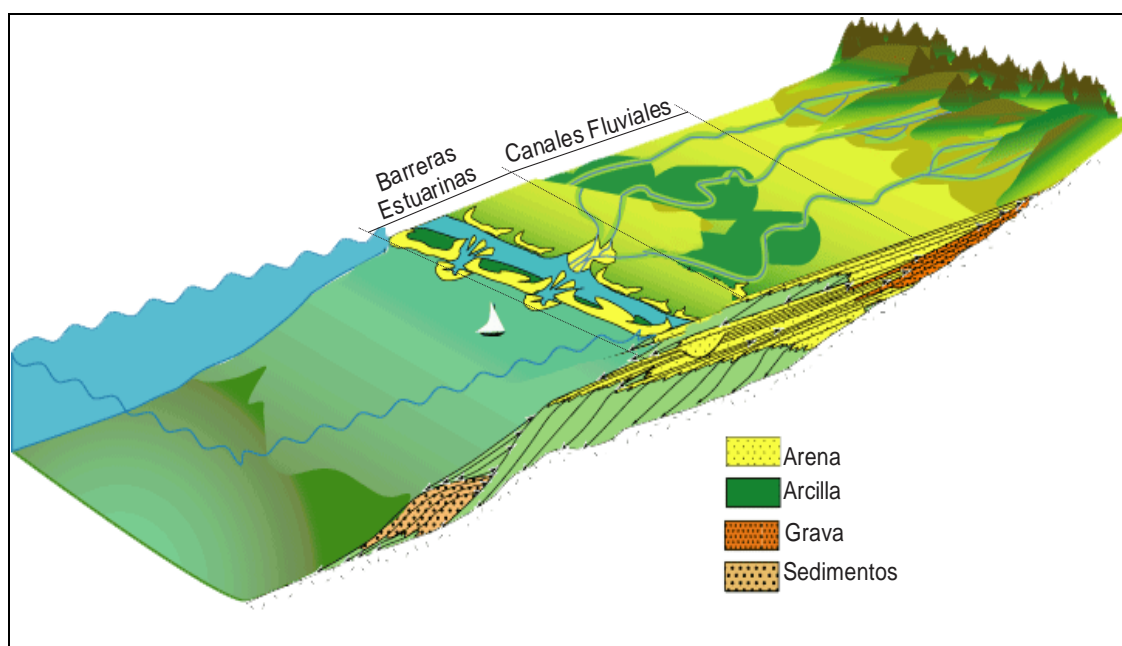


Figura 31. Ambiente de deposición de la Fm Barco. Cuervos según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004).

**7.2.5. Formación Guadalupe.** La formación Guadalupe que aflora en la Quebrada La Pescana Monterrey, Casanare, Colombia, presenta un espesor de 45,1 metros, aunque no es el espesor real, debido a que la quebrada se encuentra en una zona de gran complejidad estructural, afectada por el sinclinal de Porvenir y regionalmente por la falla de Guaicáramo, y además gran parte de la quebrada se encuentra cubierta por derrumbes. Principalmente está compuesta por areniscas de tamaño de grano muy fino a fino intercaladas con limolitas y arcillolita, (Figura 32).

En la (figura 33) de (Fajardo, 2000), muestra que los mayores espesores de la Formación Guadalupe se encuentran al occidente del sector de Arauca; Estos datos en los que se indican los mayores espesores de la formación pueden ser de gran ayuda para reconocer las características deposicionales con un mayor detalle y con esto hacer un estudio más confiable de cómo se comportó el nivel relativo del mar a la hora de generarse la formación. La edad de la formación es considerada Campaniano- Maastrichtiano temprano según (Fajardo, 2000), para ello recopila la información bioestratigráfica suministrada por (Muñoz, 1993) quien sugiere un rango de edades del Campaniano- Maastrichtiano temprano; de igual forma toma los datos bioestratigráficos reportados por (Rueda, 1996; Fajardo et al. 1997) que le asignan una edad al Campaniano.



Figura 32. Formación Guadalupe, quebrada la Pescana donde se observa el plegamiento generado en el sinclinal del Porvenir, Azimut 100°.

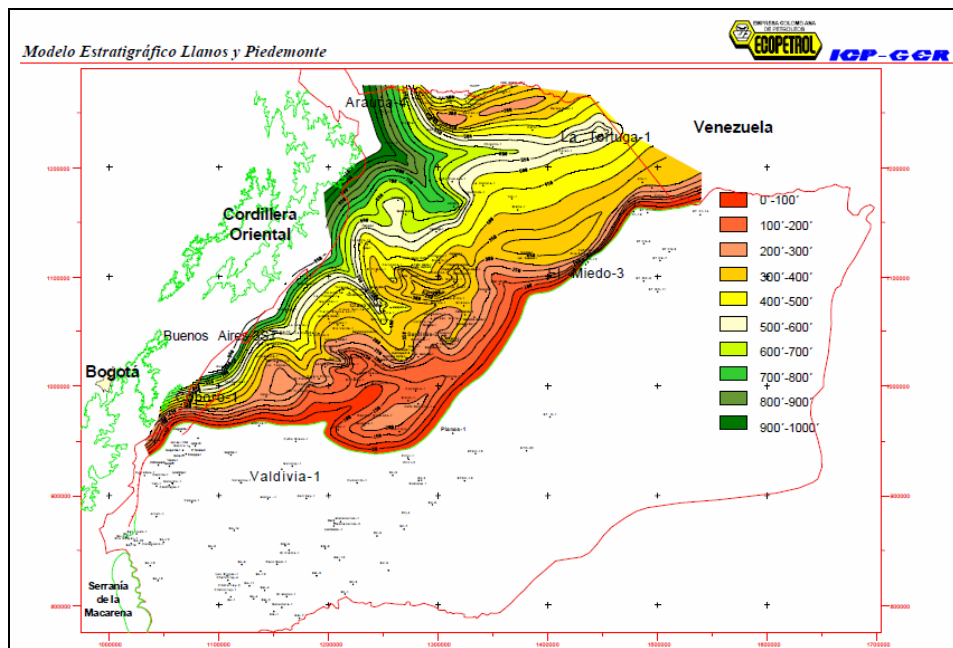
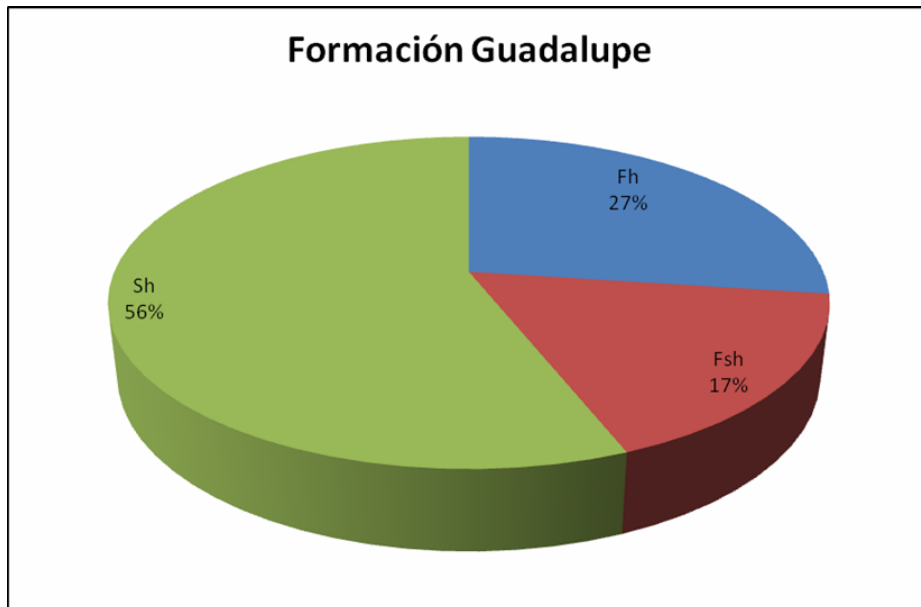


Figura 33. Mapa Isocoro de la formación Guadalupe. (Tomado de Fajardo A., 2000).

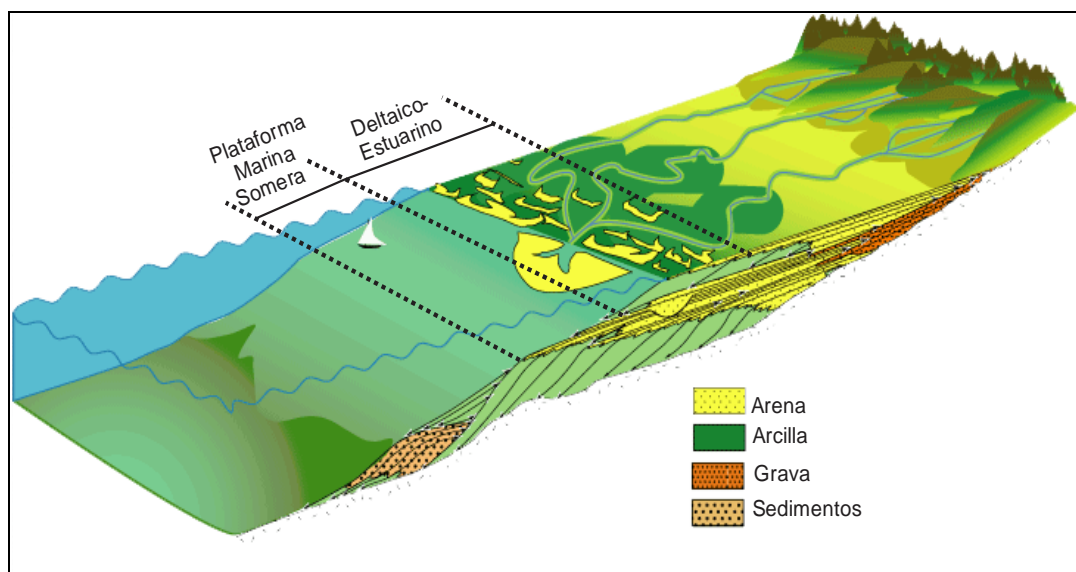
### **Clasificación de las facies con su respectiva interpretación y relación con los ambientes sedimentarios:**

La grafica (Figura 34), muestra las facies presentes en la formación Guadalupe acorde a su porcentaje y se puede observar que predomina la tendencia de aportes **56% Sh** (areniscas con estratificación paralela correspondientes a flujos de estratificación planar), **27% Fh** (arcillolitas con laminación fina correspondiente a canales abandonados) y **17% Fsh** (limolitas con laminación fina correspondiente a llanuras de inundación) (según la clasificación de Miall, 1978). Interpretando la columna sedimentaria tipo, levantada en la Quebrada La Pescana, Monterrey, Casanare, se observa una intercalación entre una granulometría de tamaño arena con capas de tamaño limo, con presencia de carbonatos y glauconita, con estructuras sedimentarias tales como estratificación paralela, laminación fina, el aumento en el porcentaje de las partículas tamaño arcilla hacia el contacto con la Formación Barco marcado por una inconformidad, podría sugerir la transición de un ambiente **Delta-Estuarino** a un ambiente de **Plataforma Marina Somera**. Como observación cabe resaltar que debido a la complejidad estructural de la zona donde se encuentra aflorando esta formación se hizo necesario para la determinación del tipo de ambiente depositacional la consulta bibliográfica (Fajardo, 2000)

Teniendo en cuenta los cambios faciales en la Formación Guadalupe, se llega a la conclusión de que para la depositación de dicha formación se necesitó de un ambiente **TRANSICIONAL (DELTA-ESTUARINO Y DE PLATAFORMA MARINA SOMERA)**, para ilustrar este resultado se tomó la gráfica de Langhorne B., Christopher G., (2003). (*Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004*) quien coincide con la interpretación dada anteriormente (ver figura 35). Junto con la interpretación de las columnas tipo elaboradas para el presente trabajo, logrando finalmente confirmar el tipo de ambiente propuesto para esta Formación.



**Figura 34. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Guadalupe.**



**Figura 35. Ambiente de deposición de la Fm Guadalupe según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004).**

**7.2.6. Formación Gacheta.** La formación Gacheta que se encuentra en la Quebrada la Pescana Monterrey, Casanare, Colombia, presenta un espesor de 57,68 metros aunque no es el espesor real, debido a que la quebrada se encuentra en una zona compleja estructuralmente, afectada por el anticlinal de Monserrate y regionalmente por la falla de Guaicáramo, además gran parte de la quebrada se encuentra cubierta por material transportado de la parte superior. Principalmente está compuesta por intercalaciones entre limolitas y arcillolitas grises oscuras, y localmente areniscas que en ocasiones presentan carbonatos (Figura 36).

En la (Figura 37) de (Fajardo, 2000) muestra una tendencia de aumento de espesor hacia el NW, aproximadamente paralelo con el eje de la Cordillera Oriental. Los mayores espesores reportados están en el Piedemonte Llanero del sector del Meta. Estos datos en los que se indican los mayores espesores de la formación pueden ser de gran ayuda para reconocer las características deposicionales con un mayor detalle y con esto hacer un estudio más confiable de cómo se comportó el nivel relativo del mar a la hora de generarse la formación. La edad de la formación es considerada Coniaciano al Santoniano según (Fajardo, 2000).



Figura 36. Formación Gacheta, quebrada la Pescana donde se observa el plegamiento generado en el anticlinal de Monserrate, Azimut 95

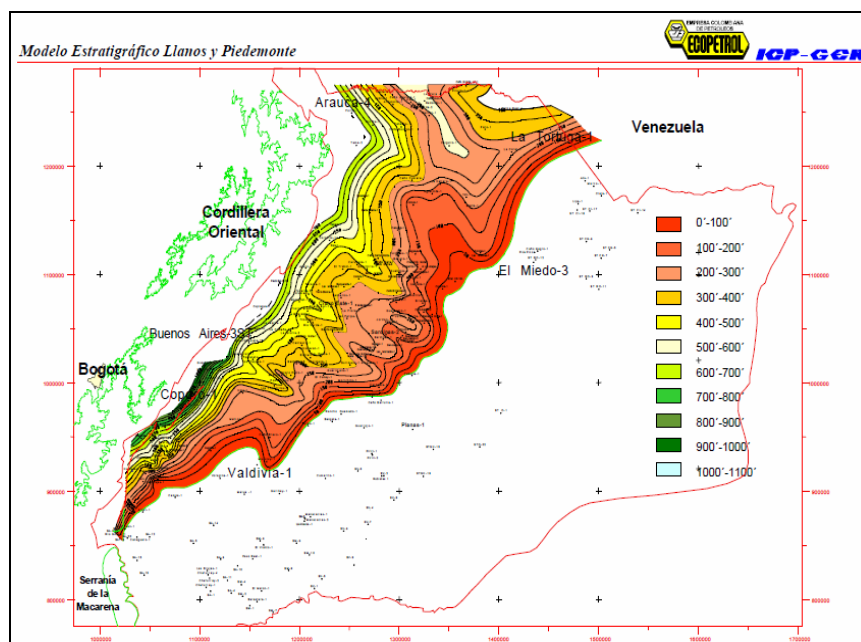
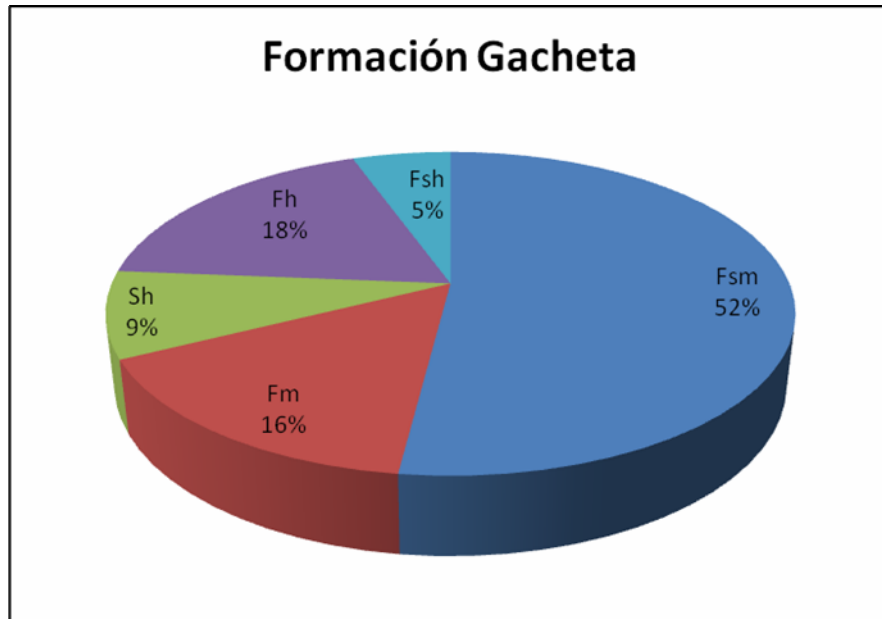


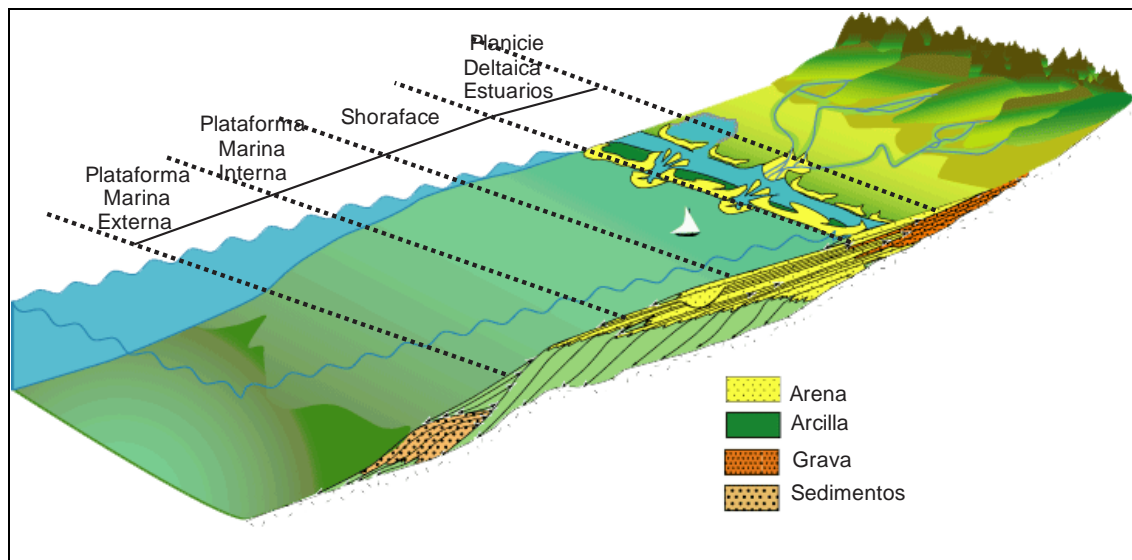
Figura 37. Mapa Isocoro de la formación Gacheta. (Tomado de Fajardo A., 2000).

### **Clasificación de las facies con su respectiva interpretación y relación con los ambientes sedimentarios:**

La grafica (Figura 38), muestra las facies presentes en la formación Gacheta, acorde a su porcentaje y se puede observar que predomina la tendencia de aportes **52% Fsm** (limolitas masivas de llanuras de inundación), **18% Fh** (arcillolitas con laminación fina correspondiente a llanuras de inundación), **16% Fm** (arcillolitas masivas de canales abandonados), **9% Sh** (Areniscas con estratificación paralela) y **5% Fsh** (Limolita con laminación fina) (según la clasificación de Miall, 1978); totalizando según su granulometría se observa 57% de tamaño limo, 34% de tamaño lodo y 9% de tamaño arena; Interpretando la columna sedimentaria tipo, levantada en la Quebrada La Pescana, Monterrey, Casanare, se observa una intercalación entre una granulometría de tamaño limo, arcilla con algunas capas de arena de poco espesor con presencia de carbonatos, la formación presenta estructuras sedimentarias de baja energía que representan ambientes tranquilos, como estratificación plano paralela y masiva, laminación fina, con presencia de shale (físil, tabular, de colores grises oscuros), fósiles (*Thalassinoides*, galerías), estas características en conjunto con una ardua revisión bibliográfica (la Unión Temporal Geoconsult Ltda – Pangea Ltda (2004), Ariana Ltda. (1995), Ariana Ltda. (1999), Geoestratos (1996), Geoestudios Ltda. (1995), Guerrero & Sarmiento (1996) y Fajardo, 2000, Langhorne B., Christopher G., (2003), (ver figura 39), permitió la identificación de los posibles ambientes sedimentarios para esta formación: **Planicie Deltaica (Estuarios), Shoreface Y Plataforma Marina Interna Y Externa.**



**Figura 38. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Gacheta.**



**Figura 39. Ambiente de deposición de la Fm Gacheta, según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004).**

**7.2.7. Formación Une.** La formación Une que se encuentra en la Quebrada la Pescana Monterrey, Casanare, Colombia, presenta un espesor de 185.2 metros aunque no es el espesor real, debido a que la formación Une se encuentra en el núcleo del anticlinal de Monserrate, es una zona compleja estructuralmente, ya que regionalmente está afectada por la falla de Guaicáramo y además gran parte de la quebrada se encuentra cubierta por material transportado de la parte superior. Principalmente está compuesta areniscas con alto contenido de cuarzo y con estratificación plano paralela intercala con limolitas y arcillolitas que presentan materia orgánica, y también localmente delgados mantos de carbón. (Figura 40).

En la (Figura 41) de (Fajardo, 2000), muestra unos espesores mayores de la formación Une en los sectores de Apiay y de Arauca, Estos datos en los que se indican los mayores espesores de la formación pueden ser de gran ayuda para reconocer las características deposicionales con un mayor detalle y con esto hacer un estudio más confiable de cómo se comportó el nivel relativo del mar a la hora de generarse la formación. La edad de la formación es considerada como Cenomaniano a Coniaciano según (Fajardo, 2000).



**Figura 40. Formación Une, quebrada la Pescana, donde se observa el plegamiento generado en el núcleo del anticlinal de Monserrate, Azimut 300°**

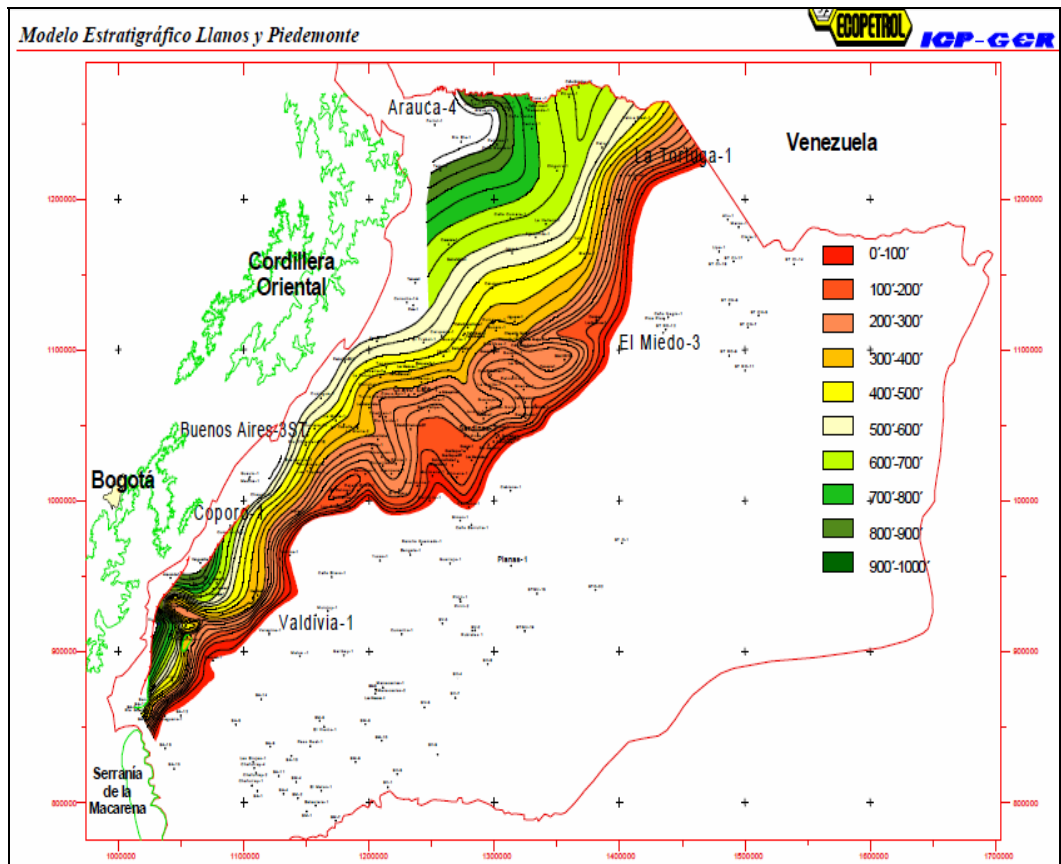
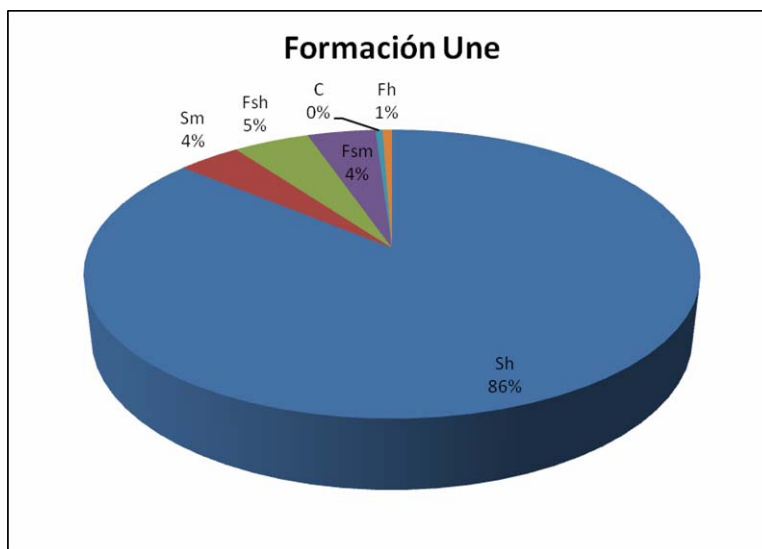


Figura 41. Mapa Isocoro de la formación Une. Tomado de (Fajardo A., 2000).

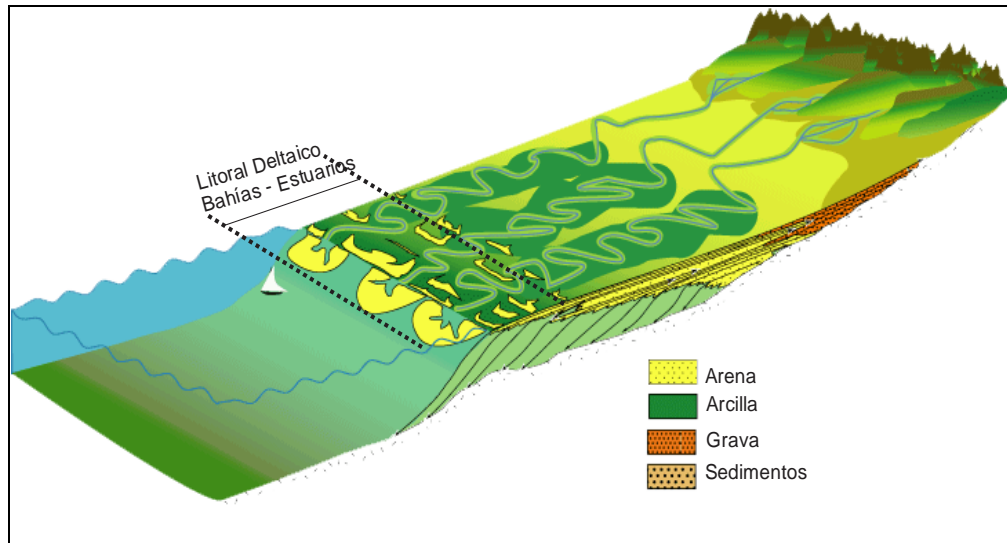
**Clasificación de las facies con su respectiva interpretación y relación con los ambientes sedimentarios:**

La grafica (Figura 42), muestra las facies presentes en la formación Une acordé a su porcentaje y se puede observar que predomina la tendencia de aportes **86% Sh** (areniscas con estratificación paralela correspondientes a flujos de estratificación planar), **5% Fsh** (Limolita con laminación fina), **4% Fsm** (Limolita masiva), **4% Sm** (Arenisca masiva), **1% Fh** (Arcillolita con laminación fina) y un porcentaje mínimo de **C** (Carbón) (según la clasificación de Miall, 1978). Totalizando según su granulometría se observa 90% de tamaño arena, 9% de tamaño limo y 1% de tamaño lodo; Interpretando la columna sedimentaria tipo, levantada en la Quebrada La Pescana, Monterrey, Casanare, se observa una intercalación

granulométrica entre capas de tamaño arena, muy fina hasta gruesa, con algunas capas de limos y lodos, ocasionalmente con niveles carbonosos, presenta estructuras sedimentarias tales como estratificación plano paralela, laminación fina a masiva, lo que muestra un ambiente de baja energía, influenciado por aportes fluviales determinado por la presencia de abundantes partículas de arena, con presencia de con presencia de gran cantidad de óxidos para el caso de las areniscas de tamaño grueso y abundantes contenidos de materia orgánica y glauconita para el caso de areniscas de tamaño muy fino, que por lo general están intercaladas con arcillolitas de tonalidades verdosas. Integrando la información interpretada junto a una exhaustiva recopilación bibliográfica (Unión Temporal Geoconsult Ltda – Pangea Ltda (2004) basados en la información de columnas estratigráficas elaboradas por Ariana Ltda (1995), Ariana Ltda. (1999), Geoestudios Ltda. (1995) y Guerrero & Sarmiento (1996), Fajardo (2000) y Langhorne B., Christopher G., (2003) (ver figura 43)) se determinó el ambiente para la Formación Une como **Litoral Deltaico Con Influencia Fluvial**



**Figura 42. Comportamiento estadístico de las facies en la formación Une.**



**Figura 43. Ambiente de depositación de la Fm Une, según Langhorne B., Christopher G., (2003). (Modificado de la Unión Temporal Geoconsult Ltda., Pangea Ltda., 2004).**

### **7.3. AMBIENTES DEPOSICIONALES DEL AREA DE ESTUDIO, ENCADENADOS A LOS HST, TST Y LST**

**7.3.1. Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7) (TST).** La formación Carbonera base (miembros C8 y parte C7) presenta un ambiente deposicional **TRANSICIONAL (LAGUNAR COSTERO Y BAHIAS O ESTUARIOS)**, este tipo de ambiente sedimentario se encuentra dentro de TST (Transgressive System Tract, que hace referencia a la depositación entre una caída máxima del nivel del mar y un acenso máximo del nivel del mar, y es un componente del System Tract), ya que se depositó cuando la acomodación del Topset era mayor que la tasa de suministro de sedimento (ver figura 44).

La formación se encuentra limitada a la base por una superficie de inundación (FS), (ver figura 44), lo que indica que el evento TST continua, identificada en la interpretación de la columna por el cambio abrupto en la litología y nombrada por Fajardo, (2000) aunque el propone que es una máxima superficie de inundación, pero analizando el ambiente de depositación de la formación de la Fm Carbonera Base (miembros C8 y parte C7) y la formación que limita hacia la base que es la Fm Mirador, la palinología y los niveles relativos del mar mundiales se asume que es una superficie de inundación. El techo de la formación es una la superficie de inundación, que se identifica con gran facilidad y confiabilidad, por esta razón se toma como datum para las correlaciones estratigráficas, (Fajardo, 2000). Durante el Oligoceno al Mioceno Medio, que es tiempo en el que se depositó la formación, se encontraron los siguientes eventos Palinológicos: hacia el techo de la formación y marcando la superficie de inundación se encuentra el evento Palinológico *Grimsdaleamagnaclavata*. Otros eventos encontrados en la cuenca para este periodo de tiempo incluyen *Crassoretitritesvanraadshooveni*, *Cicatricosisporitesdorogensis*, *Lanagiopolliscrassa*, *Multimarginitesvanderhammenii*, *Tuberculodiniumvancampoae*, *Echitricolporitesmaristellae*, *Ilexpollenitesduranii*, *Clavainaperturitesclavatus*, *dinocyst acmeC2*, *Selenopemphixnephroides*, *Bombacaciditeszuatensis*, *Psilastephanoporitescaribiensis*, *Psilastephanoporitesherngreenii*, *Scabratricolporitesplanetensis*, *Cyclusphaerascabrata*, *Psilastephanoporitestesseroporus*, *Magnaperiporitesechinatus*, *Retistephanoporitesangelicus*, *Mauritiiditesfranciscoipachyexinatus*, *Retitricolporitesesponjosus*, *Foveotritetesornatus*, *Retistephanocolpitescostatus*, *Bombacaciditesbaculatus*, *Psilastephanoporitesherngreenii*, *Striatritetessaccolommicites* y *Retitricolporiteskaarsii* según (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008)).

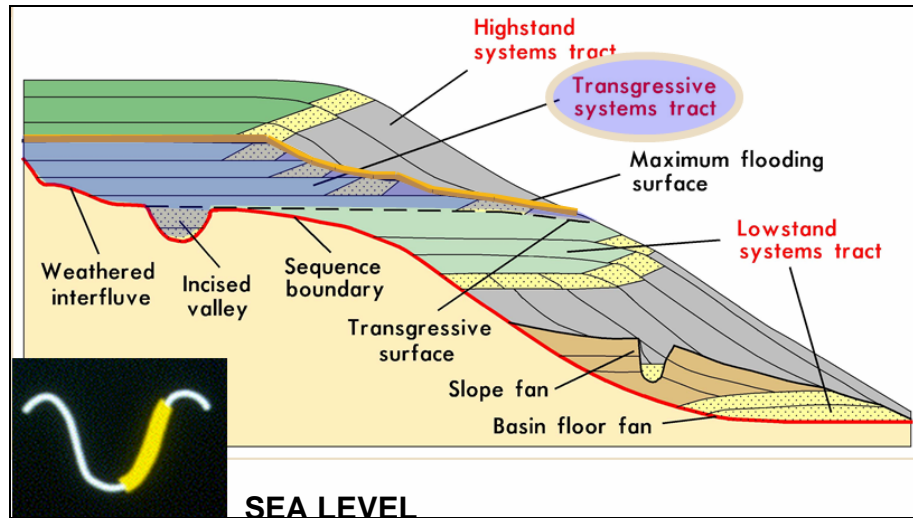


Figura 43. Se observa los ambientes deposicionales que están representados en un TST y como es la posición del nivel del mar. (Tomado de Ortiz, 2010).



Figura 44. Límite entre la Fm Carbonera Base (miembros C8 y parte C7) y la Fm Mirador en la quebrada la Piñalerita, el cual es una Superficie de Inundación y presenta la Formación Mirador suprayaciendo a la Formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7) debido a que se encuentran en el núcleo del anticlinal de Tierranegra . Azimut 165°.

**7.3.2. Formación Mirador (TST-LST):** La formación Mirador presenta un ambiente deposicional **TRANSICIONAL- CONTINENTAL (ESTAURIOS, LLANURAS DE INUNDACION Y CANALES FLUVIALES)**, hacia el techo los ambientes Estuarinos y las Llanuras de Inundación indica TST (Transgressive Systems Tract), ya que se depositó cuando la acomodación del Topset era mayor que la tasa de suministro de sedimento, y hacia la base el ambiente (Canales Fluviales) indica LST (Lowstand Systems Tract Transgressive System Tract, que hace referencia a la depositación durante una caída máxima del nivel del mar, y es un componente del System Tract), (ver figura 45). La Formación Mirador está limitada a la base por una superficie de inconformidad, cuyo origen se debe a eventos tectónicos regionales y que ha sido reconocida por muchos autores a lo largo no solo de toda la Cuenca de los Llanos Orientales, sino también en gran parte de Colombia y pone en contacto las rocas del pre-Cretáceo, Cretáceo tardío y del Paleoceno tardío, (Fajardo, 2000), lo que indica un límite de secuencias. El techo de la formación está limitada por una superficie de inundación, que se identifica un en cambio litológico abrupto, pasando de areniscas a arcillolitas. Durante el Eoceno temprano al tardío que es el período en el cual se depositó la formación, se encontraron los siguientes eventos Palinológicos: hacia el techo de la formación y marcando la superficie de inundación se encuentra el evento *Echitriporitestrianguliformisorbicularis*. Otros eventos dentro de esta cuenca para este periodo incluyen *Retistephanocolpitesangeli*, *Cricotriporitesguianensis*, *Nothofagiditeshuertasii*, *Multiporopollenitespauciporatus*, *Echimorphomonocolpitesgracilis*, *Retibrevitricolpitesstriangulatus*, *Spinizonocolpitesgrandis*, *Corsinipollenitesundulatus*, *Foveotricolporitesrugulatus*, *Clavatricolpitesdensiclavatus*, *Bombacaciditesgonzalezii*, *Bombacaciditessoleaformis*, *Gemmastephanoporitesbreviculus*, *Pseudostephanocolpitesperfectus*, *Foveotriporiteshammeniy* *Bombacaciditesgonzalezii*, según (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008)).

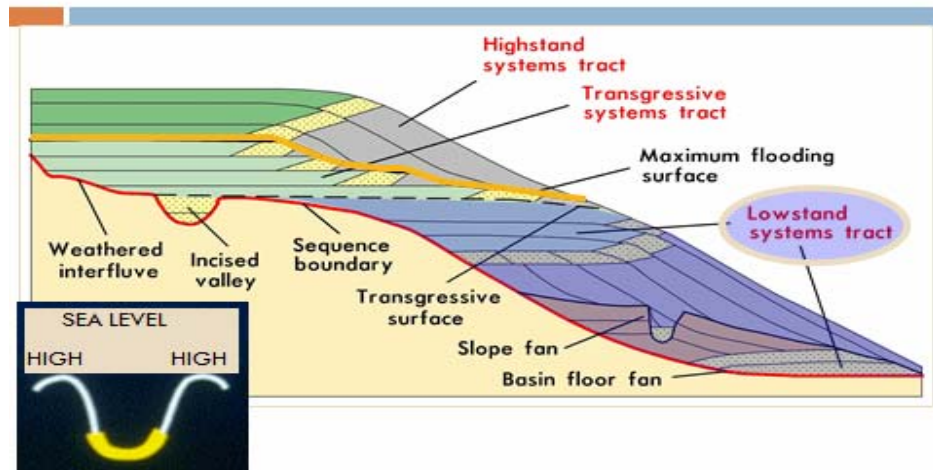
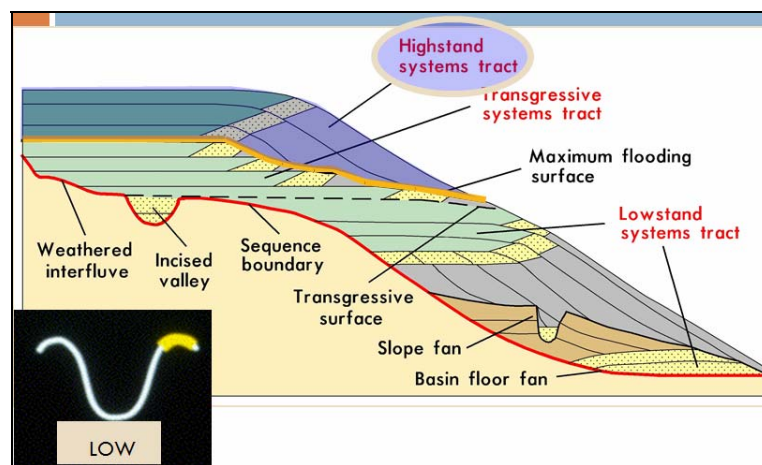


Figura 45. Se observa los ambientes deposicionales que están representados en un LST y como es la posición del nivel del mar. (Tomado de Ortiz, 2010).

**7.3.3. Formación Los Cuervos (HST).** La formación Los Cuervos presenta un ambiente deposicional **TRANSICIONAL (LLANURA COSTERA PARCIALMENTE RESTRINGIDA)**, este tipo de ambiente sedimentario se encuentra dentro de HST (Highstand Systems Tract que hace referencia a la depositación durante un ascenso máximo del nivel del mar, y es un componente del System Tract), depositado durante un Topset progradacional y después de una máxima regresión, (ver figura 46). La Formación Los Cuervos está limitada hacia el techo la superficie de inconformidad cuyo origen se debe a eventos tectónicos regionales y que ha sido reconocida por muchos autores a lo largo no solo de toda la Cuenca de los Llanos Orientales, sino también en gran parte de Colombia y pone en contacto las rocas del pre-Cretáceo, Cretáceo Tardío y del Paleoceno Tardío, (Fajardo, 2000), lo que indica un límite de secuencias. La base de la formación está limitada por una superficie de máxima inundación que se identifica en un cambio litológico abrupto, pasando de arcillolitas a areniscas, (ver figura 47). Durante el Paleoceno, que es el periodo en el que se depositó la formación, se

encontraron los siguientes eventos Palinológicos: hacia el techo de la formación y marcando la superficie de inconformidad se encuentra el evento *Bombacaciditesannae*. Otros eventos dentro de la cuenca para este periodo de tiempo son: *Longapertitesvaneendenburgi*, *Proxapertitesmagnus*, *Proxapertitescursus*, *Arecipites regio* y *Retidiporitesmagdalenensis*, según (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008)).



**Figura 46.** Se observa los ambientes deposicionales que están representados en un HST y como es la posición del nivel del mar. (Tomado de Ortiz, 2010).



**Figura 47. Límite entre la Fm Los Cuervos y la Fm Barco, quebrada la Piñalerita, el cual es una Superficie de Máxima Inundación. Azimut 320°.**

**7.3.4. Formación Barco (TST).** La formación Barco presenta un ambiente deposicional **TRANSICIONAL (CANALES FLUVIALES Y BARRERAS ESTUARINAS)**, este tipo de ambiente sedimentario se encuentra dentro de TST (Transgressive Systems Tract), ya que se depositó cuando la acomodación del Topset era mayor que la tasa de suministro de sedimento. La formación se encuentra limitada a la base por una superficie de inconformidad que está asociada a perturbaciones tectónicas regionales según orogenia pre-Andina, según Ecopetrol y otros, 1995) (en Fajardo, 2000). El techo de la formación está limitado por una superficie de máxima inundación que se identifica en un cambio litológico abrupto, pasando de arcillolitas a areniscas. Durante el Paleoceno Tardío, que es el tiempo en el que se depositó la formación, se encontraron los siguientes eventos Palinológicos: *Syncolporiteslisamae* y *Periretisyncolpitesgiganteus*, según (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008)).

**7.3.5. Formación Guadalupe (TST-HST).** La formación Guadalupe presenta un ambiente deposicional **TRANSICIONAL (DELTA-ESTUARINO Y DE PLATAFORMA MARINA SOMERA)**, hacia la base de la formación, el ambiente Delta-Estuarino indica TST (Transgressive Systems Tract), ya que se depositó cuando la acomodación del Topset era mayor que la tasa de suministro de sedimento, y hacia la techo el ambiente de Plataforma Marina Somera indica HST (Higstand Systems Tract), depositado durante un Topset progradacionál y después de una máxima regresión, para lo cual también se tuvo en cuenta la interpretación de la columna y la inconformidad hacia el techo de la formación, lo cual es un indicador de límite de secuencias. Esta formación está limitada a la base y al tope por superficies de inconformidad. La base de la formación es una discordancia que pone en contacto lodolitas de plataforma o areniscas de shoreface de la Formación Gacheta con areniscas de canales estuarinos del Guadalupe; se considera que el origen de esta inconformidad está relacionado principalmente con procesos eustáticos, (Fajardo, 2000). El techo está limitado por una superficie de inconformidad que pone en contacto esta formación con rocas del Paleoceno tardío o del Eoceno tardío; el origen de esta discordancia está relacionado con procesos tectónicos (orogenia pre-Andina según Ecopetrol y otros, 1995) (en Fajardo, 2000), figura 50. Durante el Campaniano- Maastrichtiano Temprano que es el período en el cual se depositó la formación, se encontraron los siguientes eventos Palinológicos: representando el Maastrichtiano Temprano: hacia el techo de la formación el evento *Araucariacitesaustralis* marca el límite de la secuencia. Otros eventos dentro de la cuenca para este periodo son: *Andalusiellamauthei*, *IncertaesedisFasolaandParedes*, *Echimonocolpitesprotofranciscoi*, *Periretisyncolpitesgiganteus*, *Manumiella? cretacea*, *Gabonisoritesvigourouxii*, *Dinogymniumundulosum*, *Dinogymnium avellana*, *Andalusiellagabonensis*, *Xenascusceratioides*, *Odontochitinacostata*, *Trithyrodiniumfragile*, *Oligosphaeridiumcomplex*, *Dinogymniumheterocostatum*, *Odontochitinaoperculata*, *Hystrichodiniumpulchrum*, *Hamulatisporiscaperatus*, *Alisogymniumeuclaense*, *Circulodiniumdistinctum*, *Cerodiniumgranulostriatum*,

*Andalusiellapolymorpha*, *Periretisyncolpitesmagnosagenatus*, *Tetraditesumirensis*, *Dinogymniumcretaceum*, *Senegaliniumlaevigatum*, *Zlvisporisblanensis*, *Dinogymniumacuminatum*, *Dinogymniumnelsonense*, *Syncolporiteslisamae*. Y para el periodo Campaniano aunque no bien diferenciados de los eventos que representa el Santoniano están: *Trichodiniumcastanea*, *dicolpitesobtusipollus*, *Unipontidiniumgrande*, *Dinogymniumdigitus*, *Hystrichodiniumpulchrum*, *Dinogymniumnelsonense*, *Dinogymniumacuminatum*, *Circulodiniumdistinctum*, *Odontochitinaacostata*, *Odontochitinaoperculata*, *Oligosphaeridiumcomplex*, *Dinogymniumundulosum*, *Senegaliniumbicaevatum*, *IncertaesedisFasolaandParedes*, *Dinogymniumvozzhennikovae*, *Andalusiellamauthei*, *Senegaliniumlaevigatum*, *Andalusiellapolymorpha*, *Cerodiniumleptodermum* y *Andalusiellagabonensis*, según (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008)).

**7.3.6. Formación Gacheta (HST).** La formación Gacheta presenta un ambiente deposicional (**PLANICIE DELTAICA (ESTUARIOS), SHOREFACE, PLATAFORMA MARINA INTERNA Y EXTERNA**), este tipo de ambiente sedimentario se encuentra dentro de HST (Higstand Systems Tract), depositado durante un Topset progradacionál y después de una máxima regresión. La Formación Gacheta está limitada a la base por una superficie de inundación y hacia el techo por una superficie de inconformidad que representa tiempo de erosión, exposición subaérea e incisión de valles. El principal criterio utilizado para definir esta superficie es la presencia de una arenisca con “*gamma - ray*” de carácter cilíndrico o forma de campana que sobreyace bien sea un nivel lodoso de considerable espesor o un nivel arenoso con tendencia granocreciente, (Fajardo, 2000). Durante el Coniaciano al Santoniano, que es el periodo en el que se depositó la formación, se encontraron los siguientes eventos Palinológicos: hacia el techo de la formación y marcando la superficie de inconformidad se encuentra el evento *Trichodiniumcastanea*. Otros eventos dentro de la cuenca para este periodo de tiempo son: *Dicolpitesobtusipollus*, *Unipontidiniumgrande*,

*Dinogymniumdigitus*, *Hystrichodiniumpulchrum*, *Dinogymniumnelsonense*,  
*Dinogymniumacuminatum*, *Circulodiniumdistinctum*, *Odontochitinacostata*,  
*Odontochitinaoperculata*, *Oligosphaeridiumcomplex*, *Dinogymniumundulosum*,  
*Senegaliniumbicaevatum*, *IncertaedisFasolaandParedes*,  
*Dinogymniumvozzhennikovae*, *Andalusiellamauthei*, *Senegaliniumlaevigatum*,  
*Andalusiellapolymorpha*, *Cerodiniumleptodermum* y *Andalusiellagabonensis*,  
según (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008)).

**7.3.7. Formación Une (TST).** La formación Une presenta un ambiente deposicional **LITORAL DELTAICO CON INFLUENCIA FLUVIAL**, este tipo de ambiente sedimentario se encuentra dentro de TST (Transgressive Systems Tract), ya que se depositó cuando la acomodación del Topset era mayor que la tasa de suministro de sedimento. La formación se encuentra la base limitada por una superficie de inconformidad que pone en contacto rocas del Cretáceo tardío (Cenomaniano a Coniaciano) con rocas del Paleozoico, (Fajardo, 2000). El techo de la formación está limitado por una superficie de inundación, (Fajardo, 2000).

#### **7.4. RECONOCIMIENTO DE LAS SECUENCIAS ESTRATIGRAFICAS**

Como objetivo principal de este trabajo y como se mencionó anteriormente, es el reconocimiento de las secuencias genéticamente relacionadas, limitada a su base y techo por inconformidades o discordancias, para el área de estudio.

Se comenzó revisando los trabajos anteriores: en primera instancia aquellos en los cuales se reportaban discordancias e inconformidades los cuales definen los límites de las secuencias, y adicional en estos trabajos se mencionó la sedimentación de las formaciones ligada a los TST, HST, FS y FSM, (Fajardo, 2000). Posterior una muy buena recopilación palinológica que ayudó con la identificación de las secuencias aunque con algunos problemas como la no

especificación entre un periodo y el otro, un ejemplo de esto es para el Campaniano y el Santoniano. Otro problema con la recopilación palinológica fue que para el Cenomaniano no había registro, (ver figura 48), (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008)). La información recopilada se filtró y se utilizó para definir las secuencias.

Mediante una cartografía detallada y el levantamiento de la columna tipo se identificaron las unidades aflorantes en las quebradas La Piñalerita y Pescana en Sabanalarga y Monterrey, Casanare respectivamente, después se identificaron las facies se identificaron los ambientes depositación.

Luego se revisaron los conceptos de la estratigrafía de secuencias para relacionar estos ambientes con TST, HST, FS y FSM, posterior se identificó y corroboró las discordancias e inconformidades las cuales son límites de secuencias, a continuación en la recopilación palinológica se identificó los eventos para cada lapso de tiempo

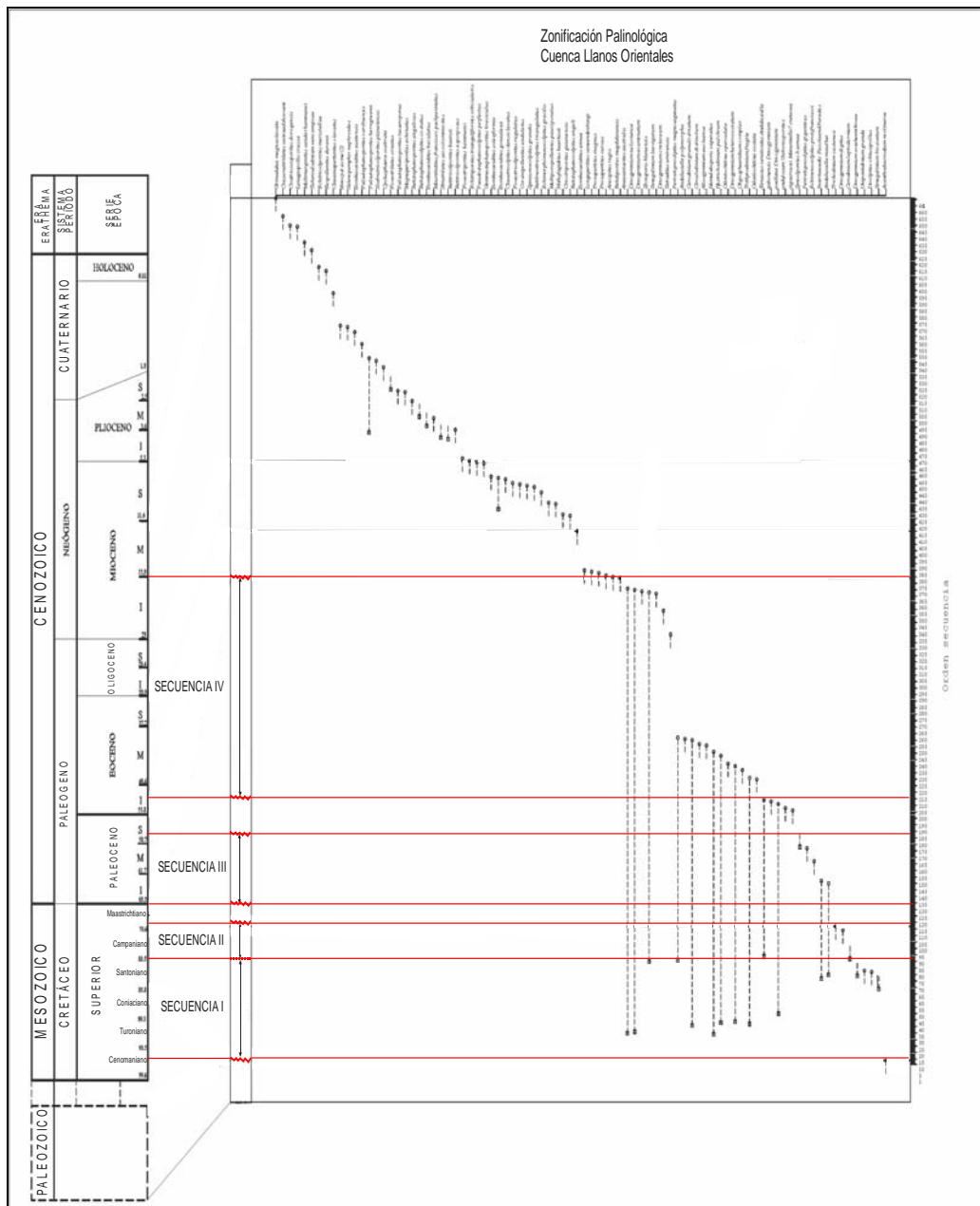
Con la integración de todos los datos anteriormente nombrados se considera que la secuencia estratigráfica para el área de estudio está dividida en cuatro secuencias deposicionales de segundo orden, cada una de ellas representadas por una duración promedio de 17 Ma, organizadas a continuación de la más antigua a la más joven:

S.I: comprende Cenomaniano al Santoniano.

S.II: comprende Campaniano al Maastrichtiano Inferior

S.III: comprende Paleoceno.

S.IV: comprende Eoceno al Mioceno Temprano



**Figura 48. Eventos Palinológicos para cada secuencia deposicional, con los cuales se pudo corroborar las inconformidades debido a la falta de registro y mostrar los eventos palinológicos representativos en cada secuencia deposicional. (Modificado de Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, (2008))**

**7.4.1. Secuencia Depositional I (Cenomaniano al Santoniano).** Esta secuencia está representada por las formaciones Une y Gacheta. La Formación Une presenta una sedimentación tipo TST y la formación Gacheta HST. La secuencia está limitada a la base por una inconformidad que pone en contacto rocas del Cretáceo Tardío (Cenomaniano a Coniaciano) con rocas del Paleozoico, Fajardo (2000) y este límite está representado por una discordancia relacionada con una importante caída del nivel eustático global, que ocurrió a principios del Cenomaniano (Haq et al., 1988) (ver figura 49). Hacia el techo la secuencia está limitada por una discordancia geológica que pone en contacto lodolitas de plataforma o areniscas de shoreface de la Formación Gacheta con areniscas de canales estuarinos del Guadalupe; se considera que el origen de esta inconformidad está relacionado principalmente con procesos eustáticos, Fajardo (2000). y se encuentra representado por el evento palinológico *Trichodiniumcastanea.*, (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, 2008)., (ver figura 48).

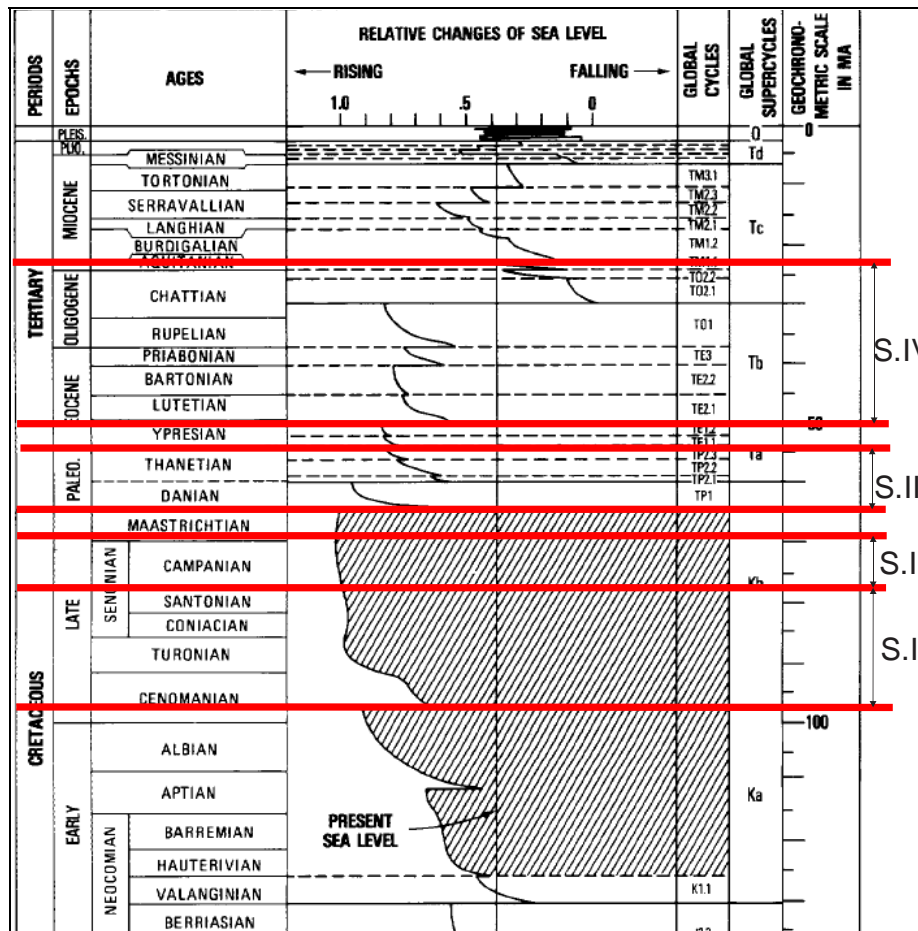


Figura 49. Ciclos eustáticos globales del nivel relativo del mar durante el Cenomaniano al Mioceno Temprano. (Tomado de Vail et al., 1977).

#### 7.4.2. Secuencia Depositional II (Campaniano al Maastrichtiano Inferior)

Esta secuencia está representada por la formación Guadalupe. La formación Guadalupe hacia la base está representada por una sedimentación tipo TST y hacia el techo HST. La base de la secuencia está limitada por una discordancia geológica, que pone en contacto lodolitas de plataforma o areniscas de shoreface de la Formación Gacheta con areniscas de canales estuarinos del Guadalupe; se considera que el origen de esta inconformidad está relacionado principalmente con procesos eustáticos, Fajardo (2000). y se encuentra representado por el evento palinológico *Trichodiniumcastanea*, (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, 2008).

El techo está limitado por una superficie de inconformidad que pone en contacto esta formación con rocas del Paleoceno tardío o del Eoceno tardío; el origen de esta discordancia está relacionado con procesos tectónicos (orogenia pre-Andina según Ecopetrol y otros, 1995) este límite está representado por una discordancia relacionada con una importante caída del nivel eustático global, que ocurrió a comienzos del Paleoceno (Haq et al., 1988) (ver figura 49), y se encuentra representado por el evento palinológico *Araucariacitesaustralis*, (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, 2008)

**7.4.3. Secuencia Depositional III (Paleoceno).** Esta secuencia está representada por las formaciones Los Cuervos y Barco. La formación Los Cuervos está representada por una sedimentación tipo HST y la formación Barco por TST. Esta secuencia está limitada a la base y al tope por superficies de inconformidad. La base de la secuencia se encuentra limitada por una superficie de inconformidad que está asociada a perturbaciones tectónicas regionales (orogenia pre-Andina, según Ecopetrol y otros, 1995) este límite está representado por una discordancia relacionada con una importante caída del nivel eustático global, que ocurrió a comienzos del Paleoceno (Haq et al., 1988) (ver figura 49), y se encuentra representado por el evento palinológico *Araucariacitesaustralis*, (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, 2008). El techo de la secuencia se encuentra limitado por una superficie de inconformidad cuyo origen se debe a eventos tectónicos regionales y que ha sido reconocida por muchos autores a lo largo no solo de toda la Cuenca de los Llanos Orientales, sino también en gran parte de Colombia y pone en contacto las rocas del pre-Cretáceo, Cretáceo Tardío y del Paleoceno Tardío, Fajardo (2000), y se encuentra representado por el evento palinológico *Bombacaciditesannae*, (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, 2008).

**7.4.4. Secuencia Depositional IV (Eoceno a Mioceno Inferior).** Esta secuencia está representada por las formaciones Mirador y Carbonera Base (miembros C8 y parte C7). La formación Mirador está representada hacia la base por una

sedimentación tipo LST y hacia el techo TST. La formación Carbonera Base (miembros C8 y parte C7) por TST. Esta secuencia está limitada a la base por una superficie de inconformidad y al tope por una superficie de inundación. La base de la secuencia se encuentra limitada por una superficie de inconformidad cuyo origen se debe a eventos tectónicos regionales y que ha sido reconocida por muchos autores a lo largo no solo de toda la Cuenca de los Llanos Orientales, sino también en gran parte de Colombia y pone en contacto las rocas del pre-Cretáceo, Cretáceo Tardío y del Paleoceno Tardío, Fajardo (2000) y se encuentra representado por el evento palinológico *Bombacaciditesannae*, (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, 2008). El techo de la secuencia es una la superficie de inundación que se identifica con gran facilidad y confiabilidad, por esta razón se toma como datum para las correlaciones estratigráficas, Fajardo (2000) y se encuentra representado por el evento palinológico *Grimsdaleamagnaclavata*, (Cuartas, Jaramillo, Arjona y Da Silva, 2008).

## 8. CONCLUSIONES

- Revisando los conceptos de estratigrafía de secuencias y tomando estudios previos, se reconocieron paquetes estratigráficos genéticamente relacionados, representados en cuatro secuencias depositacionales con una duración promedio de 17 Ma, organizadas a continuación de la más antigua a la más joven: S.I: comprende Cenomaniano al Santoniano, S.II: comprende Campaniano al Maastrichtiano Inferior, S.III: comprende Paleoceno y S.IV: comprende Eoceno al Mioceno Temprano.
- Mediante una cartografía en detalle a escala 1:25000 y el levantamiento de la columna tipo a escala 1:10, junto con estudios previos, se reconocieron y corroboraron las facies y ambientes sedimentarias ligados a HST, TST y LST representativas para el área de estudio.
- Se reconocieron los límites de secuencias siguiendo la escuela de EXXON (Vail) mediante discordancias e inconformidades que anteriormente estaban mencionadas.
- Mediante el trabajo conjunto de campo y recopilación bibliográfica, se reconoció que las secuencias depositacionales (con sus respectivas reconstrucciones paleogeográficas) estuvieron controladas principalmente por variaciones del nivel relativo del mar (eustatismo), tectonismo y aporte de sedimentos.
- La interpretación de cada secuencia depositacional mostro el comportamiento del nivel del mar, (transgresiones y regresiones), para generar y depositar las

diferentes formaciones que son la representación el sistema petrolífero en la cuenca.

- El engranaje de la estratigrafía de secuencias a la hora de la exploración para las empresas del sector de los hidrocarburos, da como resultado una mejor definición de oportunidades o plays donde explorar, al mismo tiempo que mejoran el estado del conocimiento geológico de la Cuenca, contribuyendo así a responder a la pregunta ¿Cuáles serán los mejores sitios para explorar sin el menor riesgo?.

## 9. RECOMENDACIONES

- A la hora de hablar de la geología de las unidades aflorantes para el área de estudio es importante revisar con gran detalle la información establecida, debido a que hay diferencias entre la Industria del petróleo e Ingeominas. Será muy bueno que se llegara a un consenso entre los dos para las características geológicas, y esto no solo para el área de estudio sino para toda Colombia.
- Se recomienda revisar muy en detalle la información palinológica establecida para el área de estudio debido a que no se tiene certeza en algunos casos que eventos palinológicos constituyen cada secuencia.
- Es muy importante empezar a utilizar la estratigrafía de secuencias a la hora de explorar una cuenca sedimentaria, debido a que esta rama de la estratigrafía proporciona información muy valiosa a la hora de reconocer un sistema petrolífero.

## BIBLIOGRAFIA

**ANH, 2009.** Informe Ejecutivo Evaluación del Potencial Hidrocarburífero de Las Cuencas Colombianas. UIS-ANH.

**ARIANA Ltda. 1995,** Columna estratigráfica sección quebrada el Almorzadero-Los Yopos, Yopal, Colombia. ID003907514.

**ARIANA Ltda. 1999,** Columna estratigráfica sección quebrada el Almorzadero-Los Yopos, Yopal, Colombia.

**BUENO J., MENDOZA J., 2008.** Modelamiento de Causas Geológicas Generadoras de Sobrepresión, Aplicación para la Formación Carbonera en El Campo de Cupiagua del Piedemonte Llanero Colombiano. UIS-ECOPETROL

**COOPER ET AL., 1995.** Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Colombia. AAPG Memoir 62, p. 659-665.

**CUARTAS C., JARAMILLO C., ARJONA A., DA SILVA S., 2008.** Informe Final del Inventario y Evaluación de la Información Micropaleontológica en Las Cuencas Sedimentarias de Colombia (Caso Palinología). ANH.

**DOMÍNGUEZ B., 1994.** Guía para la Estratigrafía de Secuencias Chevron Oil Field Research Company (COFRC), 1991.

**DUEÑAS H., VAN DER HAMMEN T., 2007.** Significado Geológico y Asociaciones Palinológicas de Las Formaciones Diablo Inferior (Mioceno Tardío) y San

Fernando Superior (Mioceno Medio), Piedemonte Cuenca de Los Llanos Orientales, Colombia.

**FAJARDO A., 2000.** Definición del Modelo Estratigráfico en el Intervalo Cretáceo Tardío a Mioceno Medio en La Cuenca Llanos Orientales y Piedemonte Llanero. ECOPETRO-ICP. Piedecuesta, Colombia.

**GALVIS N., SUAREZ M., 1984.** Geología de la Cuenca de Los Llanos Orientales de Colombia. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-MINEPAS

**GARCÍA D., BARRIOS W., RUBIANO J., CARO M., 2006.** Controls on the Petroleum Quality, Llanos Basin, Colombia. ECOPETROL-ICP Piedecuesta Bucaramanga Santander, Colombia.

**GARCÍA M., MIER R., CRUZ L., VÁSQUEZ M., 2009.** Informe Ejecutivo Evaluación del Potencial Hidrocarburífero de Las Cuencas Colombianas. UIS-ANH.

**GEOSTRATOS, 1996,** Columna estratigráfica Proyecto Tierra Negra Sección 1, Mambita - San Pedro de Jagua, Colombia. ID003895543, ID003681597.

**GHOSTUDIOS Ltda. 1995,** Columna estratigráfica Proyecto Medina Sección 12 y 11, Colombia. ID 003914445, ID 003674066.

**GUERRERO J., Y SARMIENTO G., 1996** Estratigrafía física, palinológica, sedimentológica y secuencial del Cretácico superior y Paleoceno del Piedemonte llanero. Implicaciones en exploración petrolera, Geología Colombiana, Universidad Nacional de Colombia Facultad de ciencias departamento de Geociencias, Santafé de Bogotá, Colombia N° 20, pp. 3-66.

**HUBACH E., 1931b.** Exploración en la Región Apulo-San Antonio-Viota. Boletín Minas y Petróleo.

**HUBACH E., 1945b.** La Formación Cáqueza, región de Cáqueza (Oriente de Cundinamarca). Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia. T (6), Pág. 23-26. Servicio Geológico Nacional Bogotá.

**HUBACH, E. (1957a)** Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. Boletín Geológico, Instituto Geológico, Nacional., vol. 5, No 2, Pág. 93-112, Bogotá.

**HUNT J.M., 1995.** Petroleum Geochemistry and Geology. W.H. Freeman (Second Edition): 1-743.

**INGEOMINAS, 1975.** Mapa Geológico de Colombia Cuadrángulo K-12 Guateque Planchas 210 Guateque – 229 Gachalá, Escala 1:100.000 Memoria Explicativa.

**INGEOMINAS, 1976.** Geología del Cuadrángulo K-13 Tauramena.

**INGEOMINAS, 1996.** Sistema de Fallas del Borde Llanero. Mapa Escala 1:200.000

**INGEOMINAS, 2004.** Aspectos más Relevantes de la Geomorfología y Geología y del Piedemonte Llanero de Colombia. ICP-INGEOMINAS.

**INGEOMINAS, 2009.** Memoria de la Cartografía Geofísica Método Magnético Plancha 1:100.000 229-Gachalá. INGEOMINAS-Red de Universidades Publicas del Eje Cafetero.

**JARAMILLO C., RUEDA M., BAYONA G., SANTOS C., FLÓREZ P., PARRA F., 2009.** Biostratigraphy Breaking Paradigms: Dating the Mirador Formation in the

Llanos Basin of Colombia. Smithsonian Tropical Research Institute, Unit 0946, APO AA 34002, U.S.A- Corporación Geológica ARES, Calle 57 24-11 of, 202, Bogotá, Colombia –ICP.

**JARAMILLO C., MUÑOZ F., COGOLLO M., DE LA PARRA F., 2005.** Quantitative biostratigraphy for the Cuervos Formation (Paleocene) of the Llanos foothills, Colombia: improving palynological resolution for oil exploration. Smithsonian Tropical Research Institute, Unit 0948, APO AA 34002-0948, USA- Biostratigraphy team, Instituto Colombiano del Petróleo-Ecopetrol, AA 4185, Bucaramanga, Colombia.

**JULIVERT M., 1970.** Cover and Basement tectonics in the Cordillera Oriental of Colombia, South America and a comparison with some other folded chains, Geological Society of America Bulletin, Vol., 81, p 3623-3646.

**KAMMER A., VELÁSQUEZ A., BELTRÁN A., PIRAQUIVE A., ROBLES W., 2008.** Organization and Evolution of a Segmented Deformation Front: Llanos Foothills, Eastern Cordillera of Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

**LANGHORNE B., CHRISTOPHER G. 2003,** Modelling of Sedimentary processes and stratigraphy references, University of south Carolina, Geology department, Available in internet <http://strata.geol.sc.edu/modeling-ref.html>.

**MARTINEZ J., 2006.** Structural Evolution of the Llanos Foothills, Eastern Cordillera, Colombia. B.P. Exploration Colombia. Bogotá, Colombia.

**Miller T.A., 1972.** Geology of the Llanos Basin and adjacent Eastern Cordillera, Colombian. Society of Petroleum Geologist and Geophysicists.

**MONTES L. (EDITOR), 2009.** Organic Geochemistry Atlas of Colombia, By: ANH,

Universidad Nacional de Colombia, RA Geología E.U. and GEMS Ltda., *Earth Sciences Research Journal, Edición especial*, 13: 1-134.

**ORTIZ A., 2010.** Estratigrafía de Secuencias (SEQSTRAT) Revisión Del Estado Del Arte Noviembre de 2010, Compilación de Varias Fuentes. Presentación Magistral.

**OSORIO G., 2007.** Desarrollo Petrolero Departamento del Meta. ECOPETROL.

**PIRAQUIVE A., 2011.** Modelamiento Estructural Basado en un Análisis de Deformaciones en el Frente del Piedemonte Llanero Cordillera Oriental de Colombia (Segmento Comprendido entre Sabanalarga y Aguazul). Grupo de Investigación en Geología Estructural y Fracturas- Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia.

**PARRA M., MORA A., JARAMILLO C., TORRES V., ZEILINGER G., STRECKER M., 2010.** Tectonic Control on Cenozoic Foreland Basin Development in the North-Eastern Andes, Colombia. Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Potsdam, Germany-Instituto Colombiano del Petroleo, ECOPETROL Bucaramanga, Colombia-Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Ancon, Republic of Panama.

**RAMÓN J., FAJARDO A., 2000.** Controles Estratigráficos Sobre la Distribución de Roca Fuente, Cuenca Llanos Orientales, Colombia. HOCOL S.A., Bogotá, Colombia-ICP Bucaramanga, Colombia.

**RENZONI G., 1962.** Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al Este y Sureste de Bogotá. Bol. Geol., Vol. 10, No. 1-3, p. 59-79, 1 map. Bogotá.

**RENZONI G., OSPINA C., 1969.** Geología del Cuadrángulo J-12, Inst. Nal de Investigaciones Geol. Min., Informe 1546, 30 p.

**SANCHEZ N., KAMMER A., MORA A., TAMARA J., MONTAÑA J., 2011.** Significado de Fracturas en la Evolución Estructural del Anticlinal de Monteralo, Piedemonte Llanero, Cordillera Oriental de Colombia. Grupo de Investigación en Geología Estructural y Fracturas- Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia-ICP-ECOPETROL. Edición Especial, 36 No. 1, pp. 105-122.

**SCHMOKER J.M, 1994.** Volumetric Calculations of Hydrocarbons Generated, En: Magoon, L.B y Dow, W.G, Eds, The Petroleum System from Source to Trap. *AAPG Memoria*, 60 (19): 323-326.

**TAMARA J., 2009.** Influencia de la Posición Estructural y Estratigráfica en el Desarrollo de los Sistemas de Fracturas en el Anticlinal de Buenavista, Villavicencio, Colombia. Universidad Nacional de Colombia-ECOPETROL.

**ULLOA C., CARO P., PÉREZ V., RINCÓN G., PÉREZ G., 1985.** Geologic Field Trip Along the Bogotá-Villavicencio Road and Apiay-Castilla Oil Fields. ECOPEPETROL-INGEOMINAS-CHEVRON PETROLEUM COMPANY. II Bolivarian Symposium Oil Exploration in Subandean Basins, Part One.

**UNION TEMPORAL GEOCONSULT LTDA – PANGEA LTDA, 2004.**

Consultoría Para El Desarrollo De Proyectos Que Contribuyan A Reducir El Riesgo Exploratorio En El Piedemonte Llanero Para El Instituto Colombiano Del Petróleo, Piedecuesta, Santander. Contrato OFC-074-2003.

**VAIL P., HARDENBOL J., HAQ B., 2008.** Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic.scientific research staff of Exxon Production Research Company, Houston, TX 77252.

**VARGAS C., 2009.** Nuevos Aportes a la Estimación del Potencial de Hidrocarburos en Colombia.

**VÁSQUEZ C., Inf 1599.** Mapa Estructural del Tope del Cretáceo Cuenca Llanos Orientales de Colombia. ECOPETROL, Bogotá Colombia.

**PAGINAS WEB:**

<http://www.sabanalarga-casanare.gov.co>.

<http://www.monterrey-casanare.gov.co>)

# ANEXOS

Ver archivo anexo