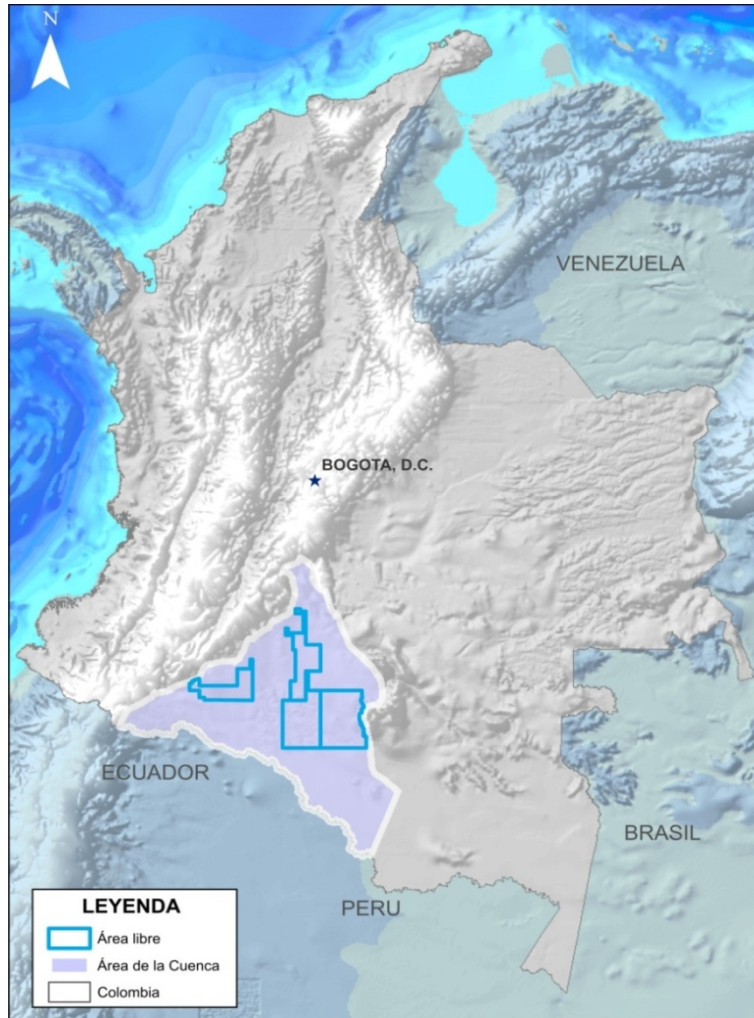




SISTEMAS HIDROCARBURIFEROS Y ANÁLISIS DE PLAYS EN LA CUENCA CAGUAN - PUTUMAYO

Septiembre, 2009

Generalidades



Mapa de localización general

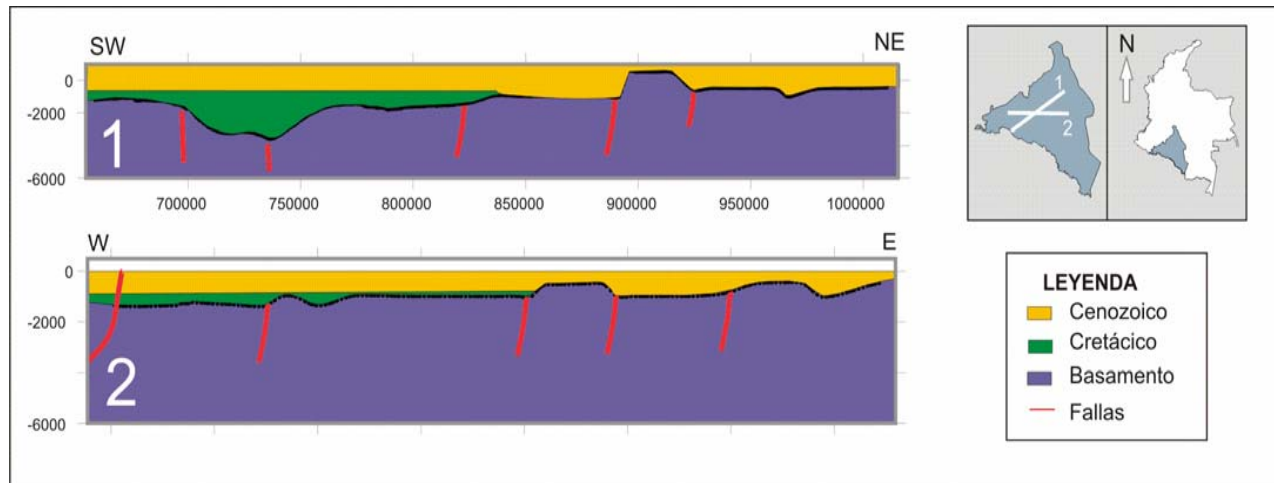
- La Cuenca de Caguán-Putumayo abarca una región de 110.304 km² (al norte, Caguán y al sur, Putumayo), en el suroeste de Colombia.

- Limita al occidente con la Cordillera Oriental y al oriente con el Escudo de Guyana; al norte con la Serranía de la Macarena y al sur con el límite internacional con Ecuador

- Hace parte junto con la Cuenca de Oriente de Ecuador de una cuenca de antepaís (*Foreland*) con respecto a la cadena montañosa andina

- Se han perforado 135 pozos que hasta el momento han mostrado una tasa de 26% en la relación éxito/fracaso.

Marco Geológico Regional



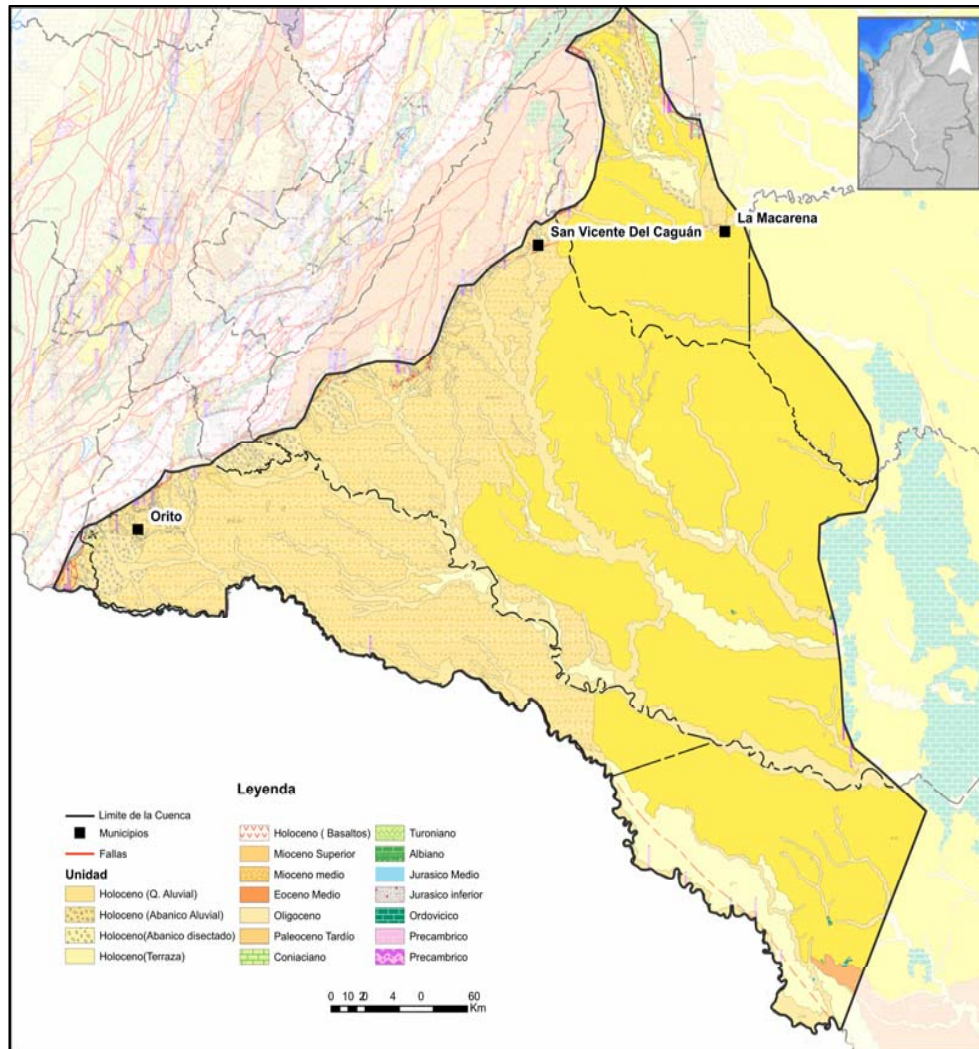
Cortes esquemáticos. Modificado de Jacques, 1992.

Durante el Cretácico Inferior se produjeron fallas normales subverticales que crearon amplios espacios de acomodación para las secuencias sedimentarias del Cretácico. Posiblemente la reactivación (pre-Mesozoica) permitió el levantamiento y posterior erosión de la secuencia, que sumado a la configuración de una discordancia permite que la secuencia cretácica se interrumpa contra la secuencia del Cenozoico.

Mapa Geológico

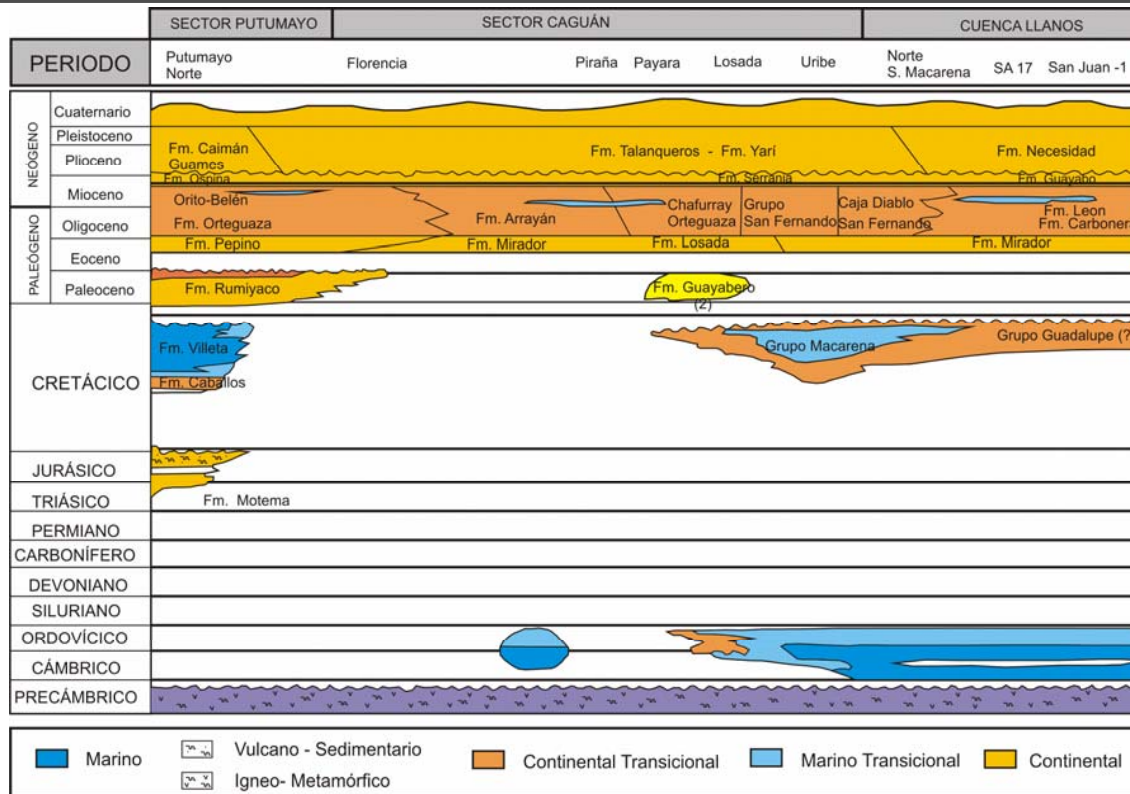
En general, en el piedemonte afloran unidades del MesoNeopreterozoico (basamento cristalino del Macizo de Garzón), del Jurásico (Formación Saldaña), del Cretácico (Villeta y Caballos) y del Cenozoico (Rumiyaco, Pepino). Están afectadas por fallas inversas y de rumbo.

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



Mapa geológico generalizado. Tomado de Ingeominas, 2007

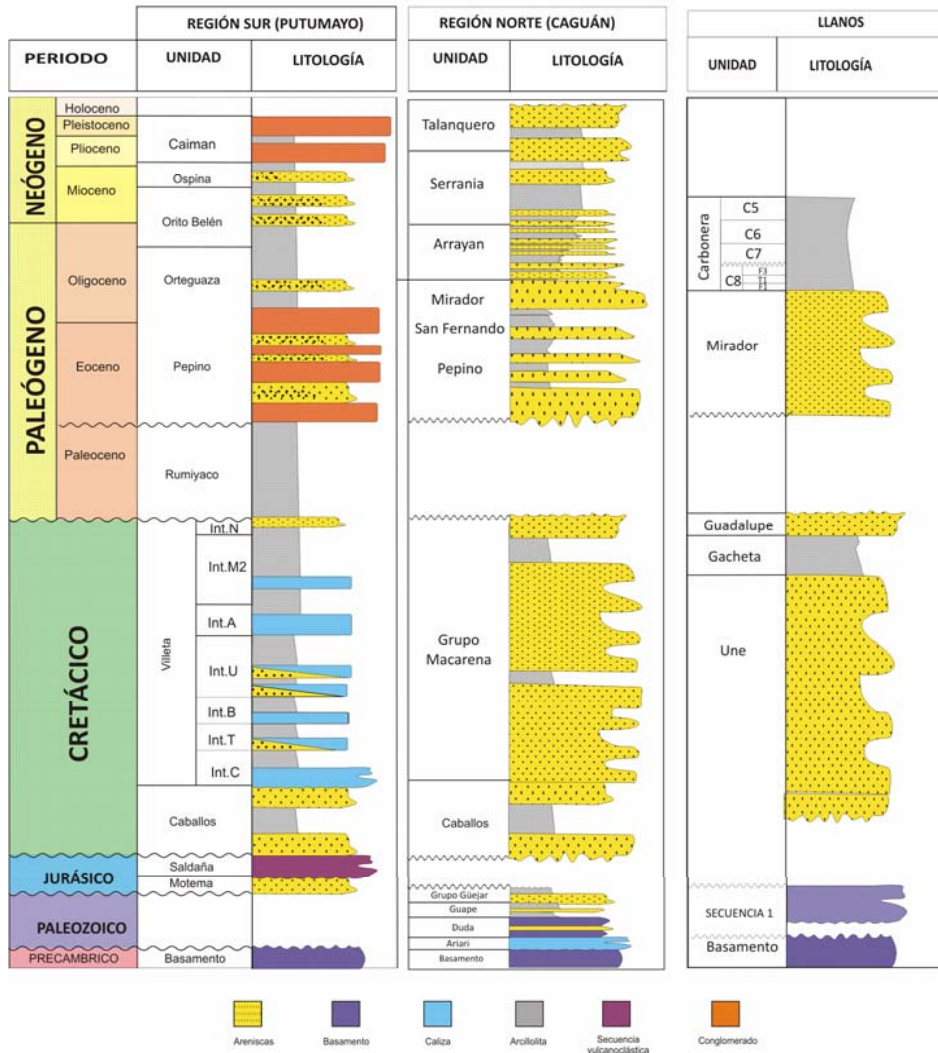
Carta Cronoestratigráfica



Carta crono-estratigráfica Cuenca Tomado de ICP, 1997.

La sedimentación cretácica parece haber estado restringida al sector oeste de la cuenca, producto de la transgresión marina del Aptiano-Albiano que avanzó hacia el este creando los ambientes de depositación de las Formaciones Caballos y Villeta. En el Neógeno, los primeros pulsos de la Orogenia Andina producen un cambio en el proceso de sedimentación de la cuenca.

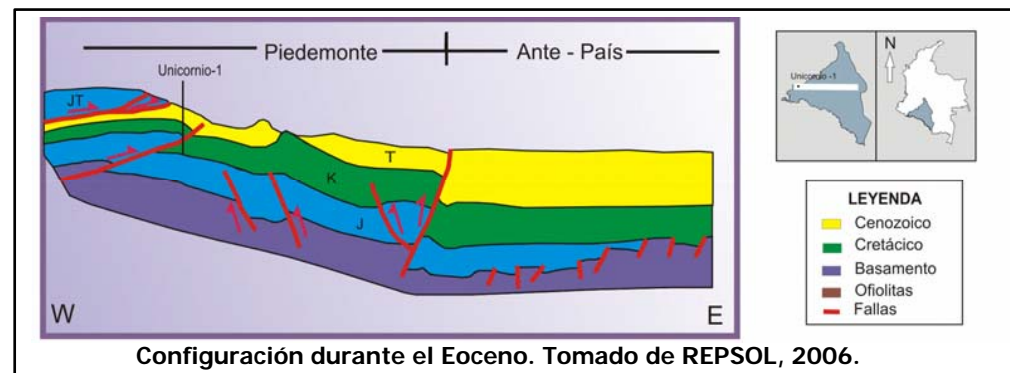
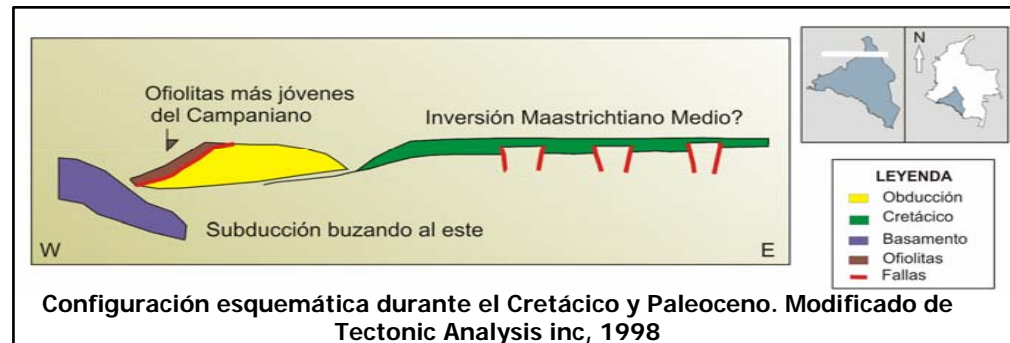
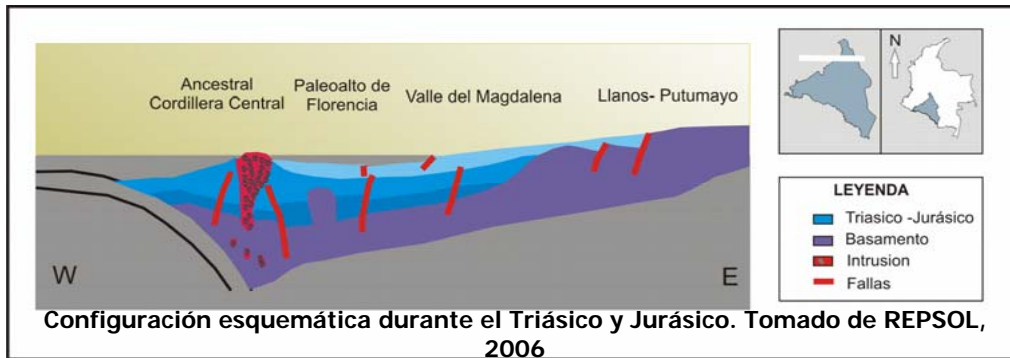
Columna Estratigráfica



Estratigráficamente el sector norte de la cuenca se correlaciona mejor con la Cuenca de los Llanos Orientales, pero operativamente se le asignará a éste la misma nomenclatura estratigráfica del sector del Putumayo

Columnas crono-estratigráficas de las diferentes zonas de la cuenca. Derecha: Putumayo, Medio: Caguán, Izquierda: Llanos. Modificado de Gems, 2008.

Historia Tectónica



• **Jurásico-Cretácico:** evento distensivo de fallas extensionales, formación de grabens y sistemas de fallas que sólo afectan en algunos casos a la Formación Caballos y la parte inferior de la Formación Villeta.

• **Cretáceo Superior-Cenozoico inferior:** evento de tipo compresional responsable de la formación de las estructuras existentes.

• **Mioceno-Plioceno:** debido al levantamiento de la Cordillera de los Andes toda la secuencia sedimentaria fue basculada presentando actualmente un ligero buzamiento hacia el NW. Las estructuras creadas permanecieron intactas y se constituyeron en trampas.

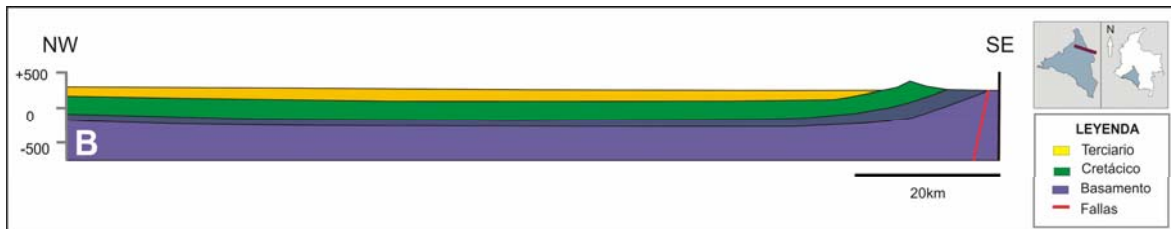
Configuración de Estructuras- Sector Caguán

En la zona norte de la cuenca las oportunidades de trampas estructurales incluyen:



Sección esquemática A. Zonas de prospección con fallas de alto ángulo.
Tomado de AMOCO, 1987.

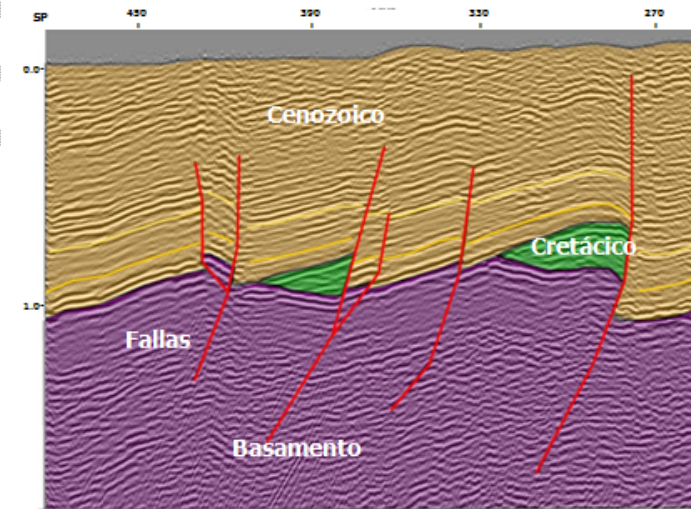
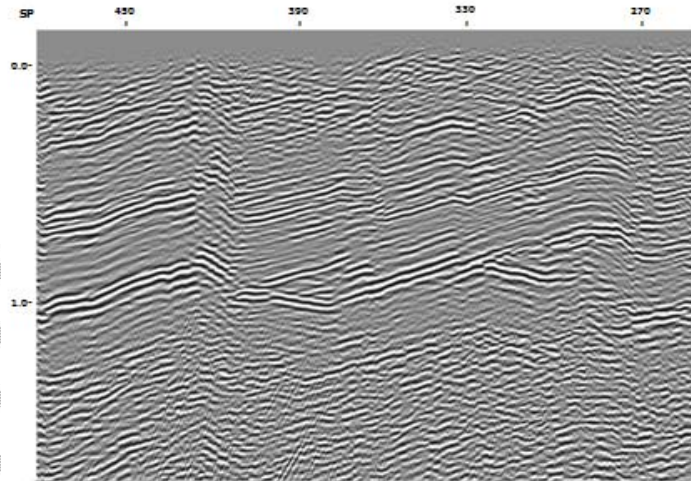
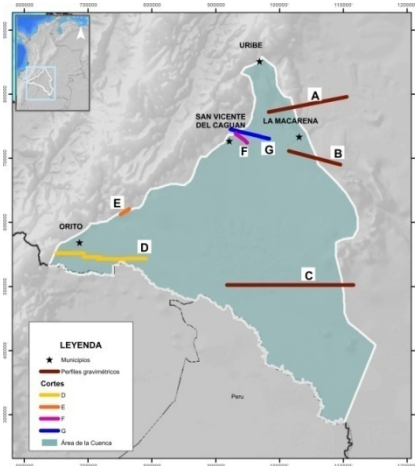
- Fallas inversas o normales de poco desplazamiento vertical fosilizadas por unidades del Cenozoico



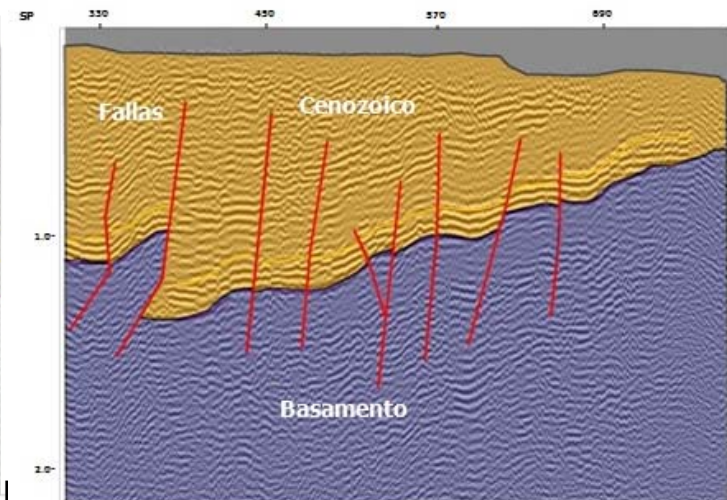
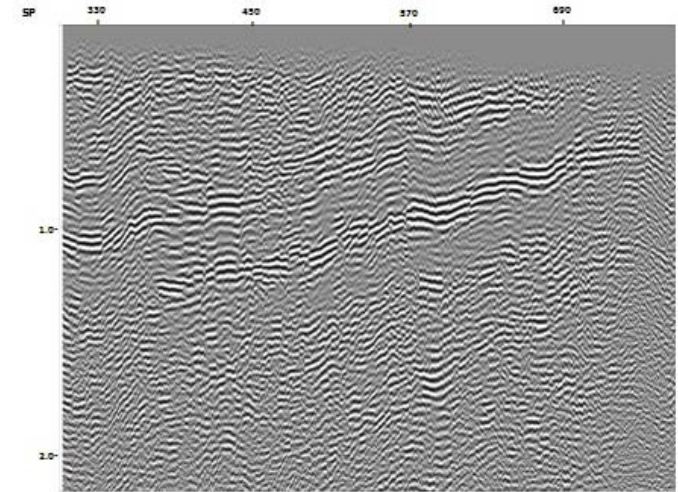
Sección Esquemática B. Borde este de la Cuenca Caguán-Putumayo, Alto de Yarí en el occidente marcando el límite con la sub-cuenca de Chiribiquete. Tomado de AMOCO, 1987

- Fallas subverticales, inversas buzantes al oeste que afectan toda la sección.

Configuración de Estructuras- Sector Caguán



Sección estructural F. Línea sísmica Y-73-08 interpretada en tiempo



Sección estructural G. Interpretación geológica de la línea sísmica en tiempo.

Configuración de Estructuras - Sector Putumayo

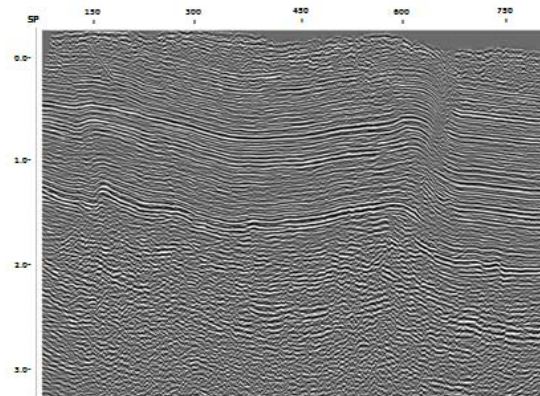
En el sector del Putumayo, las oportunidades de trampas estructurales se relacionan con:

- Fallas inversas de gran escala que afectan el basamento, con tendencia NS (Tipo Orito). **S. Estructural D**

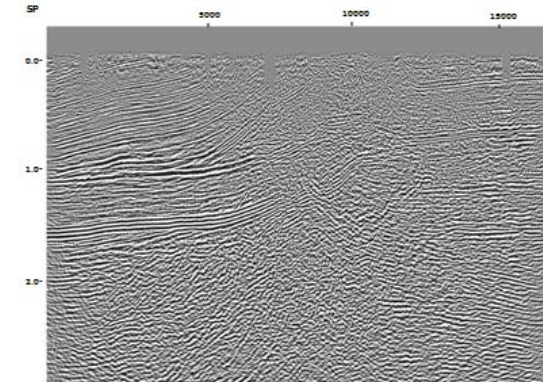
- Fallas de pequeña escala que afectan el Basamento. Presentan una tendencia NS con pliegues de amplitudes pequeñas asociados a los campos productores de Loro-Hormiga.

- Sistema *thin skinned* de fallas imbricadas donde se estima un desplazamiento mínimo de 8 km. (Gavilán West).

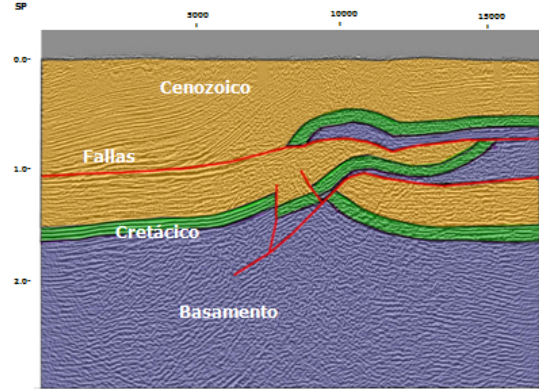
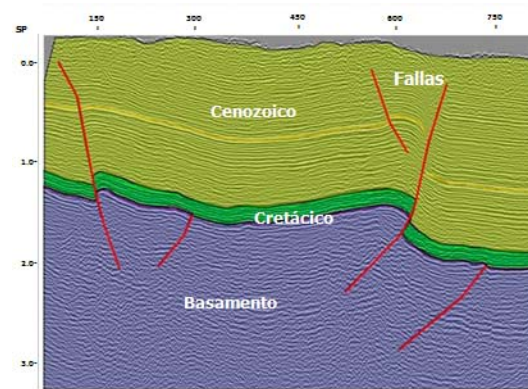
- Fallas inversas con vergencia occidental con despegues en la Formación Rumiyaco y con edades posiblemente posteriores a las de las fallas que incluyen Basamento. **S. estructural E**



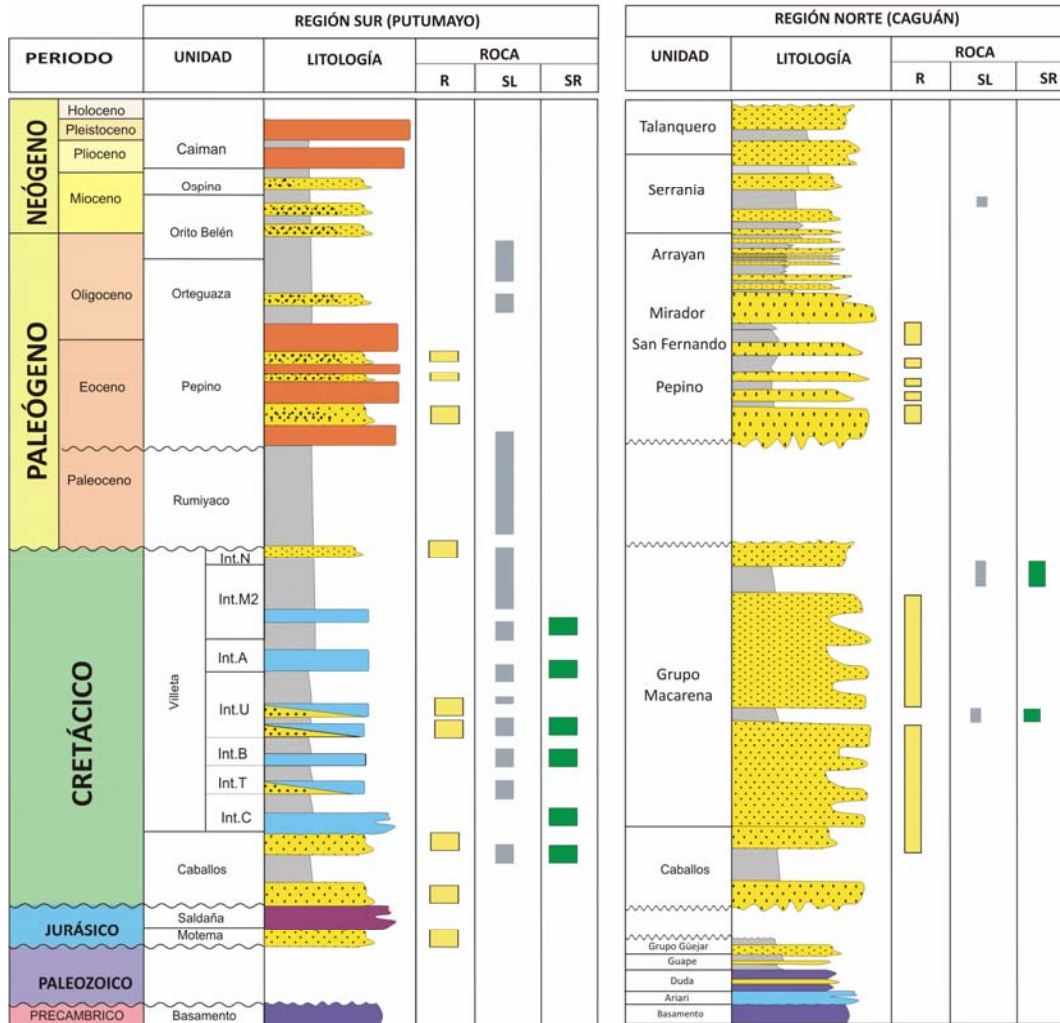
Sección estructural D de la Línea Sísmica PW-1988-1695 en tiempo ubicada al sur del campo Orito



Sección estructural E. Interpretación de la línea sísmica BF-1994-506 en tiempo.

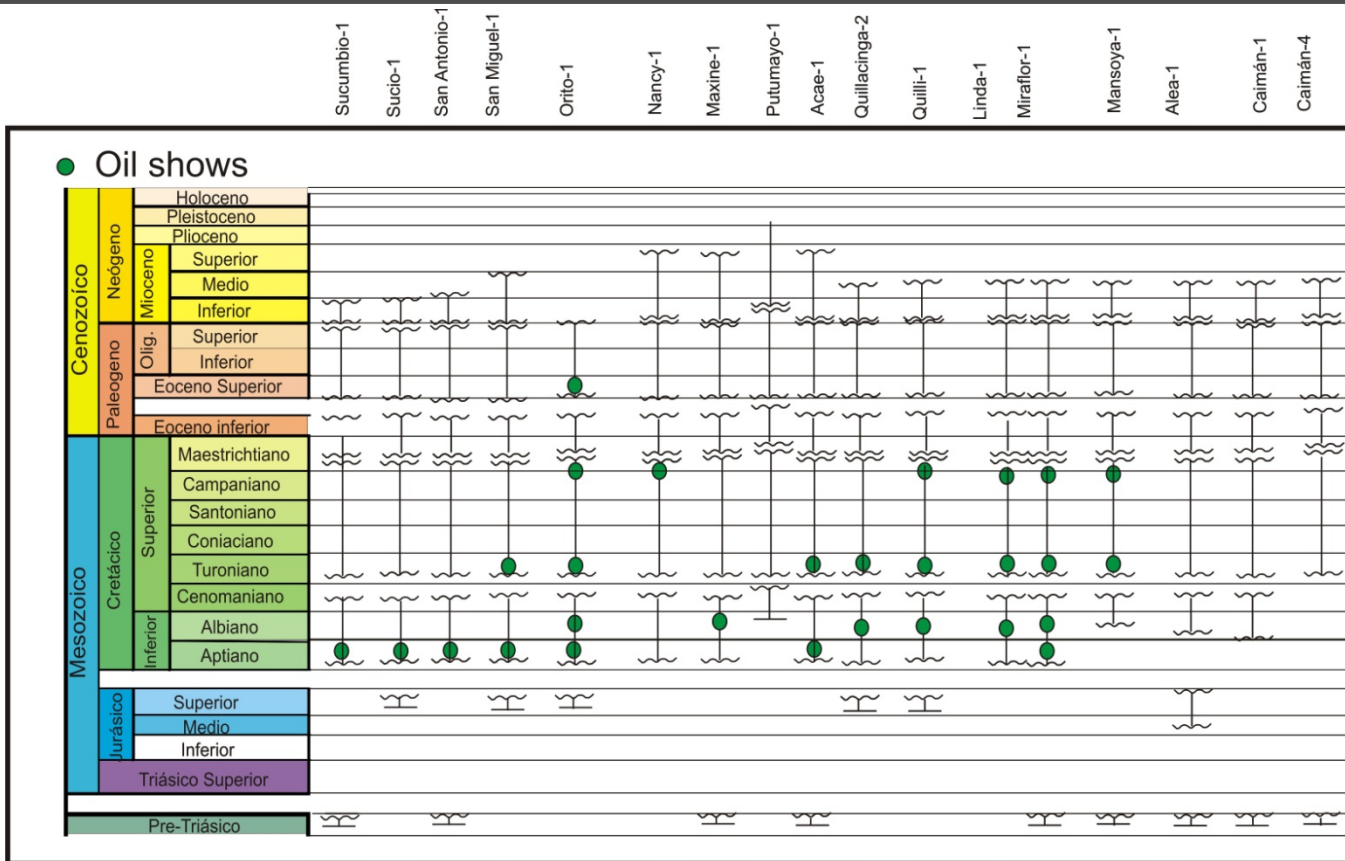


Sistemas Petrolíferos



Se han identificado en el sector norte del Caguán, características buenas a excelentes de roca madre efectiva en dos intervalos perteneciente a la Formación Macarena, en el Miembro Inferior y Superior. Para el sector sur del Putumayo, se han identificado los intervalos de las Formaciones Villeta y Caballos. Conformándose así, por lo menos dos sistemas petrolíferos uno para cada sector de la cuenca donde la roca generadora se encuentra concentrada en el Cretácico.

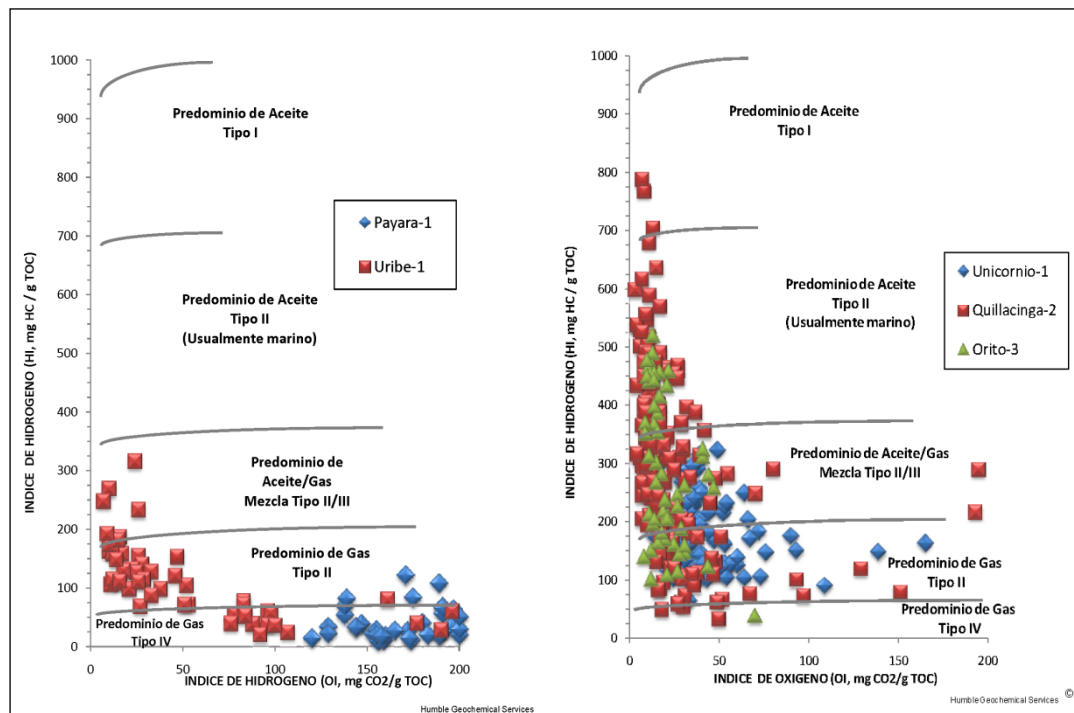
Pozos Perforados



Cuadro de penetración de algunos pozos y presencia de shows de aceite en el área de estudio.

Puede inferirse que el riesgo por preservación de hidrocarburos es de los más bajos de las cuencas colombianas. Sin embargo, la presencia de *shows* de aceite en varios de ellos confirma la presencia de por lo menos un sistema petrolífero.

Geología Del Petróleo-Roca fuente



Diagramas Van Krevelen para rocas del sector norte Caguán (derecha) y el sector sur Putumayo (izquierda).

- Las muestras de la Serranía de la Macarena y San Vicente del Caguán no presentan potencial de generación, mientras que las rocas del Cretácico, del sector de Florencia tienen las mejores cualidades.
- Las características de generación son mejores hacia el este, cerca al Campo Orito. En el piedemonte la generación no ha sido representativa.

Geología del Petróleo-Migración

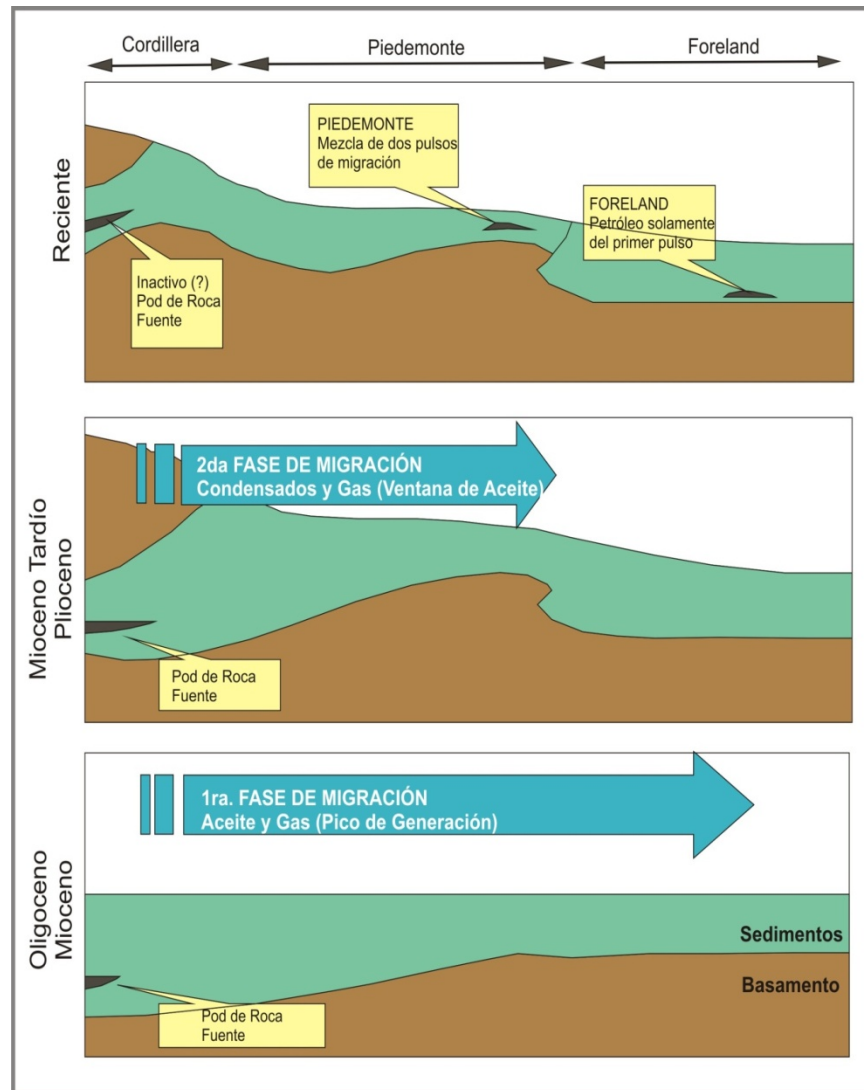
Sector Caguán: Las direcciones predominantes de migración de crudos en la zona norte del Caguán son:

- Desde el oeste hacia la Serranía de la Macarena (donde actualmente se encuentra la Cordillera Oriental).
- Desde la Cuenca del Valle Superior del Magdalena a través de las unidades permeables y previo levantamiento de las barreras topográficas actuales hacia el piedemonte y zona de *foreland*.
- Otras zonas de generación importantes están localizadas al este de la Serranía de la Macarena



Geología del Petróleo-Migración

Sector Putumayo: La evaluación geoquímica del aceite encontrado en las rocas definidas como generadoras ofrece poca evidencia para inferir una migración vertical, las trazas de aceite no son exactamente iguales que los extractos obtenidos de la roca fuente; el crudo puede venir del oeste o de áreas profundas aun no perforadas. De acuerdo con los modelamientos geoquímicos, el hidrocarburo migró lateralmente desde zonas de roca fuente activa localizadas por fuera del límite actual de la cuenca, debajo de la Cordillera Andina. Esta hipótesis sugeriría un importante proceso de expulsión desde las formaciones Caballos y Villeta durante el Mioceno-Plioceno temprano en el sur de la cuenca.



Rutas y pulsos de migración. Tomado de Gonçalves et al., 2002.

Geología del Petróleo-Trampas

Sector Caguán: Resumen de los diferentes tipos de trampas, su descripción y los cortes esquemáticos realizados en la zona norte de la cuenca.

Tipo de Trampa	Descripción	Campos y sísmica ejemplo
Anticlinales relacionados con <i>Thick skinned systems</i>	Pliegues generados por la inversión de movimiento en fallas de alto ángulo normales creadas durante el Paleozoico. Esta extensión permitió la deposición de grandes espesores de esta unidad que son prospectivos.	<p>Pozo Payara</p> <p>Deposición Paleozóica</p> <p>Configuración Actual</p>
Anticlinales tipo <i>Fold propagation fault</i>	Fallas con vergencia oriental que no afectan toda la secuencia. El movimiento a través de estas estructuras se propaga a través de la secuencia Terciaria generando pliegues prospectivos	<p>Pozo Uribe</p>
Estratigráficos	Acuñamientos del Eoceno Superior contra paleoaltos del Basamento.	<p>Pozo Lozada</p>

LEYENDA

- Cuaternario
- Terciario
- Cretácico
- Jurásico
- Basamento
- Fallas

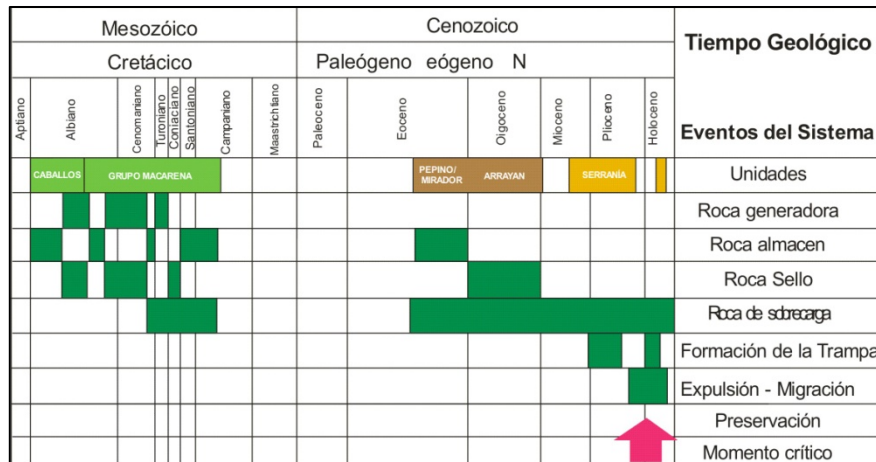
Resumen de los tipos de trampas conocidas en la zona norte de la Cuenca Caguán-Putumayo.

Geología del Petróleo- Sincronismo

Las estructuras presentes en el sur de la cuenca son consecuencia de la tectónica extensiva del Jurásico y Cretácico Inferior, y de los eventos compresivos y de cizalla que se reportan desde el Maastrichtiano hasta el Reciente.

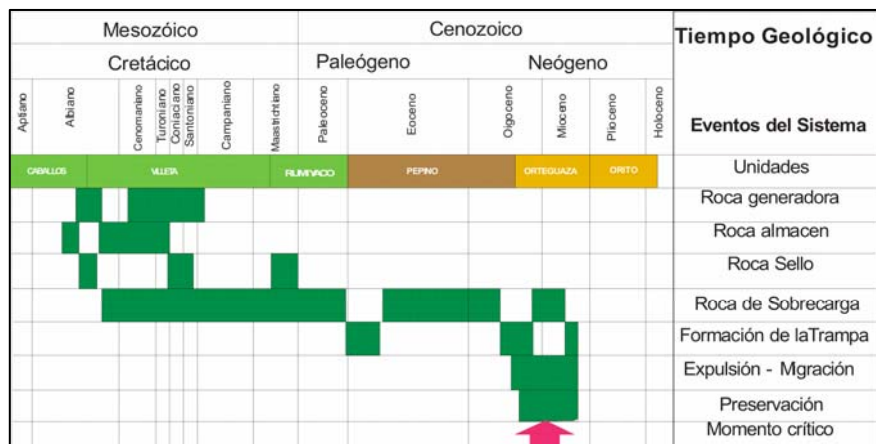
El primer pulso de migración llenó estructuras pre-Oligoceno en el piedemonte y en el *foreland*, mientras que el segundo evento fue restringido a las estructuras más recientes del piedemonte.

Carta de Eventos



Carta de eventos de la Cuenca, sector norte

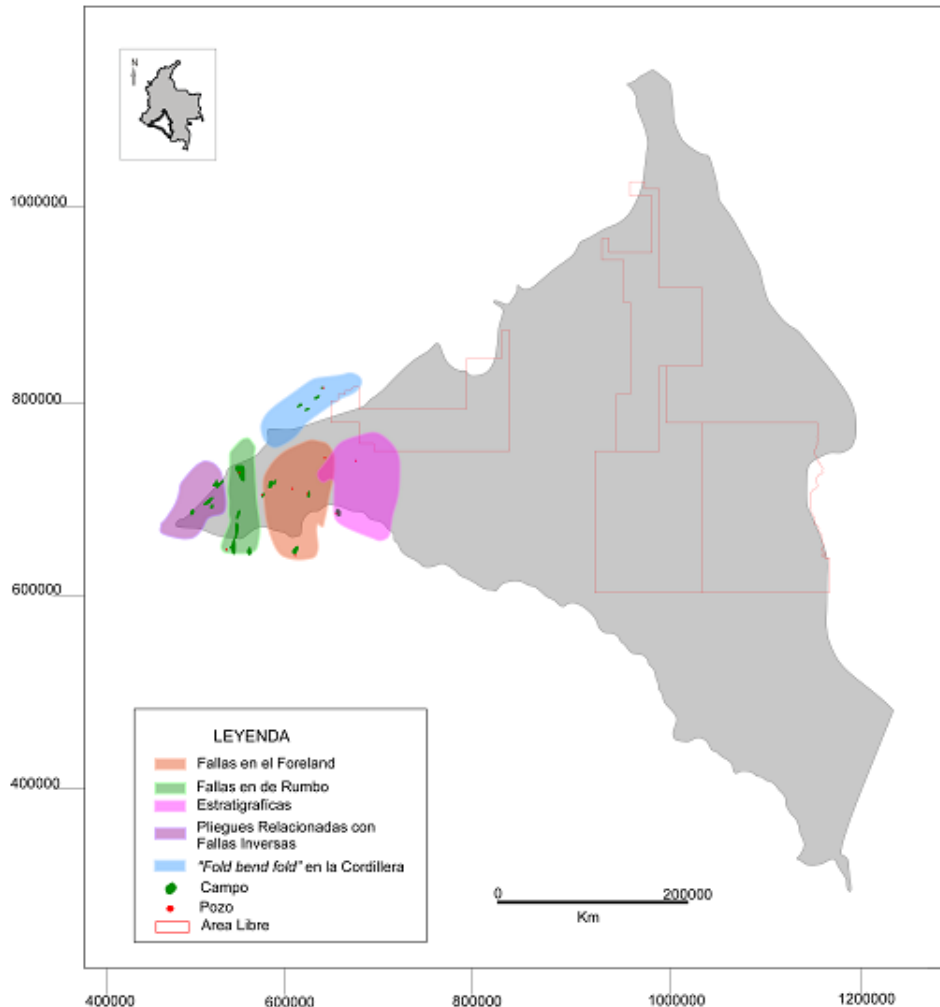
En el sector norte existen hiatos en el registro sedimentario y el momento crítico se encuentra en el Pleistoceno. Los sistemas en esta zona tienen un alto grado de incertidumbre; sin embargo, pueden definirse Macarena-Pepino (?) y Macarena-Pepino (?) como sistemas petrolíferos.



Carta de eventos de la Cuenca, sector sur

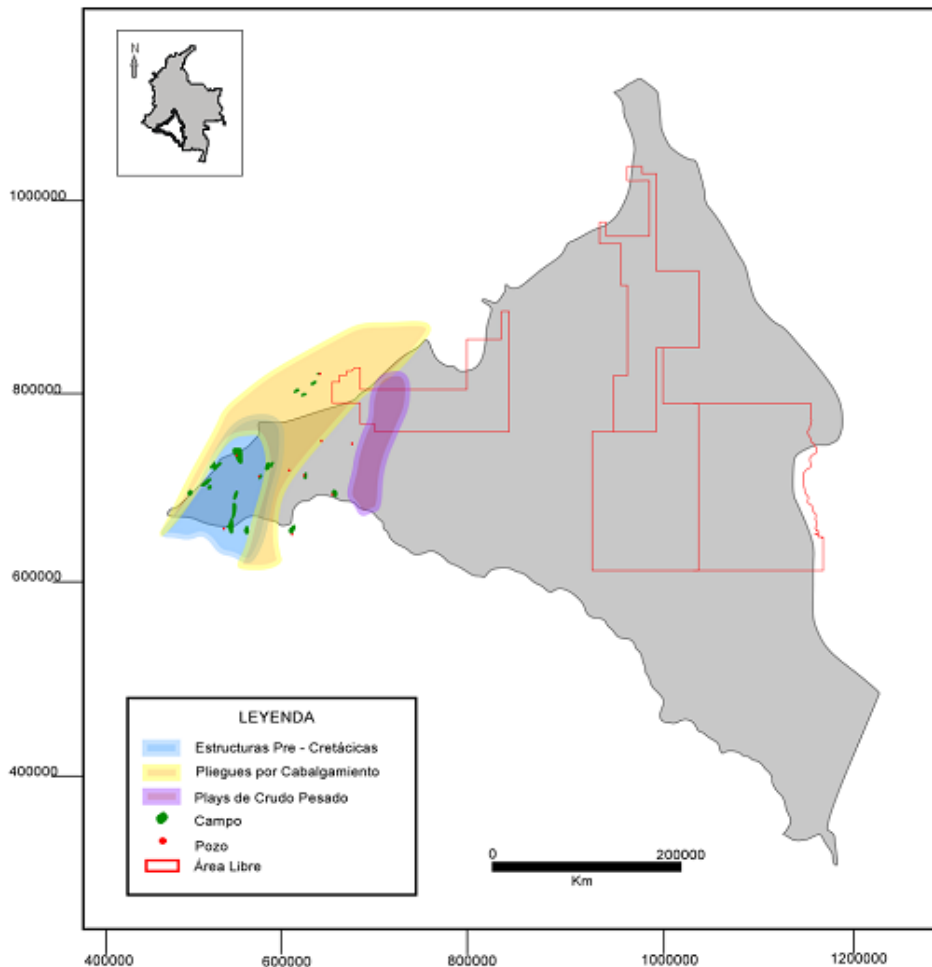
En el sector sur se proponen los sistemas petrolíferos: Villeta-Caballos (.), Villeta-Villeta (.) y Villeta-Pepino (.); también existen evidencias geológicas de Caballos-Caballos (?) y Caballos-Pepino (?).

Plays- Probados



De oriente a occidente se han encontrado: trampas estratigráficas, trampas relacionadas a fallas en la zona de *foreland*, trampas en pliegues relacionados con fallas inversas y fallas de rumbo

Plays- No Probados

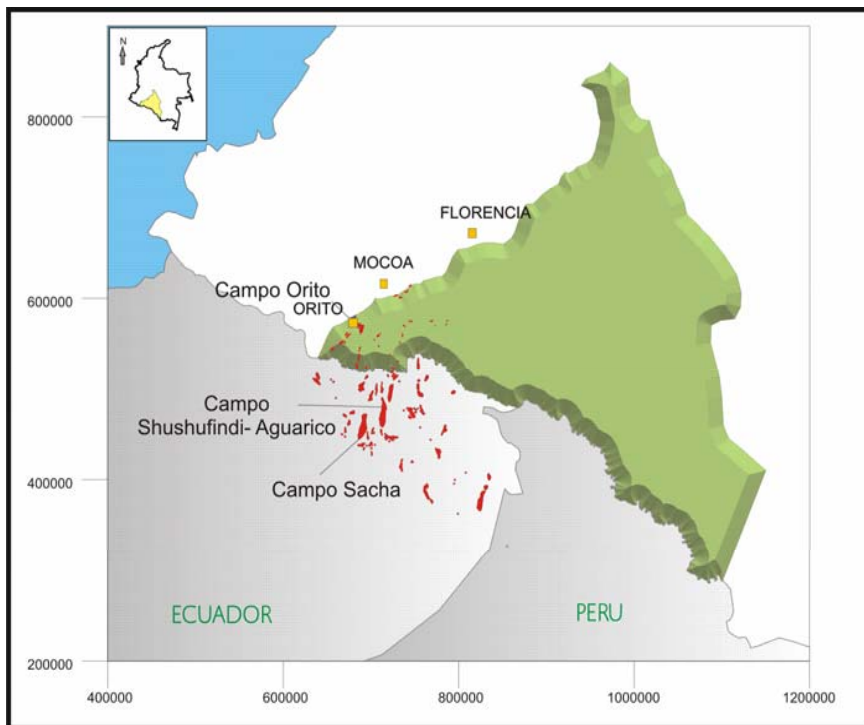


Al relacionar esta cuenca con las cuencas Oriente y Marañón (Ecuador y Perú) con las que comparte una historia geológica, pueden proponerse otras posibles configuraciones aún no descubiertas.

- Estructuras pre-Cretácicas fosilizadas y de estratos de sub-Motema.
- *Plays* de crudo pesado en el oriente (producto del primer evento de migración).
- *Plays* relacionados con otros fallamientos aún no visualizados en la sísmica del Paleozoico.
- *Plays* asociados con rocas generadoras Pre-Cretácicas

La prospección de hidrocarburos en la Cuenca del Caguán-Putumayo ha estado enfocada a detectar trampas de tipo estructural que involucran las formaciones del Cretácico y Cenozoico. Los nuevos *plays* diferentes a los ya definidos (encontrados en estructuras y acuñamientos de hasta 3000 MBO in situ), pueden proponerse partiendo de observaciones y similitudes de esta cuenca con la de Oriente en el Ecuador.

Dentro de la cuenca también se presume la prolongación del cinturón de aceite pesado de los Llanos; además de un posible sistema petrolífero con rocas del Paleozoico. Los cabalgamientos pre-Mioceno localizados hacia el piedemonte presentan alta prospectividad debido a la posible existencia de estructuras que ponen en contacto la Formación Caballos con rocas cristalinas.



Generalidades

GENERALIDADES DE LA CUENCA	
Cuenca	Caguán-Putumayo
Tipo de cuenca	<i>Foreland</i>
Área	110.304km ²
Pozos	329
Sísmica 2D	
Campos	20
Reservas de crudo descubiertas	365 MBP
Reservas de gas descubiertas	305 GPCS
Roca fuente	Caballos-Villeta-Macarena
Roca reservorio	Caballos-Pepino-Villeta-Macarena
Roca sello	Caballos-Macarena-Arrayán-Villeta-Rumiyaco
Tipo de hidrocarburo	Crudo (API 25-35)

Conclusiones

- Los sistemas petrolíferos de la cuenca Caguán-Putumayo son para el sector sur, Caballos-Caballos (?), Caballos-Pepino (?), Villeta-Caballos(.), Villeta-Villeta (.), y Villeta-Pepino (.) y para el sector norte, Macarena-Macarena (?), Macarena-Pepino (?). Sin embargo tienen alto grado de incertidumbre.
- La migración de los aceites del sector sur de la cuenca es lateral principalmente, debido a que el hidrocarburo proviene probablemente de zonas externas a los actuales límites de la cuenca.
- Los aceites de la zona sur de la cuenca fueron generados por rocas cretácicas durante el enterramiento Oligo-Mioceno en el paleo-*foreland* del Putumayo. Este enterramiento fue producto de la erosión de la Cordillera Central y de la sobrecarga sedimentaria. Los aceites fueron atrapados en los depósitos que seguían siendo superficiales, en algunos casos permitiendo la biodegradación.
- Se proponen dos eventos importantes de migración de hidrocarburos, un evento Oligoceno-Mioceno y otro evento Mioceno Tardío-Plioceno.

Conclusiones

- El principal potencial exploratorio remanente del área se concentra en el sector norte en el Grupo Macarena y la Formación Pepino y en el sector sur en las subunidades de la Formación Villeta, particularmente en las “arenas U” (Superior e Inferior) y “N” y en menor medida en la Formación Caballos.
- La geología estructural del área presenta algunas similitudes con la Cuenca de los Llanos Orientales y otras con la Cuenca Oriente en Ecuador. Las dos áreas diferenciadas, piedemonte y plataforma poco deformada, incluyen fallas normales invertidas y fallas inversas producto de los periodos de extensión (Jurásico-Cretácico Inferior) y compresión (Campaniano Maastrichtiano? – Reciente).
- Se han definido las trampas relacionadas con pliegues asociados a fallas inversas: *thick skinned*, *thin skinned*, *back thrust*, *fold propagation faults* y fallas normales. Aún no existe unanimidad sobre el modelo estructural ya que muchos autores proponen una deformación de fallas de rumbo con flores positivas y sus estructuras asociadas.

Conclusiones

- Los *plays* prospectivos se relacionan con estructuras pre-Cretácico y pre-Mioceno que fueron llenadas por el primer evento de migración y cuando la migración se da desde estructuras pre-existentes alimentando otras más jóvenes. También se proponen *subthrusts* poco conocidos e hidrocarburos pesados reportados en afloramientos cerca a Florencia.
- Con base en la temporalidad de los eventos de migración y de creación de estructuras se tendrían estructuras pre-Mioceno cargadas en el oriente por crudo de generación temprana y con mayores posibilidades de biodegradación. En las estructuras del occidente, el crudo presenta un API mayor porque es de fase de generación tardía

Muchas gracias !