

Informe final

CUENCA ATRATO



INVENTARIO, INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN
GEOLOGICA DISPONIBLE, ELABORACIÓN DE LOS PAQUETES TÉCNICOS Y
PROMOCIONALES EN LA RONDA DE AREAS ABIERTAS 2009

Universidad EAFIT - ANH

Octubre, 2009

Director ejecutivo : Geovany Bedoya, Geólogo, MSc.

Director científico : Fabio Cediél, Geólogo, Msc., Ph.D

Autores : Isabel Restrepo-Correa, Ing. Geóloga, MSc.
María Isabel Marín-Cerón, Ing. Geóloga, Msc, Ph.D
Diego Tóvar, Geólogo
Hermann Duque-Caro, Geólogo, Ph.D
Cesar Mora, Geólogo, MSc.
Guillermo Muñoz, Arquitecto

Asesores científicos: Iván Correa, Ing. Geólogo, Ph.D
Michel Hermelin, Ing. Geólogo, Msc.
José Ignacio Martínez, Geólogo, Ph.D.
Gloria Sierra, Ing. Geóloga, MSc.
Gloria Elena Toro, Ing. Geóloga, Ph.D.
Juan D. Restrepo, Biólogo, Ph.D

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	OBJETIVOS	4
2.1.	OBJETIVO GENERAL	4
2.1.1	Objetivos Específicos.....	4
3.	TRABAJOS REALIZADOS EN EL ÁREA.....	7
3.1.	HISTORIA EXPLORATORIA	7
3.2.	DOCUMENTOS TÉCNICOS USADOS EN EL ESTUDIO	8
4.	GEOLOGÍA	10
4.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA.....	10
4.2.	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	11
4.3.	ESTRATIGRAFÍA	15
4.4.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	18
5.	GEOFÍSICA.....	25
5.1.	INTRODUCCIÓN	25
5.2.	PROGRAMAS DISPONIBLES	27
5.3.	INTERPRETACIÓN SÍSMICA.....	28
5.3.1.	Interpretación tectónico-estratigráfica	28
5.3.2.	Mapas estructurales de subsuelo.....	30
6.	POZOS PERFORADOS EN LA CUENCA	36
7.	GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO	37
7.1.	EVIDENCIAS DE HIDROCARBUROS	39
7.2.	ROCA FUENTE.....	39
7.3.	GENERACIÓN Y MIGRACIÓN.....	40
7.4.	ROCA ALMACÉN.....	41
7.5.	ROCA SELLO	41
7.6.	TRAMPAS.....	41
7.7.	PROSPECTIVIDAD.....	42
7.8.	HIGHLIGHTS DE LA CUENCA	42
8.	CONCLUSIONES.....	43
9.	RECOMENDACIONES PARA FUTUROS PROYECTOS EXPLORATORIOS.....	44
10.	REFERENCIAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de localización de las cuencas Atrato y San Juan (Modificado de Cediel et al., 2003).	6
Figura 2.	Localización de los principales trabajos de campo, de las líneas sísmicas existentes y de los pozos exploratorios perforados.	9
Figura 3.	Mapa Geológico. (Modificado de IGAC- Ingeominas, 2006)	12
Figura 3 (cont.).	Leyenda Mapa Geológico. (Modificado de IGAC- Ingeominas, 2006)	13
Figura 4.	Sección esquemática paralela a lo largo de de los 6°N.	14
Figura 5.	Principales eventos de evolución geológica y elementos tectónicos regionales asociados con las Cuencas Atrato y San Juan.	14
Figura 6.	Carta estratigráfica definida para la Cuenca Atrato	17
Figura 7.	Correlación litoestratigráfica definida para la Cuenca Atrato	19
Figura 8.	Rasgos estructurales de las Cuencas Atrato y San Juan	20
Figura 9.	Mapa de Anomalías de Bouguer ($\rho=2,67 \text{ gr/cm}^3$)	22
Figura 10.	Mapa de Basamento gravimétrico	23
Figura 11.	Mapa de Intensidad Magnética Total.	24
Figura 12.	Localización de pozos y líneas sísmicas Cuencas Atrato – San Juan	26
Figura 13.	Esquema de las Cuencas Atrato y San Juan.	28
Figura 14.	Secuencia sísmica por debajo de la Formación Clavo - Línea QA-82-20	29
Figura 15.	Mapa estructural del tope de la Formación Clavo	30
Figura 16.	Mapa estructural del tope de la Formación Salaquí	31
Figura 17.	Mapa estructural del tope de la Formación Uva	32
Figura 18.	Mapa estructural del tope de la Formación Napipí	33
Figura 19.	Mapa estructural del tope de la Formación Sierra	34
Figura 20.	Mapa estructural del Basamento	35
Figura 21.	Mapa de ubicación de rezumaderos en las Cuencas Atrato y San Juan	38
Figura 22.	Modelamiento geoquímico Cuenca Atrato	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Programas sísmicos presentes en las cuencas Atrato y San Juan.	27
Tabla 2.	Pozos perforados en la zona de estudio	36
Tabla 3.	Inventario de curvas pozos cuencas Atrato-San Juan	36
Tabla 4.	Highlights de la Cuenca Atrato	43

1. INTRODUCCIÓN

La Evaluación de las cuencas fronteras Chocó Norte (Atrato) y Chocó Sur (San Juan) realizadas recientemente por la Universidad Eafit, 2007, (Figura 1 Localización de las Cuencas Atrato y San Juan) deja en evidencia que estas dos cuencas son un buen objetivo exploratorio, dadas las condiciones de geología del petróleo identificadas. Este informe es una síntesis del trabajo Eafit (2007) realizado con el fin de extraer la información más relevante para elaborar los paquetes promocionales que acompañarán a las Rondas abiertas 2009-2010.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

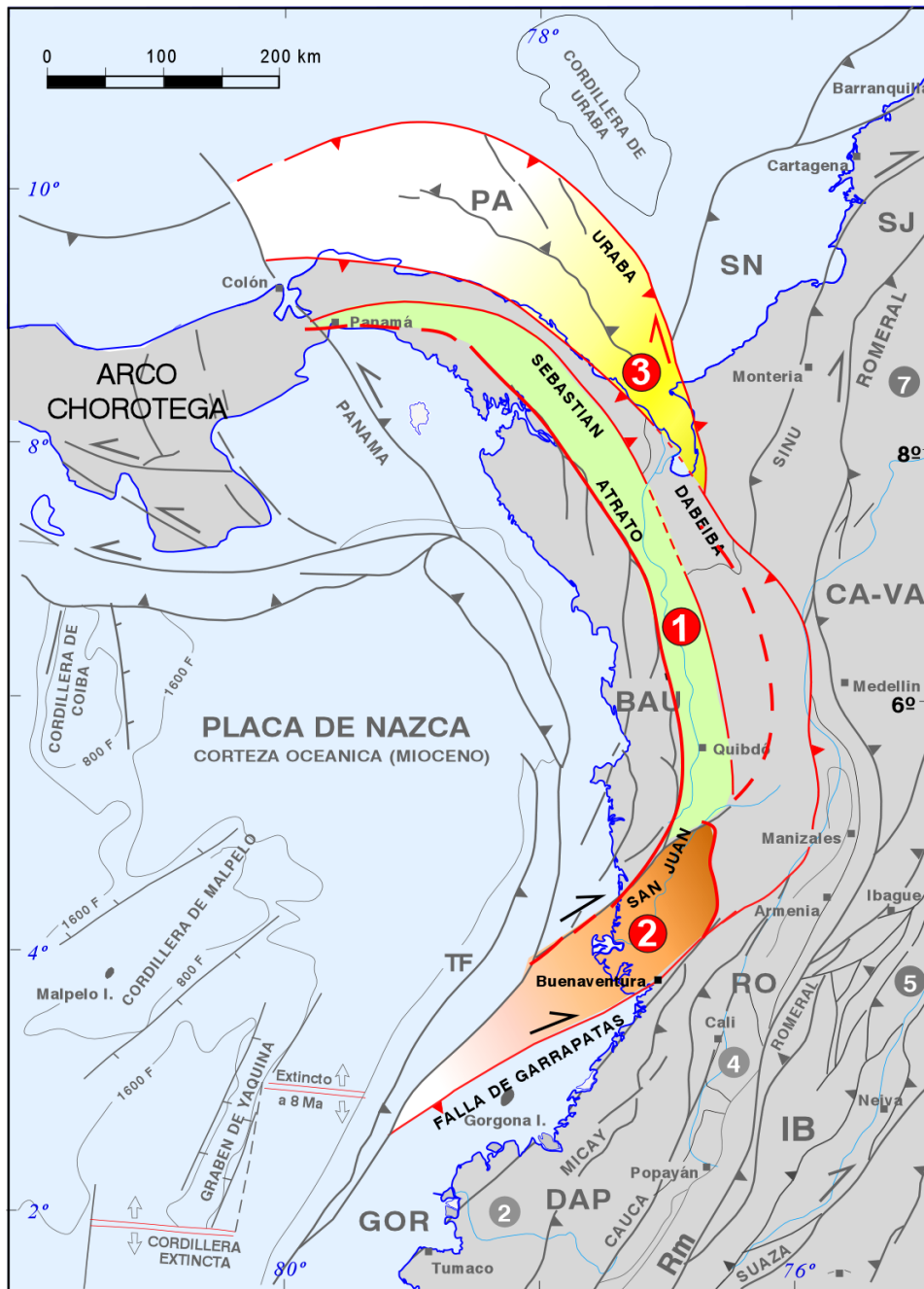
Realizar el inventario, compilación, interpretación y evaluación integral de la información geológica, geofísica y geoquímica de la Cuenca Atrato, así como mejorar el conocimiento específico de la misma en términos de su potencial exploratorio.

Este estudio establece un marco de referencia en cuanto a la cantidad y profundidad del conocimiento de los trabajos pre-existentes en las áreas que serán ofrecidas en las rondas de la ANH durante el 2009-2010.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Realizar la interpretación geológica, estratigráfica y estructural de la Cuenca Atrato.
- Realizar el modelamiento gravimétrico y magnetométrico.
- Hacer el modelamiento tectono-estratigráfico y presentar un modelo de evolución tectónica regional.

- Correlacionar el crudo proveniente de los rezumaderos encontrados en la región con las muestras de roca de afloramiento.
- Simular los procesos de generación y expulsión de hidrocarburos en la Cuenca Atrato.



1 Cuenca Atrato **2** Cuenca San Juan **3** Cuenca Urabá

TF: sedimentos de la trinchera, GOR: terreno Gorgona, DAP: terreno Dagua Piñón, RO: terreno Romeral, Rm: melange del sistema de fallas Romeral, CA-VA: terreno Cajamarca-Valdivia, IB: bloque Ibagué, PA: Arco de Panamá, SN: Cinturón del Sinú, SJ: Cinturón de San Jacinto, BAU: Baudó.

Figura 1. Mapa de localización de las cuencas Atrato y San Juan (Modificado de Cediel et al., 2003).

3. TRABAJOS REALIZADOS EN EL ÁREA

3.1. HISTORIA EXPLORATORÍA

En el Mapa Base (Figura 2) aparecen localizados los principales trabajos de campo, los programas de sísmica adquiridos hasta la fecha y los pozos exploratorios perforados. Teniendo en cuenta la extensión superficial de cada una de las cuencas y el potencial exploratorio identificado, se colige que tanto la Cuenca Atrato como la Cuenca San Juan se encuentran en una etapa incipiente de exploración, o sub-exploradas.

Así, por ejemplo, en la Cuenca Atrato se han perforado solamente cinco pozos exploratorios:

Buchadó-1, Richmond 1953, profundidad final (PF) 15.539'

Opogadó-1, Continental 1973, PF 11.372'

Urodó-1, Superior 1973, PF 15.000'

Pacurita-1, Asamera 1981, PF 9.489'

Nécora-1, Asamera 1983, PF 6.503'

Los Pozos Opogadó-1 y Urodó-1 fueron perforados, al menos parcialmente, en altos estructurales constituidos por diapiros de lodo.

Los pozos Pacurita-1 y Nécora-1 terminaron cerca del tope de Oligoceno, sin haber alcanzado el objetivo exploratorio, dado que las unidades roca más promisorias se localizan en niveles estratigráficos inferiores.

El pozo Buchadó-1, que llegó a una profundidad final de 15.539 pies, alcanzó a perforar el segmento superior de la secuencia de rocas del Eoceno superior, que equivaldrían crono-estratigráficamente a la Formación Iró, conocida en el Alto Istmina-Condoto por su alta capacidad generadora de hidrocarburos. No obstante

que Buchadó-1 parece ubicado fuera de una estructura adecuada, presentó importantes manifestaciones de aceite y gas entre los 5.800' (gas) y 11.500' (aceite).

3.2. DOCUMENTOS TÉCNICOS USADOS EN EL ESTUDIO

Los principales documentos técnicos usados en este estudio cubren las áreas señaladas en la Figura 2.

4. GEOLOGÍA

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

La ubicación geográfica de la Cuenca Chocó se define al Occidente por la línea divisoria de aguas de la Serranía de Baudó, al Oriente por el flanco Occidental de la Cordillera Occidental, al Norte por el límite político con la República de Panamá, y al Sur con el Océano Pacífico. Desde el punto de vista geológico la "Cuenca del Chocó" se entiende como la Cuenca Atrato (al Norte) y la Cuenca San Juan (al Sur), separadas por el Alto Istmina-Condoto (Eafit, 2007). La extensión superficial aproximada de cada una de ellas es de 25.000 km² para la primera y de 10.500 km² para la segunda. Como resultado del este estudio, se redefinen como cuencas exploratorias distintas, la Cuenca Atrato y la Cuenca San Juan (Ver Figura 1).

La Figura 3 Resume el mapa de unidades litológicas superficiales, modificado a partir del Mapa de IGAC-Ingeominas (2006).

Las cuencas Atrato, San Juan (y Urabá) se encuentran dentro del Arco Chocó-Panamá descrito por varios autores (Duque-Caro 1990, y redefinido por Cediel et al. 2003). Se trata de depósitos sedimentarios acumulados desde el Paleógeno sobre diferentes basamentos Cretácicos, compuestos por restos de corteza oceánica que portan fragmentos de arcos de islas (Mapa Geológico, Figura 3). Estos terrenos oceánicos migraron desde finales del Cretácico y colisionaron sucesivamente, adosándose al borde continental del NW de Suramérica hasta cerrar la comunicación entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe. Durante este proceso se desarrollan las cuencas mencionadas, cada una con características estratigráficas y faciales propias (Duque-Caro 1990, y redefinido por Cediel et al. 2003). La Figura 4 presenta un perfil geológico esquemático paralelo a lo largo de los 6°N.

4.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La formación y desarrollo de la Cuenca San Juan y de su vecina, la Cuenca Atrato, se contextualiza mediante los siguientes rasgos tectónicos (Figura 5):

(1). Sutura Garrapatas-Dabeiba (Edad: Post-Cretáceo Tardío). Representa el límite Sur de la Cuenca San Juan y es el límite entre esta Cuenca y la cuenca Tumaco al Sur). Esta sutura pone en evidencia la acreción del Terreno Cañasgordas.

(2). Sutura San Juan- Sebastián (Edad: Eoceno). Este elemento tectónico sugiere un segundo evento tectónico que incluye la acreción del Terreno El Paso (área verde en la Figura 1) a lo largo de la Sutura San Juan-San Sebastián. El arco magmático de Mandé, fechado entre 54 y 49 Ma, se generó como consecuencia de una subducción de tipo Chileno. Esta Sutura es el límite entre las Cuencas Atrato y San Juan según lo evidencia el mapa de basamento gravimétrico (referenciado posteriormente). A medida que se genera la Sutura San Juan-Sebastián, los sistemas fluviales que se desarrollaron desde el Eoceno, comienzan a abastecer el paleo-delta San Juan.

(3). Baudó (Edad 8-4 M.a ?) Este tercer rasgo tectónico, cuya edad se desconoce con certeza, incluye la formación de la Serranía del Baudó. Los mecanismos responsables del levantamiento de esta Serranía se desconocen también. Sin embargo, este evento puso cierre y se constituyó en el límite Occidental de la cuenca Atrato. La información con la que se cuenta es insuficiente para explicar la cinemática del emplazamiento de la Serranía de Baudó.

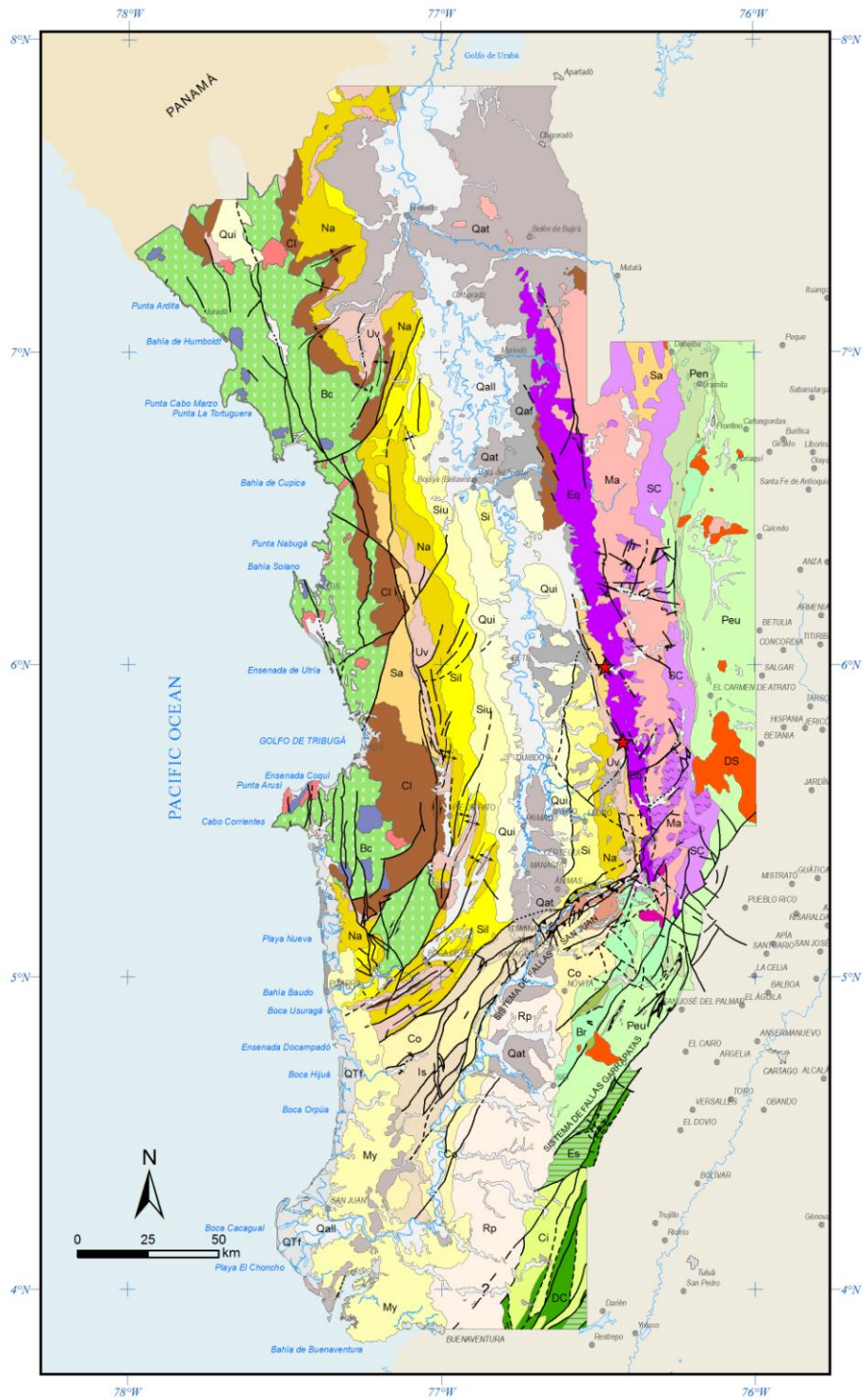
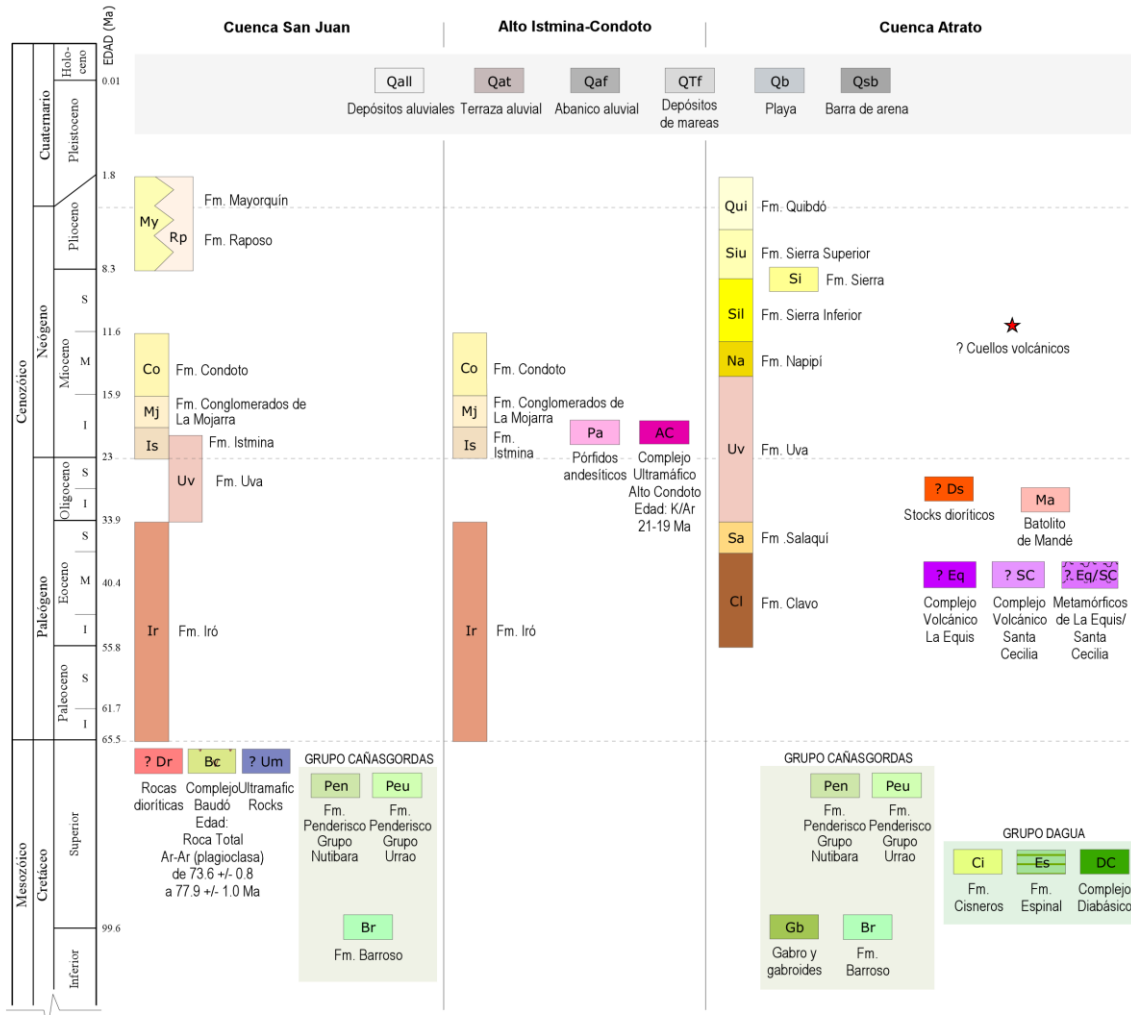


Figura 3. Mapa Geológico. (Modificado de IGAC- Ingeominas, 2006, Schmidt-Thome et al, 1992 y Utah Minerals, 1980). Ver convenciones en la página siguiente.



Una interrogación antes del nombre litoestratigráfico indica una datación incierta del mismo.

Fuentes:

IGAC-INGEOMINAS 2006. Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano. Cartografía Geológica en escala 1:100.000

Schmidt-Thomé, M., Feldhaus, L., Salazar, G., Muñoz, R., 1992. Explicación del mapa geológico, escala 1:250.000, del flanco oeste de la cordillera occidental entre los Ríos Andagueda y Muirudo, Departamentos de Antioquia y Chocó, República de Colombia.

Utah Minerals, 1980. Geological Map of the Atrato-San Juan Basins and Surrounding Areas. Scale 1:500.000 (unpublished).

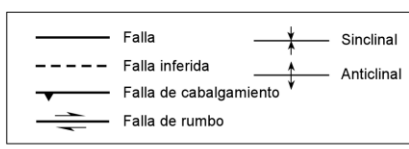


Figura 3 (cont.). Leyenda Mapa Geológico.

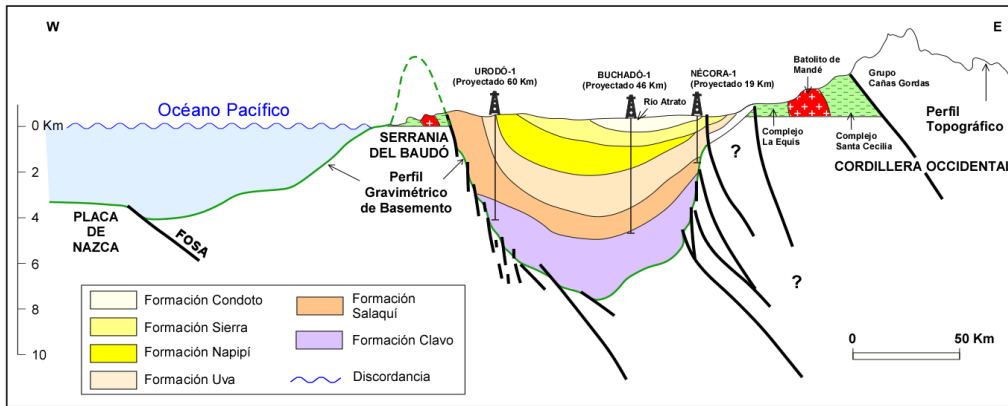


Figura 4. Sección esquemática paralela a lo largo de los 6°N.

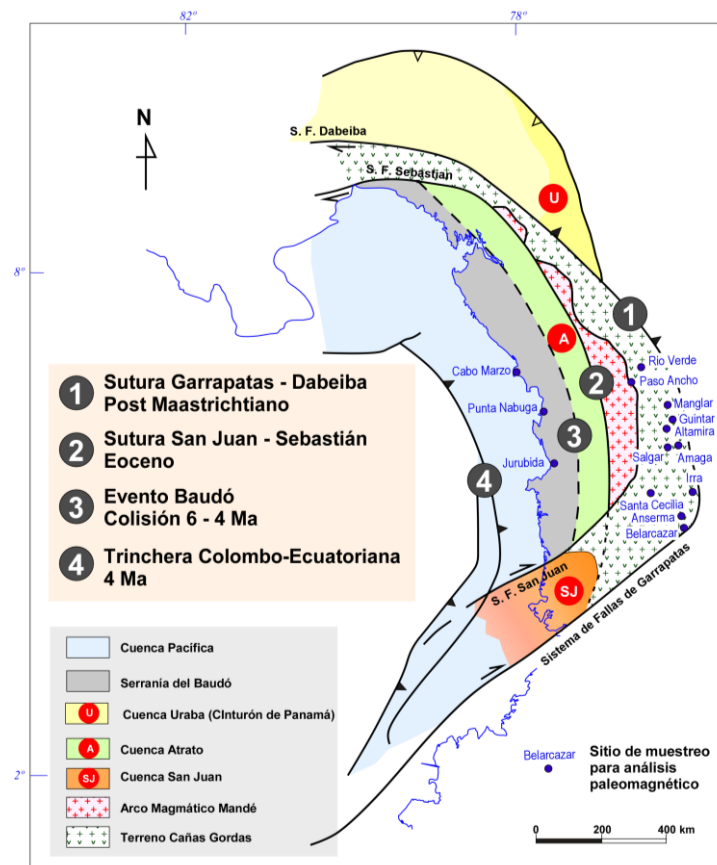


Figura 5. Principales eventos de evolución geológica y elementos tectónicos regionales asociados a las Cuencas Atrato y San Juan.

4.3. ESTRATIGRAFÍA

La denominada Cuenca San Juan-Atrato o Cuenca Chocó Pacífico (Eafit, 2007) se caracteriza como un depósito de ambientes que varían desde marinos a continentales, suprayaciendo un complejo ígneo-sedimentario. Sin embargo, las características estratigráficas reconocidas durante esta revisión y evaluación de la información disponible permiten diferenciar dos cuencas sedimentarias distintas: la Cuenca Atrato y la Cuenca San Juan.

Pocos han sido los estudios cartográficos realizados en la Cuenca Atrato. De ellos, el más completo, en cuanto a área cartografiada y análisis bioestratigráficos, fue el realizado por Haffer (1967). Por lo tanto, las denominaciones y descripciones litoestratigráficas propuestas allí son las utilizadas en este informe.

La secuencia sedimentaria está compuesta por seis unidades litoestratigráficas, que se extienden desde al menos el Eoceno inferior hasta el Plioceno (Figura 6). Los límites temporales de cada una de ellas se basaron fundamentalmente en su contenido fósil, caracterizado por la abundancia de foraminíferos planctónicos y bentónicos. Estos límites muestran una gran semejanza con esquemas propuestos anteriormente (p.e. Haffer, 1967; Duque-Caro, 1990), pero han sido actualizados a escalas recientes de tiempo geológico. De acuerdo con los fósiles reportados, hay una influencia marcada de ambientes transicionales o continentales durante su desarrollo geológico más reciente. La Cuenca Atrato contiene una secuencia sedimentaria con espesores máximos de 10 km (según modelamiento gravimétrico).

En superficie, las Formaciones Uva, Napipí, Sierra y Quibdó se encuentran ampliamente distribuidas sobre gran parte de la margen Occidental de la Cuenca y, en menor proporción, sobre su margen oriental, a la altura del valle superior del Río Atrato. Por el contrario, la Formación Clavo se restringe a sólo un sector de la

margen Occidental de la Cuenca. La Formación Salaquí, aunque localizada sobre ambas márgenes, solo aflora en dos secciones.

Cada una de estas unidades posee características litológicas particulares. Sin embargo, como lo indican las descripciones de afloramiento, al interior de cada una de ellas se dan variaciones faciales que representan diferencias en las condiciones de depósito.

La información disponible reporta facies más arenosas sobre la margen Oriental de la Cuenca, lo que insinúa la posible proveniencia de los sedimentos desde ese sector. Sin embargo, los datos no permiten definir direcciones precisas.

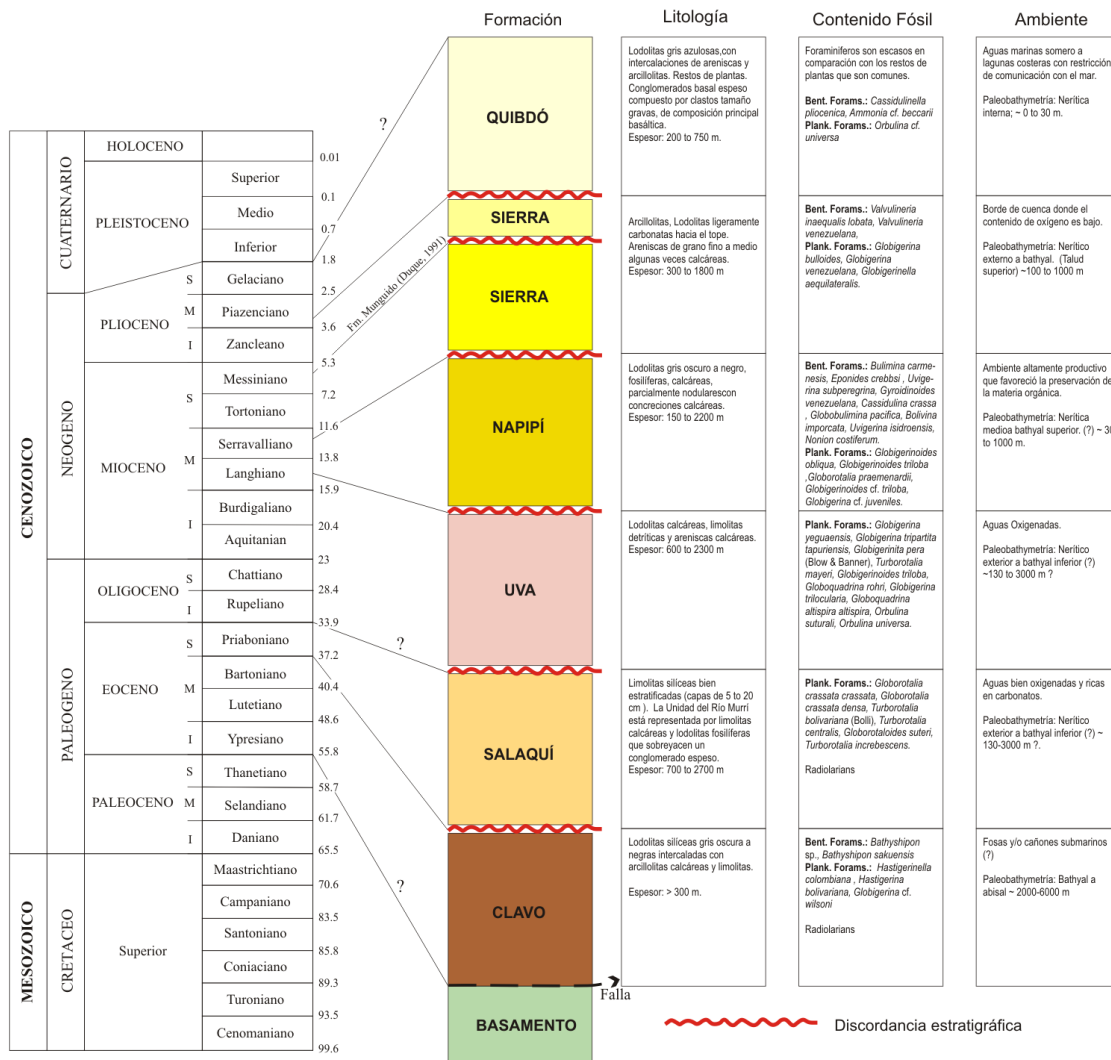


Figura 6. Carta estratigráfica definida para la Cuenca Atrato

La correlación estratigráfica de estas unidades muestra claramente el grado de continuidad y sus relaciones en profundidad, de acuerdo con interpretaciones bioestratigráficas de algunos pozos (Ver Figura 7). Además, son evidentes las variaciones en los espesores de cada una de ellas, lo cual indica procesos sedimentarios controlados por actividad tectónica diferencial. En términos generales, las unidades tienden a hacerse más espesas hacia el Sur. Tal es el caso de la Formación Uva, cuyo espesor se incrementa fuertemente (~1200 m a ~2300

m) en tal sentido. Por sus implicaciones tectónicas, es notorio también el hecho de que en la sección del Río Murrí aflora a la Formación Salaquí en contacto discordante con la Formación Quibdó. El informe de Haffer (1967) describe someramente a la Formación Salaquí la cual tiene en su parte inferior 1700 metros de conglomerados con dos intercalaciones concordantes de flujos de lava.

4.4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Las fallas y pliegues cartografiados en superficie son el resultado de escasas observaciones de campo, registradas en diferentes informes, las pocas observaciones de campo disponibles y de la interpretación de imágenes radar. Toda esta información se compiló en un mapa (escala 1:500.000), y se reinterpreto y corrigió mediante el estudio de un modelo de elevación digital e imágenes de radar para generar el Mapa rasgos estructurales de Superficie (Figura 8).

El control en subsuelo de estas estructuras se limita a la interpretación de la gravimetría y magnetometría. Las Figuras 9, 10 y 11, muestran respectivamente los Mapas de Anomalías de Bouguer Total ($\rho=2,67 \text{ gr/cm}^3$), de Basamento Gravimétrico y de Intensidad Magnética total. Las fallas cartografiadas en la interpretación sísmica aparentemente no llegan a afectar los estratos más recientes, o estos últimos son tan espesos y activos (coetáneos con la misma deformación), que su expresión en superficie no se ha detectado con los métodos hasta hoy usados.

La Cuenca Atrato está delimitada al Occidente por la presencia de fallas que ponen en contacto el "Complejo de Baudó" con diferentes unidades sedimentarias. Algunas de estas "fallas" o alineamientos podrían corresponder a contactos

discordantes. La impresión general es que todo este sistema está constituido por una serie de fallas de crecimiento (*growth-faults*) de diferentes edades. La ausencia de datos de campo y de subsuelo impide caracterizar mejor el tipo de deformación que controla el flanco occidental de la Cuenca.

Es importante destacar la ocurrencia de ejes anticlinales que se desarrollan en este flanco Occidental (W) de Sur a Norte, cambian progresivamente su orientación de Suroccidente (SW) a Noroccidente (NW), lo cual indica una rotación de esfuerzos coherente con la geometría del Arco Chocó-Panamá.

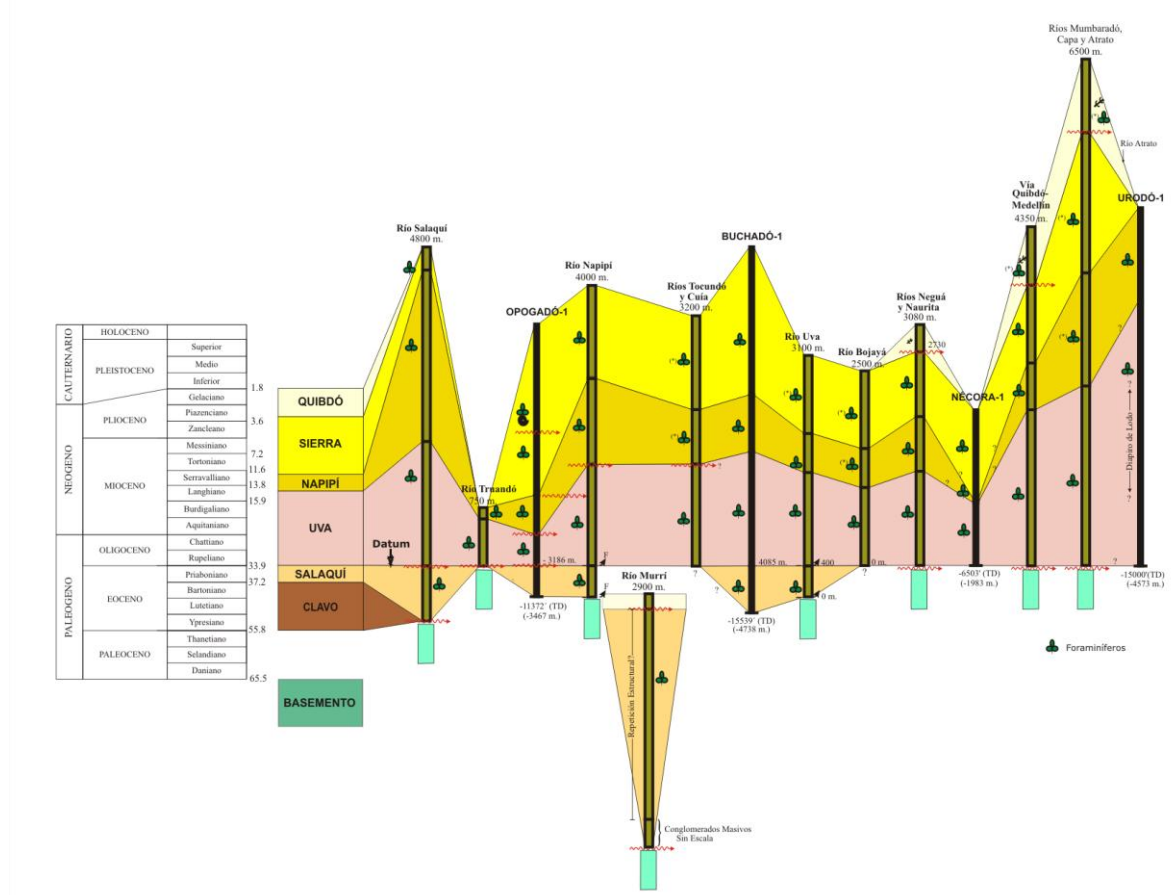


Figura 7. Correlación litoestratigráfica definida para la Cuenca Atrato

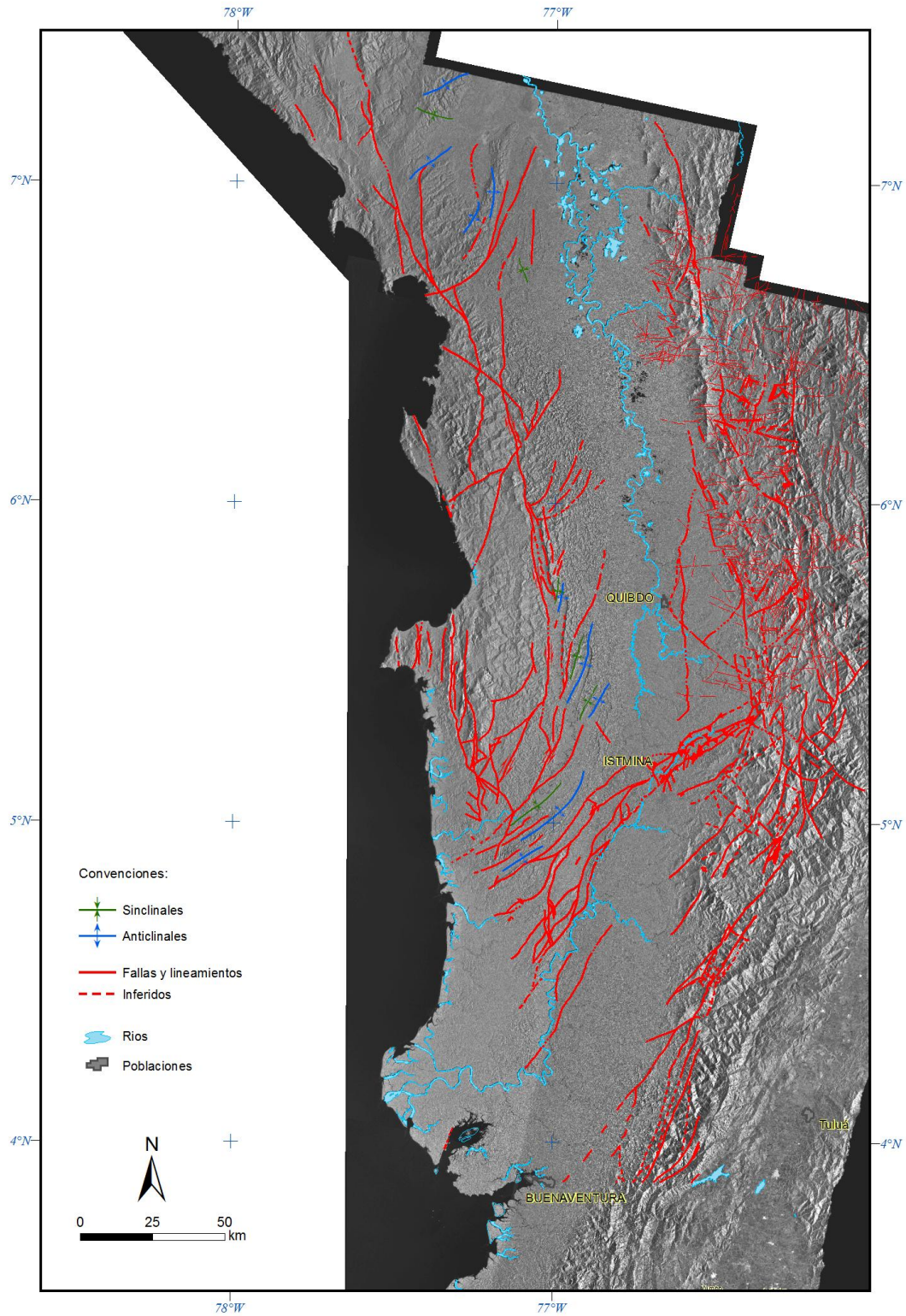


Figura 8. Rasgos estructurales de las Cuencas Atrato y San Juan

El límite Este (E) de la Cuenca Atrato corresponde a un sistema de fallas rectilíneas con orientación preferencial N-S, que pone en contacto parte de la secuencia sedimentaria con unidades ígneas del Arco Magmático de Mandé. La expresión en superficie de estas fallas induce a interpretarlas como fallas normales o como fallas inversas de alto ángulo. El patrón geométrico de este sistema, y su localización dentro del Arco sugiere también que éste ha presentado desplazamiento dextral (*right lateral*) en la historia más reciente de deformación tectónica.

Hacia el Norte la Cuenca Atrato se continúa en Panamá con el nombre de Cuenca Chucunaque-Tuira. El límite Sur de la Cuenca está constituido por el Alto Istmina-Condoto, que a su vez es el límite N-NE de la Cuenca San Juan.

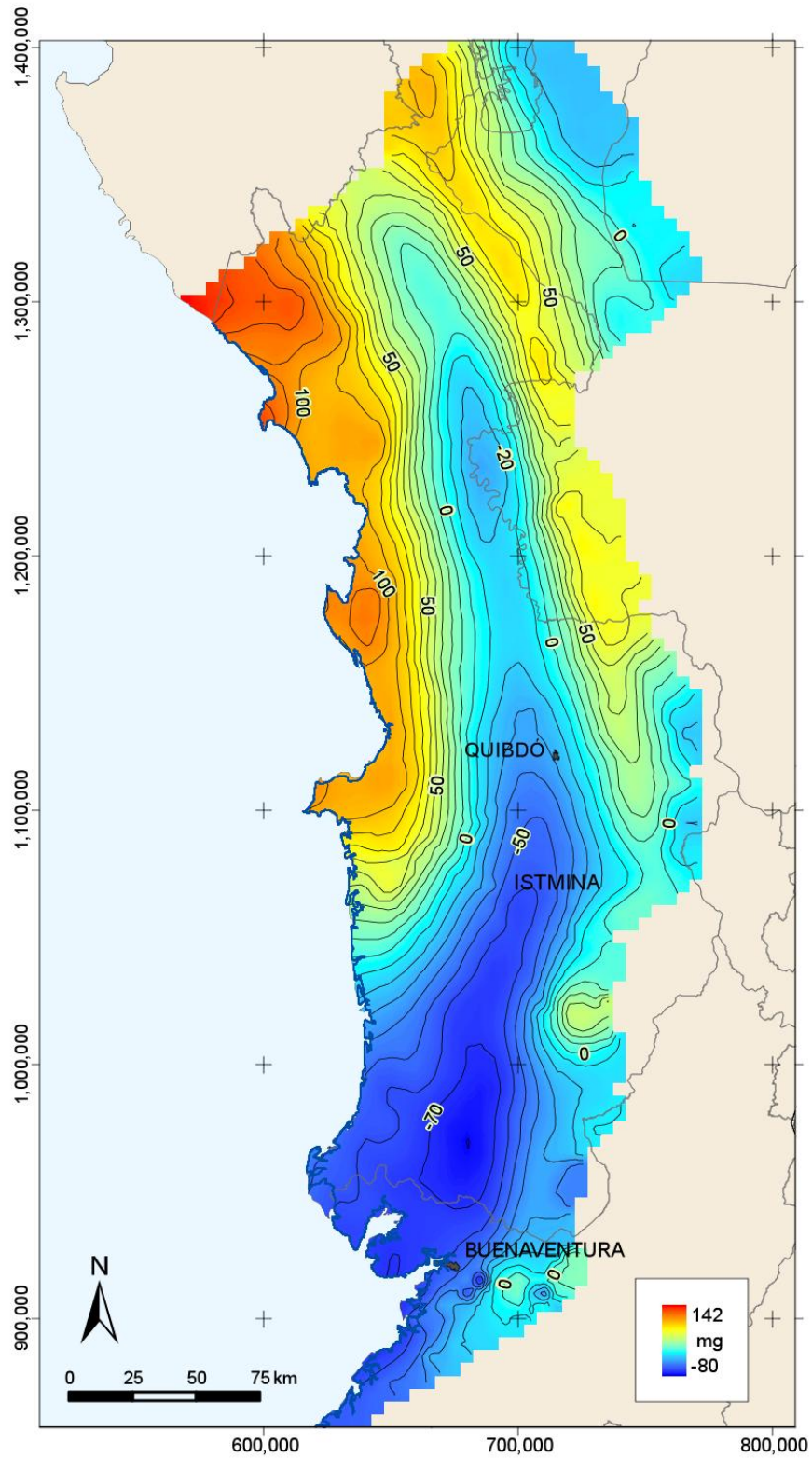


Figura 9. Mapa de Anomalías de Bouguer ($\rho=2,67 \text{ gr/cm}^3$)

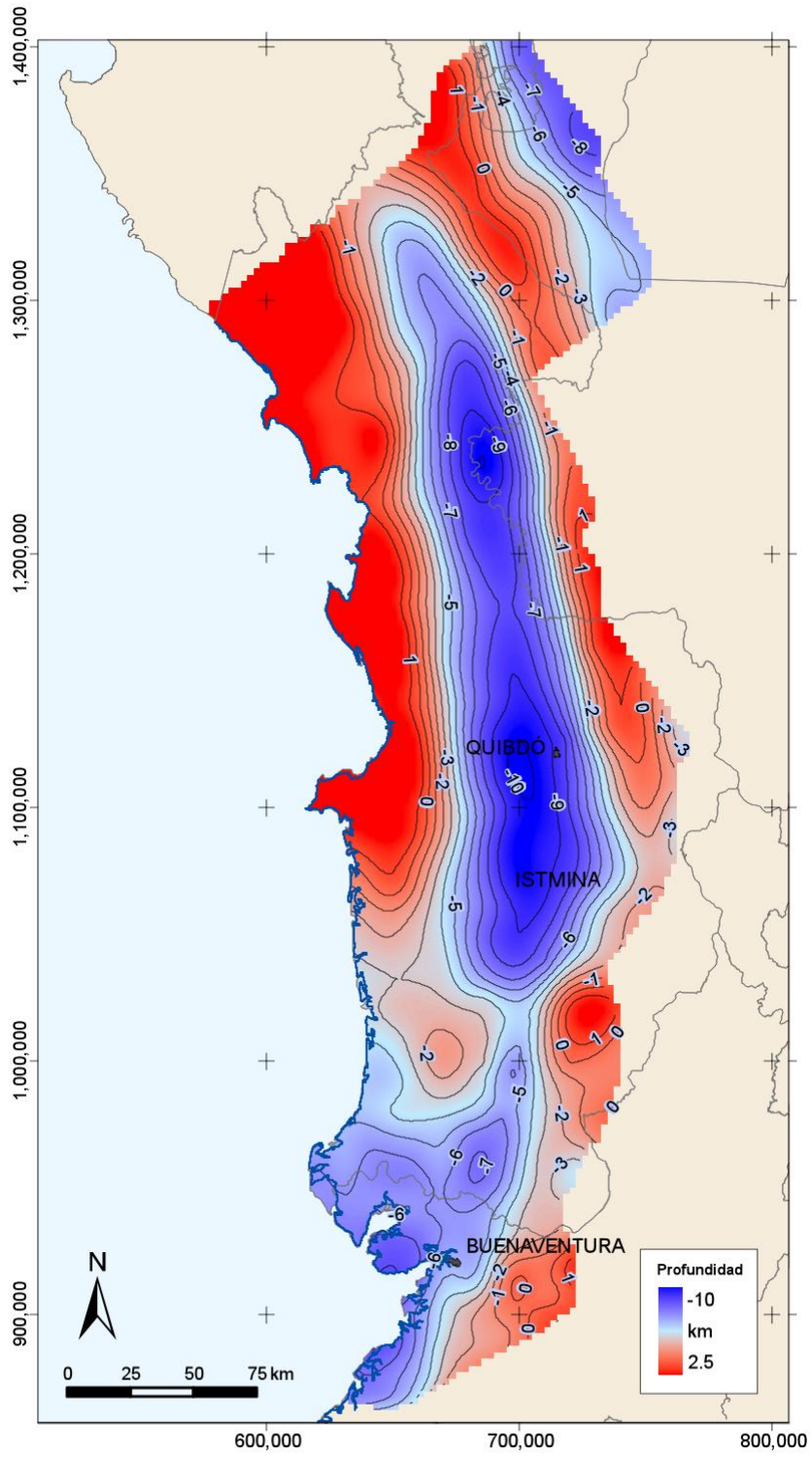


Figura 10. Mapa de Basamento Gravimétrico.

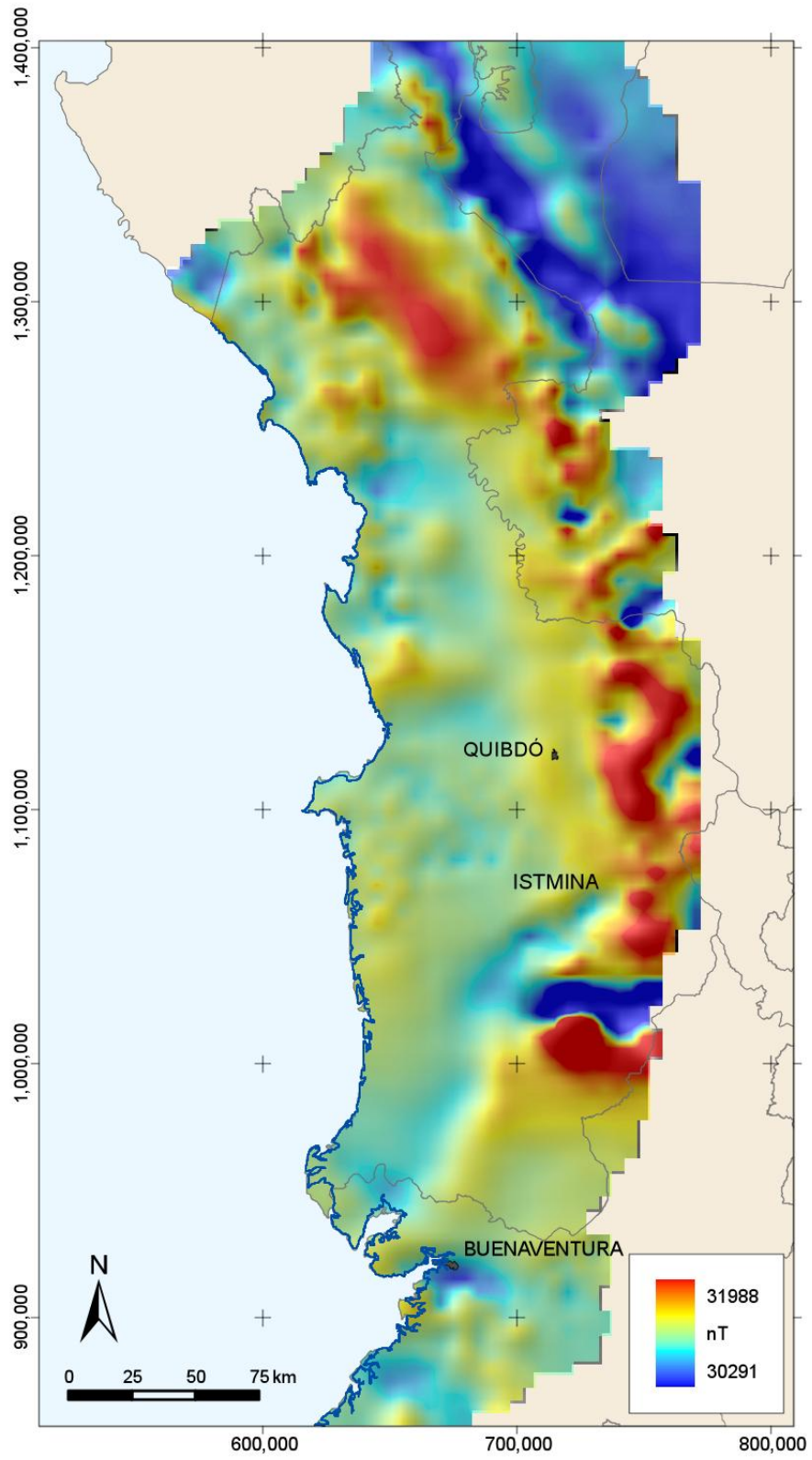


Figura 11. Mapa de Intensidad Magnética Total.

5. GEOFÍSICA

5.1. INTRODUCCIÓN

La información sísmica disponible para estudiar la geología sub-superficial de las Cuencas de Atrato y San Juan es escasa, muy espaciada e incompleta (Fig. 13) El este estudio de interpretación sísmica fue desarrollado en tres fases: 1. Compilación, control de calidad y digitalización de los datos disponibles. 2. Interpretación de las unidades tectono-estratigráficas y, 3. Cartografía sub-superficial. Los datos sísmicos fueron leídos y cargados en GEOGRAPHI TM®, un software especializado de LANDMARK®. Los programas Río Atrato-82 y Tutunendo-81 carecen de información de SEG-Y. La interpretación y elaboración de mapas para estos programas fue hecha manualmente.

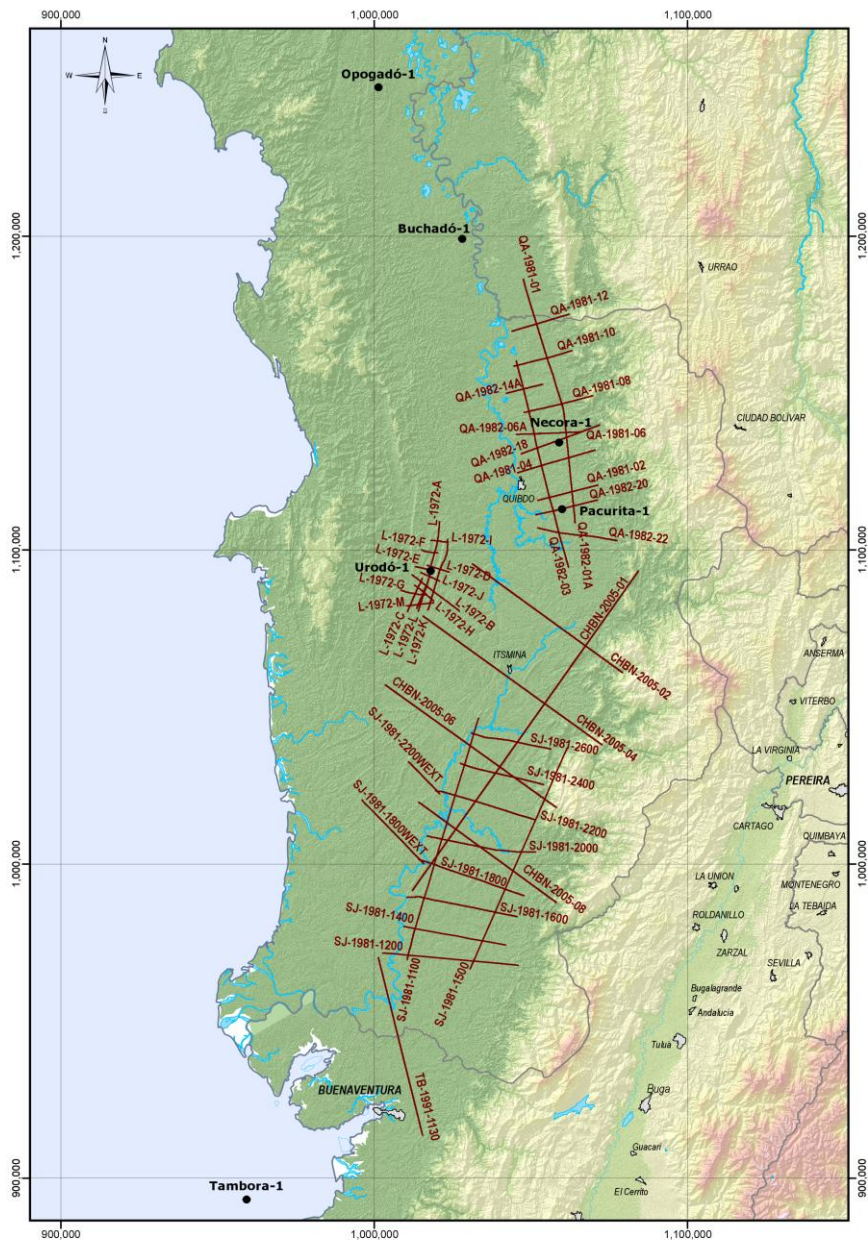


Figura 12. Localización de pozos y líneas sísmicas de las cuencas Atrato – San Juan

5.2. PROGRAMAS DISPONIBLES

La Tabla 1 Resume los programas de sismica disponibles en la zona de estudio.

PROGRAMA	LINEA	Version Interpretada
ANH-2005	A01	MIG_in_in
ANH-2005	A02	MIG_in_in
ANH-2005	A04	MIG_in_in
ANH-2005	A06	MIG_in_in
ANH-2005	A08	MIG_in_in
SAN JUAN-81	SJ-1981-1100	GEOSOURCE_1981_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-1200	GEOSOURCE_1981_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-1400	GAPS_2000_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-1500	SISMOCOL_1995_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-1600	No se cargó
SAN JUAN-81	SJ-1981-1800	GEOSOURCE_1981_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-1800West	GAPS_2000_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-2000	GEOSOURCE_1981_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-2200	GEOSOURCE_1981_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-2200West	GAPS_2000_MIG_IN
SAN JUAN-81	SJ-1981-2400	GEOSOURCE_1981_STACK_I
SAN JUAN-81	SJ-1981-2600	SISMOCOL_1995_MIG_IN
TUMACO_91	TUMACO-91-1130	GAPS_2000_MIG_IN
URODO-72	L-1972-A	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-B	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-C	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-D	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-E	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-F	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-G	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-H	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-I	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-J	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-K	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-L	1991-CGG-MIG-O-O
URODO-72	L-1972-M	1991-CGG-MIG-O-O
TUTUNENDO-81	QA-1981-01	MIG_in_in
TUTUNENDO-81	QA-1981-02	MIG_in_in
TUTUNENDO-81	QA-1981-04	MIG_in_in
TUTUNENDO-81	QA-1981-06	MIG_in_in
TUTUNENDO-81	QA-1981-08	MIG_in_in
TUTUNENDO-81	QA-1981-10	MIG_in_in
TUTUNENDO-81	QA-1981-12	MIG_in_in
RIO ATRATO-82	QA-1982-03	MIG_in_in
RIO ATRATO-82	QA-1982-06A	MIG_in_in
RIO ATRATO-82	QA-1982-14A	MIG_in_in
RIO ATRATO-82	QA-1982-18	MIG_in_in
RIO ATRATO-82	QA-1982-20	MIG_in_in
RIO ATRATO-82	QA-1982-22	MIG_in_in
RIO ATRATO-82	QA-1982-01A	MIG_in_in

Tabla 1. Programas sísmicos presentes en las cuencas Atrato y San Juan.

5.3. INTERPRETACIÓN SÍSMICA

En el trabajo de reinterpretación de la geología de superficie (Eafit, 2007) se observan simultáneamente sistemas de fallas inversas y normales con dirección Norte – Este y Sur – Oeste. Estos sistemas son corroboradas por interpretación sísmica y corresponden a una zona de transurrencia (*Wrench Assemblage*), asociada con el adosamiento del Terreno El Paso. El proceso se inicia en el Paleoceno (?) y se continua en la actualidad. Este sistema de fallas se expresa como el alto estructural de Istmina –Condoto (Eafit, 2007, Figura 13), y constituye el límite intermitente entre las dos cuencas Atrato y San Juan.

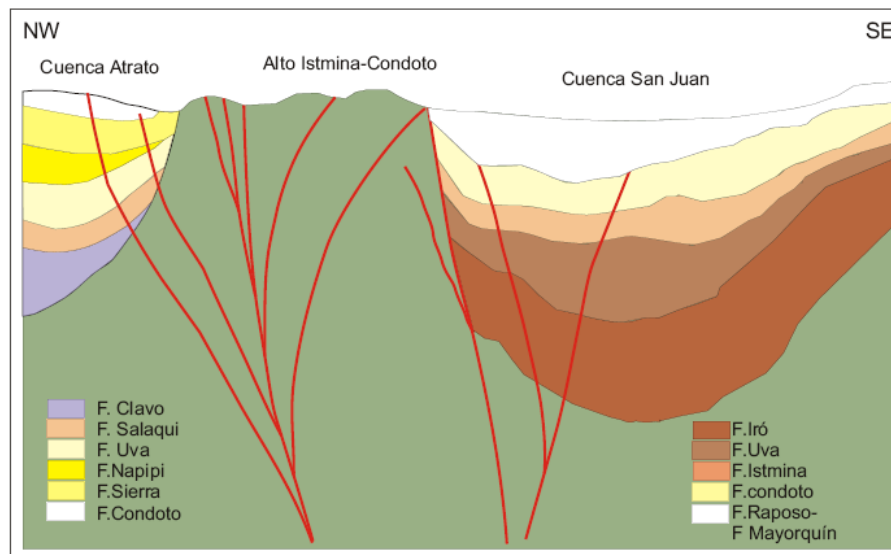


Figura 13. Esquema que muestra la relación estructural entre el Alto Istmina Condoto y las Cuencas Atrato y San Juan.(sin escala)...

Las estructuras en forma de flor son evidencia de movimientos principalmente de rumbo, que ocasionarían pliegues y fallas inversas.

5.3.1. Interpretación tectónico-estratigráfica

El intervalo estratigráfico correspondiente con la Cuenca Atrato está constituido por sedimentos del Paleógeno-Neógeno dispuestas discordantemente sobre un basamento no determinado por la sísmica. Las unidades definidas en la Cuenca

están descritas con los pocos pozos y algunos afloramientos disponibles. Con base en lo anterior fue posible definir las unidades estratigráficas: Clavo, Salaquí, uva, Napipí, Sierra y Quibdó.

Los pozos perforados en la Cuenca no han llegado hasta la Formación Clavo, sin embargo, es importante anotar que, por debajo de los sedimentos que aquí se consideran pertenecientes a ésta, es posible diferenciar sucesiones estratificadas más antiguas en el margen Oriental. En esta misma margen esas secuencias se hacen más espesas, en contraste con unidades del Paleógeno que tienen mayor desarrollo hacia el Oeste. (Figura 14)

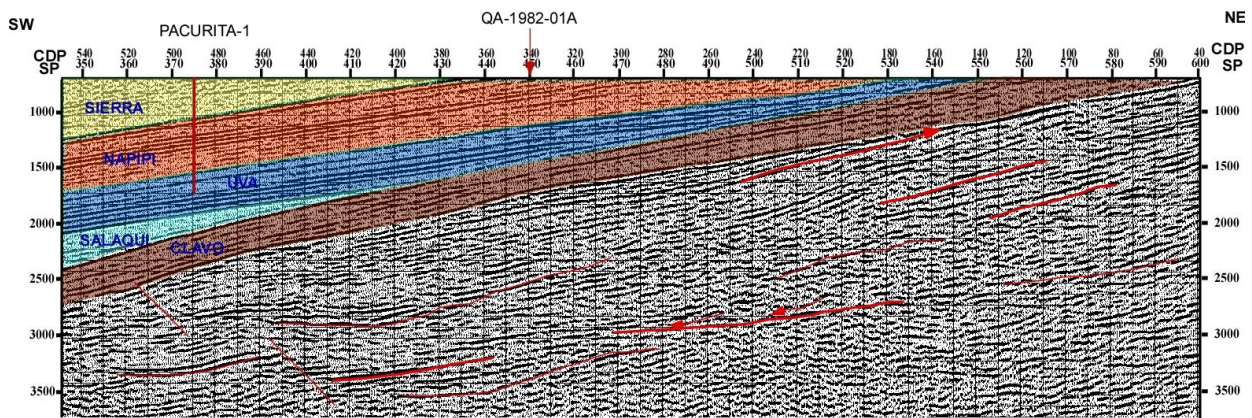


Figura 14. Secuencia sísmica por debajo de la Formación Clavo - Línea QA-82-20. Por debajo de la secuencia sísmica que corresponde a la Formación Clavo se observa una cuña sedimentaria que se hace más potente en dirección al NE.

5.3.2. Mapas estructurales de subsuelo

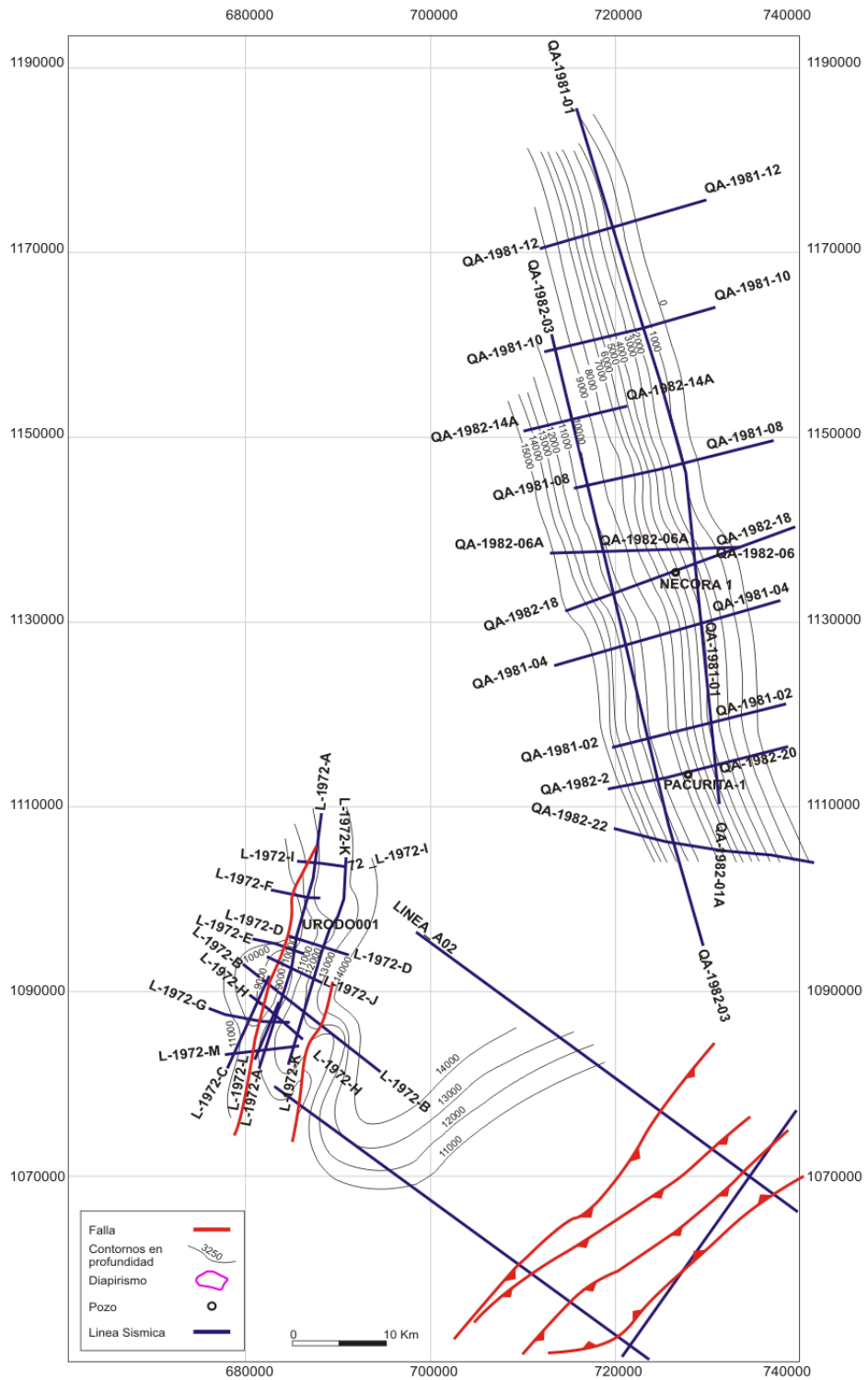


Figura 15. Mapa estructural del tope de la Formación Clavo

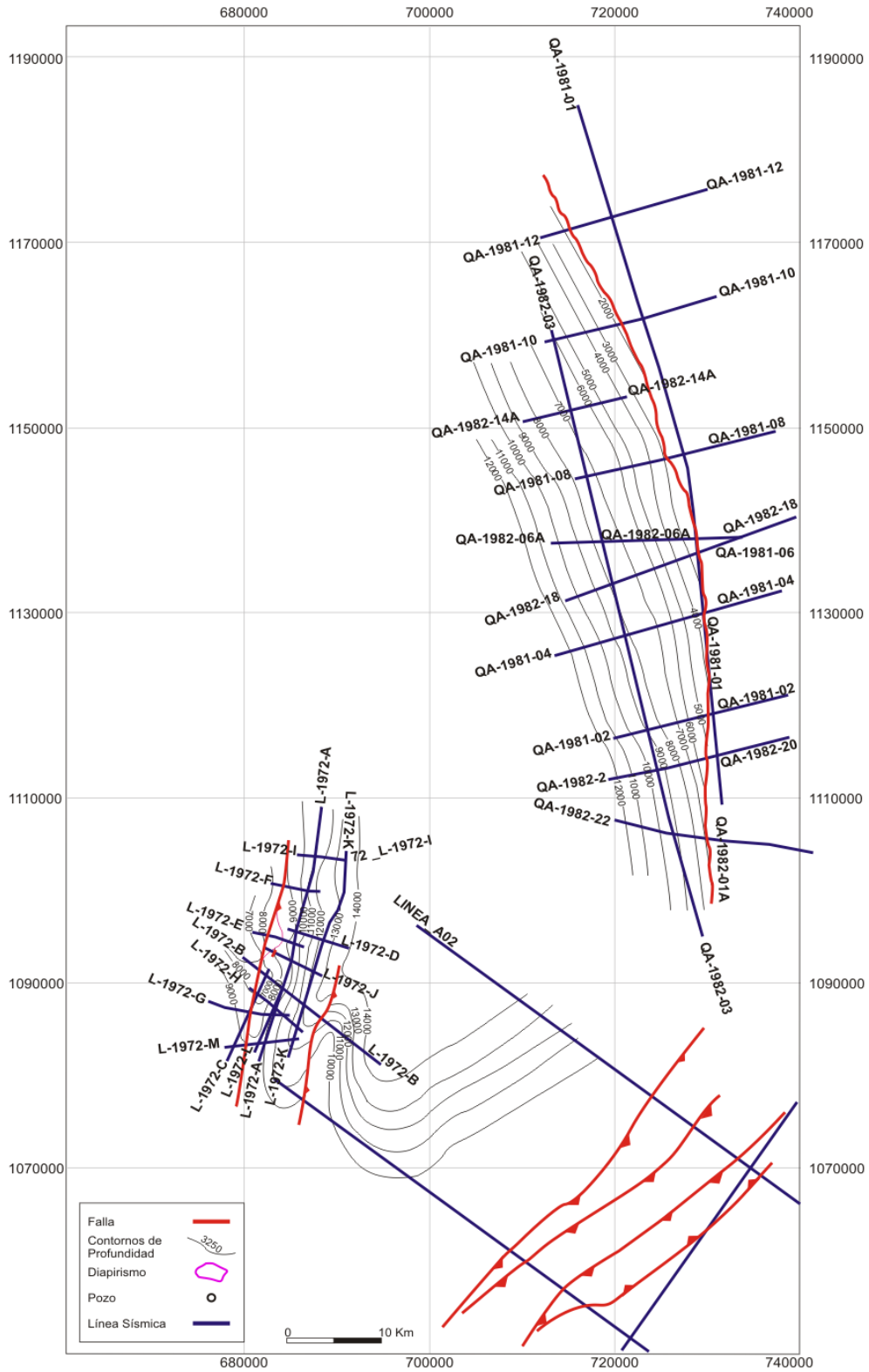


Figura 16. Mapa estructural del tope de la Formación Salaquí

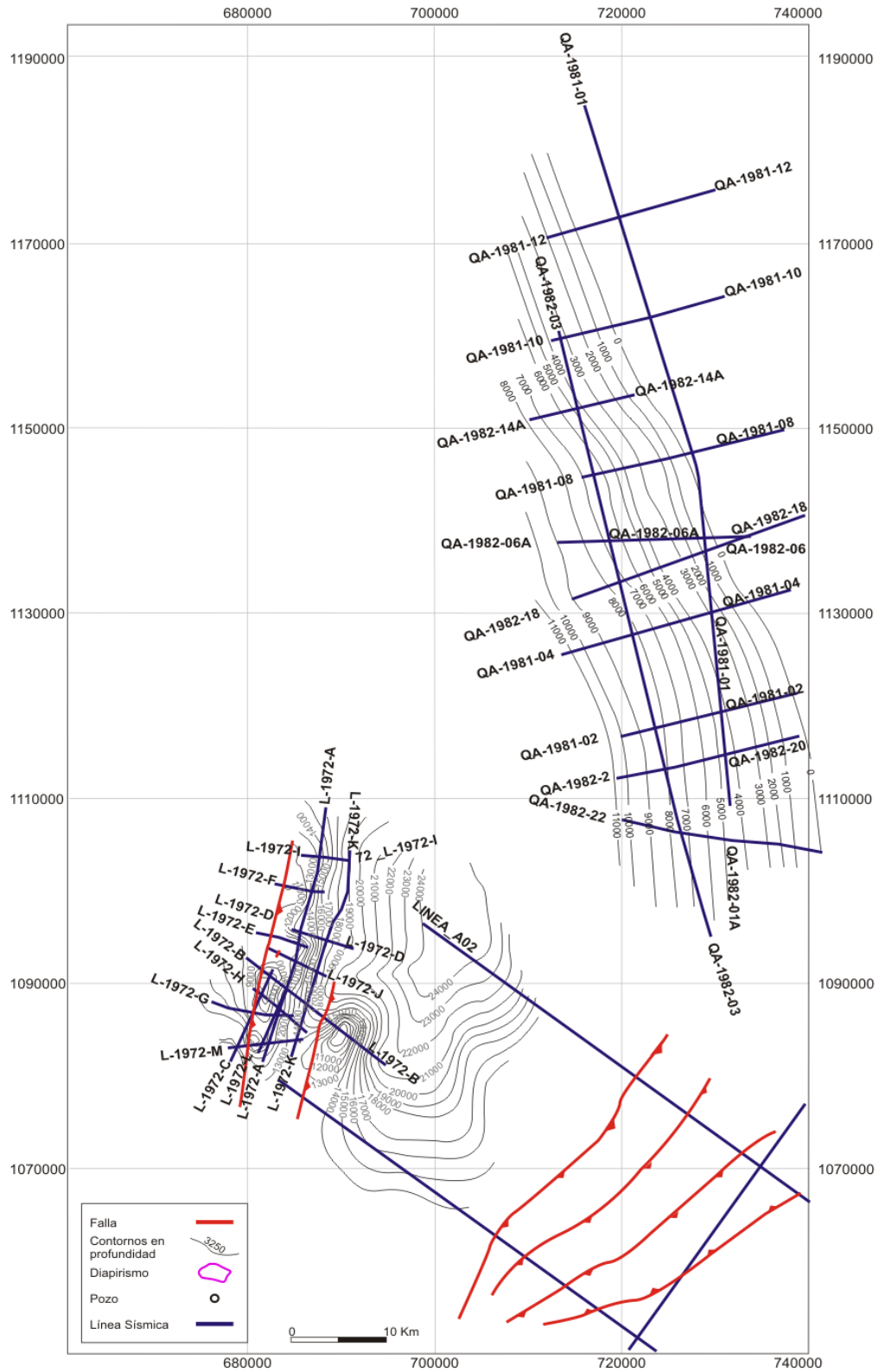


Figura 17. Mapa estructural del tope de la Formación Uva

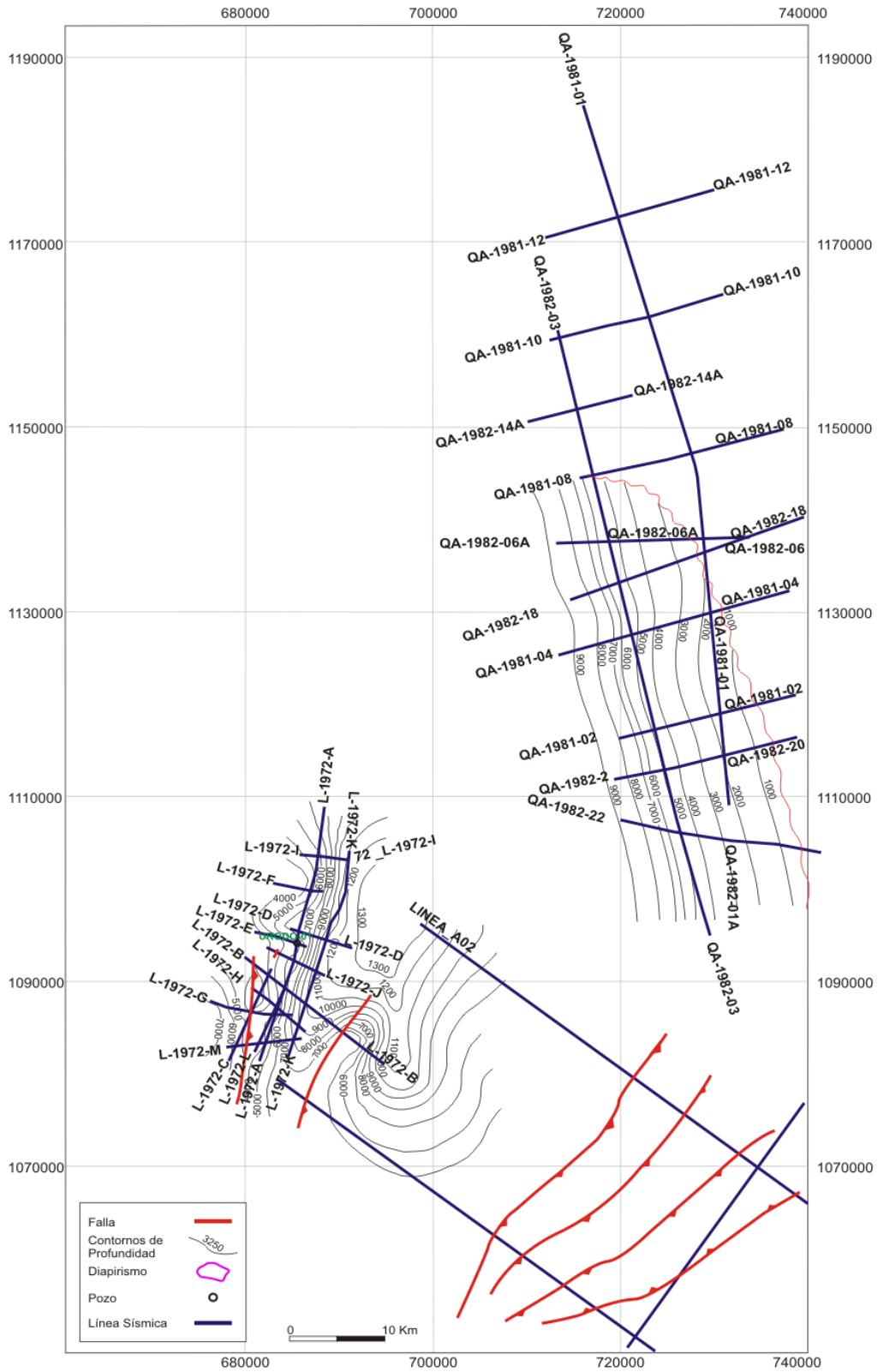


Figura 18. Mapa estructural del tope de la Formación Napipí

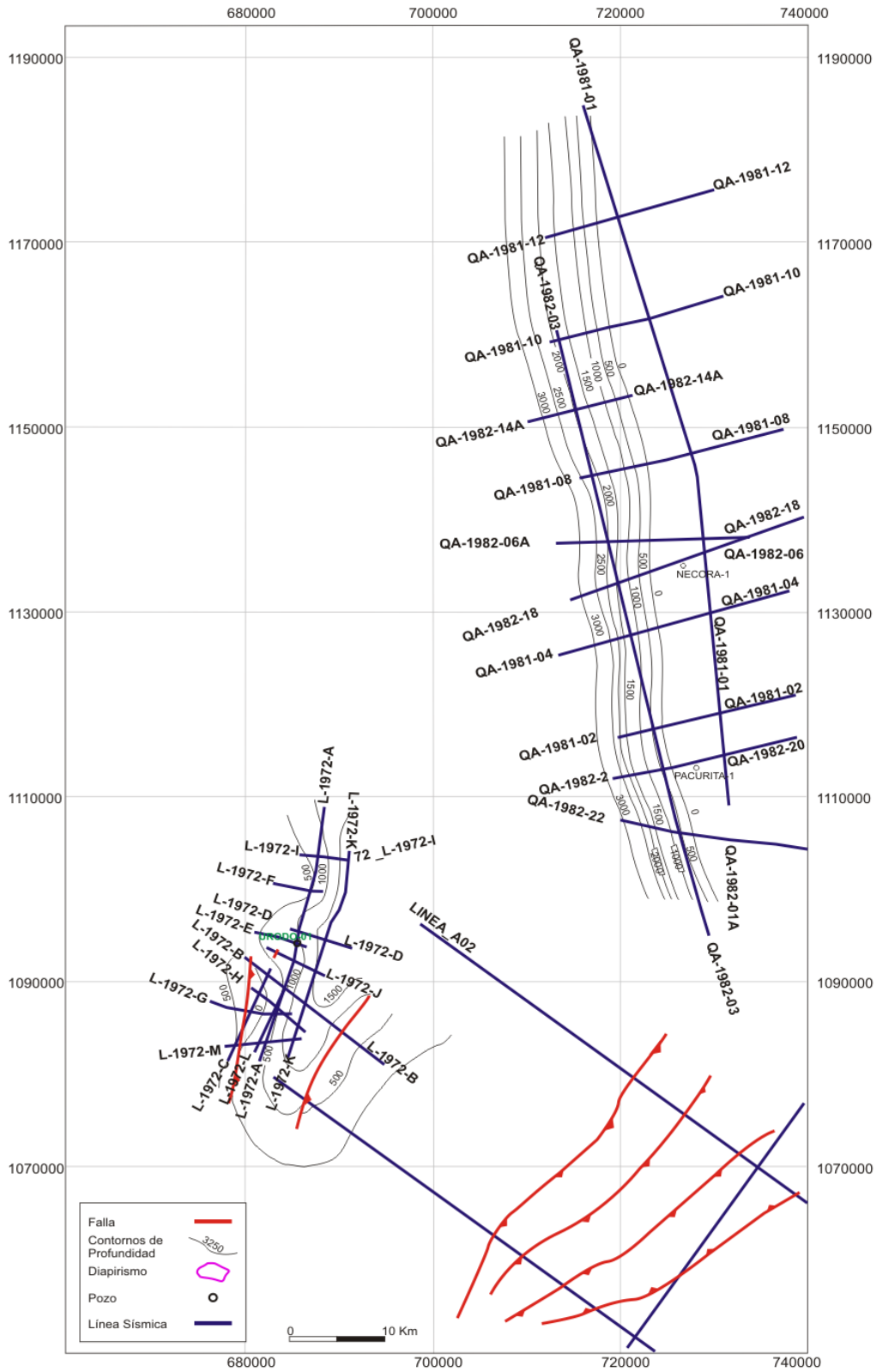


Figura 19. Mapa estructural del tope de la Formación Sierra

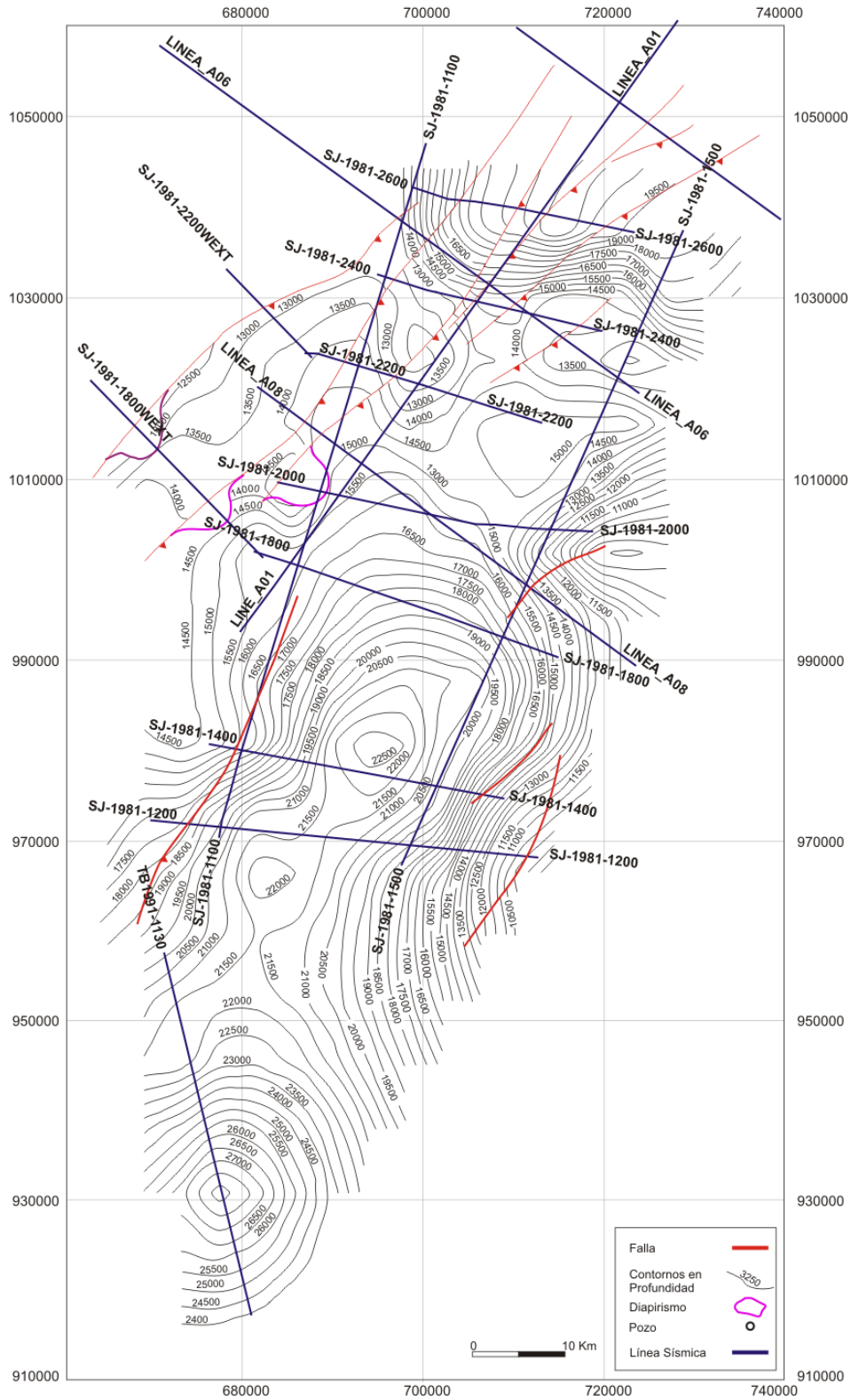


Figura 20. Mapa estructural del Basamento

6. POZOS PERFORADOS EN LA CUENCA

Los pozos perforados en las cuencas Atrato-San Juan se resumen en la siguiente tabla.z

Well Name	Registros LAS	Prof.Total	VSP, CS
Buchado-1	RES,SP,DIP,DAZ	15539	NO
Necora-1	DT, RHOB, GR, CAL, RES,SP	6503	NO
Opogado-1	DT, GR, CAL, SP, RES	11372	NO
Pacurita-1	DT, GR, RHOB, SP, RES,CAL	9489	NO
Urodo-1	DT, GR,CAL,SP	15000	NO

Tabla 2. Pozos perforados en la zona de estudio

Estos pozos fueron perforados entre 1953 y 1983 por diferentes compañías. La información asociada a cada uno de ellos se relaciona en la Tabla 3.

Pozo	Intervalo (pies)	Curvas											
		GR	SP	ILD	LN	SN	LAT	SFLA	DT	NPHI	RHOB	MNOR	MINV
Buchado-1 1953	15 - 3510		X		X	X	X						
	3510 - 7350		X		X	X	X					X	X
	7350 - 9700		X		X	X	X						
	9700 - 9850		X		X	X	X					X	X
	9850 - 10700		X		X	X	X						
	10700 - 12585		X		X	X	X					X	X
	12585 - 13040		X		X	X	X						
	13040 - 13250		X		X	X	X					X	X
Urodo-1 1973	60 - 995		X	X		X							
	1008 - 3490		X	X		X			X				
	3510 - 9430	X	X	X		X			X				
	9525 - 11995		X	X		X			X				
	12030 - 15000		X	X		X							
Opogado-1 1974	100 - 990		X	X		X							
	1015 - 3640	X								X			
	3680 - 5050	X	X	X		X			X				
	5200 - 7700		X	X		X							
	7700 - 10020	X	X	X		X			X				
	10020 - 10515		X	X		X							
	10515 - 11358	X	X	X		X			X				
Pacurita-1 1981	40 - 1220		X	X					X				
	1220 - 4000		X	X					X	X			
	4000 - 6790	X	X	X					X	X	X	X	
	6800 - 9445	X	X	X					X	X	X	X	X
Necora-1 1983	60 - 640		X	X					X				
	690 - 2370		X	X					X				
	2460 - 6300	X	X	X					X	X	X	X	X
	6300 - 6380		X	X					X	X		X	X
	6380 - 6470	X	X	X					X	X	X	X	X

Tabla 3. Inventario de curvas de los pozos de las cuencas Atrato y San Juan

Ninguno de los pozos cuenta con análisis no convencionales que permitan complementar la calibración del registro de pozo. Por esta razón, la presente evaluación se basó en las respuestas de registros típicos en huecos abiertos. De los cinco pozos, solamente Necora-1 y Pacurita-1 tienen registros que permitan hacer una interpretación cuantitativa.

En general, las unidades perforadas son ricas en shales y no hay buen desarrollo de reservas. Sin embargo, es posible indentificar paquetes pequeños de areniscas de calidad de reservorio con porosidades entre 8% y 15% y saturación de agua que excede el 80%. No se han perforado acumulaciones significativas de petróleo en la Cuenca del Atrato, pero durante la perforación de estos pozos se encontraron *shows* de aceite y gas.

7. GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

La información sísmica disponible permite visualizar y definir las características estratigráficas y estructurales que, en su conjunto, permiten la inferencia de trampas estructurales y estratigráficas apropiadas para la acumulación de hidrocarburos.

Las principales estructuras encontradas en la Cuenca del Atrato justifican la definición de nuevas campañas de exploración.

La localización estratégica de las Cuencas Atrato y San Juan a lo largo de la margen Pacífica y su vecindad con el Puerto de Buenaventura son elementos importantes a considerar en su evaluación como cuencas potencialmente productivas.

La caracterización de rocas fuente fue llevada a cabo mediante 57 muestras tomadas al Sur del municipio de Tadó, donde se cuenta con secciones estratigráficas a lo largo de Aguas Claras, La Cuelga, Profundo y San Bernabé, así como también a lo largo del Río Mongorrá (Mera y piragua, 2000. Figura 21)

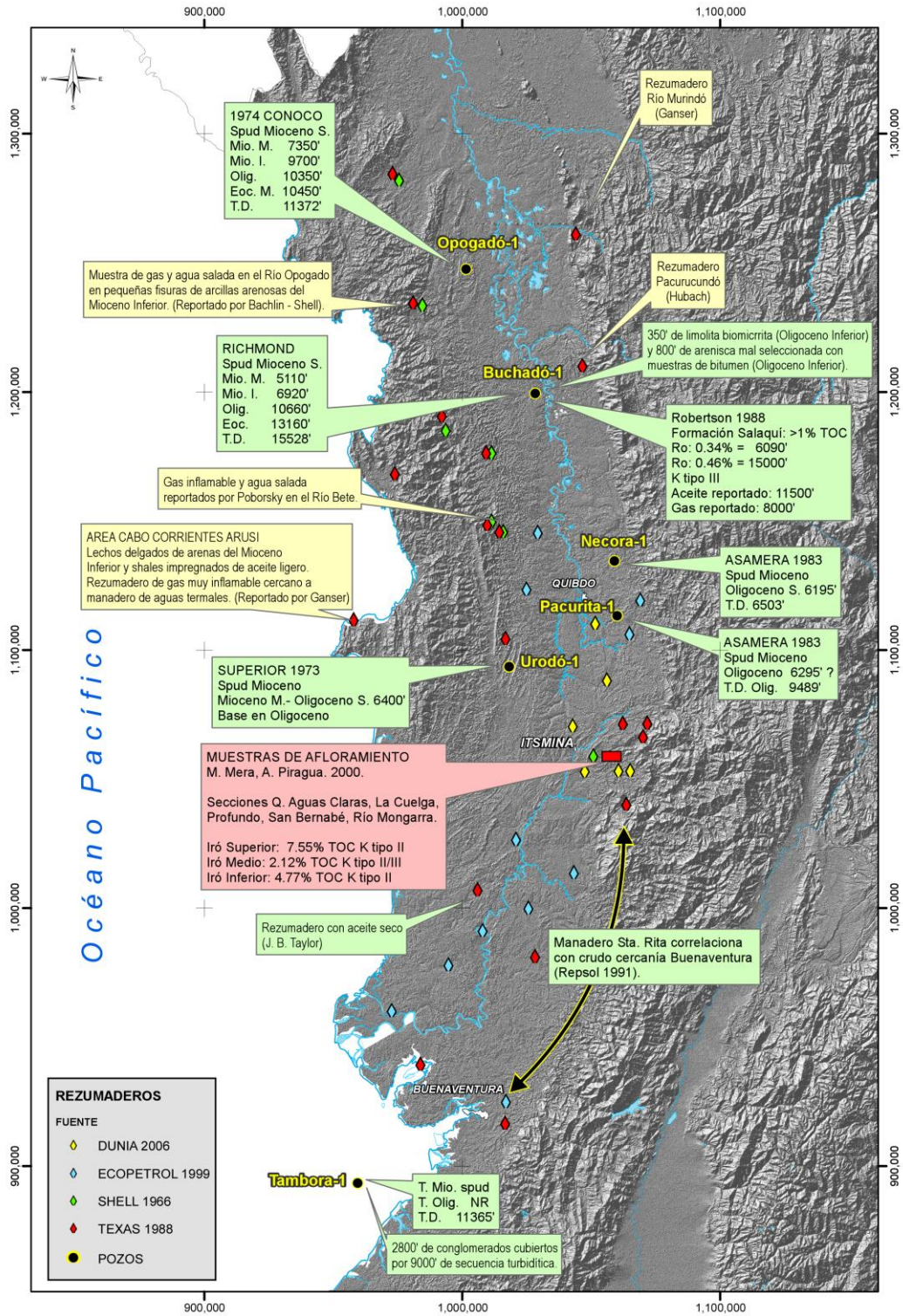


Figura 21. Mapa de ubicación de rezumaderos en las cuencas Atrato y San Juan.

7.1. EVIDENCIAS DE HIDROCARBUROS

Como se comentó anteriormente, cinco pozos se han perforado en las Cuencas Atrato-San Juan, con una cobertura de 7,000 km²/ pozo, es una densidad mucho menor comparada con la de otras cuencas de Colombia. Sin embargo, rezumaderos de aceite y gas fueron encontrados en los pozos Buchadó-1, y Majagua-1.

El pozo Buchadó-1, perforado en 1953 por Richmond Petroleum, tiene una evaluación de madurez en el intervalo de 6090 a 15539 pies. La sección analizada muestra una madurez baja, confirmada por bajos valores de Tmax, con rango entre 417 °C a 435 °C, y valores de reflectancia de vitrinita desde 0,34 a 6090 pies; hasta 0,46 de 15300-15400 pies.

La sección Eoceno-Mioceno se encuentra desde inmadura hasta la ventana de generación de aceite con valores en el índice de coloración de esporas entre 3.0 y 5.5, valores de reflectancia de Vitrinita (Ro) entre 0,23 y 0,61; además de valores de Tmax en pirólisis en el rango de 417 °C y 439 °C que reflejan la baja madurez de las posibles rocas generadoras del Atrato.

En general se reporta baja madurez térmica en las rocas estudiadas, pero es importante subrayar que la Cuenca Atrato tiene un nivel de estudio en el tema geoquímico muy pobre y hay una probabilidad alta de que existan zonas de cocina en sitios donde las rocas generadoras hipotéticas de la Cuenca Atrato hayan alcanzado mayores profundidades.

7.2. ROCA FUENTE

Formaciones Salaqui y Clavo (?) No están estudiadas geoquímicamente, pero corresponden al equivalente cronoestratigráfico de la Formación Iro en la Cuenca San Juan.

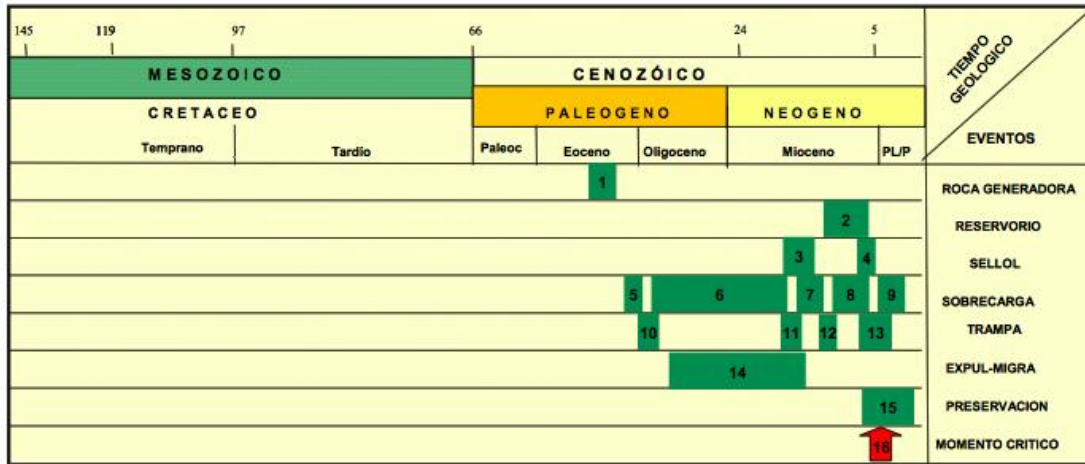
Las características sedimentológicas de la Formación Clavo sugieren que esta formación podría ser una roca fuente en la Cuenca del Atrato. Sin embargo, aun hace falta la caracterización de esta formación y las correlaciones de la misma con los crudos encontrados.

La Formación Clavo consiste en arcillolitas negras muy compactas, intercaladas con láminas de limolitas calcáreas y estratos muy delgados de caliza. La sedimentación de esta secuencia pudo haber tenido lugar durante un Lowstand System Tract con condiciones de baja energía (Suarez, 1990).

Es importante resaltar que no existen datos cuantificables de análisis geoquímicos para la Formación Clavo. Las evidencias de generación y expulsión de aceite y gas reportadas en el pozo Buchadó-1, representan un dato cualitativo.

7.3. GENERACIÓN Y MIGRACIÓN

Con base en los resultados obtenidos en el modelamiento de generación de hidrocarburos (1 Dimensión), es posible proponer que la parte inferior de la Formación Clavo en la Cuenca de Atrato, tuvo importantes procesos de generación y expulsión de hidrocarburos durante el Mioceno tardío al Plioceno (Figura 22). Los volúmenes de hidrocarburos que pudieron ser expulsados por estas unidades generan expectativas interesantes en términos de la cantidad de recursos por descubrir.



- 1: Formación Clavo
- 2: Formación Sierra
- 3,4 : Formación Napipí, sierra Superior
- 5, 6, 7, 8, 9 : Formaciones Clavo, Salaquí, Uva, Napipí, Sierra, Quibdo

Figura 22. Modelamiento geoquímico Cuenca Atrato

7.4. ROCA ALMACÉN

Reservorio(s): Formación Sierra

7.5. ROCA SELLO

Sello(s): Formación Napipí y Formación Sierra, Miembro Superior

7.6. TRAMPAS

- Trampas estructurales asociadas a anticlinales formados por fallamiento inverso en el flanco Occidental de la cuenca.
- Trampas estructurales asociadas al diapirismo de lodo en el flanco occidental de la cuenca.
- Trampas estratigráficas existentes en las Formaciones Salaquí y Uva, al acuíferarse sobre el flanco Oriental de la margen este de la Cuenca.

7.7. PROSPECTIVIDAD

De acuerdo a la escasa información evaluada, el potencial generador de la Formación Clavo es aparentemente pobre y hasta el momento es imposible definir el verdadero potencial generador de las probables rocas madres de la Cuenca hasta que no se caractericen geoquímicamente y se logre comprobar o descartar que funcionen como parte de un sistema petrolífero efectivo.

La presencia de eventos tectónicos pre Mioceno tardío y la posibilidad de entrapamientos estratigráficos en las Cuencas Atrato, genera un escenario de bajo riesgo por sincronismo para posibles entrapamientos en unidades pre-Mioceno tardío (Figura 22).

Los recursos por descubrir, con base en el modelo geológico y geoquímico obtenido y de acuerdo con los resultados del balance de masas calculado, existen en la cuenca Atrato expectativas de recursos por descubrir del orden de de 850 MBPE (P50).

7.8. HIGHLIGHTS DE LA CUENCA

HIGHLIGHTS	
Cuenca	Atrato
Tipo de cuenca	Fore Arc
Área de la cuenca	25.000 km ² .
Área disponible	Buchadó-1, Richmond 1953, (Profundidad Final) PF. 15.539' Opogado-1, Continental 1973, PF. 11.372' Urodo-1, Superior 1973, PF. 15.000' Pacurita-1, Asamera 1981, PF. 9.489'

	Nécora-1, Asamera 1983, PF. 6.503
Wildcat wells Basin	N.A
Wildcat wells Availabel Area	N.A
Sísmica 2D disponible	San Juan-81, Urodo-72, ANH-2005
Descubrimientos de campos	Ninguno
Reservas de aceite descubiertas	Ninguno
Descubrimientos de gas	Ninguno
Reservas de gas recuperadas	Ninguno
Roca fuente	Salaquí y Clavo (?)
Roca reservorio	Formación Sierra
Sello	Formación Napipí y Formación Sierra, Miembro Superior
Tipo de hidrocarburo	N.A

Tabla 4. Highlights de la Cuenca Atrato

8. CONCLUSIONES

Tanto las muestras de aceite y gas reportadas en el pozo Buchadó-1 como los rezumaderos encontrados evidencian la generación de hidrocarburos en la Cuenca Atrato, que finalmente deben corresponder a una facies de depositación (intervalo generador) con características buenas de generación que aún no se ha encontrado y caracterizado geoquímicamente.

De acuerdo con el modelo hipotético de expulsión y generación propuesto, cualquier intervalo con buenas características de generación que se encuentre por debajo de los 11000 pies podría haber expulsado hidrocarburos.

El intervalo estratigráfico de la Formación Clavo que comenzó generar, lo hizo a partir del Eoceno medio alcanzando un porcentaje de transformación posiblemente del 100%.

Los principales picos de generación para este intervalo estarían concentrados entre el Mioceno tardío y el Plioceno.

9. RECOMENDACIONES PARA FUTUROS PROYECTOS EXPLORATORIOS

- De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se hacen las siguientes recomendaciones para el diseño de futuros programas de exploratorios, teniendo en cuenta el estado del conocimiento existente para la Cuenca Atrato. Se considera sumamente importante obtener datos primarios de campo (geología, geofísica y geoquímica). Las siguientes son las recomendaciones a seguir:
- Con base en el muestreo de densidades, definir la estratigrafía y caracterizar petrográfica y geoquímicamente las unidades de roca que son potencialmente generadoras de hidrocarburos,
- Realizar en la Cuenca un modelamiento geoquímico 2D a lo largo de transectas regionales para evaluar los procesos de migración de hidrocarburos y el riesgo por carga y preservación en posibles prospectos.
- Producir mapas geológicos a escalar mayores que 1:500.00 en las áreas seleccionadas, de acuerdo con los criterios de exploración definidos por la geología estructural.
- Diseñar nuevos programas de exploración sísmica, integrando los parámetros establecidos en programas previos y el estado actual del conocimiento geológico para la Cuenca.

- Generar mapas geológicos con escalas de mayor detalle (<1:500.000) en áreas específicas, según criterios de exploración definidos por la geología estructural.
- Localizar, recolectar y caracterizar geoquímicamente rezumaderos de petróleo reportados en trabajos anteriores, para correlacionarlos con los extractos de roca de las probables rocas generadoras y poder establecer su respectivo sistema petrolífero.
- Llevar a cabo programas GR en los afloramientos, con el fin de estandarizar los registros existentes y mejorar las posibilidades de caracterizar los futuros proyectos de perforación.
- Vectorizar la información sísmica, la cual no ha sido clasificada en archivos SEGY.
- Reprocesar, usando los mismos criterios, los programas sísmicos existentes con el fin de mejorar su resolución.
- Con el fin de establecer el modelo de evolución geológica y geocronológica de la cuenca, obtener información petrográfica y realizar la caracterización isotópica de las unidades de roca que definen el límite Este y Oeste de la cuenca Atrato (Arco magmático de Mandé y Serranía de Baudó).

10. REFERENCIAS

BGR – Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania & Ingeominas, 1990. Mineralizaciones Primarias de Metales del Grupo de Platino y Oro en la Cuenca de los Ríos Condoto e Iró, Chocó, Colombia. 1-210. Medellín.

Bouman, Q.C., 1965. Geological reconnaissance in the Central Chocó. Bogotá. 26 p.

Carson Helicopters, 2006, Programa Adquisición, procesamiento e interpretación de datos aeromagnetogravimétricos en el litoral pacífico de Colombia, Informe Técnico de la ANH.

Cediel, F., D. Barrero, and C. Cáceres, 1998. Seismic Atlas of Colombia: Seismic Expression of Structural Styles in the Basins of Colombia: Robertson Research International, UK, ed., Geotec Ltd., Bogotá, vol. 1 to vol. 6.

Cediel, F., and C. Cáceres, 2000, Geological Map of Colombia. Third Edition: Geotec Ltd., Bogotá. ArcGis, Canvas, with Legend and Tectonostratigraphic Chart.

Dunia Consultores, 2006. Informe de integración e interpretación de la información geológica de campo. Contrato 078 2005 Dunia-Agencia Nacional de Hidrocarburos-ANH. Bogotá. 101 p.

Dunia Consultores, 2006. Informe de integración e interpretación de la información geológica de campo. Contrato 078 2005 Dunia-Agencia Nacional de Hidrocarburos-ANH. Anexos 9, 10 y 11. Bogotá. 101 p.

Duque-Caro, H., 1990. The Chocó Block in the northwestern corner of South America: Structural tectonostratigraphy and paleogeographical implications. Journal of South American Earth Sciences. 3 (19): 71-84.

Duque-Caro, H., 1989. El Arco de Dabeiba: Nuevas aportaciones al conocimiento del norOccidente de la Cordillera Occidental. Memorias del V Congreso Colombiano de Geología, tomo 1:108-126, Bucaramanga.

Earth Satellite Corporation, 1999. Geology of the Pacific coast of Colombia.

Escobar, J., 2002. Exploration Opportunities San Juan Basin (onshore portion). Trabajo realizado para ECOPETROL y Petrobras. Bogotá. 56 p.

Escobar, J., 2002. Central Pacific project (offshore-onshore portion). Trabajo realizado para ECOPETROL y Petrobras. Bogotá. 21 p.

Fischborn, J., Carrillo, V. Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL, Asamera Inc., 1983. Informe geológico Cuenca Atrato-Chocó. 16 p. más anexos.

Gansser, A., Poborski, S., Bächlin, R., Swolfs, H., Haanstra, U., 1945. Informes geológicos del área Chocó Pacífico. 75 p.

Hafer, J., 1967. On the geology of the Urabá and Northern Chocó regions, NW Colombia. Colombian Petroleum Company, COLPET. Gr-351. 106 p. Bogotá.

IGAC-INGEOMINAS 2006. Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano. Cartografía Geológica en escala 1:100.000.

Ingeominas, 2005. Mapa Geológico del Andén Pacífico Colombiano, escala. 1:100.000.

Mera, R., Piragua, A., 2000. Correlación de las rocas del intervalo Paleoceno-Oligoceno, Subcuenca de San Juan, Chocó. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 93 p.

Mera, R., Piragua, A. Petrobras, 2001. Sección estratigráfica de la quebrada Suruco, Análisis estructural de fracturas. Área del Río San Juan, Chocó. Bogotá. 83 p.

Ojeda, H., Calife, P., Petrobras, 1987. Avaliação do potencial petrolífero, Bacia de San Juan-Tumaco. Río de Janeiro. 59p.

Petrobras, Ecopetrol, 2002. Regional evaluation and petroleum potential of the offshore portion of central Pacific block. Brazil. 30p.

Rojas, O., 1967. Geological traverses in the Chocó regions. Northwestern, Colombia. EPIS; ISN 434, Informe No. 810. p. 43 más apéndice.

Rojas, O., Colombian Petroleum Company, 1967. Geological traverses in the Chocó region (northwestern Colombia). Bogotá. 137 p.

Schmidt-Thome, M., Feldhaus, L., Salazar, G. & Muñoz, R., 1992. Explicación del Mapa Geológico, escala 1:250.000, del Flanco Oeste de la Cordillera Occidental entre los Ríos Andágueda y Murindó, Deptos. de Antioquia y Chocó, República de Colombia. Geol. Jb. B 78, 3-23, 1 Mapa. Hannover.

Suárez, M., Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL, 1990. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca del San Juan. Escala 1:25.000.

Suárez, M., Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL, 1990. Mapa geológico compilado de la Cuenca del San Juan, Escala 1:500.000. Bogotá.

Texas Petroleum Company, 1989. Informe geológico área de asociación Istmina. Bogotá. 29 p.

Utah Minerals, 1980. Geological Map of the Atrato-San Juan Basins and Surrounding Areas. Scale 1:500.000 (inédito)