

APORTES AL CONOCIMIENTO DE LA EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LAS CUENCAS ATRATO Y SAN JUAN DENTRO DEL ARCO PANAMÁ-CHOCÓ

Geovany Bedoya¹, Fabio Cediel¹, Isabel Restrepo-Correa¹, Carlos Cuartas¹,
Gustavo Montenegro¹, Maria Isabel Marin-Cerón¹, Jairo Mojica² y Rosa Cerón²

RESUMEN

Este artículo es una síntesis de la compilación, evaluación y re-interpretación de la información geológica, geofísica y geoquímica de las Cuencas Atrato y San Juan. En el área anteriormente denominada como Cuenca Chocó, hoy se distinguen dos cuencas Cenozoicas con tendencia N-S: (1) Cuenca Atrato y (2) Cuenca San Juan. Se extienden en el rumbo por más de 280 km desde el delta actual del río San Juan en el suroeste, hasta el Arco de Panamá s.s. en el Norte. El presente estudio define que estas cuencas están separadas por el Alto estructural de Istmina-Condoto que actúa como barrera intermitente, sirve de límite y conexión temporal de las dos cuencas, cada una con su propia historia geológica.

La Cuenca Deltaica de San Juan presenta una acumulación de sedimentos de hasta 9 kilómetros (?), que comienza probablemente en el Paleoceno (?). La Cuenca de Antearco del Atrato alberga sedimentos con un espesor aproximado de 10 km. Tanto una como otra cuenca están suficientemente estructuradas, cada una en su propio estilo, siendo las fallas crecimiento las que controlan la cuenca Atrato y en la Cuenca San Juan, el estilo estructural está enmarcado por la deformación del Alto Istmina-Condoto y la Falla Garraptas; las estructuras, principalmente postmiocénicas, de dimensiones significativas, pueden ser trampas para acumulaciones importantes de hidrocarburos.

Palabras clave: Cuenca Atrato, Cuenca San Juan, Cuenca Chocó, Arco Panamá-Chocó, Evolución tectónica.

NEW CONSTRAINTS TO THE KNOWLEDGE OF THE GEOLOGICAL EVOLUTION OF ATRATO AND SAN JUAN BASINS, INSIDE PANAMÁ-CHOCÓ ARCH

ABSTRACT

The geological, geophysical and geochemical data pertaining the previously known as Choco Basin, was compiled and reinterpreted. Today, two distinct Cenozoic basins, the Atrato Basin and the San Juan Basin are identified, each with its own geological history. They are bounded by the Istmina-Condoto Structural High, in fact, a paleo-high which intermittently acts as sedimentary barrier, i.e. source area.

In the San Juan Delta Basin up to 9 km (?) of mainly clastic sediments were deposited, most probably since Paleocene time. In the Atrato Fore Arc Basin a 10 km thickness of Cenozoic sediments were seismically recorded. Both basins are sufficiently structured, as to produce potential hydrocarbon traps, mainly post-Miocene in age. The tecto-sedimentary framework in the San Juan Basin is controlled by the Istmina-Condoto Fault System in the NW and the Garraptas Fault System in the SE. In the Atrato Basin the occurrence of growth faults is an outstanding feature.

Key words: Atrato Basin, San Juan Basin, Chocó Basin, Panamá-Chocó arch, tectonic evolution.

¹ Universidad Eafit, Medellín, gebedoya@eafit.edu.co

² Agencia Nacional de hidrocarburos.

INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica de la Cuenca Chocó se define al occidente por la línea divisoria de aguas de la Serranía de Baudó, por el oriente por el flanco occidental de la Cordillera Occidental, al norte por el límite político con la República de Panamá y al sur por la línea de costa con el Océano Pacífico. Geográficamente, la Cuenca del Chocó se divide en la Sub- Cuenca del Río Atrato al

norte y la Sub-Cuenca del Río San Juan al sur, separadas por el Alto Istmina-Condoto. La extensión superficial aproximada de cada una de ellas es de 25.000 km² para la primera y 10.500 km² para la segunda. Desde el punto de vista geológico y como resultado del presente estudio, se redefinen como cuencas exploratorias distintas, la Cuenca Atrato y la Cuenca San Juan. La FIGURA 1 muestra la localización de estas cuencas y algunos rasgos tectono-estructurales.

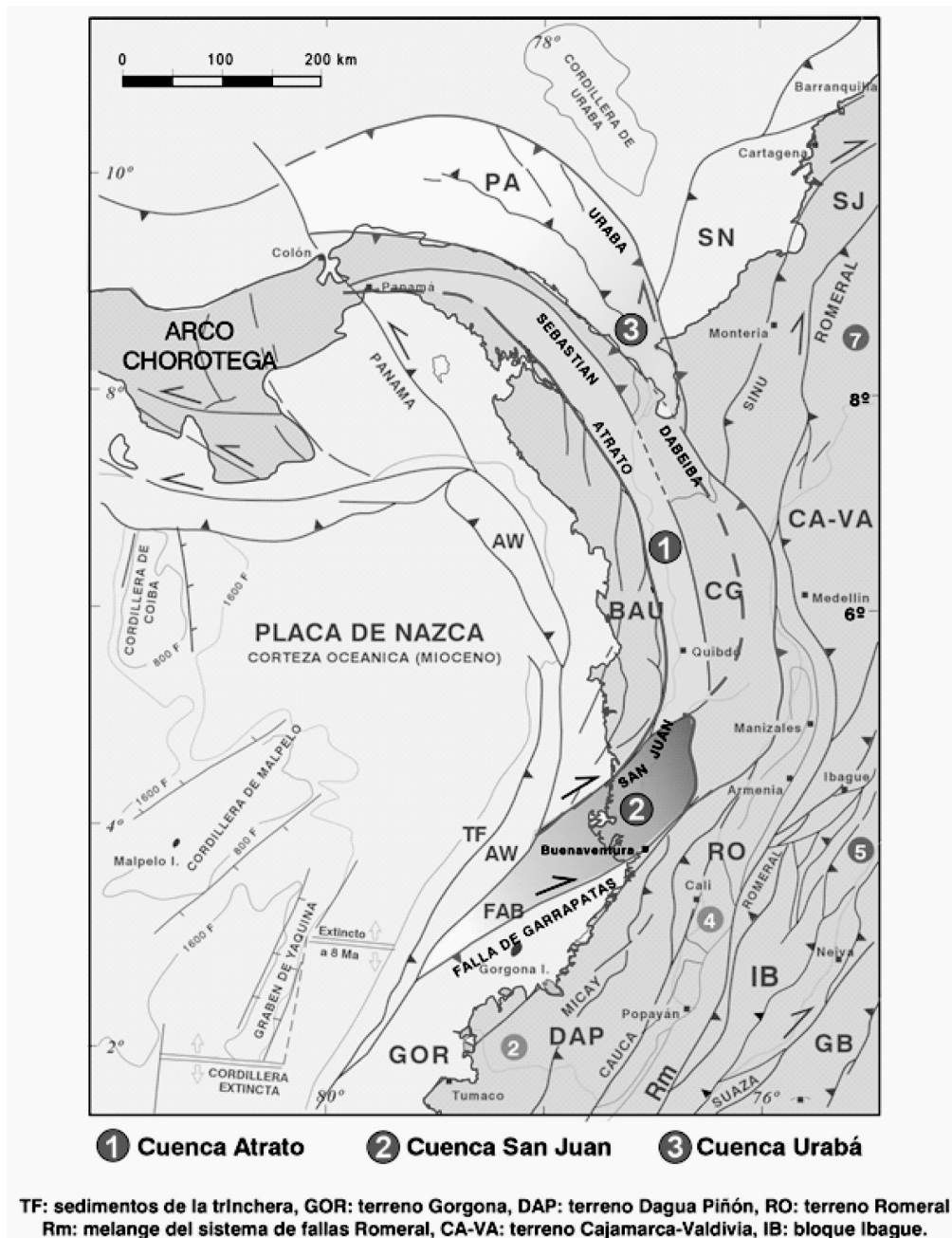


FIGURA 1. Localización Cuencas Atrato y San Juan y algunos elementos tectono-estructurales. Modificado de Cediell et al, 2003.

METODOLOGIA

La metodología consistió en una revisión y selección de la información estratigráfica, cartográfica, sísmica, gravimétrica y magnetométrica del área de estudio. Cada tema requirió de un procedimiento específico; la revisión estratigráfica se concentró en la interpretación de ambientes sedimentarios, su ubicación cronológica y la selección de nomenclatura con base en diferentes autores. Para la sísmica, fue preciso reprocesar algunas líneas y reinterpretar la mayoría de los programas disponibles. El modelamiento geofísico (aero-gravimetría y aero-magnetometría) se concentró en la elaboración del mapa de basamento gravimétrico y en la interpretación de estructuras profundas. Finalmente, se hizo un análisis regional integrado lo que permitió definir los principales elementos estructurales que controlan la evolución tecto-sedimentaria de cada una de las cuencas y señalar los diferentes ambientes geotectónicos en que se desarrollan.

RESULTADOS

ESTRATIGRAFÍA

La llamada Cuenca Chocó (ANH, 2009), o Cuenca San Juan-Atrato se caracteriza por ser un depósito Cenozoico asociado con ambientes que varían desde marinos a continentales sobre un basamento ígneo-sedimentario de edad Cretácica. Los rasgos estratigráficos reconocidos en el presente estudio, sugieren que se trata de dos cuencas sedimentarias distintas (1) Cuenca Atrato y (2) Cuenca San Juan.

La definición lito-estratigráfica propuesta por Haffer (1965, 1967) aún conserva validez y el análisis bioestratigráfico realizado por Duque (1991) fue revisado y actualizado por el mismo autor, esta nomenclatura revisada por Duque (1991) es la que se adoptó en este estudio.

Cuenca Atrato

La secuencia sedimentaria está compuesta por seis unidades litoestratigráficas Clavo, Salaquí, Uva, Napipí, Sierra y Quibdó (FIGURA 2). Con base en su contenido faunístico, éstas se extienden desde al menos el Eoceno Inferior hasta el Plioceno. Los ambientes de sedimentación son predominantemente marinos. Durante su desarrollo geológico más reciente se registra una marcada influencia de ambientes transicionales o continentales.

En superficie, las formaciones Uva, Napipí, Sierra y Quibdó se encuentran ampliamente distribuidas sobre gran parte de la margen izquierda de la cuenca, y en menor proporción sobre su margen derecha, a la altura del valle superior del Río Atrato. Por el contrario, la Formación Clavo aflora sólo en un sector de la margen izquierda de la Cuenca; la formación Salaquí aflora en áreas relativamente pequeñas. En general, la correlación estratigráfica de estas unidades muestra un buen grado de continuidad. Igualmente, son evidentes las variaciones en los espesores de cada una de ellas indicando así, procesos sedimentarios controlados por actividad tectónica diferencial. En términos generales, las unidades tienden a hacerse más espesas hacia el sur. Este hecho se hace notorio particularmente para la Formación Uva, cuyo espesor se incrementa fuertemente (~1200 m hasta ~2300 m) en dicha dirección.

Cuenca San Juan

Un alto porcentaje de los estudios estratigráficos realizados en la Cuenca San Juan han sido de carácter local y concentrados en el denominado Alto Condoto, valle superior del Río San Juan (BGR - Ingeominas, 1989, Rojas, O., 1967, Dunia Consultores Ltda., 2006., Figueroa, Y., Nuñez, A., 1990). A partir de los estudios allí realizados, se puede reconocer que la secuencia sedimentaria (desde el Paleoceno hasta el Plioceno) consta de cinco unidades litoestratigráficas (FIGURA 2). La interpretación de su fauna permite definir que gran parte de la secuencia se depositó en ambientes marinos con una fuerte influencia continental. La aparente ausencia de rocas en el intervalo Paleoceno-Eoceno, y la ocurrencia de significativas inconformidades o discordancias (Oligoceno (?) y Mioceno Superior (?)) cartografiadas en el Alto Istmina-Condoto, sugieren procesos erosivos intensos y de larga duración. Las formaciones Iró y Conglomerados de La Mojarra afloran sólo en el Alto Condoto. En superficie, las formaciones Pliocénicas Raposo y Mayorquín cubren gran parte del área de la cuenca.

La información disponible no permitió construir modelos de correlación estratigráfica tan detallados como los realizados para la Cuenca Atrato, sin embargo, la interpretación sismo-estratigráfica realizada por Escobar (2002), sugiere continuidad a lo largo de gran parte de la Cuenca, de las unidades litológicas definidas en el Alto Istmina-Condoto; así mismo, ésta señala un aumento de los espesores de las unidades estratigráficas hacia el sur-occidente.

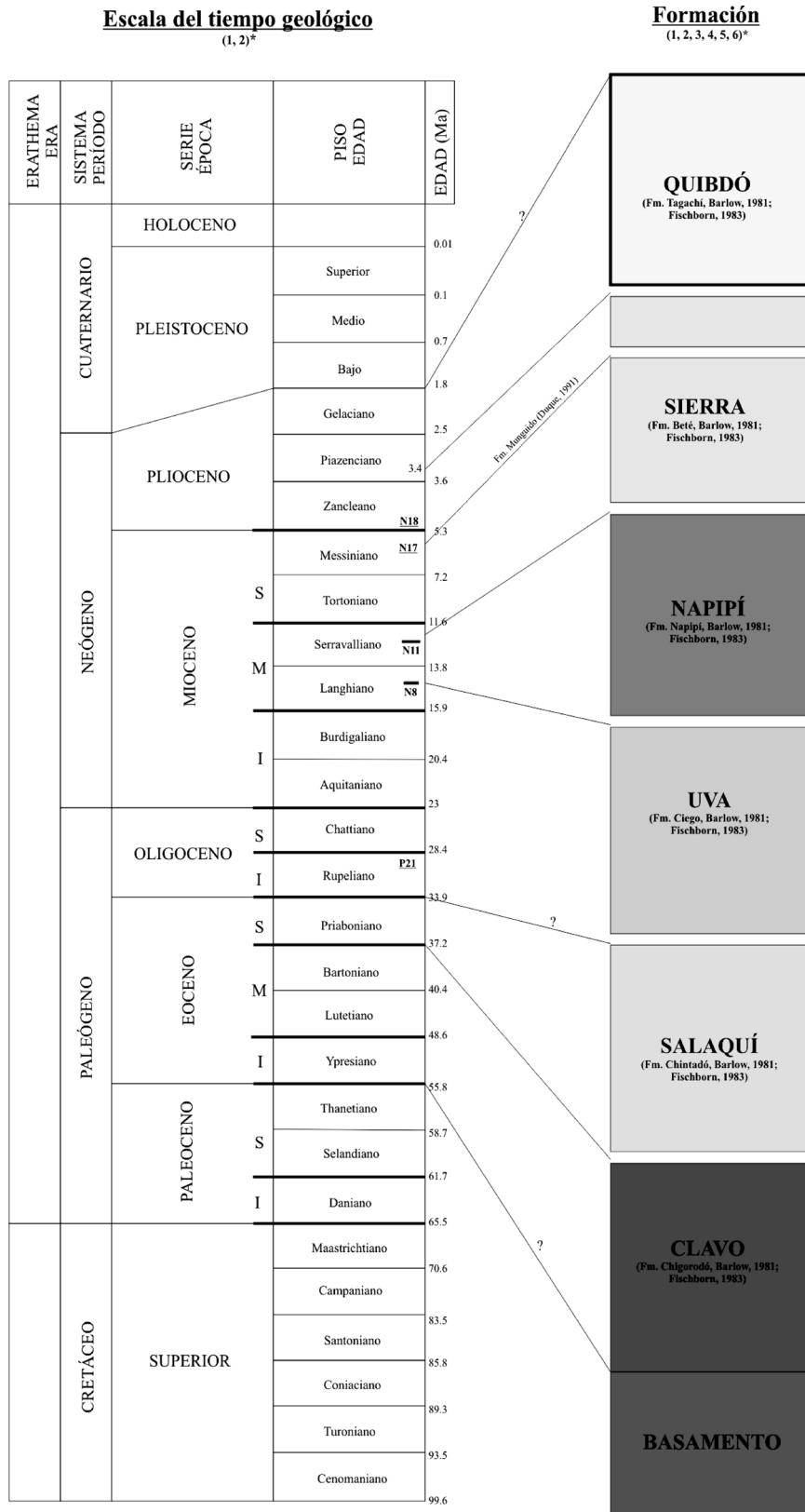


FIGURA 2. Unidades Litoestratigráficas de la Cuenca Atrato.

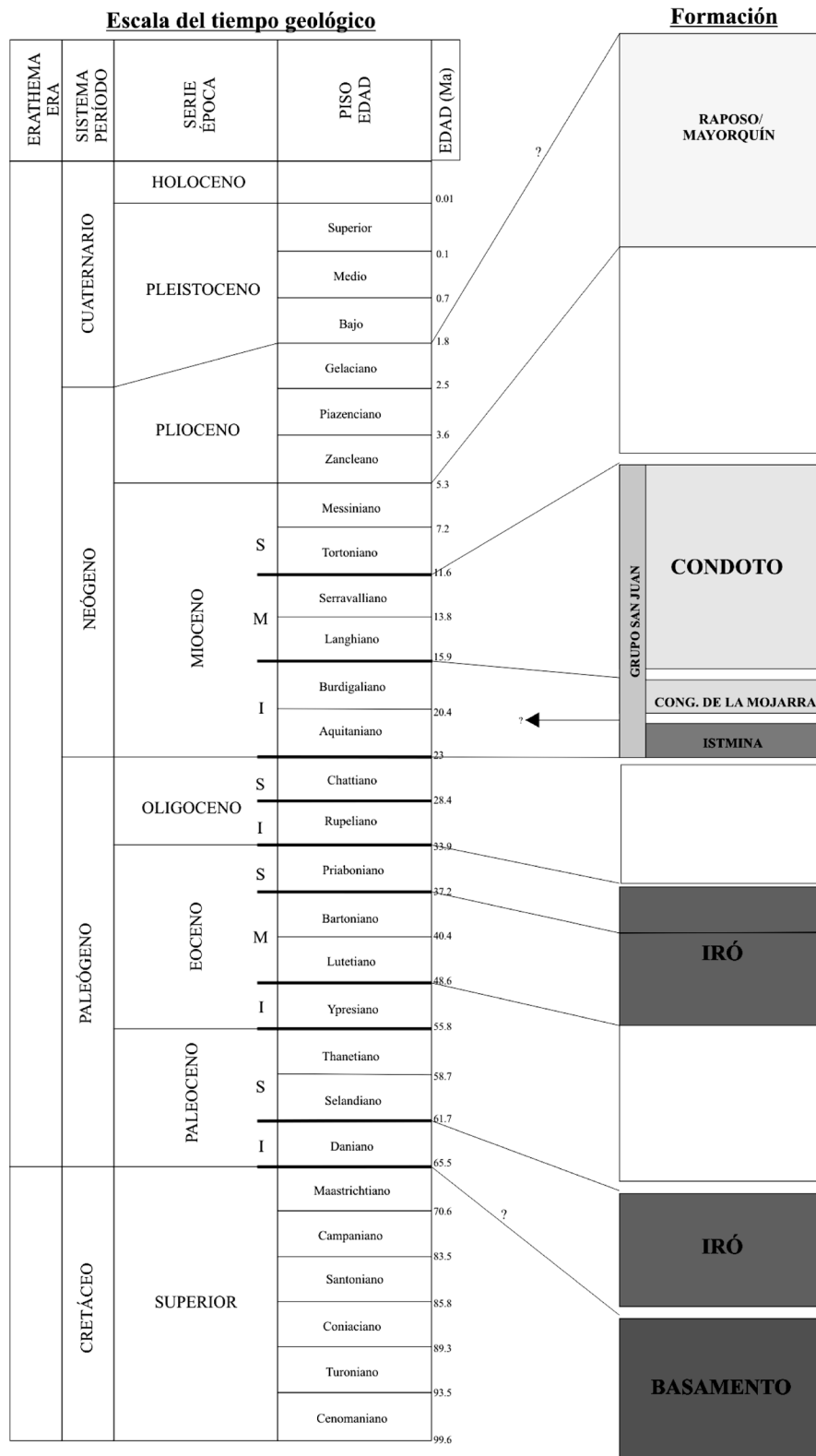


FIGURA 3. Unidades Litoestratigráficas de la Cuenca San Juan.

GEOFÍSICA

Se utilizaron los datos de valores de intensidad magnética total (IMT) y Anomalía Gravimétrica de Bouguer (AGB) ($p=2.67\text{gr/cm}^3$) colectados por Carson Helicopters en 1998 y 2005. Con ellos, se elaboraron los mapas de intensidad magnética total (IMT), anomalías gravimétricas de Bouguer total (AGBT) y de basamento gravimétrico.

Para obtener el mapa de Anomalías de Bouguer Total (AGBT), primero se integraron los valores de AGBT ($p=2.67\text{gr/cm}^3$) luego se generó un mapa interpolado con Krigging (tamaño de celda 5 km, FIGURA 4). La interpretación del mapa de AGBT se complementó con perfiles gravimétricos obtenidos con modelamiento inverso (Según metodología de Parker, 1972, modificado por Oldenburg, 1974) que dieron como resultado, perfiles de basamento gravimétrico y que fueron utilizados para la interpretación estructural. Uno de los intereses del estudio contemplaba contar con criterios que permitieran corroborar la sospecha de la presencia de límites estructurales entre las cuencas Atrato y San Juan y así poder proponerlas como cuencas separadas una de la otra. Bajo esta premisa, se generó un mapa de basamento gravimétrico (FIGURA 5). Este mapa se obtuvo por inversión gravimétrica del mapa de AGBT, previamente continuado hacia arriba, según la metodología propuesta por Graterol y Gumert (1998). El resultado más importante en este mapa, es la evidente separación estructural entre las dos cuencas y la definición de su geometría vista en planta. Finalmente, el modelamiento geofísico generó el mapa de intensidad magnética total (IMT). El mapa se obtuvo haciendo interpolación con Krigging con un tamaño de celda de 5 km (FIGURA 6). Este mapa estuvo acompañado por complementarios de derivadas magnéticas y en conjunto permitieron la generación del mapa de estructuras del Basamento.

Los anteriores mapas nombrados permitieron el reconocimiento de diferentes áreas con señales magnetométricas y gravimétricas distintas, y son descritas a continuación:

Cuenca Atrato. Cuenca alargada con una tendencia N10W y asimétrica con profundidades máximas de 10 km. El flanco Occidental (W) posee pendientes menores que las existentes en su flanco Oriental (E). Esta Cuenca, se profundiza y se hace más amplia hacia el Sureste. La señal magnética muestra un patrón homogéneo hacia el centro y con gradientes hacia los bordes, debido a la existencia de fallas y por el contacto con cuerpos de susceptibilidad

magnética mayor. En el mapa de anomalías de Bouguer la cobertura sedimentaria está representada por un solo depocetro sin embargo, el mapa de basamento gravimétrico (FIGURA 6) pone en evidencia las dos cuencas separadas por un alto de basamento y cada una con sus depocetros respectivos.

Cuenca San Juan. Está separada de la Cuenca Atrato como lo muestra el mapa de basamento en el Alto Istmina-Condoto (FIGURA 7). Con una geometría muy diferente a la Cuenca del Atrato, ésta tiene una vista en planta, casi triangular. Limitada por el Sistema de Fallas San Juan al norte y el Sistema de Fallas de Garrapatas al sur, se abre hacia el mar en la posición actual del Delta del Río San Juan. La anomalía más fuerte en el IMT está justo al Noreste de la Cuenca y corresponde a un cuerpo máfico- ultramáfico, que establece un control sobre la Cuenca “estrangulándola” en esta dirección y asociado con el alto estructural del Alto Istmina-condoto.

Arco de Baudó. El Arco de Baudó está muy bien delimitado en los tres mapas modelados. Tiene una geometría alargada, de tendencia norte-sur, cierra al occidente la Cuenca del Atrato. En el mapa de AGBT este cuerpo reporta los valores más altos de toda la zona, incluso más altos que los encontrados en la margen occidental de la Cordillera Occidental, la cual tiene un relieve mucho mayor. En el mapa de IMT muestra un Arco de Baudó fracturado en diferentes direcciones.

Flanco Occidental de la Cordillera Occidental. Constituye el límite estructural, oriental, de la Cuenca San Juan y de la Cuenca Atrato; las señales gravimétricas y magnetométricas son muy claras y se diferencian bien en los tres mapas generados. En este flanco, se destacan algunos cuerpos tales como el batolito de Mandé (Alvarez, 1983) en el norte de la zona.

ESTRUCTURAL

Se destaca un sistema de fallas normales e inversas que atraviesan el arco Panamá-Chocó con dirección Norte – Este, Sur – Oeste, corroboradas por la interpretación sísmica; este sistema estructural representa una zona de transcurrencia (wrench assemblage), producto del adosamiento o sutura creada por el Terreno El Paso (Cediel, 2003), sobre el que se desarrolla la Cuenca Atrato y que hoy se expresa morfológicamente como un paleo-alto estructural denominado alto de Istmina-Condoto (FIGURA 7).

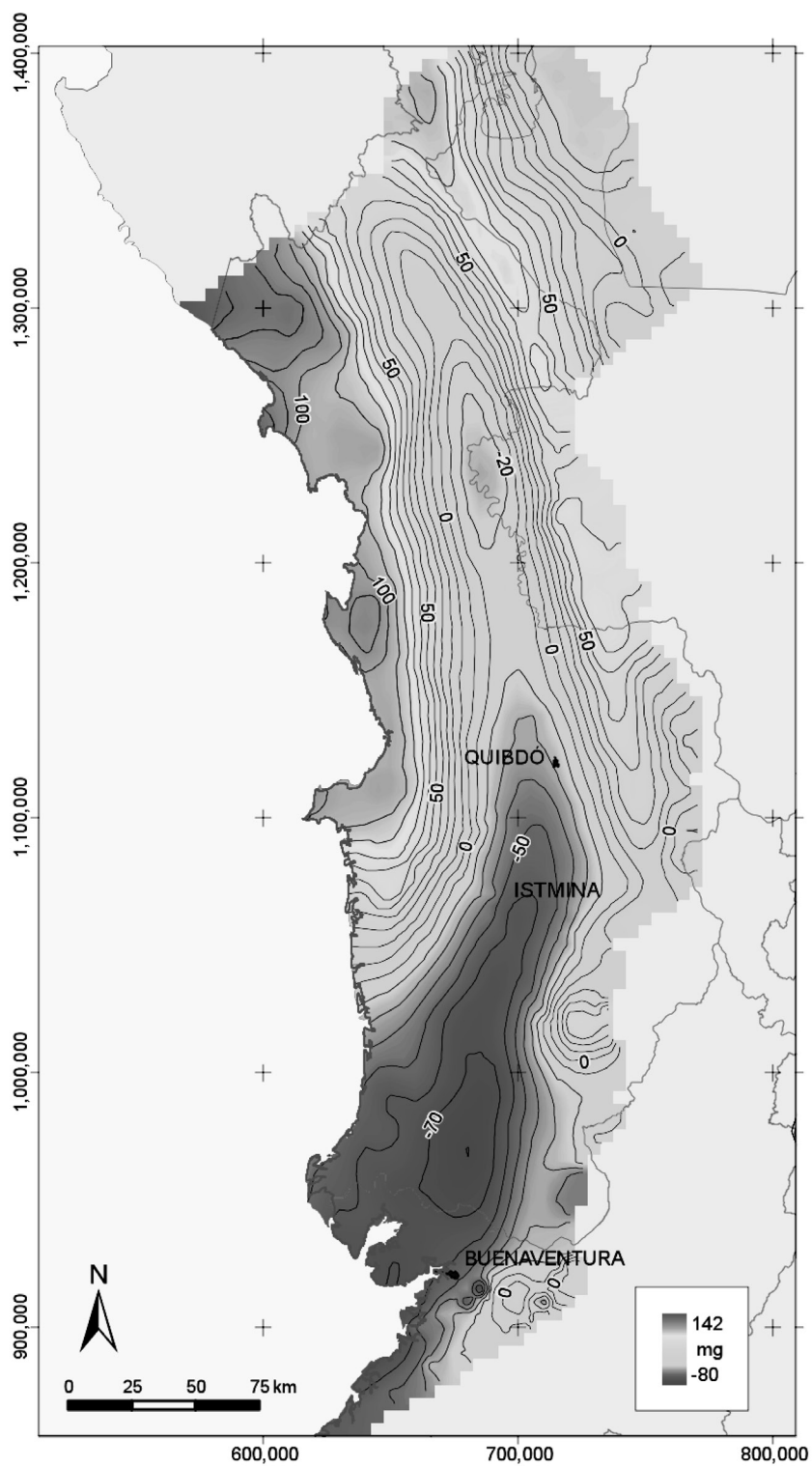


FIGURA 4. Mapa de Anomalías gravimétricas de Bouguer Total ($p=2.67 \text{ gr/cm}^3$)

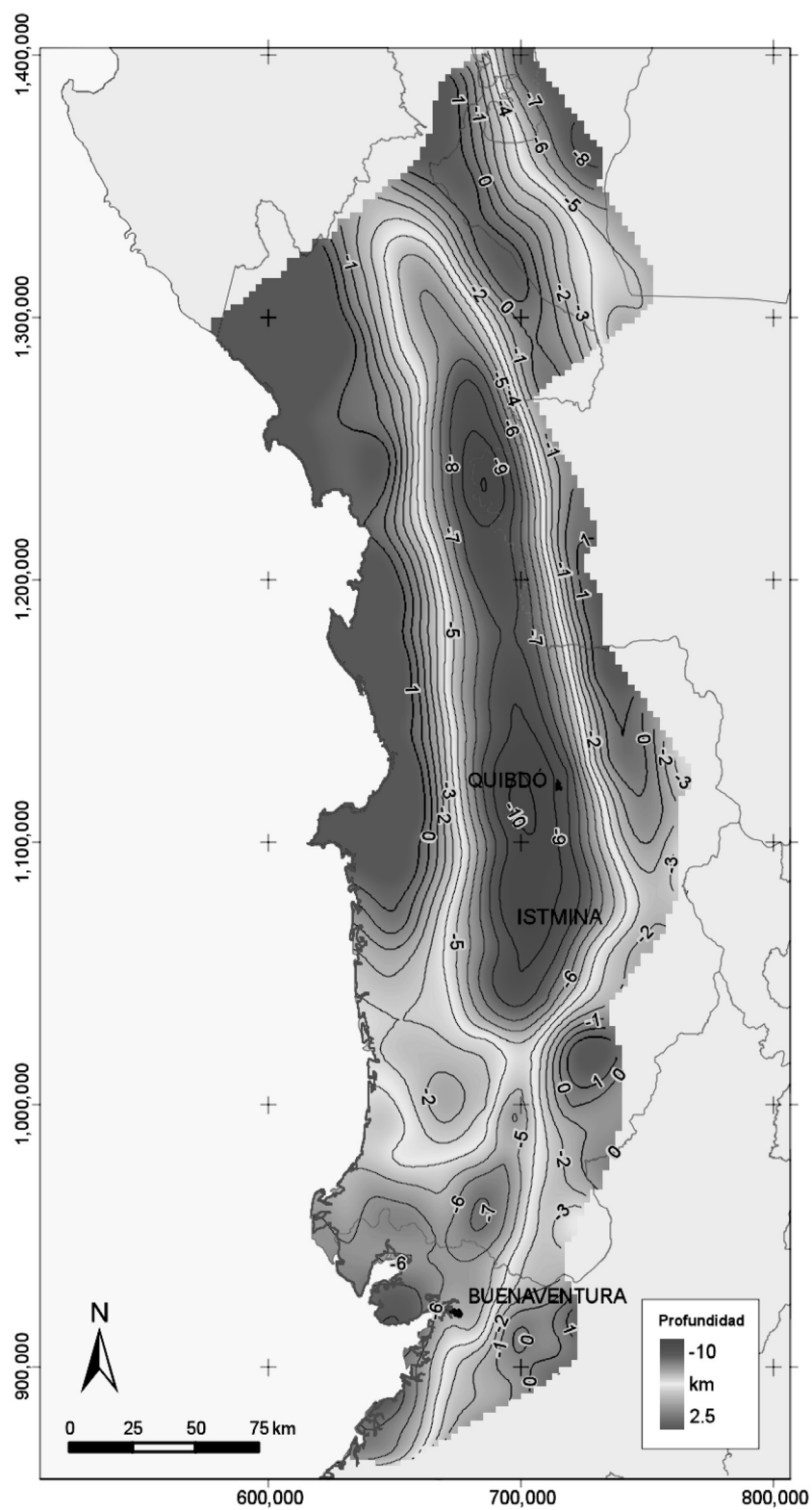


FIGURA 5. Mapa de basamento gravimétrico

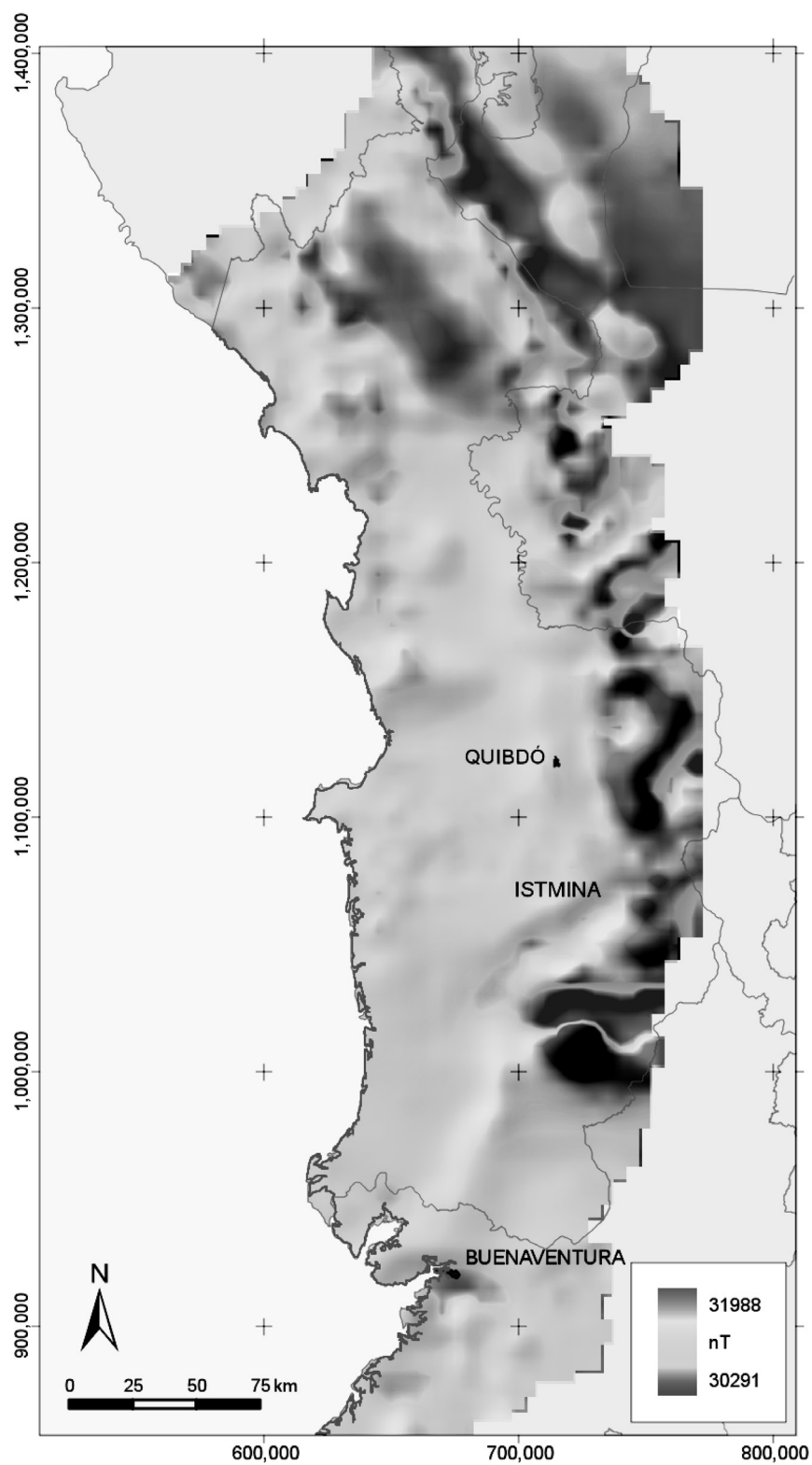


FIGURA 6. Mapa de intensidad magnética total.

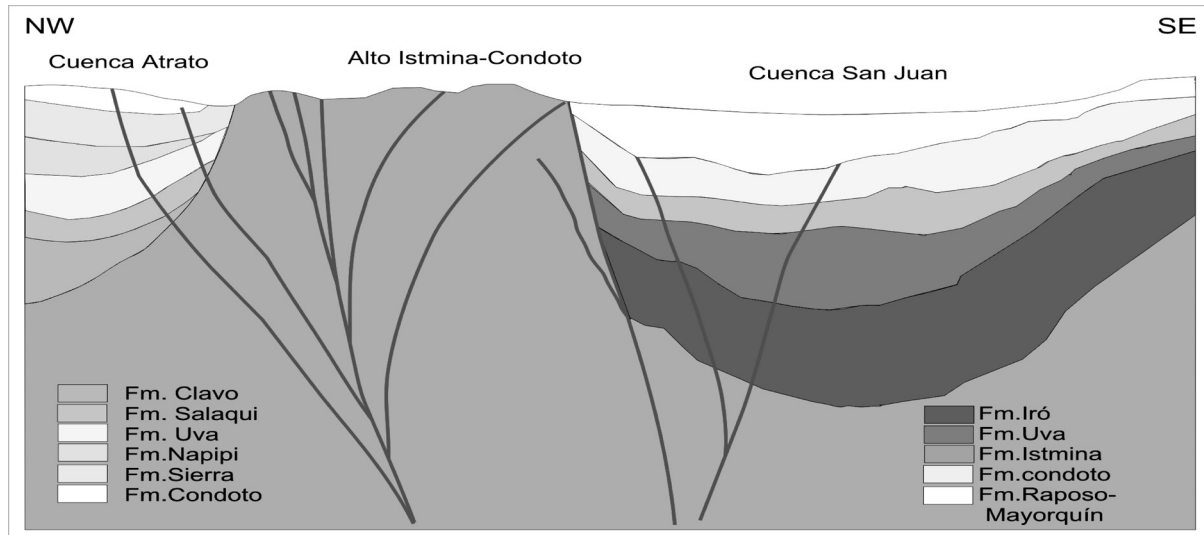


FIGURA 7. Esquema del alto Istmina Condoto.

DISCUSIÓN

Geología regional y aproximación a la evolución

Las Cuencas Atrato y San Juan se encuentran dentro del Arco Panamá-Chocó descrito por Duque-Caro (1990) y redefinido por Cediel et al (2003). Se trata de secuencias sedimentarias acumuladas desde el Paleógeno sobre diferentes basamentos Cretácicos, compuestos por restos de corteza oceánica que portan fragmentos de arcos de isla y/o de plateau oceánicos (p.e. Ortiz, 1979; Thournout et al., 1992; Kerr et al., 1996a; Reynaud et al., 1999). Estos terrenos oceánicos migraron desde finales de Cretácico y colisionaron sucesivamente o se adosaron al borde NW de Suramérica hasta cerrar la comunicación entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe.

La formación y desarrollo de las Cuencas Atrato y San Juan está enmarcada por una secuencia de eventos que esquemáticamente están representados en la FIGURA 8. La caracterización geológica de cada uno de ellos es aún deficiente debido a la ausencia de datos suficientes, tanto geológicos como geofísicos. Sin embargo, la información hasta hoy disponible evaluada dentro de un análisis regional, permite reconocer con suficiente claridad los elementos tectónicos asociados con los principales eventos aun con necesidad de ser más estudiados. A continuación se hace un recuento de estos elementos:

La Sutura Garrapatas-Dabeiba (Edad: Post-Cretáceo Tardío). La edad más joven de las rocas presentes en el Grupo Cañasgordas, entendido como Terreno

Cañasgordas, datan del Cretáceo Tardío (Etayo et al., 1983; Cediel et al, 2003). La acreción continental provocada por la colisión del Terreno Cañasgordas está documentada por la Sutura Garrapatas-Dabeiba, de edad Post-Maastrichtiano, posiblemente Paleoceno. Este evento tiene manifestaciones magmáticas discretas, debido posiblemente a un estilo de subducción tipo chileno regente a la fecha.

La Sutura San Juan-Sebastián (Edad: Eoceno) El Sistema de Fallas o Sutura San Juan-Sebastián segundo evento tectónico de importancia regional es el arribo del denominado en el presente trabajo como Terreno El Paso (Area en verde con letra A, FIGURA 9). Durante el proceso de subducción se genera el arco magmático de Mandé, fechado entre 54 y 49 Ma (Alvarez, 1983). A medida que se genera la sutura San Juan-Sebastián, la Cuenca antearco Atrato se desarrolla abierta hacia el océano Pacífico.

Arco Baudó (Edad 8-4 Ma?). Las edades sugeridas para este tercer evento son inferidas y muy inciertas; de hecho, los mecanismos que propician la aparición de la Serranía de Baudó como elemento geotectónico destacado no están suficientemente documentados y sin embargo, son los que conducen a la formación del margen occidental y cierre de la Cuenca Atrato. El arco Baudó corresponde con un grupo de rocas alóctonas (Estrada, 1995) dominada por una secuencia de rocas basálticas toleíticas de edad Cretácica a Paleocena con afinidad MORB (Goossens *et al.*, 1977).

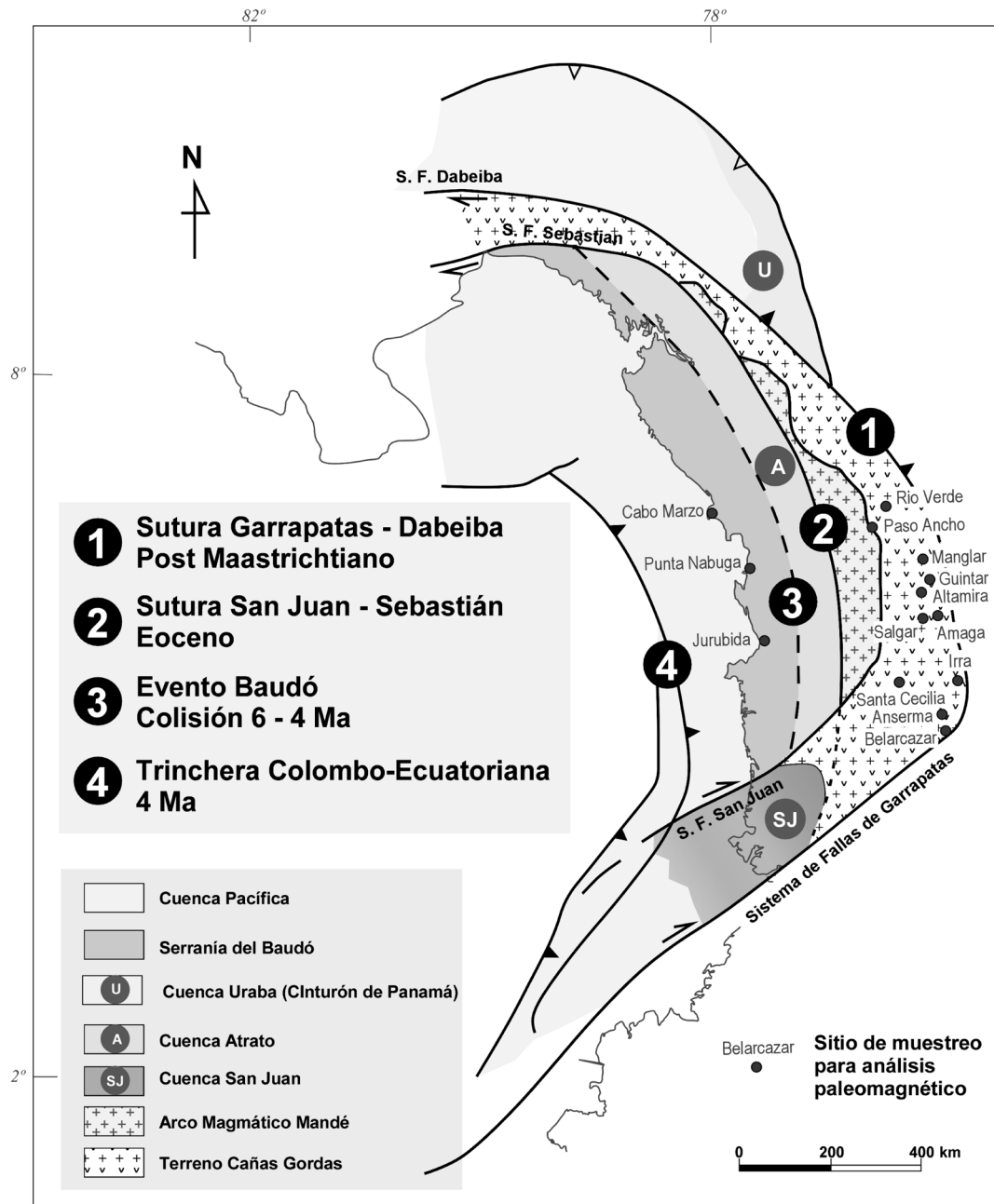


FIGURA 8. Elementos tectónicos del área estudio.

CONCLUSIONES

- Las cuencas Atrato y San Juan son dos cuencas sedimentarias con un origen geológico distinto, con una evolución eventualmente compartida y con un estilo estructural diferente. La Cuenca Atrato está controlada por fallas de crecimiento y la Cuenca San Juan, está estructuralmente enmarcada por la deformación del Alto Istmina-Condoto y la Falla Garrapatas.
- El basamento de la Cuenca San Juan está constituido por el Terreno Cañas Gordas y presenta una señal gravimétrica-magnetométrica distinta de la observada en el basamento de la Cuenca Atrato.
- El basamento de la Cuenca Atrato está constituido por el Terreno El Paso, que aflora en el Alto Istmina-Condoto.

- La Cuenca San Juan está delimitada por dos importantes suturas, sistemas de fallas transcurrentes (Garrapatas-Dabeiba y San Juan-Sebastián) subparalelas que seguramente controlan todo el proceso sedimentario (¿desde el Oligoceno?), dando origen a un sistema deltaico que progresa en dirección nororiente-suroccidente.
- La colisión tanto del Terreno Cañasgordas como del Terreno El Paso, es inicialmente ortogonal pero en el transcurso de la migración tectónica se produce una rotación hacia el nor-occidente, dando lugar al desarrollo del Arco Chocó-Panamá (Definido por Etayo et al 1983, y Duque-Caro, 1990), entendido en su expresión morfoestructural actual. Esa rotación está atestiguada por la existencia de fallas de desgarre “tear faults” y alineamientos con tendencia oriente-occidente y la progresiva orientación suroccidente-nororiente a suroriente-noroccidente de ejes anticlinales cartografiados en el flanco occidental, tanto en la Cuenca Atrato como en su prolongación en Panamá.
- La aloctonia del Terreno Cañasgordas y de la Serranía de Baudó señalada por Estrada (1995) mediante análisis paleomagnético, se confirma dentro del análisis tectónico del presente estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la ANH por proveer gran parte de los datos para esta investigación. También se agradece la asesoría del Geofísico G.Y. Ojeda en el modelamiento Geofísico. La presentación definitiva del trabajo cartográfico estuvo a cargo del Arq. Guillermo Muñoz quien le reconocemos su trabajo.

REFERENCIAS

ANH. 2008.

<http://www.anh.gov.co>

Alvarez, A. J. 1983. Geología de la Cordillera Central y el occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenozoicos: Boletín Geológico, INGEOMINAS, 26 (2): 175

Arias, O., Camacho, J., Erazo, A., Gabela, V., Jones, D., Manderson, N., Rodríguez, D., Vargas, J. Compañía Petrolera Latina Inc. 1988. Chocó – Pacific basin evaluation western Colombia. Bogotá. 38 p.

BGR - Ingeominas, 1989. Mineralizaciones primarias de minerales del grupo del platino y oro en las cuencas de los Ríos Condoto e Iró. Chocó, Colombia,

Bhaskara R. D. y Ramesh B. N. 1991. A Fortran-77 Program for Three-Dimensional Analysis of Gravity Anomalies with Variable Density Contrast. Computers and Geosciences 17: 655-667

Carson Helicopters. 2006 Programa adquisición, procesamiento e interpretación de datos aeromagnetogravimetría en el litoral Pacífico de Colombia, informe técnico de la ANH.

Cediel, F., Shaw R.P., and C. Cáceres. 2003. Tectonic assembly of the Northern Andean Block, in C. Bartolini, R. T. Buffer, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, pp.815-848.

Dunia Consultores Ltda., 2006. Catografía geológica en el área de la cuenca Atrato-San Juan, Depto del Chocó. Informe final, 180 p.

Duque-Caro, H., 1991. Contributions to the geology of the Pacific and Caribbean coastal areas of northwestern Colombia and South America: Princeton University, PhD. thesis, 132 p.

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

Estrada, J.J., 1995. Paleomagnetism and accretion events in the Northern Andes. PhD. thesis. State University of New York. Binghamton. 172 p.

Etayo, F., D. Barrero, and others. 1983. Mapa de Terrenos de Colombia, Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS, 14(1):235

Figuerola, Y., Nuñez, A. 1990. Cartografía geológica de un área en las cabeceras del Río San Juan (Chocó). Informe final, 65 p.

Goossens, J. P., W. I. Rose, and D. Florez, 1977, Geochemistry of the tholeiites of the basic Igneous Complex of north western south America: Geological Society of America Bulletin, 88: 1711 – 1720.

Graterol V. and Gumert, W. 1998, 3-D gravity inversion with variable datum, The Leading Edge, 1769-1772.

- Haffer, J. 1967. Geologic compilation map Northwestern Colombia. Colombian Petroleum Company, Escala 1:500.000.
- Haffer, J. 1965. Rio Uva-traverse. Colombian Petroleum Company, Ecala 1:50.000.
- Hinze W. 2003. Bouguer reduction density, why 2.67 ?. *Geophysics* 68(5): 1559.1560
- Ingeominas. 2005. Mapa Geológico del Andén Pacífico Colombiano, escala. 1:100.000
- Kerr, A. C., J. Tarney, G. F. Marriner, A. Nivia, G. T. Klaver, and A. D. Saunders, 1996a, The geochemistry and tectonic setting of late Cretaceous Caribbean and Colombian volcanism: *Journal of South American Earth Sciences*, 9: 111 – 120.
- Oldenburg D. 1974. The inversion and interpretation of gravity anomalies, *Geophysics*, 39(4): 526-536.
- Ortiz, F. 1979. Petroquímica del volcanismo básico de la Cordillera Occidental (Informe Preliminar): *Boletín de Ciencias de la Tierra*, Medellín, Colombia, 4: 29 – 44.
- Parker R.L. 1973. The rapid calculation of potential anomalies, *Geophysics J.J. Astr. Soc.*, 31: 447-455.
- Robertson Research. 1985. Opogadó-1. Stratigraphic summary. Project No. 856-M-992-B. Enclosure 14.3.
- Robertson Research. 1985. Buchadó-1. Stratigraphic summary. Project No. 856-M-992-B. Enclosure 14.4.
- Robertson Research. 1988. The biostratigraphic, paleoenvironments and petroleum geochemistry of the Buchadó-1, Tambora-1 and Sandí-1 wells, Pacific coastal region of Colombia. Report No. 3792/lb for Ecopetrol. Bogotá. 104 p.
- Rojas, O. 1967. Geological traverses in the Chocó region. Northwestern Colombia.
- Van Thournout, F., J. Hertogen, and L. Quevedo, 1992, Allochthonous terranes of northwestern Ecuador: *Tectonophysics*, 205: 205 – 221.

Trabajo recibido: Julio 31 de 2009

Trabajo aceptado: Octubre 23 de 2009