

---

---

# LEVANTAMIENTO AEROGRAVIMETRICO y AEROMAGNETICO



Programa ADQUISICION PROCESAMIENTO e INTERPRETACION de  
datos de AEROMAGNETOGRAVIMETRIA en el LITORAL PACIFICO  
DE COLOMBIA – Contrato No. : 075

Para

**Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)**

**INFORME FINAL DE INTERPRETACIÓN**

**NOVIEMBRE del 2006**



**Interpretado por: Víctor Graterol**

**Programa ADQUISICION PROCESAMIENTO e INTERPRETACION de  
datos de AEROMAGNETOGRAVIMETRIA en el LITORAL PACIFICO  
COLOMBIANO – Contrato No. : 075**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Página</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	1
<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>2.0 DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA DEL LEVANTAMIENTO</b>	3
<b>3.0 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b>	4
<b>3.1. Estratigrafía</b>	5
<b>3.2 Geología Estructural</b>	6
<b>3.3 Evolución Geológica</b>	8
<b>4.0 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS y MAGNETICOS</b>	9
<b>4.1 Anomalía de Bouguer e Intensidad Magnética Total</b>	11
<b>4.2 Separación Regional - Residual</b>	12
<b>4.2.1 Residuos Gravimétricos Matemáticos</b>	14
<b>4.2.2 Residuos Magnéticos Matemáticos</b>	14
<b>4.2.3 Regional y Residual Controlados</b>	15
<b>4.3 Mapa de Interpretación Estructural</b>	15
<b>4.4 Resultados de la Magnetometría</b>	16
<b>4.5 Modelaje Gravimétrico - Magnético</b>	17
<b>5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	20
<b>REFERENCIAS</b>	20
<b>ANEXO A. Puntos de Control</b>	21
<b>FIGURAS</b>	22

**Programa ADQUISICION PROCESAMIENTO e INTERPRETACION de  
datos de AEROMAGNETOGRAVIMETRIA en el LITORAL PACIFICO  
COLOMBIANO – Contrato No. : 075**

<b>LISTA DE FIGURAS</b>		<b>Página</b>
Figura A	Mapa Geológico Regional	22
Figura 1	Localización del Area de Interpretación	23
Figura 2A	Cubrimiento Gravimétrico	24
Figura 2B	Cubrimiento Magnético	25
Figura 3	Anomalía de Bouguer( $\rho=2.30$ Grs/cc)	26
Figura 4	Intensidad Magnética Total(IMT)	27
Figura 5	Int. Mag. Total Reducida al POLO (IMTRP)	28
Figura 6	Residuo Gravimétrico Polinómico de GRADO 3	29
Figura 7	Residuo Gravimétrico Filtro Pasobanda 2Km-60Km	30
Figura 8	Residuo de la IMTRP 1ra Derivada Vertical	31
Figura 9	Residuo de la IMTRP Filtro Pasobanda 2Km-60Km	32
Figura 10	Regional Gravimétrico con Control Geológico	33
Figura 11	Residual Gravimétrico con Control Geológico	34
Figura 12	Tope del Basamento Cr (Inversión 3D del Residuo Controlado)	35
Figura 13	MAPA DE INTERPRETACION ESTRUCTURAL Tope del Basamento Cr.	36
Figura 14A	Basamento Magnético(Soluciones Profundas)	37
Figura 14B	Basamento Magnético(Soluciones Someras)	38
Figura 15	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 1	39
Figura 16	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 2	40
Figura 17	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 3	41
Figura 18	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 4	42
Figura 19	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 5	43
Figura 20	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 6	44

## RESUMEN EJECUTIVO

Durante los meses de Abril y Mayo y Junio a Septiembre del 2006 Carson Helicopters Inc. (Aerogravity Division) realizó la adquisición y procesamiento de un levantamiento Aerogravimétrico y Aeromagnético sobre el Litoral Pacífico Sur para La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Un avión turbo DeHavilland Twin Otter realizó la adquisición de aproximadamente 19499 Kilómetros de datos aerogravimétricos y aeromagnéticos respectivamente, sobre una malla de vuelo de 7.5 Km x 10 Km. Los datos geofísicos se adquirieron, respectivamente, a una altura promedio de 1280 Metros sobre el nivel del mar. Diariamente se analizaron y procesaron para su control de calidad y aprobación final en las instalaciones de CARSON en Perkasié – PA. – USA.

Durante el mes de Octubre el Dr. Víctor Graterol analizó los trabajos de procesamiento e interpretó los datos finales gravimétricos y magnéticos; y realizó la integración con el levantamiento Aerogravimétrico y Aeromagnético de Buenaventura realizado para ECOPEPETROL durante el año 2000. La interpretación incluyó el mallado de los datos con espaciado de los puntos de la grilla cada 1000 m y tuvo como principal objetivo elaborar el mapa del tope estructural del Basamento Pre-Terciario (Cretácico). Aunque se emplearon filtros matemáticos, la principal fase de filtrado se realizó con estricto CONTROL GEOLÓGICO aportado por la ANH (profundidades al tope del basamento provenientes de mapas geológicos de superficie, pozos e interpretación sísmica 2D).

La interpretación combina los datos gravimétricos y magnéticos con la información de líneas sísmicas 2D, mapas geológicos de superficie y profundidades de pozos. Se define la localización y extensión en planta de los contrastes de densidad que causan las estructuras de interés petrolero. Se determinaron tendencias, fallas regionales y locales, así como otros elementos de interés en la exploración de hidrocarburos. El mapa de Interpretación estructural muestra la complejidad del tope del basamento Pre-Terciario (Cretácico). Muestra como este aflora a todo lo largo del pie de monte de la Cordillera Occidental. La inversión 3D del Residuo Gravimétrico Cuantitativo detectó la existencia de cuencas, tipo graben, Terciarias de orientación predominante norte-sur, paralelas al borde de la Cordillera. De sur a norte se nota en primer lugar la sub-cuenca de Tumaco; este graben se hace más ancho hacia Buenaventura (sub-cuenca de San Juan) y más estrecho hacia el límite con la República de Ecuador. Hacia el norte de la sub-cuenca de San Juan se define perfectamente el graben o sub-cuenca de Atrato. Fallas de rumbo de orientación noreste-suroeste, posiblemente asociadas al choque de las placas del Pacífico con la placa Sur-Americana, desplazan localmente no solo al eje de las sub-cuencas mencionadas, sino también a los principales backthrust y thrust situados en el pie de monte de la Cordillera Occidental y borde plataformal Pacífico respectivamente. El espesor máximo de sedimentos Terciarios -Cuaternarios está en el orden de los 7.500 m a 8.500 m en Tumaco y 8.500 m a 10.000 m en Atrato. Espesores suficientes para que las lutitas negras y calizas fracturadas de la Formación Iró (Oligo-Mioceno) genere hidrocarburos. Estos espesores de rocas Terciarias tan grandes son indicativos de que el graben pudo ser rellenado por dos fuentes: oriental de la Cordillera Occidental y occidental durante el desarrollo de la complejidad estructural del Litoral Pacífico Colombiano. Se recomienda adquisición sísmica 2D perpendicular al eje del graben, Perforaciones estratigráficas en los altos y bajos a lo largo del graben y repetir este tipo de interpretación a medida que se obtengan nuevos controles de la localización del basamento cretácico.

# **Programa ADQUISICION PROCESAMIENTO e INTERPRETACION de datos de AEROMAGNETOGRAVIMETRIA en el LITORAL PACIFICO COLOMBIANO – Contrato No. : 075**

## **1.0 INTRODUCCION.**

En este informe se presenta la interpretación gravimétrica y magnética del Litoral Pacífico Colombiano, desde el límite con la Republica de Ecuador hasta el Golfo de Urabá y la República de Panamá. Toda la zona ocupada por el levantamiento aerogravimétrico-aeromagnético actual, así como también el del año 2000 de Buenaventura, se encuentra limitado al oriente por la Cordillera Occidental y al oeste por el Océano Pacífico. El litoral Pacífico Colombiano ha sido rellenado por sedimentos Cuaternarios y Terciarios depositados sobre un Basamento de composición muy compleja ígneo-metamórfico de edad Cretácica.

El objetivo exploratorio principal se concentró en la localización de espesores sedimentarios Terciarios que pudiesen originar generación y entrapamiento de hidrocarburos.

En este informe se presenta la interpretación aerogravimétrica y aeromagnética del levantamiento realizado por CARSON HELICOPTERS Inc. sobre la cuenca señalada. La interpretación se concentró en la definición del tope del basamento Cretácico, en forma de definir tanto la localización de las áreas donde pudiesen existir los mayores espesores de las secuencias Terciarias, así como también altos estructurales del mismo que pudiesen entrapar hidrocarburos en las facies arenosas y calcáreas fracturadas de las Formaciones del Grupo San Juan y sus acuñamientos estructurales a medida que el basamento se hace somero hacia el pie de monte de la Cordillera Occidental y el borde de la plataforma del Pacífico.

Los propósitos fundamentales de esta interpretación fueron los siguientes:

- **Definir, (utilizando la información gravimétrica y magnética, integrada con los datos de pozos y sísmica existentes), el TOPE ESTRUCTURAL del Basamento Pre-Terciario (Cretácico);**

- **Elaborar el Mapa Estructural del Basamento Cretácico donde se representen los principales altos, bajos, lineaciones y otros elementos geológicos de interés en la exploración de hidrocarburos;**
- **Evaluar cualitativa y cuantitativamente los datos gravimétricos y presentar una explicación geológica de la distribución de las anomalías geofísicas;**
- **Identificar la localización, profundidad y extensión de las anomalías residuales y obtener información referente a la geometría de las estructuras presentes para definir las mejores posibilidades en la ocurrencia de hidrocarburos;**
- **Detectar y definir fallas locales y regionales;**
- **Proponer y recomendar los trabajos exploratorios subsiguientes en aquellos sitios donde esta interpretación revele áreas de interés.**

En la región cubierta por este levantamiento se han realizado trabajos terrestres de sismica 2D en el area de Buenaventura, y perforación de una decena de pozos con objetivos estratigráficos principalmente. Los contrastes de densidad y susceptibilidad magnética en la interfase Terciaria-Cretácica, producen anomalías gravimétricas y magnéticas RESIDUALES. Por este motivo el análisis cualitativo y cuantitativo de los datos potenciales integrados con la sismica y pozos existentes constituye el paso ideal inicial para tratar de resolver el problema propuesto.

## **2.0 DESCRIPCION y LOCALIZACION DEL AREA DEL LEVANTAMIENTO**

La Cuenca del Litoral Pacifico Colombiano se encuentra limitada a lo largo de sus bordes occidental y oriental por la Plataforma Pacífica y la Cordillera Occidental de Colombia respectivamente.

Aunque su relieve a lo largo de la parte central es relativamente plano, este, se presenta irregular en la zona ocupada por el pie de monte señalado. Su acceso es complicado y suma fragilidad del eco-sistema. Estos factores justifican el uso de métodos de exploración aerotransportados. La **Figura 1** muestra la localización de la

zona de interpretación, incluyendo el relieve topográfico existente. La Cuenca del Litoral Pacífico Colombiano yace entre las Latitudes Norte Geográficas de 01 grados 30 minutos a 08 grados 30 minutos y Longitudes Oeste Geográficas de 76 grados 30 minutos a 79 grados 10 minutos.

### **3.0 MARCO GEOLOGICO REGIONAL**

La cuenca del Pacífico comprende el área desde el borde occidental de la Cordillera Occidental de Colombia, hasta la zona de plataforma continental del Pacífico Colombiano e inclusive, la zona del talud continental. Estratigráficamente, el área presenta rocas ígneas y sedimentarias principalmente, que pueden agruparse en 2 megasecuencias: Mesozoico y Cenozoico. (Ver Figura A)

Estructuralmente, la cuenca está constituida por un gran número de fallas, principalmente de cabalgamiento y rumbo, con vergencias variables de sur a norte, las cuales pueden agruparse en tres grandes sistemas: cabalgamientos de la Cordillera Occidental, con dirección de transporte tectónico hacia el occidente (entre el Piedemonte occidental de la Cordillera Occidental y la Fosa de Colombia); cabalgamientos de la Cordillera Occidental con dirección de transporte tectónico hacia el oriente (entre Buenaventura y Panamá) y finalmente un sistema de fallas de rumbo dextrales (entre Buenaventura e Itzmina).

La evolución geológica de la cuenca del Pacífico es el resultado de un proceso continuo de subducción y acreción al borde occidental de la placa Suramericana, de grandes escamas de corteza oceánica, sumado a saltos en la zona de subducción cada vez más hacia el occidente hasta llegar a su posición actual, permitiendo una configuración de cuencas formadas adelante del arco volcánico, desde mediados del Eoceno, cambiando a una cuenca transportada tectónicamente a cuevas "Piggy back basin", probablemente desde mediados del Mioceno, afectada por una colisión de corteza oceánica mesozoica (Arco de Panamá) a finales del Mioceno, que afectó progresivamente la parte norte de la cuenca y del Noroccidente de Suramérica.

### 3.1 Estratigrafía

**MESOZOICO:** Las rocas del Mesozoico, Cretácicas,, son principalmente ígneas, con frecuentes interdigitaciones de rocas volcanosedimentarias y sedimentarias acumuladas en fondos oceánicos profundos. Las rocas ígneas se formaron en fondos de expansión oceánica, como resultado de grandes derrames submarinos (plateaus) o arcos de islas (Nivia, 1996; Barrero, 1979). El espesor de las unidades que componen la megasecuencia del mesozoico es desconocido y está frecuentemente afectado por fallas de cabalgamiento que despegan en profundidad desde la zona axial de la Cordillera Central y se despliegan hacia el occidente. Probablemente este tipo de rocas conforman el zócalo de las cuencas Tumaco-Borbón, San Juan y Atrato.

Varios cuerpos intrusivos de edad Paleógeno y Neógeno de composición granítica hasta ultramáfica afectan varios sectores de la Cordillera Occidental, mas no se han reportado hacia la Serranía del Baudo.

Imbricados en los abanicos de cabalgamientos, se encuentran interdigitaciones de filitas, en las cuales se observan ichnofacies zoophycus, indicando un ambiente de sedimentación profundo, con basaltos del Cretácico superior. Por sectores, estas rocas han sido afectadas por metamorfismo cataclástico. Hacia la región de la Serranía del Baudó, se han reportado interdigitaciones de flujos basálticos con sedimentos que contienen faunas de foraminíferos del Maastrichtiano – Paleoceno.

**CENOZOICO:** El contacto entre las secuencias del Mesozoico y el Cenozoico, no siempre es fácil de definir, pues por sectores es clara una relación discordante entre sedimentos del Eoceno medio a superior sobre las rocas basálticas (Isla Gorgona), mientras en otros sectores, por debajo de rocas de esta edad, se observan sedimentos con faunas de radiolarios indicativos de Paleoceno – Cretácico (Pozo Remolino Grande 1), interdigitados con bloques, brechas, tobas y flujos basálticos. En términos generales, las unidades Cenozoicas reportadas en el área del Pacífico Colombiano, corresponden a rocas sedimentarias acumuladas desde el Eoceno hasta el reciente, iniciando con secuencias de conglomerados y calizas, que

reposan a modo de parches sobre altos estructurales del basamento oceánico, gradando hacia el tope a sedimentos finos de arenitas y arcillolitas, cuya edad es principalmente Oligocena. Un cambio fuerte en la sedimentación ocurre durante el Mioceno, predominando las arenas y conglomerados.

El desarrollo de estas dos secuencias en la cuenca del Pacífico Colombiano, pueden representar dos fases tectónicas mayores, una inicial, en la cual se desarrollan algunos altos estructurales aislados durante el Eoceno, en una cuenca abierta al océano durante el Oligoceno. Una segunda fase ocurriría durante el Mioceno, tiempo en el cual la cuenca del Pacífico se cierra parcialmente, por altos estructurales tales como la Serranía del Baudó en el área del Atrato (Duque –Caro, 1990) y el Alto de Remolinos en el área de Tumaco onshore (Escovar et al., 1990). El desarrollo de la sedimentación en estas cuencas parece ser sintectónico con el desarrollo de las estructuras, según se infiere de las discordancias progresivas y forma de llenado de las cuencas (Moutney and Wensbrook, 1993).

A finales del Mioceno y durante el Cuaternario, una fuerte actividad volcánica en la Cordillera Occidental - Central, aporta grandes cantidades de sedimentos y piroclastos a la cuenca de Tumaco – Borbón (sector sur de la cuenca del Pacífico que parece prolongarse hacia el Ecuador costero), siendo transportados por las corrientes como el río Patía y Mira, formando sistemas abanicos, terrazas, zonas de inundación y meandros en la cuenca.

### **3.2 Geología Estructural**

El área de la cuenca del Pacífico Colombiano, está afectada por un gran número de fallas de diferente extensión y tipo, sin embargo pueden separarse cuatro sistemas principales: cabalgamientos de la Cordillera Occidental con dirección de transporte tectónico hacia el occidente, cabalgamientos de la Cordillera Occidental con dirección de transporte tectónico hacia el oriente y fallas de rumbo dextrales.

**Cabalgamientos de la Cordillera Occidental con dirección de transporte tectónico hacia el Occidente:** Este sistema puede considerarse como formado en un ambiente tectónico compresivo, dando origen a sistemas de abanicos de cabalgamiento que presentan una dirección de avance tectónico general hacia el occidente. Regionalmente se observa que son fallas con rumbo general N20E, con

frecuentes entrecruzamientos, principalmente en el área de piedemonte comprendida entre Buenaventura hasta Quibdó. De oriente a occidente, el ángulo de las fallas parece decrecer desde verticales en la Cordillera Occidental y partes de la plataforma continental del Pacífico, hasta los 5° en el área del talud continental, con vergencia hacia el occidente, finalizando en la zona de la Fosa de Colombia. Es probable que la parte occidental del sistema de fallas de la Cordillera Occidental (aproximadamente desde el eje de la cuenca del Pacífico onshore hacia el occidente), tenga conexión con el decollement frontal de la zona de subducción, según se observa en algunas líneas sísmicas de gran profundidad (Collot et al, 2000). La parte oriental del sistema de fallas, es probable que se desprenda en profundidad desde una sutura Paleógena localizada al occidente de la Falla de Romeral. Porciones de estas fallas en la región de Tumaco, parecen constituirse en profundidad como fuentes de grandes sismos.

**Cabalgamientos de la Cordillera Occidental con dirección de transporte tectónico hacia el oriente:** Este sistema de fallas predomina en la parte norte de la Cordillera Occidental, desde Buenaventura hasta Panamá. En general se trata de cabalgamientos con dirección de avance tectónico hacia el oriente, con inclinaciones del plano de falla cercana a la vertical, permitiendo el acercamiento de la cordillera Occidental contra la Central, cerrando la comunicación de la cuenca del Cauca – Patía hacia el norte. En general, este sistema se desarrolló en un ambiente tectónico transpresivo en su porción sur a compresivo hacia el norte, mostrando formas de arcos cóncavos hacia el occidente como las fallas de Argelia, El Dovio, Toro – Apia, Cristales y Río Bravo.

**Sistemas de fallas de rumbo aproximado SW - NE:** Un tercer sistema de fallas, con rumbos que varían de SW - NE, afecta generalmente a los sistemas de fallas anteriormente descritos como Garrapatas y la Zona de Deformación de Itsmina. En general se trata de fallas de gran extensión, que se conectan hacia el NE con los cabalgamientos de la Cordillera Occidental con dirección de transporte tectónico hacia el oriente, conformando un sistema tipo Cola de Caballo en el área de la cuenca del Atrato y San Juan.

Gravimétricamente parecen desplazar los ejes de las cuencas hacia el NE, al igual que permiten la separación de las cuencas hidrográficas de Atrato y San Juan.

En general parecen corresponder a fallas de rumbo, conjugadas a los movimientos relativos de bloques en rotación al interior de la zona comprendida entre la zona de subducción y la Cordillera Occidental, como resultado de movimientos corticales (Bermúdez, 1996), asociados a la colisión del Arco de Panamá a finales del Mioceno (Acosta et al., 2004), cerrando la comunicación entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe (Duque-Caro, 1990).

### **3.3 Evolución Geológica**

La región del Pacífico Colombiano, comprendida entre las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental y la Fosa de Colombia, corresponde en general a una zona compuesta por un basamento ígneo, formado en fondos marinos, como resultado de procesos de expansión del fondo marino, que dió como resultado grandes mesetas de basaltos y complejos ultramáficos durante el Cretácico superior (Nivia, 1996), constituyendo la Placa de Farallones.

Gracias a la convergencia que se presenta durante el Cretácico y Paleógeno entre la Placa de Farallones y la Placa Suramericana, grandes porciones de secuencias ofiolíticas fueron acrecionadas al borde occidental de esta última, conformando prismas acrecentivos que incluyeron grandes aportes de sedimentos provenientes del continente. Un bloqueo de la subducción, obligó a la zona a migrar al occidente durante el Eoceno, aumentando las tasas de levantamiento de la Cordillera Central e iniciando el proceso de apilamiento de escamas de corteza oceánica que conformaran a la Cordillera Occidental. Es durante este tiempo que la cuenca de Cauca - Patía inicia su desarrollo como una cuenca de "forearc", comunicada al océano y gradualmente emergida durante el Oligoceno (Barrero, 1979), a medida que la placa de Farallones migra hacia el NE, conformando la actualmente conocida Placa Caribe (Moreno y Pardo, 2003).

Finalmente, durante el Mioceno, el avance de la Placa de Nazca y su reorganización en varias subplacas (Meschede, 2000), permite el levantamiento final de la Cordillera Occidental y el desarrollo de un sistema de cabalgamientos con dirección de avance hacia el occidente, algunos naciendo desde la sutura formada durante el bloqueo previo de la subducción y otros naciendo desde el decollemant formado en la nueva zona de subducción. Gradualmente se forman altos que limitan

las cuencas y a finales del Mioceno, la colisión del NW de Suramérica con el Arco de Panamá, obliga al desarrollo de sistemas de cabalgamientos con dirección de transporte hacia el oriente y fallas de rumbo que separan las cuencas del Atrato y San Juan.

#### **4.0 INTERPRETACION DE LOS DATOS GRAVIMETRICOS y MAGNETICOS**

Las anomalías y/o cambios en la aceleración de gravedad e intensidad magnética total (después que a las observaciones de campo se le aplican las correcciones respectivas por cambios de elevación, efectos topográficos y variaciones temporales), reflejan cambios en la densidad y susceptibilidad magnética de las rocas infrayacentes. Estas propiedades de las rocas se pueden emplear para obtener un modelo geológico del subsuelo. Las anomalías gravimétricas y magnéticas son funciones de la distancia entre el detector y la fuente (cuerpo geológico que las produce). En exploración petrolera, las anomalías gravimétricas son por lo general producidas por las estructuras de las secuencias sedimentarias suprayacentes y/o discontinuidades laterales de densidad, producidas por contactos de megasecuencias en profundidad. Las anomalías magnéticas se asocian al basamento de las cuencas, formado generalmente por unidades ígneo-metamórficas. La gravimetría y magnetometría proveen un amplio espectro de fuentes y es mediante una manipulación adecuada, donde se incluyen los conocimientos geológicos existentes, que estos datos potenciales pueden emplearse en forma exitosa en la búsqueda de hidrocarburos.

La interpretación de las anomalías gravimétricas y magnéticas se basa principalmente en el reconocimiento de su **(i) distribución y (ii) forma**. La distribución o carácter de un mapa potencial es un indicador poderoso de como las rocas y formaciones que se distribuyen en el área ocupada por el levantamiento pueden proveer indicaciones de lineamientos, texturas y discontinuidades estructurales. Este tipo de interpretación se define como la **interpretación cualitativa**. La forma de las anomalías representadas tanto en planta como en perfiles, se emplea para determinar o definir la forma, posición y la magnitud de los contrastes de densidad y/o susceptibilidad magnética. En teoría, no es posible encontrar una solución única de los métodos potenciales; pueden existir geometrías distintas que representen alguna anomalía en particular. En la práctica introduciendo

al modelo información geológica u otros controles geofísicos, y haciendo que las soluciones potenciales respeten estos controles, se llega a soluciones más reales. Este tipo de interpretación se conoce como **interpretación cuantitativa**.

La Cuenca del Litoral Pacífico Colombiano está rellena principalmente de sedimentos Terciarios-Cuaternarios. La **Figura A** muestra el Mapa Geológico de Superficie de la zona de estudio. La estratigrafía conocida de todo el litoral Pacífico Colombiano, obtenida a partir de información de pozo y de geología de superficie publicada indica que el basamento, que aflora en el pie de monte de la Cordillera Occidental, es de composición compleja ígneo-metamórfico (metasedimentos, esquistos y flujos volcánicos). La cuenca está rellena principalmente de sedimentos Terciarios. La Formación Iró, de edad Paleoceno-Eoceno, posee ricos intervalos de capas finas de chert y lutitas negras, areniscas y calizas facturadas; las calizas y lutitas negras son ricas en material orgánico incluyendo trazas de hidrocarburos. Suprayaciendo discordantemente se encuentra la Formación Sierra, compuesta principalmente de calizas y areniscas calcáreas. El Mioceno lo constituye el Grupo San Juan (Formaciones Istmina, La Mojarra, Condoto, Munguido y Atrato) El Mioceno constituye el mayor espesor de sedimentos en la cuenca y dentro del grupo hay niveles importantes de rocas pelíticas que pudiesen constituir el sello de posibles reservorios. Los reservorios pudieron originarse durante el tectonismo Terciario. Las lutitas negras de la Formación Iró se consideran la roca madre en la cuenca y la exploración debería concentrarse en el borde oriental de la cuenca, donde la deformación compresional pudo haber originado trampas estructurales y acuñamientos contra el flanco de la Cordillera Occidental. (Muñoz & Cogollo, 2000).

Tal como se muestra en los diferentes registros de pozo aportados para el control Geológico por la ANH, los sedimentos depositados en la Cuenca son predominantemente clásticos de baja densidad (2.1 Grs/c a 2.4Grs/cc). Estos sedimentos suprayacen un basamento ígneo-metamórfico Cretácico de alta densidad (2.6Grs/cc a 2.75Grs/c). Con base en estos valores la Densidad de Bouguer que se empleó para transformar la Anomalía de Aire Libre en Anomalía de Bouguer fue de 2.30 Grs/cc.

Todos los mapas que se presentan en este informe se elaboraron con el sistema gráfico GEOSOFT, empleando mallas finales de 1000 metros. Las **Figuras**

**2A y 2B** muestran el cubrimiento Gravimétrico y Magnético interpretado en este estudio. La información del Pacífico Central que se muestra en color azul se integró a la interpretación, la aportó la ANH y fue adquirida en 1999 por Ecopetrol.

#### **4.1 Anomalía de Bouguer e Intensidad Magnética Total (IMT)**

El levantamiento aerotransportado se efectuó a una altura promedio de 1280m sobre el nivel del mar, de acuerdo con las especificaciones del contrato. Dado el hecho de que las anomalías gravimétricas son producidas por contrastes de densidad muy alejados del sitio de medición de la aceleración de gravedad, su atenuación por lo elevado de la altura de vuelo es prácticamente despreciable. En cambio no es así con la Intensidad Magnética Total. Estas anomalías son producidas por el basamento ígneo-metamórfico Pre-Cretácico existente, que aflora en gran parte del Pie de Monte de la Cordillera Occidental. La **Figura 3** muestra el Mapa de Anomalía de Bouguer para una densidad de Bouguer de 2.30 Grs/cc.

La Anomalía de Bouguer se correlaciona con el contraste de densidad que existe entre las secuencias Terciarias con el Basamento Cretácico. Este contraste de valor aproximado -0.25 Grs/cc domina ampliamente el mapa de Bouguer. Los graben existentes en el Litoral Pacífico Colombiano son definidos perfectamente por las anomalías de Bouguer negativas de orientación N45-55E en el sur a N5-10W en el norte. El gradiente de Bouguer a todo lo largo del levantamiento, ubicado entre los graben del Litoral Pacífico Colombiano y el piedemonte de la Cordillera Occidental, muestra como disminuye el espesor de las secuencias Terciarias hasta que el basamento Cretácico aflora en el piedemonte cordillerano. Las anomalías negativas de mayor magnitud indican donde ocurren los mayores espesores de las secuencias Cuaternarias -Terciarias. Las anomalías positivas en el sur y norte cercanas a la línea de la costa con posibilidad de extenderse dentro de la costa Pacífica, corresponden a altos estructurales del basamento Cretácico. En el área de Buenaventura, se observa la tendencia de que el Graben existente, se hace mucho más ancho y complejo (Cuenca de San Juan).

Las **Figura 4** muestra la Intensidad Magnética Total. La posición y forma de las anomalías magnéticas dependen no solo de las características físicas del cuerpo que las produce, sino de su orientación y posición dentro del campo geomagnético

(asumiendo solamente magnetización inducida). En los polos, a altas latitudes magnéticas, las anomalías se localizan encima del cuerpo, pero a latitudes intermedias, las anomalías poseen máximo y mínimo y el cuerpo se localiza aproximadamente en el punto de inflexión. El campo geomagnético (I.G.R.F.) para la posición del estudio en referencia muestra una Inclinación Magnética de +34.0 grados al norte y una Declinación Magnética de -5 grados al oeste; por consiguiente, los máximos de las anomalías estarán desplazados respecto a la posición del cuerpo que las produce. Para restaurar la posición de las anomalías magnéticas en forma de que coincidan con las gravimétricas, siempre y cuando el magnetismo remanente sea despreciable, se aplica la reducción al POLO o al ECUADOR. En este caso, al estar a una inclinación magnética intermedia, se aplicó la reducción al Polo y el resultado se muestra en la **Figura 5** (Intensidad Magnética Total Reducida al Polo, IMTRP).

El mapa de la IMTRP muestra una fuerte correlación con la Anomalía de Bouguer, pero con un contenido de frecuencia muy superior, las anomalías positivas corresponden a las unidades ígneo-metamórficas de las rocas basamentales Cretácicas.

#### **4.2 Separación Regional-Residual**

Todo intento de interpretar un mapa de campo potencial comienza con la determinación de qué parte del campo observado puede ser ignorada para el objetivo de un estudio en particular; ("**Regional**") y cual parte es significativa para el objetivo principal de la interpretación ("**Residual**"). Es perfectamente aceptado en interpretación gravimétrica y/o magnética que el regional es "**is what you take out of the data to make what is left look like structure**", (Lo que hay que eliminar de la información para que permita ver la estructura), (Nettleton, 1971). La separación regional-residual nunca podrá ser totalmente objetiva, depende en alto grado de la experiencia del intérprete, conocimiento de la geología del área, calidad de los datos potenciales y finalmente del objetivo de la interpretación en particular.

Por otra parte, efectos de pequeñas longitudes de onda, que normalmente poseen gran amplitud y que generalmente son producidos por concentraciones anormales (intrusiones máficas, mineralizaciones, unidades volcánicas y anomalías culturales), tienen que ser removidos. Las anomalías residuales (gravimétricas y

magnéticas) se obtienen de los Mapa de Anomalía de Bouguer (AB) e Intensidad Magnética Total Reducida al Polo (IMTRP), por sustracción de las tendencias regionales. El proceso de separación regional-residual consiste en filtrar de la señal inicial (AB e IMTRP), las señales de pequeña longitud de onda y eliminar los gradientes o valores de fondo de amplitud y longitud de onda mayor. Este proceso se efectúa de varias formas:

Suavizado a Mano.

Ajuste por Polinomios.

Análisis en Dominio del Espacio.

. Derivadas

. Continuación de campo

Análisis Espectral - FFT

. Continuación de Campo

. Filtros de Pasa Banda

. Derivadas

. Filtros Direccionales

Separación con Control Geológico

Si revisamos la distribución de las observaciones gravimétricas en que se basa esta interpretación, podemos asumir que los procedimientos computarizados podrán reconocer caracteres estructurales cuya longitud de onda sea mayor que 2.0 o 4.0 Km. Sin embargo en los mapas de AB e IMTRP se pueden observar anomalías que pueden ser producidas por estructuras y/o cuerpos, los cuales están por debajo de esta magnitud, es decir, con longitudes de onda menores. Es posible que estas anomalías sean producidas por las rutinas de contorno del sistema gráfico empleado. Para los propósitos de este estudio, estos efectos no se consideran de importancia y pueden ser removidos por filtraje. Similarmente las anomalías de gran longitud de onda, provenientes de fuentes muy profundas también deben ser removidas para los efectos de esta interpretación.

Al analizar los Mapas de Anomalía de Bouguer e Intensidad Magnética Total Reducida al Polo y comparar sus anomalías con el conocimiento geológico-estructural que se posee, se puede inferir que existe un componente de contrastes de densidad y susceptibilidad magnética entre las unidades sedimentarias Terciarias

y Cuaternarias contra un Basamento de composición muy compleja de edad Cretácica. Cualquier residual matemático siempre mostrará contribuciones del basamento. Para evitar este problema y así poder estimar la contribución gravimétrica y magnética producida solamente por las secuencias Terciarias y Cuaternarias, hay que efectuar **Separación Regional-Residual con Control Geológico**. En otras palabras, necesitamos obtener mapas “residuales” que no se encuentren afectados por efectos gravitacionales y/o magnéticos, provenientes de fuentes que se encuentren por debajo de la discontinuidad de densidad y susceptibilidad magnética señalada, es decir, el tope del Basamento y que reflejen solamente la contribución de la cobertera sedimentaria que suprayace este horizonte.

**4.2.1 Residuos Gravimétricos Matemáticos.** La malla empleada en la generación de los diferentes residuos gravimétricos matemáticos es el mapa de Anomalía de Bouguer que se muestra en la **Figura 3**, fue la que se empleó en los procesos de Separación Regional-Residual que se describen a continuación. Las **Figuras 6 y 7** muestran respectivamente los residuos gravimétricos polinómico de las superficie de tendencia regional de grado 3 y el residuo al aplicar el filtro Pasobanda 2Km-60Km. En general, los residuos muestran resultados similares correlacionándose adecuadamente con los caracteres geológico-estructurales ya descritos. La similitud de estos residuos con la Anomalía de Bouguer original, implica que en este caso el Bouguer representa principalmente el fuerte contraste de densidad existente entre las secuencias sedimentarias Terciarias y Cuaternarias contra el basamento Cretácico. Sin embargo hay que hacer notar que las anomalías residuales negativas que se observan a lo largo del Litoral Pacífico, es donde ocurren los mayores espesores de las secuencias Terciarias.

**4.2.2 Residuos Magnéticos Matemáticos.** La malla empleada en la generación del mapa de Intensidad Magnética Reducida al Polo (IMTRP), se empleo para generar los residuos magnéticos de la 1ra derivada dertical y del filtro Pasobanda 2KM-60Km (**Figuras 8 y 9**). Las altas frecuencias de la IMTRP detallan mucho mejor la presencia de las unidades ígneo-metamórficas del basamento Cretácico y bloques de composición ofiolítica que pudiesen haber sido depositados durante el Terciario conjuntamente con las unidades

Oligocenas-Miocenas.

**4.2.3 Regional y Residual Controlado.** En este proyecto, el interés principal se concentra en interpretar las estructuras y caracteres geológicos que existen por encima del tope del basamento Cretácico. Por este motivo el Tope Estructural de esta unidad constituyó el objetivo principal de esta interpretación. Por consiguiente, debemos obtener o aislar solamente la respuesta gravimétrica de las masas que existan, a partir de este tope estructural hasta la superficie actual del nivel del mar. La superficie regional debe construirse a partir de puntos de control donde la profundidad a esta interfase se conoce de otras fuentes (pozos, interpretación sísmica y mapas de geología de superficie).

CARSON Helicopters Inc. (Aerogravity Division) ha desarrollado un procedimiento computacional el cual, a partir de los puntos de control, calcula un residual aproximado, mediante la aplicación de la ecuación de la atracción gravitacional de prismas verticales. Al conocerse también el valor de la Anomalía de Bouguer en cada punto de control, es muy fácil, por simple resta, estimar el valor de la componente regional en cada localización. Con los valores de este regional controlado, se construye la superficie regional final, que al restársela a la Anomalía de Bouguer Observada nos produce el Mapa de Anomalía Residual Controlado.

Las **Figuras 10 y 11** representan el REGIONAL y RESIDUAL CONTROLADO del basamento Cretácico referidos a la altura de 1280m sobre el NMM. La **Figura 12** corresponde a la inversión 3D del Residuo Controlado que al restársele la altura de vuelo, representa el Tope del Basamento Cretácico referido al NMM; y por último la **Figura 13** muestra la INTERPRETACION ESTRUCTURAL del Basamento Cretácico que se obtiene de la **Figura 12**.

#### **4.3 Mapa de Interpretación Estructural**

El mapa de contornos estructurales provenientes de la inversión gravimétrica 3D del residuo con control geológico, constituyó la base para realizar la

Interpretación Estructural del Basamento Cretácico. En este mapa se observa claramente no solo donde ocurren los mayores espesores de secuencias Terciarias y Cuaternarias, sino la interpretación de las principales fallas y otros caracteres estructurales.

Se muestra claramente como este, aflora a todo lo largo del pie de monte de la Cordillera Occidental. La inversión 3D del Residuo Gravimétrico Cuantitativo detectó la existencia de cuencas, tipo graben, Terciarias de orientación predominante norte-sur, paralelas al borde de la Cordillera Occidental. De sur a norte se nota en primer lugar la sub-cuenca de Tumaco; este graben se hace más ancho hacia Buenaventura (sub-cuenca de San Juan) y más estrecho hacia el límite con la República de Ecuador. Hacia el norte de la sub-cuenca de San Juan se define perfectamente el graben o sub-cuenca de Atrato. Fallas de rumbo de orientación noreste-suroeste, posiblemente asociadas al choque de las placas del Pacífico con la Sur-Americana, desplazan localmente no solo al eje de los grabens o sub-cuencas, sino también a los principales backthrust y thrust situados en el pie de monte de la Cordillera Occidental y borde plataformal Pacífico respectivamente. El espesor máximo de sedimentos Terciarios-Cuaternarios está en el orden de los 7500 m a 8500 m en Tumaco y 8500 m a 10.000 m en Atrato. Espesores suficientes para que las lutitas negras y calizas fracturadas de la Formación Iró (Oligo-Mioceno) genere hidrocarburos y puedan migrar hacia estructuras cercanas dentro de la misma cuenca o hasta estructuras de la cuenca de San Juan. Estos espesores de rocas Terciarias tan grandes son indicativos de que el graben pudo ser rellenado por dos Fuentes: uno oriental de la Cordillera Occidental y otro a partir de acumulaciones diversas aportadas durante el desarrollo de la complejidad estructural del Litoral Pacífico Colombiano. La cuenca “más somera”, con espesores mayores cercanos a los 7.000 m, es la de San Juan, esta cuenca es la que más control geológico tiene, aportado por ECOPETROL en el año 2000, su mayor desarrollo sedimentario se observa en la **Figura 12**, hacia los sectores occidental y sur de Buenaventura. Son espesores bien importantes desde el punto de vista de generación de hidrocarburos, también se debe tener en cuenta que a nivel regional, esta cuenca se ha explorado principalmente al noreste de Buenaventura.

#### **4.4 Resultados de la Magnetometría**

Las estimaciones de profundidades magnéticas asumen que, en general las anomalías provienen de basamentos ígneo-metamórficos y que las secuencias sedimentarias son magnéticamente despreciables. También las profundidades dependen de los gradientes, inflexiones y picos de las anomalías sin considerar los caracteres físicos del cuerpo que las produce. La **Figura 14** muestra las soluciones de la Deconvolución de Euler para el Índice Estructural 0 (Contacto Magnético). En este mapa, se observa claramente la tendencia de soluciones someras a lo largo de los bordes del área investigada. Las mayores profundidades se concentran al sur y norte del área investigada cerca del límite con Ecuador y Panamá, coincidiendo con los resultados de la inversión gravimétrica.

#### **4.5 Modelaje Gravimétrico–Magnético**

Para realizar el modelaje directo cuantitativo, se extrajeron, a lo largo de transectas seleccionadas por la ANH, perfiles del Residuo Controlado de la Anomalía de Bouguer, del tope del Basamento Cretácico y de la Intensidad Magnética Total Reducida al Polo. También se elaboró un modelo geológico inicial, que incluyó los resultados de la inversión gravimétrica descrita anteriormente, el resumen de la geología regional y la interpretación estructural. Todos estos archivos constituyen la entrada de datos para el programa GM-SYS. La ubicación de los modelos que se presentan en este estudio se indica claramente en el mapa de interpretación estructural. El GM-SYS utiliza básicamente el método desarrollado por M. Talwani (1964). El procedimiento consiste en comparar la atracción gravitacional y/o magnética de un grupo de láminas poligonales que simulan la sección geológica inicial con su respectiva anomalía residual. El programa posee rutinas de modelaje directo e inverso que permiten una interpretación en tiempo real, visible en monitor a color de alta resolución. Las densidades iniciales empleadas fueron 2.7Grs/cc y 2.20 Grs/cc para el basamento y las secuencias sedimentarias Cretácicas-Terciarias-Cuaternarias respectivamente. El modelo es mejorado sucesivamente, añadiendo o modificando los elementos estructurales (fallas, contactos, etc.), y ajustando los contrastes de densidad; así como, los espesores de las capas, hasta que las anomalías observada y calculada se asemejen adecuadamente. Los modelos que se interpretaron, se presentan en las **Figuras 15 a 19**.

## 5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez analizados los resultados que se presentan en los capítulos anteriores, se considera que esta interpretación cumple con los objetivos propuestos, habiéndose podido definir y concretar los siguientes aspectos:

Se presenta, en el mapa de interpretación estructural, el tope del Basamento Cretácico, donde se muestran los altos y bajos estructurales, fallas, tendencias y otros elementos de interés en la exploración de hidrocarburos.

Se definen las fuentes y extensiones areales de las estructuras que producen las anomalías gravimétricas.

Se determinó el isópaco para los sedimentos Cuaternarios-Terciarios que existen por encima del Basamento Cretácico.

El mapa de Interpretación Estructural muestra la complejidad estructural del tope del basamento Cretácico y como éste, aflora a ambos lados y a todo lo largo del Litoral Pacífico Colombiano. Los mayores espesores de las secuencias Cuaternarias-Terciarias ocurren al sur y norte del área investigada cerca del límite con la República del Ecuador (sub-cuenca de Tumaco) y Panamá (sub-cuenca de Atrato) respectivamente, donde se interpretaron valores, desde el nivel medio del mar hasta el tope del Basamento Cretácico, de 7500 m a 10500 m. El patrón estructural interpretado muestra como la dirección del fallamiento transpresivo cambia de aproximadamente este-oeste en el sur a noreste en el norte. En esta interpretación se concluye que estos espesores de secuencias Terciarias son suficientes para que las lutitas negras y calizas de la Formación Iró hayan generado hidrocarburos. Las mejores posibilidades están asociadas con acuñamientos estructurales contra los afloramientos del Basamento y entrapamiento estratigráfico dentro de las propias

secuencias Oligocenas y Miocenas en todas las cuencas.

Tanto el modelaje gravimétrico-magnético, como la interpretación estructural del tope del Basamento Cretácico, sustentan que la estructuración existente de orientación predominante nor-noreste en el sur y nor-noroeste en el norte del Litoral Pacífico Colombiano aparenta una estrecha relación con el emplazamiento compresivo de la Cordillera Occidental.

## **RECOMENDACIONES**

El cubrimiento gravimétrico-magnético del área estudiada es adecuado para este tipo de interpretación REGIONAL. Este estudio demuestra que las estructuras y el contraste de densidad y susceptibilidad magnética que existen en el Litoral Pacífico Sur de Colombia produce anomalías GRAVIMÉTRICAS y MAGNÉTICAS RESIDUALES entre  $-1$  a  $-20$  Miligales; y  $-20$  a  $100$  nT.; por consiguiente, cada vez que se posean nuevos controles de espesores de secuencias y topes de basamento, esta interpretación debe repetirse para incluir actualizaciones en los modelos.

Los principales altos de basamento y áreas donde se detectaron los mayores espesores de las secuencias Cuaternarias-Terciarias, ameritan un estudio sísmico 2D y geoquímica de superficie. Carson Helicopters, Inc. / Aerogravity Division agradece a la ANH, la oportunidad de trabajar en el procesamiento e interpretación de los datos aerogravimétricos y aeromagnéticos del Litoral Pacífico Colombiano. Esperamos que la ANH, aprecie que estos métodos potenciales integrados con toda la información existente de sísmica 2D y datos de pozos, permite confirmar conceptos existentes y definir gran cantidad de incógnitas que ameritan ser resueltas por métodos con mayor poder de resolución.

## REFERENCIAS

ANH Registros de Pozos e Información Regional de la Cuenca del Río Cauca. Base de Datos de la ANH.

ANH Mapa Geológico de Colombia. Ariana Ltd. (2004) Diaz L. y Ramos B.

Acosta, J, Lonergan, L. and Coward M.P, 2004. Oblique transpression in the western thrust front of the Colombian Eastern Cordillera, *Journal of South American Earth Sciences*, v 17, pp 181-194

Barrero D., 1979. Geology of the Central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia. *Special Geologic Publications of INGEOMINAS*. No 4. P 1-75

Bermúdez A., 1996. Transecta geofísica entre la Virginia y Tadó y su tectónica. *Memorias del VII Congreso Colombiano de Geología, INGEOMINAS*. Tomo III, p. 68 - 78.

Duque - Caro H., 1990. The Choco block in the north western corner of South America: Structural, tectonostratigraphic and paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 3, N° 1. pp. 71- 84

Graterol V., 2006. Informes Finales de la Interpretación Gravimétrica y Magnética de las Cuencas de Yari-Caguán, Rio Cauca y Litoral Caribe Colombiano.

Meschede M. and Barckhausen U., 2000, Plate tectonic evolution of the Cocos-Nazca spreading center. *In* Silver, E.A., Kimura, G., and Shipley, T.H. (Eds.), *Proc.*

Moreno - Sanchez M y Pardo - Trujillo A, 2003. Stratigraphical and sedimentological constrains on Western Colombia: Implications on the Evolution of the Caribbean Plate. *In* Bartolini C., Buffle, R. and Blickwede (eds), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics*, AAPG Memoir N° 79, Chapter 40.

Nivia A., 1996. El complejo estructural Dagua, registro de deformación de la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental. *Memorias VII Congreso Colombiano de Geología*, Tomo III, páginas 108 - 123.

## ANEXO "A" Puntos de Control Litoral Pacífico Colombiano

/-----/									
x	y	PUNTO	ALTPACIFICO	TOPCr	BOUGAIRE230	TOPCrREG	TOPCrRESD	TOPCrINVFINAL	
/-----/									
658348.50	874239.30	BV-1	46.22	2793.00	-17.84	24.30	-41.69	-2789.51	
679056.40	927491.90	BV-3	43.97	4193.00	-55.32	1.50	-56.87	-4192.68	
704431.30	1014744.00	BV-6	54.02	2942.00	-32.61	11.10	-41.89	-2936.79	
707538.30	1038255.00	BV-7	59.51	5060.00	-46.36	19.40	-66.14	-5104.79	
719384.40	1000166.00	BV-9	158.68	0.00	-9.90	1.70	-12.15	108.52	
687220.00	968261.90	BV-11	51.81	4757.00	-74.64	-11.90	-61.54	-4750.77	
692258.70	976501.80	BV-12	64.01	4484.00	-66.83	-7.10	-57.87	-4464.67	
694299.40	986004.60	BV-13	58.80	3932.00	-66.32	-12.40	-53.82	-3933.82	
697843.60	995751.10	BV-14	96.07	4449.00	-59.63	-0.60	-56.40	-4425.30	
700386.30	1005251.00	BV-15	83.22	3598.00	-47.58	2.70	-48.57	-3589.39	
706242.30	1028251.00	BV-17	69.42	3570.00	-36.86	13.20	-49.60	-3578.89	
708790.70	1038500.00	BV-18	59.15	5199.00	-43.28	24.00	-64.93	-5126.33	
680970.30	970289.10	BV-19	51.36	3807.00	-79.17	-26.40	-53.56	-3810.75	
682757.40	979042.90	BV-20	49.22	3334.00	-76.96	-29.10	-48.45	-3333.09	
684800.50	989047.10	BV-21	44.23	2657.00	-75.33	-34.60	-42.65	-2666.92	
685095.50	999809.10	BV-22	53.11	2016.00	-71.50	-37.50	-35.54	-2021.90	
685131.50	1008319.00	BV-23	60.10	1820.00	-69.28	-37.40	-32.94	-1820.17	
686704.90	1024833.00	BV-24	35.10	2880.00	-67.29	-24.10	-43.94	-2880.83	
607228.30	1000637.00	BV-25	-1132.03	2400.00	-12.34	26.20	-29.47	-2402.89	
607403.20	1040711.00	BV-26	-977.39	2000.00	19.43	53.80	-16.98	-1077.40	
570861.00	675203.00	TOPCr01	306.16	0.00	71.13	81.60	-10.29	218.96	
575763.00	699615.00	TOPCr04	115.68	0.00	69.58	81.80	-12.35	57.64	
595632.00	727186.00	TOPCr07	157.06	0.00	80.64	92.30	-11.68	77.81	
615528.00	755099.00	TOPCr13	687.11	0.00	87.62	93.70	-6.20	665.37	
620781.00	758730.00	TOPCr14	1128.00	0.00	89.04	90.30	-2.26	1077.55	
626795.00	773827.00	TOPCr18	452.01	0.00	74.81	83.50	-8.84	412.21	
636431.00	789009.00	TOPCr19	292.34	0.00	58.69	68.80	-11.29	274.71	
658266.00	831510.00	TOPCr21	207.64	0.00	28.18	39.10	-11.19	150.02	
667146.00	854409.00	TOPCr22	335.23	0.00	12.06	22.00	-10.37	256.77	
677232.00	894027.00	TOPCr24	163.34	0.00	-10.76	0.90	-12.39	90.49	
696455.00	920647.00	TOPCr26	393.47	0.00	-4.54	4.50	-7.84	298.84	
698015.00	931353.00	TOPCr27	156.12	0.00	-28.93	-17.20	-13.90	-9.50	
704168.00	945440.00	TOPCr28	245.79	0.00	-29.17	-18.40	-10.87	189.47	
715323.00	979738.00	TOPCr29	162.21	0.00	-26.21	-14.40	-12.41	71.02	
718695.00	1021512.00	TOPCr30	137.00	0.00	32.71	44.50	-8.30	73.28	

# Figura A – Mapa Geológico de Superficie del Litoral Pacífico COLOMBIANO

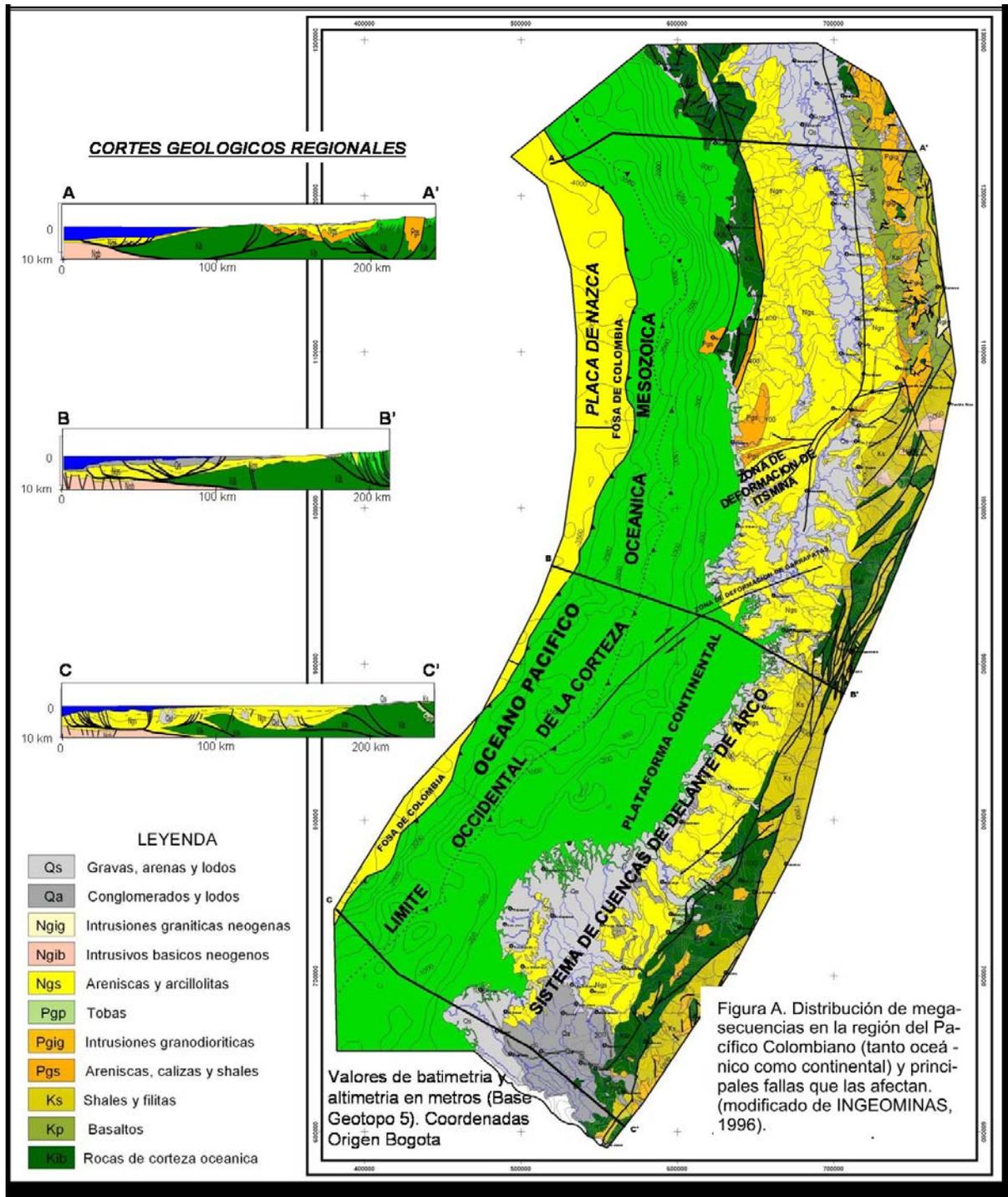


Figura 1

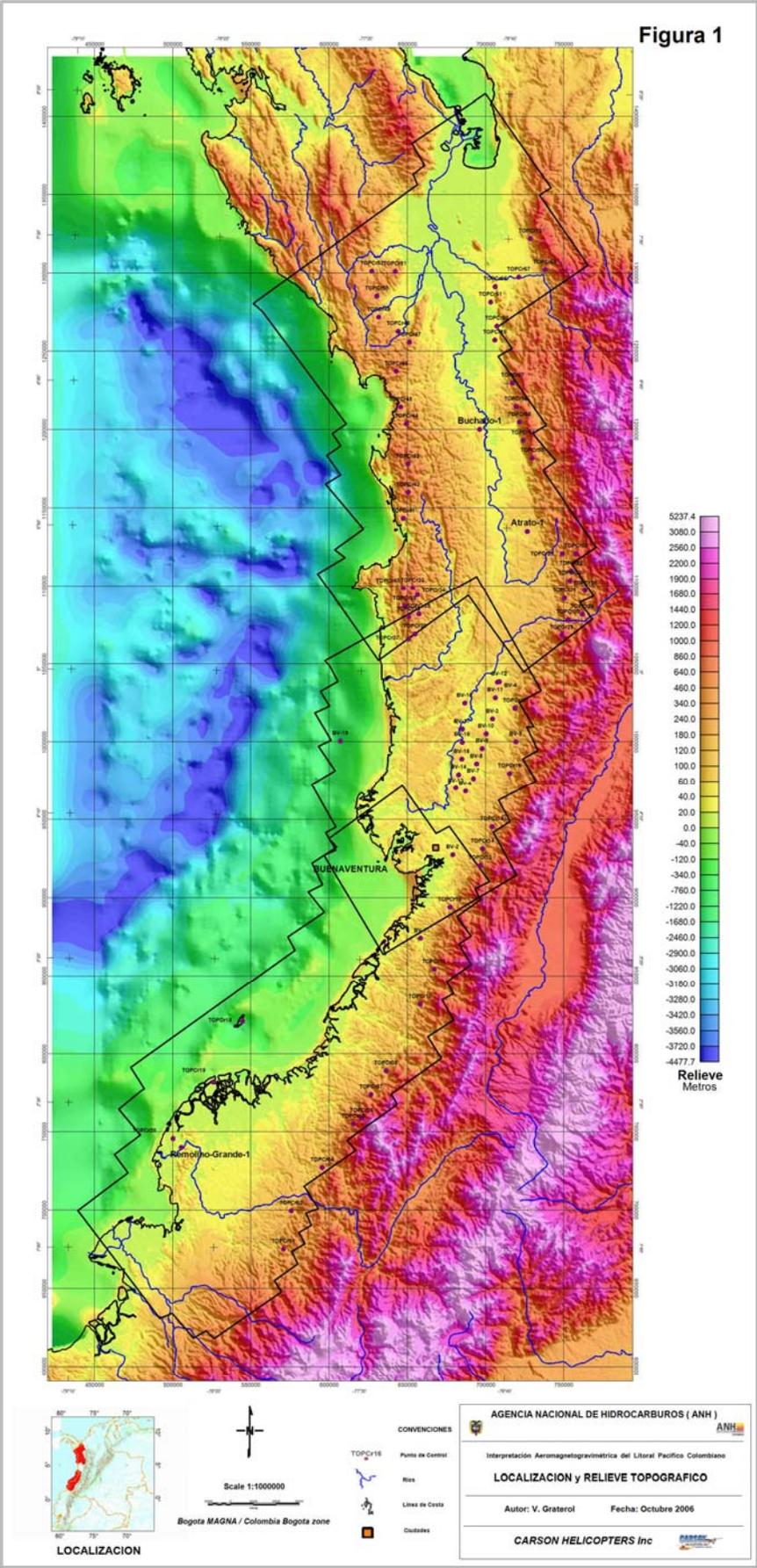


Figura 2A

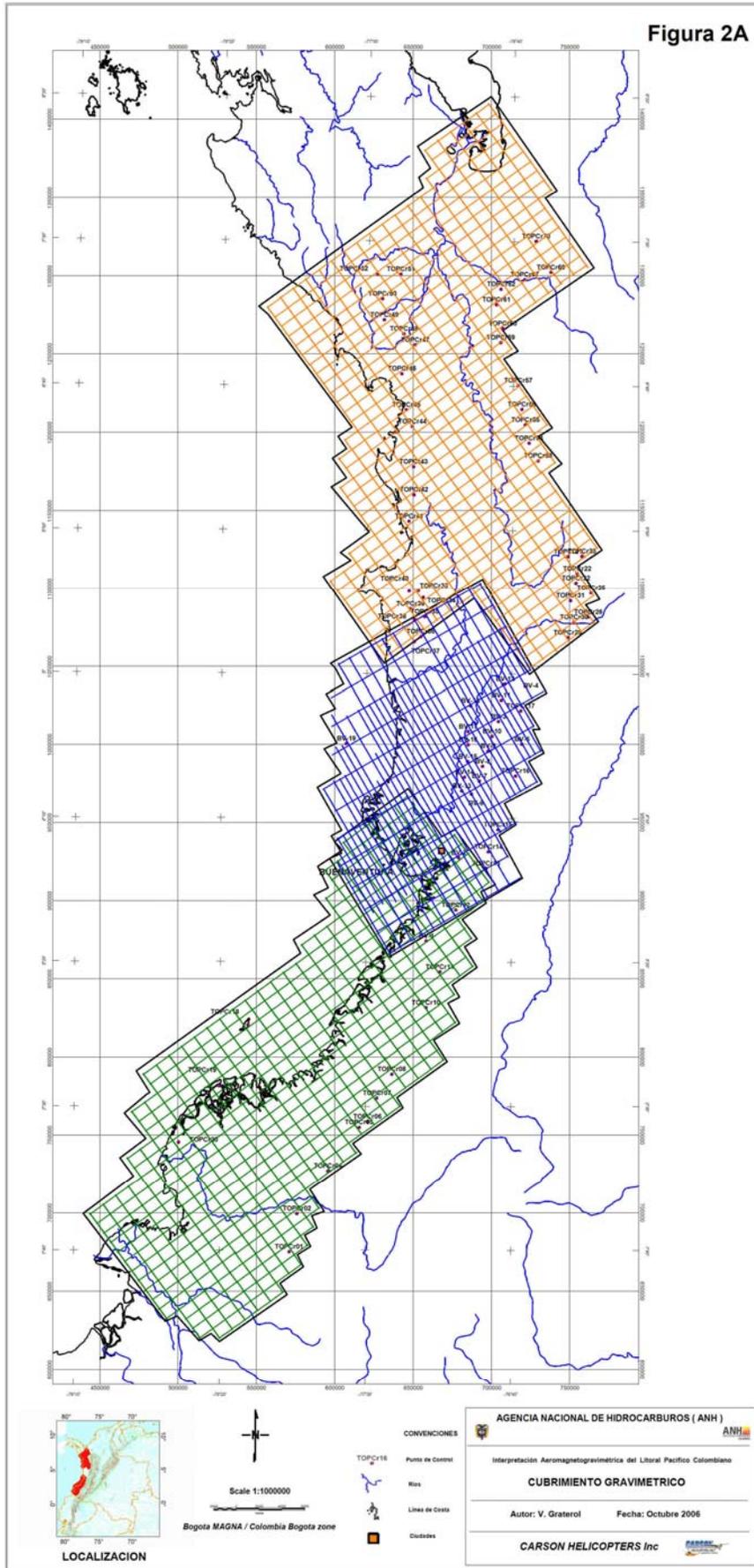


Figura 2B

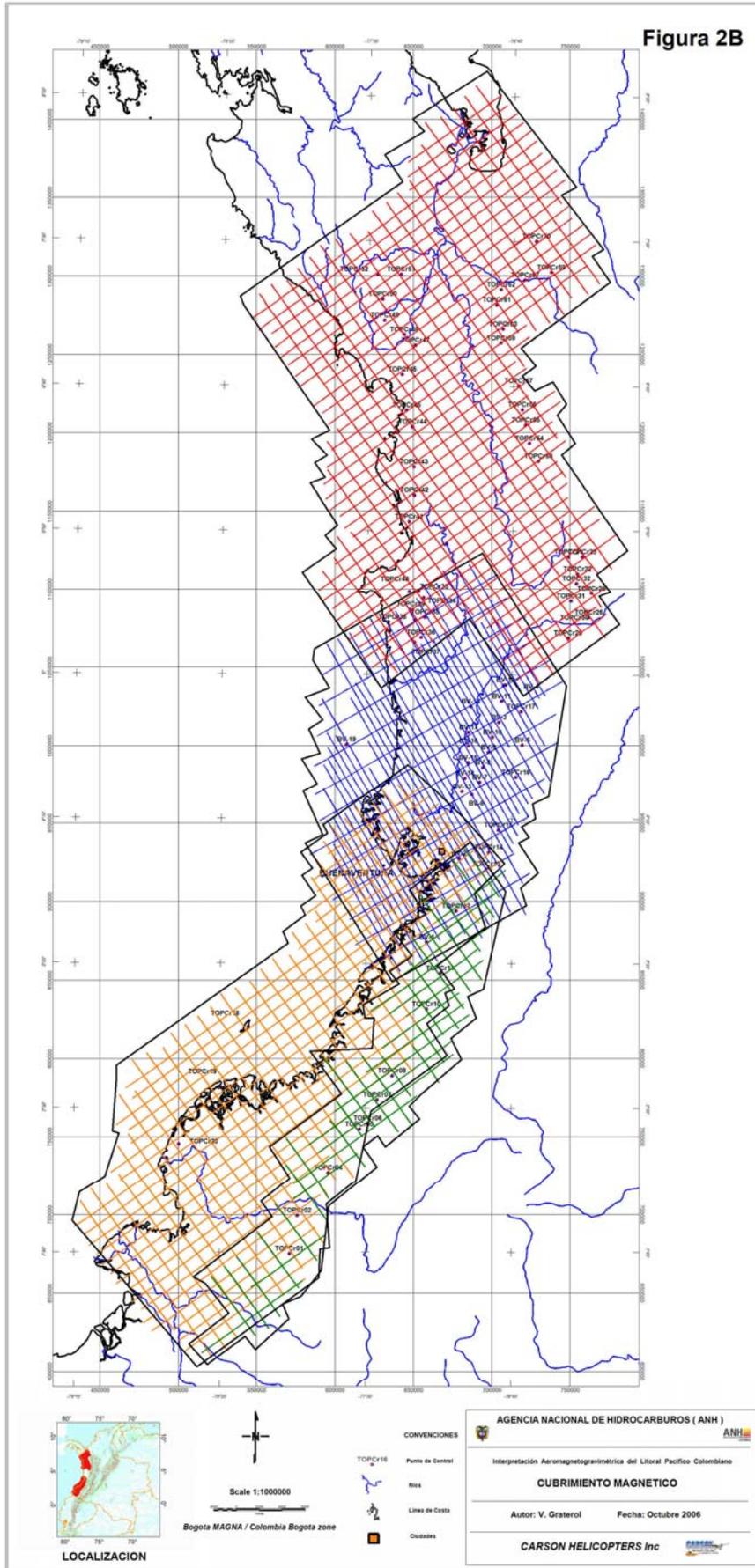


Figura 3

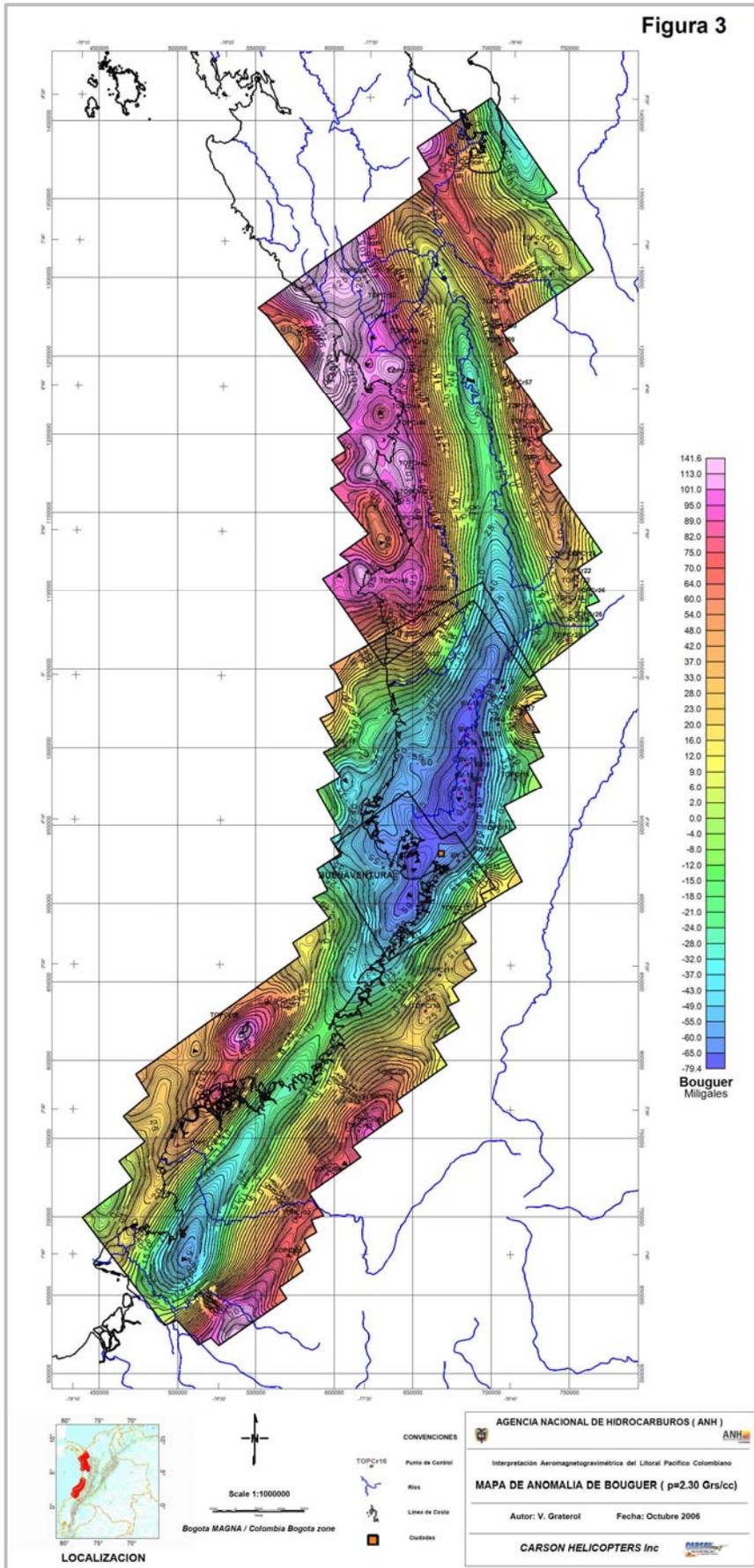


Figura 4

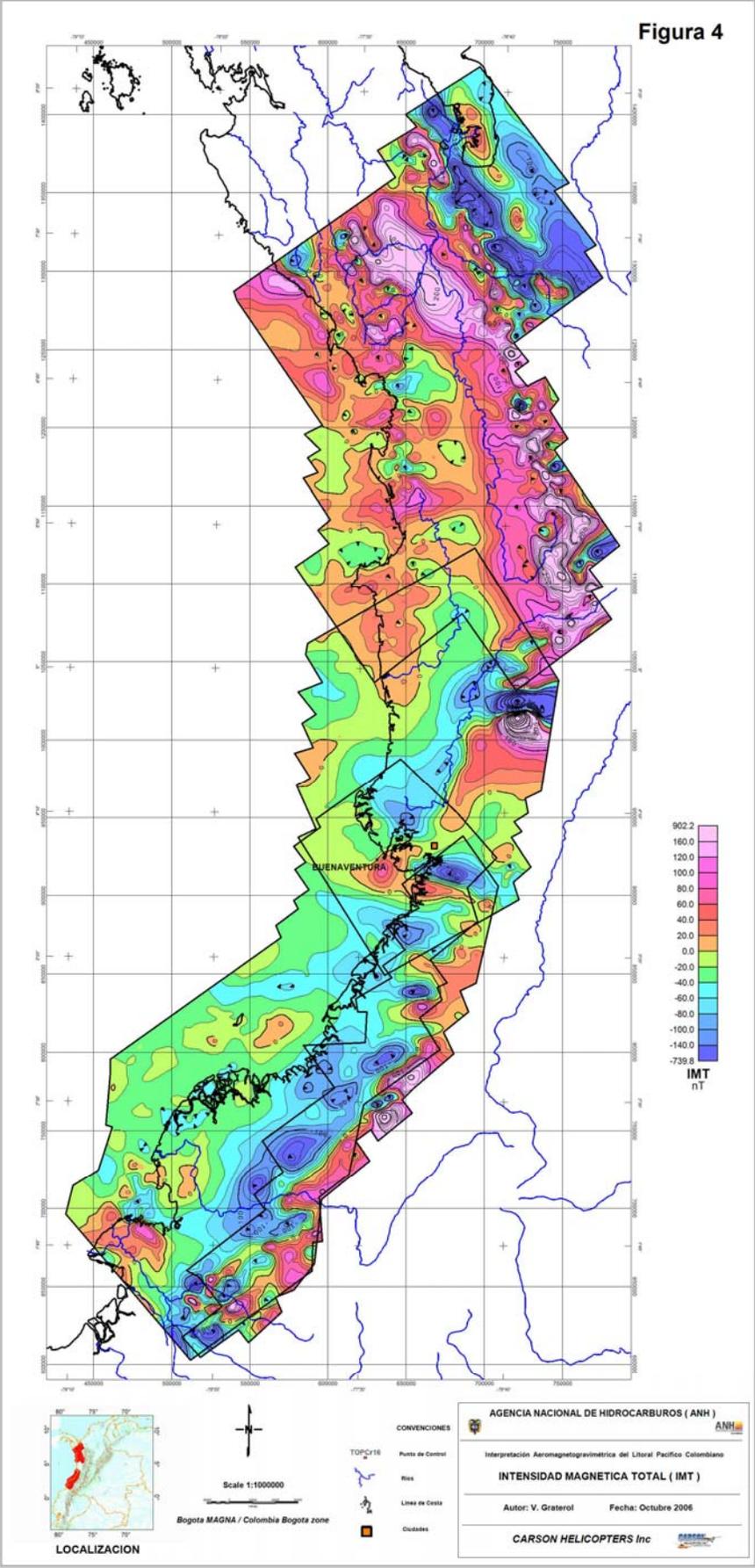




Figura 6

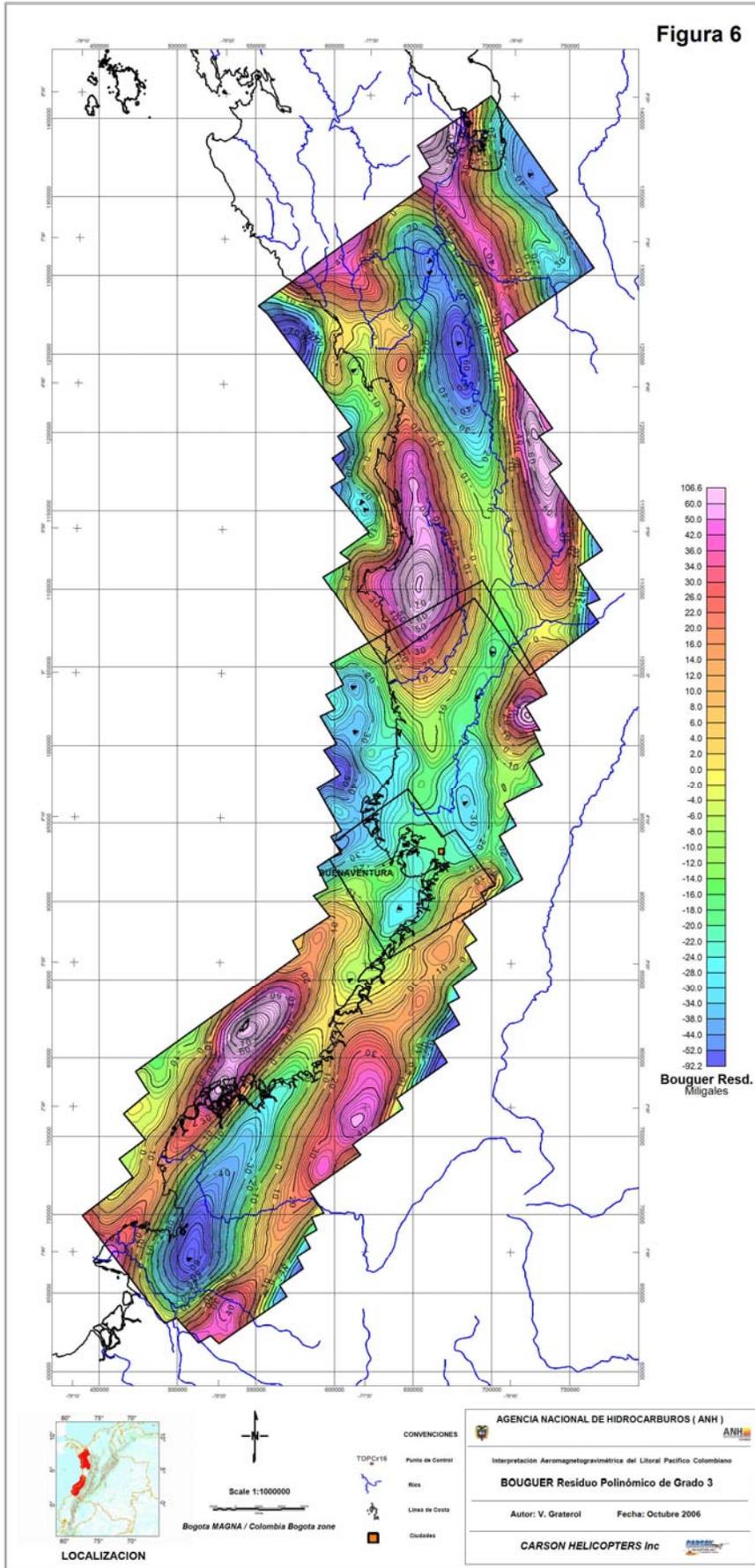


Figura 7

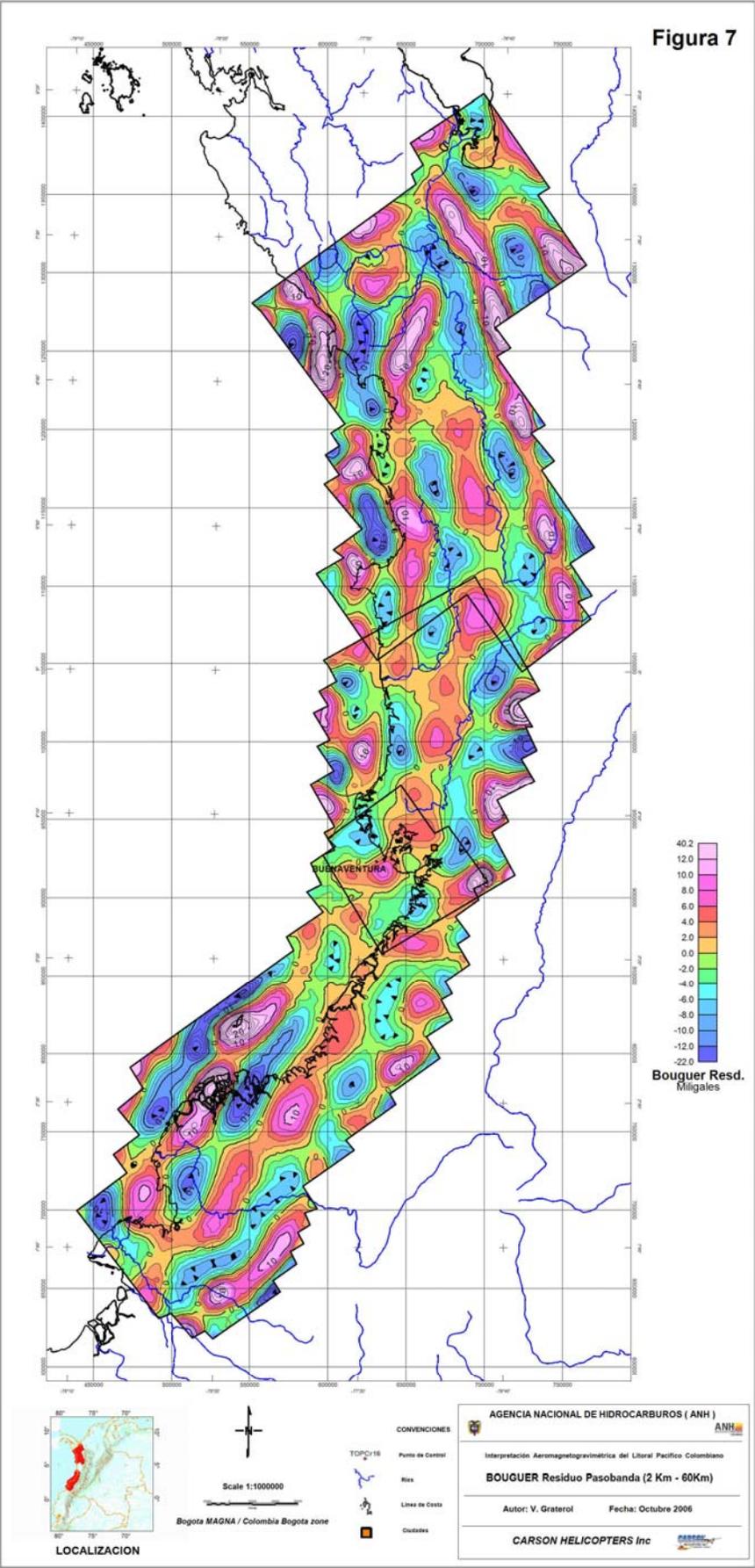


Figura 8

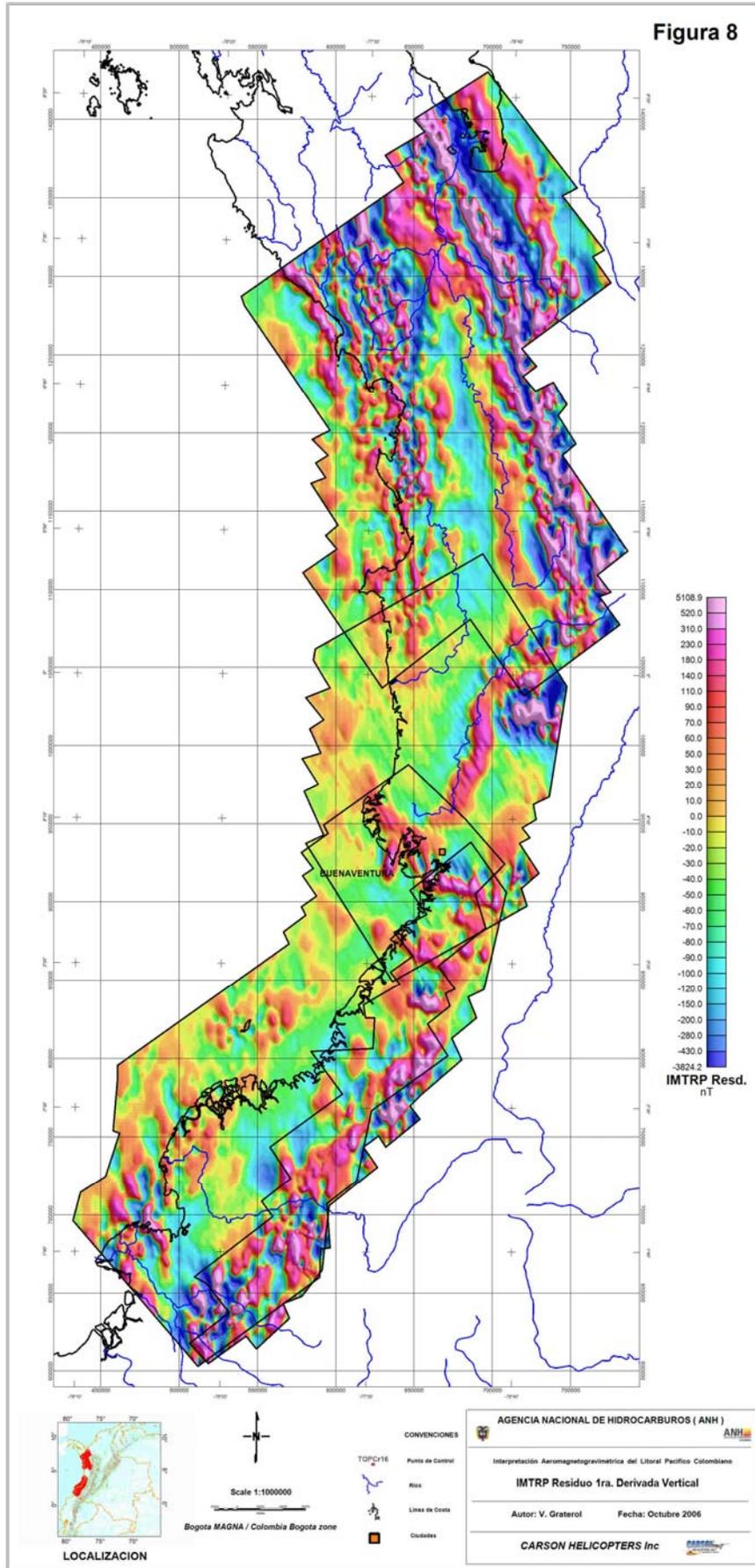


Figura 9

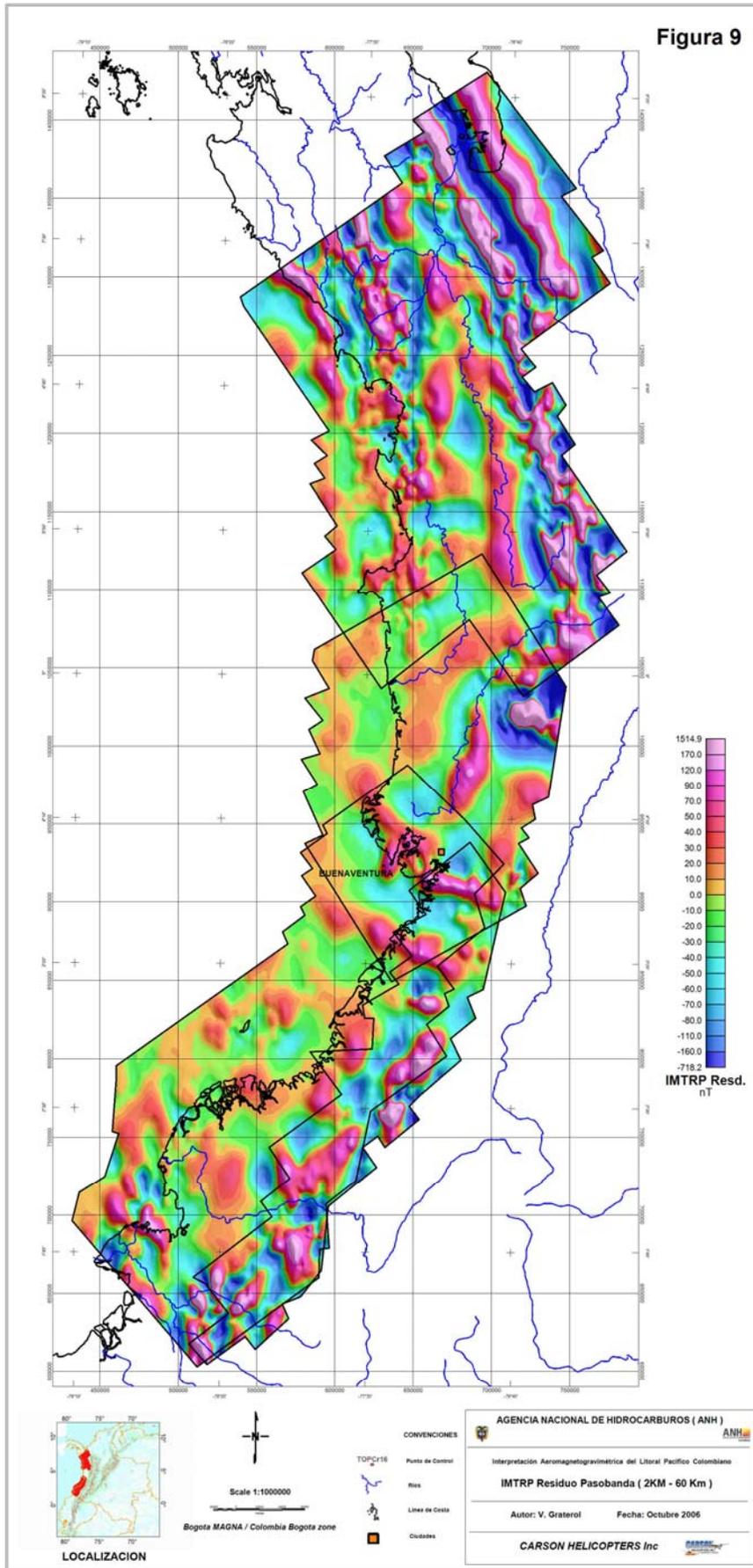


Figura 10

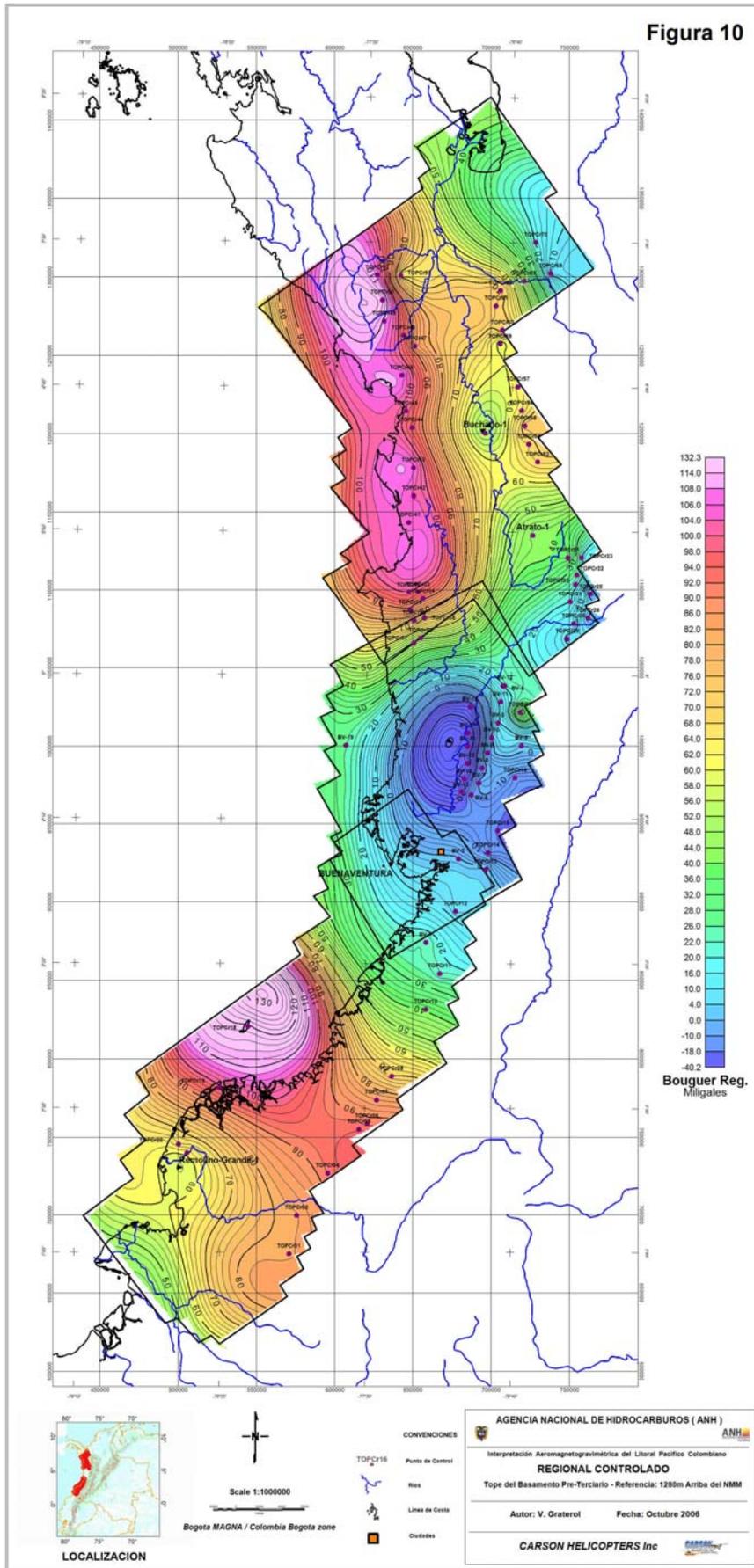


Figura 11

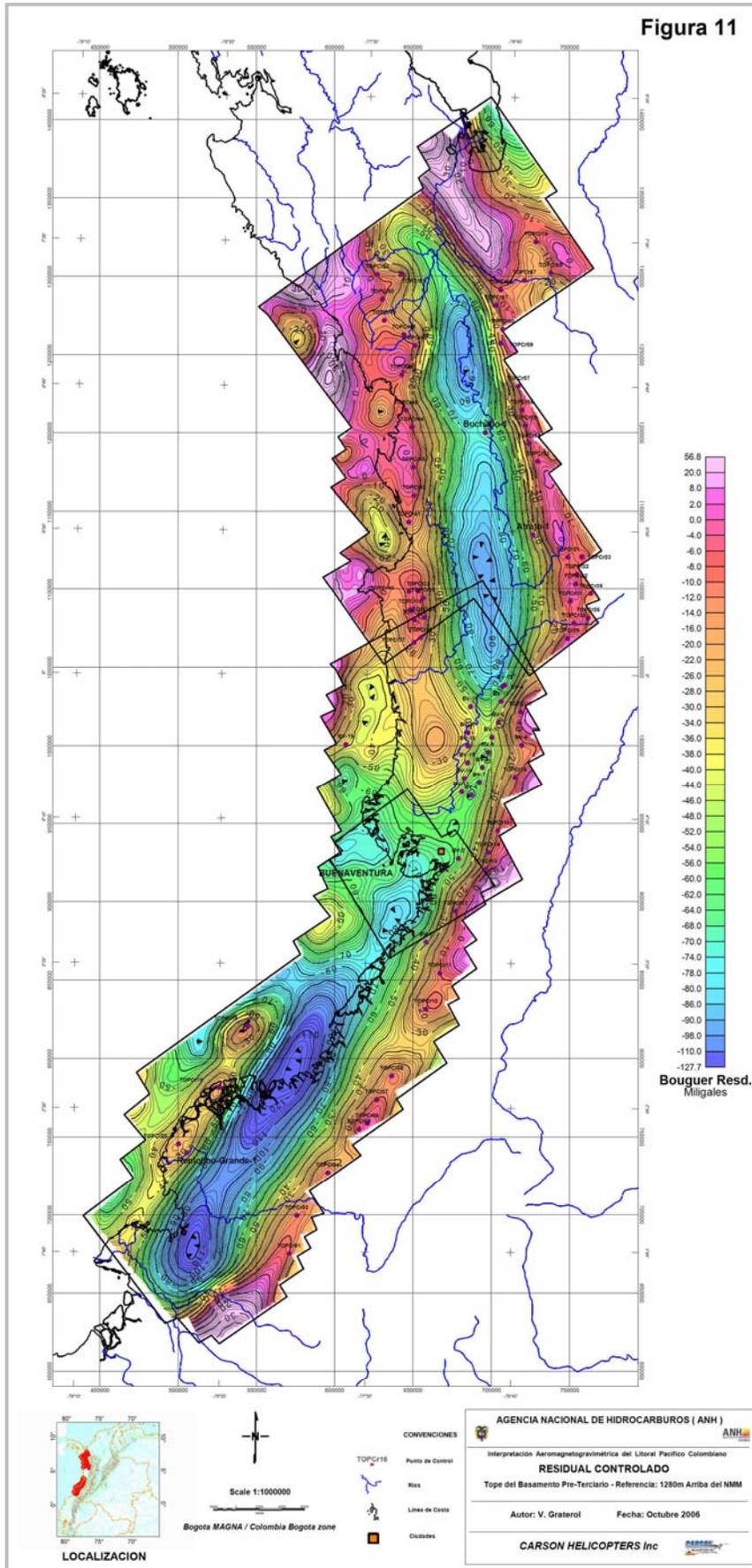




Figura 13

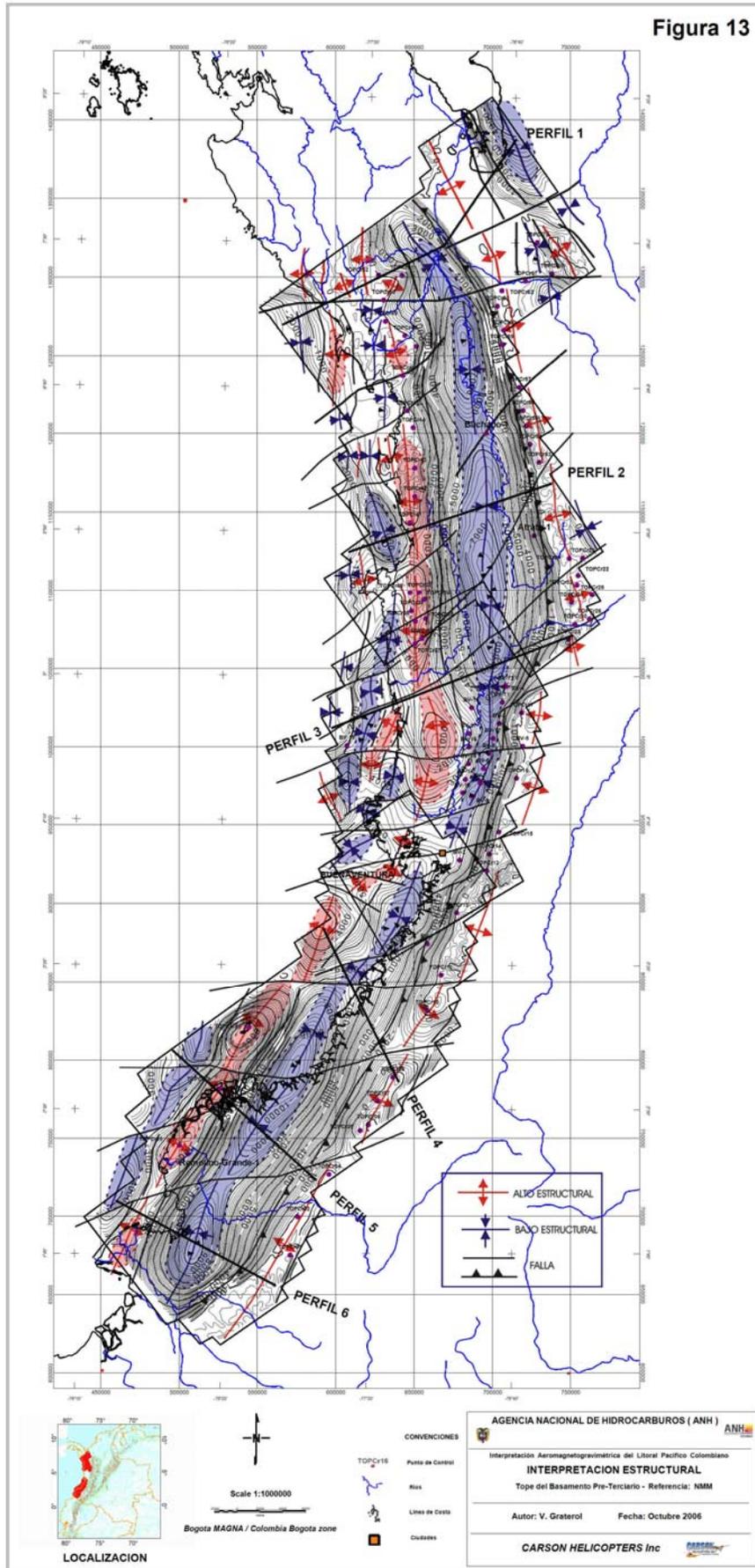
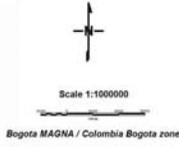
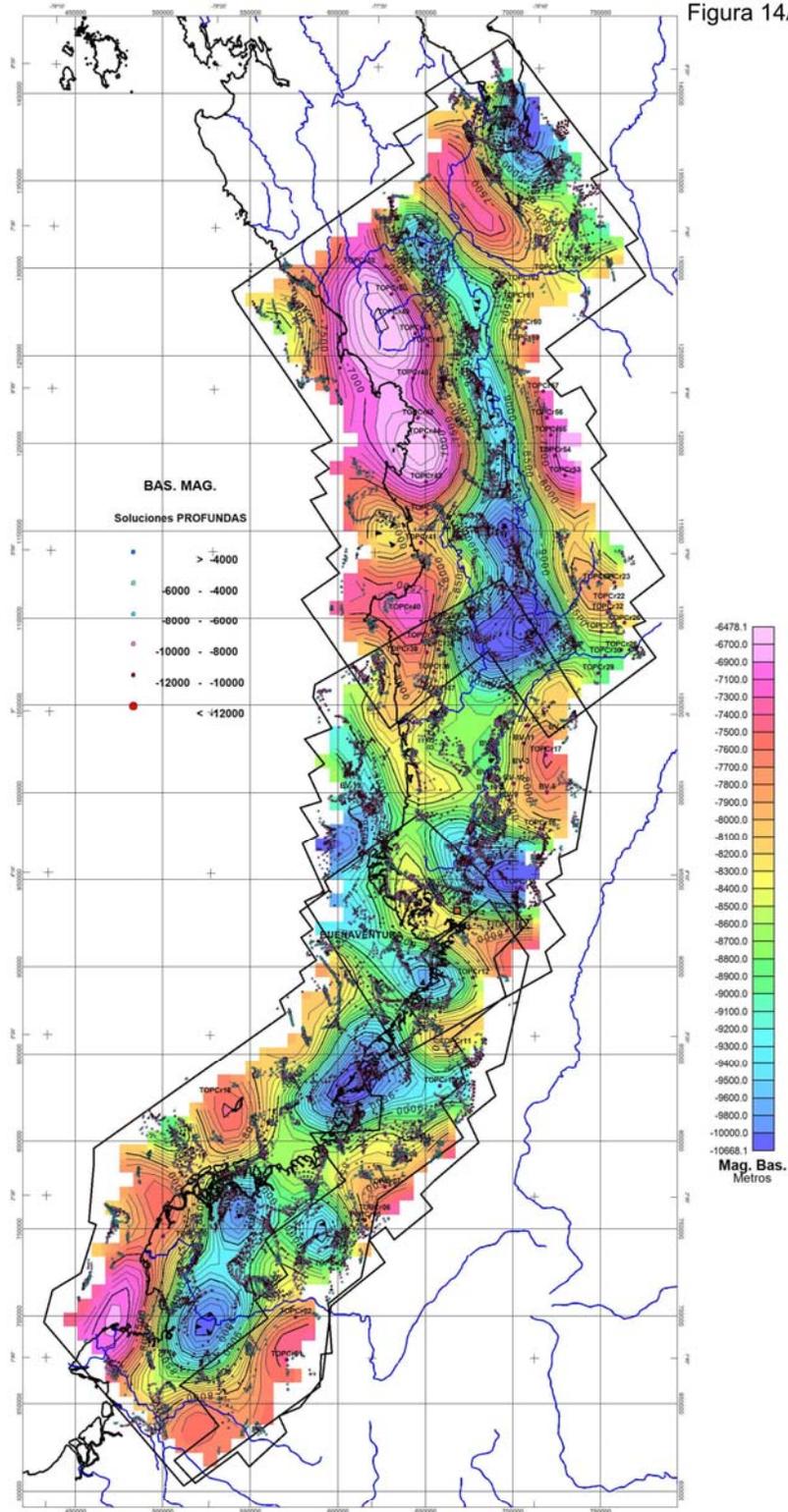


Figura 14A



- CONVENCIONES
- TOPC16 Punto de Control
  - Rios
  - Linea de Costa
  - Ciudades

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS ( ANH )

Interpretación Aeromagnetogravimétrica del Litoral Pacífico Colombiano

**BASAMENTO MAGNETICO**

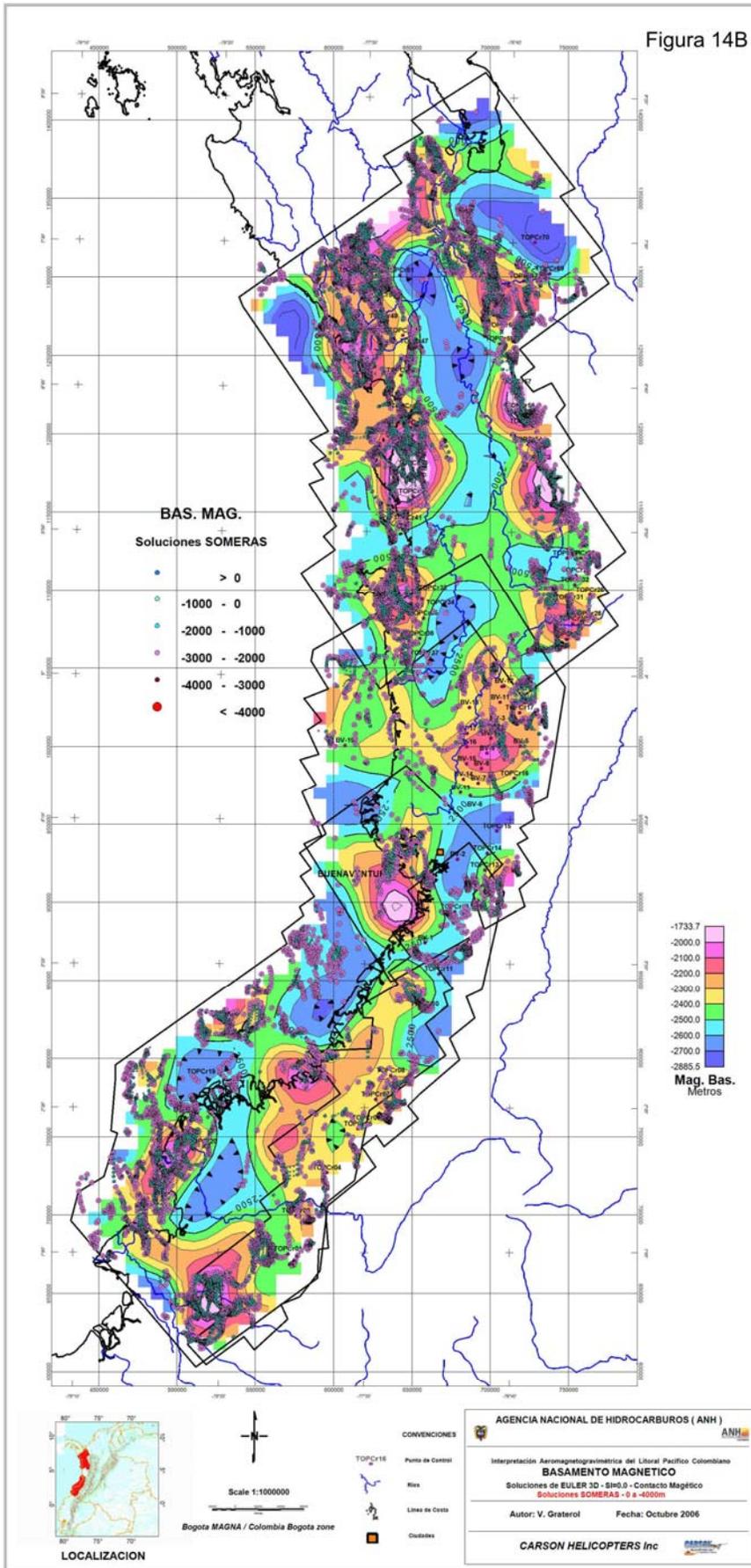
Soluciones de EULER 3D - 640.0 - Contacto Magnético

Soluciones PROFUNDAS -4000m a -12000m

Autor: V. Graterol Fecha: Octubre 2006

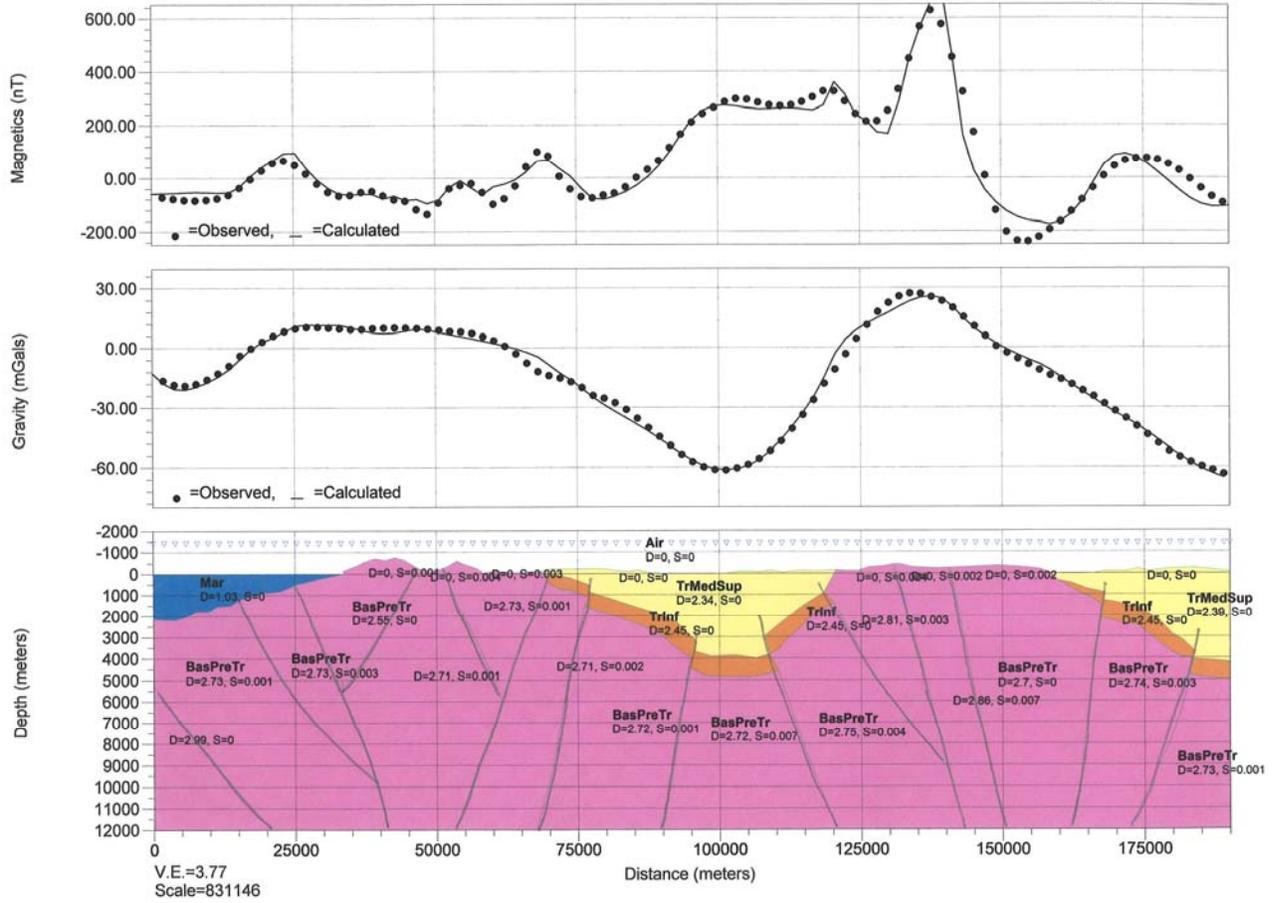
CARSON HELICOPTERS Inc

Figura 14B



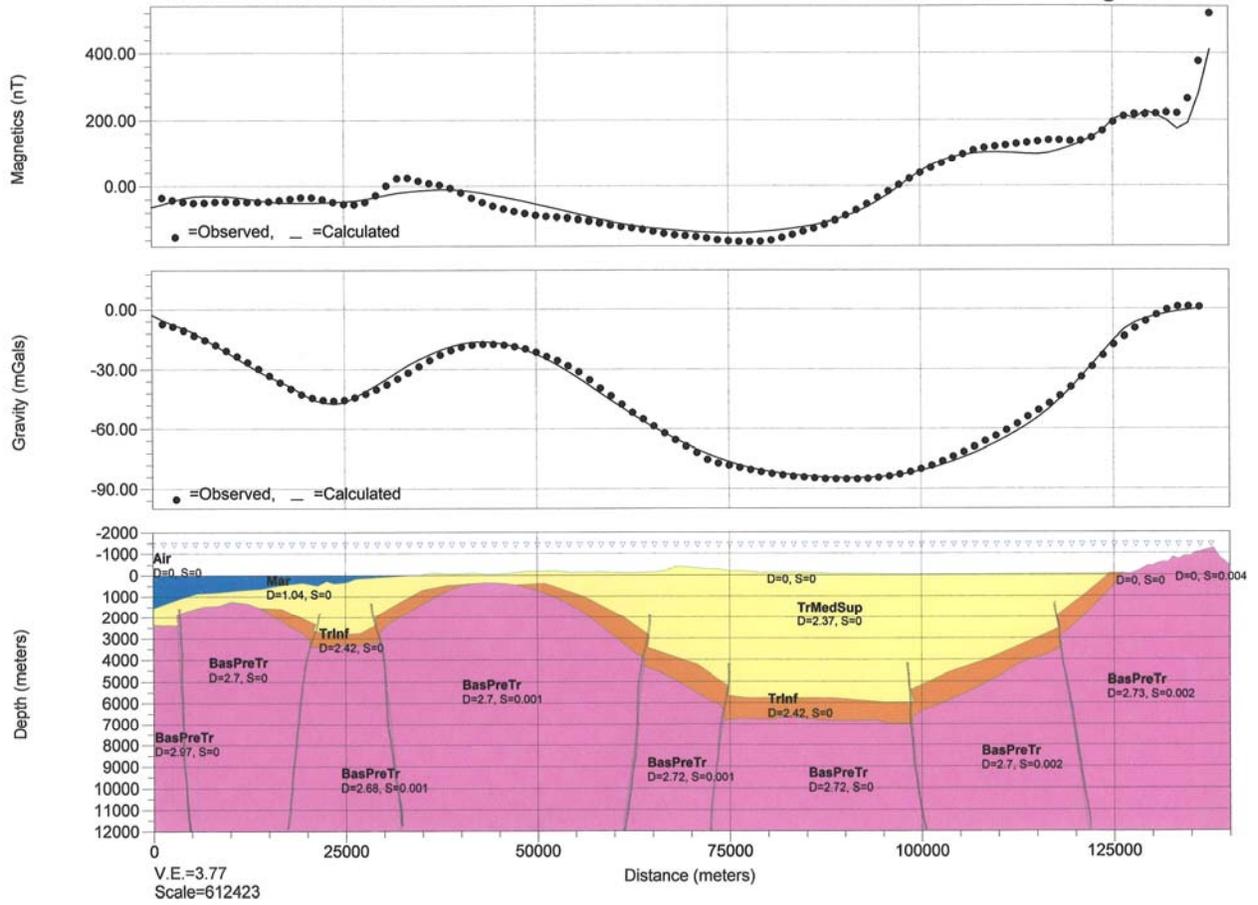
ANH - Litoral PACIFICO \*\* PERFIL 1

Figura 15



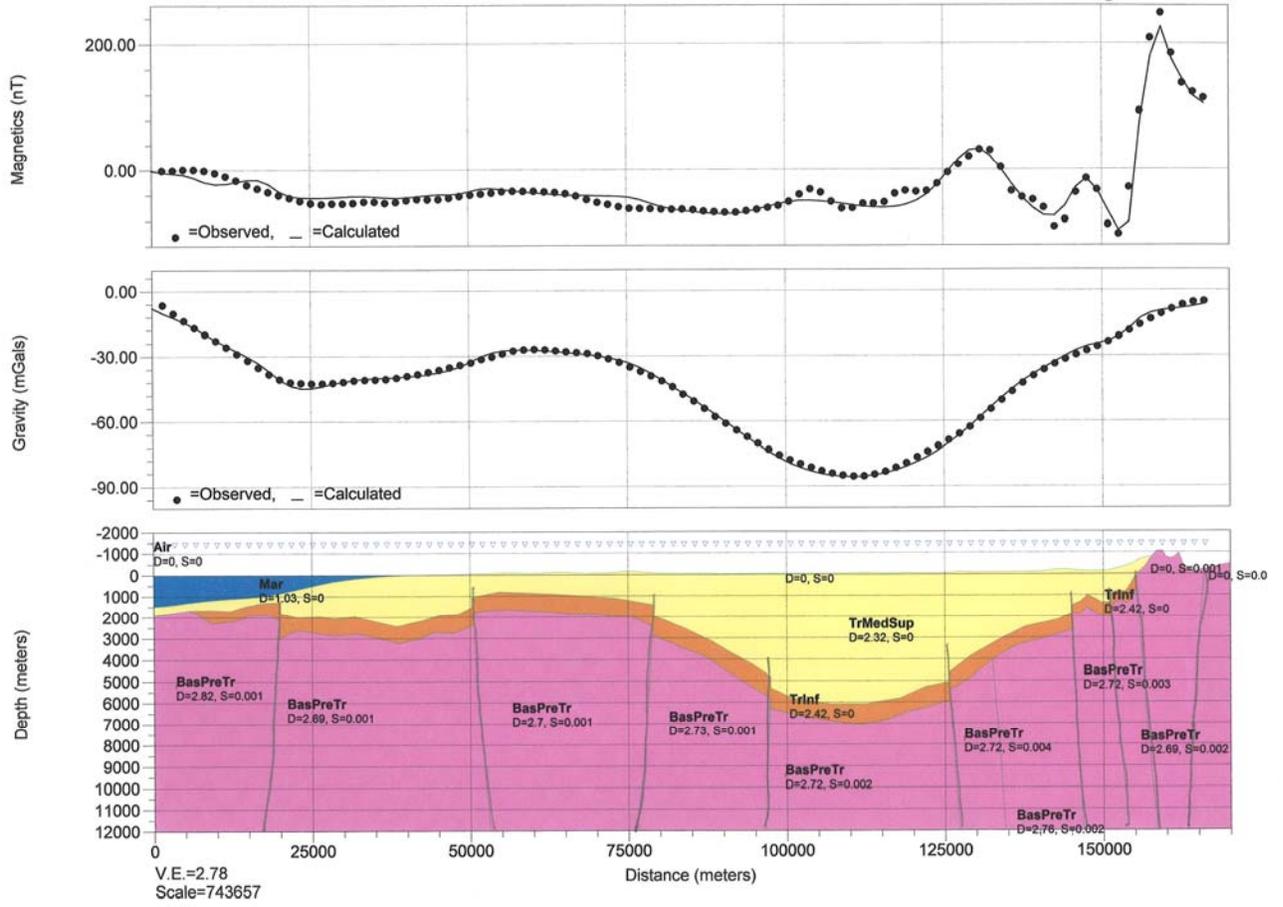
ANH - Litoral PACIFICO \*\* PERFIL 2

Figura 16



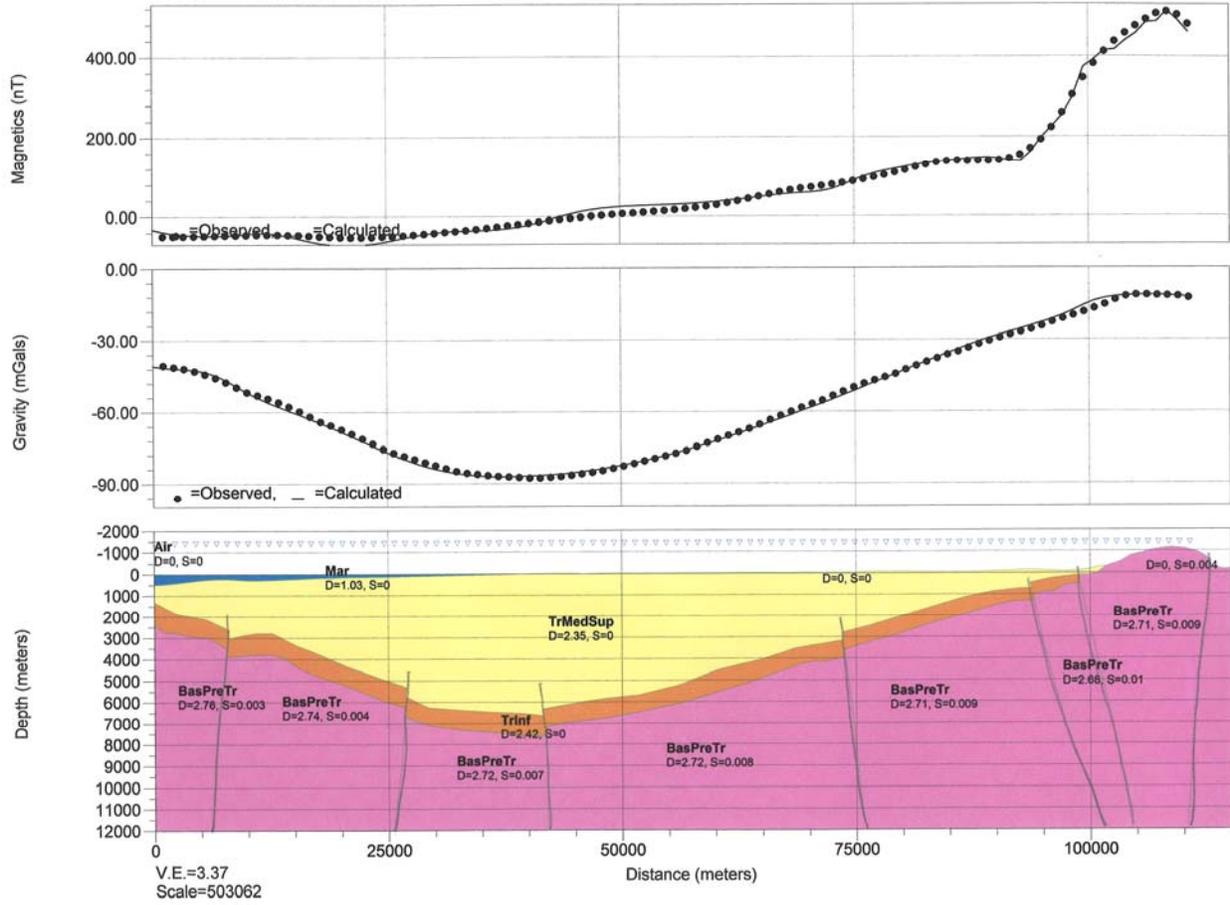
ANH - Litoral PACIFICO \*\* PERFIL 3

Figura 17



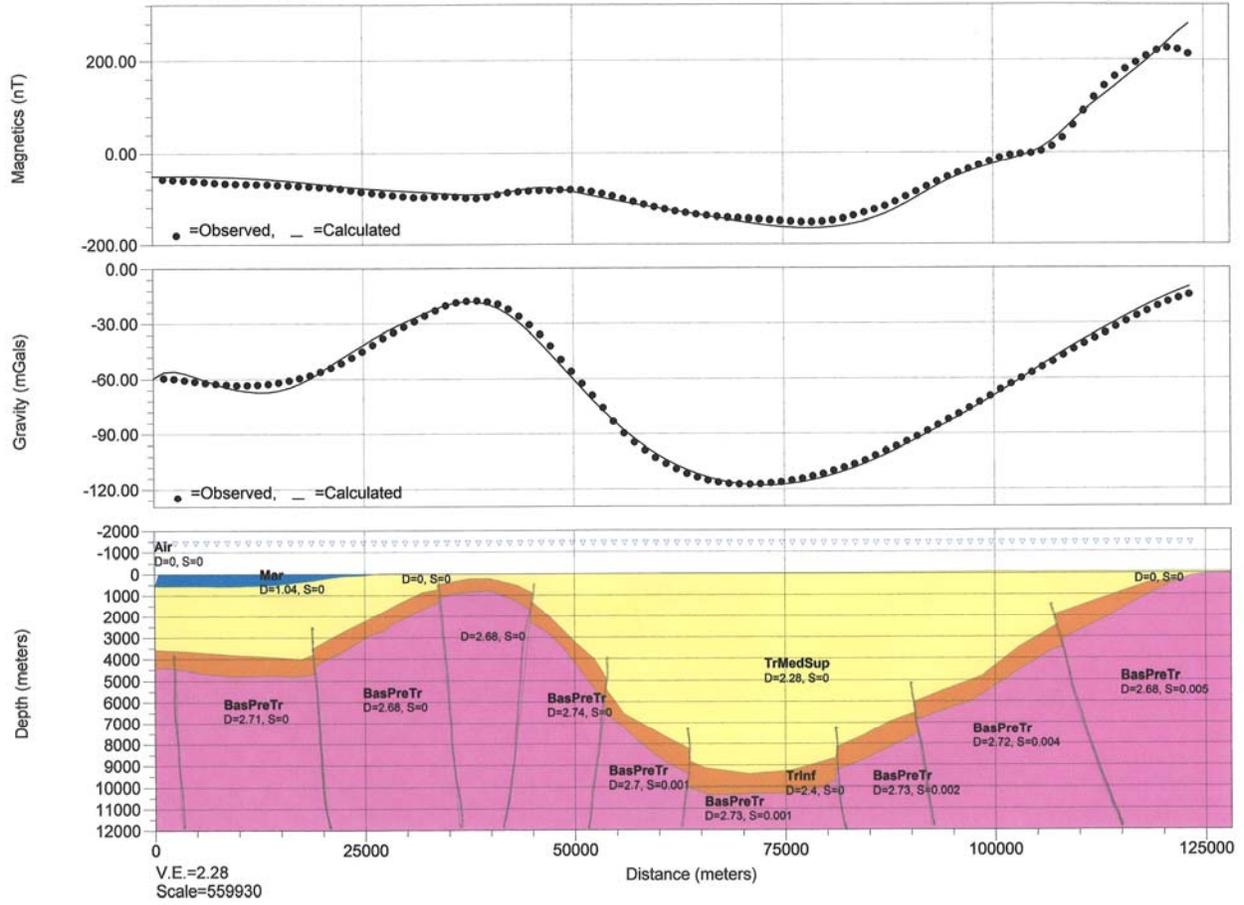
ANH - Litoral PACIFICO \*\* PERFIL 4

Figura 18



ANH - Litoral PACIFICO \*\* PERFIL 5

Figura 19



ANH - Litoral PACIFICO \*\* PERFIL 6

Figura 20

