

**LEVANTAMIENTO AEROGRAVIMETRICO Y AEROMAGNETICO**



**La Cordillera Oriental Sector de Soapaga y el Piedemonte de  
La Cordillera Oriental - Llanos Orientales, Colombia  
Contrato N° 035**

**Agosto 26, 2008 – Enero 20, 2009**

**Para**



**Informe Final de Interpretación**

**MAYO 2009**

**Elaborado por: Ing Víctor Graterol G**

Carson Helicopters, Inc./Aerogravity Division  
952 Blooming Glen Road  
Perkasie, Pennsylvania 18944 USA

# LEVANTAMIENTO AEROGRAVIMETRICO Y AEROMAGNETICO

---

## AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) LA CORDILLERA ORIENTAL SECTOR DE SOAPAGA Y EL PIEDEMONTE DE LA CORDILLERA ORIENTAL - LLANOS ORIENTALES, COLOMBIA

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>
<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>1</b>
<b>1.0 Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2.0 Descripción y Localización del Area del Levantamiento</b>	<b>4</b>
<b>3.0 Marco Geológico</b>	<b>4</b>
<b>4.0 Interpretación de los Datos Gravimétricos y Magnéticos</b>	<b>11</b>
4.1 Anomalía de Bouguer e Intensidad Magnética Total	12
4.2 Separación Regional-Residual	14
4.2.1 Residuos Matemáticos	15
4.2.2 Regional y Residual Controlado	15
4.3 Mapa de Interpretación Estructural	16
4.4 Resultados de la Magnetometría	17
4.5 Modelaje Gravimétrico-Magnético	17
<b>5.0 Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>18</b>
<b>Referencias</b>	<b>21</b>
<b>Anexo “A” (Puntos de Control)</b>	<b>22</b>

## LEVANTAMIENTO AEROGRAVIMETRICO Y AEROMAGNETICO

---

### AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) LA CORDILLERA ORIENTAL SECTOR DE SOAPAGA Y EL PIEDEMONTE DE LA CORDILLERA ORIENTAL - LLANOS ORIENTALES, COLOMBIA

#### LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localización y Relieve Topográfico
Figura 2A	Datos Gravimétricos Terrestres
Figura 2B	Datos Gravimétricos Aéreos
Figura 2C	Datos Gravimétricos Aéreos y Terrestres
Figura 2D	Datos Magnéticos Aéreos
Figura 3A	Anomalía de Bouguer (Datos Terrestres, $p=2.50$ g/cc)
Figura 3B	Anomalía de Bouguer (Datos Aéreos, $p=2.50$ g/cc)
Figura 3C	Anomalía de Bouguer (Datos Aéreos y Terrestres)
Figura 4A	Intensidad Magnética Total (IMT)
Figura 4B	Intensidad Magnética Total Reducida al POLO (IMTRP)
Figura 5	Bouguer RESIDUO POLINOMICO DE GRADO 3
Figura 6	Bouguer RESIDUO 1ra DERIVADA VERTICAL
Figura 7	IMTRP RESIDUO POLINOMICO DE GRADO 3
Figura 8	IMTRP con RESIDUO PASOBANDA 1Km-30Km
Figura 9	Bouguer Regional Controlado (Tope Bas. Pre-Cr. Ref.: 4500m sobre el NMM)
Figura 10	Bouguer Residual Controlado (Tope Bas. Pre-Cr. Ref.: 4500m sobre el NMM)
Figura 11	Tope Bas. Pre-Cr (Inversión 3D del Resd. Controlado) (Ref.: NMM)
Figura 12	Interpretación Estructural Tope del Basamento Pre-Cr
Figura 13	Línea 1 Modelaje Grav. Y Mag.
Figura 14	Línea 2 Modelaje Grav. Y Mag.
Figura 15	Línea 3 Modelaje Grav. Y Mag.
Figura 16	Línea 4 Modelaje Grav. Y Mag.
Figura 17	Línea 5 Modelaje Grav. Y Mag.
Figura 18	Línea 6 Modelaje Grav. Y Mag.
Figura 19	IMTRP Soluciones de EULER, $SI=0.0$ , Contacto Magnético.
Figura 20	IMTRP Soluciones de EULER, $SI=0.0$ (Solo las Profundas).

## Resumen Ejecutivo

Durante los meses de Agosto del 2008 a Enero del 2009 Carson Helicopters Inc. (Aerogravity División) realizó la adquisición y procesamiento de un levantamiento Aerogravimétrico y Aeromagnético sobre una porción de la Cordillera Oriental de Colombia (Sector Soapaga, Pie de Monte y Llanos Orientales) para la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Un avión turbo DeHavilland Twin Otter realizó la adquisición de aproximadamente 10305.1 y 12794.3 kilómetros de datos aerogravimétricos y aeromagnéticos respectivamente. Los datos geofísicos se adquirieron, respectivamente, a una altura de 5185.0 metros sobre el nivel del mar. Esta información diariamente se analizó y procesó para su control de calidad y aprobación final en las instalaciones de Carson en Perkasi, PA, USA.

El Dr. Víctor Graterol analizó los trabajos de procesamiento e interpretó los datos finales gravimétricos y magnéticos. La interpretación incluyó el mallado de los datos con espaciado de los puntos de la grilla cada 1000 metros y tuvo como principal objetivo elaborar el mapa del tope estructural del Basamento Pre-Cretácico (Paleozoico y/o ígneo-metamórfico Precámbrico). Aunque se emplearon filtros matemáticos, la principal fase de filtrado se realizó con estricto Control Geológico aportado por la ANH, Hocol y Nexen Colombia (profundidades al tope de la interfase señalada provenientes de mapas geológicos de superficie, pozos e interpretación sísmica 2D). Adicionalmente y para obtener control regional, los datos Gravimétricos terrestres existentes, provenientes de la Base de Datos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos y levantamientos aerotransportados previos, se incorporaron al levantamiento aerotransportado para obtener el cubrimiento conveniente para la interpretación.

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 modelaje gravimétrico-magnético y la inversión gravimétrica 3D del tope del Basamento Pre-Cretácico, al honrar las profundidades de los puntos de control, demuestra que el procedimiento de separación regional-residual controlado trabajo adecuadamente en esta zona de gran extensión de Colombia.

Se presenta, en el mapa de interpretación estructural del tope del Basamento Precretácico, los altos y bajos estructurales, fallas, tendencias y otros elementos de interés en la exploración de hidrocarburos. Se nota claramente como la deformación estructural de las inversiones tectónicas que han ocurrido desde el Terciario Tardío, han originado tres grandes sub-cuencas en esta parte de Colombia. De occidente a Oriente las dos primeras, a pesar de encontrarnos en las mayores elevaciones de la Cordillera Oriental, se observan claramente (Valle Medio del Magdalena y Muisca). Muisca es sumamente profunda en las cercanías de la Meseta de Bogotá, donde las secuencias Cretácicas-Paleozoicas pueden poseer entre los 8500 metros a 10500 metros de espesor. La sub-cuenca se hace muy somera en dirección noreste, tanto en sentido longitudinal, como en sus extremos laterales donde el basamento Precretácico aflora. La geomorfología de la Sub-cuenca Muisca sugiere que el "rift" original se rellenó de sedimentos Cretácico-Paleozoico, formando una estructura de "rifting", cuyo eje se hace somero hacia el noreste; sin embargo, la interpretación estructural muestra que debido al emplazamiento de la cordillera, las fallas normales no solo fueron invertidas, sino que la intensa actividad tectónica hizo aflorar el basamento. Fallamiento de dirección noroeste a este-oeste, que inclusive afectó el pie de monte llanero, desplaza localmente al eje del "rifting". Este tectonismo del Terciario Tardío ha dividido en compartimientos la sub-cuenca, formando altos y bajos estructurales. Muisca está separada del surco sub-andino por el flanco oriental y el Pie de Monte de la Cordillera Oriental, donde rocas Paleozoicas afloran. El espesor de las unidades Post-Paleozoicas al este de la Cordillera Oriental alcanza valores de 6500 metros a 7000 metros. Estos valores van disminuyendo progresivamente a medida que nos alejamos del Pie de Monte y entramos en el "foreland" del surco sub-andino.

Al oeste de Muisca y con orientación norte sur, se observa la otra sub-cuenca, notándose también espesores considerables de secuencias principalmente Cretácicas y muy posiblemente Paleozoicas.

Esta interpretación deja ver claramente y sustenta que originalmente estas tres sub-cuencas eran originalmente una sola, formada posiblemente por “rifting” en el Paleozoico Temprano. Rellenada posteriormente por secuencias Paleozoicas, Jurasicas y Cretácicas, constituyendo esta última, la principal cocina de los hidrocarburos que se explotan actualmente. Los procesos tectónicos del Terciario Tardío que no solo invirtieron las principales fallas normales, sino que levantaron la Cordillera Oriental, dividieron la cuenca principal en las tres como las conocemos actualmente.

Los altos estructurales del basamento que han podido generar trampas en las secuencias Cretácicas y Terciarias suprayacentes, los gradientes estructurales donde se encuentran las fallas invertidas y las fallas normales en el “foreland” del sub-andino constituyen los objetivos exploratorios en esta parte de Colombia.

En el extremo nororiental del Bloque Muisca, la sub-cuenca termina abruptamente contra un salto estructural de orientación este-oeste. Este salto estructural corresponde a una zona de fallas que hace aflorar el Basamento Precretácico, formando los Macizos de Cocuy y Santander (Cobardes-Arcabuco-Floresta). A todo lo largo del Surco Sub-Andino (Este del Pie de Monte, este y norte del Macizo del Cocuy), se observa como el sub-andino en si mismo consta de compartimientos donde los espesores de las secuencias Cretácicas-Paleozoicas alcanzan hasta los 5500 metros a 6500 metros de profundidad. El modelaje gravimétrico-magnético sustenta que en el Piedemonte desde la Cuenca de los Llanos hasta los afloramientos del basamento en la Cordillera Oriental y a ambos lados de la Sub-cuenca Muisca, es posible modelar la existencia de fallas inversas de ángulo bajo a medio donde no solo pueden existir repeticiones estratigráficas, sino formarse cierres anticlinales con entrapamiento de hidrocarburos.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)  
LA CORDILLERA ORIENTAL SECTOR DE SOAPAGA Y EL PIEDEMONTE DE  
LA CORDILLERA ORIENTAL - LLANOS ORIENTALES, COLOMBIA

## 1.0 Introducción

En este informe se presenta la interpretación gravimétrica y magnética de la Cordillera Oriental de Colombia, Sector de Soapaga-Pie de Monte-Porción de los Llanos Orientales. La interpretación se concentró en la definición del tope estructural del Basamento Precretácico, buscando definir altos estructurales que pudiesen entrapar hidrocarburos en las facies arenosas de las unidades Cretácicas y Terciarias suprayacentes de las Formaciones Guadalupe y Carbonera.

**Los propósitos fundamentales de esta interpretación fueron los siguientes:**

- Definir en una forma rápida, (utilizando la información gravimétrica y magnética, integrada con los datos de pozos y sísmica existentes), el TOPE ESTRUCTURAL del Basamento Pre-Cretácico;
- Elaborar el Mapa de Interpretación Estructural de la interfase señalada, 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;

La región cubierta por este levantamiento ha sido objeto de exploración y de producción petrolera por muchos años. Se han realizado trabajos terrestres de gravimetría y sísmica 2D y pequeños medianos y grandes descubrimientos de aceite.

Los contrastes de densidad y susceptibilidad magnética en la interfase Cretácica Media y tope del Basamento Pre-Cretácico, producen anomalías gravimétricas y magnéticas RESIDUALES. Por este motivo el análisis cualitativo y cuantitativo de los datos potenciales integrados con la sísmica y pozos existentes constituye el paso ideal inicial para tratar de resolver el problema propuesto.

## 2.0 Descripción y Localización del Area del Levantamiento

El área de interpretación se concentra en el contexto de cinturón plegado de la Cordillera Oriental de Colombia, posee un relieve relativamente regular en su extremo sur (Planicie de Bogotá), complicándose a medida que nos trasladamos al nor-oriental. A ambos bordes (nor-occidente y sur-oriental) del área volada es donde ocurren las mayores alturas de la cordillera. Aunque el acceso terrestre no es tan complicado el relieve irregular hace muy difícil la exploración terrestre. Este factor justifica el empleo de métodos de exploración aerotransportados. La **Figura 1** muestra la localización y el relieve topográfico de la zona de interpretación, incluyendo las áreas circundantes. La zona a interpretar yace entre las Latitudes Norte Geográficas de 03 grados 25 minutos a 07 grados 35 minutos y Longitudes Oeste Geográficas de 71 grados 25 minutos a 75 grados 00 minutos.

## 3.0 Marco Geológico

El conocimiento del origen y formación de la Cordillera Oriental constituye uno de los retos más fascinantes de la Geología de Colombia. La historia de su inicio es compleja, registrándose un evento metamórfico a mediados del Proterozoico. Finalizando ésta era hay intrusiones ácidas y eventos tectónicos – termales. A comienzos del Paleozoico es probable que la plataforma del cratón haya sufrido un leve hundimiento vertical, definiéndose una cuenca sedimentaria que alberga la invasión marina con nuevos sedimentos. Apoyándose en la teoría de la Deriva Continental, entre los períodos Triásico y Jurásico los continentes que conforman la Pangea migran notoriamente. Para este tiempo, en la región cordillerana ocurre una sedimentación calcárea con intrusiones, volcanismos y sedimentación volcanoclástica.

Luego de 65 millones de años de deriva (finales del Jurásico), los océanos Atlántico Norte e Indico se desarrollan notablemente, y se define la depresión entre Sur América y África (Wilson, 1963). La situación Cretácea en la zona puede estar precedida de movimiento verticales (entre el Paleozoico y el Mesozoico) (Radelli, 1967, Etayo-Serna et al., 1976) del borde continental. Esto favorece el ingreso del mar al continente, a partir de un punto central (lo que actualmente es Cundinamarca) (Burgl, 1961) en diferentes direcciones (abanico).

Para el Cretáceo, la zona del Macizo de Garzón esta emergida parcialmente y la región de La Macarena deprimida. El avance del mar fue continuo llegando hasta La Macarena, sectores aislados de la protocordillera Oriental y las cuencas Llaneras y Amazónica, donde se depositaron sedimentitas de origen marino. Siguiendo con la Deriva Continental, a finales del Cretáceo el Océano Atlántico Sur se había ensanchando dando lugar a un gran océano (Wilson, Op. Cit.). El piso oceánico que separa a Sur América de África está bastante amplio y se plantea la existencia de una gran fosa norte-sur en el océano Pacífico que separa a América de Asia y Australia. Entre el Mioceno Medio y el Plioceno la Cordillera Oriental comienza su levantamiento final; evento que termina por anular el sistema fluvial de origen amazónico, cerrando el portal de Guayaquil. Entre el Plioceno y el Cuaternario se forma un nuevo sistema fluvial de origen andino; a partir de este momento domina la sedimentación andinense en las cuencas del Putumayo – Amazonas. En la cuenca de La Macarena se produjo una sedimentación continental fluvial, coluvio-aluvial y diluvial, en sentido Oeste-Este, con aportes de la Cordillera Oriental (Van der Hammen, 1952).

En el Cuaternario predominan los ambientes de depositación fluvial para todas las regiones. La Sedimentación eólica se presenta en un sector de la Cuenca Llanera y la sedimentación volcánica y

fluvio-volcánica en la Cordillera Oriental y una parte del piedemonte. En este período es muy probable la ocurrencia de movimientos tectónicos que afectan los depósitos más jóvenes.

**Estratigrafía.-** Las Figuras A y B muestran la Columna Estratigrafica que puede aplicarse a la zona de interpredtacion.

SISTEMA	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	SM-SOLO	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
TERCIARIO	CUATERNARIO	Q11 Q12		Depósitos aluviales, glaciares y fluvio-glaciares. Terrazas y abanicos aluviales.	
				Alternancia de lodolitas grises, meteadas y areniscas arcillosas, con intercalaciones de capas de carbón. Espesor: 375 - 500 m.	
	PALEOCENO	FM. CARBONERA	2 R		Areniscas blancas, finas a conglomeráticas, con lodolitas hacia la parte media. Espesor: 210 - 335 m.
		FM. MIRADOR			Lodolitas grises carbonosas, con intercalaciones de areniscas arcillosas y capas de carbón económicamente explotables. Espesor: 265 - 420 m.
		FM. LOS CUERVOS			Areniscas cuarzosas, localmente arcillosas, con intercalaciones de lodolitas y delgadas capas de carbón. Espesor: 150 - 275 m.
		FM. BARCO			Lodolitas grises oscuras, nodulares y lentes de areniscas arcillosas. En la parte superior capas de carbón. Espesor: 100 - 210 m.
		FM. CATATUMBO			3 R
	FM. COLON-MITO JUAN	Calizas fosilíferas, en capas delgadas, lodolitas calcáreas, con concreciones calcáreas, chert y rocas fosfóricas. Espesor: 100 - 250 m.			
	CRETACICO	SUPERIOR	3 R		Lodolitas grises a negras, con algunas intercalaciones de calizas fosilíferas, areniscas y limolitas. Espesor: 175 - 435 m.
					FM. CAPACHO
INFERIOR		2 R		Alternancia de calizas grises, lodolitas y areniscas glauconíticas, localmente calcáreas. Espesor: 600 - 800 m.	
				FM. AGUARDIENTE	Areniscas y conglomerados, con guijos de cuarzo. Espesor: 40 - 80 m.
				FM. TIBU-MERCEDES	Areniscas y lodolitas rojas, localmente conglomeradas. Espesor: 200 - 500 m.
FM. SO NEGRO					
CUATERNARIO	FM. GIRÓN	JR			

Figura A COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA TOMADO DE MEMORIA MAPA GEOLÓGICO DE SANTANDER INGEOMINAS 2001

SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRAFICA	SIMBOLO	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
						GRUPO
TERTIARIO	MIOCENO	GRUPO MESA	Tq		Terrazas y aluviones. Gravas, arenas y conglomerados. Espesor: 300 - 645 m.	
		GRUPO REAL	Trp		Discontinuidad estratigráfica (?). Areniscas, lodolitas y conglomerados. Espesor: 600 - 700 m.	
	OLIGOCENO	GRUPO CHUSPES	FM. COLORADO	Tom		Discontinuidad estratigráfica (?). Lodolitas rojas y areniscas conglomeráticas. Espesor: 885 - 1280 m.
			FM. MUGROSA	Teo		Lodolitas y capas delgadas de areniscas. Espesor: 550 - 850 m.
		FM. ESMERALDA	Tpe		Areniscas, lodolitas y capas delgadas de carbón. Espesor: 190 - 575 m.	
	FM. LA PAZ			Areniscas conglomeráticas con estratificación cruzada. Espesor: 240 - 800 m.		
	PALEOCENO	FM. LISIANA			Lodolitas areniscas y capas delgadas de carbón. Espesor: 300 - 950 m.	
	CRETACICO	SUPERIOR	FM. UMIR	183		Lodolitas con concreciones ferruginosas y capas explotables de carbón. Espesor: 500 - 1.400 m.
			FM. LA LUNA	Kulc		Calizas, lodolitas calcáreas, concreciones calcáreas y rocas fosfóricas. Espesor: 280 - 680 m.
		INFERIOR	FM. SINITI	204		Lodolitas principalmente, areniscas y calizas en menor proporción. Espesor: 260 - 880 m.
FM. TABELAZO			161		Calizas y lodolitas calcáreas. Espesor: 240 - 835 m.	
FM. PAJA					Lodolitas y areniscas. Espesor: 190 - 625 m.	
FM. ROSA BLANCA					Calizas, lodolitas y areniscas. Espesor: 290 - 460 m.	
FM. CUMBRE			Areniscas gris verdosas, cuarzosas, de grano fino, localmente lodosas, con intercalaciones de limolitas, arenolitas y lodolitas de color gris, negro y rojizo, piritosas. Espesor: 25 - 100 m.			
FM. LOS SANTOS						
JURASICO	SUPERIOR	FM. GIRONI	36		Areniscas cuarzosas oílicas, localmente conglomeráticas y lodolitas pardo rojizas. Espesor: 160 - 660 m. Alternancia de areniscas y lodolitas gris amarillentas a pardo rojizas, localmente niveles conglomeráticos, pardo rojizos, masivos y lenticulares. Espesor: 3.000 - 4.500 m.	

**Figura B. COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DE LA CUENCA DEL CATATUMBO TOMADO DE MEMORIA MAPA GEOLÓGICO DE SANTANDER INGEOMINAS 2001**

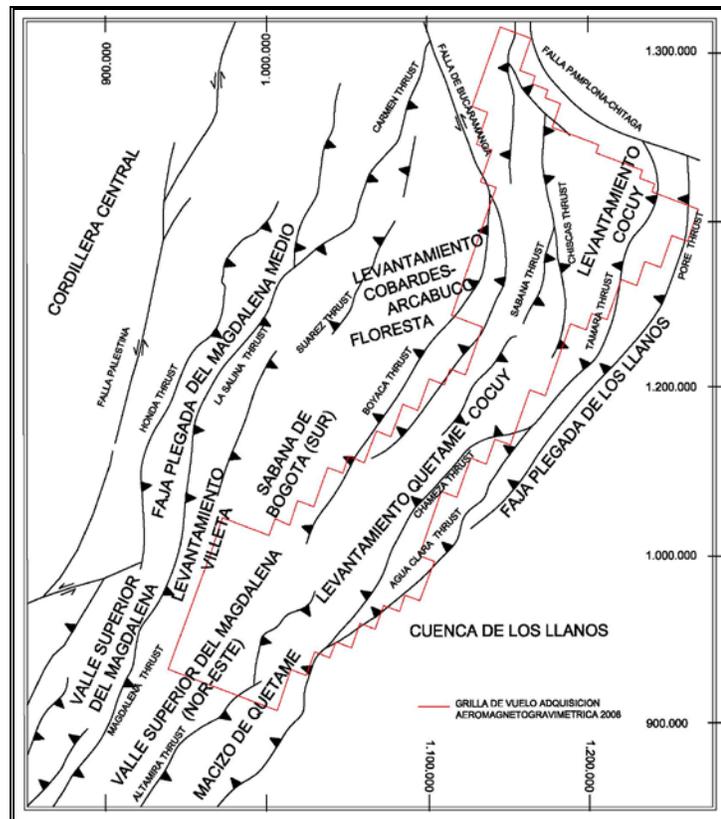
La estratigrafía regional al norte y noreste de la Sabana de Bogotá se caracteriza por una secuencia de shales y calizas, de más de 250 metros de espesor, ricos en materia orgánica, yeso y sal denominados Grupo Villeta, pertenecientes al Cretácico Superior (Cenomaniano – Turoniano). Esta secuencia, grada hacia el tope a conjuntos de areniscas, limonitas silíceas, areniscas de grano fino

hasta grueso, de colores crema, amarillo hasta rojizo, de más de 500 metros de espesor conocida como Grupo Guadalupe (Coniaciano - Maastrichtiano medio). Estos dos grupos representan una sedimentación marina regresiva de plataforma pericratónico, durante un estado de nivel marino alto (High stand system track).

Una unidad de arcillolitas grises rojizas, ricas en carbón, que gradan a arenitas y arcillolitas de color rojizo, con espesores que oscilan entre 250 metros hasta 1000 metros de espesor, conocida como Formación Guaduas (Maastrichtiano – Paleoceno inferior), cubre en forma paraconforme hasta discordante a los grupos Guadalupe y Villeta. Esta unidad representa el primer evento de sedimentación transicional a continental de finales del Cretácico y principios del Cenozoico en la región.

Unidades de arenitas cuarzo feldespáticas, ínter digitadas con arcillolitas rojizas, carmelitas y grises, conocidas como formaciones Cacho, Regadera, Bogotá y Tilita, cubren las rocas del Mesozoico en forma paraconforme hasta discordante. El espesor de esta secuencia alcanza en su conjunto los 1500 metros y representa el estado de llenado de una cuenca ínter montaña durante las fases iniciales y tardías del levantamiento de la Cordillera Oriental.

**Geología Estructural.-** Desde la falla de Bucaramanga y la Falla de Chita – Pamplona en el norte hasta la región de Natagaima en el Valle Superior del Magdalena al sur, dentro de la Cordillera Oriental se incluyen siete zonas estructurales definidas en base a su sistema interno deformacional y por el grado de exposición estructural (**Figura C**).

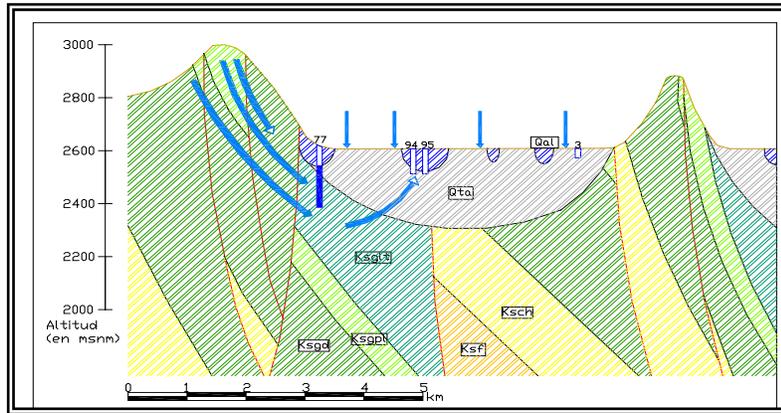


**Figura C:** Zonas estructurales de la Cordillera Oriental. Modificado de ESRI 1994

**Faja Plegada de los Llanos** corresponde con una típica faja plegada asociada a una cuenca Foreland, separando el basamento emergido de la cordillera Oriental al oeste de la cuenca Foreland de los Llanos Orientales al oriente. Esta zona estructural ha sido interpretada como un sistema estructural <Thin-skinned> subyacida por un cuerpo basal fallado localizado en medio de la cobertura sedimentaria del Cretácico y el Terciario, debajo de la cual el basamento Pre-Cretáceo sufrió un bajo grado de deformación compresional. La geometría estructural general de la Faja Plegada de los Llanos corresponde a una cuenca sedimentaria de tipo Piggy – back

**El Macizo de Quetame y La Serranía del Cocuy** corresponden a núcleos de basamento emergidos por los sistemas de cabalgamiento Servita – Chamela – Tamara al este, y al oeste por el sistema de cabalgamientos Altamira y Chiscas. A lo largo de la mayor parte de esta zona estructural la interpretación a gran escala sigue siendo asociada a un sistema de “Pop – Up block”. El sistema de cabalgamientos Servita – Chamela – Tamara ha sido interpretado como un sistema de fallas normales Jurásico Inferior – Cretácico el cual fue afectado por la inversión tectónica desde el Mioceno Medio. El desplazamiento de las fallas normales a lo largo del sistema Servita – Chamela – Tamara fue del orden de 5 a 8 kilómetros y el levantamiento del basamento a través del mismo sistema de fallas durante el desarrollo de la Cordillera Oriental fue del orden de 10 a 20 kilómetros. El sistema de fallas inversas a lo largo del sistema de cabalgamiento Servita – Chamela – Tamara y del surgimiento del basamento en el Macizo de Quetame y la Serranía del Cocuy es asociado a un mecanismo generado detrás de la deformación “Thin-skinned” y de la Faja Plegada de los Llanos Orientales de tal forma que han sido nombrados como una pareja (o Asociación) de sistemas estructurales.

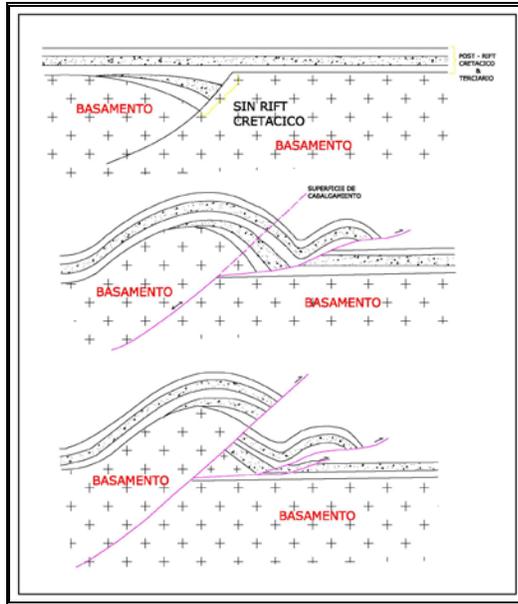
**La Sabana de Bogotá** (Incluye la zona de transición estructural al norte y sur) corresponde con un sillín estructural elongado en dirección noreste – suroeste, separada al norte de la Serranía del Cocuy por el Macizo de Floresta y al sur separada del Levantamiento Quetame - Cocuy y por los anticlinales de Arcabuco, Portones, Murca, Topaipi y Villeta. Al norte de la sabana de Bogotá cerca al municipio de Pesca se ha interpretado como un triángulo de complejidad estructural que deforma la cobertura sedimentaria, correspondiente a la influencia de las dos vergentes estructurales de fallamiento del basamento al este y oeste. Al sur desde Bogotá hasta Tunja se encuentra una amplia zona caracterizada por una serie de sinclinales amplios, separados por anticlinales elongados y ajustados. Los amplios anticlinales y sinclinales (**Figura D.**) han demostrado estar subyacidos por las fallas de cabalgamiento que se encuentran por debajo de la Formación Une, interpretados por un rápido levantamiento en la superficie de erosión dentro de la Lutitas del Macanal. Generalmente los anticlinales asimétricos y ajustados son subyacidos por superficies de despegue dentro de la Formación Chipaque, frente a la deformación de las más profundas fallas de cabalgamiento.



**Figura D.** Corte geológico Cuenca del río Chicú. Modificado de el trabajo Técnicas isotópicas en aguas subterráneas y su potencial aplicación en Colombia. (Inicia (X 1033350, Y 990750) y finaliza en (X 1026300, Y 1000000))

La presencia de sal expuesta en los núcleos de los anticlinales ajustados, en la región de Zipaquirá; Cretácico Inferior, pertenecen al estilo estructural más complicado del sur de la Sabana de Bogotá. La zona de transición en la Sabana de Bogotá ubicada entre Duitama y Tunja está caracterizada por la presencia de escamamientos del basamento gracias a fallas de cabalgamiento que se encuentran en profundidad bajo el Anticlinal de Arcabuco y el Sinclinal de Tunja. Estas superficies de cabalgamiento son de bajo ángulo y se encuentran en medio de la cobertura de los sedimentos Cretácicos. Toda la Sabana de Bogotá está contenida sobre un bloque de basamento fallado, sin embargo las superficies de despegue dentro de las lutitas del Macanal son explicadas por un sistema estructural completo de despegues entre el basamento y los sedimentos Pre-Cretácicos y entre el Cretácico y la cobertura sedimentaria Terciaria.

**El noreste del Valle Superior del Magdalena** es una zona estructural separada por el macizo de Quetame – Garzón al este, y por la zona triangulo del Magdalena Medio al oeste, y corresponde con una prolongación hacia el sur de los dos sistemas de cabalgamiento sabana de Bogotá y Anticlinal Villeta – Bituima. Los excelentes datos sísmicos muestran un salto del basamento por fallas de cabalgamiento en el llamado Thrust de Colombia. Este cabalgamiento genera un desplazamiento entre la parte inferior y media del despegue del basamento, claramente medido entre el anticlinal formado en el bloque colgante y el sinclinal generado en el bloque yacente en el Sinclinal de Colombia. El Thrust de Colombia corresponde con un cabalgamiento de bajo ángulo dentro de la delgada cobertura sedimentaria del Cretácico y en su parte final se comporta como una serie de fallas imbricadas que finalizan antes de la superficie de erosión. La vinculación del levantamiento del basamento y la cobertura sobre la zona de despegue se asume por una analogía estructural de toda la Cordillera Oriental. Este estilo estructural de inclusión del basamento dentro del levantamiento del mismo está muy bien definido en la profundidad de la Sabana de Bogotá (**Figura E**).



**Figura E.** Diagrama esquemático de la evolución de los levantamientos del basamento y del sistema “Thin –skinned”. Modificado de ESRI 1994

**El levantamiento Cobardes-Arcabuco Floresta** corresponde con una zona de exposición de rocas principalmente del basamento Pre-Cretácico y Cretácico inferior. Esta región corresponde con un bloque estructural de tipo “Pop-up” y una zona de triangulo del basamento limitado por fallas de alto ángulo, las cuales aparecen como acomodadas por pequeñas cantidades de desplazamiento. Por lo menos una parte de estas fallas incluyendo el Thrust de Boyacá corresponden con la inversión de fallas normales. Esta zona estructural de hundimiento del sur de la Sabana de Bogotá se entiende al compararse con la deformación de la parte inferior de Bogotá.

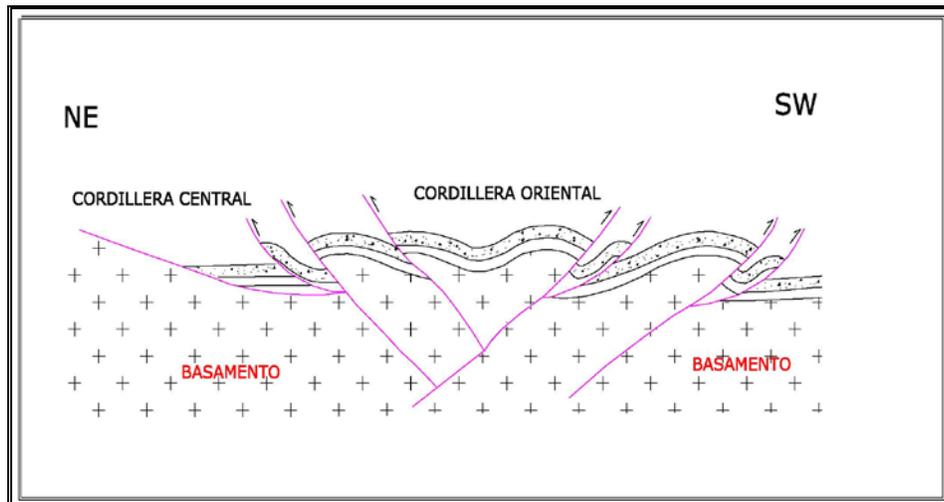
**El levantamiento en el Anticlinal Villeta –Portones**, que se encuentra a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Oriental, corresponde con un levantamiento del basamento a lo largo de una falla de cabalgamiento. Se explica como la interpretación de escamamientos del basamento a lo largo de fallas de cabalgamiento de alto ángulo del sistema Bituima-Viani - La Salina. Así como el sistema de cabalgamiento Servita-Chameza-Tamara al este de la Cordillera Oriental, el sistema de cabalgamiento Bituima-Vainai - La Salina se presenta de igual manera como un sistema de Fallas Inversas. Los levantamientos del basamento a lo largo del Anticlinal de Villeta, Murcia, Topaipí y Portones se generaron como un mecanismo desarrollado detrás de la faja plegada y cabalgada del Valle del Magdalena Medio.

**La faja Plegada y Cabalgada correspondiente con la vergente del Magdalena Medio**, predominantemente es una zona estructural de tipo “Thin – Skinned” que separa los levantamientos del basamento de la Cordillera Oriental al este y del Valle Intermotañoso del Magdalena Medio al oeste. En la porción sur esta Faja Plegada y Cabalgada esta subyacente por la superficie de despegue que tiene como base los sedimentos Cretácicos y sobre la cual se encuentra la cobertura sedimentaria del Terciario, sin embargo en la parte más norte de este sistema estructural se encuentra la exposición del cabalgamiento emergente del basamento Infantas que es conocido como una estructura raíz del basamento. Al examinar las líneas sísmicas en el Valle Medio del Magdalena se

observa que la estructura de tipo “Thin – Skinned” se encuentra presente en las dos márgenes este y oeste de la vergente compresional deformada por debajo de los sedimentos Pre-Cretácicos.

El modelo estructural tectónico de origen y evolución de la Cordillera oriental ha sido propuesto como orogenia desarrollada dentro de una cuenca intracontinental. En este modelo toda la deformación de la cobertura sedimentaria en la Cordillera Oriental ha sido designada como un sistema de cabalgamiento de raíz del basamento subyaciendo (**Figura F.**) la Cordillera Oriental. Muchos de estos cabalgamientos fueron originados durante el Jurásico – Cretácico Inferior como fallas normales que se reactivaron como cabalgamientos durante los recientes eventos compresionales del Mioceno. De acuerdo con la interpretación de secciones balanceadas se interpreta la geometría de la cuenca incluyendo los principales sistemas de fallas que la limitan, como el paso de un periodo pre-compresional Jurásico que pasa a un sistema de deformación extensional durante el Cretácico Inferior.

Concentrándonos en la Sabana de Bogotá que constituye el corazón de la zona de interpretación, podemos resumir tres grandes cinturones deformados, con rumbo general NE – SW. Son en general cinturones de plegamientos (Subachoque, Río Frío, Checua - Lenguazaque, Sisga) y cabalgamientos, cuyo nivel de despegue parece corresponder con las unidades arcillosas del Turoniano. Diapiros de sal y lodo son frecuentes en la región (Zipaquira, Nemocon, Neusa), algunos utilizando los ejes de las estructuras anticlinales y fallas para llegar a superficie. Algunos lineamientos de orientación NW – SE afectan los cinturones deformados perpendicularmente.



**Figura F.** Una Fase del Modelo de Evolución Tectónica de la Cordillera Oriental. Modificado de ESRI 1994

#### 4.0 Interpretación de Los Datos Gravimétricos y Magnéticos

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, es decir, el 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 de mayor densidad que las rocas que las suprayacen. 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 observadas 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 la manera en que las rocas y formaciones se distribuyen en el área ocupada por el levantamiento; puede 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 Geológicos, y haciendo que las soluciones potenciales respeten estos controles, se obtienen soluciones más apropiadas y ajustadas a la realidad. Este tipo de interpretación se conoce como **interpretación cuantitativa**.

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

Las **Figuras 2A, 2B, y 2C** muestran respectivamente el cubrimiento gravimétrico terrestre, aéreo y el total (aéreo y terrestre). Las **Figuras 3A, 3B y 3C** muestran respectivamente, para una densidad de 2.50 g/cc, la Anomalía de Bouguer empleando solamente los datos terrestres existentes, la Anomalía de Bouguer utilizando solo los datos aéreos y la integración de los datos terrestres y aéreos. La **Figura 2D** muestra el cubrimiento magnético aéreo existente y las **Figuras 4A y 4B** corresponden a la Intensidad Magnética Total (IMT) y la Intensidad Magnética Total Reducida al Polo (IMTRP).

La unión de los datos Gravimétricos aéreos y terrestres permite observar una mejor correlación de la gravimetría con el conocimiento geológico-estructural regional existente. Analizando el mapa de Anomalía de Bouguer, desde la esquina sur oriental hacia el suroeste, podemos efectuar las siguientes correlaciones. El gradiente gravimétrico noreste de positivo a negativo, desde la Cuenca de los Llanos hacia la cordillera, muestra como el basamento Paleozoico-Precámbrico se va profundizando a medida que nos acercamos al Piedemonte. La gran anomalía de Bouguer negativa de rumbo noreste, coincidiendo aproximadamente con la carretera que une las poblaciones de Villavicenso, Yopal y Tame corresponde al sub-andino, posiblemente a un semigraben formado en el Paleozoico Medio-Inferior. En esta zona es donde ocurre el mayor espesor de las secuencias sedimentarias Cretácicas y Terciarias, donde se ha producido la generación de los hidrocarburos descubiertos en estructuras en los bordes de la anomalía como los campos de Cusiana y Cupiagua. Se observa claramente como el eje negativo de la anomalía es desplazado a lo largo de su rumbo por eventos tectónicos posteriores; estos desplazamientos coinciden con el cambio de rumbo de los ríos que bajan de la Cordillera Oriental. Continuando al suroeste, ya en el borde este de la Cordillera Oriental, la anomalía positiva de dirección noreste corresponde a los afloramientos de las rocas de alta densidad, Cretácicas y del basamento Pre-Cretácico. Ya dentro de la Sabana de Bogotá donde se

encuentran los bloques Tea-Muisca y de Nexen y donde ocurren las mayores alturas de la cordillera, vuelven aparecer las anomalías negativas, sugiriendo que las secuencias Cretácicas aumentan considerablemente de espesor. De especial interés es la parte sur del bloque, próxima a la meseta de Bogotá, donde la anomalía de Bouguer alcanza sus mayores valores negativos. En general estas anomalías negativas sugieren una estructura tipo “rifting” semejando forma sinclinal de orientación noreste, cuyo eje se va haciendo más somero a medida que nos trasladamos al noreste. Esta estructura de gran complejidad como lo demuestran los desplazamientos noroeste de su eje, muestra altos y bajos estructurales que forman un mosaico estructural de compartimientos. Al occidente del bloque Tea-Muisca, vuelven aparecer las anomalías positivas, sugiriendo basamento Precretácico próximo a la superficie y disminución del espesor de las secuencias Cretácicas. En el extremo nororiental del bloque Tea-Muisca, se observan dos anomalías positivas, que interfieren el extremo norte de las anomalías negativas, estas anomalías son producidas por intrusivos ígneo-metamórficos de composición granítica, bien mapeados superficialmente.

En el extremo nororiental del Bloque Muisca, los valores gravimétricos negativos de Bouguer cambian abruptamente a valores positivos, separados por un gradiente de valores de -60 miligales a 0 miligales y orientación este-oeste. Este gradiente define una importante zona de falla, que hace prácticamente aflorar el basamento Precretácico. Las anomalías positivas de orientaciones noreste y norte sur, al norte de este gradiente corresponden respectivamente a los levantamientos estructurales del Macizo del Cocuy y Cobardes-Arcabuco-Floresta. Al norte del Macizo del Cocuy, se observa una anomalía negativa que alcanza valores de -130 miligales. Esta anomalía es producida por aumento considerable de sedimentos Terciarios-Cretácicos-Paleozoicos que forman una sub-cuenca cuya máxima profundidad se encuentra en territorio Venezolano. Las anomalías negativas y positivas de orientación norte sur al este del Levantamiento Cobardes-Arcabuco-Floresta, corresponden respectivamente a la Cuenca del Magdalena Medio y el basamento Precretácico que aflora en el flanco oriental de la Cordillera Central.

En la esquina suroriental del área, en los Llanos Colombianos, las anomalías positivas de orientación norte sur y noreste corresponden a levantamientos estructurales del basamento conocidos respectivamente como La Voragine y el alto de Rubiales.

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 en el punto de inflexión. El campo geomagnético (I.G.R.F.) para la posición del estudio en referencia muestra una Inclinación Magnética de +28.0 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 aplico la reducción al Polo y el resultado se muestra en las **Figura 4B (Intensidad Magnética Total Reducida al Polo, IMTRP)**.

Las anomalías magnéticas de la IMTRP a pesar de poseer un contenido de frecuencias muy superior a las gravimétricas de Bouguer, se correlacionan aceptablemente entre sí. El aumento considerable de frecuencias y la variación de la magnitud de las anomalías magnéticas se deben a la complejidad

mineralógica del basamento y la conocida presencia de cuerpos intrusivos en la cordillera. En la Sabana de Bogotá y al este del Pie de Monte de la Cordillera Oriental, es notorio la disminución del contenido de frecuencia y la distribución de las anomalías magnéticas. Esta peculiaridad sugiere un basamento magnético muy profundo en esta parte de Colombia.

## 4.2 Separación Regional-Residual

Todo intento de interpretar un mapa de campo potencial comienza con la determinación de que 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**”, Nettleton (1971). La separación regional-residual nunca podrá ser totalmente objetiva, depende en alto grado de la experiencia del intérprete, el conocimiento de la geología del área, la calidad de los datos potenciales y finalmente del objetivo de la interpretación en particular.

Por otra parte, por estar orientada esta interpretación a la exploración petrolera, los 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 Paso Banda**
  - **Derivadas**
  - **Filtros Direccionales**
- ◆ **Separación con Control Geológico (Figura B)**

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 1.2 o 2.0 kilómetros. 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 posible que estas anomalías sean producidas por las rutinas de contorno del sistema gráfico empleado o por efectos culturales. Para los propósitos de este estudio, estos efectos no se consideran de importancia y pueden ser removidos por filtraje. De manera similar, 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 contraste de densidad y de susceptibilidad magnética entre las unidades sedimentarias Cretácicas contra un Basamento Pre-Cretácico Paleozoico-Precámbrico. Cualquier residual matemático siempre mostrará contribuciones del Basamento. Para poder estimar la contribución gravimétrica y magnética solamente de las secuencias sedimentarias Mesozoicas, Cenozoica 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 (Tope del Basamento).

#### 4.2.1 Residuos Matemáticos

La malla empleada en la generación del mapa de Anomalía de Bouguer que se muestra en la **Figura 3C**, fue la que se empleó en los procesos de Separación Regional-Residual que se describen a continuación.

Las **Figuras 5 y 6** muestran respectivamente los residuos gravimétricos Polinómico de la superficie de tendencia regional del grado 3 y la 1ra Derivada Vertical. Todos los residuos matemáticos en general muestran resultados similares, correlacionándose adecuadamente con los caracteres geológico-estructurales descritos. La similitud de estos residuos con la Anomalía de Bouguer original, implica que el Bouguer representa principalmente el fuerte contraste de densidad existente entre las secuencias sedimentarias existentes contra el basamento Paleozoico-Precámbrico. Es interesante hacer notar como en los residuos que resaltan las altas frecuencias, aparecen las anomalías positivas que definen perfectamente los intrusivos graníticos en la esquina nororiental del bloque Muisca. También se observa claramente como a lo largo de los ejes de las distintas subcuencas, se forman aumentos y disminuciones del espesor de las secuencias Cretácicas, formándose altos estructurales de interés exploratorio.

Las **Figuras 7 y 8** corresponden respectivamente a los residuos de la superficie de tendencia de grado 3 y del filtro paso banda 1 kilómetro – 43 kilómetros de la Intensidad Magnética Total Reducida al Polo (IMTRP). Ambos residuos muestran buena correlación con los residuos Gravimétricos, confirmándose que las unidades Paleozoicas ligeramente metamorfizadas poseen una pequeña componente de la IMRP y que el basamento magnético en aquellas zonas donde el contenido de altas frecuencias disminuye considerablemente, se encuentra a gran profundidad.

#### 4.2.2 Regional y Residual Controlado

En este proyecto, el interés principal de la ANH, se concentra en interpretar las estructuras y caracteres geológicos que existan por encima del tope del basamento Pre-Cretácico. Por este motivo el Tope Estructural de esta unidad constituyó el objetivo primario 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).

En general la estratigrafía tanto en la Cordillera Oriental, como en los Llanos, muestra que existe un importante contraste de densidad entre  $-0.15$  g/cc a  $-0.22$  g/cc en la base del Mesozoico. Esta variación se debe que en los Llanos el basamento Precretácico es generalmente ígneo-metamórfico

pero en la Cordillera y Pie de Monte es Jurasico-Paleozoico. En este proyecto para interpretar el tope del BASAMENTO PRE-CRETACICO se empleo un contraste de  $-0.20$  g/cc entre las secuencias Cuaternarias-Terciarias-Cretacicas y el basamento tal como se describe anteriormente.

Carson Helicopters Inc. (Aerogravity División) ha desarrollado un procedimiento computacional el cual, a partir de los puntos de control, se determina un residual aproximado, mediante la aplicación de una ecuación, que calcula 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, calcular el valor de la componente regional en cada punto de control. 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 9 y 10** representan el REGIONAL y RESIDUAL CONTROLADO del basamento Pre-Cretácico (Tope del Paleozoico) referidos a la altura de 4500 metros sobre el NMM. La **Figura 11** corresponde a la inversión 3D del Residuo Controlado que al restársele la altura de vuelo, representa el Tope del Basamento Pre-Cretácico referido al NM, y la **Figura 12** representa la INTERPRETACION ESTRUCTURAL del tope del Basamento Precretácico.

### 4.3 Mapas de Interpretación Estructural

El mapa de contornos estructurales proveniente de la inversión gravimétrica 3D del residuo con control geológico del tope del Basamento Precretácico, constituyo la base para realizar su Interpretación Estructural. En este mapa se observa claramente no solo dónde ocurren los mayores espesores de secuencias Terciarias y Cretácicas, sino cómo se han interpretado las principales fallas y otros caracteres estructurales.

La **Figura 12** muestra la interpretación estructural del basamento Precretácico. Tal como era de esperarse, no solo se muestra su complejidad estructural, sino que, la deformación estructural de las inversiones tectónicas que han ocurrido desde el Terciario Tardío, han originado tres grandes sub-cuencas en esta parte de Colombia. De occidente a Oriente las dos primeras, a pesar de encontrarnos en las mayores elevaciones de la Cordillera Oriental, se observan claramente. En esta interpretación estas sub-cuencas se llaman Valle Medio del Magdalena y Muisca respectivamente.

Muisca es sumamente profunda en las cercanías de la Meseta de Bogotá, donde las secuencias Cretácicas-Paleozoicas pueden poseer entre los 8500 metros a 10500 metros de espesor. La sub-cuenca se hace muy somera en dirección noreste, tanto en sentido longitudinal, como en sus extremos laterales donde el basamento Precretácico aflora.

Muisca está separada del surco sub-andino por el flanco oriental y el Pie de Monte de la Cordillera Oriental, donde rocas Paleozoicas afloran. El espesor de las unidades Post-Paleozoicas al este de la Cordillera Oriental alcanza valores de 6500 metros a 7000 metros. Estos valores van disminuyendo progresivamente a medida que nos alejamos del Pie de Monte y entramos en el “foreland” del surco sub-andino.

Al oeste de Muisca y con orientación norte sur, se observa la otra sub-cuenca, notándose también espesores considerables de secuencias principalmente Cretacicas y muy posiblemente Paleozoicas.

En el extremo nororiental del Bloque Muisca, la sub-cuenca termina abruptamente contra un salto estructural de orientación este-oeste. Este salto estructural corresponde a una zona de fallas que hace aflorar el Basamento Precretácico, formando los Macizos de Cocuy y Santander (Cobardes-Arcabuco-Floresta).

A todo lo largo del Surco Sub-Andino (Este del Pie de Monte, este y norte del Macizo del Cocuy), se observa como el sub-andino en si mismo consta de compartimientos donde los espesores de las secuencias Cretácicas-Paleozoicas alcanzan hasta los 5500 metros a 6500 metros de profundidad.

#### **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. Las **Figura 19 y 20** muestra las soluciones de la Deconvolución de Euler para el Índice Estructural 0 (Contacto Magnético). En este mapa, se observa claramente la concentración de soluciones someras asociadas a la Cordillera Oriental rodeando a las soluciones profundas, que claramente se orientan norte sur en el extremo sur del área interpretada a noreste a medida que nos trasladamos hacia el norte. El alineamiento de las soluciones profundas corresponde a las principales fallas invertidas. Las soluciones más someras rodeando estos lineamientos podrían corresponder a escamas sobrecorridas del propio basamento y/o intrusiones ígneo-metamórficas dentro de la columna sedimentaria presente.

#### **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 Pre-Cretácico y de la Intensidad Magnética Tota Reducida al Polo. También se elaboró un modelo geológico inicial, que incluyó los resultados de la inversión gravimétrica descrita anteriormente. 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 2.7 g/cc a 2.75 g/cc para el basamento y 2.30 g/cc a 2.65 g/cc para las secuencias Terciarias-Cretácicas. 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 13 a 18**.

El modelaje, al honrar las profundidades del Tope del Basamento Pre-Cretácico en los puntos de control, demuestra que el procedimiento de separación regional-residual controlado trabajó adecuadamente en esta parte de Colombia. En el Piedemonte desde la Cuenca de los Llanos hasta los

afloramientos del basamento en la Cordillera Oriental y a ambos lados de la Sub-cuenca Muisca, es posible modelar la existencia de fallas inversas de ángulo bajo a medio donde no solo pueden existir repeticiones estratigráficas, sino formarse cierres anticlinales con entrapamiento de hidrocarburos.

## **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:

*El modelaje gravimétrico-magnético y la inversión gravimétrica 3D del tope del Basamento Pre-Cretácico, al honrar las profundidades de los puntos de control, demuestra que el procedimiento de separación regional-residual controlado trabajo adecuadamente en esta zona de gran extensión de Colombia.*

*Se presenta, en el mapa de interpretación estructural del tope del Basamento Precretácico, los altos y bajos estructurales, fallas, tendencias y otros elementos de interés en la exploración de hidrocarburos. Se nota claramente como la deformación estructural de las inversiones tectónicas que han ocurrido desde el Terciario Tardío, han originado tres grandes sub-cuencas en esta parte de Colombia. De occidente a Oriente las dos primeras, a pesar de encontrarnos en las mayores elevaciones de la Cordillera Oriental, se observan claramente (Valle Medio del Magdalena y Muisca). Muisca es sumamente profunda en las cercanías de la Meseta de Bogotá, donde las secuencias Cretácicas-Paleozoicas pueden poseer entre los 8500 metros a 10500 metros de espesor. La sub-cuenca se hace muy somera en dirección noreste, tanto en sentido longitudinal, como en sus extremos laterales donde el basamento Precretácico aflora. La geomorfología de la Sub-cuenca Muisca sugiere que el “rift” original se rellenó de sedimentos Cretácico-Paleozoico, formando una estructura de “rifting”, cuyo eje se hace somero hacia el noreste; sin embargo, la interpretación estructural muestra que debido al emplazamiento de la cordillera, las fallas normales no solo fueron invertidas, sino que la intensa actividad tectónica hizo aflorar el basamento. Fallamiento de dirección noroeste a este-oeste, que inclusive afecto el pie de monte llanero, desplaza localmente al eje del “rifting”. Este tectonismo del Terciario Tardío ha dividido en compartimientos la sub-cuenca, formando altos y bajos estructurales.*

*Muisca está separada del surco sub-andino por el flanco oriental y el Pie de Monte de la Cordillera Oriental, donde rocas Paleozoicas afloran. El espesor de las unidades Post-Paleozoicas al este de la Cordillera Oriental alcanza valores de 6500 metros a 7000 metros. Estos valores van disminuyendo progresivamente a medida*

*que nos alejamos del Pie de Monte y entramos en el “foreland” del surco sub-andino.*

*Al oeste de Muisca y con orientación norte sur, se observa la otra sub-cuenca, notándose también espesores considerables de secuencias principalmente Cretácicas y muy posiblemente Paleozoicas.*

*Esta interpretación deja ver claramente y sustenta que originalmente estas tres sub-cuencas eran originalmente una sola, formada posiblemente por “rifting” en el Paleozoico Temprano. Rellenada posteriormente por secuencias Paleozoicas, Jurasicas y Cretácicas, constituyendo esta última, la principal cocina de los hidrocarburos que se explotan actualmente. Los procesos tectónicos del Terciario Tardío que no solo invirtieron las principales fallas normales, sino que levantaron la Cordillera Oriental, dividieron la cuenca principal en las tres como las conocemos actualmente.*

*Los altos estructurales del basamento que han podido generar trampas en las secuencias Cretácicas y Terciarias suprayacentes, los gradientes estructurales donde se encuentran las fallas invertidas y las fallas normales en el “foreland” del sub-andino constituyen los objetivos exploratorios en esta parte de Colombia.*

*En el extremo nororiental del Bloque Muisca, la sub-cuenca termina abruptamente contra un salto estructural de orientación este-oeste. Este salto estructural corresponde a una zona de fallas que hace aflorar el Basamento Precretácico, formando los Macizos de Cocuy y Santander (Cobardes-Arcabuco-Floresta).*

*A todo lo largo del Surco Sub-Andino (Este del Pie de Monte, este y norte del Macizo del Cocuy), se observa como el sub-andino en si mismo consta de compartimientos donde los espesores de las secuencias Cretácicas-Paleozoicas alcanzan hasta los 5500 metros a 6500 metros de profundidad.*

*El modelaje gravimétrico-magnético sustenta que en el Piedemonte desde la Cuenca de los Llanos hasta los afloramientos del basamento en la Cordillera Oriental y a ambos lados de la Sub-cuenca Muisca, es posible modelar la existencia de fallas inversas de ángulo bajo a medio donde no solo pueden existir repeticiones estratigráficas, sino formarse cierres anticlinales con entrapamiento de hidrocarburos.*

## **Recomendaciones**

El cubrimiento gravimétrico-magnético del área estudiada es adecuado para este tipo de interpretación SEMIDETALLADA. Este estudio demuestra que las estructuras y los contrastes de densidad que existe en esta parte de Colombia producen anomalías GRAVIMETRICAS RESIDUALES entre -1 a -10 miligales; 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.

Carson Helicopters, Inc. / Aerogravity División agradece a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) por la oportunidad de trabajar en el procesamiento e interpretación de los datos aerogravimétricos y aeromagnéticos de esta parte de Colombia. Esperamos que la ANH, aprecie que estos métodos potenciales integrados con toda la información existente de sísmica 2D y datos de pozos, en una forma rápida y mas económica que adquisición sísmica adicional, permite confirmar conceptos existentes y definir gran cantidad de incógnitas que ameritan ser resueltas por métodos con mayor poder de resolución (perforaciones exploratorias y/o estratigráficas).

## Referencias

- Graterol, V. et al (1995) Interpretación Gravimétrica-Magnética en la Región Medina Occidental-Tierra Negra. MEM-Ecopetrol. Por Geod. Por Sat.
- Graterol, V. et al (1996) Constrained Gravity-Magnetic Interpretation. A new way of REGIONAL-RESIDUAL separation of Potential Field Data. Venezuelan examples. AAPG San Diego
- Talwani, M. Heirtzler J. (1964) Computation of magnetic anomalies caused by two-dimensional structures of arbitrary shape: Computers in Mineral Industries, Stanford University Press.
- ESRI - ECOPETROL. 1994. Geology and Hydrocarbon Potential of the Cordillera Oriental, Colombia. V. 1, 2 y 3. Informe Geológico de Ecopetrol Nro. 3602.
- M. M., TRIENZO & L.V., DIMIERI. Interpretación de la Estructura del Frente Montañoso en la Zona del Rio Diamante, Mendoza. Departamento de Geología del Sur, Bahía Blanca 2005.
- TASSARA, Andrés y YANEZ, Gonzalo. Relación entre el espesor elástico de la litósfera y la segmentación tectónica del margen andino (15-47°S). *Rev. geol. Chile*, dic. 2003, vol.30, no.2, p.159-186. ISSN 0716-0208.
- V. A. Ramos El Segmento de Subducción Subhorizontal de los Andes Centrales Argentinos – Chilenos. *Acta geológica hispánica*, ISSN 0567-7505, Vol. 32, Nº 1-2, 1997, pags. 5-16 <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=143630>
- LEZAMA.R., LUIS. A. Análisis Gravimétrico de la Campaña Caramba En la Zona "Frontal "Sur". Universidad Simón Bolívar, Departamento de Ciencias de la Tierra. 2007  
<http://www.gc.usb.ve/geocoordweb/Tesis/Pre/Luis%20Lezama.pdf>
- ECOPETROL. Contrato de Evaluación Técnica Piedemonte Sur Colombia Cordillera Oriental Stratigraphy. 1990
- L. P.ROBERTO., F.D.AMDRES., et al. Modelamiento Estructural de la Cordillera Oriental. Instituto Colombiano del Petróleo, División de Exploración y Producción Área Estratigrafía. 1999.
- MENENDEZ. JUAN. J. Técnicas Isotópicas en Aguas Subterráneas y su potencial Aplicación en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana 2002
- GOMEZ. R.,IVAN. A. Distribución Areal de la Formación Une en las Áreas de Medina y Apiay (Cuenca Llanos Orientales). Trabajo de grado Departamento de Geología. Universidad Nacional de Colombia. 2000.
- Guiza. G., Sonia Yanira Evaluación Geológica y Geoquímica de las unidades del Cretáceo Superior, como posibles rocas generadoras de hidrocarburos, en el área comprendida entre Tunja y Paz del Río, Boyacá (Colombia). Trabajo de grado Departamento de Geología. Universidad Nacional de Colombia. 1995.
- Gómez. R., Elías. Análisis Estratigráfico del Cretácico Superior Terminal en el extremo Sur del Valle Medio del Magdalena. Trabajo de grado Departamento de Geología. Universidad Nacional de Colombia. 1993.
- Guerrero. M., Jairo R. Actualización Cartográfica de Unidades Litoestratigráficas Encajantes de Mineralizaciones Esmeraldíferas en el Cinturón Occidental de la Cordillera Oriental (Colombia). Trabajo de grado Departamento de Geología. Universidad Nacional de Colombia. 1998.
- Montana. L., Jairo. F. Estratigrafía y facies de la formación San Antonio (grupo Honda), al este de la falla de Honda, entre La Dorada y Cambao. Trabajo de grado Departamento de Geología. Universidad Nacional de Colombia. 2003.

## Anexo A - Puntos De Control Tope Basamento Precretácico

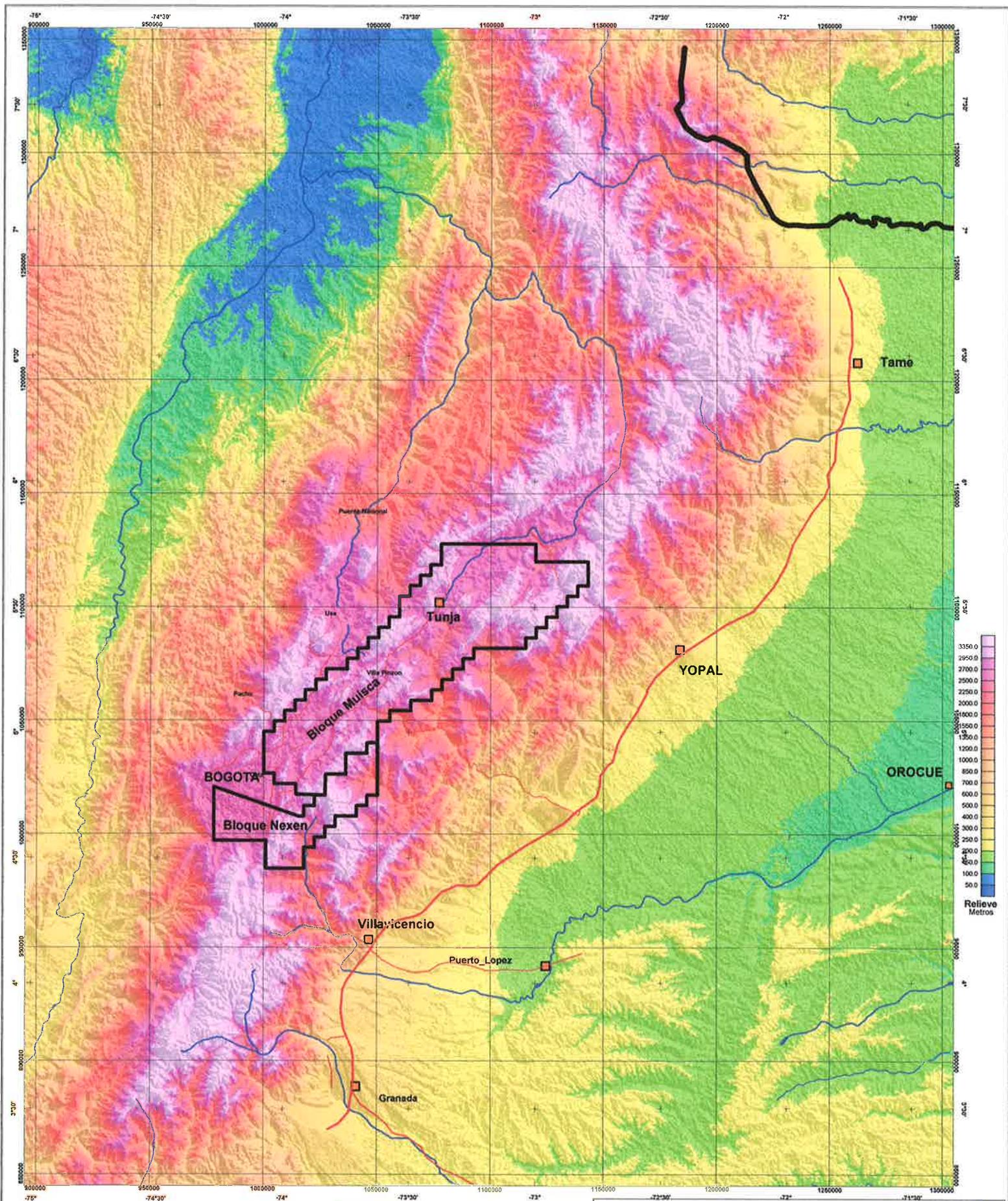
x	y	PUNTO	ALTURANASA	TOPBAS	BOUG250	REGBAS	RESDBAS	TopeBasInv
909551.90	1034259.00	Armero-2	269.15	770.80	-67.78	-25.45	-42.18	-770.75
910531.00	1050991.00	Potosi-1	290.98	246.60	-54.40	-16.47	-37.36	-241.28
915718.10	1070679.00	Rio_Guali-1	404.29	333.50	-58.96	-20.30	-38.50	-332.15
916356.10	1066923.00	Lumbi-1	380.17	754.40	-63.03	-20.84	-41.95	-751.46
920246.10	1078968.00	Rio_Guarino-1	303.86	907.40	-60.91	-17.44	-43.36	-907.28
922162.30	1108315.00	Manteca-2	225.81	786.40	-41.07	1.39	-42.02	-783.45
922424.30	1099145.00	Cano_Rico-1	206.34	627.00	-47.91	-6.79	-40.96	-627.33
923527.00	1053028.00	Chiripa-1	395.67	2487.80	-90.91	-34.20	-57.15	-2495.48
923778.00	1049817.00	Mendez-1	256.83	2660.30	-92.85	-34.69	-58.21	-2658.36
926279.90	1026286.00	Beltran-1	246.96	3509.80	-123.45	-58.17	-65.93	-3512.42
928680.30	1113489.00	Rio_la_Miel-1	195.59	888.20	-48.71	-5.40	-43.13	-880.26
930784.30	1111660.00	Guaca-1	207.95	1196.90	-54.70	-8.80	-46.28	-1206.56
932121.40	1128744.00	Andes-1	160.19	763.80	-40.63	1.64	-42.02	-760.96
934366.50	1141831.00	Tominejo-1	173.27	536.10	-25.59	14.77	-40.24	-537.28
935385.50	1135837.00	Strat-22	149.35	982.64	-36.50	7.60	-43.90	-982.03
940442.60	1157347.00	Strat-16	160.24	758.95	-24.17	18.06	-41.85	-752.21
940886.50	1145873.00	Strat-18	153.59	869.90	-38.65	4.51	-43.50	-873.10
941123.30	1112878.00	Rio_Negro-5	162.92	2655.70	-76.46	-18.34	-58.47	-2657.20
942086.60	1160845.00	Cocorna-27	140.52	615.87	-25.61	15.42	-41.05	-618.63
942121.40	1124049.00	Rio_Negro-2	153.70	2194.60	-65.07	-10.81	-54.28	-2194.65
942792.40	1119862.00	Rio_Negro-3	164.05	2562.10	-71.62	-14.28	-57.41	-2561.22
943704.60	1155152.00	SM-9	149.00	1115.57	-35.55	9.66	-45.32	-1115.85
944622.00	1055315.00	V-3	1384.38	5000.00	-111.60	-33.83	-77.42	-4996.09
946827.50	1145617.00	Circon-1	183.15	1797.10	-57.19	-6.26	-51.30	-1803.51
946868.60	1154413.00	Otu-1	137.77	1408.18	-46.61	1.06	-48.16	-1420.74
947632.60	1148495.00	Matadero-1	150.96	1815.39	-56.08	-5.00	-51.07	-1799.16
948447.60	1159607.00	SM-5	144.54	1552.04	-48.28	0.59	-48.88	-1553.07
949045.50	1137091.00	PC-1	172.33	3078.48	-72.02	-10.36	-61.64	-3077.91
949360.60	1148411.00	Matadero-2	157.54	2056.84	-62.00	-8.90	-53.52	-2075.92
949670.60	1146902.00	Gongora-1	153.81	2362.20	-64.70	-9.04	-55.52	-2349.49
949883.40	1120018.00	Topaz	202.72	3697.50	-83.46	-16.61	-66.84	-3697.30
950136.60	1153432.00	SM-3	169.63	2299.72	-58.71	-3.57	-54.86	-2290.98
950334.70	1168687.00	Palagua-195	151.03	1088.14	-48.96	-3.97	-45.46	-1113.60
951416.70	1171592.00	Caipal-12	134.10	1502.66	-53.95	-5.49	-48.54	-1507.99
951629.70	1171230.00	Caipal-8	136.21	1523.09	-54.24	-5.61	-48.61	-1523.67
951670.70	1170078.00	Caipal-6	135.50	1531.32	-53.57	-4.87	-48.16	-1493.06
951879.70	1170401.00	Caipal-9	133.69	1550.52	-54.39	-5.53	-48.56	-1538.19
952024.70	1170648.00	Caipal-2	135.84	1556.31	-54.96	-6.05	-48.81	-1565.64
952105.60	1162078.00	Velasquez-250	130.67	1629.47	-60.62	-11.10	-49.73	-1628.81
952622.60	1160467.00	Velasquez-269	138.31	1762.04	-63.23	-12.60	-51.35	-1787.12
953109.70	1169343.00	Caipal-4	139.69	1499.62	-57.87	-9.44	-48.59	-1513.80
953222.70	1168744.00	Caipal-10	138.18	1512.72	-58.38	-9.84	-48.69	-1519.56
953555.60	1158242.00	Velasquez-82	159.40	2102.32	-66.49	-13.01	-53.72	-2100.99
953590.60	1158887.00	Velasquez-61	146.00	2085.75	-66.65	-13.31	-53.61	-2079.39
953641.60	1148838.00	Las_Pavas-2	157.57	2764.23	-75.27	-16.24	-59.36	-2770.98
953730.60	1150720.00	Las_Pavas-1	155.78	2704.80	-73.55	-15.02	-58.69	-2704.68
953865.50	1144464.00	Bronce-2	192.19	3004.69	-79.18	-18.13	-61.28	-3007.09
954088.60	1155322.00	Velasquez-126	153.09	2274.36	-69.15	-14.22	-54.90	-2263.96
954131.60	1153397.00	Velasquez-1	154.48	2406.70	-71.34	-15.31	-56.21	-2410.45
954141.70	1171461.00	Caipal-1	143.76	1797.41	-61.36	-10.43	-50.15	-1756.83
954176.70	1173017.00	Caipal-5	145.97	1571.24	-62.57	-13.54	-49.15	-1559.40
954206.60	1155456.00	Velasquez-154	153.44	2263.43	-69.41	-14.58	-54.93	-2266.78
954292.50	1142140.00	Bronce-1	179.47	3123.90	-81.54	-19.50	-62.25	-3125.25
954565.70	1173384.00	Caipal-7	140.86	1584.66	-63.88	-14.73	-49.86	-1617.70
954622.10	1070315.00	V-2	981.73	6000.00	-127.13	-40.98	-86.36	-6000.94
954622.30	1095315.00	V-1	800.07	7000.00	-113.93	-19.40	-94.45	-6999.42
954683.60	1157540.00	Velasquez-189	162.14	2254.30	-70.09	-15.33	-54.96	-2255.96
954874.70	1172558.00	Caipal-11	143.75	1496.57	-63.98	-15.57	-49.60	-1584.44
954982.50	1139095.00	Diamante-1	187.27	3405.50	-84.32	-19.92	-64.41	-3404.20
955170.60	1148993.00	La_Ceiba-4	165.63	2894.69	-79.64	-19.52	-60.27	-2893.16
955445.70	1166038.00	Caipal-3	146.12	2224.43	-68.27	-13.76	-54.13	-2214.88
956218.60	1151017.00	La_Ceiba-3	163.39	2887.98	-80.60	-20.53	-60.17	-2887.68

957724.60	1151614.00	La_Ceiba-1	166.11	3083.66	-84.34	-22.63	-61.79	-3082.43
958925.50	1138636.00	PC-2	207.11	3810.00	-92.72	-24.93	-68.14	-3812.56
959265.70	1167405.00	Calderon-1	142.92	2199.74	-76.90	-22.60	-54.54	-2204.35
959303.60	1161480.00	PC-4	160.49	2499.36	-82.12	-25.31	-57.12	-2501.66
960003.60	1146306.00	PC-3	176.07	3749.04	-94.05	-26.77	-67.42	-3748.24
961868.60	1154074.00	Boyaca-2	162.06	3527.45	-94.15	-28.72	-65.53	-3527.31
965674.70	1167090.00	PC-5	156.14	3020.57	-92.09	-30.91	-61.55	-3022.84
970848.80	1173497.00	Dos_Hermanos-1	181.74	3569.21	-92.85	-27.07	-65.80	-3567.97
1132135.00	1271416.00	A-11	3632.12	0.00	-82.51	-77.08	-5.52	3631.97
1135812.00	1222357.00	A-12	1045.17	0.00	-68.78	-41.67	-26.97	1045.57
1143904.00	1199548.00	A-13	2408.57	0.00	-60.62	-44.94	-15.82	2405.97
1269946.00	1015662.00	ARIMENA-1	140.85	1820.57	-38.30	12.82	-51.20	-1820.50
1298174.00	1140970.00	CAMUNGO-1	158.10	2854.76	-67.27	-7.48	-59.80	-2854.78
1217904.00	1017802.00	CASIMENA-1	165.40	2632.25	-43.94	13.98	-57.87	-2632.23
1182444.00	1005250.00	EL.PALMAR-1	174.90	3080.61	-55.06	6.62	-61.64	-3080.67
1211129.00	1023231.00	ENTREERRIOS-1	171.63	2882.19	-51.50	8.52	-60.04	-2882.30
1173736.00	1052840.00	LA.MARIA-1	235.32	5027.98	-92.01	-14.01	-78.03	-5027.86
1221481.00	1024162.00	LA.PUNTA-1	167.82	2696.57	-47.05	11.41	-58.42	-2696.17
1156788.00	925047.00	VALDIVIA-2	199.46	1485.90	-50.09	-1.77	-48.64	-1489.82
1233192.00	1047134.00	RANCHO-HERMOSO-2P	168.86	2894.08	-59.74	0.38	-60.11	-2893.92
1279549.00	995767.00	CACHAMA-1	155.71	1455.12	-29.10	18.96	-48.10	-1455.09
1274952.00	1098796.00	SANTA.MARTA-1	164.79	2857.80	-72.94	-13.13	-59.81	-2857.82
1181680.00	999730.00	POMAROSO-1	171.75	2931.17	-53.09	7.34	-60.27	-2928.86
1266820.00	1023515.00	MAREMARE-1	143.92	1957.12	-41.44	10.83	-52.38	-1957.64
1218385.00	1272021.00	A-1	327.10	7600.00	-112.41	-12.86	-99.98	-7621.11
1234258.00	1253862.00	B-1	387.02	7800.00	-92.70	8.53	-100.75	-7796.00
1246737.00	1258444.00	B-2	203.47	6900.00	-98.60	-4.91	-92.92	-6865.00
1260967.00	1263288.00	B-3	182.93	7000.00	-87.72	6.81	-94.04	-6997.01
1268707.00	1265839.00	B-4	173.38	6700.00	-82.38	9.63	-91.61	-6698.56
1212041.00	1246845.00	B-5	1016.79	0.00	-71.22	-43.87	-27.20	1019.53
1198313.00	1242633.00	B-6	2894.41	0.00	-55.11	-43.50	-10.77	2904.14
1240874.00	1235893.00	C-1	812.62	6500.00	-66.36	23.98	-86.61	-6429.56
1252105.00	1240215.00	C-2	282.68	6600.00	-72.78	18.39	-91.27	-6609.93
1273334.00	1246351.00	C-3	190.80	5200.00	-64.59	14.85	-79.01	-5193.73
1237129.00	1234619.00	C-4	1483.86	0.00	-64.77	-41.34	-28.78	1405.41
1213416.00	1226595.00	C-5	3102.78	0.00	-39.57	-29.70	-9.79	3100.24
1224456.00	1261305.00	D-1	507.80	6700.00	-105.13	-13.12	-92.51	-6706.41
1214878.00	1232982.00	D-3	2563.01	0.00	-54.72	-40.33	-14.61	2560.19
1217832.00	1240628.00	D-4	1973.03	0.00	-66.35	-47.02	-20.10	1969.37
1294184.00	913322.90	DW-1	170.26	660.20	-13.28	28.12	-41.53	-669.85
1040379.00	954685.30	Pz-4	833.73	0.00	-87.82	-58.94	-32.16	753.15
1067378.00	987685.30	Pz-6	1275.00	0.00	-80.98	-55.80	-25.91	1247.94
1273906.00	989752.80	S-11	155.74	1410.52	-28.23	19.46	-47.73	-1413.79
1206169.00	874111.40	SM-5	226.77	790.00	-16.66	25.83	-42.52	-789.84
1244624.00	862718.40	SV-6	228.97	588.00	-10.64	30.15	-40.81	-588.07
1044000.00	954200.00	Pz-13	898.83	0.00	-92.69	-64.36	-28.27	906.95
1098500.00	1034000.00	Pz-14	861.98	0.00	-91.43	-62.79	-29.01	854.47
1284978.00	913780.10	RUB-1	196.15	732.43	-6.98	35.02	-41.99	-732.53
1286069.00	911852.10	RUB-2	191.37	709.27	-7.25	34.56	-41.84	-709.71
1289301.00	914214.10	RUB-3	181.20	717.19	-8.72	33.16	-41.79	-716.08
1283438.00	912513.10	RUB-4	191.06	738.84	-6.66	35.40	-42.01	-738.85
1292520.00	911639.10	RUB-5	179.87	677.27	-12.17	29.37	-41.57	-677.04
1288665.00	907634.10	RUB-7	183.53	680.31	-9.23	32.34	-41.55	-677.58
1299440.00	917136.30	RUB-8	169.58	665.99	-17.11	24.34	-41.60	-667.40
1299246.00	904747.10	RUB-9	151.83	621.79	-20.04	21.04	-41.66	-635.00
1272731.00	989741.60	S-11A	161.24	1417.05	-28.29	19.45	-47.90	-1448.31
1114390.00	868035.60	SA-14	238.56	1043.00	24.83	69.44	-44.48	-1043.09
1287939.00	952919.00	SIS_4	177.85	938.97	-25.84	17.89	-43.76	-938.79
1244562.00	956585.70	SIS_5	212.11	1221.55	-34.41	11.69	-46.22	-1222.35
1199596.00	1276901.00	TNS-1	1286.20	3400.00	-96.50	-32.14	-66.97	-3570.69
1216122.00	1273757.00	TNS-2	362.94	8000.00	-110.81	-7.90	-101.52	-7967.43
1223396.00	1270552.00	TNS-3	290.58	8200.00	-116.43	-11.85	-104.85	-8205.63
1242211.00	1262168.00	TNS-4	230.74	7800.00	-106.99	-5.76	-101.31	-7800.20
1165496.00	1291431.00	TNS-5	2185.12	0.00	-86.39	-68.83	-17.21	2190.18
1179539.00	1285023.00	TNS-6	1540.11	0.00	-91.46	-68.50	-23.44	1530.16
1198341.00	1277644.00	TNS-7	1376.59	4600.00	-94.83	-20.42	-71.51	-4498.69
1063114.00	977353.10	BAS-27	1054.17	0.00	-86.00	-58.97	-27.27	1051.84
1292922.00	908445.10	RUB-10	185.71	652.27	-13.62	27.71	-41.36	-649.96
1288836.00	911566.10	RUB-11	174.51	701.34	-8.83	32.91	-41.79	-701.40
1296616.00	911186.10	RUB-12	185.94	649.22	-16.18	25.13	-41.43	-651.74
1294707.00	911255.10	RUB-13	184.67	662.33	-14.48	26.94	-41.53	-664.91
1296746.00	909822.10	RUB-15	184.01	648.92	-16.72	24.58	-41.38	-649.09

1293768.00	913033.10	RUB-16	168.10	683.97	-12.95	28.65	-41.56	-675.25
1299210.00	909338.10	RUB-17	183.15	636.42	-18.38	22.82	-41.34	-639.29
1285585.00	912727.10	RUB-26	181.67	728.78	-7.08	34.89	-41.97	-727.93
1290723.00	910719.00	RUB-27	191.49	687.63	-10.66	30.97	-41.70	-688.28
1287450.00	913790.90	RUB-28	182.97	713.23	-7.70	34.14	-41.74	-710.20
1291448.00	913408.50	RUB-29	177.18	697.99	-10.61	31.11	-41.67	-696.99
1297880.00	911227.80	RUB-30	190.96	649.22	-17.10	24.21	-41.37	-648.43
1284762.00	910443.10	RUB-31	197.76	719.94	-6.76	35.14	-41.91	-722.11
1294645.00	910250.60	RUB-33	176.44	659.89	-14.80	26.60	-41.44	-657.17
1294540.00	907791.30	RUB-34	182.06	644.35	-15.50	25.77	-41.39	-645.26
1292979.00	914435.00	RUB-36	166.35	698.30	-11.87	29.85	-41.71	-695.69
1293187.00	910927.30	RUB-37	186.74	669.04	-13.10	28.37	-41.51	-668.43
1295566.00	911466.50	RUB-38	180.87	660.20	-15.19	26.21	-41.51	-660.80
1295851.00	911181.10	RUB-46	180.99	657.15	-15.55	25.82	-41.50	-658.67
1295117.00	909900.70	RUB-47	173.23	654.71	-15.36	25.99	-41.41	-654.65
1283429.00	908185.90	RUB-51	202.69	717.80	-6.07	35.81	-41.72	-714.84
1289152.00	921156.60	RUB-53	196.42	751.03	-11.21	30.95	-42.10	-750.01
1298056.00	907267.90	RUB-79	162.74	640.21	-18.33	22.90	-41.27	-637.35
1297408.00	914848.00	RUB-81	154.92	665.01	-15.92	25.52	-41.43	-662.46
1292517.00	916849.10	RUB-82	163.47	710.12	-11.50	30.32	-41.98	-715.50
1293852.00	905564.10	RUB-83	165.03	635.40	-15.39	25.80	-41.39	-636.43
1288564.00	909673.90	RUB-85	194.65	704.55	-8.91	32.86	-41.84	-706.82
1289175.00	918995.40	RUB-87	184.06	740.27	-9.83	32.24	-42.03	-740.02
1255010.00	1214472.00	TAME-1	537.93	5220.00	-64.70	14.91	-79.88	-5259.84
1257332.00	1218512.00	TAME-2	353.69	5000.00	-65.41	12.36	-78.08	-5007.82
1043569.00	908329.10	YALI-1	429.36	1760.22	-85.76	-35.14	-50.77	-1762.49
1075832.00	893804.50	CAMOA-1	275.19	1925.00	-48.05	3.95	-51.87	-1925.02
1145178.00	896735.40	MELUA-1	220.95	1183.00	-9.77	36.01	-46.11	-1184.05
1205378.00	1249185.00	PRECr-3	2414.58	0.00	-70.33	-54.70	-16.07	2407.21
1174879.00	1281685.00	PRECr-4	1467.79	0.00	-89.54	-65.97	-23.67	1466.54
1178379.00	1289685.00	PRECr-5	1593.78	0.00	-93.87	-71.36	-22.67	1595.17
1214379.00	1235685.00	PRECr-7	1731.00	0.00	-58.78	-37.42	-19.90	1790.71
1283307.00	929916.20	QUIFA-1	178.27	831.49	-17.00	25.83	-42.77	-830.58
1278545.00	905871.60	QUIFA-3	183.56	540.11	-3.79	36.60	-40.23	-539.88
1292832.00	926343.90	QUIFA-4	192.57	583.39	-15.97	24.79	-40.99	-585.35
1272772.00	989769.00	Simon-1	161.07	1498.52	-28.30	20.12	-47.91	-1450.63
1070580.00	937753.90	SURIA-1	298.39	3079.25	-84.88	-23.21	-61.42	-3077.59
1076969.00	942812.30	APIAY-4P	286.62	3179.00	-82.65	-20.14	-62.60	-3180.44
1246211.00	1260793.00	ARAUCA-1	198.71	6000.00	-102.65	-16.50	-87.65	-6036.81
1248162.00	1264150.00	ARAUCA-4	188.13	6200.00	-105.30	-17.48	-88.09	-6193.86
1043382.00	880409.50	ARIARI-1	319.49	1970.00	-80.19	-27.81	-53.14	-1981.48
1104546.00	1014534.00	CONDOR-1	1081.71	6700.00	-97.41	-5.40	-90.48	-6695.00
1089400.00	983134.00	COPORO-1	614.73	6600.00	-87.39	3.78	-90.23	-6597.59
1252237.00	1249244.00	FORTUL-1	217.33	6190.00	-82.54	5.20	-88.17	-6201.22
1137448.00	963499.30	METICA-1	171.23	2760.00	-59.46	-0.46	-59.39	-2761.47
1272909.00	934346.10	PIRIRI-1	187.87	919.00	-23.50	20.07	-43.65	-919.33
1195379.00	1294685.00	PRECr-14	2073.79	0.00	-88.13	-69.64	-18.43	2087.42
1058278.00	929485.40	YACARE-1	359.90	2543.49	-89.30	-32.12	-57.15	-2543.53
1157910.00	923051.30	ALMAGRO-1	194.27	1413.00	-47.98	-0.27	-47.80	-1413.87
1205375.00	958742.10	CHAVIVA-1	193.49	1852.00	-37.46	13.93	-51.25	-1851.78
1055091.00	912032.10	GALERON-1	335.26	2457.19	-83.03	-26.57	-56.42	-2457.39
1180255.00	897211.40	GARIBAY-1	202.02	1093.00	-31.28	13.75	-45.23	-1093.07
1032767.00	918090.80	HUMADEA-1	564.04	2229.61	-92.26	-37.71	-54.55	-2229.64
1251071.00	1068161.00	LaFlora-2	169.54	2866.03	-67.65	-7.77	-59.88	-2865.82
1273066.00	1237960.00	RIO_ELE-1	197.78	4246.00	-62.45	9.00	-71.56	-4247.10
1041856.00	948589.90	ANACONDA-1	1088.93	3900.00	-96.54	-27.99	-67.76	-3891.51
1046104.00	915704.90	CASTILLA-1	399.17	1819.66	-87.51	-36.39	-51.20	-1819.71
1038957.00	908328.30	CORONADO-1	467.91	1920.03	-86.98	-35.02	-51.91	-1917.59
1226425.00	911261.30	CUMARITO-1	204.96	989.00	-28.60	15.55	-44.19	-988.98
1264950.00	958020.00	GUARROJO-1	193.28	1217.00	-31.63	14.43	-46.06	-1217.01
1064449.00	918511.40	LUNAROJA-1	309.52	2694.44	-79.63	-21.18	-58.58	-2695.87
1281958.00	1026614.00	Mercedes-1	141.34	1770.28	-39.71	10.99	-50.76	-1770.30
1111489.00	936911.30	NEGRITOS-1	190.19	3030.00	-27.60	33.66	-61.19	-3030.77
1291312.00	1054233.00	Paravare-1	143.14	2020.52	-47.07	5.73	-52.79	-2020.47
1253170.00	1015936.00	SURIMENA-1	146.20	2020.00	-39.09	13.70	-52.81	-2020.02
1256867.00	1099259.00	TRINIDAD-1	176.61	3290.00	-80.70	-17.26	-63.48	-3290.05
1157801.00	923890.30	VALDIVIA-1	197.15	1464.00	-48.98	-0.85	-48.12	-1457.58
1120751.00	911236.40	VORAGINE-1	226.56	1738.00	-17.43	67.86	-49.75	-1736.24
1037145.00	857324.00	CANAGUARO-1	336.18	1984.00	-58.42	-5.93	-52.15	-1983.57
1299350.00	1038942.00	CANO_DUYA-1	137.01	1716.00	-40.02	10.23	-50.27	-1716.19
1276317.00	1032630.00	Guarilque-1	144.03	1932.58	-42.65	9.41	-52.09	-1932.30
1213627.00	1055153.00	RIO_VERDE-1	190.37	3587.00	-74.28	-8.35	-66.00	-3586.82

1055034.00	909174.40	CANDILEJAS-1	334.72	2483.82	-82.11	-25.43	-56.58	-2483.13
1170576.00	949142.20	CANO BRAVO-1	219.05	1930.00	-54.20	-2.16	-52.03	-1929.63
1276759.00	1110608.00	CANO GARZA-1	164.60	2982.00	-74.63	-13.77	-60.83	-2981.84
1043940.00	926518.90	CHICHIMENE-1	478.60	2369.55	-93.76	-38.04	-55.83	-2371.27
1236503.00	1070480.00	CRAVO ESTE-1	179.46	3274.00	-74.52	-11.22	-63.40	-3274.26
1211120.00	875780.40	MANACACIAS-1	228.30	809.00	-18.30	24.35	-42.71	-809.25
1051780.00	877326.00	FUENTE-1821-X	304.11	2195.00	-72.68	-18.42	-54.13	-2192.01
1295530.00	1037017.00	San_Joaquin-1	137.11	1728.03	-39.26	11.09	-50.21	-1725.60
1252248.00	1267746.00	AU-80-14(0340)	182.89	6500.00	-102.40	-12.06	-90.27	-6497.75
1253801.00	1253610.00	AU-81-07(2100)	204.94	6200.00	-85.80	2.02	-87.82	-6198.03
1264297.00	1227776.00	AU-81-26(2640)	219.76	5000.00	-64.26	13.51	-77.80	-4998.62
1259606.00	1248813.00	AU-81-32(2160)	206.67	5890.00	-77.31	7.91	-85.26	-5883.63
1253420.00	1243539.00	AU-82-13(2320)	250.33	6500.00	-75.66	14.68	-90.42	-6504.55
1268225.00	1249664.00	AU-82-13(2640)	195.20	5100.00	-70.93	7.67	-79.13	-5108.79
1249169.00	1226633.00	AU-82-21(2120)	451.71	6200.00	-64.69	23.13	-87.42	-6207.31
1270072.00	1236249.00	AU-82-21(2580)	207.90	4800.00	-63.61	12.48	-75.95	-4797.21
1255355.00	1215474.00	AU-86-14(2300)	491.58	5350.00	-64.79	15.91	-79.99	-5302.95
1257231.00	1214917.00	AU-86-14(2340)	362.47	5200.00	-65.92	13.52	-79.53	-5201.68
1263740.00	1221088.00	AU-86-19(2100)	238.36	4900.00	-64.83	12.10	-77.00	-4897.42
1282111.00	983556.90	CANO BARULIA-1	182.83	1288.00	-26.15	20.51	-46.62	-1287.77
1040032.00	923109.70	CHICHIMENESW-1	492.74	2249.11	-91.11	-36.40	-54.61	-2247.35
1208314.00	1041442.00	CENTAURO NORTE-1	181.89	3406.00	-67.86	-3.45	-64.55	-3406.64
1175093.00	996966.10	LOS TROMPILLOS-1	171.72	2980.00	-55.91	4.93	-60.86	-2980.09
1241779.00	971110.90	Rancho_Quemado-1	183.37	1490.32	-34.48	13.88	-48.33	-1490.14
1022005.00	1047602.00	TUC-8	2563.79	7700.00	-153.28	-52.89	-100.13	-7699.69
1073049.00	1090101.00	Bas-P	2889.85	5715.00	-108.06	-24.30	-83.68	-5715.40
1087313.00	1117522.00	Bas-F	2678.43	4800.00	-97.55	-21.46	-74.73	-4788.09
1101215.00	1117238.00	Bas-D	2742.21	2300.00	-105.32	-50.18	-55.93	-2307.12
1105660.00	1135774.00	Bas-C	2905.17	2600.00	-87.78	-30.13	-56.49	-2587.64
1118537.00	1091198.00	RMP3	3617.13	25.00	-66.25	-30.17	-35.79	-23.52
1039875.00	1025646.00	RMP1	2627.00	480.00	-111.95	-72.06	-40.33	-482.63
1079879.00	1061615.00	RMP2	1671.78	500.00	-87.06	-47.00	-40.06	-500.23
1149616.00	1090312.00	Bas-R1	1607.16	0.00	-48.52	-26.12	-22.47	1606.10
1090005.00	1030002.00	Bas-5	1062.67	0.00	-92.58	-65.62	-26.96	1062.71
1080005.00	1020003.00	Bas-4	1983.87	0.00	-81.81	-62.57	-19.24	1983.87
1134898.00	1147642.00	Bas-2	2818.12	0.00	-62.87	-50.62	-12.80	2817.08
1063576.00	1041365.00	RMP4	1751.75	800.00	-86.21	-43.64	-41.93	-797.75
1120656.00	1112560.00	Bas-R2	2533.67	1500.00	-82.62	-34.18	-48.04	-1493.74
1135447.00	1129989.00	Bas-R3	2551.05	2200.00	-75.62	-21.32	-53.56	-2195.93
1013339.00	995230.50	ChoachiAguaFria	2855.91	6500.00	-120.82	-30.48	-88.70	-6488.18
1031100.00	983520.00	ChoachiBordeEste	2990.02	1100.00	-77.91	-32.83	-42.49	-1066.41
1031323.00	1034272.00	Guatavita	2878.27	4200.00	-133.89	-62.83	-70.78	-4198.19
1023565.00	1012623.00	LaCaleraRioBlanco	2859.83	2500.00	-126.81	-69.99	-58.06	-2514.79
1042920.00	1006000.00	LaCaleraBordeEste	2885.78	-50.00	-81.18	-45.73	-34.99	53.62
1026927.00	1019128.00	BPBS-88-06	3486.58	1236.00	-126.15	-79.93	-46.63	-1233.45
1302282.00	1235793.00	CanoRondon-1	161.24	3082.00	-52.87	8.82	-61.80	-3082.26
1294294.00	1284420.00	NP-8	170.02	2770.00	-65.56	-6.48	-59.02	-2768.80
1271390.00	1274664.00	NP-3	172.89	4800.00	-87.27	-11.18	-77.06	-4811.51
1267784.00	1284127.00	NP-7	181.65	5234.00	-100.27	-20.54	-79.85	-5232.13
1262198.00	1291817.00	NP-6	189.48	5843.00	-111.92	-27.09	-84.92	-5843.19
1271179.00	1293668.00	NP-2	180.16	5450.00	-99.22	-17.68	-81.22	-5447.14
1235360.00	1277133.00	A-3	250.05	7200.00	-122.69	-26.49	-96.36	-7191.33
1230119.00	1275348.00	A-2	252.19	7700.00	-120.60	-20.21	-98.78	-7606.37
1228880.00	1273589.00	D-2	260.82	6800.00	-119.06	-26.21	-94.88	-6829.67
1204379.00	1288685.00	PreCr-8	1330.67	0.00	-103.10	-78.38	-28.28	1301.12
1191678.00	1262685.00	PreCr-1	1742.49	0.00	-81.95	-60.69	-21.71	1735.47
1200379.00	1254685.00	PreCr-2	1842.94	0.00	-77.96	-57.54	-20.58	1844.10
1299205.00	1117420.00	Puinaves-1	153.41	2572.80	-60.33	-2.90	-57.33	-2572.89
1301476.00	1112861.00	Bucare-1	148.38	2458.01	-58.55	-2.09	-56.33	-2457.69
1303354.00	1043478.00	Guarapito-1	134.49	1718.61	-41.51	8.76	-50.41	-1720.03
1164474.00	849680.00	ElViento-1	205.32	620.00	29.80	70.86	-40.91	-619.81
868739.00	961110.00	Bas_1	1036.86	0.00	-92.39	-65.21	-27.08	1036.57
876743.00	980333.00	Bas_2	1053.02	0.00	-89.52	-62.48	-26.82	1053.76
898882.00	992331.00	Bas_3	524.32	0.00	-96.92	-65.45	-31.72	522.52
904376.00	1025131.00	Bas_4	418.58	0.00	-51.97	-19.61	-31.22	426.11
905815.00	1039422.00	Bas_5	421.78	0.00	-56.52	-24.19	-32.47	419.63
1023548.00	964528.00	Bas_6	1894.18	0.00	-83.77	-63.78	-20.97	1895.48
1032388.00	975861.00	Bas_7	2733.06	0.00	-75.65	-62.69	-13.68	2720.44
1043497.00	961243.00	Bas_8	1606.27	0.00	-83.82	-61.41	-22.69	1611.58
1049653.00	976185.00	Bas_9	2609.88	0.00	-73.85	-59.85	-13.98	2610.81
1039388.00	986157.00	Bas_10	3415.44	0.00	-69.97	-62.72	-8.50	3396.51
1065957.00	984908.00	Bas_11	1038.26	0.00	-83.09	-55.92	-27.16	1039.55

1067299.00	995362.00	Bas_12	1579.06	0.00	-72.38	-49.75	-22.45	1584.95
1084610.00	1131931.00	Bas_13	3043.34	0.00	-76.73	-66.37	-11.71	3033.74
1102419.00	1156722.00	Bas_14	2577.60	0.00	-61.40	-47.13	-14.11	2581.83
1110729.00	1138862.00	Bas_15	2822.83	0.00	-76.84	-64.63	-14.58	2797.57
1126495.00	1158302.00	Bas_16	3094.24	0.00	-56.06	-46.12	-9.88	3097.82
1112748.00	1167170.00	Bas_17	2311.58	0.00	-53.02	-36.52	-16.17	2312.68
1137631.00	1174939.00	Bas_18	3020.86	0.00	-51.69	-41.14	-10.46	3020.61
1133132.00	1191113.00	Bas_19	3228.98	0.00	-49.39	-40.58	-8.85	3227.98
1140891.00	1200446.00	Bas_20	2256.19	0.00	-59.59	-42.63	-16.81	2261.29
1150701.00	1190579.00	Bas_21	2769.96	0.00	-59.59	-46.94	-12.66	2770.60
1148883.00	1173055.00	Bas_22	3523.56	0.00	-55.63	-49.29	-6.40	3523.48
1141260.00	1151511.00	Bas_23	2945.04	0.00	-61.87	-50.68	-11.58	2942.98
905535.00	1072406.00	Bas_24	804.30	0.00	-52.50	-23.37	-29.43	801.47
907534.00	1094263.00	Bas_25	604.41	0.00	-43.68	-12.88	-30.67	605.22
918792.00	1117896.00	Bas_26	329.26	0.00	-41.41	-8.30	-33.37	327.51
926111.00	1148533.00	Bas_27	327.68	0.00	-7.67	25.45	-32.61	329.87
937180.00	1182113.00	Bas_28	282.81	0.00	-7.06	26.44	-33.47	282.60
938615.00	1199889.00	Bas_29	493.01	0.00	-9.96	21.77	-31.90	492.63



Scale 1:500000  
 Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone



Figura 1

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)



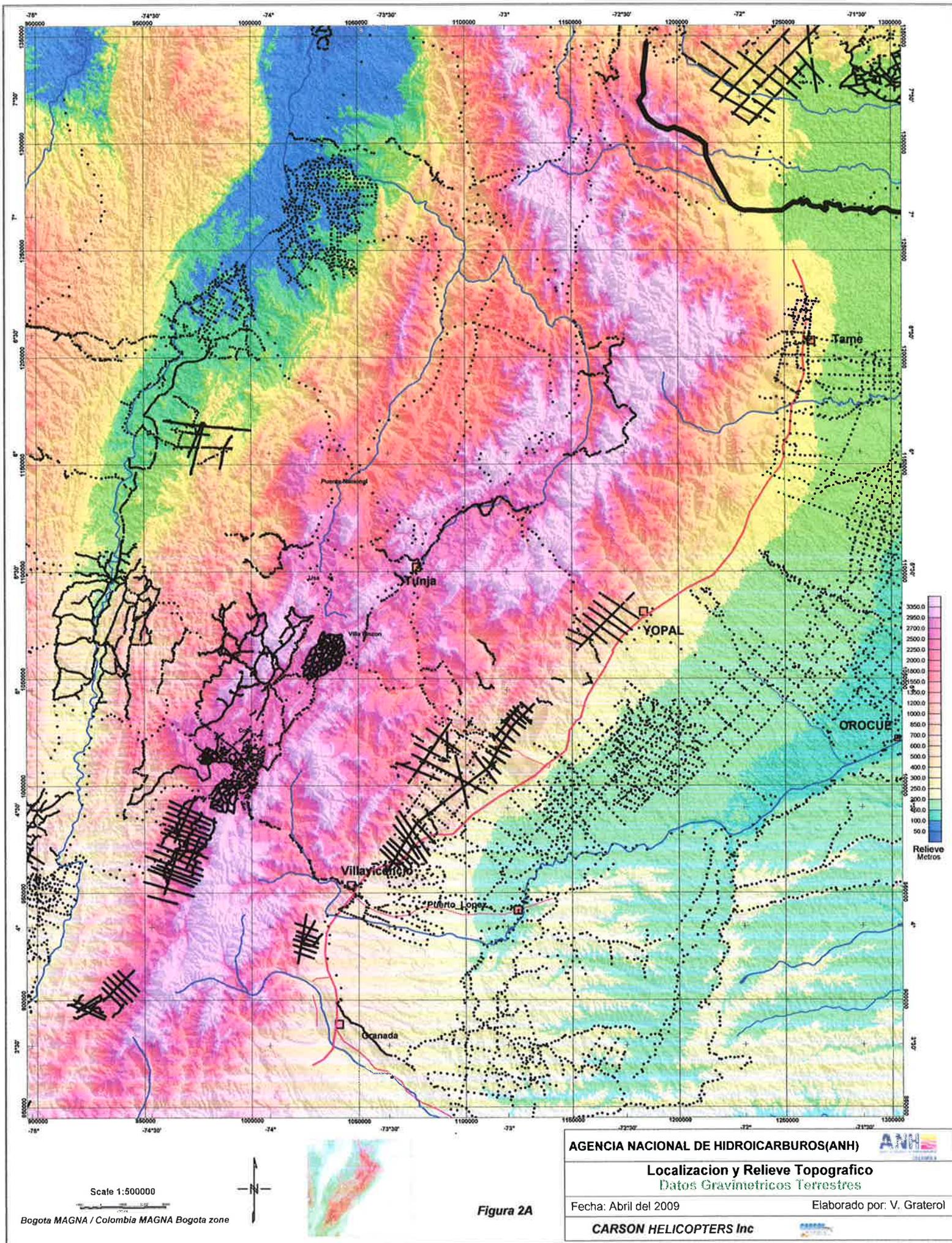
Localizacion y Relieve Topografico

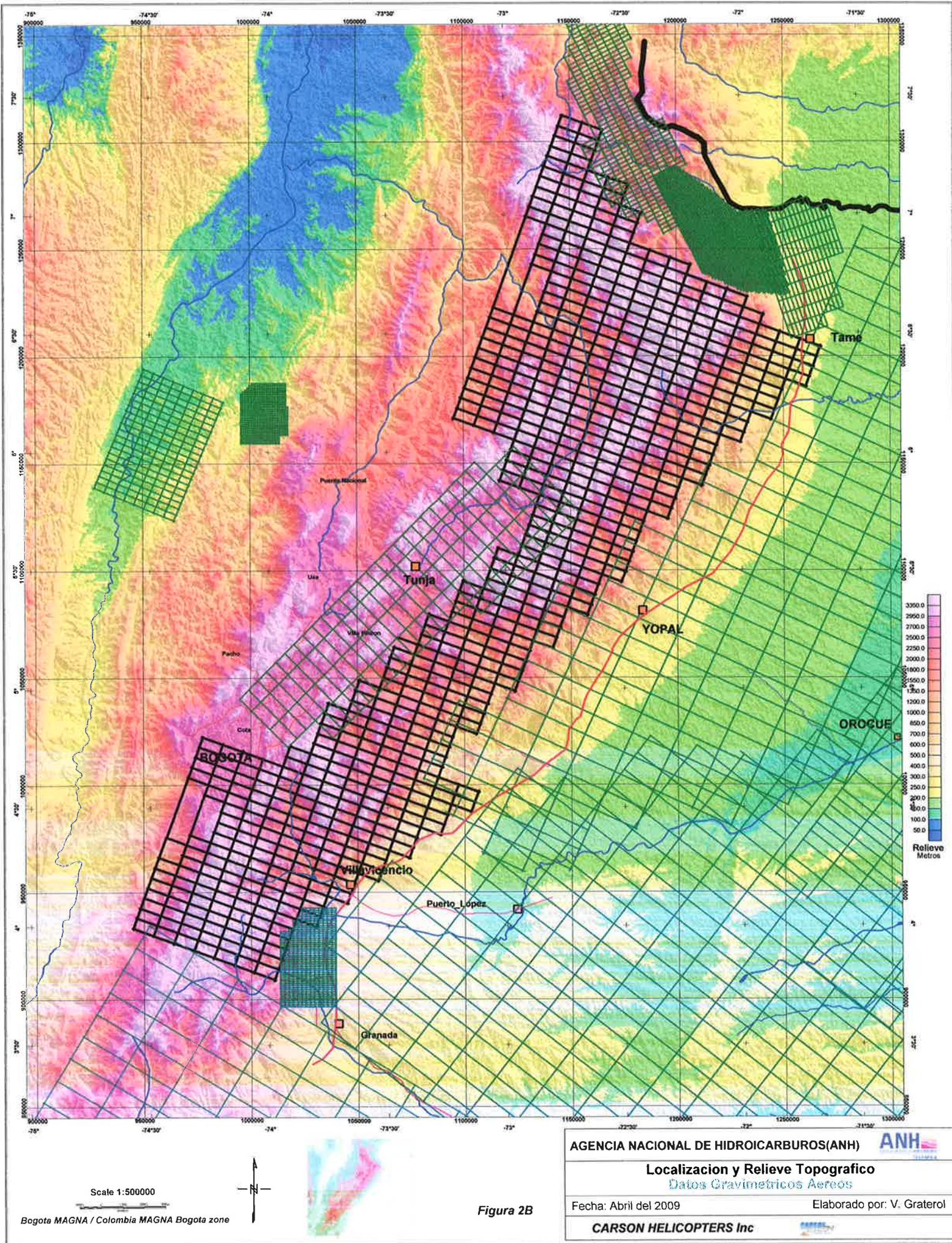
Fecha: Abril del 2009

Elaborado por: V. Graterol

CARSON HELICOPTERS Inc







AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS(ANH)



**Localización y Relieve Topografico**  
 Datos Gravimetricos Aereos

Fecha: Abril del 2009

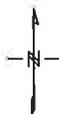
Elaborado por: V. Graterol

**CARSON HELICOPTERS Inc**



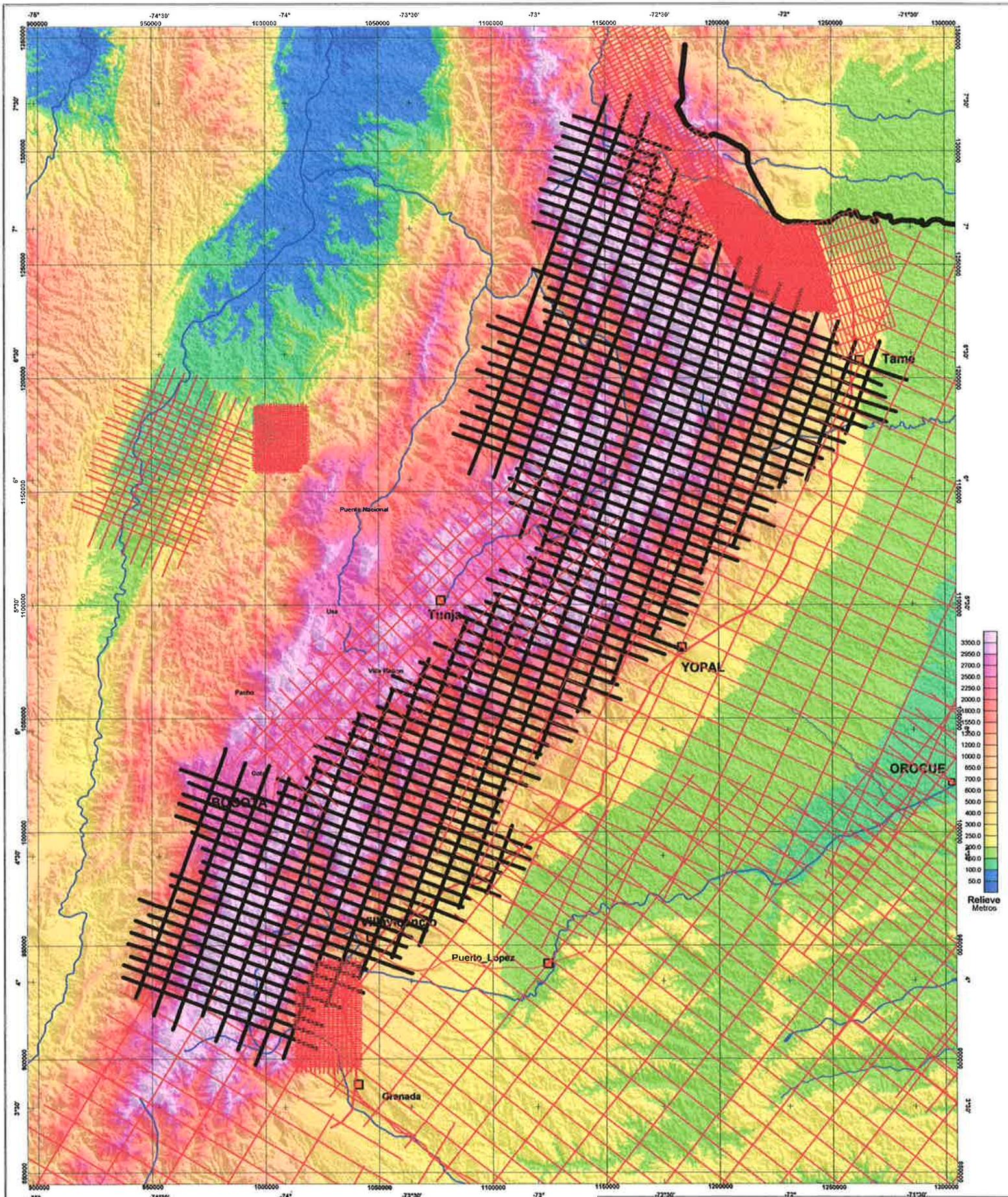
Figura 2B

Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone





Scale 1:500000  
 Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

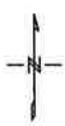


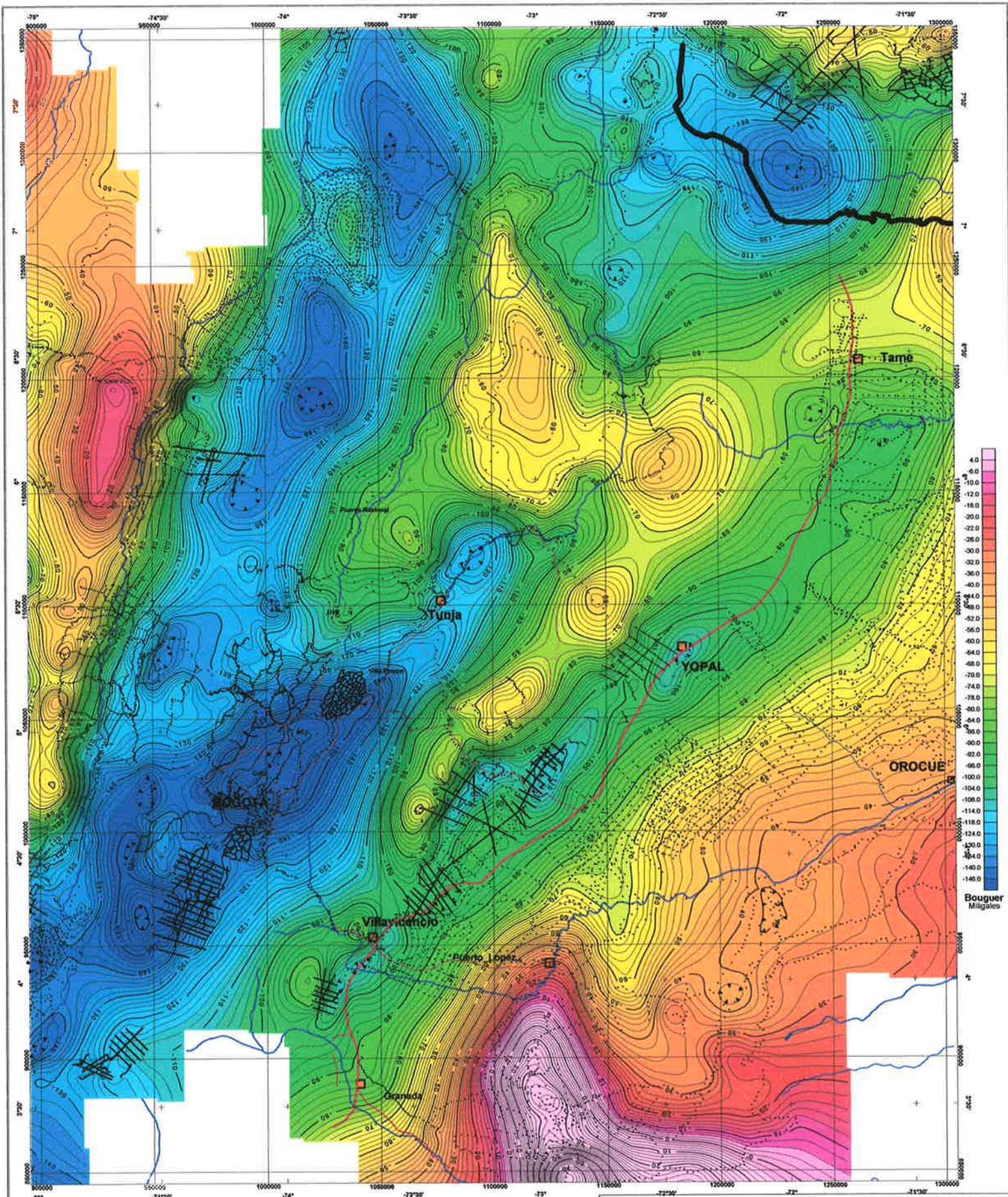
Figura 2D

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS(ANH) 

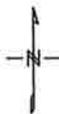
**Localizacion y Relieve Topografico**  
**Datos Magneticos Aereos**

Fecha: Abril del 2009 Elaborado por: V. Graterol

**CARSON HELICOPTERS Inc** 



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 3A

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS(ANH)



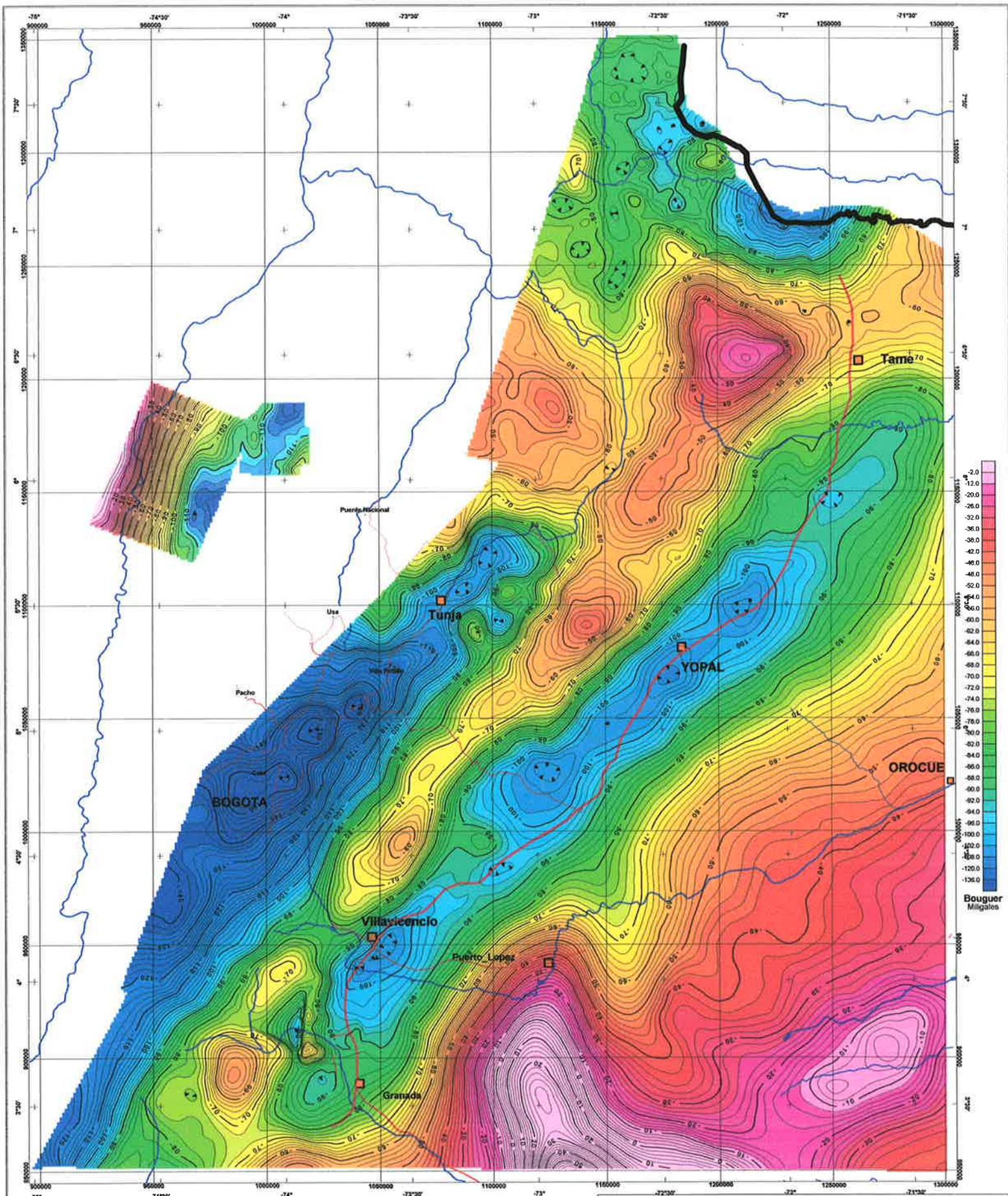
Anomalia de Bouguer (Datos Terrestres) -  $p=2.50g/cc$

Fecha: Abril del 2009

Elaborado por: V. Graterol

CARSON HELICOPTERS Inc

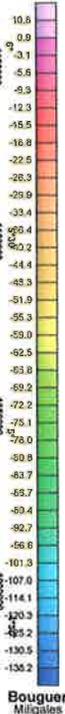
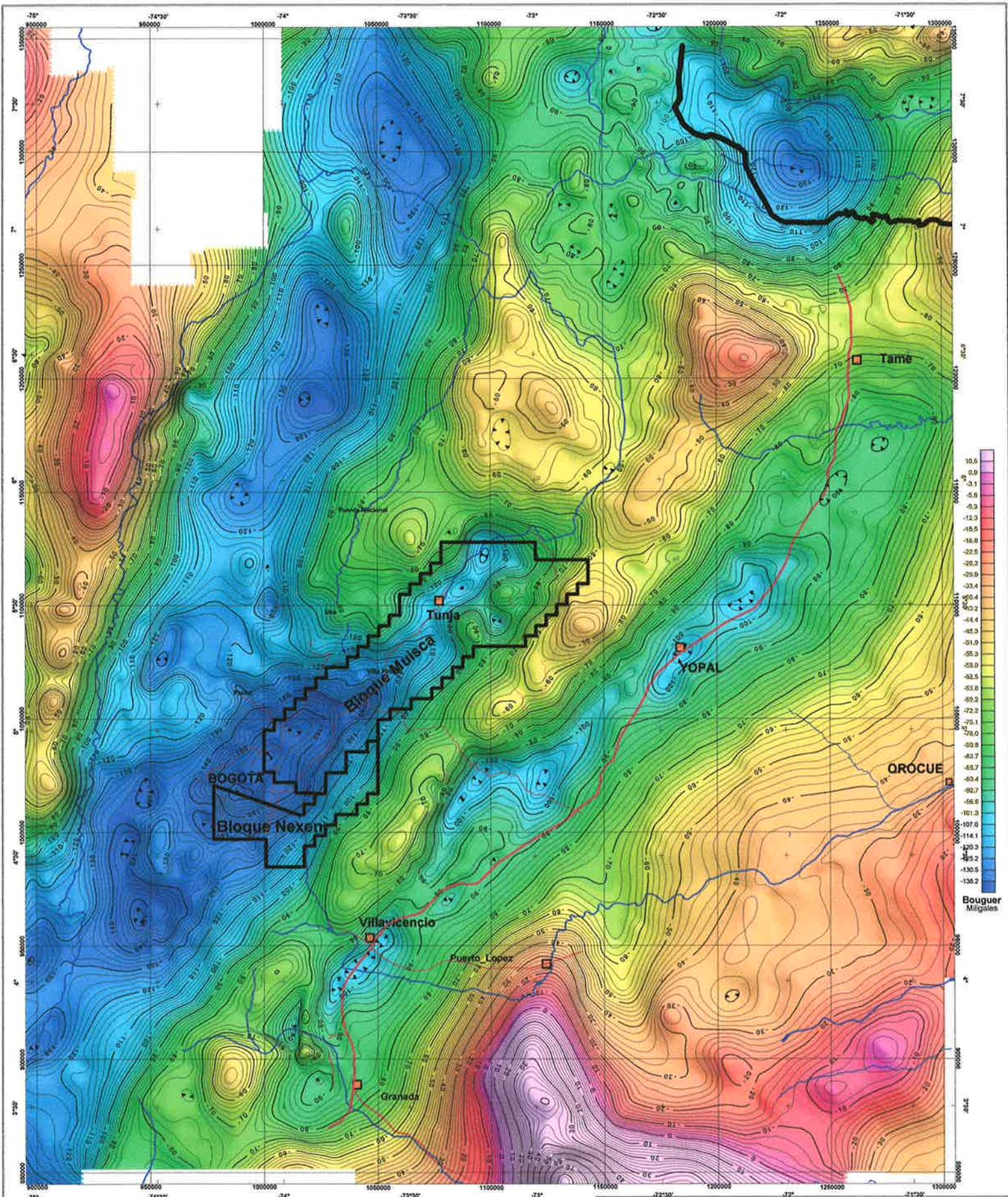




Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 3B

**AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)** ANH  
**Anomalia de Bouguer (Datos Aereos) -  $\rho=2.50g/cc$**   
 Fecha: Abril del 2009 Elaborado por: V. Graterol  
**CARSON HELICOPTERS Inc**



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone



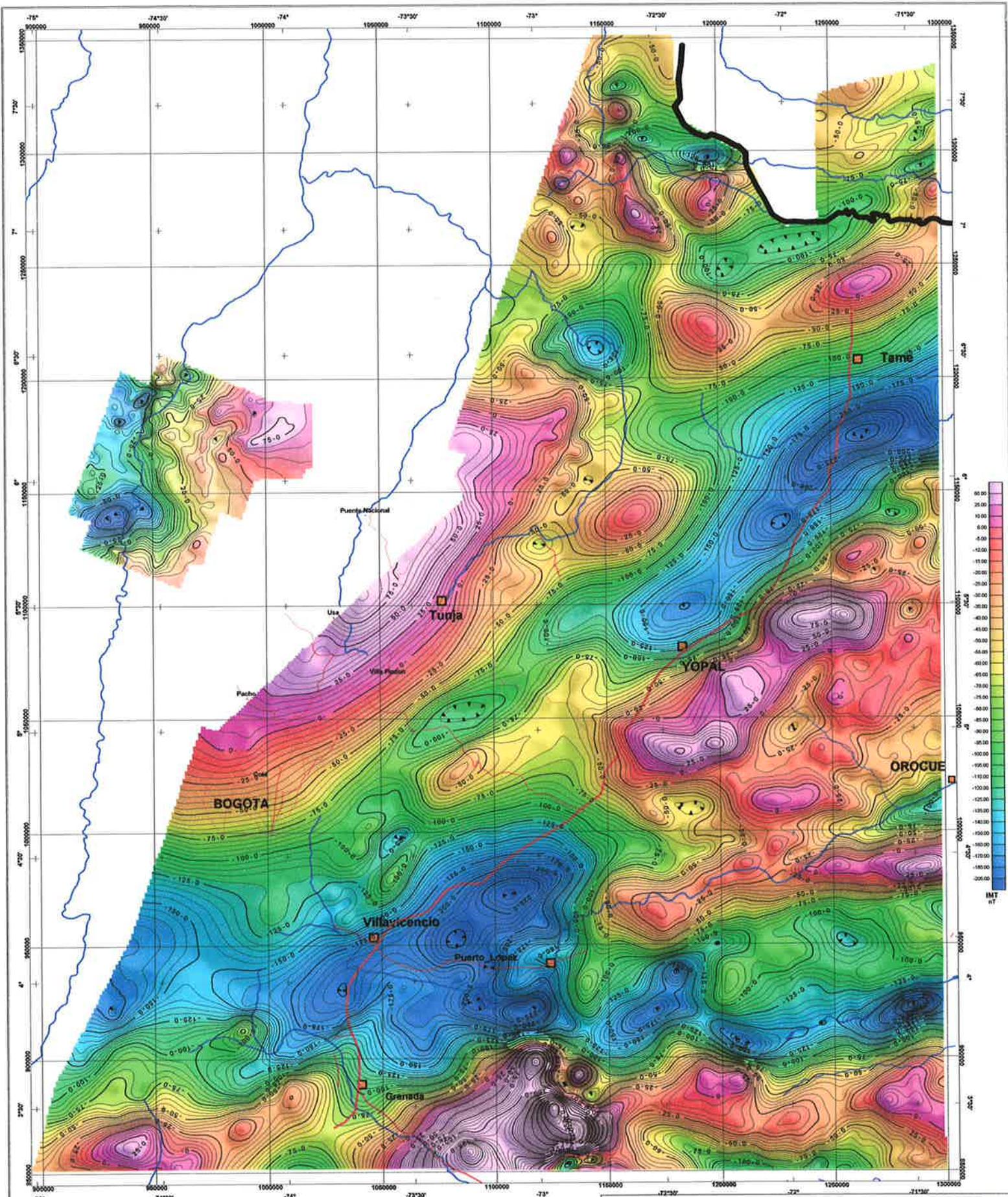
Figura 3C

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) 

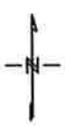
Anomalia de Bouguer (Datos Aereos y Terrestres) -  $\rho=2.50\text{g/cc}$

Fecha: Abril del 2009 Elaborado por: V. Graterol

CARSON HELICOPTERS Inc 



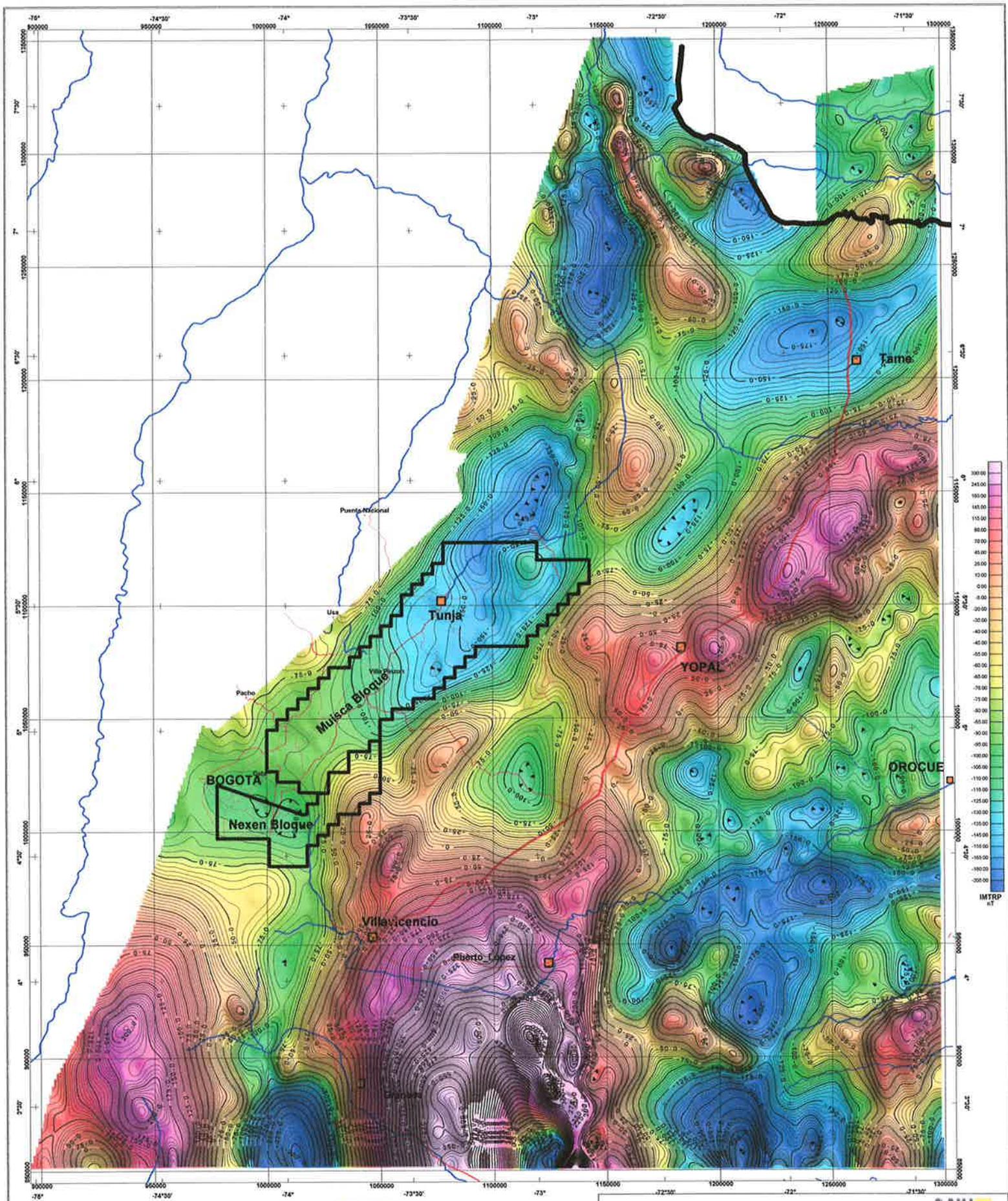
Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 4A

<b>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)</b> 	
<b>Intensidad Magnetica Total (IMT)</b>	
Fecha: Abril del 2009	Elaborado por: V. Graterol
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 	



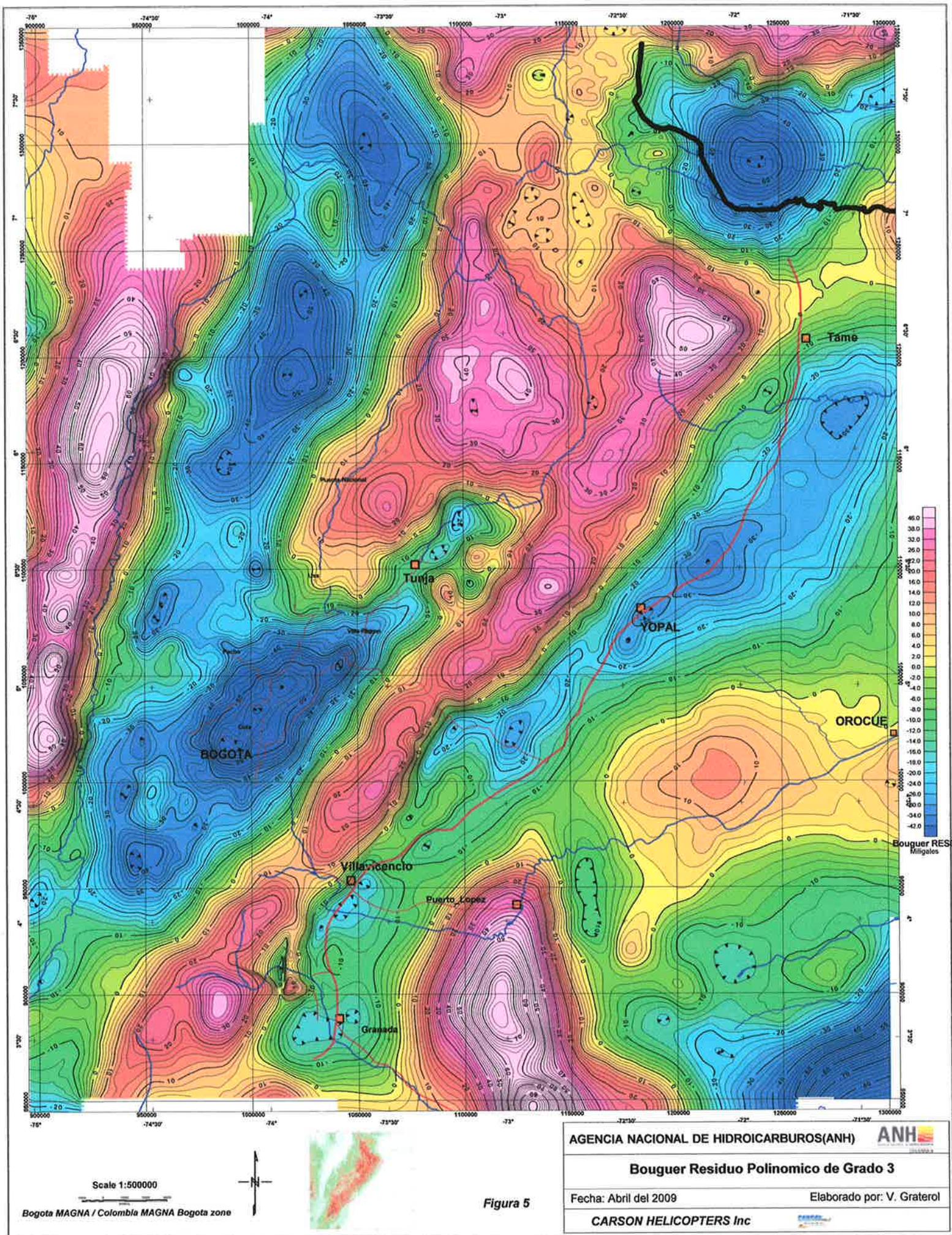
Scale 1:500000

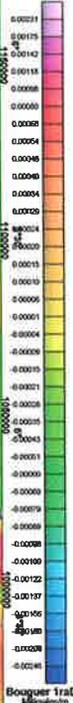
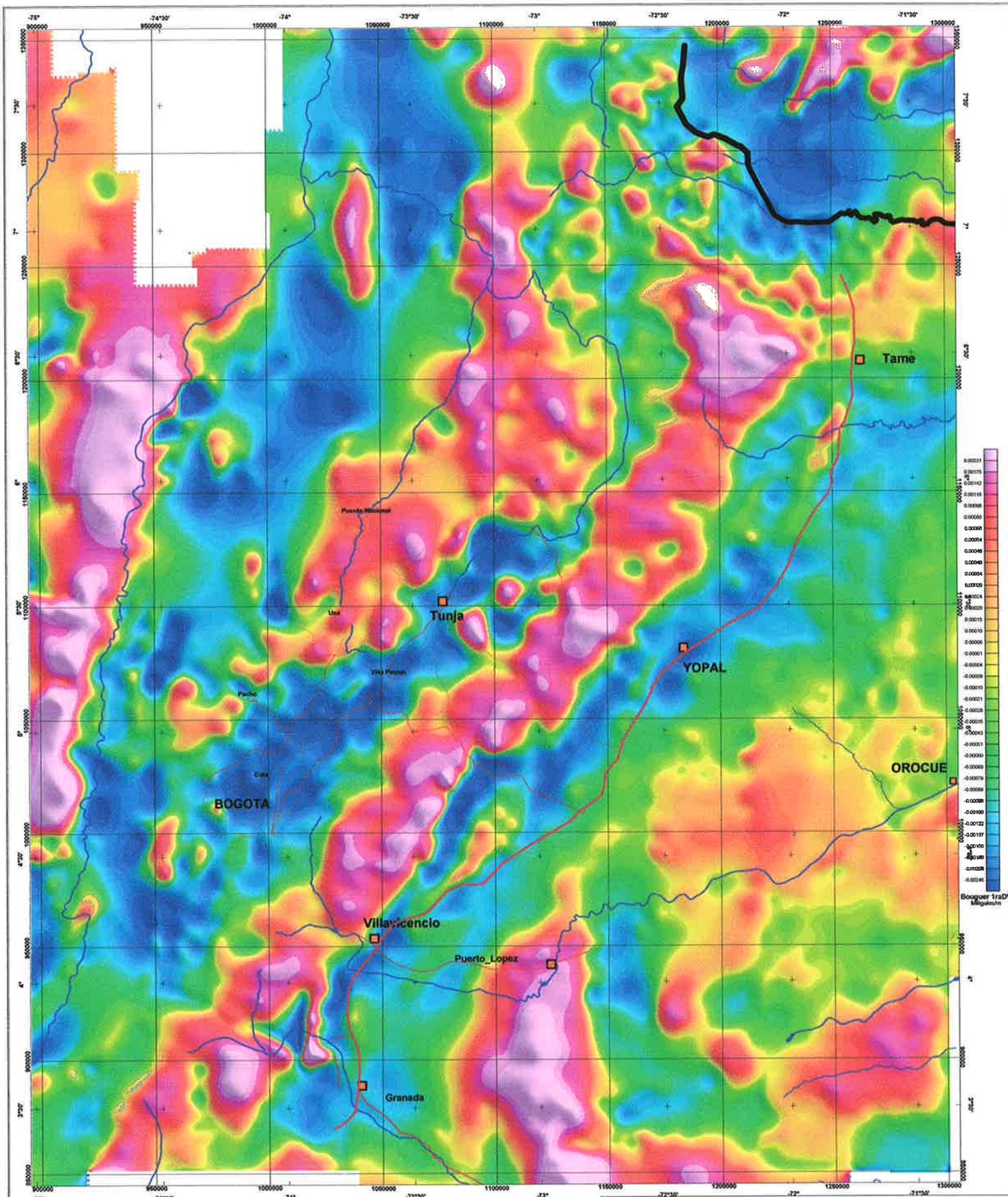


Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

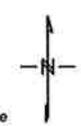
Figura 4B

<b>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)</b>	
<b>Intensidad Magnética Total Reducida al POLO (IMTRP)</b>	
Fecha: Abril del 2009	Elaborado por: V. Graterol
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b>	





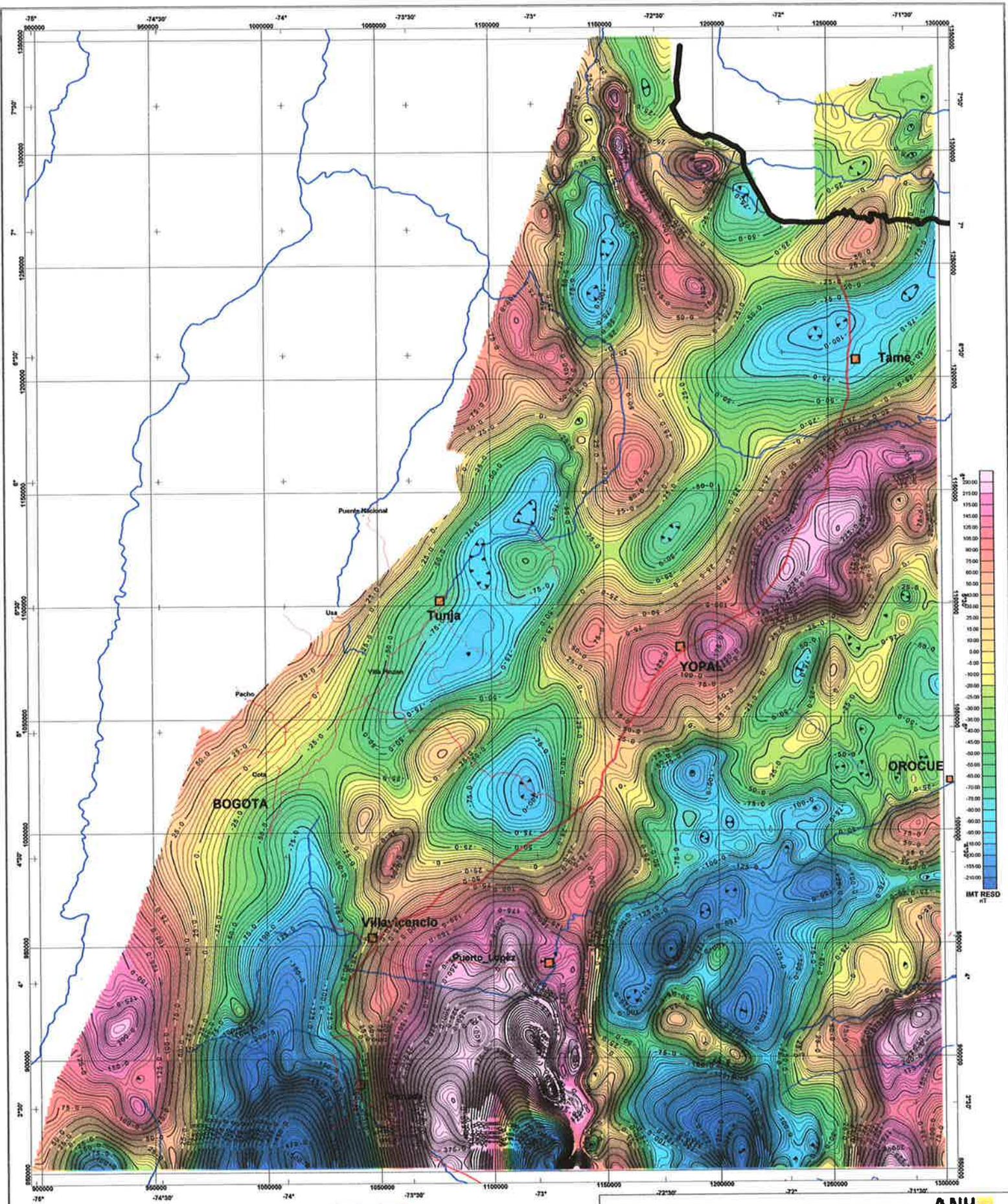
Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 6

<b>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)</b>	
<b>Bouguer 1ra. Derivada Vertical</b>	
Fecha: Abril del 2009	Elaborado por: V. Graterol
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b>	



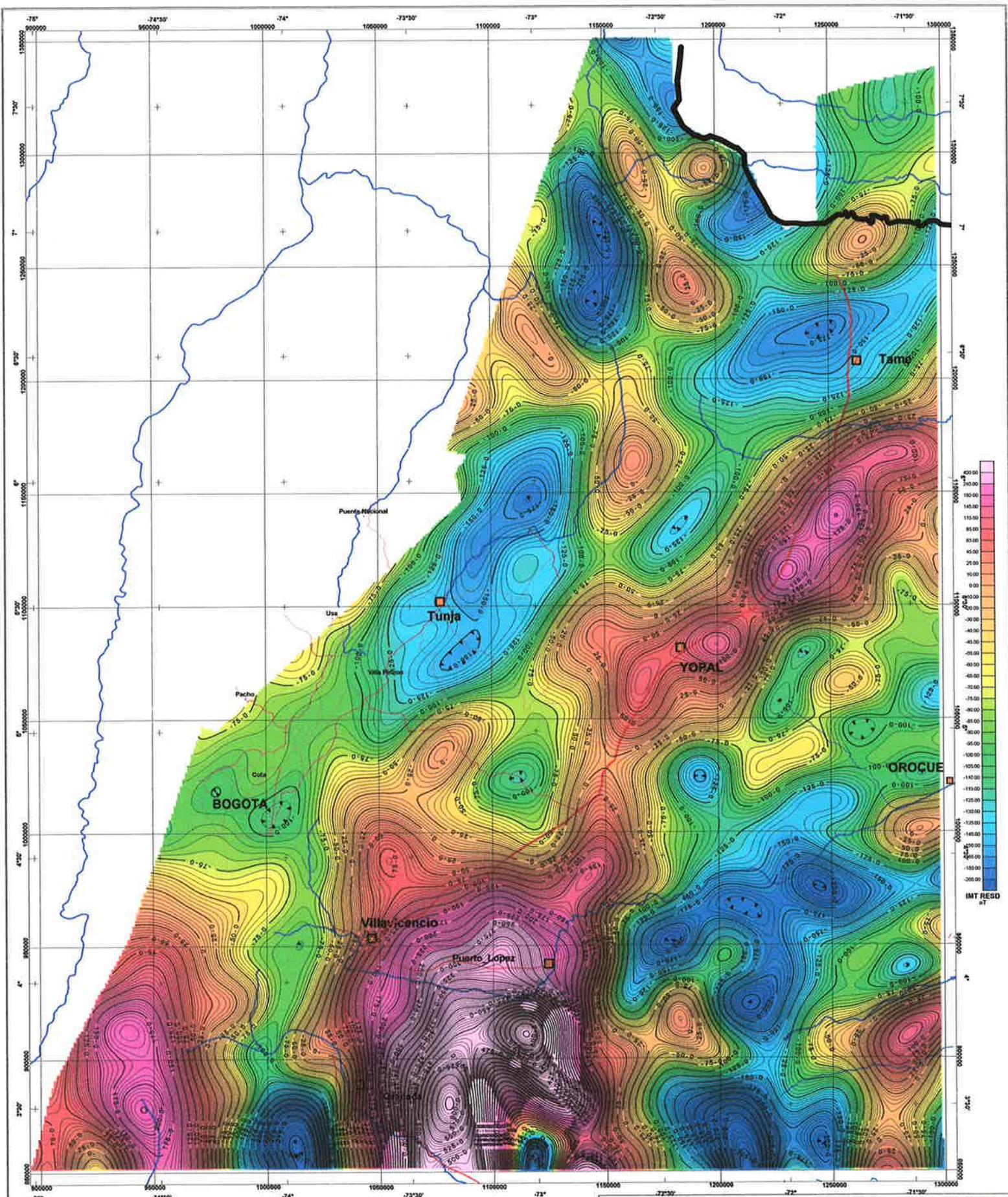
Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 7

<b>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS(ANH)</b> 	
<b>IMTRP Residuo Polinómico de Grado 3</b>	
Fecha: Abril del 2009	Elaborado por: V. Graterol
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 	



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 8

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS(ANH)



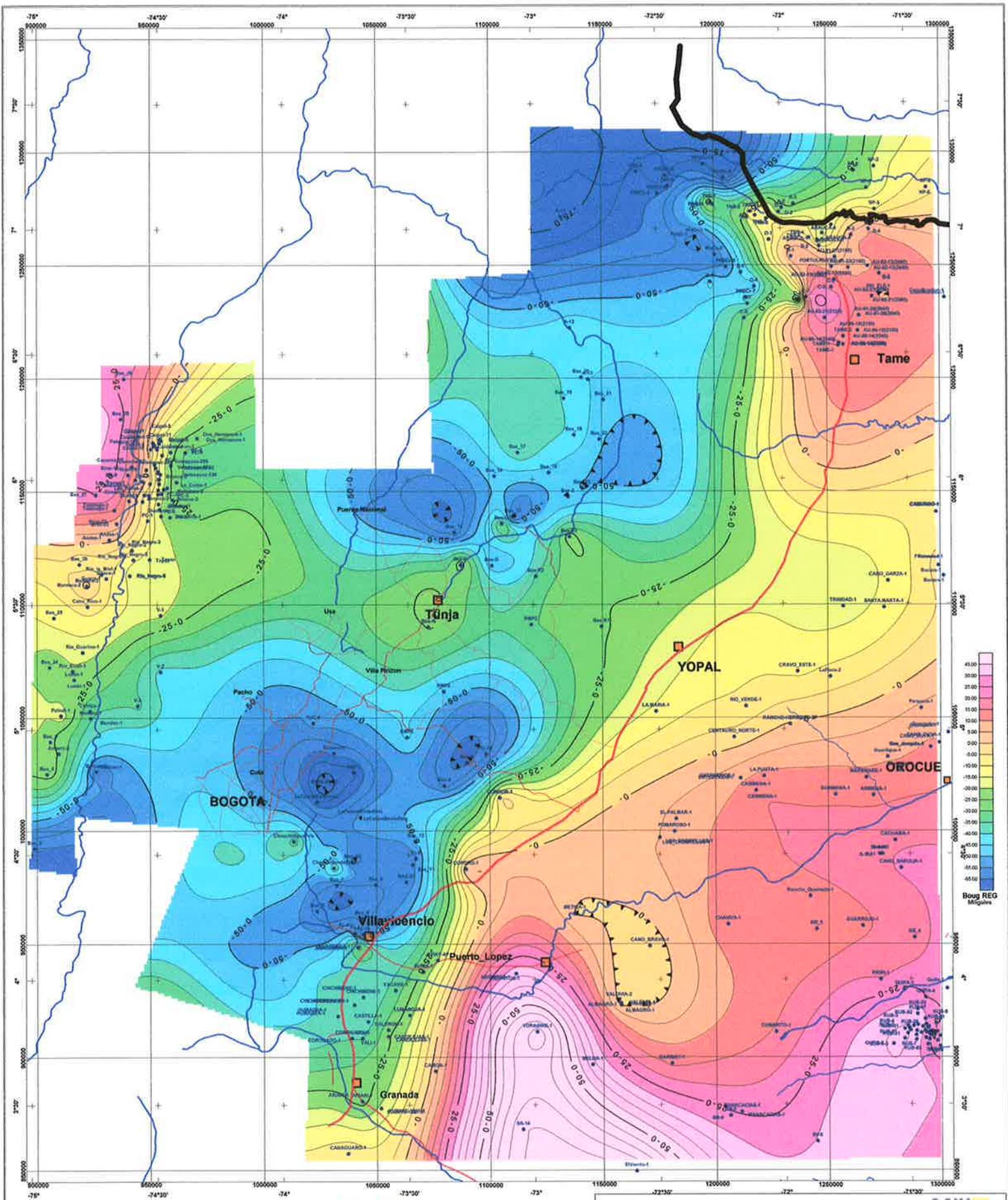
IMTRP Residuo Bandpass 1KM-30Km

Fecha: Abril del 2009

Elaborado por: V. Graterol

CARSON HELICOPTERS Inc





Scale 1:500000

Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

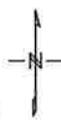


Figura 9

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)



Regional Controlado

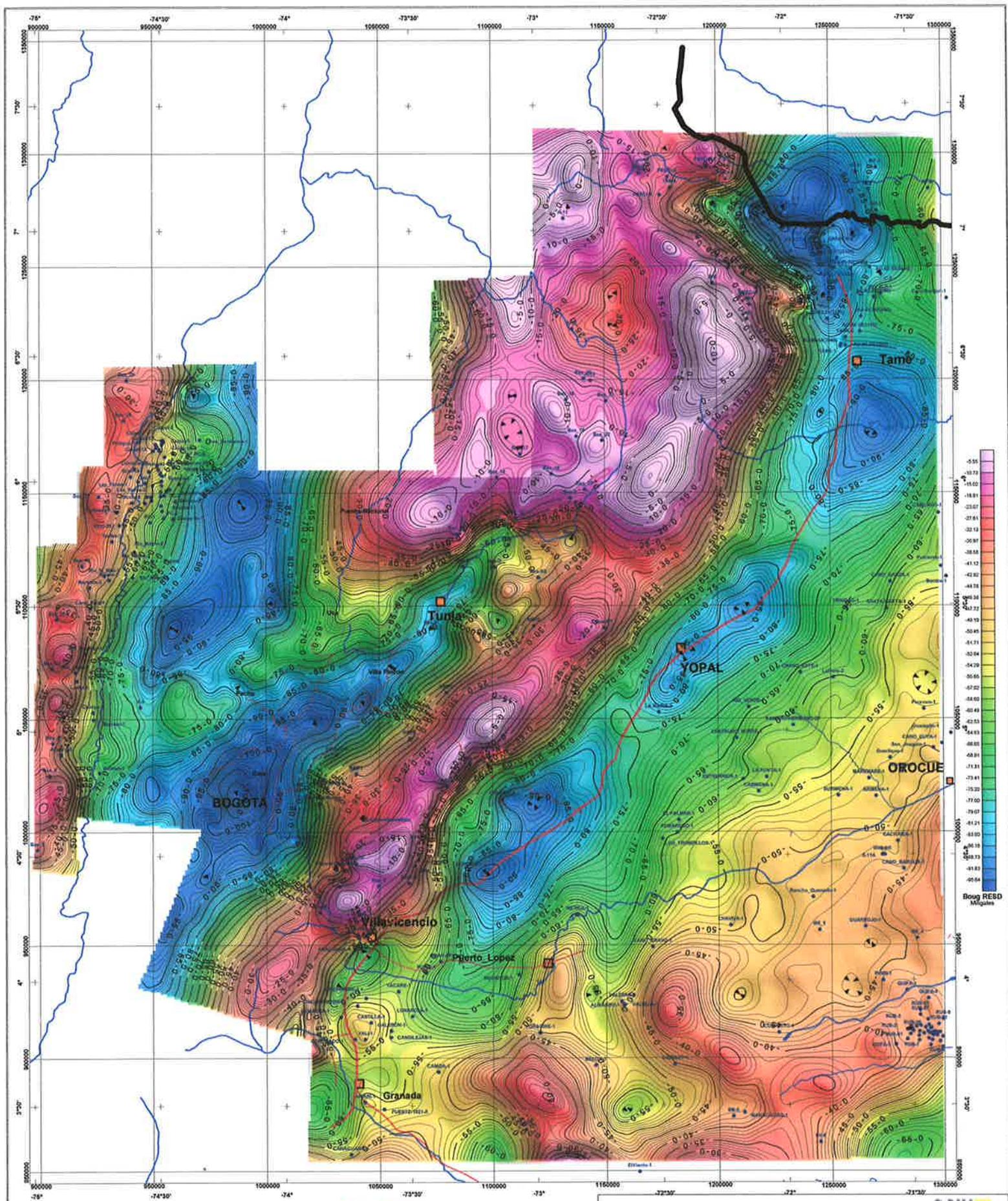
Topo del Basamento PreCr \*\* Referencia: 4500m Arriba del NMM

Fecha: Abril del 2009

Elaborado por: V. Graterol

CARSON HELICOPTERS Inc





Scale 1:500000  
 Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

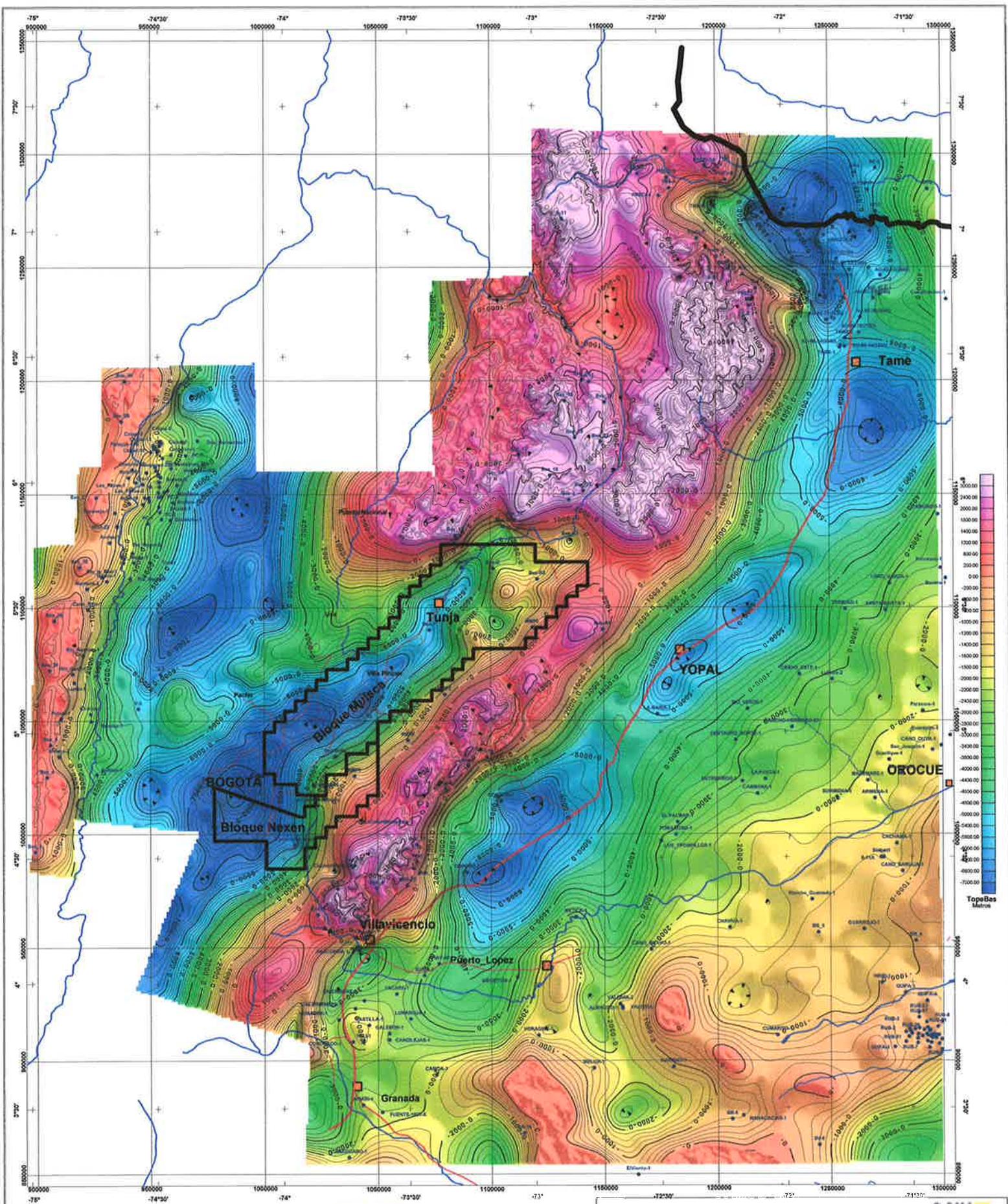
Figura 10

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS(ANH) 

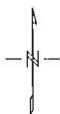
**Residual Controlado**  
 Tope del Basamento PreCr \*\* Referencia: 4500m Arriba del NMM

Fecha: Abril del 2009 Elaborado por: V. Graterol

**CARSON HELICOPTERS Inc** 



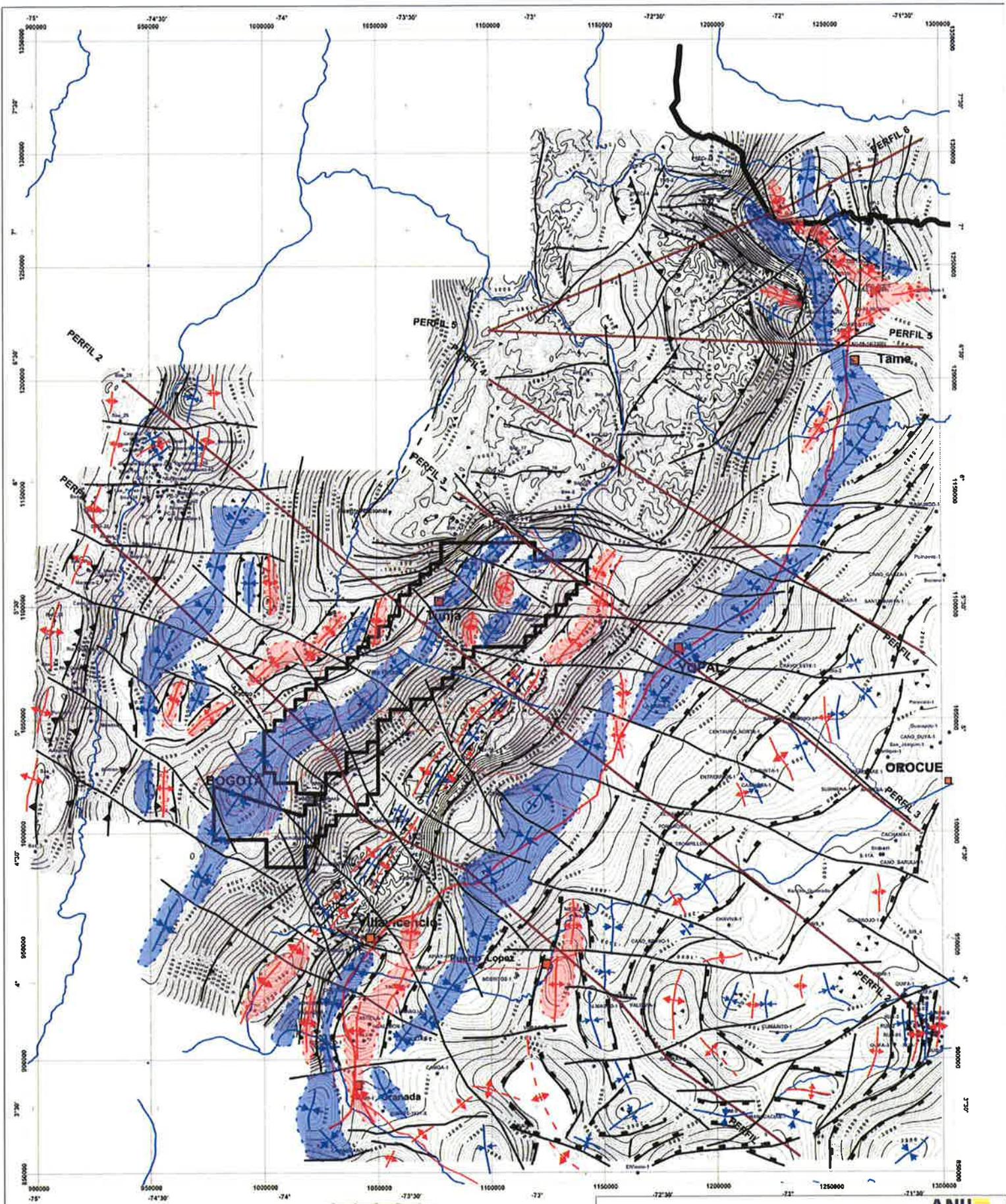
Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 11

<b>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS(ANH)</b> 	
<b>Tope del Basamento PreCr</b> Inversion 3D del Residuo Controlado ** Referencia: NMM	
Fecha: Abril del 2009	Elaborado por: V. Graterol
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 	



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 12

<b>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)</b> 	
<b>Interpretación Estructural Tópe del Basamento PreCr</b> Referencia: NMM	
Fecha: Abril del 2009	Elaborado por: V. Graterol
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 	

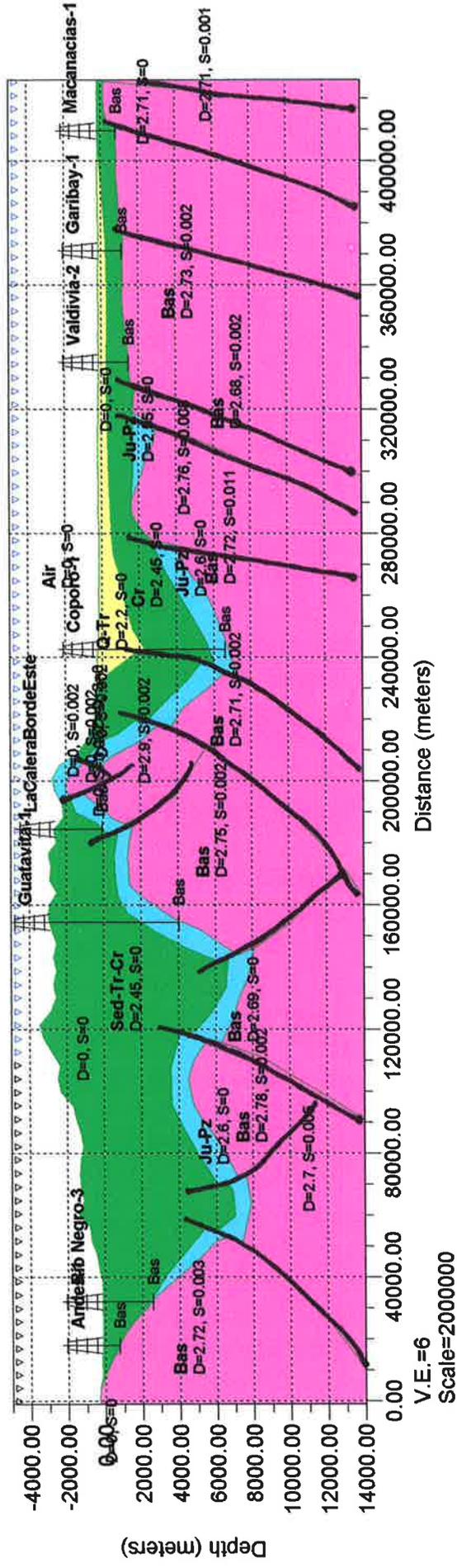
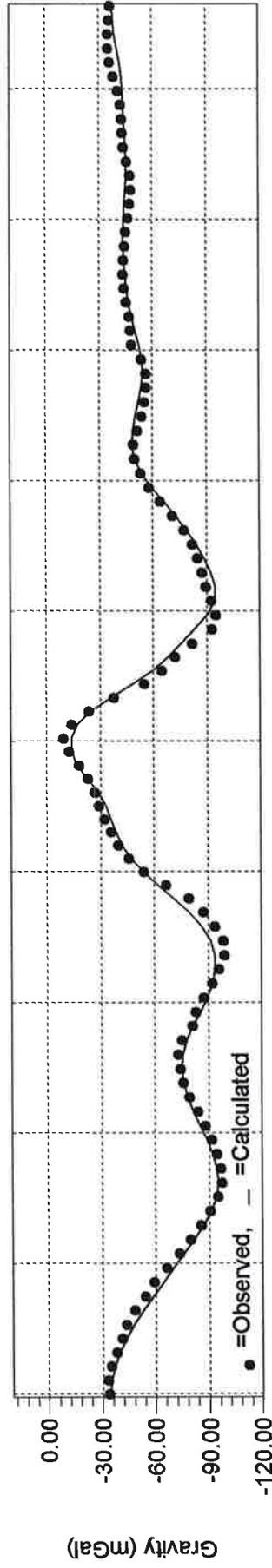
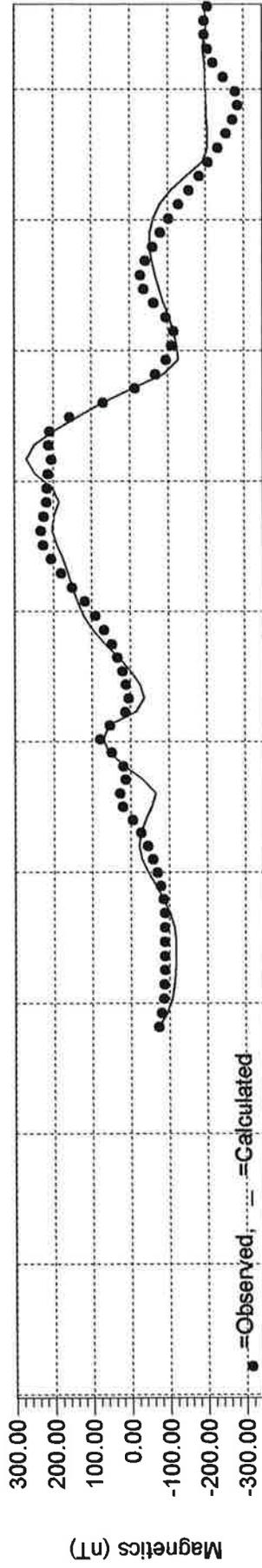
# ANH CORDILLERA

Generated with GM-SYS

# PERFIL 1

# Figura 13

Sun May 17 07:02:41 2009







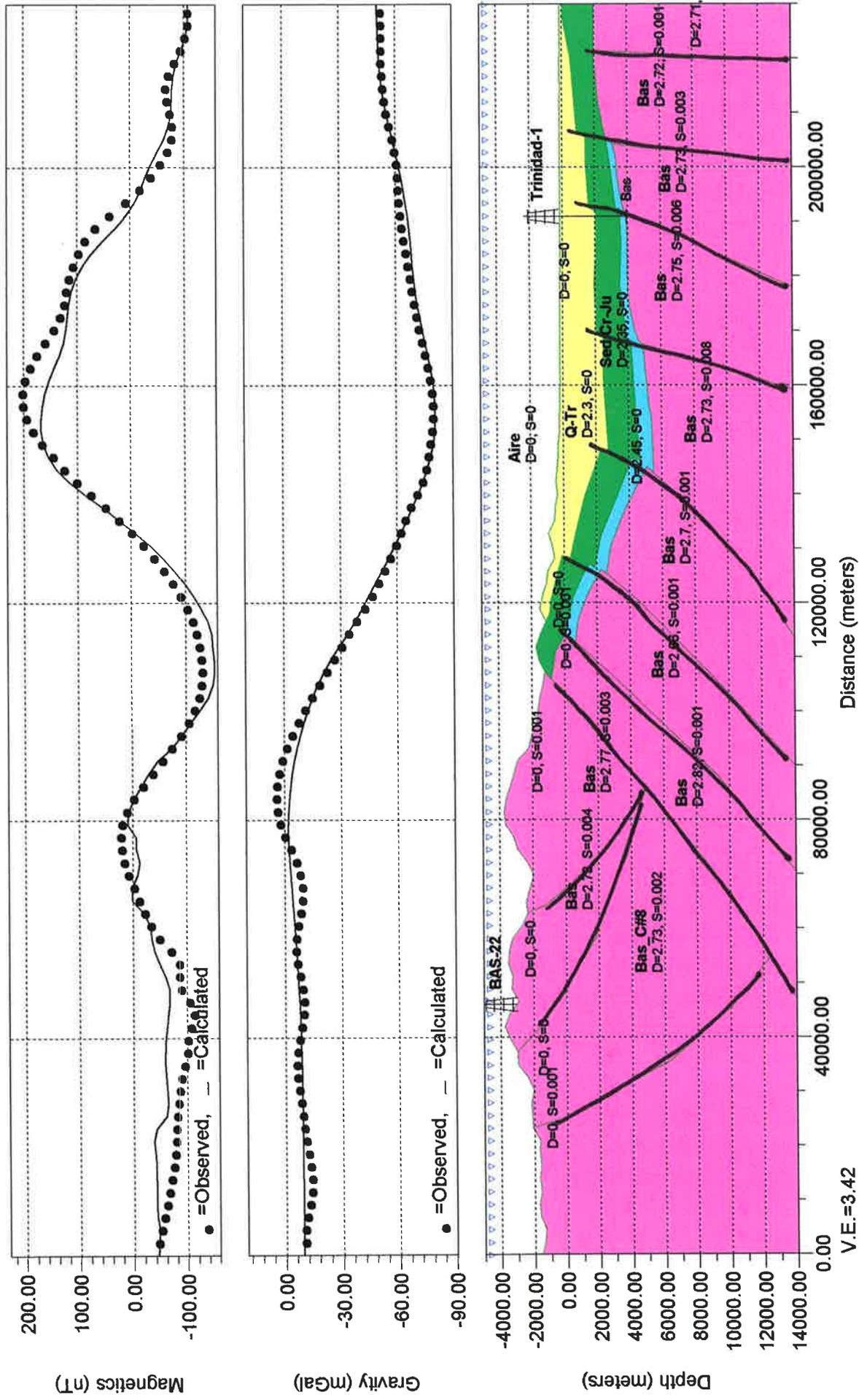
# ANH CORDILLERA

## PERFIL 4

### Figura 16

Generated with GM-SYS

Sun May 17 17:32:07 2009



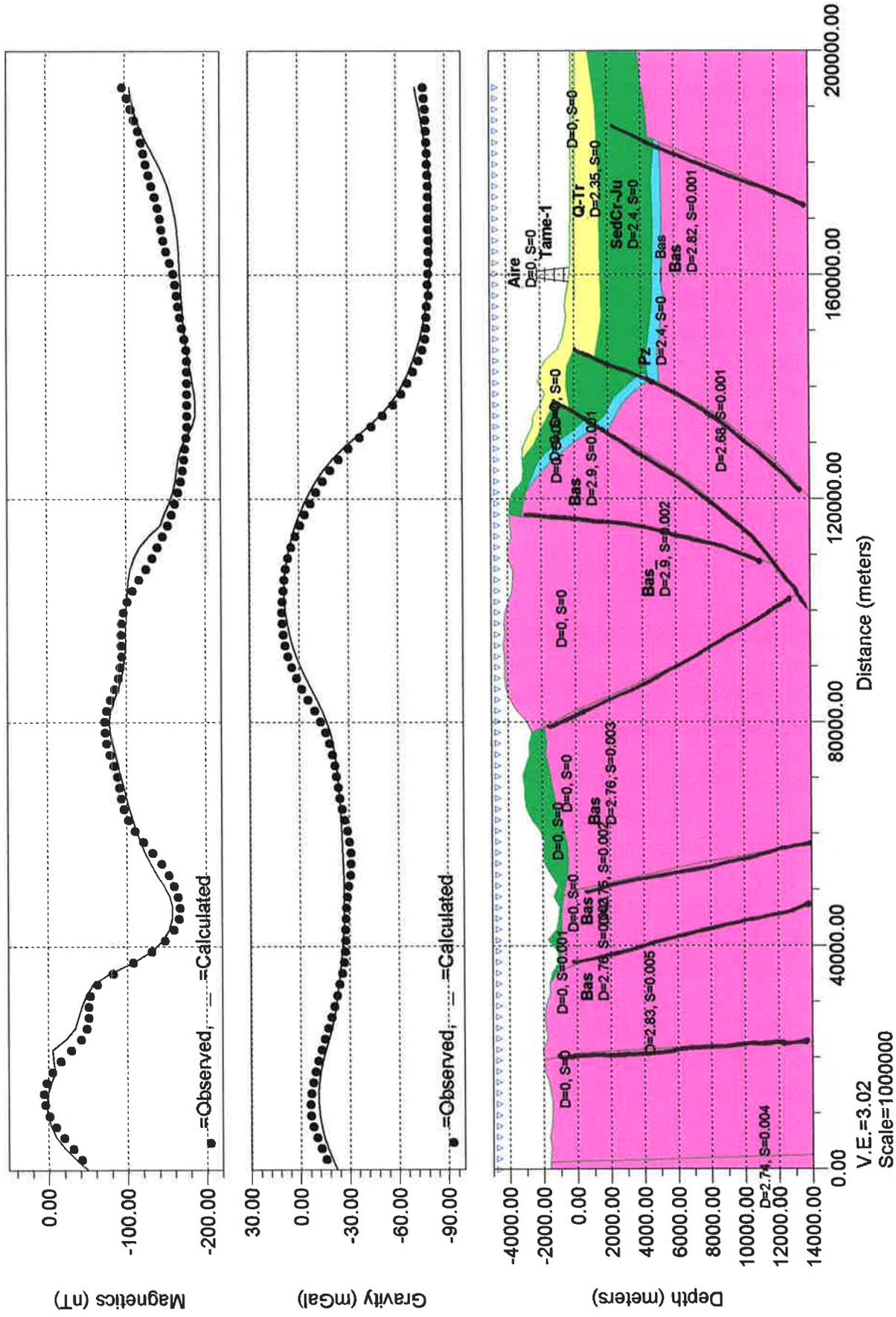
# ANH CORDILLERA

Generated with GM-SYS

## PERFIL 5

## Figura 17

Sun May 17 18:37:21 2009



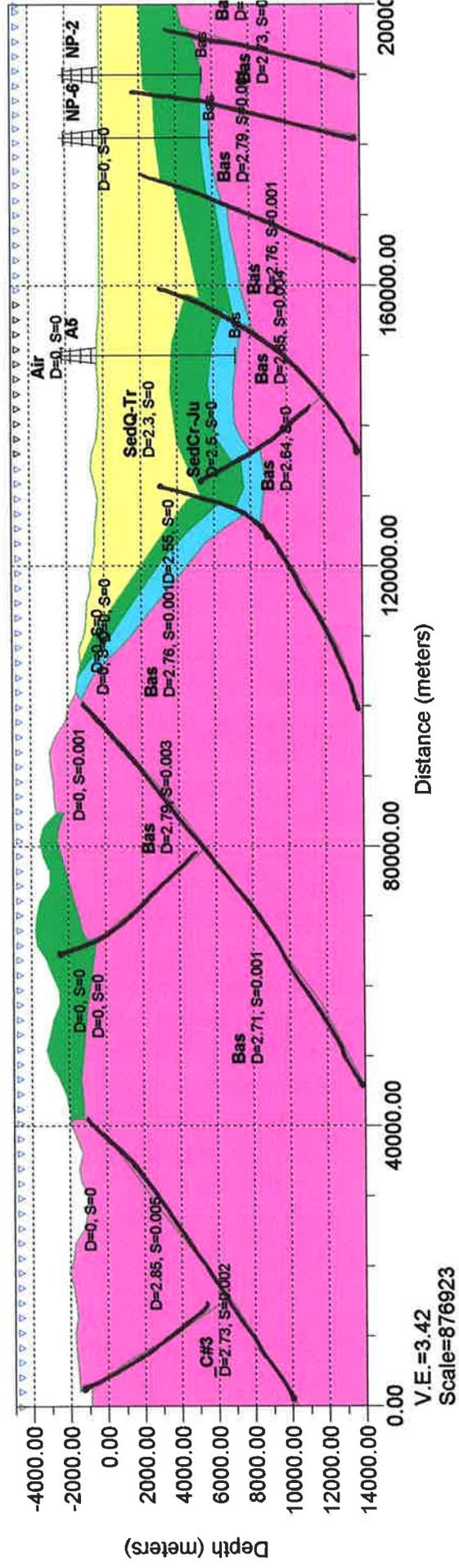
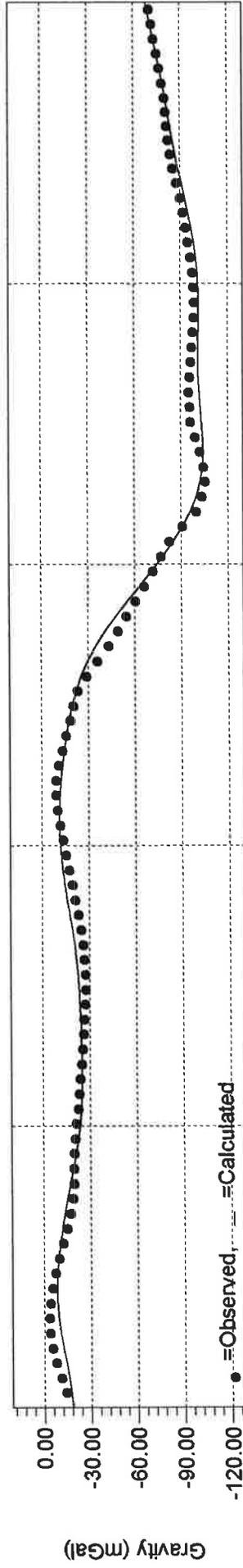
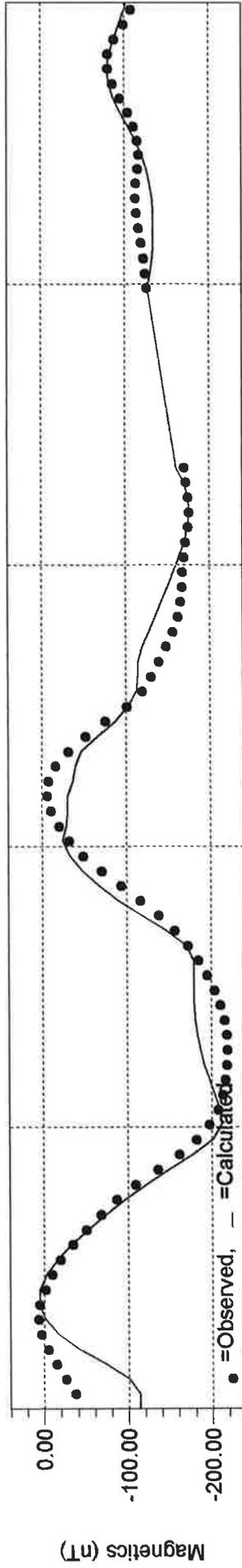
# ANH CORDILLERA

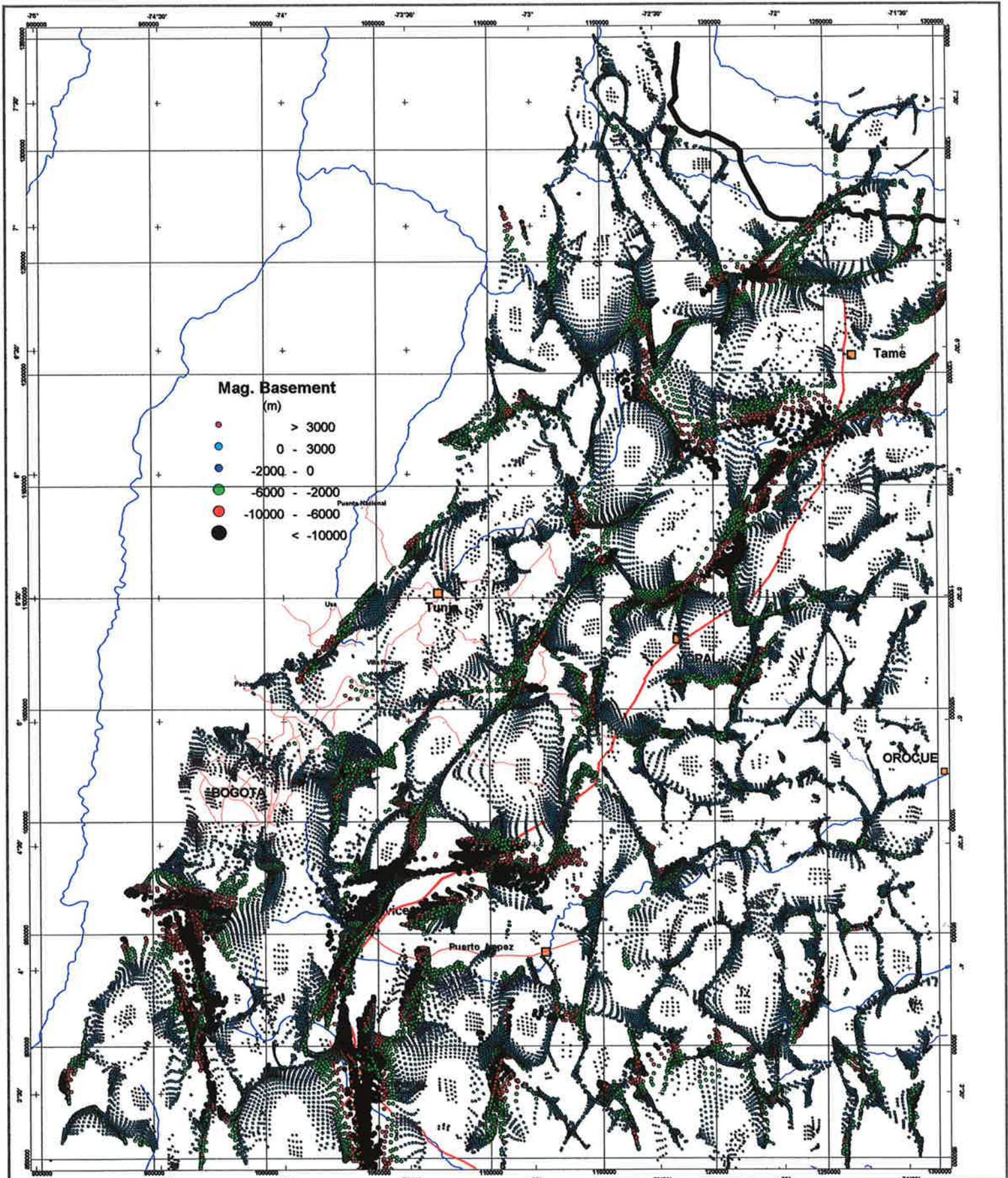
## PERFIL 6

### Figura 18

Generated with GM-SYS

Sun May 17 17:26:15 2009





**Mag. Basement  
(m)**

- > 3000
- 0 - 3000
- -2000 - 0
- -6000 - -2000
- -10000 - -6000
- < -10000

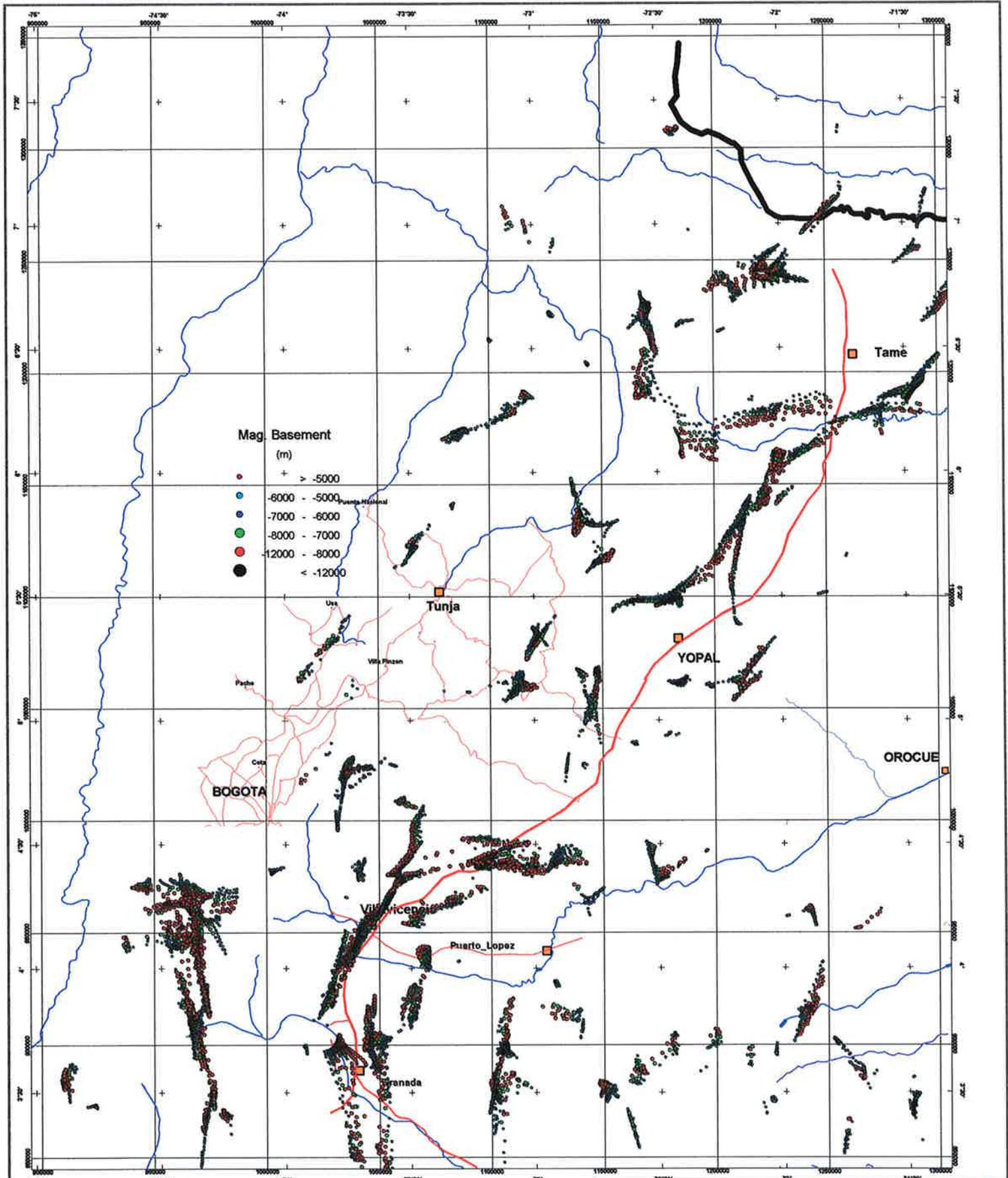
Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 19

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) 	
<b>IMTRP Soluciones de EULER</b> Contacto Magnético - SI=0.0 (Todas las Soluciones)	
Fecha: Abril del 2009	Elaborado por: V. Graterol
CARSON HELICOPTERS Inc 	



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia MAGNA Bogota zone

Figura 20

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) 	
<b>IMTRP Soluciones de EULER</b> Contacto Magnético - SI=0.0 ( Soluciones Profundas)	
Fecha: Abril del 2009	Elaborado por: V. Graterol
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 	