

---

---

# AIRBORNE GRAVITY AND MAGNETIC SURVEY



**La Cuenca del Putumayo, Colombia  
Contrato N° 036**

**Diciembre 9, 2008 – Febrero 12, 2009**

**Para**



INFORME FINAL DE INTERPRETACION

Mayo del 2009

**Elaborado por: Ing. Víctor Graterol G.**

---

---

Carson Helicopters, Inc./Aerogravity Division  
952 Blooming Glen Road

# **Interpretación Aeromagnetogravimétrica de la Cuenca del Putumayo, Colombia Contrato N° 036**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Página</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>1</b>
<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2.0 DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA DEL LEVANTAMIENTO</b>	<b>4</b>
<b>3.0 MARCO GEOLOGICO REGIONAL DE LA CUENCA</b>	<b>5</b>
3.1. ESTRATIGRAFIA	5
3.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	9
<b>4.0 INTERPRETACION DE LOS DATOS GRAVIMETRICOS Y MAGNETICOS</b>	<b>11</b>
4.1 Anomalía de Bouguer e Intensidad Magnética Total	12
4.2 Separación Anomalías Regional – Residual	14
4.2.1 Residuos Matemáticos	16
4.2.2 Regional y Residual Gravimétricos Controlados	17
4.3 Mapa de Interpretación Estructural	18
4.4 Resultados de la Magnetometría	19
4.5 Modelaje Gravimétrico – Magnético	20
<b>5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>21</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>24</b>
<b>PUNTOS DE CONTROL</b>	<b>25</b>

# Interpretación Aeromagnetogravimétrica de la Cuenca Del Putumayo, Colombia Contrato N° 036

## LISTA DE FIGURAS

	Página	
Figura A	Columna Estratigráfica Cuenca del Putumayo	8
Figura B	Sección Geológica Transversal Cuenca del Putumayo	10
Figura 1A	Localización y Relieve Topográfico(Cubrimiento Gravimétrico)	
Figura 1B	Localización y Relieve Topográfico(Cubrimiento Magnético)	
Figura 2A	Anomalía de Bouguer (Datos Terrestres)	
Figura 2B	Anomalía de Bouguer(Datos Aéreos)	
Figura 2C	Anomalía de Bouguer(Datos Aéreos y Terrestres) $\rho=2.10\text{g/cc}$	
Figura 3	Intensidad Magnética Total (IMT)	
Figura 4	Intensidad Magnética Total Reducida al POLO (IMTRP)	
Figura 5	Residuo Gravimétrico Polinómico de Grado 3	
Figura 6	Bouguer 1ra Derivada Vertical	
Figura 7	Residuo de la IMTRP 1ra. Derivada Vertical	
Figura 8	IMTRP Filtro Pasobanda 1km-30km	
Figura 9	Regional Grav. con Control Geológico Tope del Basamento Pz	
Figura 10	Residual Grav. con Control Geológico Tope del Basamento Pz	
Figura 11	Tope del Basamento Pz(Inversión 3D del Residuo Controlado)	
Figura 12	Interpretación Estructural Tope del Basamento Pz	
Figura 13	Soluciones de EULER de la IMTRP(SI=0, Contacto Magnético)	
Figura 14	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 1	
Figura 15	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 2	
Figura 16	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 3	

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Durante los meses de Diciembre del 2008 a Febrero del 2009 Carson Helicopters Inc. (Aerogravity Division) realizó para La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), la adquisición y procesamiento de un levantamiento Aerogravimétrico y Aeromagnético sobre la Cuenca del Putumayo en Colombia. Un avión turbo DeHavilland Twin Otter realizó la adquisición de aproximadamente 8320 Kilómetros de datos aerogravimétricos y aeromagnéticos a una altura promedio de 1215.7m. Los datos aerogeofísicos diariamente se analizaron y procesaron para su control de calidad y aprobación final en las instalaciones de CARSON en Perkasié – PA. – USA.

La interpretación incluyó el mallado de los datos con espaciamiento de los puntos de la grilla cada 1000 m y tuvo como principal objetivo elaborar el mapa estructural del Basamento Paleozoico (Pre-Cretácico). Aunque se emplearon filtros matemáticos, la principal fase de filtrado se realizó con estricto CONTROL GEOLÓGICO aportado principalmente por la ANH y la empresa Pacific Rubiales Energy (profundidades al tope del Paleozoico) a partir de pozos e interpretación sísmica 2D.

La interpretación combina los datos gravimétricos y magnéticos con la información de líneas sísmicas 2D 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 presenta, en el mapa de interpretación estructural del tope del basamento Pre cretácico, los altos y bajos estructurales, fallas, tendencias y otros elementos de interés en la exploración de hidrocarburos. La Cuenca del Putumayo posee forma triangular isósceles, siendo la base la traza del Rio Putumayo. El basamento Pre cretácico aflora o se encuentra próximo a la superficie actual del terreno a lo largo del Piedemonte de la Cordillera Oriental y en los altos estructurales de orientación norte-sur en el extremo oriental del área. En el centro de la cuenca y con orientación norte-sur, se observa como las secuencias, principalmente Paleozoicas, rellenan un graben, donde se observan espesores

de sedimentos superiores a los 5000 m. Al occidente del TEA hasta el piedemonte se desarrolla el segmento más interesante de la Cuenca del Putumayo. En su parte más profunda, las secuencias Mesozoicas se encuentran entre los 3800 m a 4000 m de profundidad. Los Altos y Bajos estructurales de orientación nor-noroeste bien conocidos en Ecuador continúan dentro de territorio Colombiano. Estos bajos estructurales constituyen sub-cuencas, donde muy posiblemente se encuentren unidades Paleozoicas-Jurásicas nunca exploradas. Casi todos los descubrimientos en Ecuador se ubican en el flanco occidental de los altos estructurales, por consiguiente la exploración en Colombia debe concentrarse siguiendo la extensión de estos alineamientos. Tanto el modelaje gravimétrico-magnético, como la interpretación estructural del tope del Basamento, sustentan la disminución considerable del espesor de las secuencias sedimentarias existentes a medida que nos alejamos del piedemonte cordillerano. El modelaje sustenta tanto que el fallamiento es predominantemente normal y de ángulo alto, como que los residuos controlados positivos y negativos son principalmente producidos por contrastes laterales de densidad entre el basamento cristalino Precámbrico y los semigrabenos Jurásico-Paleozoicos. Se nota claramente como los pozos están ubicados en estructuras anticlinales formadas por reactivación de las fallas originalmente normales que limitan el flanco oriental de los semigrabenos. El modelaje también sustenta como las secuencias Cretácicas van disminuyendo de espesor desde el Piedemonte hacia el oriente, hasta acunarse contra el basamento o las secuencias Terciarias suprayacentes.

# **Interpretación Aeromagnetogravimétrica de la Cuenca del Putumayo, Colombia**

## **Contrato N° 036**

### **1.0 INTRODUCCION.**

En este informe se presenta la interpretación gravimétrica y magnética de la Cuenca del Putumayo de Colombia, La zona abarca desde el límite oriental de la cuenca hasta el Piedemonte de la Cordillera Oriental hacia el occidente. La Cuenca del Putumayo constituye posiblemente una extensión de la Cuenca de Oriente del Ecuador hacia Colombia. En ella ocurren sedimentitas Terciarias, Cretácicas y Paleozoicas depositadas sobre el Basamento Precámbrico del Escudo de Guayana.

Definir en una forma rápida (utilizando la información gravimétrica y magnética, integrada con los datos de pozos y sísmica existente), el TOPE ESTRUCTURAL del Basamento Precretácico (Jurásico-Paleozoico);

Evaluar cualitativa y cuantitativamente los datos gravimétricos y magnéticos 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 es objeto de exploración y producción petrolera. Se han realizado trabajos terrestres de sísmica 2D y perforación de pozos. Existe producción de crudos livianos y pesados, no solo en los Campo Orito y Hormiga, sino en áreas adyacentes en Ecuador. El contraste de densidad y de susceptibilidad magnética en el 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 DESCRIPCION y LOCALIZACION DEL AREA DEL LEVANTAMIENTO**

El área en referencia se encuentra limitado al sur por el Río Putumayo, que constituye el límite entre Colombia y Ecuador. Gran parte de la zona de bajo relieve se encuentra cubierta por la región selvática amazónica. Al noroeste y oeste por el piedemonte de la Cordillera Oriental y en el extremo noreste se encuentra la Cuenca de Yari-Caguan. Aunque posee en casi su totalidad un relieve relativamente regular, los ríos, caños y selva dificultan su acceso. Este factor justifica el empleo de métodos de exploración aerotransportados. Las **Figuras 1A y 1B** muestra respectivamente la localización de la zona de interpretación, incluyendo el relieve topográfico existente y el cubrimiento gravimétrico y magnético. El área de interpretación yace entre las Latitudes Geográficas de -0 grados 40 minutos a 02 grados 15 minutos y Longitudes Oeste Geográficas de 75 grados 30 minutos a 77 grados 30 minutos.

## **3.0 MARCO GEOLOGICO REGIONAL DE LA CUENCA DEL PUTUMAYO**

La cuenca del Putumayo está limitada al noreste por el Macizo de Garzón, el cual separa esta cuenca del Valle Superior del Magdalena. La cuenca posee un estilo de plataforma ó “Foreland”. Al este del cabalgamiento de Orito, representa un área de tipo plataforma relativamente estable. Al nor-noroeste del cabalgamiento de Orito generalmente representa el límite entre área plataforma del Putumayo y la zona plegada o piedemonte de la Cuenca Valle Medio del Magdalena. La Cuenca del putumayo esta subyacida por un basamento ígneo-cristalino, Precámbrico del Escudo de las Guayanas. Al este la cobertura sedimentaria es delgada sobre el área del escudo mientras que en la parte profunda de la cuenca el espesor de los sedimentos Cretácicos y terciarios es mayor de 11.500 pies. La cuenca de Putumayo – Napo ha sido una de las zonas con grandes expectativas de campos petrolíferos en Colombia y Ecuador. Han sido varios los campos exitosos que después de más de 30 años de producción siguen activos como Orito y la Hormiga en Colombia, y campos como Sushufindi, Sacha, Lago Agrio y Aguarico en Ecuador. Sin embargo aun existen grandes zonas sin reconocer, sobre todo en las áreas de llanuras y de selva Amazónica, constituyéndose en un blanco interesante de exploración.

## **ESTRATIGRAFIA**

Basados en la cartografía geológica existente del área del Putumayo Colombiano y Ecuatoriano, sumado a la información de pozos y sísmica localizados en la cuenca de Putumayo – Napo, es posible establecer seis mega secuencias tectosedimentarias, formadas durante eventos tectotermiales regionales que afectaron el norte de Suramerica desde el Neoproterozoico hasta el Cenozoico.

**Neoproterozoico:** Las rocas de esta edad se localizan principalmente en la zona subandina de Colombia y de Ecuador. Afloran principalmente rocas con metamorfismo de alto grado, variando desde migmatitas (La Cocha – Rio Tellez), neises (complejo de Garzón) y granofelsas (El Recreo). Estas unidades conforman el basamento más antiguo de la cuenca, aunque no es conocida su relación con los



complejos metamórficos del cratón Guayano-Brasilero. Por su posición y edad se puede inferir que se trata de un basamento pericratónico formado hace más de 1000 millones de años, durante las orogenias Guyanense y Orinoquense.

**Precámbrico – Paleozoico inferior:** Son rocas metamórficas formadas durante el Mesoproterozoico producto de la orogenia de Grenville. Afloran solo en los bordes de la cuenca, o perforado por escasos pozos en Ecuador. Está conformada por rocas metamórficas facies esquisto verde (Esquistos de Buesaco, Complejo Aleluya, Lodolitas y Calizas de Granadillo, Formación Chincual) y rocas calcáreas con metamorfismo de contacto (Formación Uitoto). Su edad se infiere como Pre-Paleozoico superior según su relación con la secuencia sedimentaria suprayacente de esa edad.

**Paleozoico Superior:** Esta secuencia es clara en la zona subandina Ecuatoriana, pero hacia el norte en Colombia no es reconocida, aunque es posible que se encuentre preservada en grabenes al interior de la cuenca Putumayo – Napo. Descansa discordantemente sobre la secuencia del Paleozoico inferior. En Ecuador se encuentran series de arcillolitas color crema ricas en fósiles de edad Devoniano medio a superior (Formación Pumbuiza), cubiertas en forma discordante por secuencias de carbonatos del Carbonífero superior (Formación Macuma).

**Mesozoico Trias – Jurásico:** Hacia Ecuador, esta secuencia está conformada por calizas y arenitas (formaciones Santiago y Chapiza), las cuales gradualmente hacia el norte varían a rocas volcánicas andesíticas (Formación Saldaña), e intrusiones granodioríticas y graníticas (Batolito de Mocoa, Granito de Altamira y Cuarzomonzonita de Sombrerillos). Esta secuencia descansa discordantemente sobre las rocas de las secuencias del Paleozoico y Neoproterozoico. En Colombia es posible que existan variaciones laterales de facies a rocas calcáreas y shales preservada en el subsuelo en grábenes (Formación Motema).

**Mesozoico Cretácico:** La secuencia cretácica está representada en la cuenca por series de cuarzoarenitas basales, acumuladas durante el Albiano – Aptiano (formaciones Hollín y Caballos), que descansan discordantemente sobre las secuencias más antiguas, y sobre las cuales se acumularon extensas series de shales ricos en materia orgánica durante el tiempo Albiano – Campaniano (formaciones Napo y Villota). Finalmente, la secuencia finaliza con series de arenitas (formaciones Tena – Rumillaco). Desde el punto de vista exploratorio, los grandes yacimientos de la cuenca están concentrados en las unidades basales arenosas, controlados por estructuras o por variaciones laterales de facies, y en los niveles fracturados de las lilitas superiores.

**Cenozoico:** Grandes espesores de estas unidades, que superan los 2000 m conforman esta secuencia. En general se puede apreciar una serie basal de conglomerados de edad Paleoceno – Eoceno, los cuales por sectores están muy bien litificados (formaciones Tiyuco y Pepino). Espesas series de arenitas y arcillolitas rojas de edad Oligoceno – Mioceno, cubren la secuencia en forma discordante por sectores (formaciones Chalcana y Orito). Durante el Mioceno superior, secuencias de conglomerados y arenitas conglomeráticas se acumulan ampliamente en la región (formaciones Arajuno y Esmita). Finalmente, durante el Cuaternario se desarrolla una gran secuencia de abanicos provenientes de la Cordillera Real y Central, con grandes aportes volcanosedimentarios. Desde el punto de vista exploratorio, el objetivo se centra en las unidades del Eoceno y Paleoceno, en las cuales la recarga se ha dado gracias a la generación producida por los shales del Turoniano y del Paleoceno, durante el pulso de generación del Mioceno Medio.

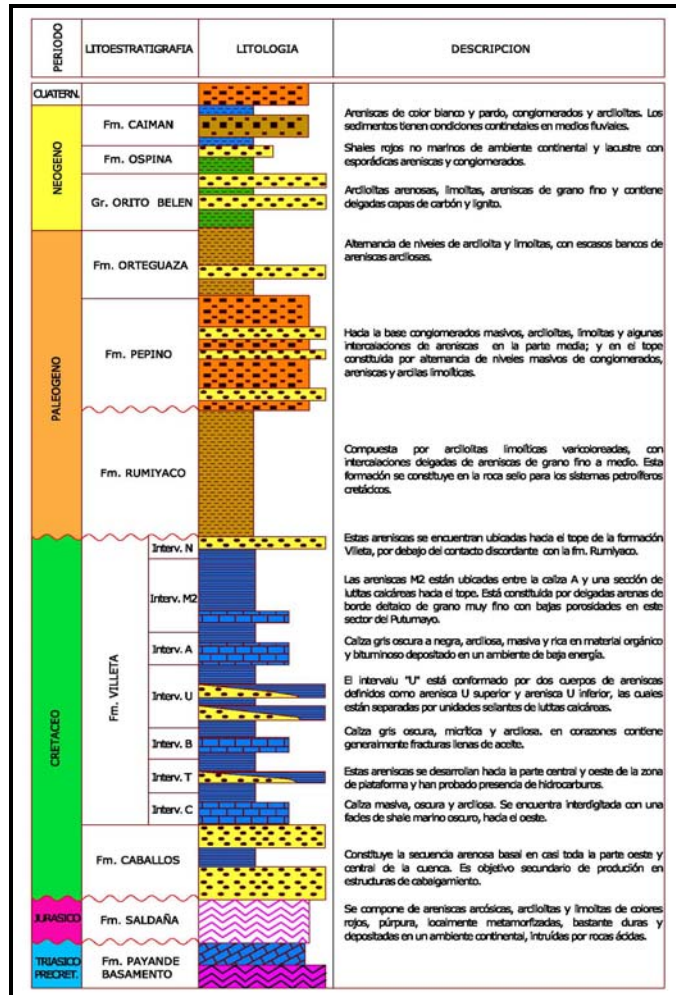


Figura A. Columna Geológica de la Cuenca del Putumayo.

La **Figura A** muestra la Columna Geológica de la Cuenca del Putumayo. Al estudiar registros de densidad de los Pozos Acae-I, Acae-II, Mary-2 y Putumayo-1, suministrados por la ANH. Se demuestra que existe un fuerte contraste de densidad de  $-0.12\text{g/cc}$  a  $-0.22\text{g/cc}$  entre las secuencias sedimentarias Cenozoicas-Mesozoicas contra el Basamento Pre-Cretácico. Adicionalmente entre los sedimentos Pre-Rumiyoaco y Post-Rumiyoaco encontramos un contraste de  $-0.07\text{g/cc}$  y entre sedimentos Post-Caballos y Caballos  $-0.10\text{g/cc}$ .

## **GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

Dos grandes sistemas estructurales de edad y génesis diferentes pueden ser reconocidos regionalmente en el área de la cuenca Putumayo - Napo. Uno corresponde a un sistema antiguo de tectónica de bloques de basamento cristalino, otro corresponde a una tectónica de cabalgamientos y fallas de rumbo desarrollados primordialmente durante el Cenozoico.

**Tectónica de bloques:** Sistemas de grábenes y horsts pueden identificarse en la cuenca del Putumayo - Napo, con períodos de reactivación durante el pre Cámbrico, Devoniano – Carbonífero y Triásico - Jurásico, como resultado de procesos regionales de apertura de cuencas de rift peri e intra cratónicas, algunas de las cuales muestran evidencias de inversión tectónica incipiente durante el Cenozoico. Estas estructuras aun no están regionalmente integradas y estudiadas y muestran un gran control sobre la distribución de sedimentos e hidrocarburos en la zona del Putumayo - Napo.

**Sistema de cabalgamientos y fallas de rumbo:** Este sistema es un poco más estudiado y conocido en el área por su expresión cartográfica en el terreno, como en imágenes de satélite y fotos aéreas. En general es un sistema transpresivo de cabalgamientos con una dirección de transporte tectónico hacia el nor-orienté, avanzando y deformando los sedimentos de la secuencia Cenozoica y Mesozoica superior.

Las estructuras más representativas son las fallas de Afiladores – Suaza, Churumbelo, Urcusique y Los Guzmanes, las cuales regionalmente conforman un sistema de fallas con salto dextral, aunque por regiones presenta salto siniextral y forma cuencas de tracción (Sibundoy). En subsuelo, en la zona de la cuenca Putumayo – Napo, se observa una estructura de rumbo posiblemente dextral

conocida como Falla de la Hormiga, que presenta por sectores saltos superiores a 700 m y controla la distribución de numerosas estructuras en la región. El sistema parece tener su máximo desarrollo desde el Mioceno medio.

La Figura B, muestra una sección transversal de la Cuenca del Putumayo donde se observa claramente los estilos estructurales descritos.

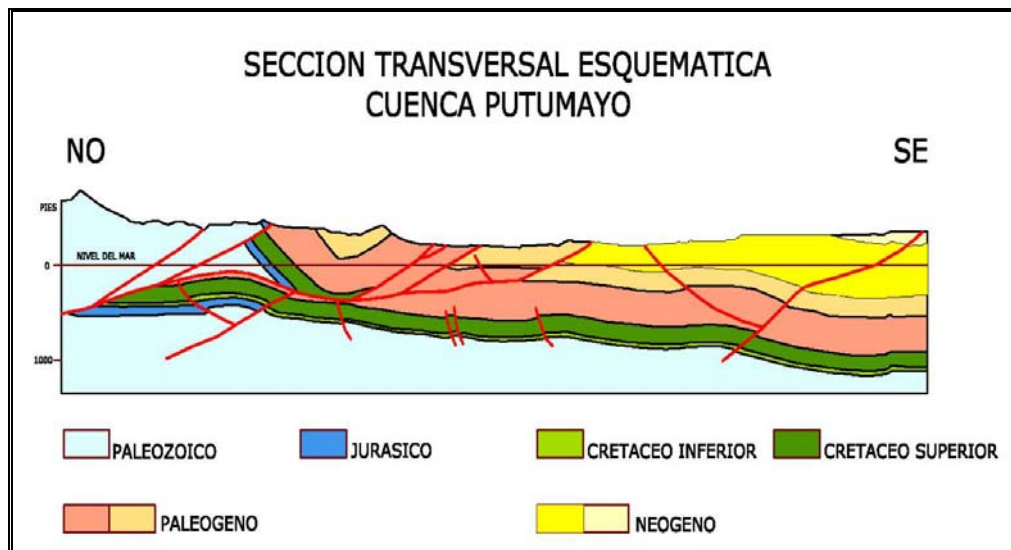


Figura B. Sección Transversal Esquemática Cuenca del Putumayo. Modificado de Cuencas Sedimentarias Colombianas, ANH 2007.

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

Las anomalías gravimétricas y magnéticas (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 - geofísico del subsuelo. Las anomalías gravimétricas y magnéticas son funciones de la distancia entre el detector y la fuente (cuerpo geológico que las produce). En exploración petrolera, las anomalías gravimétricas son por lo general producidas por las

estructuras de las secuencias sedimentarias suprayacentes y/o discontinuidades laterales de densidad, producidas por contactos de megasecuencias en profundidad. Las anomalías magnéticas se asocian al basamento de las cuencas, formado generalmente por unidades ígneo-metamórficas. La gravimetría y magnetometría proveen un amplio espectro de fuentes y es mediante una manipulación adecuada, donde se incluyen los conocimientos geológicos existentes, que estos datos potenciales pueden emplearse en forma exitosa en la búsqueda de hidrocarburos.

La interpretación de las anomalías gravimétricas y magnéticas se basa principalmente en el reconocimiento de su (i) distribución y (ii) forma. La distribución o carácter de un mapa potencial es un indicador poderoso de cómo las rocas y formaciones se distribuyen en el área ocupada por el levantamiento; pueden proveer indicaciones de lineamientos, texturas y discontinuidades estructurales. Este tipo de interpretación se define como la interpretación cualitativa. La forma de las anomalías representadas tanto en planta como en perfiles, se emplea para determinar o definir la forma, posición y la magnitud de los contrastes de densidad y/o susceptibilidad magnética. En teoría, no es posible encontrar una solución única de los métodos potenciales; pueden existir geometrías distintas que representen una misma anomalía. En la práctica introduciendo al modelo información geológica u otros controles geofísicos, y haciendo que las soluciones potenciales respeten estos controles, se consiguen soluciones más reales. Este tipo de interpretación se conoce como interpretación cuantitativa.

#### **4.1 ANOMALIA DE BOUGUER E INTENSIDAD MAGNETICA TOTAL (IMT)**

Todos los mapas que se presentan en este informe se elaboraron con el software GEOSOFT a escala 1:500.000 y empleando mallas finales de 1 km x 1 km. Las Figuras 2A, 2B y 2C muestran respectivamente la Anomalía de Bouguer de los

datos terrestres existentes, los datos aéreos de este levantamiento y la unión de los datos aéreos y terrestres.

El mapa de Anomalía de Bouguer presenta anomalías positivas y negativas de orientación predominante norte-sur que cubren gran extensión del área. El área de anomalías negativas al oriente de la cuenca, es producido por el aumento de espesor de las secuencias Terciarias y Cretácicas de relativa baja densidad en comparación con las unidades subyacentes. La zona de anomalías positivas de rumbo norte-sur en la parte oriental del levantamiento, que viene del Ecuador, atraviesa la cuenca hacia Yari-Caguán y corresponde a zonas donde el basamento Precámbrico aflora o se encuentra próximo a la superficie actual del terreno. La zona de anomalías negativas, de rumbo norte-sur, al oriente de la cuenca, muy posiblemente corresponde a un graben relleno de sedimentos Paleozoicos que se extiende al sur dentro de Ecuador. Dentro de la zona de anomalías negativas el oriente de la cuenca hasta el Piedemonte, se observan anomalías positivas y sinuosidades que corresponden a la tectónica de bloques de basamento y cabalgamientos descrita en el marco geológico de este informe.

La Figura 3 representa el mapa de Intensidad Magnética Total (IMT). 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 +23.0 grados al norte y una Declinación Magnética de -3 grados al oeste; por consiguiente, los máximos de las anomalías están 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 4 (Intensidad Magnética Total Reducida al Polo, IMTRP).

El mapa de la Intensidad Magnética Total Reducida al Polo (IMTRP), aunque con un contenido de frecuencia mayor generado por la variabilidad de los contrastes laterales de susceptibilidad magnética en el basamento Precámbrico cristalino, muestra una estrecha correlación con la Anomalía de Bouguer, tanto en la orientación de las anomalías como en sus valores.

#### **4.2 SEPARACION ANOMALIAS REGIONAL-RESIDUAL**

Todo intento de interpretar un mapa de campo potencial comienza con la determinación de qué parte del campo observado puede ser ignorada para el objetivo de un estudio en particular; ("Anomalía Regional") y cual parte es significativa para el objetivo principal de la interpretación ("Anomalía Residual"), Nettleton (1971). Esta separación o fraccionamiento del campo total, llamada separación regional-residual, nunca podrá ser totalmente objetiva, depende en alto grado de la experiencia del intérprete, conocimiento de la geología del área, calidad de los datos potenciales y finalmente del objetivo de la interpretación en particular.

Por otra parte, por estar orientada esta interpretación a la exploración petrolera, 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 Mapas de Anomalía de Bouguer (AB) e Intensidad Magnética Total Reducida al Polo (IMTRP), por sustracción de la Anomalía Regional. 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:

1. Suavizado a Mano.
2. Ajuste por Polinomios.
3. Análisis en Dominio del Espacio.
  - a. . Derivadas
  - b. . Continuación de campo
4. Análisis Espectral - FFT
  - a. . Continuación de Campo
  - b. . Filtros de Pasa Banda
  - c. . Derivadas
  - d. . Filtros Direccionales
5. 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 de 4.0 a 6.0 Km. Sin embargo, en los mapas de AB e IMT 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 software empleado o por efectos culturales. Para los propósitos de este estudio, estos efectos no se consideran de importancia y pueden ser removidos por filtraje. Similarmente las anomalías de gran longitud de onda, provenientes de fuentes muy profundas también deben ser removidas para los efectos de esta interpretación.

Al analizar los Mapas de Anomalía de Bouguer e Intensidad Magnética Total y comparar sus anomalías con el conocimiento geológico-estructural que se posee, se puede inferir que las anomalías son producidas por contrastes de densidad y susceptibilidad magnética dentro de las unidades sedimentarias y contra el basamento cristalino Precámbrico. Cualquier residual matemático siempre mostrará contribuciones del basamento. Para poder estimar la contribución gravimétrica y magnética solamente de las secuencias Terciarias-Cretácicas y Paleozoicas, hay que efectuar una 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 señaladas).

#### **4.2.1 Residuos Matemáticos.**

La malla empleada en la generación del mapa de Anomalía de Bouguer que se muestra en la Figura 2C, fue la que se empleó en los procesos de separación regional-residual que se describen a continuación.

Las Figuras 5 y 6 muestran respectivamente el residuo gravimétrico al restarle a la Anomalía de Bouguer la superficie polinómica de grado 3 y la primera Derivada Vertical. Estos mapas muestran respectivamente las anomalías de alta y baja frecuencia presentes en el Bouguer. Las anomalías positivas son producidas principalmente por altos estructurales en el basamento cristalino. De especial interés es la existencia de anomalías positivas de alta frecuencia no solo al oriente de la cuenca, sino al occidente de la misma dentro de la porción principal de la Cuenca del Putumayo. Estos altos positivos de Bouguer corresponden a altos basamentales que pudiesen generar estructuras o trampas en las secuencias sedimentarias suprayacentes. Las anomalías negativas muestran

las zonas donde existen los mayores espesores de las secuencias sedimentarias Terciarias-Cretácicas-Paleozoicas.

Las Figuras 7 y 8 muestran los residuos de la Intensidad Magnética Total Reducida al Polo (primera derivada vertical y Filtro Pasobanda 1 Km-30 Km). Estos residuos muestran muy buena correlación con los residuos gravimétricos pudiéndose definir los mismos altos y bajos estructurales descritos.

**4.2.2 Regional y Residual Controlado.** En este proyecto, el interés principal de la ANH se concentró en interpretar las estructuras y caracteres geológicos que existan por encima del tope del basamento Pre cretácico (Jurásico-Paleozoico-Precámbrico). 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).

Carson Aerogravity ha desarrollado un procedimiento computacional el cual, a partir de los puntos de control, se determina un residual aproximado, mediante la aplicación de la 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 localización. Con los valores de este regional controlado, se construye la superficie regional final, que al restársela a la anomalía de Bouguer observada nos da el Mapa de anomalía residual controlado.

Las Figuras 9 y 10 representan el regional y residual controlado del basamento Pre cretácico referidos a la altura de 4560 m.s.n.m. Para el cálculo del residual controlado en cada punto de control, se empleó -0.18g/cc como contraste de densidad promedio entre las secuencias sedimentarias existentes contra el Basamento. La Figura 11 corresponde a la inversión 3D del Residuo Controlado que al restársele la altura de 4560 m, representa el tope del basamento Pre cretácico m.s.n.m.; y por último la Figura 12 muestra la interpretación estructural del Basamento que se obtiene de la Figura 11.

#### **4.3 MAPA DE INTERPRETACION ESTRUCTURAL**

El mapa de contornos estructurales provenientes de la inversión gravimétrica 3D del residuo con control geológico para el tope del basamento, constituyó la base para realizar su interpretación estructural. En este mapa se observa claramente no solo donde ocurren los mayores espesores de secuencias Cuaternarias, Terciarias, Cretácicas y Paleozoicas, sino como se han interpretado las principales fallas y otros caracteres estructurales. Se nota claramente la complejidad estructural del tope del basamento, destacándose claramente la extensión de la Cuenca de Oriente-Marañón dentro de territorio Colombiano. La Cuenca del Putumayo posee forma triangular isósceles, siendo la base la traza del Rio Putumayo. El basamento Pre cretácico aflora o se encuentra próximo a la superficie actual del terreno a lo largo del Piedemonte de la Cordillera Oriental y en los altos estructurales de orientación norte-sur en el extremo oriental de la cuenca y con orientación nortesur, se observa cómo las secuencias, principalmente Paleozoicas, rellenan un graben, donde se observan espesores de sedimentos superiores a los 5000 m. La porción occidental, se caracteriza por un basamento muy complejo, con presencia de altos y bajos estructurales. Del oriente de la cuenca hasta el Piedemonte se desarrolla la porción más interesante de la cuenca del Putumayo. Altos y bajos

estructurales de orientación nor-noroccidente bien conocidos en Ecuador continúan dentro de territorio Colombiano. Estos bajos estructurales constituyen sub-cuencas, donde muy posiblemente se encuentren unidades Paleozoicas-Jurásicas nunca exploradas. Casi todos los descubrimientos en Ecuador se ubican en el flanco occidental de los altos estructurales, por consiguiente la exploración en Colombia debe concentrarse siguiendo la extensión de estos alineamientos.

#### **4.4 RESULTADOS DE LA MAGNETOMETRIA**

Las estimaciones de profundidades magnéticas asumen que, en general las anomalías provienen de basamentos ígneo-metamórficos y que las secuencias sedimentarias son magnéticamente despreciables. También las profundidades dependen de los gradientes, inflexiones y picos de las anomalías sin considerar los caracteres físicos del cuerpo que las produce. La Figura 13 muestra las soluciones de la Deconvolución de Euler para el Índice Estructural 0(Contacto Magnético). En este mapa, se observa claramente la tendencia de soluciones someras, medianas y profundas coincidiendo y perfectamente alineadas. Esta peculiaridad define las principales zonas de fallas, permitiendo concluir que las mismas son predominantemente normales de ángulo alto. Las soluciones intermedias y profundas se encuentran superimpuestas definiendo claramente las zonas de contacto entre bloques de basamento con contrastes de susceptibilidad magnética, estos contactos coinciden aceptablemente con las fallas normales interpretadas de la inversión gravimétrica.

#### **4.5 MODELAJE GRAVIMETRICO-MAGNETICO**

Para realizar el modelaje directo cuantitativo, se extrajeron, a lo largo de transectas seleccionadas por la Agencia Nacional de Hidrocarburos: perfiles del residuo controlado de la anomalía de Bouguer, del tope del basamento, el tope estructural del mismo proveniente de la inversión gravimétrica y de la intensidad magnética total reducida al polo. También se elaboró un modelo geológico inicial,

que incluyó los resultados de la inversión gravimétrica descrita anteriormente, el resumen de la geología regional y la interpretación estructural. Todos estos archivos constituyen la entrada de datos para el programa GM-SYS. La ubicación de los modelos que se presentan en este estudio se indica claramente en el mapa de interpretación estructural.

El GM-SYS utiliza básicamente el método desarrollado por M. Talwani (1964). El procedimiento consiste en comparar la atracción gravitacional y/o magnética de un grupo de láminas poligonales que simulan la sección geológica inicial con su respectiva anomalía residual. El programa posee rutinas de modelaje directo e inverso que permiten una interpretación en tiempo real, visible en monitor a color de alta resolución. Las densidades iniciales empleadas fueron  $2.7 \text{ gr/cm}^3$  y  $2.20$  a  $2.55 \text{ gr/cm}^3$  para el basamento y las secuencias sedimentarias existentes respectivamente. El modelo es mejorado sucesivamente, añadiendo o modificando los elementos estructurales (fallas, contactos, etc.), y ajustando los contrastes de densidad; así como, los espesores de las capas, hasta que las anomalías observada y calculada se asemejen adecuadamente. Los modelos que se interpretaron, se presentan en las Figuras 14, 15 y 16.

En todos los perfiles se introdujo el horizonte representativo de las secuencias Cretácicas. Esto fue posible gracias a que los perfiles se hicieron pasar por la ubicación de pozos donde se posee esta información.

El modelaje sustenta que los residuos controlados positivos y negativos son principalmente producidos por contrastes laterales de densidad entre el basamento cristalino Precámbrico y los semigrábenes Jurásico-Paleozoicos. Se nota claramente cómo los pozos están ubicados en estructuras anticlinales formadas por reactivación de las fallas originalmente normales que limitan el flanco oriental de los semigrábenes.

El modelaje también sustenta como las secuencias Cretácicas van disminuyendo de espesor desde el piedemonte hacia el oriente, hasta acuñarse contra el basamento o las secuencias Terciarias suprayacentes.

## **5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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

Se presenta, en el mapa de interpretación estructural del tope del basamento Pre cretácico, los altos y bajos estructurales, fallas, tendencias y otros elementos de interés en la exploración de hidrocarburos. La cuenca del Putumayo posee forma triangular isósceles, siendo la base la traza del río Putumayo. El basamento Pre cretácico aflora o se encuentra próximo a la superficie actual del terreno a lo largo del piedemonte de la cordillera Oriental y en los altos estructurales de orientación norte-sur, se observa como las secuencias, principalmente Paleozoicas, rellenan un graben, donde se observan espesores de sedimentos superiores a los 5000 m. Del oriente de la cuenca hasta el Piedemonte se desarrolla el segmento más interesante de la cuenca del Putumayo. En su parte más profunda, las secuencias Mesozoicas se encuentran entre los 3800 m a 4000 m de profundidad. Los altos y bajos estructurales de orientación nor-noroeste bien conocidos en Ecuador continúan dentro de territorio Colombiano. Estos bajos estructurales constituyen sub-cuencas, donde muy posiblemente se encuentren unidades Paleozoicas-Jurásicas nunca exploradas. Casi todos los descubrimientos en Ecuador se ubican en el flanco occidental de los altos estructurales, por consiguiente la exploración en Colombia debe concentrarse siguiendo la extensión de estos alineamientos.

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

Tanto el modelaje gravimétrico-magnético, como la interpretación estructural del tope del basamento, sustentan la disminución considerable del espesor de las secuencias sedimentarias existentes a medida que nos alejamos del piedemonte cordillerano. El modelaje sustenta que el fallamiento es predominantemente normal y de ángulo alto.

El modelaje sustenta que los residuos controlados positivos y negativos son principalmente producidos por contrastes laterales de densidad entre el basamento cristalino Precámbrico y los semigrábenes Jurásico-Paleozoicos. Se nota claramente como los pozos están ubicados en estructuras anticlinales formadas por reactivación de las fallas originalmente normales que limitan el flanco oriental de los semigrábenes.

El modelaje también sustenta como las secuencias Cretácicas van disminuyendo de espesor desde el piedemonte hacia el oriente, hasta acuñarse contra el basamento o las secuencias Terciarias suprayacentes.

## **RECOMENDACIONES**

El cubrimiento gravimétrico-magnético del área estudiada es adecuado para este tipo de interpretación regional. Este estudio demuestra que las estructuras y los contrastes de densidad que existen en la cuenca del Putumayo de Colombia producen anomalías gravimétricas residuales entre  $-1$  a  $-50$  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.



Los principales altos de basamento detectados en esta interpretación, justifican un estudio de sísmica 3D o directamente una perforación exploratoria estratigráfica.

Carson Aerogravity Inc. Agradece a la ANH por la oportunidad de trabajar en el procesamiento e interpretación de los datos aerogravimétricos y aeromagnéticos de la Cuenca del Putumayo de Colombia. Esperamos que se aprecie que estos métodos potenciales integrados con toda la información existente de sísmica 2D y datos de pozos, en una forma rápida, permite confirmar conceptos existentes y definir gran cantidad de incógnitas que ameritan ser resueltas por métodos con mayor poder de resolución.

## 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
- Graterol V. et al (1998) 3D Gravity Inversion with Variable Datum. Leading Edge Society of Exploration Geophysicists. Dec. 1998
- ANH Mapa Geológico de Colombia. Ariana Ltd. (2004) Díaz L. y Ramos B.
- Ecoptrol y BEICIP-FRANLAB, 1995. Cuenca de los Llanos Orientales – Estudio Geológico Regional. Internal Report
- INGEOMINAS, 1996. Atlas Geológico Digital de Colombia, escala 1:500.000. Disponible en: [ww.ingeominas.gov.co/descargas/mapas/1:500.000](http://ww.ingeominas.gov.co/descargas/mapas/1:500.000)
- López, E. y Barrero, D., 2003. Transectas geológicas de la corteza superior de Colombia. Memorias del VIII Simposio de Exploración de Cuencas Subandinas, Volumen 2 pp 279 - 289
- López, E., 2005. Cronostratigraphic correlation chart of Colombia. INGEOMINAS. Internal report. 46 p. 12 cronostratigraphic correlation charts (scale 1:1'000.000). Bogotá.
- Maya M.1992. Catálogo de dataciones isotópicas en Colombia. Boletín Geológico Ingeominas 32(1-3):127-187.
- SHELL DE COLOMBIA. Informe Técnico Anual 1989 e Informe Final de Operación de Geología y Geofísica. Cuenca del Putumayo Contratos de asociación Caquetá Bloques 1, 2, 3 y 4. Bogota 1989.
- MOJICA, JAIRO. Características Geológicas de las Rocas Precretácicas en las Proximidades al Norte del Bloque Troyano, Cuenca del Putumayo Colombia. ECOPETROL. 1997
- JAIMES, ELSA JANNETH. ACAE\_1. Estudio Regional Cuenca del Putumayo. ECOPETROL. 1993.
- WESTERN ATLAS INTERNATIONAL, INC. E&P SERVICES. Regional Evaluation of the Upper Magdalena and Putumayo Basins of Colombia. ECOPETROL 1995.
- ECOPETROL. Informe Anual de Actividades 1997 – 1998, Bloque de Exploracion directa Mocoa.
- CUEVAS, RUBEN & LOMBO, CARLOS. Cuenca Putumayo Proyecto Mocoa Informe Final. ECOPETROL 1995.
- 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.
- MACELLARI, C.E. 1988. Stratigraphy, Sedimentology, and Paleocology of Upper Cretaceous / Paleocene shelf-deltaic Sediments of Seymour Island. Geological Society of America, Memoir 169: 25-53.
- BEJARANO,W., ARISTOBULO. REYES, G., RAFAEL. VILLEGAS,N.,EDUARDO. Caracterización y Evaluación de Parámetros de Registros de Pozos en la Cuenca del Putumayo. ECOPETROL & ICP 1991.
- BEJARANO.W., ARISTOBULO. VILLEGAS. N., EDUARDO. REYES. G., RAFAEL. Caracterizacion y Evaluacion de Parámetros de Registro de Pozos en la Cuenca del Putumayo. ECOPETROL. Instituto Colombiano del Petróleo. IV Simposio Bolivariano “Exploracion Petrolera en las Cuencas Subandinas” 1991

## PUNTOS DE CONTROL ( Tope del Basamento Pre-Cretácico)

/-----										
/-----										
/										
/XBogMagna	YBogMagna	XWestMagna	YWestMagna	PUNTO	ALTURA	BOUGUER	PzTOPE	REGPz	RESDPz	
/-----										
=====										
=====										
719090.00	675875.00	1053000.61	675701.73	A-17	2561.23	-37.98	0.00	-25.42	-12.52	2561.15
753076.00	695218.00	1086928.42	695083.57	A-18	2028.24	-49.72	0.00	-33.81	-15.85	2028.70
642826.00	575036.00	976943.62	574905.27	A-19	1621.76	-71.35	0.00	-52.88	-18.66	1621.72
625167.00	554091.00	959326.21	553984.08	A-20	3417.92	-26.05	0.00	-18.87	-7.19	3418.31
785675.00	678111.00	1119537.75	678038.04	A-7	1602.92	-50.76	0.00	-32.17	-18.63	1603.35
771195.00	692615.00	1105041.12	692512.33	A-8	1339.79	-65.05	0.00	-44.81	-20.58	1338.72
702845.00	594099.00	1036868.64	593989.00	A-9	843.14	-53.70	0.00	-30.34	-23.56	842.99
644419.00	549358.00	978549.05	549268.34	A-10	986.78	-58.92	0.00	-36.46	-23.08	985.08
790437.60	507885.60	1124440.90	507879.93	1	234.49	-6.64	1860.00	33.71	-40.33	-1860.12
782424.80	507863.80	1116431.18	507857.07	2	244.88	-10.57	2073.00	31.12	-41.62	-2071.91
766440.60	507811.60	1110454.72	507802.78	3	256.48	-14.38	2292.00	28.68	-43.05	-2291.59
752353.80	507820.60	1086376.49	507809.91	4	284.40	-16.94	2512.00	27.51	-44.47	-2512.03
764965.30	528136.70	1098975.84	528116.26	5	272.62	-28.78	2219.00	13.83	-42.64	-2218.35
770778.40	526935.50	1104786.17	526917.42	6	264.82	-26.59	2048.00	14.94	-41.61	-2048.51
780572.90	524961.40	1114576.59	524947.02	7	240.21	-19.07	1975.00	22.00	-41.01	-1975.55
784500.50	524127.10	1118502.78	524114.13	8	234.29	-14.60	1877.00	25.86	-40.18	-1874.17
795585.60	497276.60	1129588.14	497274.90	9	241.63	0.14	1607.80	38.90	-38.63	-1602.91
792553.80	495039.40	1126557.40	495038.31	10	243.76	-1.40	1620.60	37.45	-38.98	-1623.52
782993.90	502410.60	1117000.65	502406.20	11	252.10	-8.60	1837.90	31.61	-40.31	-1839.18
754661.90	508885.10	1088682.92	508874.02	12	257.85	-16.50	2392.00	27.19	-43.71	-2391.56
753550.70	523622.40	1087569.47	523601.49	13	286.86	-25.18	2231.40	17.50	-42.83	-2228.85
753559.40	520566.10	1087578.93	520547.20	14	294.93	-23.47	2243.30	19.29	-43.01	-2245.83
746120.30	472328.80	1080146.80	472342.75	15	237.12	-13.63	2466.10	30.53	-44.36	-2467.16
758365.70	473880.70	1092384.27	473891.73	16	231.85	-4.05	2236.10	38.66	-42.72	-2236.16
753005.90	477838.50	1087028.42	477847.70	17	236.70	-7.89	3090.80	40.20	-47.94	-3089.64
756107.40	481213.30	1090128.25	481220.00	18	250.93	-5.93	2271.40	37.01	-43.37	-2277.18
757932.10	492139.30	1091952.26	492139.07	19	265.52	-7.89	2185.70	34.51	-42.43	-2185.50
849255.10	490352.00	1183253.07	490351.81	21	233.54	37.86	1700.00	77.20	-39.22	-1699.92
802622.40	472638.30	1136621.59	472643.10	22	280.73	15.73	2100.00	57.59	-41.86	-2099.95
818934.70	471438.20	1152930.69	471440.56	23	223.12	36.54	1550.00	74.94	-38.37	-1571.84
797618.10	491452.70	1131620.16	491452.79	25	233.27	5.04	1825.00	45.17	-39.72	-1816.62
817633.70	471438.10	1151629.85	471440.68	26	221.51	35.20	1625.00	74.07	-38.51	-1619.09
823507.60	500979.60	1157504.51	500978.88	28	223.33	17.02	1700.00	56.36	-39.15	-1696.28
763676.00	626280.00	1097618.04	626202.94	Bas-1	433.95	-37.99	0.00	-12.06	-25.98	434.11
779005.00	630433.00	1112934.54	630371.11	Bas-2	530.76	-35.21	0.00	-9.89	-25.40	529.72
798483.00	652697.00	1132377.85	652651.04	Bas-3	723.26	-39.02	0.00	-14.91	-24.67	711.94
823922.00	671302.00	1157786.07	671288.43	Bas-4	520.39	-30.39	0.00	-5.00	-25.17	521.43
833549.00	667937.00	1167417.66	667937.70	BAS-5	246.46	-25.72	0.00	1.39	-27.11	239.96
835750.90	673177.00	1169611.84	673181.02	BAS-6	263.80	-22.71	0.00	4.29	-26.58	266.68
857398.00	683123.00	1191246.01	683161.46	Bas-9	1374.14	-6.21	0.00	13.81	-19.94	1374.17
887178.20	706957.30	1220995.77	707053.48	PC-10	281.36	-15.84	0.00	11.05	-27.03	280.07
890654.20	711692.20	1224464.85	711796.81	PC-11	318.73	-14.26	0.00	12.40	-26.63	319.92
899626.10	717535.20	1233430.56	717659.33	PC-12	347.45	-13.71	0.00	12.77	-26.48	347.32
795729.70	650041.40	1129628.87	649992.60	PC-19	374.92	-37.60	0.00	-11.30	-26.40	376.57
803584.70	657789.40	1137471.32	657748.98	PC-24	380.16	-39.29	0.00	-13.02	-25.93	390.92
816410.60	661923.40	1150289.02	661899.99	PC-28	498.75	-34.26	0.00	-8.74	-25.52	498.80
788962.70	702711.10	1122783.85	702634.21	PC-38	1272.94	-78.83	0.00	-58.17	-20.92	1271.88
794613.60	705328.10	1128428.23	705260.22	PC-39	1440.63	-77.21	0.00	-57.60	-19.59	1442.65
724294.30	557883.80	1058321.95	557824.44	Acae-1	269.90	-39.66	2929.00	7.41	-47.03	-2929.02
785911.77	571277.90	1119887.50	571254.50	Airu-1	241.92	-40.47	1652.10	-1.43	-38.98	-1651.36
780000.00	640000.00	1113917.76	639935.05	AFLO_1	1174.65	-28.58	0.00	-7.30	-21.28	1174.70
754216.30	543463.40	1088227.79	543429.76	Alea-1	252.74	-35.76	2284.20	7.26	-43.07	-2284.36
877138.00	706900.00	1210951.62	706978.30	BAS-10	438.07	-13.79	0.00	12.12	-25.92	438.11
739246.10	606839.60	1073224.64	606750.47	Mary-2	300.09	-52.91	2071.00	-11.23	-41.78	-2074.06
742943.00	608633.00	1076917.01	608546.05	MARY_1	313.77	-53.12	2430.00	-9.19	-43.73	-2426.50
895000.00	720000.00	1228797.39	720116.75	AFLO_13	770.43	-10.38	0.00	13.44	-23.82	770.40
766140.10	572826.80	1100128.32	572782.02	Caiman-1	278.16	-49.08	2180.80	-6.71	-42.38	-2180.11
768615.00	574536.90	1102600.72	574492.87	Caiman-3	281.45	-49.82	2075.10	-8.12	-41.77	-2075.39
787382.40	574968.40	1121359.30	574937.03	Caiman-4	260.33	-41.51	1612.70	-2.71	-39.10	-1663.64

737558.80	569721.40	1071568.23	569659.94	Cedral-1	311.00	-43.61	3037.00	4.14	-47.74	-3034.84
770203.30	574668.30	1104188.10	574625.29	Mecaya-1	269.26	-49.77	1968.80	-8.74	-41.16	-1971.54
781829.90	586046.60	1115800.90	586006.73	Mandur-1	256.77	-49.04	1906.60	-8.40	-40.63	-1906.31
800150.10	593610.00	1134108.61	593582.34	Mandur-2	220.08	-31.22	1526.10	7.03	-37.96	-1523.33
770131.10	575868.00	1104115.11	575824.31	Mandur-3	279.04	-50.23	2022.30	-8.86	-41.35	-2018.58
787070.00	576166.00	1121046.18	576133.96	Mandur-4	250.80	-42.55	1689.10	-3.27	-39.32	-1690.29
776180.00	587786.70	1110152.15	587741.62	Mandur-5	251.98	-51.78	1949.20	-10.87	-40.96	-1949.36
686121.50	568652.70	1020183.09	568559.45	Orito-37	453.40	-57.06	1680.00	-17.84	-39.44	-1680.40
752693.40	545723.80	1086704.80	545687.80	Platanillo-1	248.46	-36.11	2295.60	6.98	-43.13	-2295.54
725457.30	531973.60	1059495.28	531937.89	Pinuna-1	265.87	-36.48	2881.00	10.29	-46.88	-
2881.80										
736428.30	554069.90	1070447.68	554020.20	Quilli-1	275.08	-38.74	2644.00	6.54	-45.48	-
2650.09										
721680.00	537614.90	1055719.39	537572.75	Quinde-1	266.45	-36.04	2795.00	10.19	-46.20	-
2794.22										
828383.00	588193.00	1162341.56	588189.30	Solita-1	208.79	-0.39	849.40	33.61	-34.17	-
856.37										
727158.40	583850.40	1061166.56	583769.90	Umbria-2	335.28	-52.69	3409.00	-2.60	-49.92	-
3408.70										
686630.60	544814.80	1020704.35	544750.69	Hormiga-4	331.51	-42.11	3080.00	5.91	-47.73	-
3073.34										
743663.20	574426.80	1077664.85	574365.80	Mansoya-1	299.98	-44.01	2596.00	0.97	-45.16	-
2587.12										
734513.00	552515.30	1068534.72	552465.88	Quillili-2	269.55	-38.43	2934.00	8.67	-46.92	-
2928.94										
740717.20	569170.80	1074724.53	569111.80	Yurilla-1	319.41	-41.83	2623.00	3.32	-45.30	-
2625.25										
745825.50	574206.20	1079825.72	574146.83	Alborada-1	295.67	-43.79	2903.00	3.11	-46.62	-
2893.31										
744327.20	574866.80	1078328.06	574805.93	Centella-1	299.02	-44.25	2598.00	0.74	-45.44	-
2631.10										
772784.60	575849.20	1106767.27	575807.37	Estrella-1	286.23	-49.85	1872.10	-9.42	-40.55	-
1873.10										
687707.60	543841.90	1021780.47	543779.43	Hormiga-1X	332.93	-41.10	3040.00	6.67	-47.71	-
3046.76										
829781.00	626103.00	1163703.37	626099.38	CURBINATA-1	226.59	-24.25	949.00	10.37	-34.69	-
947.92										
841254.00	620752.00	1175182.42	620760.76	LA.RASTRA-1	215.10	-12.22	714.70	20.93	-33.62	-
792.03										
835974.00	653089.00	1169863.39	653092.89	LA.TURBIA-1	248.26	-25.81	608.00	6.67	-32.51	-
608.21										
831920.00	658250.00	1165802.38	658248.43	LA.TURBIA-2	251.69	-30.59	524.00	1.36	-31.99	-
524.06										
735215.20	525519.30	1069246.88	525492.04	LasChicas-1	276.48	-30.13	2805.00	16.16	-46.25	-
2803.89										
844450.00	654500.00	1178338.00	654515.32	MONTANITA-1	240.27	-15.02	402.00	16.17	-30.92	-
400.57										
837200.00	666500.00	1171070.81	666505.97	AEROPUERTO-1	246.20	-22.12	379.00	8.92	-30.44	-
370.77										
715861.50	524296.40	1049910.69	524264.93	AzulGrande-1	276.81	-37.09	2818.00	9.28	-46.59	-
2819.19										
786719.00	575425.00	1120695.83	575393.00	Caq-8801-200	256.92	-42.42	1754.00	-2.74	-39.34	-
1698.54										
857593.00	639683.00	1191501.96	639713.01	Caq-8803-200	241.29	-9.63	783.00	23.95	-33.46	-
782.86										
841337.00	620334.00	1175265.87	620342.82	Caq-8804-400	223.16	-11.53	965.00	23.19	-33.69	-
869.61										
791112.00	605252.00	1125062.95	605212.70	Caq-8804-400	230.06	-43.87	1865.00	-3.49	-40.36	-
1865.44										
842617.00	526522.00	1176609.28	526524.76	Caq-8807-400	220.45	24.86	1058.00	60.17	-35.13	-
1057.67										
725321.40	519738.10	1059362.94	519713.23	Qillacinga-2	258.17	-31.57	2637.00	13.66	-46.01	-
2759.05										
793373.60	570296.50	1127351.50	570270.78	RioSevilla-1	237.06	-34.01	1530.00	4.27	-38.30	-
1530.56										
796310.00	578272.00	1130281.54	578245.77	Caq-8801-1000	237.57	-34.41	1479.00	3.55	-37.99	-
1479.22										
808304.00	581812.00	1142269.91	581793.61	Caq-8801-2000	219.54	-21.89	1410.00	15.63	-37.49	-
1410.12										

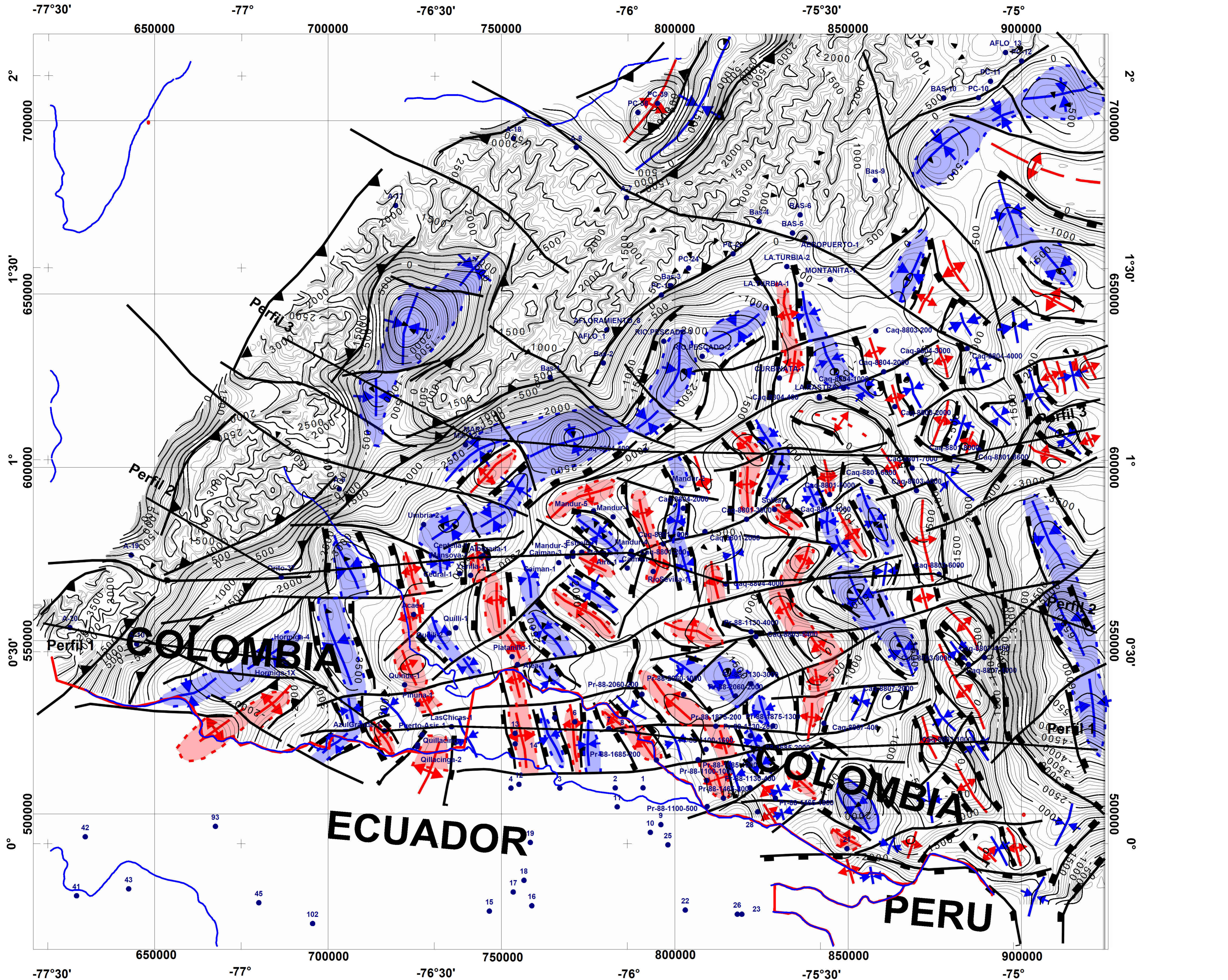
820295.00	585368.00	1154256.36	585358.16	Caq-8801-3000	223.19	-9.75	1319.00	27.20	-36.89	-
1318.51										
832281.00	588932.00	1166238.88	588931.41	Caq-8801-4000	212.16	4.75	1134.00	40.54	-35.38	-
1127.56										
844261.00	592514.00	1178216.47	592523.36	Caq-8801-5000	237.94	6.27	940.00	40.84	-34.85	-
944.12										
856205.00	596213.00	1190159.02	596233.01	Caq-8801-6000	248.65	4.74	844.00	38.70	-34.17	-
844.42										
868074.00	600135.00	1202027.43	600166.39	Caq-8801-7000	213.74	5.90	856.00	39.94	-33.96	-
855.52										
880140.00	603407.00	1214094.54	603450.47	Caq-8801-8000	210.20	-2.72	610.00	29.77	-32.80	-
611.66										
887365.00	605420.00	1221320.69	605471.05	Caq-8801-8600	239.44	-6.54	604.00	25.92	-32.72	-
603.35										
863051.00	617849.00	1196985.91	617880.28	Caq-8803-2000	234.03	-4.43	839.00	29.50	-33.95	-
838.87										
869303.00	593635.00	1203262.44	593665.55	Caq-8803-4000	207.85	9.09	676.00	42.00	-32.83	-
674.23										
822968.00	551506.00	1156950.56	551501.04	Caq-8803-5400	237.22	-0.03	1292.00	36.75	-36.70	-
1296.36										
875802.00	569496.00	1209781.48	569523.49	Caq-8803-6000	217.57	10.28	705.00	43.37	-33.67	-
707.13										
882745.00	545509.00	1216740.17	545531.10	Caq-8803-8000	193.99	36.87	733.00	70.14	-32.76	-
731.38										
848281.00	623171.00	1182207.49	623187.55	Caq-8804-1000	223.90	-13.63	906.00	20.72	-34.56	-
905.58										
859845.00	627923.00	1193768.24	627953.16	Caq-8804-2000	267.33	-9.07	835.00	24.84	-33.93	-
835.30										
802058.00	588528.00	1136020.17	588503.25	Caq-8804-2000	231.14	-30.08	1572.00	8.46	-38.44	-
1571.84										
871877.00	631295.00	1205799.65	631339.78	Caq-8804-3000	224.47	-0.83	795.00	32.83	-33.26	-
792.86										
883930.00	634614.00	1217853.24	634674.08	Caq-8804-4000	258.16	-4.89	627.00	27.71	-32.73	-
628.37										
814270.00	566700.00	1148245.14	566688.40	Caq-8804-4000	216.95	-8.59	1375.00	28.71	-37.10	-
1374.76										
861198.00	533935.00	1195190.82	533944.83	Caq-8807-2000	221.64	21.00	935.00	55.54	-34.59	-
935.18										
884304.00	543483.00	1218300.70	543504.93	Caq-8807-4000	207.79	36.85	605.00	69.31	-32.04	-
601.58										
888892.00	545472.00	1222889.87	545496.81	Caq-8807-4400	186.39	32.42	623.00	65.00	-32.81	-
628.61										
726726.40	523214.10	1060765.85	523186.50	Puerto-Asis-1	282.37	-32.91	2652.00	12.42	-45.45	-
2653.02										
725412.70	520344.30	1059454.02	520318.91	Quillacinga-1	259.30	-31.91	2887.00	14.89	-46.03	-
2759.85										
796413.00	636713.00	1130328.65	636669.14	RIO.PESCADO-1	289.68	-38.95	2195.00	3.51	-41.92	-
2186.27										
807523.00	632353.10	1141440.93	632323.46	RIO.PESCADO-2	261.90	-44.77	1714.00	-5.34	-40.62	-
1727.59										
780000.00	640000.00	1113917.76	639935.05	AFLORAMIENTO	1174.65	-28.58	0.00	-7.30	-21.28	-
1174.70										
888389.00	521177.00	1222394.99	521190.47	Caq-8803-10000	231.25	4.03	714.00	37.18	-34.22	-
716.90										
808947.00	502505.00	1142945.80	502502.87	Pr-88-1100-500	239.83	1.94	1598.00	40.64	-39.10	-
1600.39										
821309.00	507901.00	1155305.37	507899.44	Pr-88-1130-400	255.90	11.14	1390.00	48.54	-37.52	-
1392.10										
813623.00	504933.00	1147620.72	504930.89	Pr-88-1465-800	254.58	4.29	1491.00	42.32	-38.18	-
1490.02										
794315.00	515902.00	1128315.66	515894.29	Pr-88-1685-200	239.42	-5.55	1776.00	34.27	-39.75	-
1776.18										
811431.00	525662.00	1145425.06	525655.96	Pr-88-1875-200	247.51	-0.22	1428.00	37.41	-37.70	-
1429.10										
790138.00	534893.00	1124134.79	534877.73	Pr-88-2060-200	261.13	-17.18	1709.00	22.22	-39.43	-
1709.54										
808813.00	510005.00	1142810.93	510001.36	Pr-88-1100-1000	244.12	3.16	1517.00	41.35	-38.11	-
1515.82										
808612.00	519005.00	1142608.28	518999.51	Pr-88-1100-1600	261.57	0.62	1485.00	38.61	-37.92	-
1483.56										

821436.00	522901.00	1155429.43	522898.02	Pr-88-1130-2000	229.47	7.31	1376.00	44.62	-37.30	-
1375.52										
821592.00	537902.00	1155580.63	537897.65	Pr-88-1130-3000	218.29	-1.82	1448.00	35.94	-37.86	-
1449.20										
821604.00	552906.00	1155585.98	552900.24	Pr-88-1130-4000	221.60	-0.86	1277.00	35.83	-36.46	-
1274.49										
828627.00	504888.00	1162623.25	504887.53	Pr-88-1465-1800	249.20	21.65	1392.00	59.06	-37.07	-
1389.10										
806320.00	515995.00	1140317.40	515989.66	Pr-88-1685-1000	267.53	-0.03	1530.00	38.25	-38.31	-
1530.99										
821325.00	516109.00	1155320.00	516106.65	Pr-88-1685-2000	255.45	8.11	1408.00	45.62	-37.60	-
1409.15										
827920.00	525762.00	1161912.22	525760.57	Pr-88-1875-1300	240.22	12.00	1290.00	48.77	-36.70	-
1289.91										
802132.00	534820.00	1136125.17	534809.02	Pr-88-2060-1000	252.60	-8.59	1563.00	29.89	-38.48	-
1562.87										
817131.00	534381.00	1151121.42	534375.41	Pr-88-2060-2000	246.31	-3.14	1612.00	35.65	-38.79	-
1611.38										
627068.40	476749.26	961239.45	476774.79		41	748.71	-72.33	1500.00	-34.24	-38.10
1500.22										
629571.15	493769.96	963738.88	493766.60		42	627.79	-77.80	1500.00	-39.71	-38.25
1500.20										
642086.31	478752.19	976232.99	478772.70		43	494.46	-61.56	3000.00	-14.05	-47.46
2999.85										
679628.92	474749.10	1013721.75	474770.65		45	317.23	-32.92	3700.00	18.99	-52.16
3700.94										
667114.83	496773.12	1001225.24	496766.26		93	326.57	-42.60	3500.00	8.06	-50.50
3499.16										
695145.73	468743.50	1029218.91	468769.71		102	281.14	-20.58	2700.00	25.05	-45.64
2699.60										









La Cuenca del Putumayo, Colombia - Contrato No.: 036

Scale 1:500000  
 Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

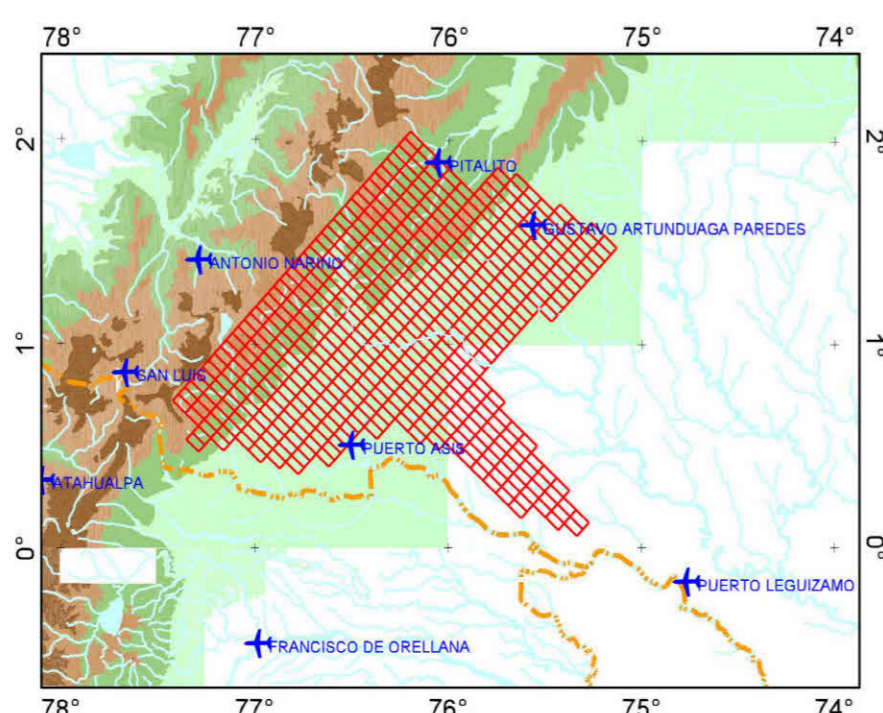
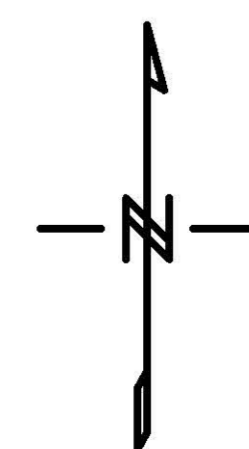
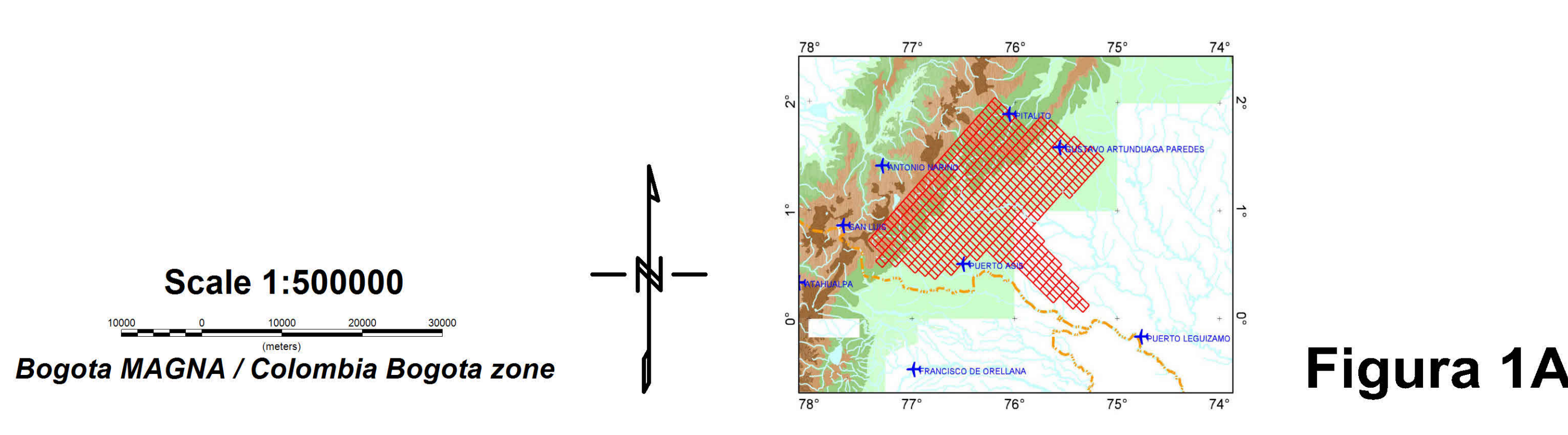
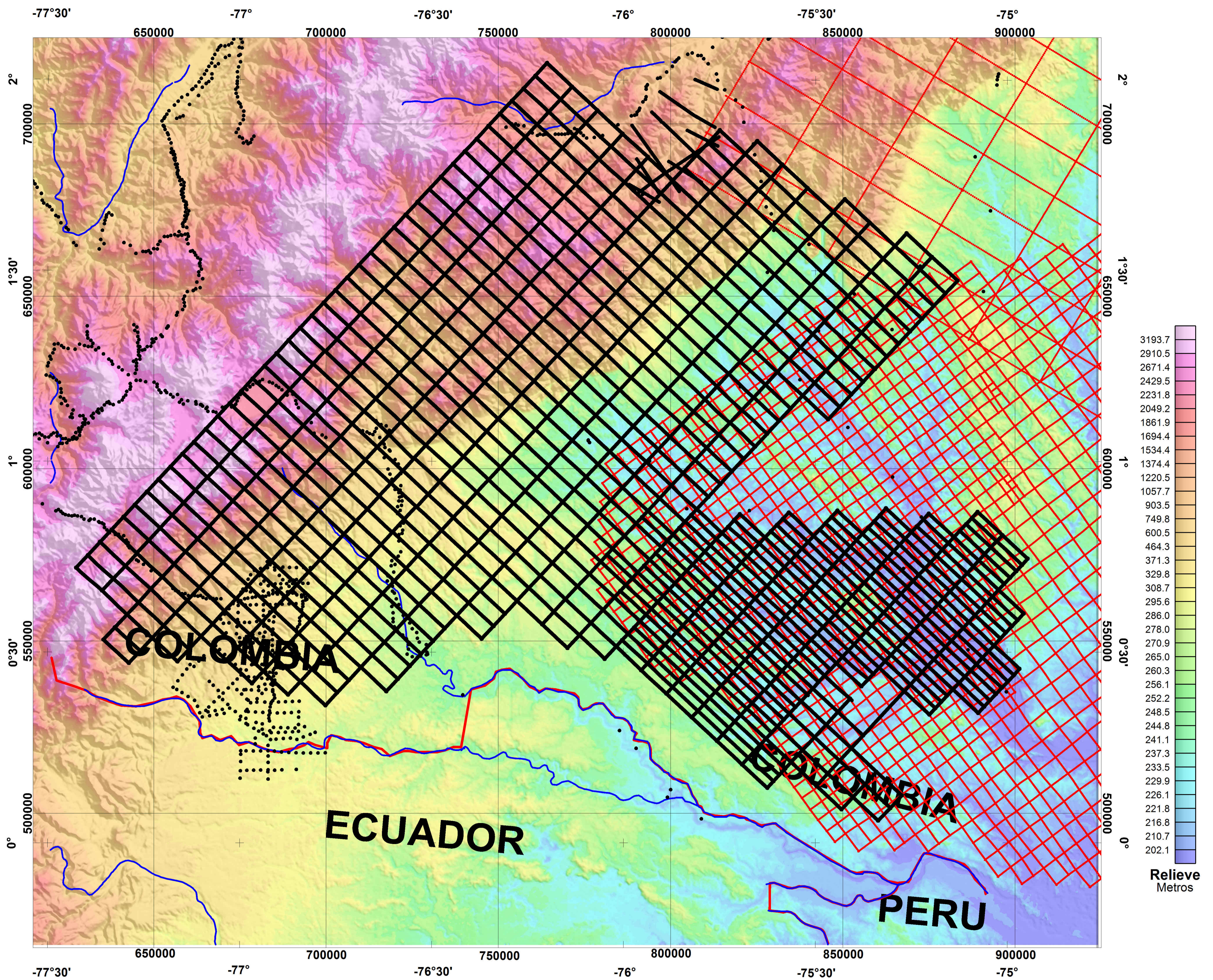


Figura 12

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)	
<b>Interpretacion Estructural del Tope del Paleozoico</b> <b>Referencia: Nivel Medio del Mar (NMM)</b>	
Interpretado por: V. Graterol	Fecha: Marzo del 2009
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b>	
	

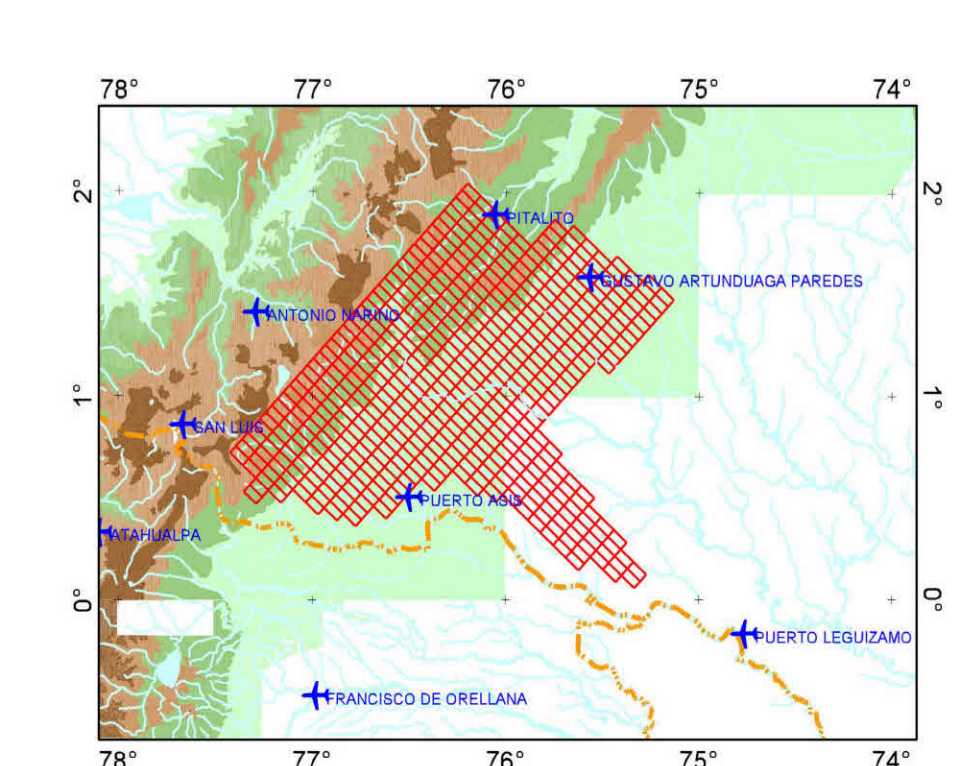
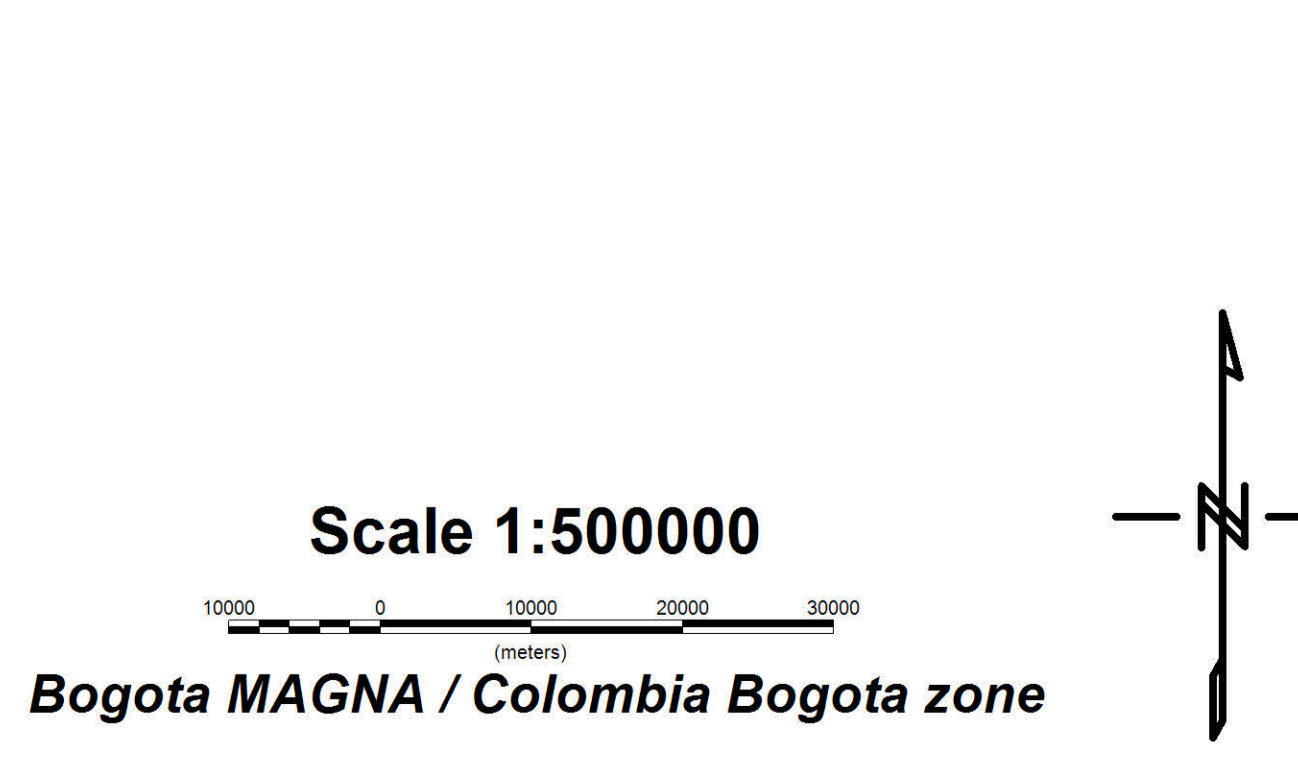
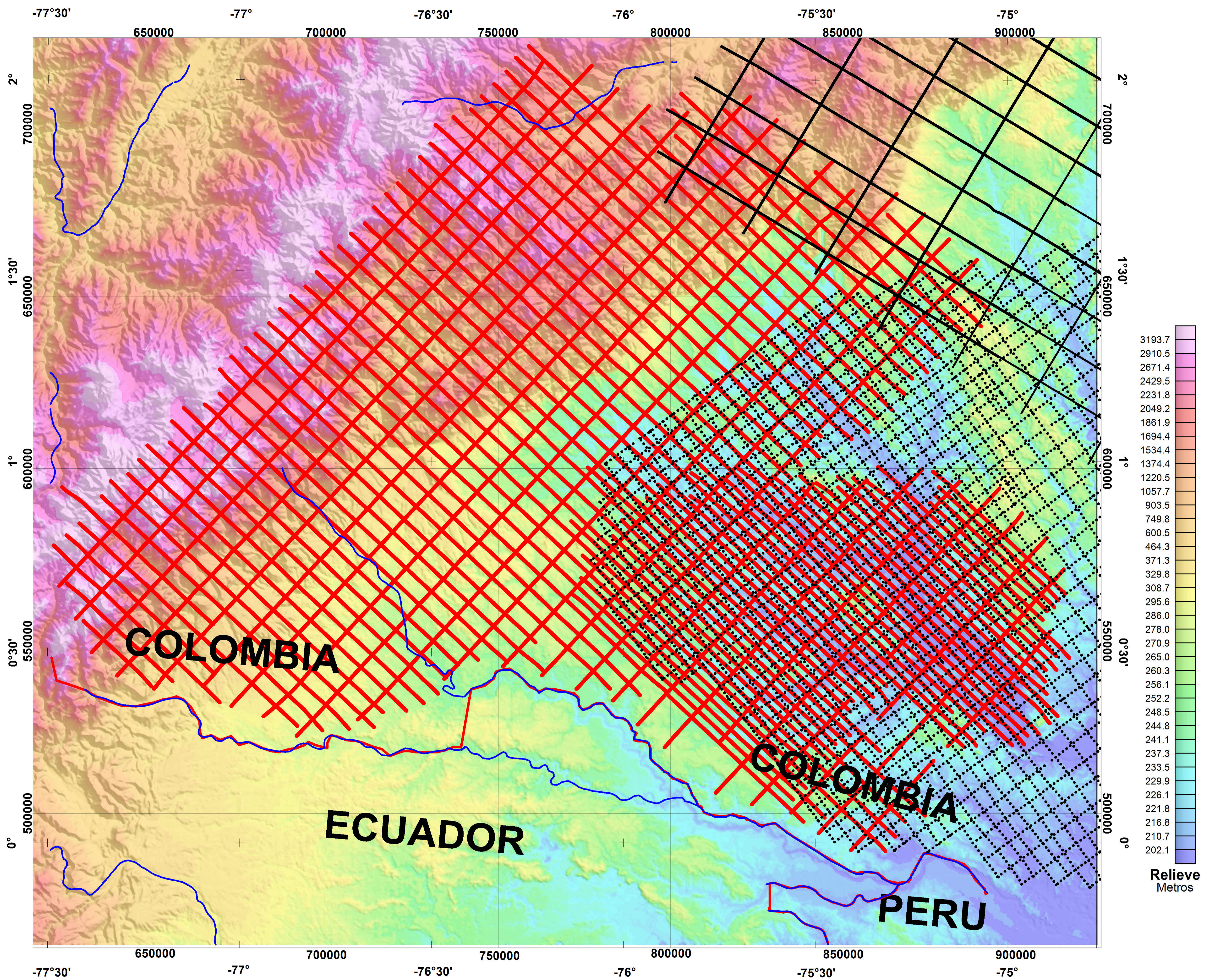


AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) 

**Localizacion y Relieve Topografico**  
**Cubrimiento Gravimetrico (Aereo y Terrestre)**

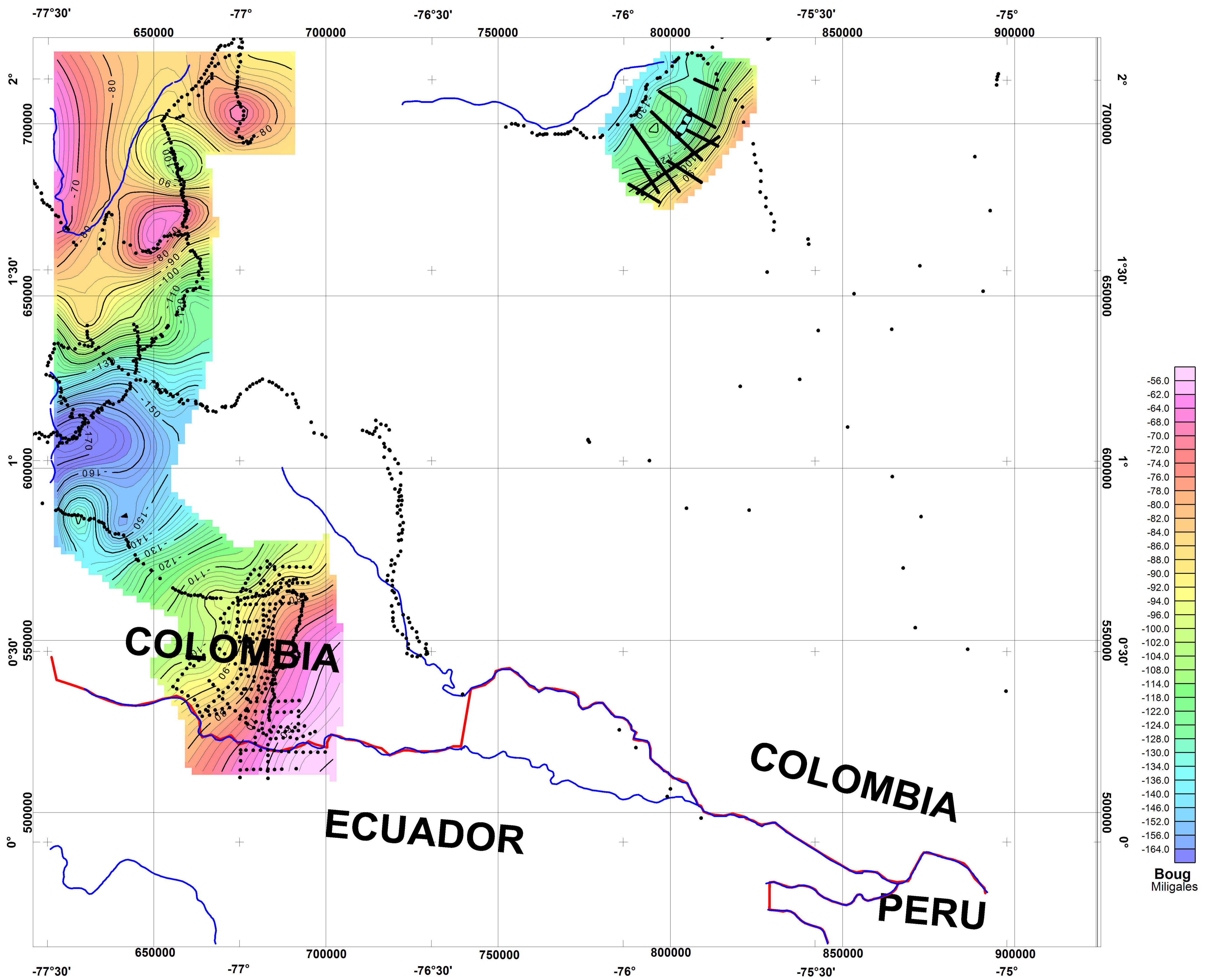
Interpretado por: V. Graterol Fecha: Marzo del 2009

**CARSON HELICOPTERS Inc** 



**Figura 1B**

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)	
<b>Localizacion y Relieve Topografico</b> <b>Cubrimiento Magnetico (Aereo)</b>	
Interpretado por: V. Graterol	Fecha: Marzo del 2009
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b>	



Scale 1:500000  
 10000 0 10000 20000 30000  
 (meters)  
 Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

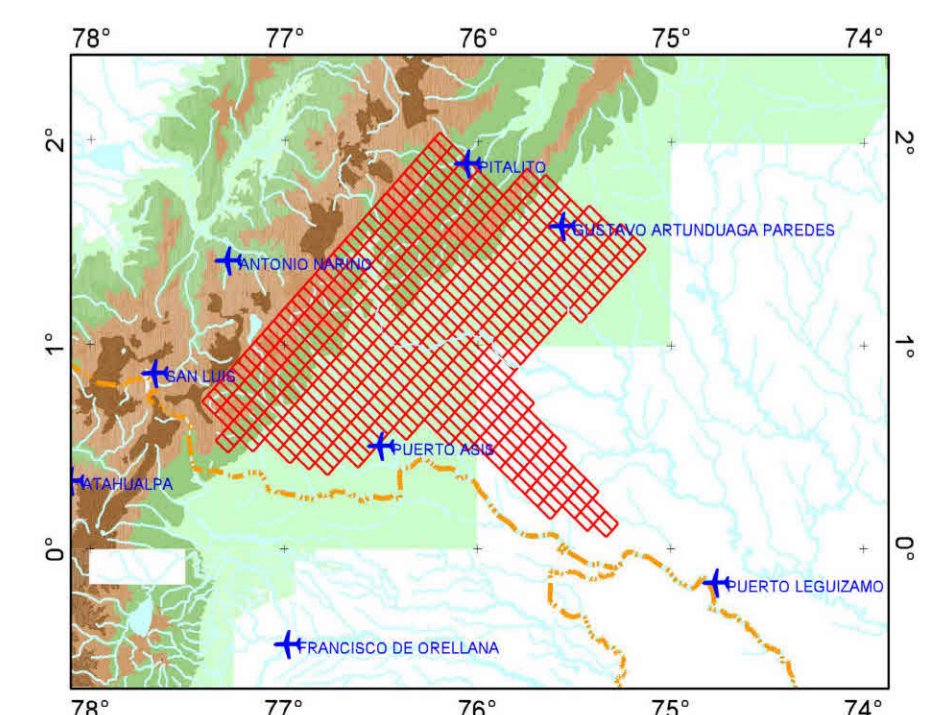
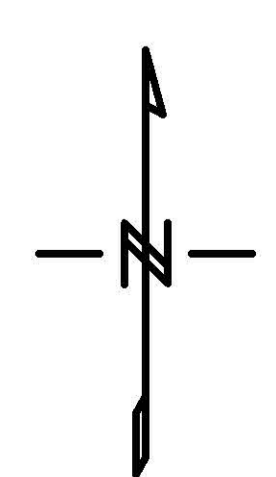
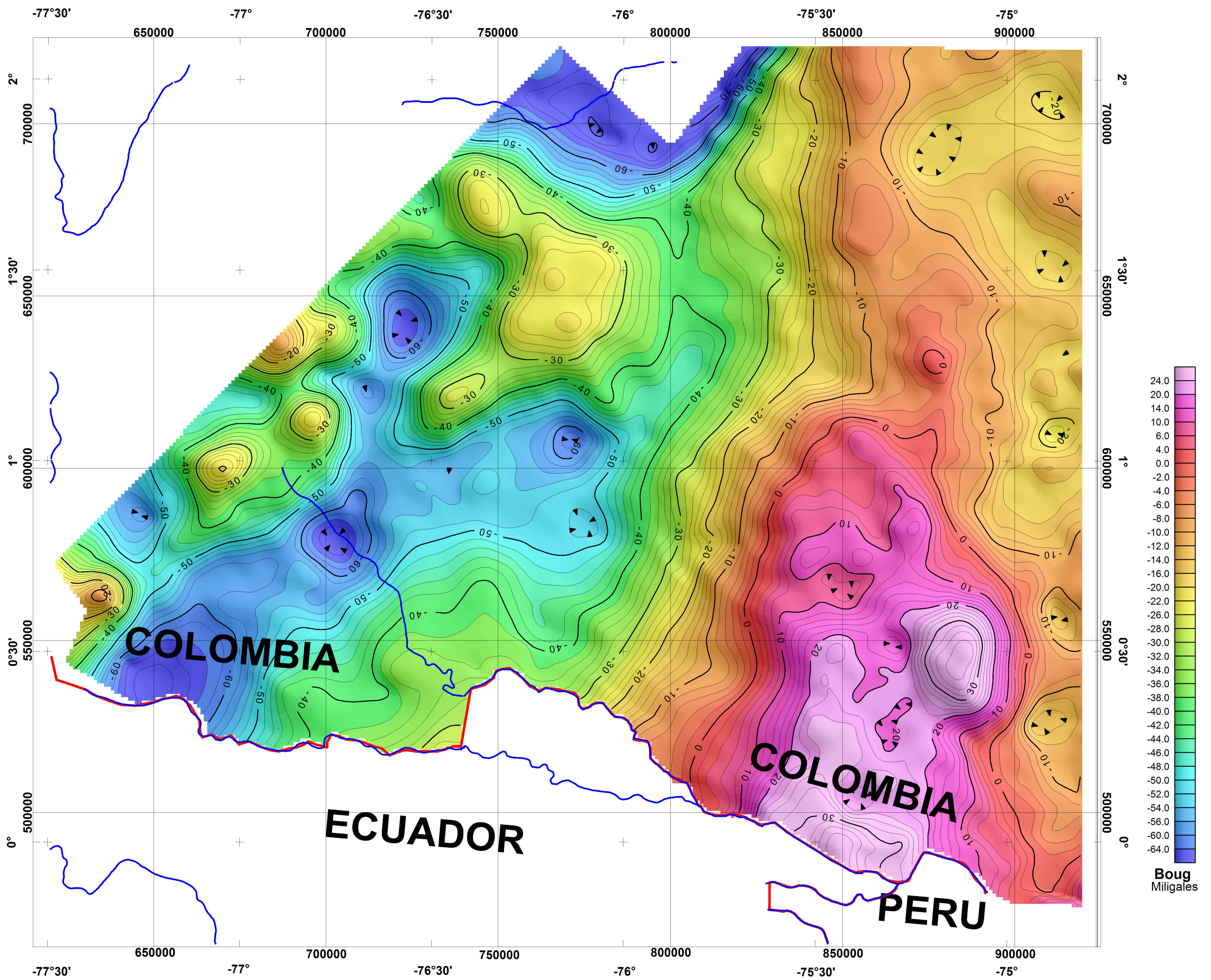
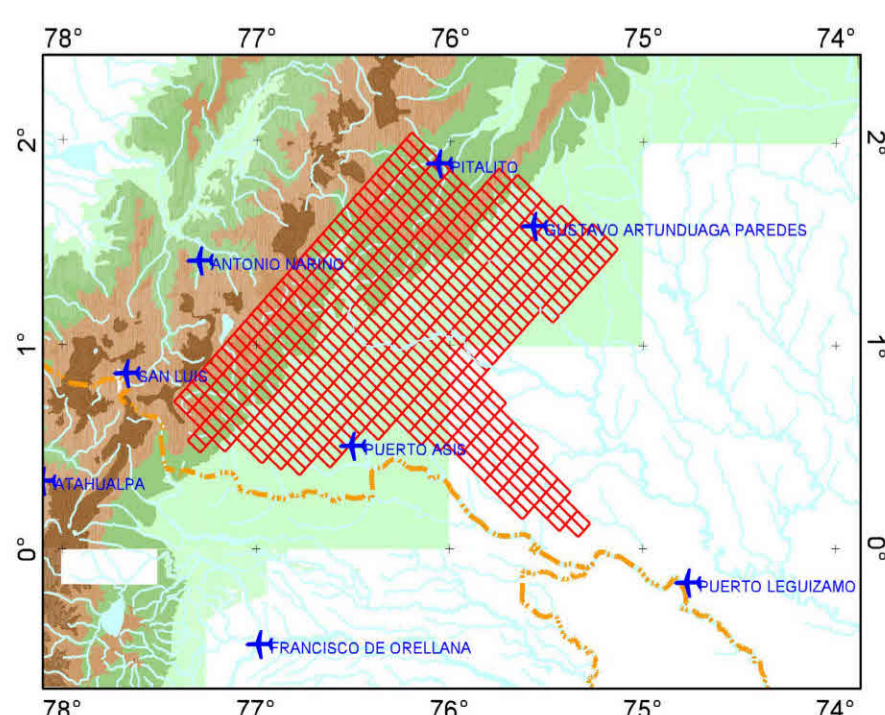
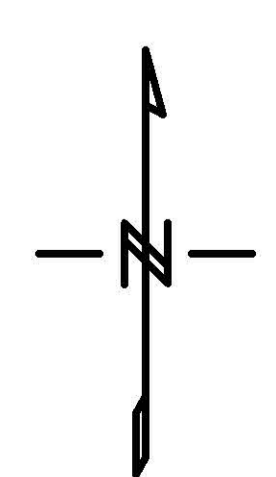


Figura 2A



AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) 	
<b>ANOMALIA DE BOUGUER</b> <b>Datos Terrestres ** p=2.10g/cc</b>	
Interpretado por: V. Graterol	Fecha: Marzo del 2009
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 	

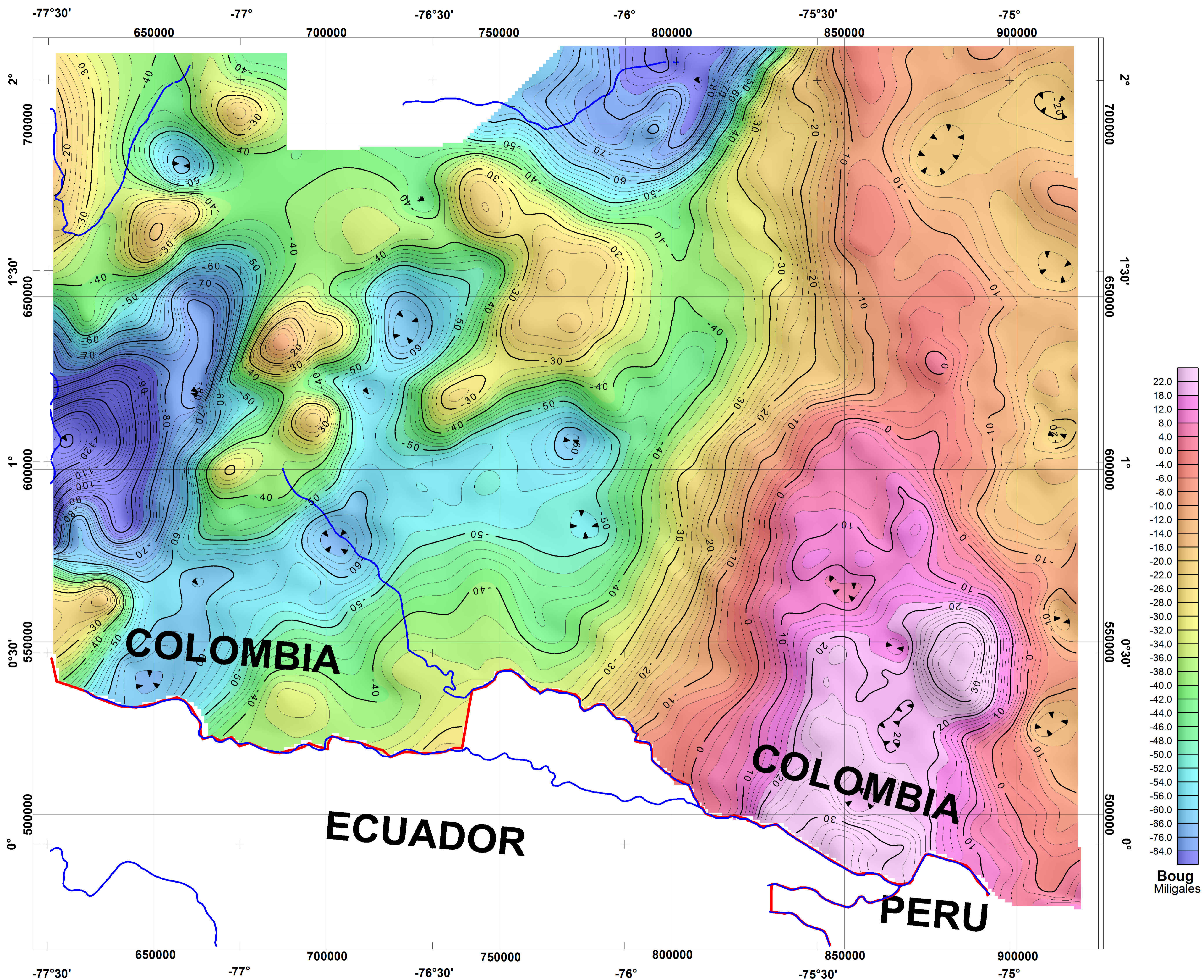


Scale 1:500000  
 10000 0 10000 20000 30000  
 (meters)  
 Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



**Figura 2B**

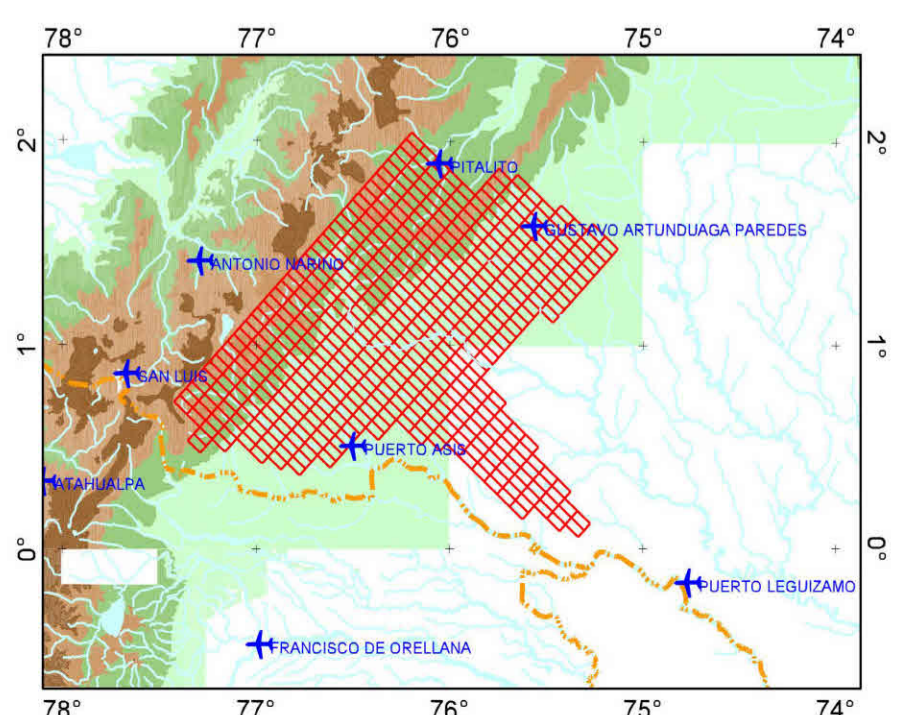
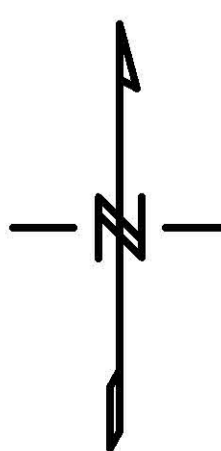
AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) 	
<b>ANOMALIA DE BOUGUER</b> <b>Datos Aereos ** p=2.04g/cc</b>	
Interpretado por: V. Graterol	Fecha: Marzo del 2009
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 	



Scale 1:500000

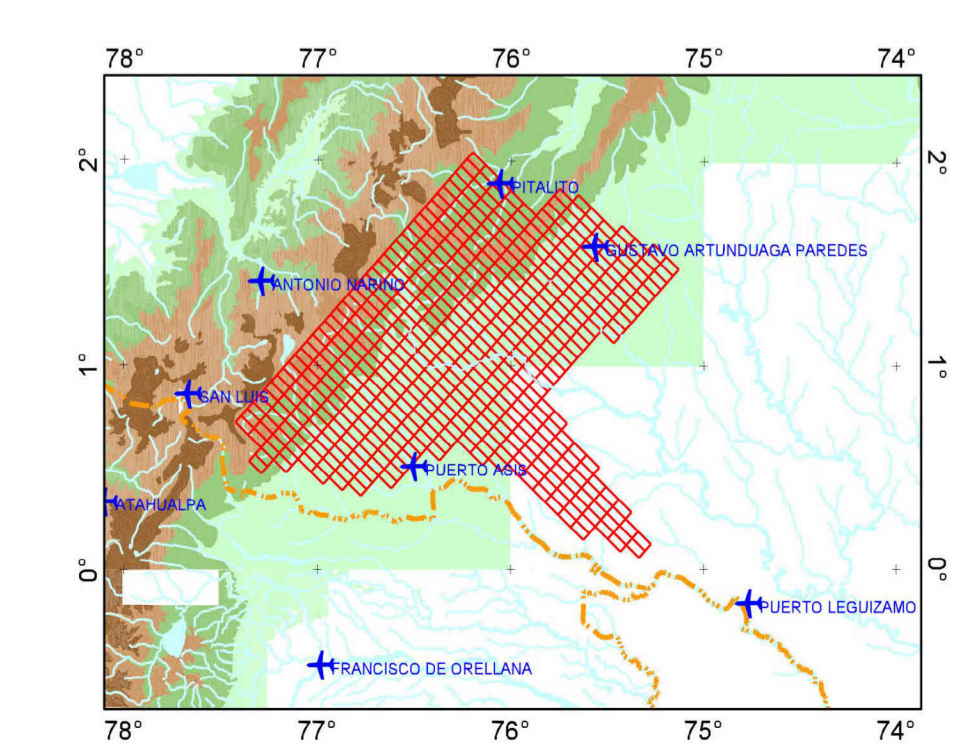
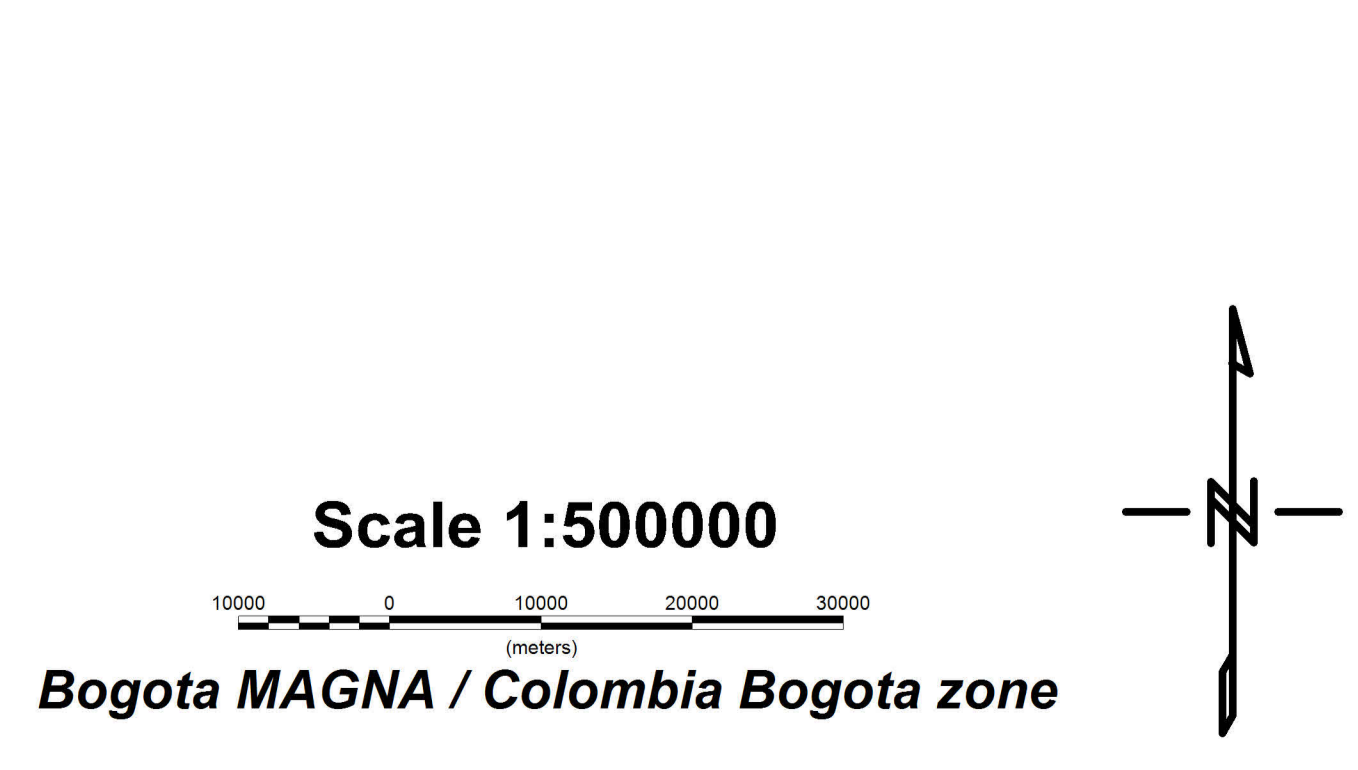
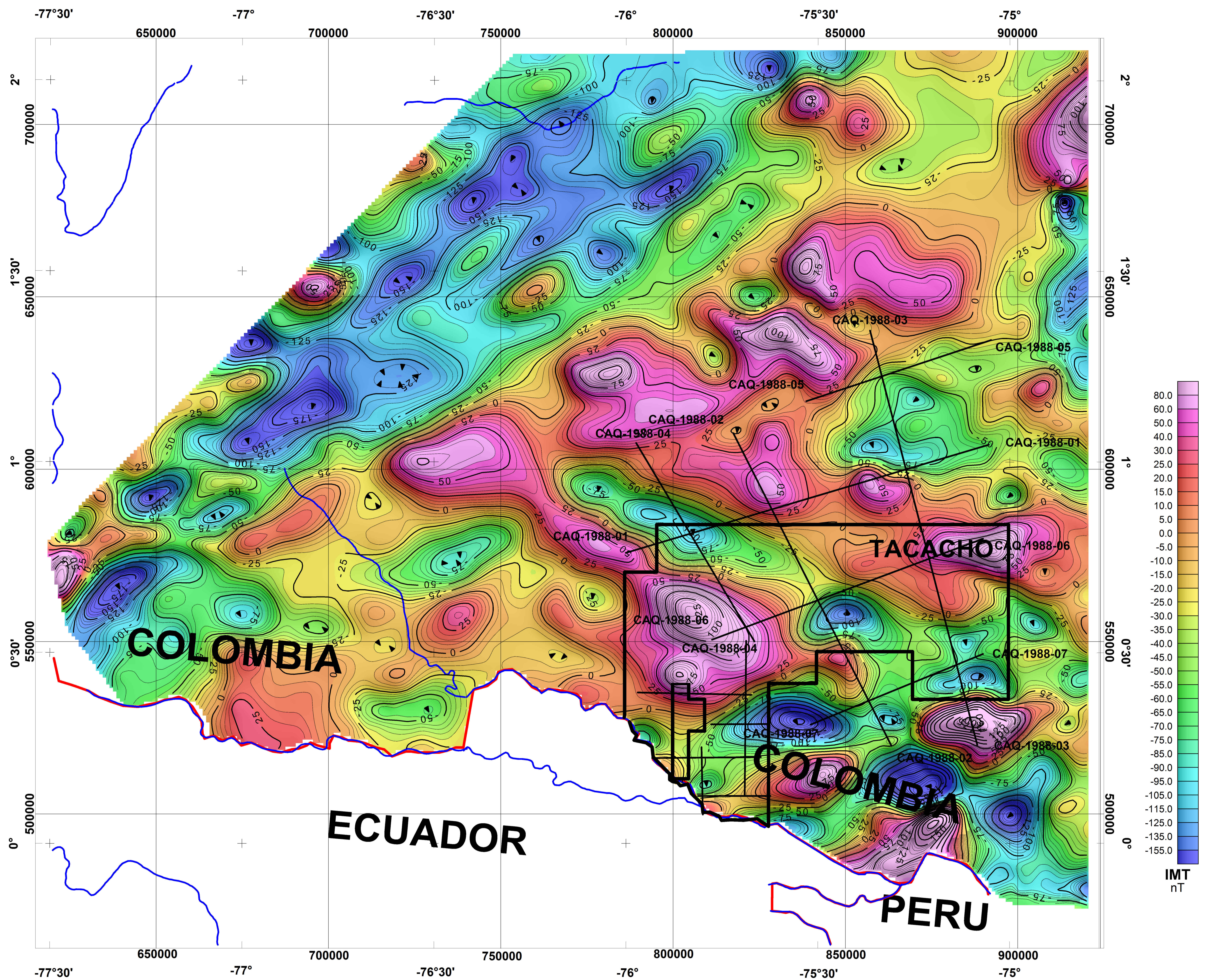
10000 0 10000 20000 30000  
(meters)

**Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone**




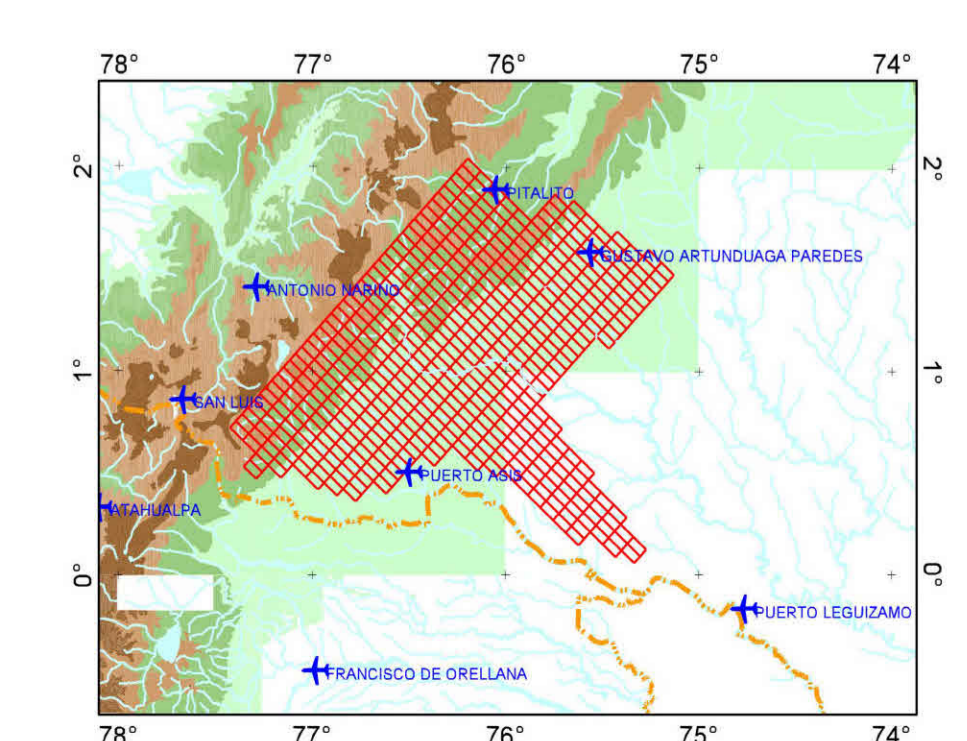
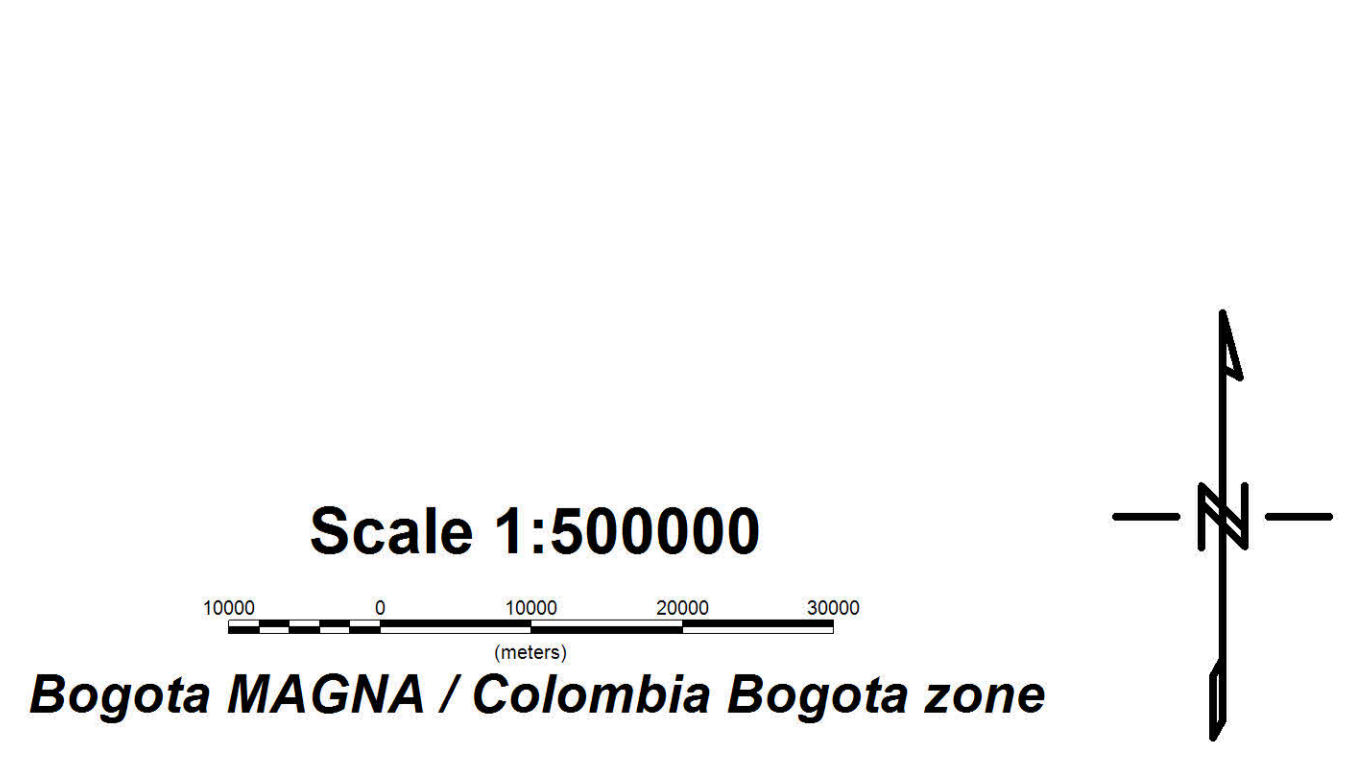
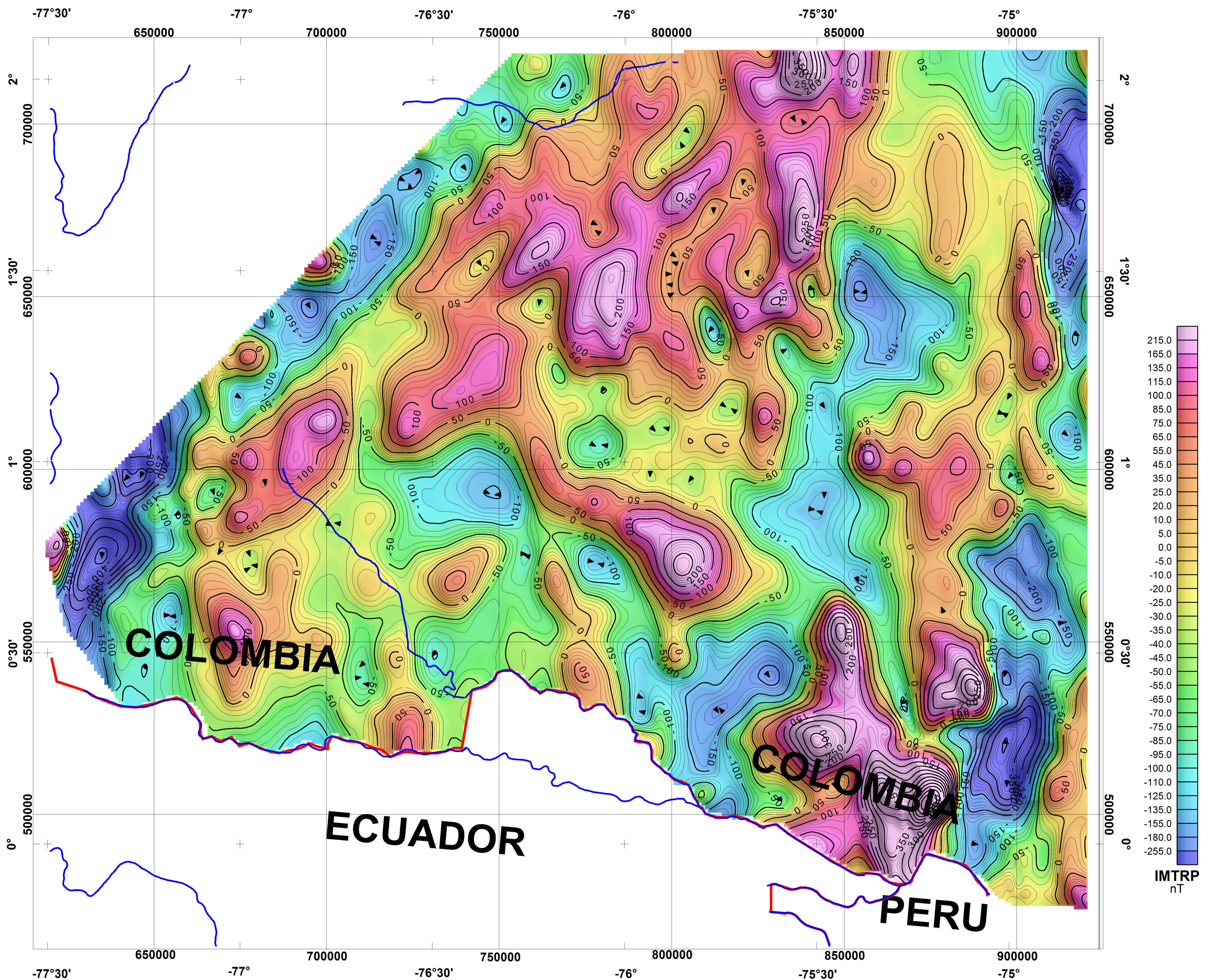
**Figura 2C**

<p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)</p> 
<p><b>ANOMALIA DE BOUGUER</b></p> <p><b>Datos Aereos y Terrestres** p=2.10g/cc</b></p>
<p>Interpretado por: V. Graterol</p> <p>Fecha: Marzo del 2009</p>
<p><b>CARSON HELICOPTERS Inc</b></p> 





**Figura 3**

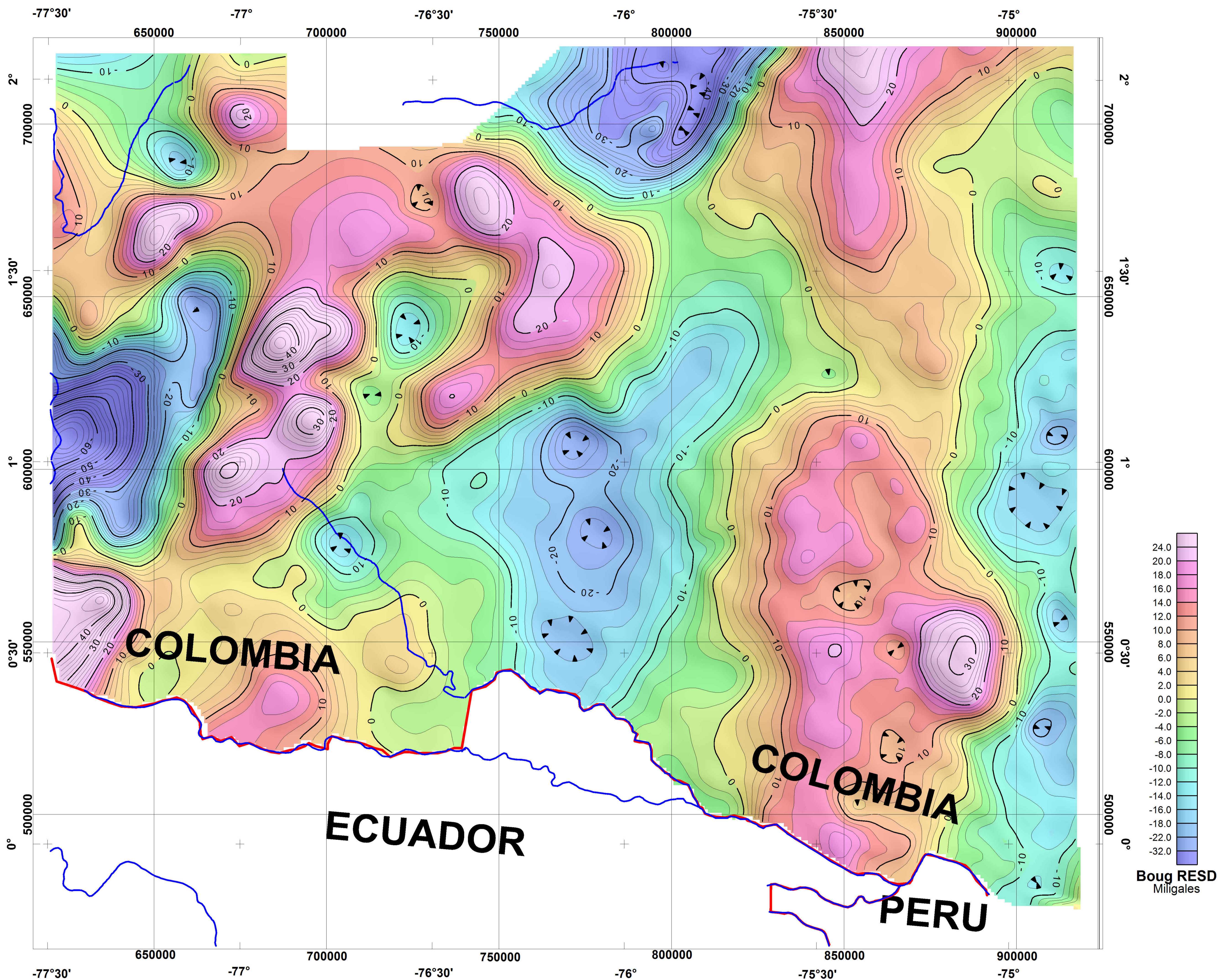
<b>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)</b> 	
<b>Intensidad Magnetica Total (IMT )</b>	
Interpretado por: V. Graterol	Fecha: Marzo del 2009
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 	




**Figura 4**

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

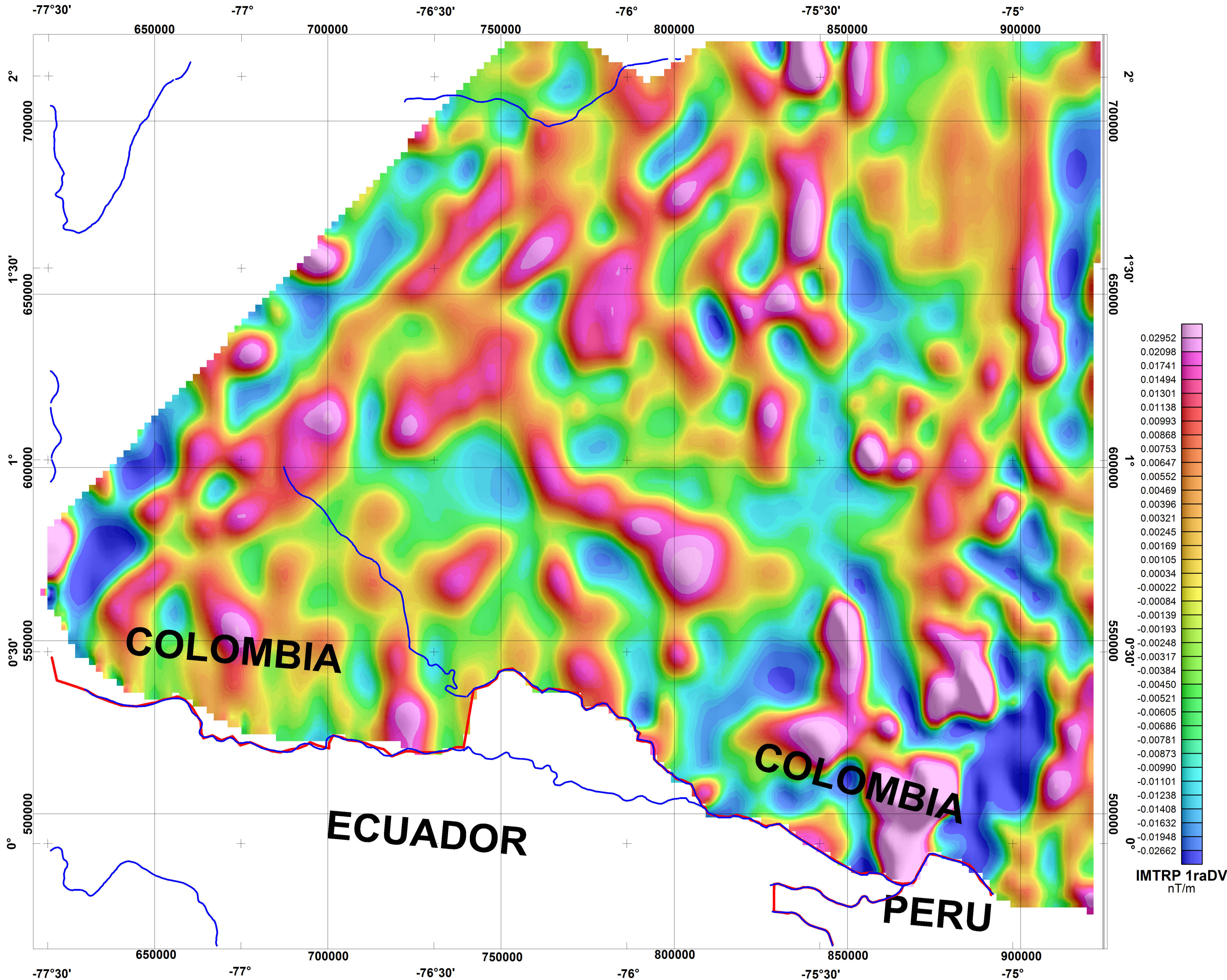




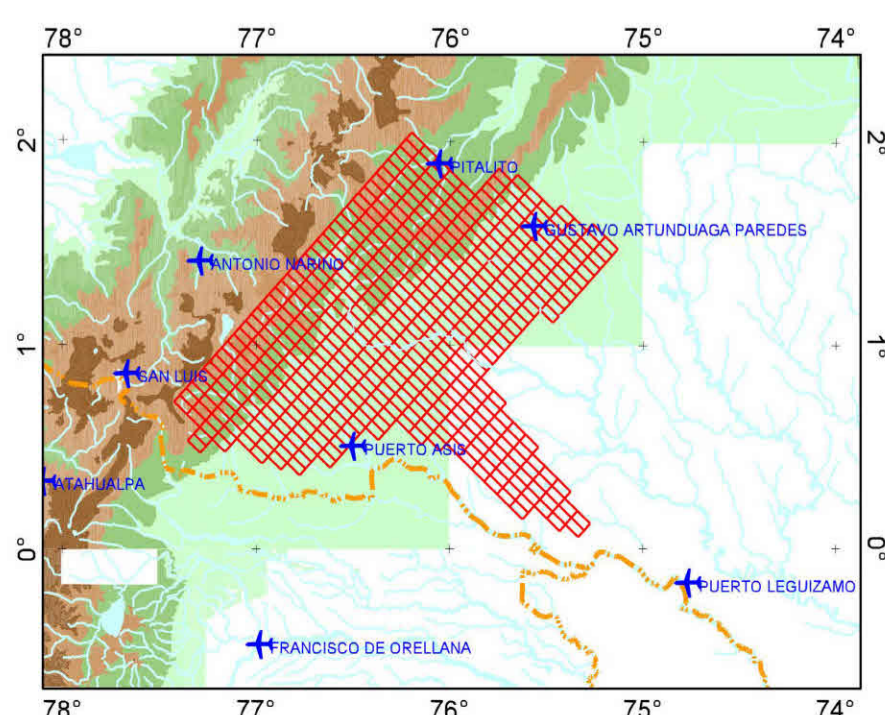
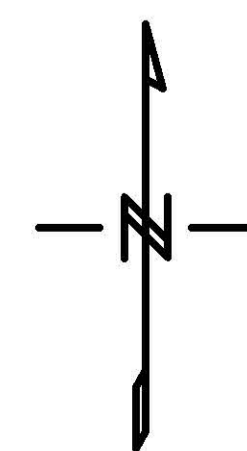
<p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)</p> 
<p><b>BOUGUER (Air-Land) Residuo Polinomico de Grado 3</b></p>
<p>Interpretado por: V. Graterol</p> <p style="text-align: right;">Fecha: Marzo del 2009</p>
<p><b>CARSON HELICOPTERS Inc</b></p> 

**Figura 5**





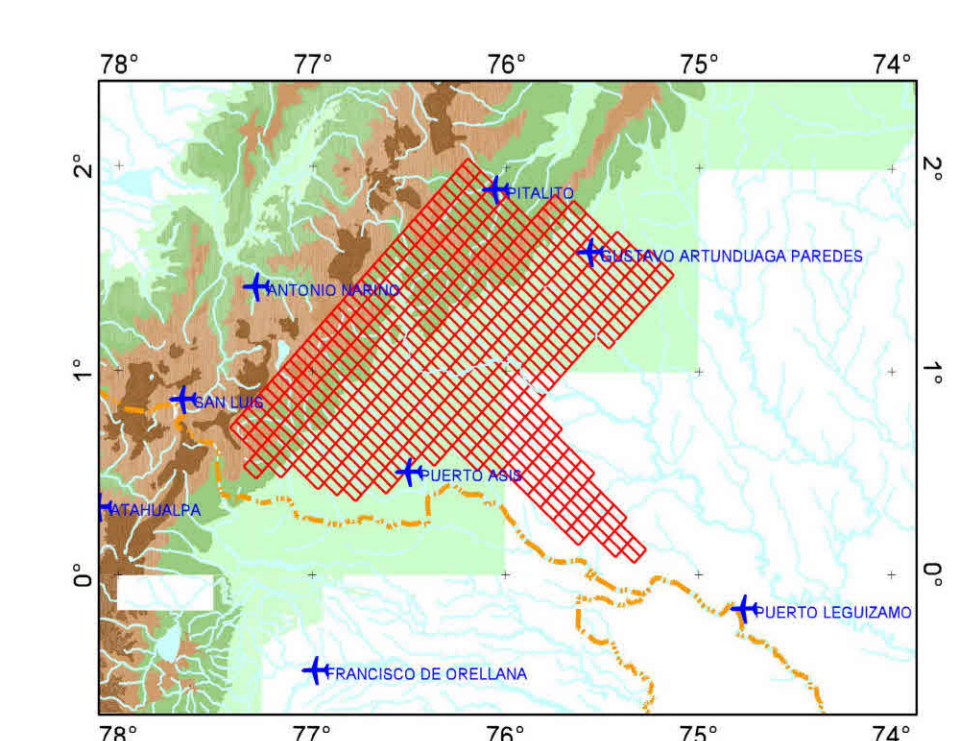
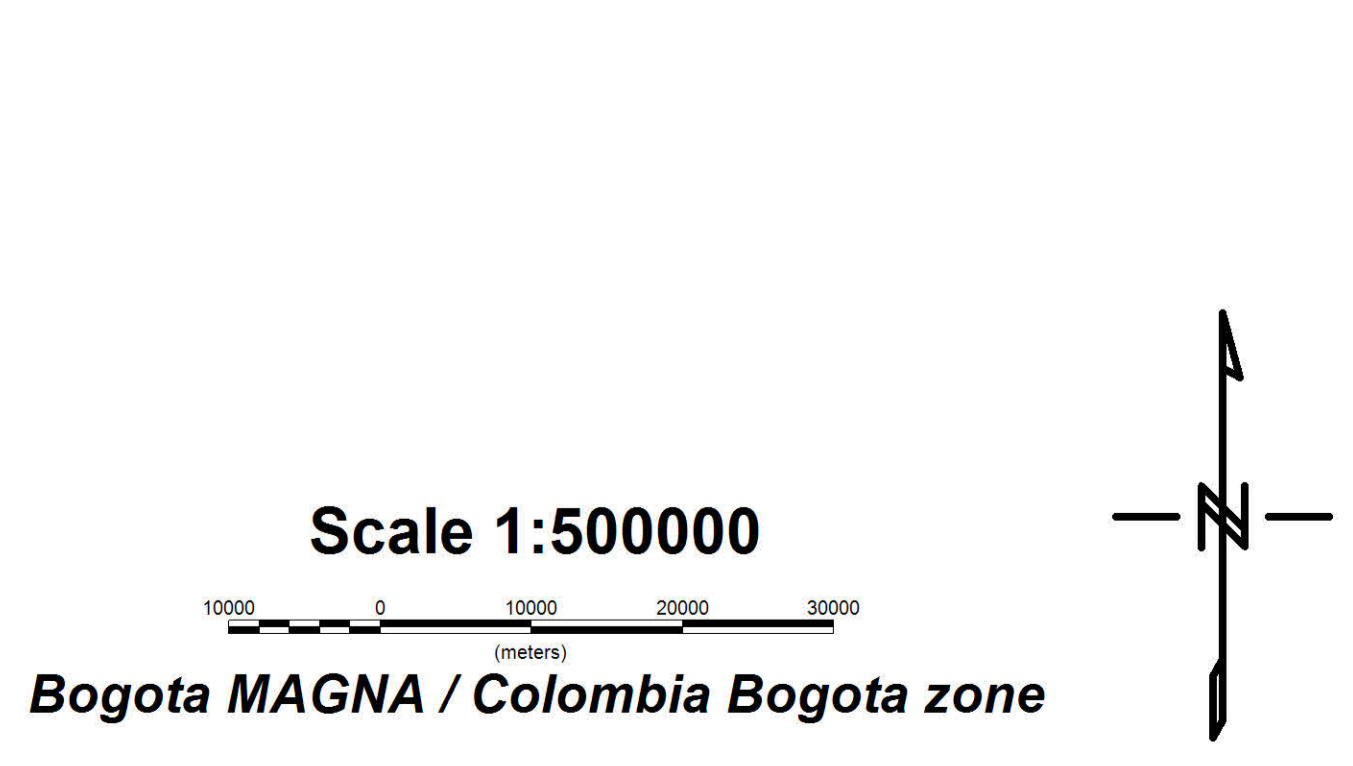
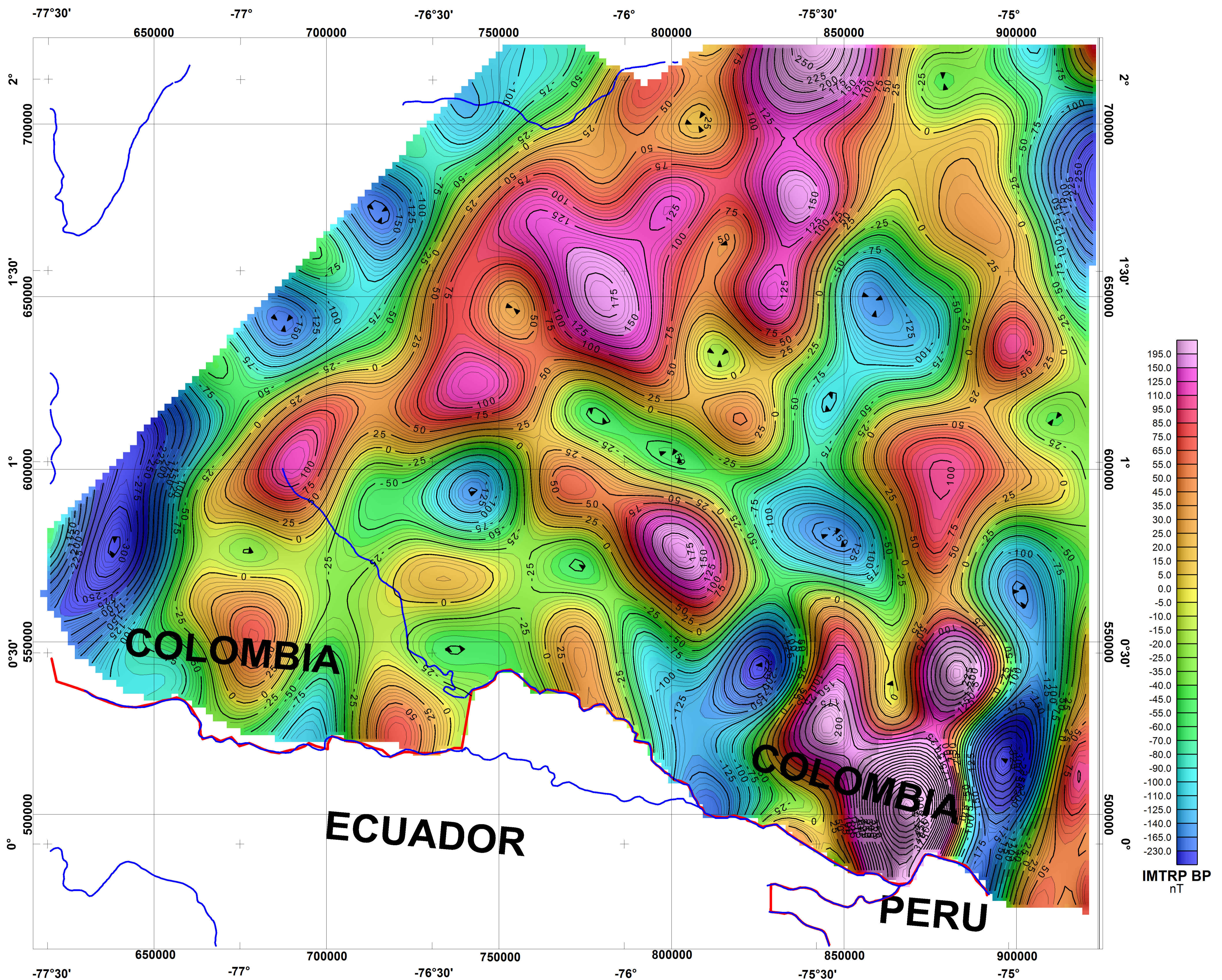


Scale 1:500000  
 10000 0 10000 20000 30000  
 (meters)  
 Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



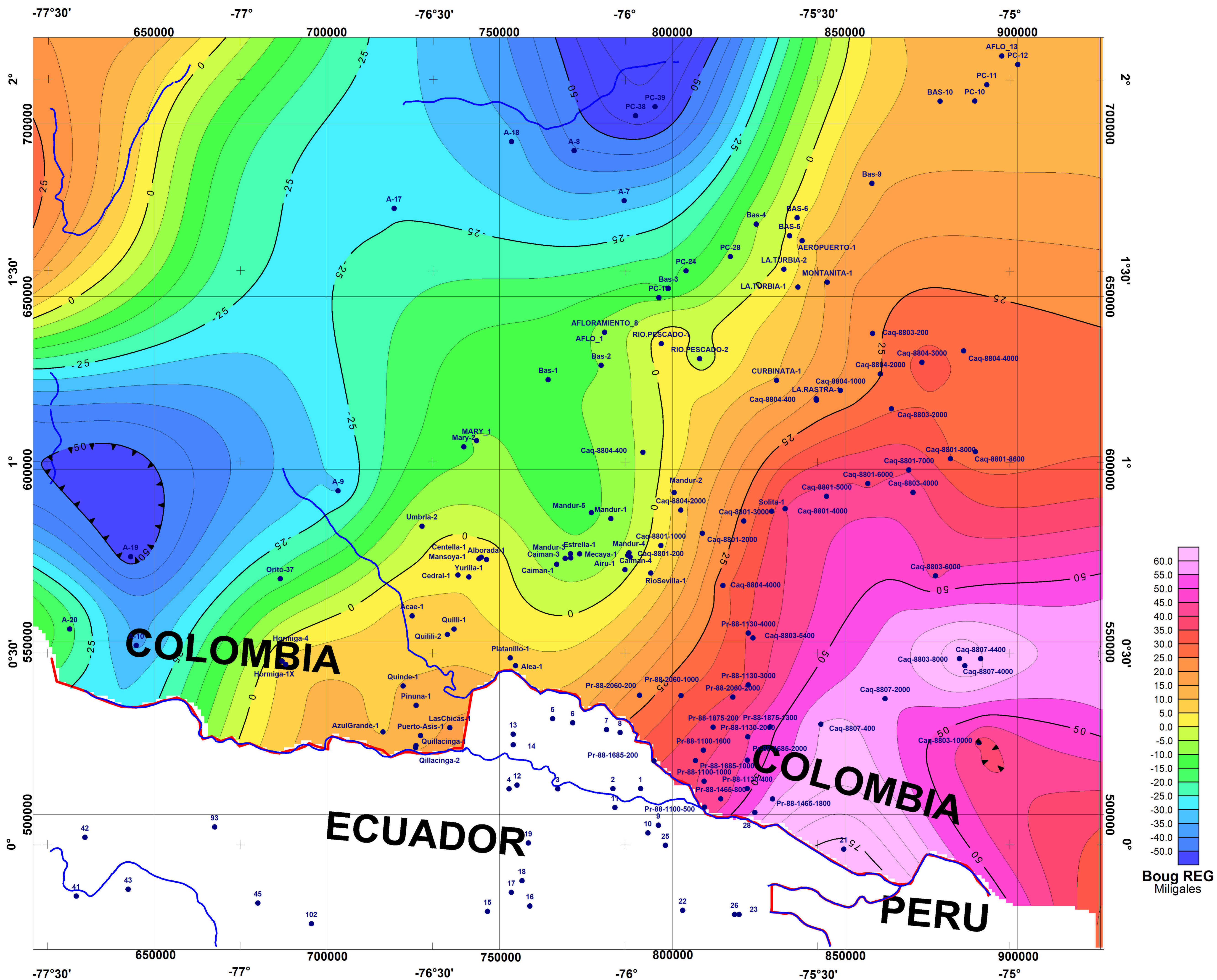
**Figura 7**

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH) 
<b>IMTRP 1ra Derivada Vertical</b>
Interpretado por: V. Graterol <span style="float: right;">Fecha: Marzo del 2009</span>
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b> 



**Figura 8**

<p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)</p> 
<p><b>IMTRP con Filtro Bandpass(1Km-30Km)</b></p>
<p>Interpretado por: V. Graterol</p>
<p>Fecha: Marzo del 2009</p>
<p><b>CARSON HELICOPTERS Inc</b></p> 



La Cuenca del Putumayo, Colombia - Contrato No.: 036

Scale 1:500000  
Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

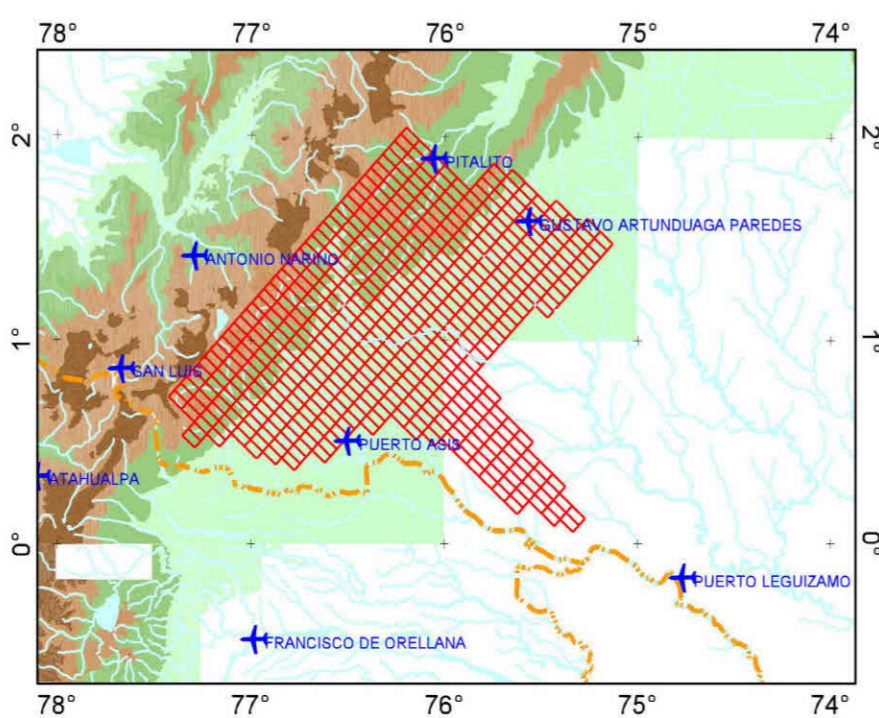
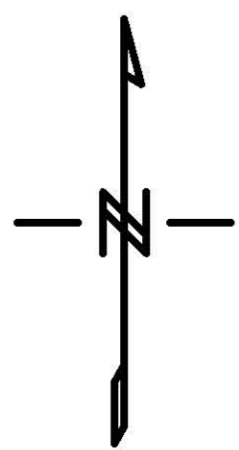


Figura 9

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)	
<b>Regional Controlado Tope Paleozoico</b> <b>Referencia: 4560.0 Arriba del NMM</b>	
Interpretado por: V. Graterol	Fecha: Marzo del 2009
<b>CARSON HELICOPTERS Inc</b>	
	