
LEVANTAMIENTO AEROGRAVIMETRICO y AEROMAGNETICO



CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES

Octubre – Noviembre del 2007

Para

**AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH)
Contrato Número 036-2007**



INFORME FINAL DE INTERPRETACIÓN

DICIEMBRE 2007

Interpretado por: Víctor Graterol y Alvaro Vargas

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

LEVANTAMIENTO AEROGRAVIMETRICO Y AEROMAGNETICO
CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES
INTERPRETACION

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	3
1.0 INTRODUCCIÓN	4
2.0 DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA DEL LEVANTAMIENTO	5
3.0 MARCO GEOLOGICO REGIONAL DE LA CUENCA	5
4.0 INTERPRETACION DE LOS DATOS GRAVIMETRICOS Y MAGNETICOS	11
4.1 Anomalía de Bouguer e Intensidad Magnética Total	12
4.2 Separación Anomalías Regional – Residual	13
4.2.1 Residuos Matemáticos	15
4.2.2 Regional y Residual Gravimétricos Controlados	15
4.3 Mapas de Interpretación Estructural	16
4.4 Resultados de la Magnetometría	17
4.5 Modelaje Gravimétrico – Magnético	18
5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
REFERENCIAS	22
PUNTOS DE CONTROL	23

LEVANTAMIENTO AEROGRAVIMETRICO Y AEROMAGNETICO
CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES
INTERPRETACION

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1	Localización y Relieve Topográfico	25
Figura 2	Anomalía de Bouguer (Datos Aéreos)	26
Figura 3	Intensidad Magnética Total (IMT)	27
Figura 4	Intensidad Magnética Total Reducida al POLO (IMTRP)	28
Figura 5	Residuo Gravimétrico Polinómico de Grado 3	29
Figura 6	Residuo Gravimétrico Cont. Campo Arriba 6 Km	30
Figura 7	Residuo de la IMTRP Polinómico de Grado 3	31
Figura 8	Residuo de la IMTRP Pasobanda (10 Km -100Km)	32
Figura 9	Regional Gravimétrico con Control Geológico Tope del Precámbrico	33
Figura 10	Residual Gravimétrico con Control Geológico Tope del Precámbrico	34
Figura 11	Tope del Basamento Precámbrico (Inversión 3D del Residuo Controlado)	35
Figura 12	Interpretación Estructural Tope del Precámbrico	36
Figura 13	Regional Gravimétrico con Control Geológico Tope del Paleozoico	37
Figura 14	Residual Gravimétrico con Control Geológico Tope del Paleozoico	38
Figura 15	Tope del Paleozoico Inversión (3D del Resd. Controlado)	39
Figura 16	Interpretación Estructural Tope del Paleozoico	40
Figura 17	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 1	41
Figura 18	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 2	42
Figura 19	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 3	43
Figura 20	Modelaje Grav. Y Mag. PERFIL 4	44
Figura 21	Isopaco de Sedimentos Paleozoicos	45
Figura 22	Isopaco de Sedimentos Terciarios y Cretácicos	46
Figura 23	Soluciones De Euler de la IMTRP (SI = 0 Contacto Magnético)	47

RESUMEN EJECUTIVO

Durante los meses de Junio a Septiembre del 2007 Carson Helicopters Inc. (Aerogravity Division) realizó, para La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), la adquisición y procesamiento de un levantamiento Aerogravimétrico y Aeromagnético sobre una porción de la Cuenca de los Llanos Orientales en Colombia. Un avión turbo DeHavilland Twin Otter realizó la adquisición de aproximadamente 9270.5 Kilómetros de datos aerogravimétricos y 9931.3 aeromagnéticos respectivamente, sobre una malla de vuelo de 10kmx20km. Los datos geofísicos se adquirieron, respectivamente, a una altura promedio de 1214.3 Metros sobre el nivel del mar. Diariamente se analizaron y procesaron para su control de calidad y aprobación final en las instalaciones de CARSON en Perkasié – PA. – USA.

El Dr. Víctor Graterol y el Geólogo Alvaro Vargas analizaron los trabajos de procesamiento e interpretaron los datos finales gravimétricos y magnéticos. La interpretación incluyó el mallado de los datos con espaciamiento de los puntos de la grilla cada 2000 Metros y tuvo como principal objetivo elaborar los mapas estructurales del Basamento Precámbrico y del Tope del Paleozoico. Aunque se emplearon filtros matemáticos, la principal fase de filtrado se realizó con estricto CONTROL GEOLÓGICO aportado por la ANH (profundidades al tope de las interfases geológicas señaladas) 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 determinaron tendencias generadas por posibles fallas regionales, así como otros elementos de interés en la exploración de hidrocarburos. Los mapas estructurales de los dos horizontes invertidos muestran como, al sur del Río Meta, las secuencias sedimentarias aumentan considerablemente sus espesores y se hacen someras solamente en la esquina sur oriental del levantamiento y en el alto estructural de La Vorágine. A ambos lados del Alto La Vorágine los espesores de las secuencias Paleozoicas son superiores a los 6000m. En cambio las secuencias Terciarias-Cretácicas muestran su mayor espesor en la esquina noroccidental del levantamiento, en la cercanía del pie de monte, donde se aprecia valores superiores a los 6500m. de espesor. Es importante hacer notar que en la esquina sur oriental del levantamiento se interpreta una zona de aproximadamente 3000 kilómetros cuadrados, donde las secuencias sedimentarias muestran espesores superiores a los 3000m. Es posible que acumulaciones de crudos pesados que hayan migrado hacia el Escudo, se encuentren entrampados en acñamientos y/o trampas estructurales estratigráficas como producto del fallamiento normal pre-existente asociado con el basamento Precámbrico.

LEVANTAMIENTO AEROGRAVIMETRICO Y AEROMAGNETICO **CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES** **INTERPRETACION**

1.0 INTRODUCCION.

En este informe se presenta la interpretación gravimétrica y magnética de la porción de los Llanos Orientales de Colombia abarcada por el Contrato 036-2007. Toda la zona ocupada por el presente levantamiento, se localiza en los Llanos Orientales de al sur y sureste del Río Meta. Los Llanos Orientales constituyen el “foreland” de la cuenca sub-andina, constituido por sedimentitas Terciarias, Cretácicas y Paleozoicas depositadas sobre el Basamento Precámbrico del Escudo de Guayana.

El objetivo exploratorio principal se concentró en obtener los mapas estructurales de los topes donde ocurren los principales contrastes de densidad (Tope del Basamento Precámbrico y Tope del Paleozoico).

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), los TOPES ESTRUCTURALES del Basamento Precámbrico y 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 (especialmente en la esquina noroccidental del levantamiento), y perforación de pozos. Existe producción de crudos livianos y pesados en áreas adyacentes y dentro de la región volada. Los contrastes de densidad en los topes de las interfases mencionadas y de susceptibilidad magnética en el tope del basamento, 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 area del levantamiento en referencia se encuentra limitado al norte y noreste por el Río Meta y la región selvática amazónica. Al noroeste por el pie de monte de la Cordillera Oriental y la Sierra de La Macarena y al sur por la Amazonia Colombiana. 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. La **Figura 1** muestra la localización de la zona de interpretación, incluyendo el relieve topográfico existente. El levantamiento yace entre las Latitudes Norte Geográficas de 02 grados 40 minutos a 04 grados 40 minutos y Longitudes Oeste Geográficas de 70 grados 20 minutos a 73 grados 35 minutos.

3.0 MARCO GEOLOGICO REGIONAL DE LA CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES

La cuenca de los Llanos orientales ha sido una de las zonas en donde se han concentrado los esfuerzos exploratorios de muchas empresas de hidrocarburos. Parte de ellos han arrojado resultados favorables como Apiay, Castilla, Cano Limón, Cusiana y gran cantidad de campos pequeños que explotan hidrocarburos pesados y livianos. Sin embargo faltan estudios regionales que permitan integrar los prospectos como verdaderos sistemas petrolíferos, especialmente en la zona plana, por lo que aun es una zona de gran potencial exploratorio.

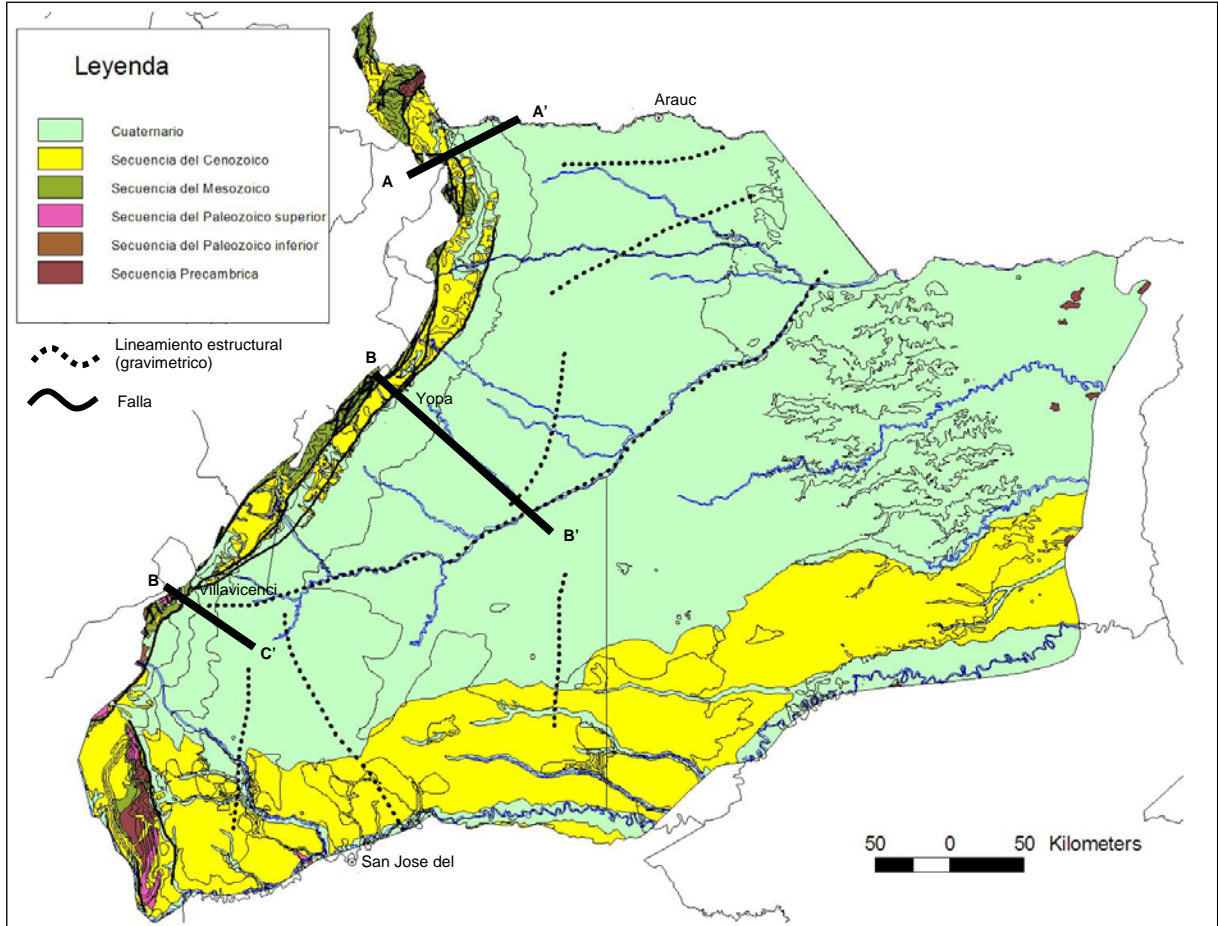


Figura A. Mapa Geológico Generalizado (Modificado de INGEOMINAS)

ESTRATIGRAFIA

Desde el Piedemonte hasta la región del escudo, gracias a la integración de datos cartográficos y estratigráficos de superficie, sumado a los datos de sísmica y pozos de los campos localizados en la zona de los Llanos, con base en los trabajos de Lopez, 2005 y ECOPEPETROL, 1995, ha sido posible establecer para la región cinco megasecuencias tectosedimentarias, formadas durante eventos tectotermiales regionales que afectaron el norte de Suramérica desde el Mesoproterozoico hasta el Cenozoico.

Precámbrico: Son rocas ígneo metamórficas formadas durante el Mesoproterozoico producto de las orogenias Trans Amazónica, Pargüense, Nickeriense y Finiproterozoica. Afloran solo en los bordes de la cuenca, especialmente hacia el oriente del Río Meta. En grandes graben quedan vestigios de secuencias sedimentarias acumuladas desde el pre Cámbrico hasta principios del Paleozoico, separadas por una inconformidad con la suprayacente secuencia sedimentaria acumulada a finales del Cretácico, como resultado de la máxima trasgresión del Albiano medio. La deformación progresiva hacia el oriente de la Cordillera Oriental permite su erosión y transporte de sedimentos hacia la flexión de basamento adyacente (cuenca de antepaís), que es llenada durante el Paleógeno – Neógeno y cubriendo a las secuencias sedimentarias preexistentes.

Las rocas de esta secuencia en la cuenca de los Llanos son prospectivas para la exploración de hidrocarburos pesados en zonas de fracturamiento y como límite estructural fallado con las unidades del Cenozoico. Por sectores los hidrocarburos pesados que logran salir a superficie, presentan altos contenidos de vanadio (Serranía de la Macarena).

Paleozoico inferior: Las rocas de esta secuencia solo se conocen gracias a las perforaciones realizadas en la zona de los Llanos (Pozos Heliera 1 y Negritos 1), los cuales fueron corazonados y sus recobros paleontológicos permitieron definir una fauna del de edad Tremadociano (Cambro – Ordovícico hasta Ordovícico superior – Devonico? muy inferior). Una unidad se definió a partir de la información de pozos y es conocida como Formación Negritos, con un espesor promedio de 500m. Se encuentra rellenando parcialmente las estructuras de graben Precámbricos y descansa en forma paraconforme sobre unidades del Precámbrico.

Las perforaciones indican la presencia de dos unidades arenosas, una inferior y otra superior. La existencia de hidrocarburos en esta secuencia esta por determinar, pues la extensión, variación de espesores y la madurez termal es poco conocida, pues los datos aun son insuficientes. No hay unidades correlacionables en la zona del Piedemonte Llanero y

algunas unidades coetáneas en la Cordillera Oriental presentan metamorfismo regional de medio a alto grado (Filitas y esquistos de Otenga, Grupo Quetame y Formación Silgara).

Paleozoico Superior: Se presentan buenos afloramientos en la zona del Piedemonte Llanero del Casanare, Cundinamarca y Meta. En esta zona afloran rocas que abarcan desde el Devonico medio hasta el Carbonífero inferior, constituida principalmente por limolitas y arcillolitas grises que gradan hacia el tope de la secuencia a arenitas de grano fino fosilíferas y bancos de calizas con importante bioperturbación. Su límite inferior es discordante sobre rocas del Macizo metamórfico de Quetame. Equivalentes de estas unidades en el subsuelo de la Cuenca de los Llanos Orientales no es conocida hasta hoy.

Es una unidad que por su restringida ocurrencia y escaso contenido de materia orgánica no es prospectable. Sin embargo en zonas donde el fracturamiento y los sistemas de cabalgamientos lo permitan, se constituye en un buen objetivo a prospectar.

Mesozoico: Esta secuencia esta bien expuesta en la región de Piedemonte y en el subsuelo es atravesada por varios pozos cercanos al Piedemonte. En general el Borde Llanero se comporta durante el Mesozoico como un borde de cuenca pericratónico. En esta zona se acumularon conglomerados que gradan hacia el tope a arenitas y limolitas rojizas bien litificadas, estas ultimas con presencia de faunas de trigonias y gasterópodos que indican una edad Berriasiano – Valanginiano (Fm. Bata, con 1000 m aproximadamente de espesor).

En forma gradual, hacia el tope se presentan unidades areno – calcáreas, intercaladas con limolitas y lutitas de edad Valanginiano - Hauteriviano, acumuladas en paleo ambientes variables desde plataforma interna hasta talud continental superior (Grupo Caqueza, con espesores variables desde 200 m hasta 1000 m). Secuencias de shales oscuros que pasan abruptamente a gruesos bancos de arenitas de edad Barremiano - Aptiano cubren concordantemente las unidades inferiores (Formaciones Fómeque y Une de espesores variables entre 100 y 700 m). En general estas unidades están restringidas a la parte

occidental de la cuenca de los llanos y localmente es posible ver el nivel arenoso superior de la Fm Une progradando hacia el oriente (Arenitas inferiores).

Un nivel de shales ricos en materia orgánica de edad Turoniano cubre la parte occidental de la cuenca y sobre el, paquetes de arenitas muestran una gradual colmatación de la cuenca pericratónica y una progradación de sedimentos clásticos hacia el occidente durante el Coniaciano hasta el Paleoceno (Formación Chipaque y Grupo Palmichal – Grupo Guadalupe, con un espesor conjugado cercano a los 300 m). Discordancias entre los paquetes arenosos y arcillosos del Grupo Palmichal son comunes en la región del Piedemonte.

Desde el punto de vista exploratorio, todas las unidades de la secuencia Mesozoica presentan condiciones para albergar o producir petróleo o gas, pero especialmente las acumuladas posteriores al Turoniano, pues gran parte de las unidades más ancianas han pasado ya por la ventana de generación de gas y de petróleo.

Cenozoico: Esta secuencia reposa de manera discordante a paraconforme sobre la secuencia Mesozoica. En general esta constituida por unidades arcillosas y arenosas por niveles conglomeráticas, acumuladas en ámbitos sedimentarios transicionales durante el Paleoceno hasta el Oligoceno (Formaciones Arcillas de El Limbo – Los Cuervos, Areniscas de El Limbo - Mirador, San Fernando - Carbonera, Diablo - León, con espesores conjugados superiores a los 3000 m), hasta continentales de montaña acumuladas durante el Mioceno hasta Plioceno (Formaciones Caja - Guayabo y La Corneta - Necesidad, con espesores variables entre 200 y 1500 m).

Estas unidades varían lateralmente de facies principalmente hacia el oriente, donde las facies tienden a ser cada vez más fino granulares y frecuentes discordancias de bajo ángulo que muestran su control por la tectónica compresional Cenozoica. Los sedimentos del cuaternario cubren casi toda la cuenca de los llanos y muestran grados variables de deformación según su cercanía a la zona del Piedemonte.

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.

ESTRUCTURAL

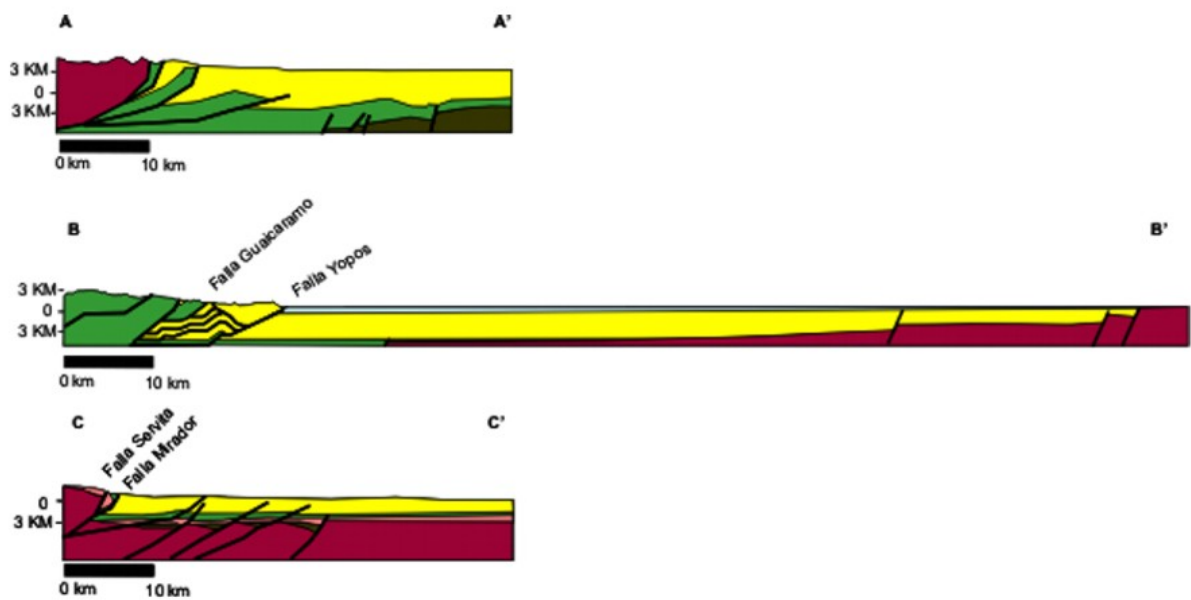


Figura B. Cortes Geológicos Esquemáticos (Fuente: Este Estudio)

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

Tectónica de bloques: Sistemas de grabens y horsts pueden identificarse en la cuenca de los Llanos, con períodos de reactivación desde el pre Cámbrico hasta el Ordovícico, 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 la sedimentación y de los hidrocarburos en la zona de los Llanos.

Sistema de cabalgamientos: Este sistema es el mas 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 de cabalgamientos con una dirección de transporte tectónico hacia el oriente, avanzando y deformando las sedimentitas de la secuencia Cenozoica y Mesozoica superior.

De acuerdo con la información geológica disponible. Las estructuras mas representativas son las fallas de Mirador, Servita, Guaicaramo, Yopos, Paz de Ariporo, las cuales regionalmente conforman un sistema de fallas con salto dextral, mostrando que el sistema compresivo del Piedemonte responde mas a un sistema transpresivo. Según este concepto, es posible formar cuencas y estructuras en tiempos diferentes para toda la región, e igualmente cargar o bloquear la carga de hidrocarburos en las diferentes estructuras. Este sistema parece tener su máximo desarrollo desde el Mioceno medio.

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 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; 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 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)

Las sedimentitas depositados en los Llanos Orientales de Colombia son predominantemente de densidad variable (2.1 Grs/c a 2.65Grs/cc). Estos sedimentos suprayacen un basamento de alta densidad (2.67rs/cc a 2.75Grs/c). Con base en estos valores la Densidad de Bouguer que se empleó para transformar la Anomalía de Aire Libre en Anomalía de Bouguer fué de 2.30 Grs/cc. Todos los mapas que se presentan en este informe se elaboraron con el sistema gráfico GEOSOFT y empleando mallas finales de 2000 metros. Las **Figuras 2 y 3** muestran la Anomalía de Bouguer y la IMT. Es conveniente hacer notar que la malla de vuelo empleada de 10Kmx20Km mostrara mapas regionales que van a definir las estructuras mayores existentes.

El mapa de Anomalía de Bouguer presenta anomalías positivas y negativas que cubren gran extensión. El area de anomalías negativas en la esquina noroccidental y a lo largo del borde norte del levantamiento, es producido por el aumento considerable 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 occidental y oriental del levantamiento corresponde respectivamente al alto estructural de

La Vorágine y Basamento Precámbrico. En estas áreas las unidades basamentales Paleozoicas y Precámbricas deben aflorar o encontrarse muy cerca de la superficie actual del terreno. De especial interés es una zona de anomalías negativas al este de La Vorágine que abarca un área aproximada de 3000 kilómetros cuadrados.

El mapa de la Intensidad Magnética Total Reducida al Polo (IMTRP), (**Figura 4**), 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 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. 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 **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 2**, 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 al restarle a la Anomalía de Bouguer la superficie polinómica de grado 3 y el Bouguer suavizado al realizar Continuación de campo hacia arriba 6Km. Ambos residuos muestran resultados similares. Las anomalías positivas son producidas principalmente por altos estructurales en el basamento cristalino. De especial interés es la buena definición del alto La Vorágine. Anomalías similares se observan en la parte central del levantamiento, con orientación noreste, en dirección del Campo Rubiales y en el extremo oriental del area volada que debe ser producida por la proximidad del basamento cristalino. 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 (Polinómico de Grado 3 y Pasobanda 10Km-100Km). 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 concentra en interpretar las estructuras y caracteres geológicos que existan por encima del tope del basamento 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 Helicopters Inc. (Aerogravity Division) 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 Precámbrico referidos a la altura de 1214m sobre el NMM. Para el cálculo del residual controlado en cada punto de control, se empleo -0.20Grs/cc como contraste de densidad promedio entre las secuencias sedimentarias existentes contra el basamento Precámbrico. La **Figura 11** corresponde a la inversión 3D del Residuo Controlado que al restársele la altura de vuelo, representa el Tope del Basamento Precámbrico referido al NMM; y por último la **Figura 12** muestra la INTERPRETACION ESTRUCTURAL del Basamento Precámbrico que se obtiene de la **Figura 11**. Por existir información adecuada de otros contrastes de densidad en la columna estratigráfica de los Llanos Orientales de Colombia, se procedió a obtener el tope estructural del Paleozoico. Las **Figuras 13 y 14** representan el REGIONAL y RESIDUAL CONTROLADO del Tope del Paleozoico referidos a la altura de 1214m sobre el NMM. Para el cálculo del residual controlado en cada punto de control, se empleo -0.20Grs/cc como contraste de densidad promedio entre las secuencias sedimentarias existentes contra el tope del Paleozoico. La **Figura 15** corresponde a la inversión 3D del Residuo Controlado que al restársele la altura de vuelo, representa el Tope del Paleozoico referido al NMM; y por último la **Figura 16** muestra la INTERPRETACION ESTRUCTURAL del Paleozoico que se obtiene de la **Figura 15**.

4.3 MAPA DE INTERPRETACION ESTRUCTURAL

Los mapas de contornos estructurales provenientes de las inversiones gravimétrica 3D de los residuos con control geológico para los topes del basamento Precámbrico y del Paleozoico, constituyeron la base para realizar sus Interpretaciones Estructurales. En estos mapas se observan claramente no solo donde ocurren los mayores espesores de secuencias Cuaternarias, Terciarias y Cretácicas, sino como se han interpretado las principales fallas y otros caracteres estructurales.

Los mapas estructurales de los dos horizontes invertidos muestran como, al sur del Río Meta, las secuencias sedimentarias aumentan considerablemente sus espesores y se hacen someras solamente en la esquina sur oriental del levantamiento y en el alto estructural de

La Vorágine. A ambos lados del Alto La Vorágine los espesores de las secuencias Paleozoicas son superiores a los 6000m. En cambio las secuencias mas jóvenes muestran su mayor espesor en la esquina noroccidental del levantamiento, en la cercanía del pie de monte, donde se aprecia valores superiores a los 6500m. de espesor. Es importante hacer notar que en la esquina sur oriental del levantamiento se interpreta una zona de aproximadamente 3000 kilómetros cuadrados, donde las secuencias sedimentarias muestran espesores superiores a los 3000m. Es posible que acumulaciones de crudos que hayan migrado hacia el Escudo, se encuentren atrapados en acuíferos o trampas estructurales estratigráficas y como producto del fallamiento normal pre-existente asociado con el basamento Precámbrico.

De especial interés son los altos de basamento que por su proximidad a zonas productoras ameritan ser investigados con mayor resolución (sísmica y/o directamente una perforación exploratoria estratigráfica).

Las **Figuras 21 y 22** muestran respectivamente los ISOPACOS de los sedimentitas Paleozoicos y Terciarios-Cretácicos. Obsérvese la distribución de espesores de secuencia descritos y como en la **Figura 22** las zonas de color verde que rodean las áreas donde las secuencias Terciarias-Cretácicas afloran o se encuentran muy cerca de la superficie actual del terreno, constituyen las áreas de mayor interés exploratorio por la posible existencia de entrapamiento estructural y acuífero de los niveles arenosos Terciarios de Mirador y Barco o los Cretácicos de Guadalupe y Une.

4.4 RESULTADOS DE LA MAGNETOMETRIA

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 +37.0 grados al norte y una Declinación Magnética de -8 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 4** (Intensidad Magnética Total Reducida al Polo, IMTRP).

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 23** muestra las soluciones de la Deconvolución de Euler para el Índice Estructural 0(Contacto Magnético). En este mapa, se observa claramente la tendencia de soluciones someras a lo largo del borde sur-oriental y oriental del área de estudio, y a lo largo del alto La Vorágine. Los valores profundos coinciden adecuadamente donde las inversiones gravimétricas muestran los mayores espesores de las secuencias sedimentarias. Así mismo se observa una clara predominancia de soluciones de orientación norte-sur coincidiendo con las principales fallas interpretadas y mostradas en los mapas de interpretación estructural.

4.5 MODELAJE GRAVIMETRICO-MAGNETICO

Para realizar el modelaje directo cuantitativo, se extrajeron, a lo largo de transectas seleccionadas por la ANH: perfiles de los Residuos Controlado de la Anomalía de Bouguer, del tope del Basamento Precámbrico y el tope estructural del Paleozoico 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, el resumen de la geología regional y la interpretación estructural. Todos estos archivos constituyen la entrada de datos para el programa GM-SYS. La ubicación de los modelos que se presentan en este estudio se indica claramente en el mapa de interpretación estructural.

El GM-SYS utiliza básicamente el método desarrollado por M. Talwani (1964). El procedimiento consiste en comparar la atracción gravitacional y/o magnética de un grupo de láminas poligonales que simulan la sección geológica inicial con su respectiva anomalía residual. El programa posee rutinas de modelaje directo e inverso que permiten una

interpretación en tiempo real, visible en monitor a color de alta resolución. Las densidades iniciales empleadas fueron 2.7Grs/cc y 2.20 a 2.55 Grs/cc 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 17 a 20** y su ubicación se muestra en las figuras de los dos topes estructurales interpretados.

Todos los perfiles muestran resultados similares, observándose la disminución de los espesores de las secuencias sedimentarias sobre el alto de La Vorágine y a medida que nos alejamos del pie de monte cordillerano. Hacia el extremo oriental de los Perfiles 2 y 4, se observa el area donde se interpreta la existencia de secuencias Terciarias-Cretácicas principal descubrimiento de este levantamiento.

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 los mapas de interpretación estructural de los topes del Basamento Precámbrico y del Paleozoico, los altos y bajos estructurales, fallas, tendencias y otros elementos de interés en la exploración de hidrocarburos.

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

Las diferencias de las mallas que representan los topes estructurales interpretados equivalen a los isopacos de los sedimentos Cuaternarios-Terciarios-Cretácicos y Paleozoicos.

El mapa de Interpretación Estructural del tope del Paleozoico muestra altos estructurales donde pueden estar acunándose los horizontes arenosos Terciarios de Mirador y Barco o los Cretácicos de Guadalupe y Une. La interpretación estructural del tope del basamento Precámbrico, muestra donde ocurren los mayores espesores de secuencias Paleozoicas.

Tanto el modelaje gravimétrico-magnético, como la interpretación estructural del tope del Basamento Precámbrico, sustentan la disminución considerable del espesor de las secuencias sedimentarias existentes a medida que nos alejamos del pie de monte cordillerano y sobre el alto La Vorágine y la posibilidad de entrapamiento de hidrocarburos en estructuras asociadas a los altos de basamento y entrapamiento estructural estratigráfico por acuñamiento de las rocas arenosas Terciarias y Cretácicas.

A ambos lados del Alto La Vorágine los espesores de las secuencias Paleozoicas son superiores a los 6000m. En cambio las secuencias Terciarias-Cretácicas muestran su mayor espesor en la esquina noroccidental del levantamiento, en la cercanía del pie de monte, donde se aprecia valores superiores a los 6500m. de espesor. Es importante hacer notar que en la esquina sur oriental del levantamiento se interpreta una zona de aproximadamente 3000 kilómetros cuadrados, donde las secuencias Terciarias y Cretácicas muestran espesores superiores a los 3000m. Es posible que acumulaciones de crudos que hayan migrado hacia el Escudo, se encuentren entrapados en acuñamientos o trampas estructurales estratigráficas y como producto del fallamiento normal pre-existente asociado con el basamento Precámbrico.

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 los Llanos Orientales 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, próximos a las zonas productoras y en especial a ambos lados de La Vorágine, así como también en la zona de 3000 kilómetros cuadrados donde las secuencias Terciarias-Cretácicas muestran espesores superiores a los 3000m, justifican un estudio de sismica 3D o directamente una perforación exploratoria estratigráfica.

La malla de vuelo empleada de 10kmx20km permite una interpretación REGIONAL, solo se interpretan las grandes estructural. Si se quiere en el futuro poseer mejor resolución, se recomienda volar mallas de 2kmx6km.

Carson Helicopters, Inc. / Aerogravity Division agradece a la ANH, la oportunidad de trabajar en el procesamiento e interpretación de los datos aerogravimétricos y aeromagnéticos de esta porción de los Llanos Orientales 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, 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) Diaz L. y Ramos B.

Ecopetrol 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: [www.ingegominas.gov.co/descargas/mapas 1:500.000](http://www.ingegominas.gov.co/descargas/mapas%201:500.000)

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.

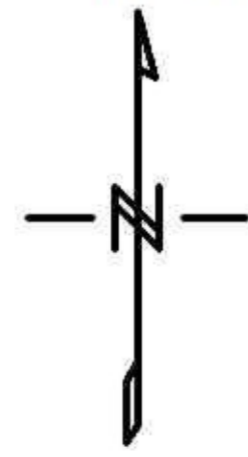
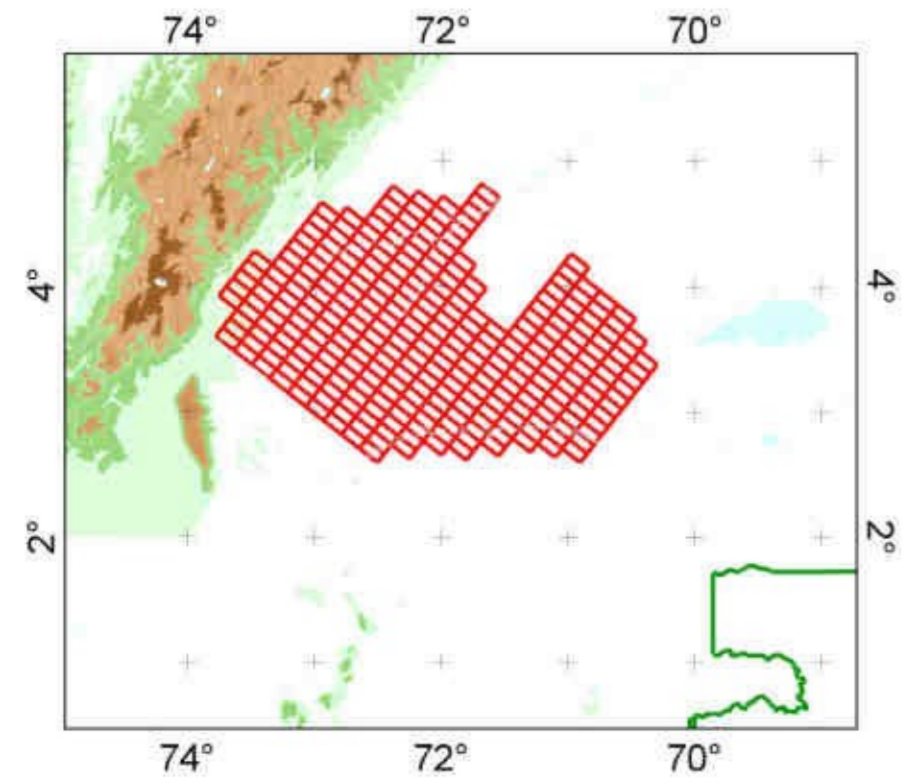
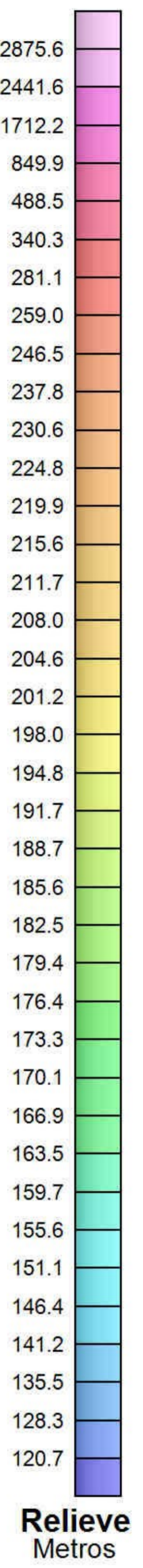
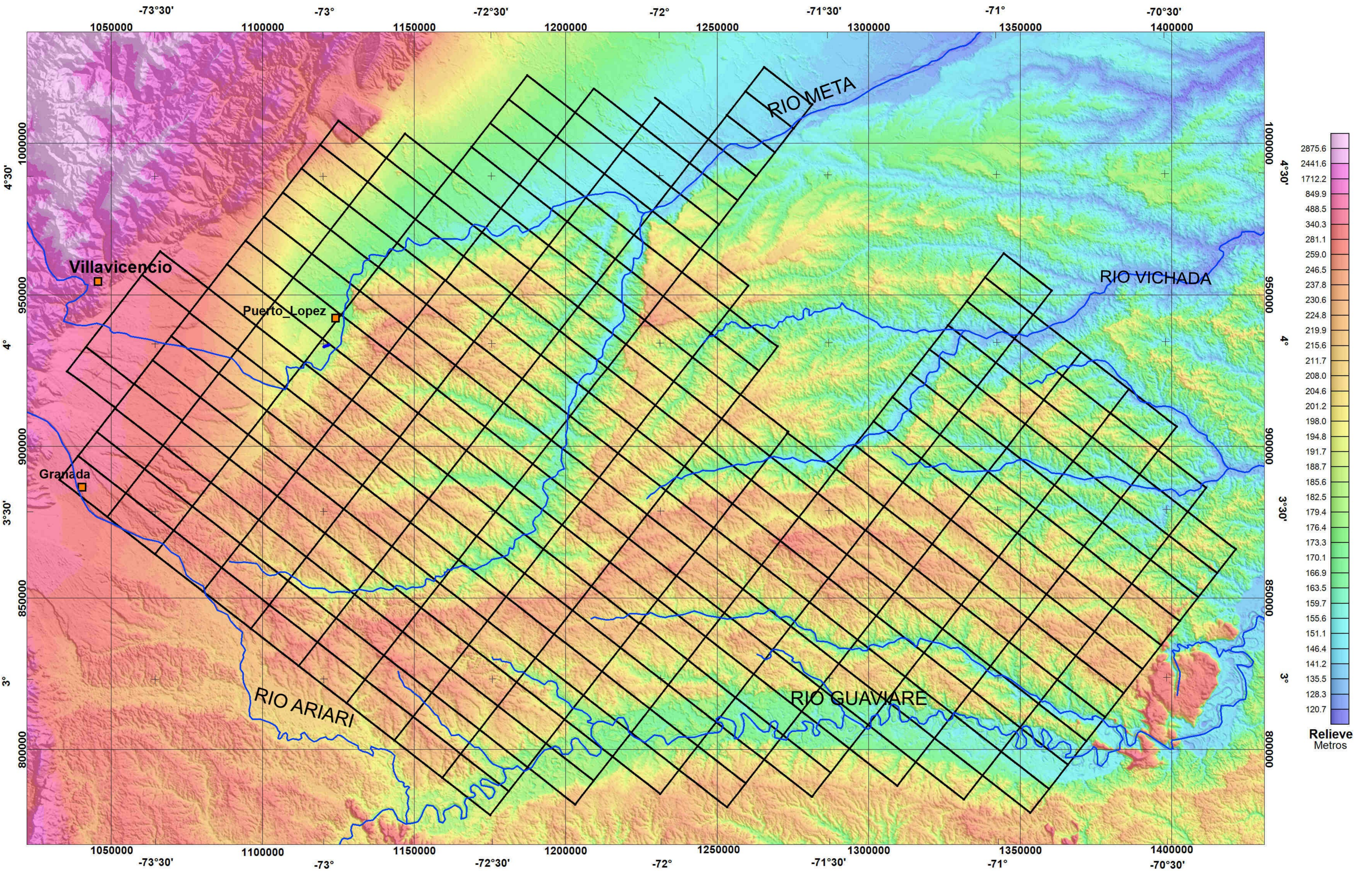
PUNTOS DE CONTROL TOPE DEL BASAMENTO PRECAMBRICO

x	y	POZO	ALTURANASA	BOUG230	BASTOPPc	REGPcFINAL	RESDPcFINAL	TOPEPcInvHOYFINAL
1111489.00	936911.30	NEGRITOS-1	186.26	-35.23	3030.00	0.93	-36.16	-3131.29
1037748.00	835175.70	SA-15	269.11	-37.08	1460.00	-14.38	-22.70	-1546.54
1334477.00	938116.90	ST_GU-15	139.77	-19.08	1120.00	0.43	-19.50	-1111.37
1120751.00	911236.40	VORAGINE-1	223.38	8.55	1738.00	32.70	-24.16	-1772.50
1016756.00	862742.60	SA-17	458.00	-63.94	463.00	-49.66	-14.28	-470.10
1012304.00	840538.70	PC-38	642.31	-30.57	0.00	-26.25	-4.32	460.61
1015999.00	832382.70	PC-39	1057.00	-19.88	0.00	-18.59	-1.29	717.99
1023944.00	824117.80	PC-40	328.73	-13.92	0.00	-6.56	-7.36	70.10
1025916.00	812980.80	PC-41	445.56	-2.18	0.00	4.00	-6.19	48.55
1015993.00	793756.90	PC-42	301.92	8.18	0.00	15.73	-7.55	-44.40
1008422.00	799236.90	PC-43	533.00	4.85	0.00	10.56	-5.71	85.55
1414365.00	940546.00	ST_O_4	195.88	-4.70	471.00	9.40	-14.10	-1083.01
1022500.00	780000.00	AFLORAMIENTO_8	363.89	12.62	0.00	19.78	-7.16	24.53
1104546.00	1014534.00	CONDOR-1	958.02	-98.92	6700.00	-32.44	-66.48	-6734.59
1089400.00	983134.00	COPORO-1	541.67	-89.74	6900.00	-22.00	-67.75	-6932.46

PUNTOS DE CONTROL TOPE DEL PALEOZOICO

x	y	POZO	ALTURANASA	BOUG230	TOPEPz	REGPzFINAL	RESDPzFINAL	TOPEPzInvHOYFINAL
1157910.00	923051.30	ALMAGRO-1	201.65	-51.71	1413.00	-28.87	-22.84	-1476.49
1076969.00	942812.30	APIAY-4P	288.18	-89.06	3179.00	-51.95	-37.11	-3168.91
1043382.00	880409.50	ARIARI-1	318.92	-79.11	1970.00	-51.86	-27.26	-2003.69
1270324.00	1015347.00	ARIMENA-1	141.28	-43.86	1821.00	-18.32	-25.54	-1823.92
1157778.00	797585.80	BALASTERA-1	217.32	40.55	197.00	52.21	-11.66	-185.22
1279927.00	995451.90	CACHAMA-1	155.33	-35.42	1455.00	-13.11	-22.31	-1453.34
1075832.00	893804.50	CAMOA-1	284.57	-54.12	1925.00	-27.82	-26.30	-1927.39
1282111.00	983556.90	CANO_BARULIA-1	179.55	-32.09	1288.00	-11.18	-20.91	-1282.20
1170576.00	949142.20	CANO_BRAVO-1	214.57	-59.53	1930.00	-33.00	-26.53	-1933.65
1299350.00	1038942.00	CANO_DUYA-1	136.37	-46.91	1716.00	-22.27	-24.64	-1714.80
1325982.00	1064543.00	CANO_GANDUL-1	130.57	-45.72	1640.00	-21.70	-24.02	-1649.47
1208314.00	1041442.00	CENTAURO_NORTE-1	182.37	-68.91	3406.00	-30.07	-38.84	-3411.99
1205375.00	958742.10	CHAVIVA-1	199.16	-40.41	1852.00	-15.09	-25.31	-1841.88
1343846.00	1086115.00	COROCORA	121.89	-40.68	1647.00	-16.71	-23.97	-1644.32
1236503.00	1070480.00	CRAVO_ESTE-1	179.51	-74.50	3274.00	-36.83	-37.67	-3280.73
1226425.00	911261.30	CUMARITO-1	204.83	-28.49	989.00	-10.17	-18.33	-983.81
1164474.00	849680.60	EL_VIENTO-1	198.84	16.25	620.00	31.42	-15.17	-595.56
1180255.00	897211.40	GARIBAY-1	200.06	-37.64	1093.00	-17.84	-19.80	-1107.11
1264950.00	958020.00	GUARROJO-1	194.63	-33.92	1217.00	-13.40	-20.52	-1225.76
1174114.00	1052525.00	LA_MARIA-1	236.21	-95.49	5028.00	-43.20	-52.29	-5018.50
1221859.00	1023847.00	LA_PUNTA-1	168.22	-50.29	2697.00	-17.56	-32.72	-2684.03
1175093.00	996966.10	LOS_TROMPILLOS-1	171.23	-61.25	2980.00	-26.26	-34.99	-2975.27
1211120.00	875780.40	MANACACIAS-1	240.81	-21.06	809.00	-4.57	-16.49	-770.17
1145178.00	896735.40	MELUA-1	226.35	-16.27	1183.00	4.44	-20.70	-1205.36
1137448.00	963499.20	METICA-1	168.56	-66.07	2760.00	-32.20	-33.87	-2789.55
1111489.00	936911.30	NEGRITOS-1	186.26	-35.23	2998.00	-0.37	-34.85	-2997.39
1272909.00	934346.10	PIRIRI-1	183.44	-23.17	919.00	-5.25	-17.92	-921.41
1314431.00	957231.90	PLANAS-1	184.49	-22.55	840.00	-5.49	-17.05	-834.06
1333272.00	1062794.00	REMACHE_N-1	126.40	-42.63	1525.00	-19.62	-23.01	-1527.38
1325319.00	1054657.00	REMACHE_S-1	125.40	-45.22	1957.00	-18.92	-26.30	-1941.86
1213627.00	1055153.00	RIO_VERDE-1	189.40	-76.98	3587.00	-36.53	-40.45	-3588.74
1284987.00	908242.10	RUBIALES-1	189.03	-4.60	739.00	11.14	-15.73	-712.45

1114390.00	868035.60	SA-14	241.31	16.26	1043.00	34.83	-18.58	-1007.65
1037748.00	835175.70	SA-15	269.11	-37.08	1451.00	-14.97	-22.11	-1436.60
1016756.00	862742.60	SA-17	458.00	-63.94	362.00	-50.67	-13.27	-372.52
1025427.00	864823.60	SAN_JUAN	431.08	-69.84	1632.00	-45.90	-23.94	-1630.22
1206169.00	874111.40	SM-5	238.66	-22.57	790.00	-5.62	-16.95	-816.17
1334477.00	938116.90	ST_GU-15	139.77	-19.08	671.00	-3.40	-15.67	-657.60
1324562.00	913145.00	ST_GU-19	189.92	-21.75	592.00	-6.39	-15.36	-609.51
1253170.00	1015936.00	SURIMENA-1	146.63	-43.68	2020.00	-16.55	-27.13	-2016.31
1222870.00	818485.60	SV-5	217.64	-9.14	357.00	4.21	-13.35	-364.02
1244624.00	862718.40	SV-6	226.93	-17.54	588.00	-2.59	-14.95	-579.18
1255126.00	831419.50	SV-9	212.31	-26.96	462.00	-12.63	-14.33	-476.59
1157801.00	923890.30	VALDIVIA-1	200.13	-52.41	1464.00	-29.59	-22.83	-1485.56
1120751.00	911236.40	VORAGINE-1	223.38	8.55	1690.00	30.91	-22.36	-1619.03
1059000.00	800000.00	Pz-1	273.33	-17.26	0.00	-8.70	-8.56	177.79
1012000.00	860000.00	Pz-2	670.79	-56.69	0.00	-52.17	-4.53	523.19
1008500.00	834000.00	Pz-3	789.22	-23.72	0.00	-20.29	-3.43	680.88
1142300.00	754200.00	Pz-5	292.31	35.35	0.00	42.99	-7.64	149.66
1225400.00	744000.00	Pz-7	165.88	31.70	0.00	40.54	-8.83	77.60
1028800.00	745700.00	Pz-9	497.47	25.35	0.00	31.36	-6.01	381.84
1024000.00	900000.00	Pz-11	924.35	-75.01	0.00	-72.59	-2.43	721.67
1060000.00	934000.00	Pz-12	346.14	-98.47	0.00	-91.22	-7.25	-122.57
1044000.00	954200.00	Pz-13	897.73	-96.58	0.00	-93.90	-2.68	717.06
1104546.00	1014534.00	CONDOR-1	958.02	-98.92	6300.00	-36.99	-61.93	-6274.21
1089400.00	983134.00	COPORO-1	541.67	-89.74	6600.00	-25.39	-64.35	-6601.18
1098500.00	1034000.00	Pz-14	785.58	-95.35	0.00	-91.28	-4.06	411.24



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone








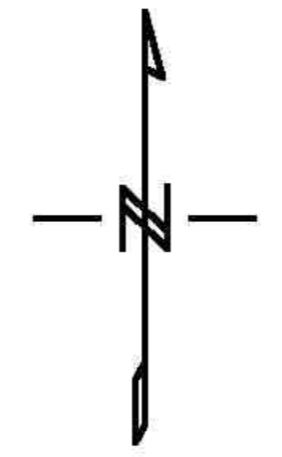
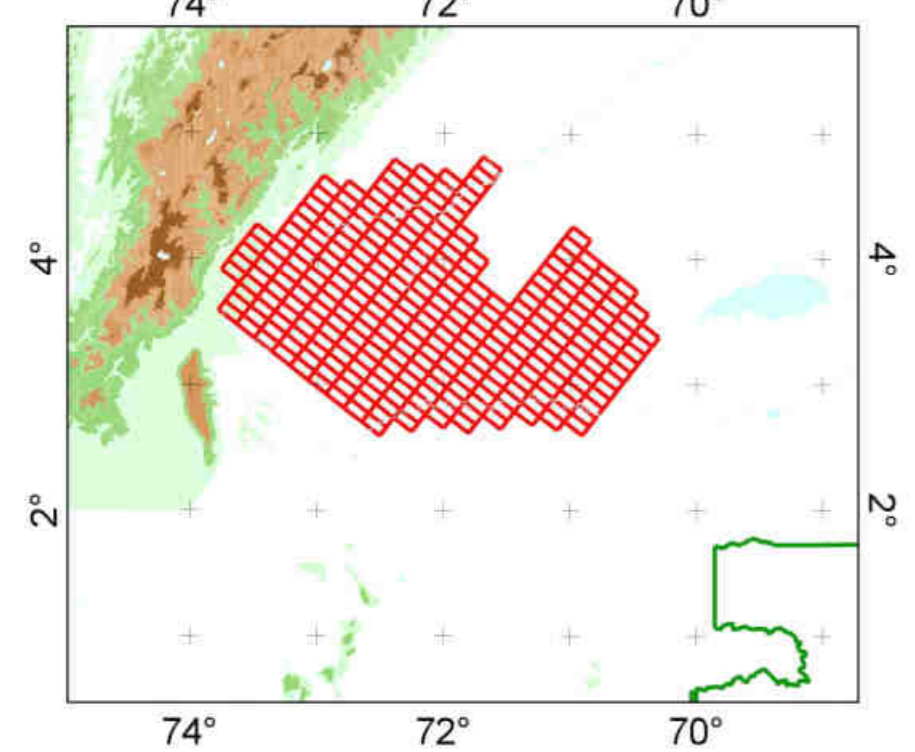
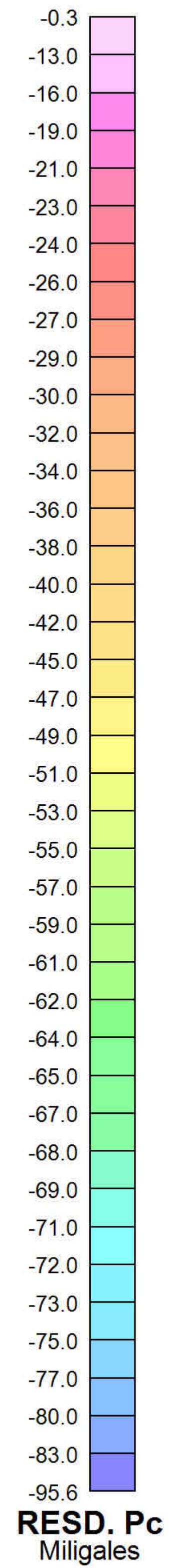
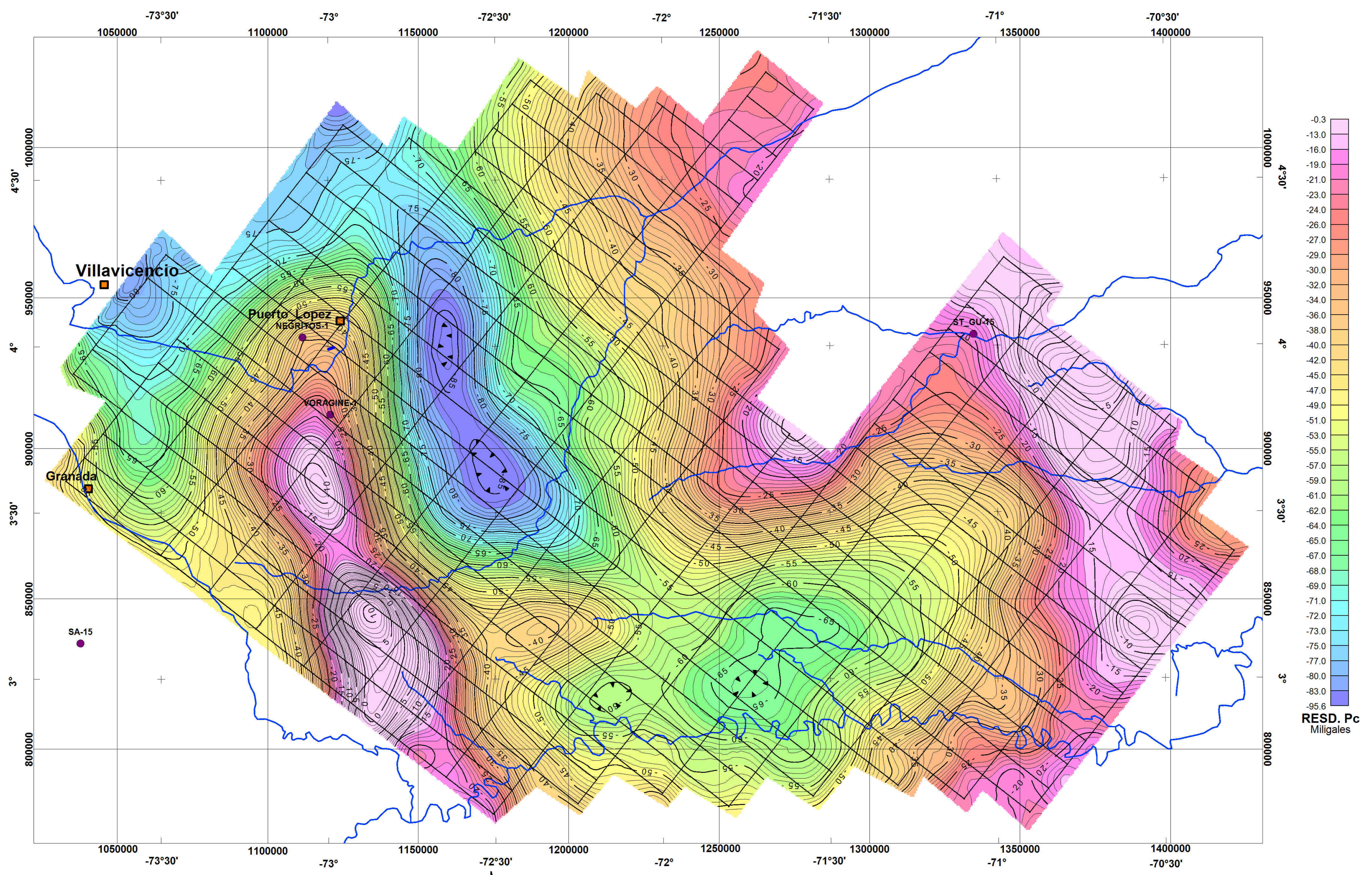
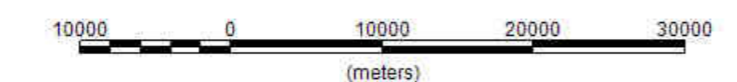
- CONVENCIONES
-  Ciudades
 -  Punto de Control
 -  Rios

Figura 1

 <p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS</p>
<p>LOCALIZACION y RELIEVE TOPOGRAFICO</p>
<p>Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007</p>
<p>CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)</p> 



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



CONVENCIONES

Ciudades

Punto de Control

Rios

Figura 10

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

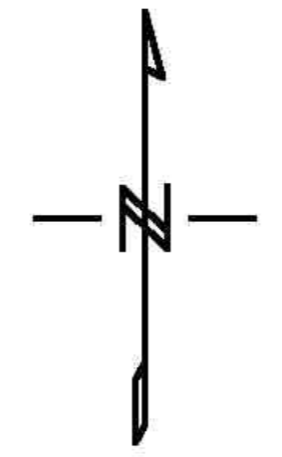
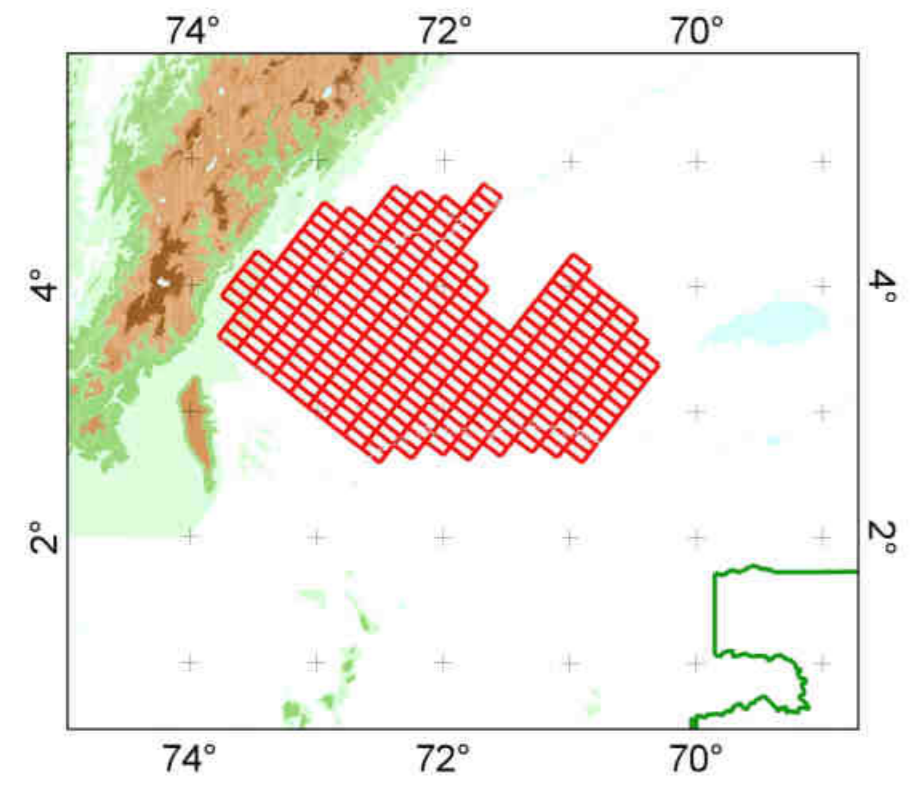
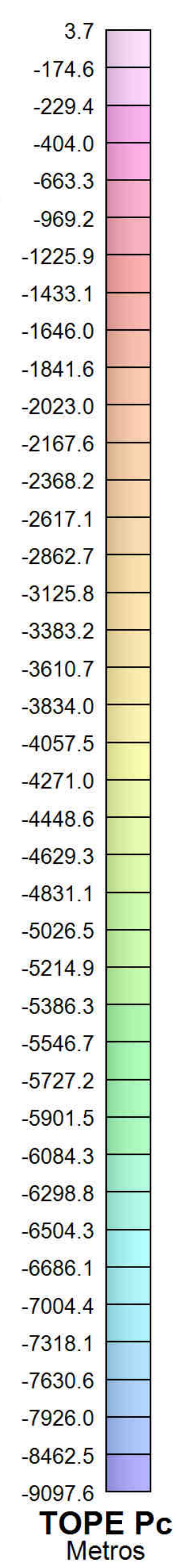
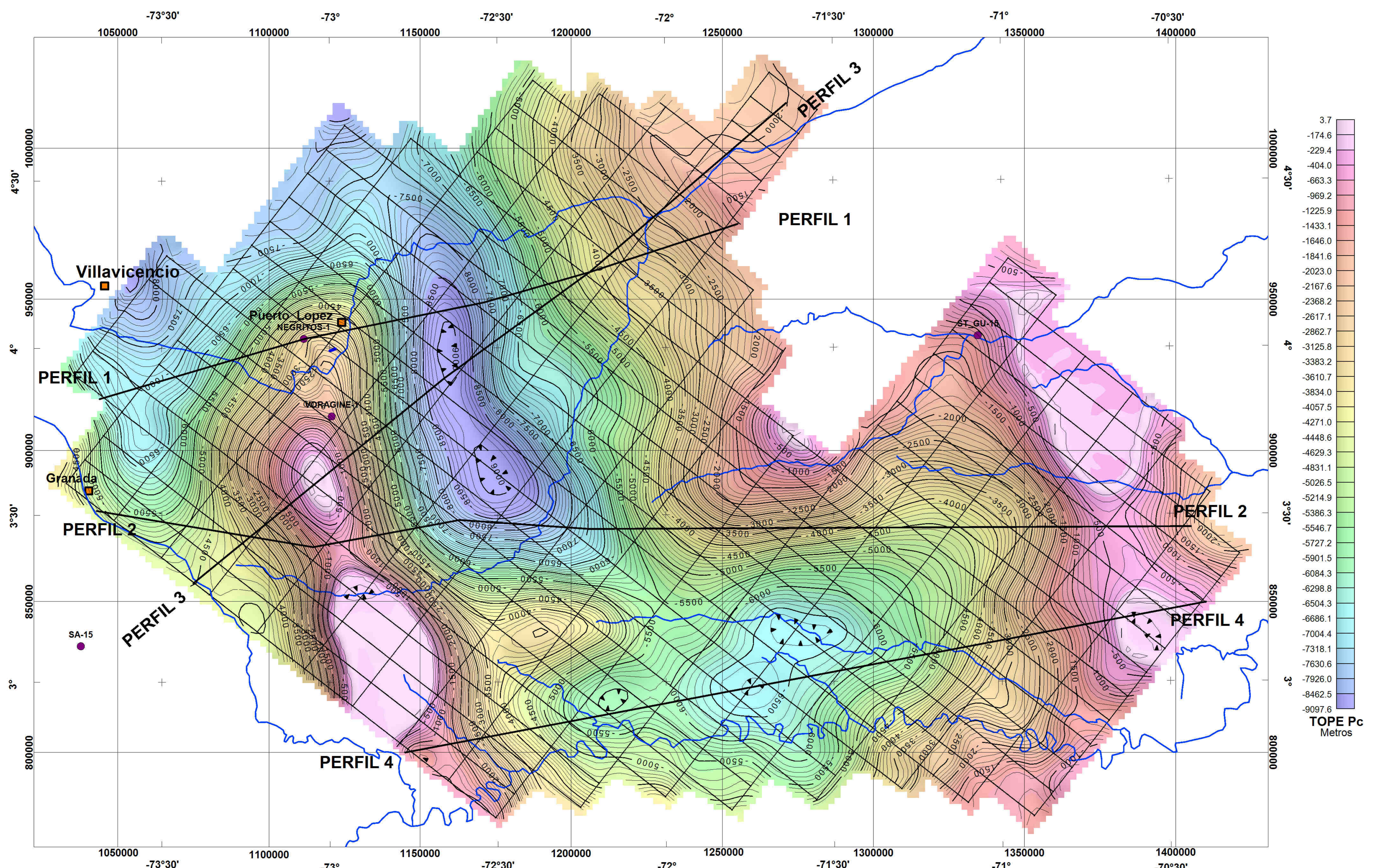
RESIDUAL CONTROLADO

Tope del Basamento Precámbrico - Referencia 1214m Arriba del NMM

Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas

Fecha: Octubre del 2007

CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

CONVENCIONES



Ciudades



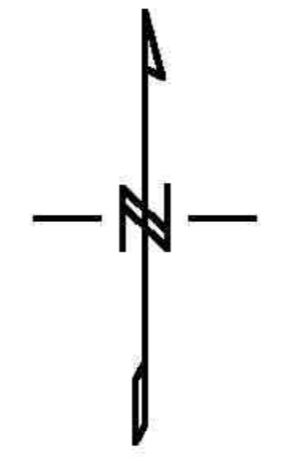
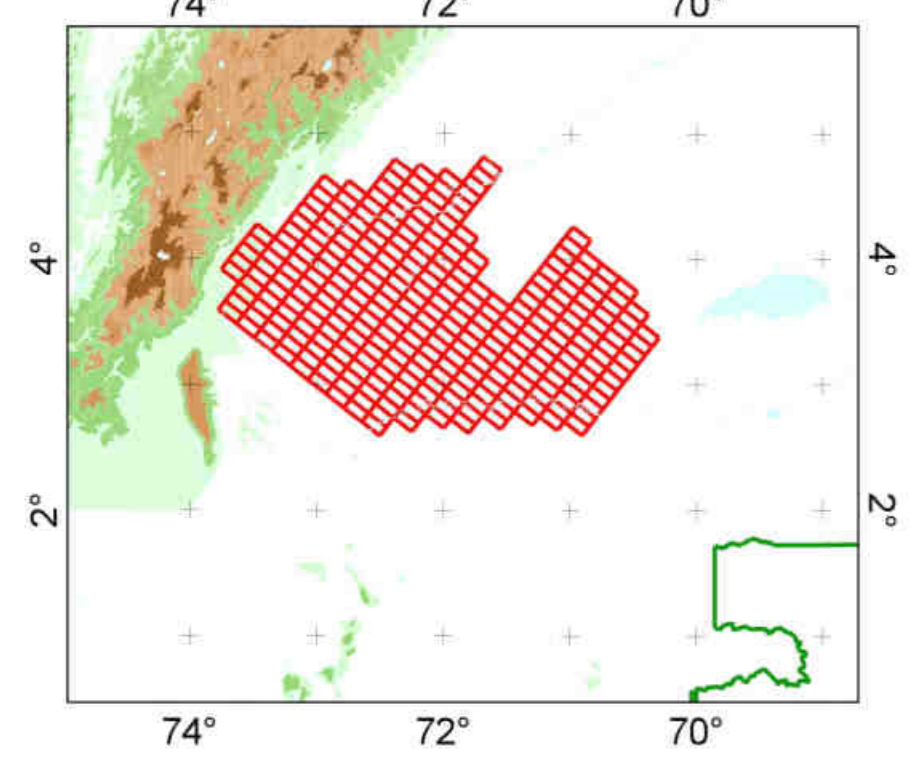
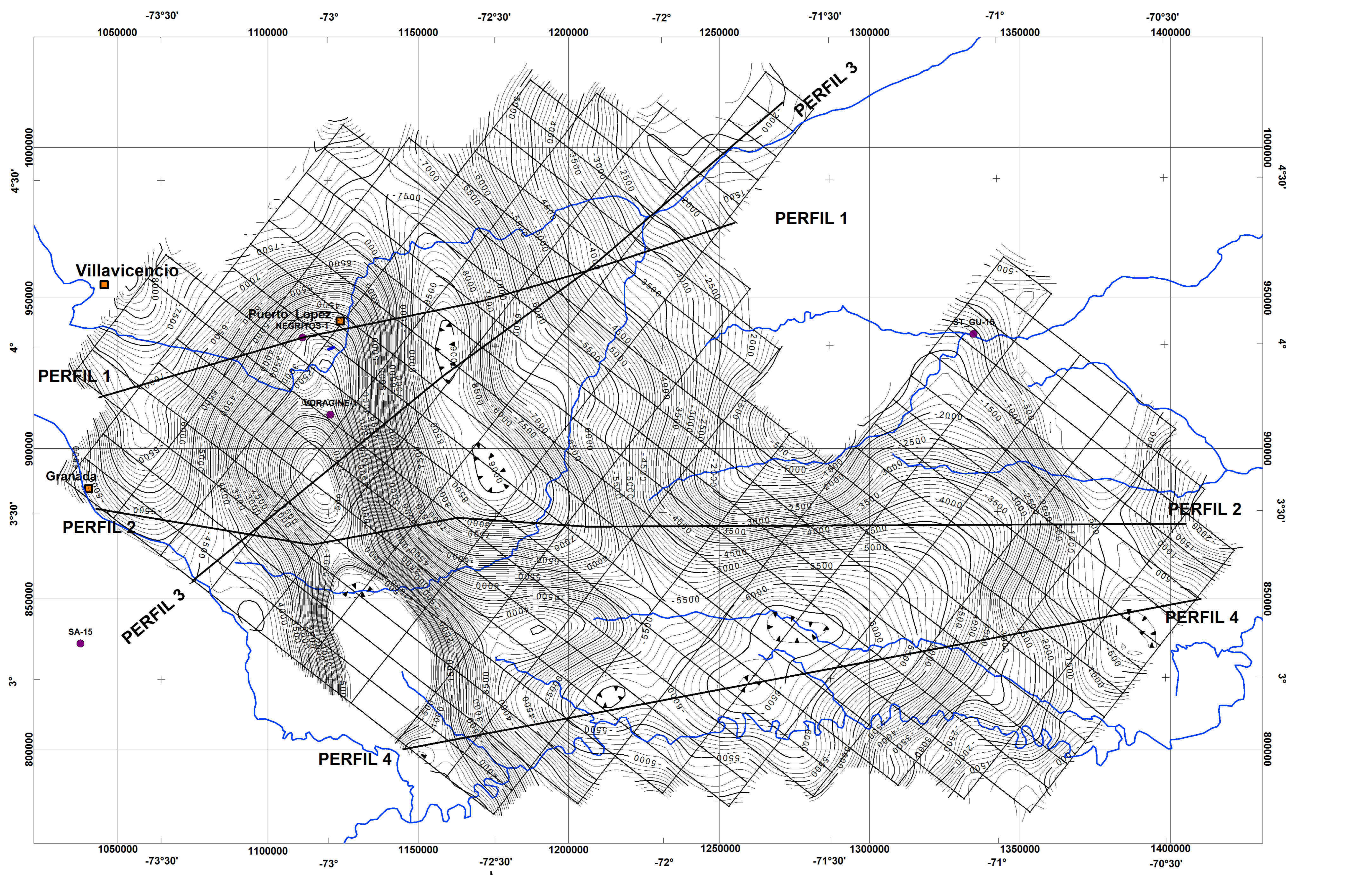
Punto de Control



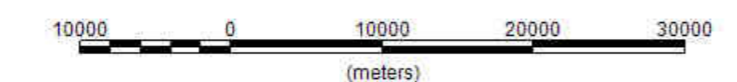
Rios

Figura 11

 AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS
TOPE DEL BASAMENTO PRECAMBRICO Referencia NMM
Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007
CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA) 



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

CONVENCIONES



Ciudades



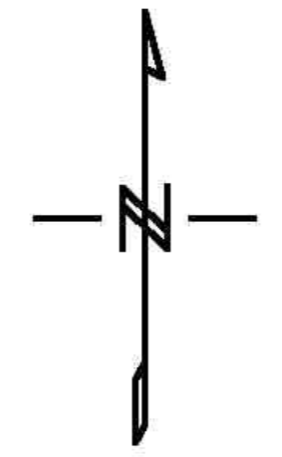
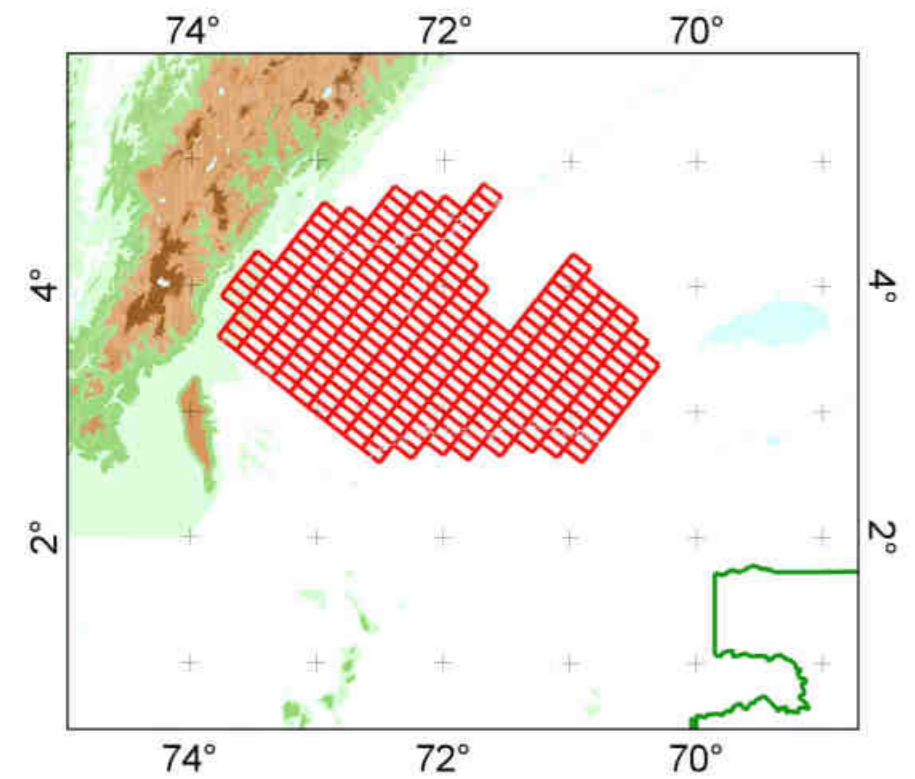
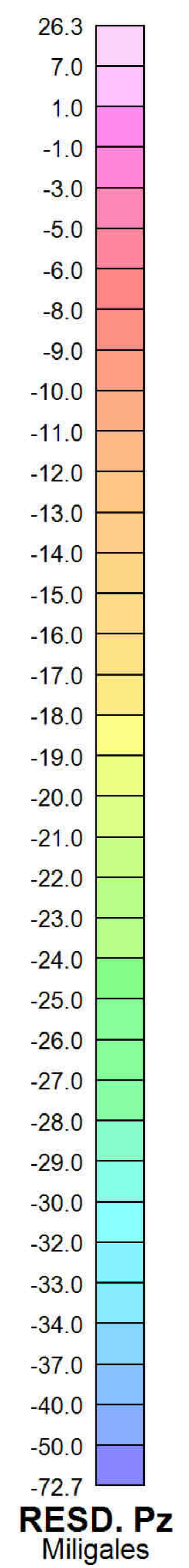
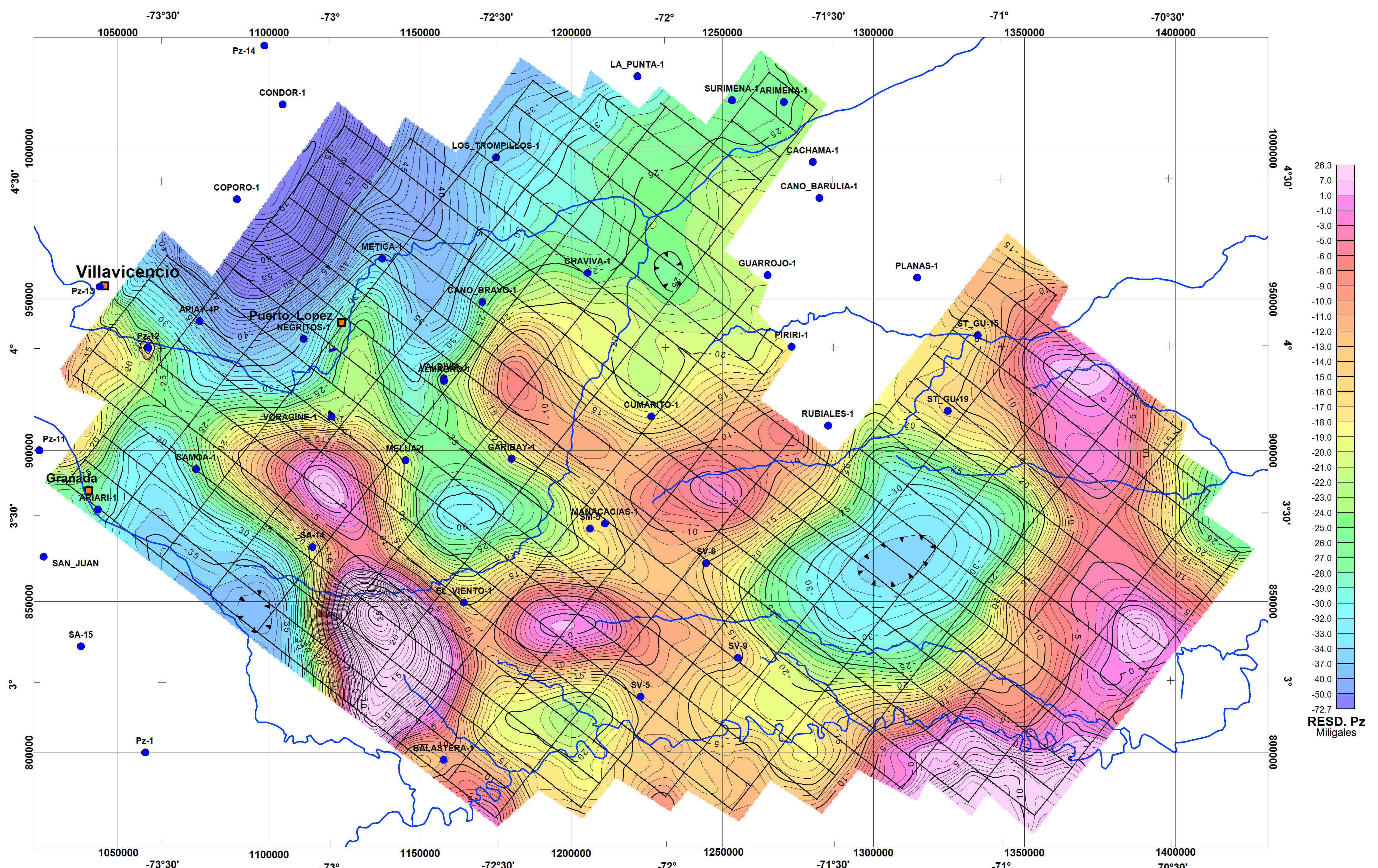
TOPCr16
Punto de Control



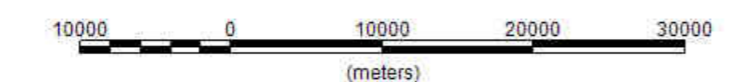
Rios

Figura 12

 <p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS</p>
<p>INTERPRETACION ESTRUCTURAL del TOPE DEL BAS. PRECAMBRICO Referencia NMM</p>
<p>Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007</p>
 <p>CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)</p>



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

CONVENCIONES



Ciudades





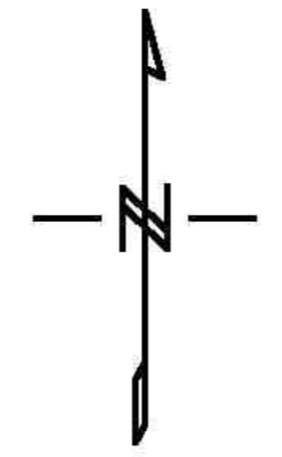
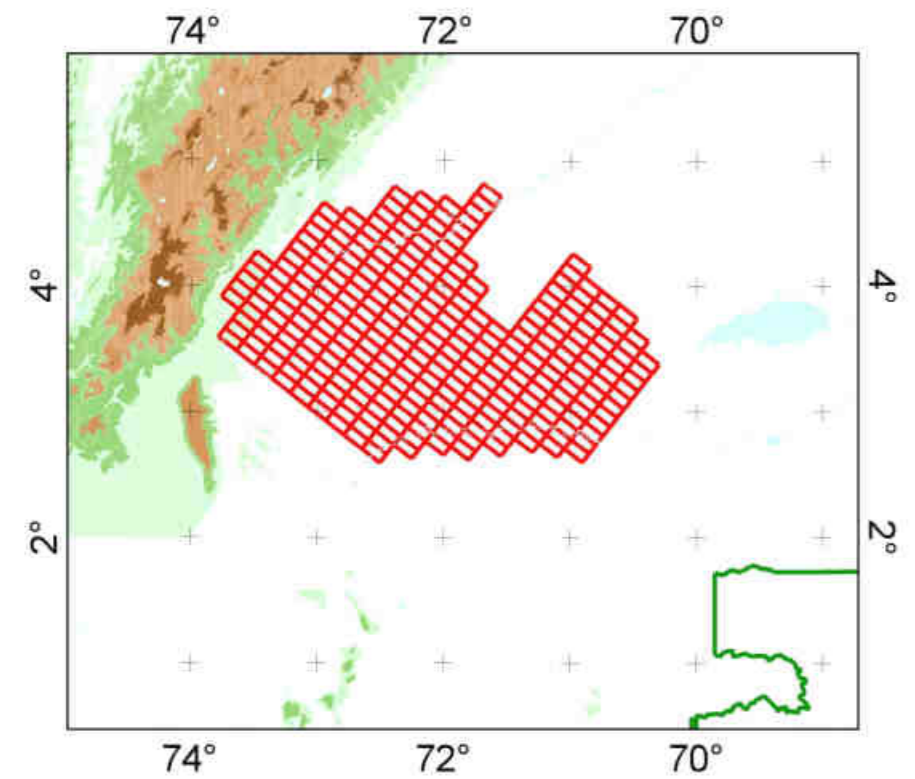
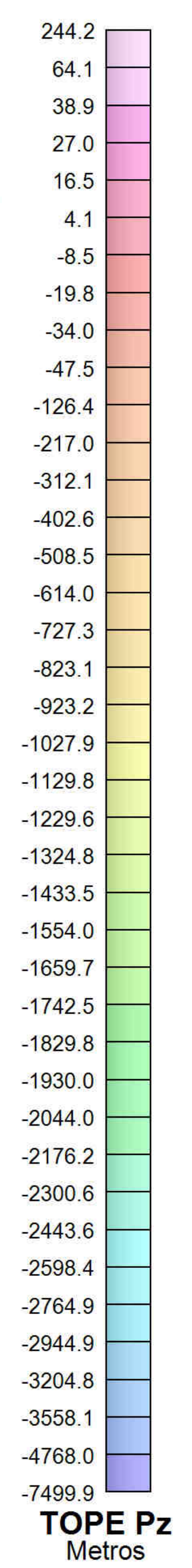
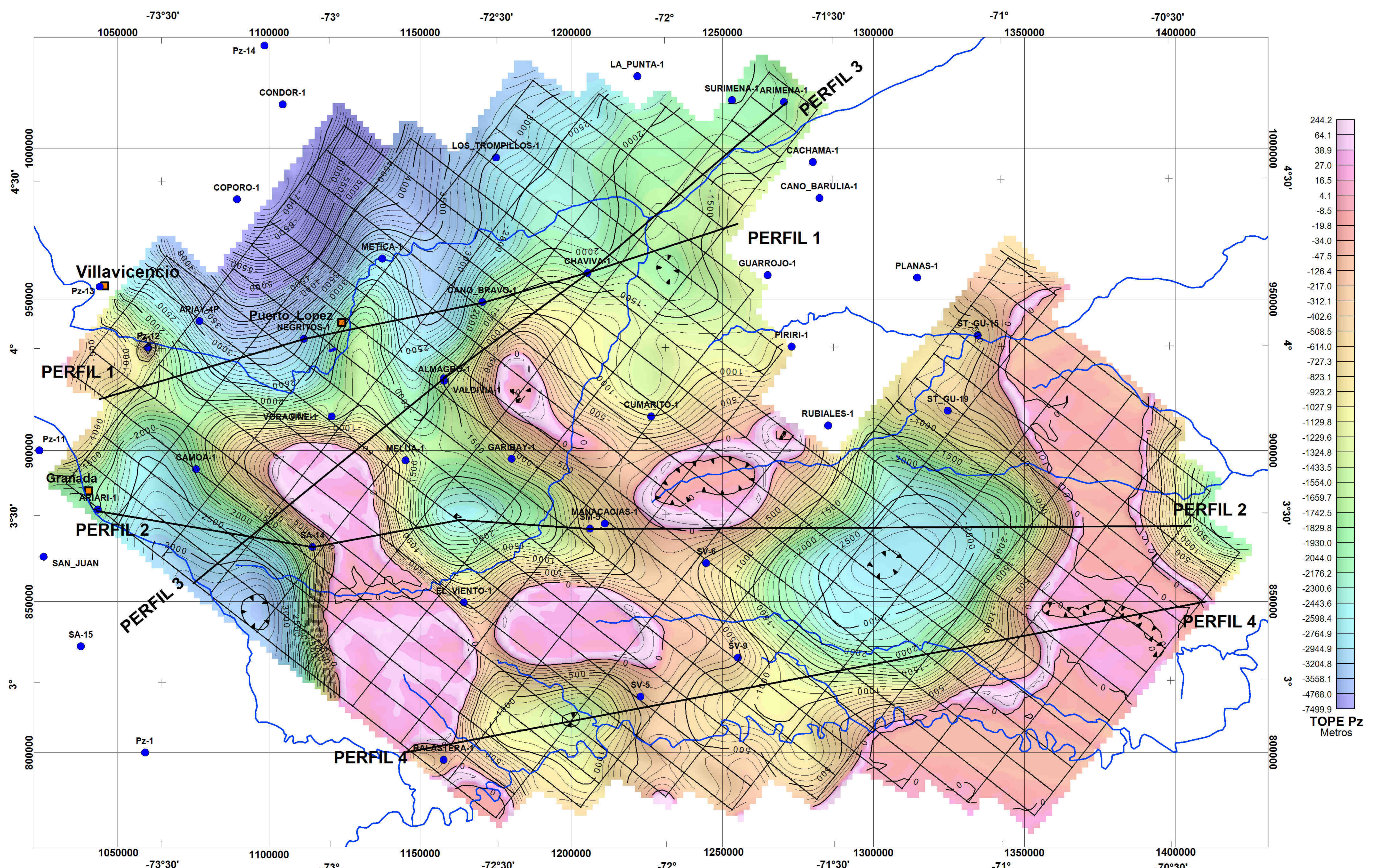
Punto de Control



Rios

Figura 14


<p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS</p> <p>RESIDUAL CONTROLADO</p> <p>Tope del Paleozoico - Referencia 1214m Arriba del NMM</p>
<p>Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas</p> <p>Fecha: Octubre del 2007</p>




Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

CONVENCIONES



Ciudades





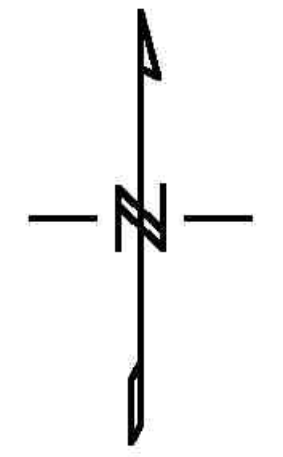
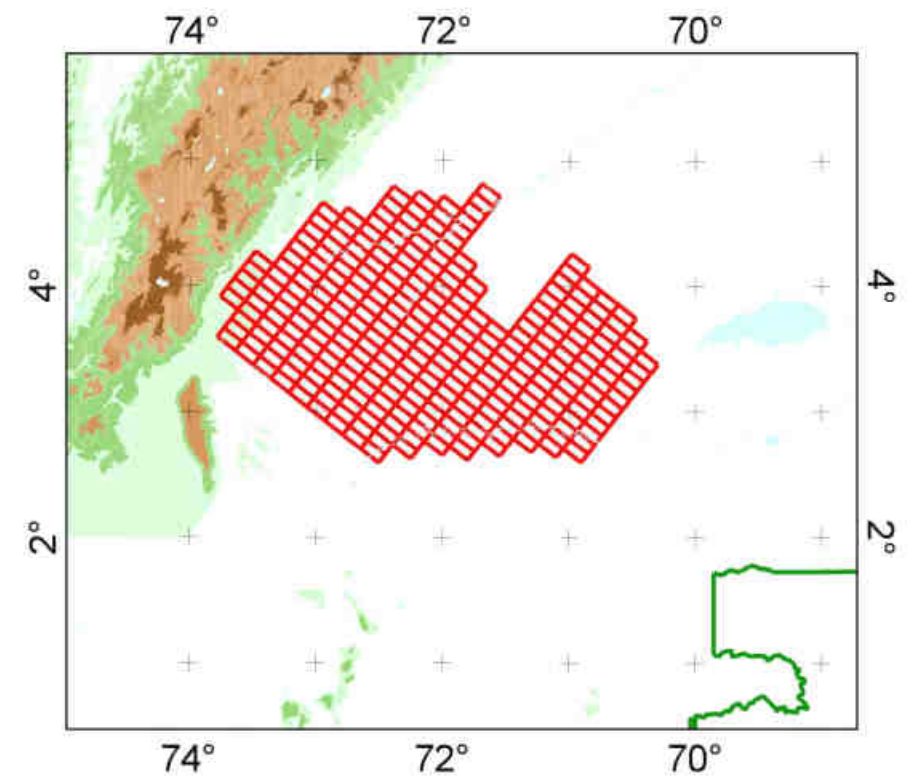
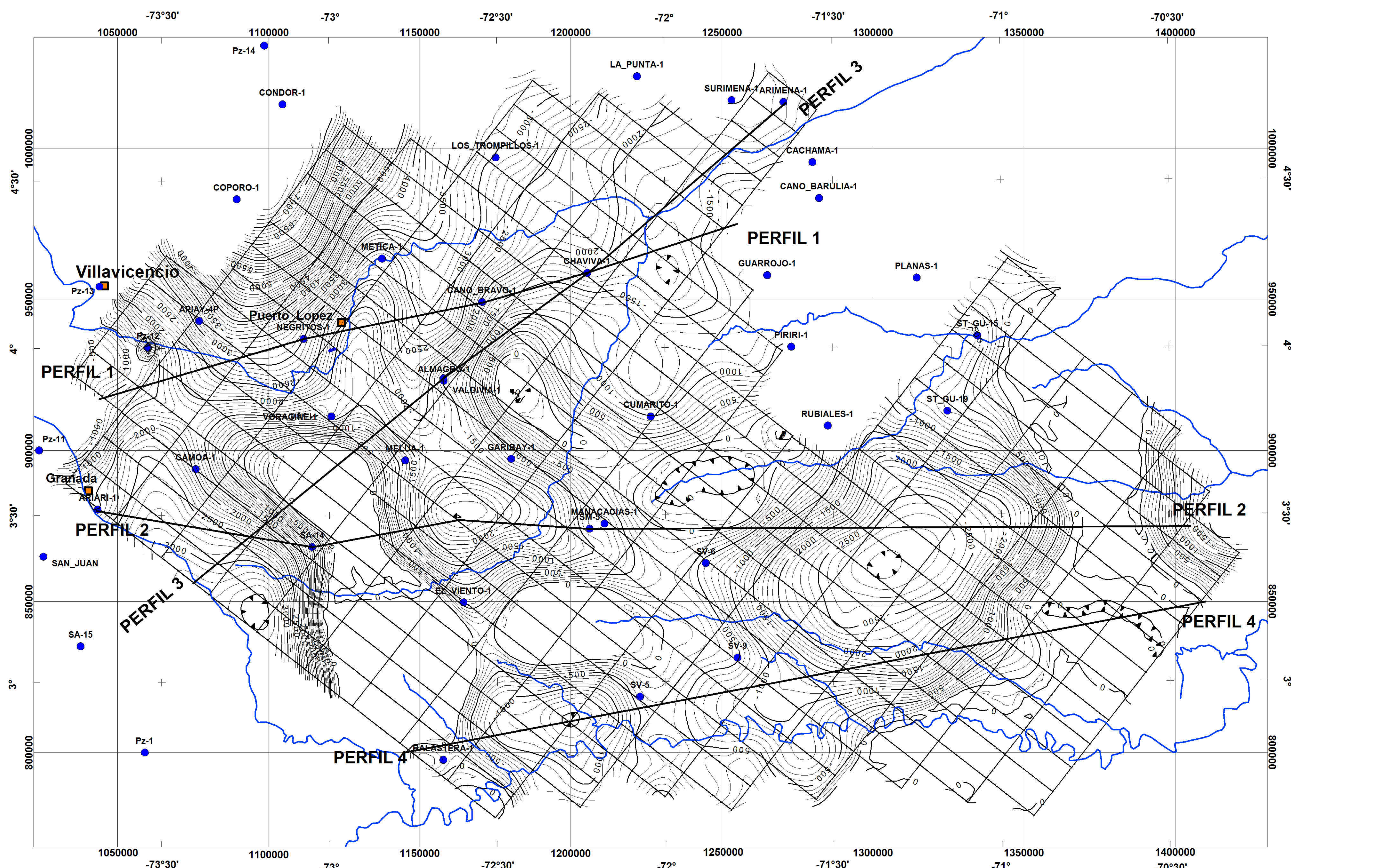
Punto de Control



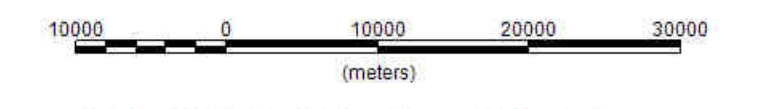
Rios

Figura 15

 <p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS</p>
<p>TOPE DEL PALEOZOICO Referencia NMM</p>
<p>Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007</p>
<p>CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)</p> 



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

CONVENCIONES



Ciudades





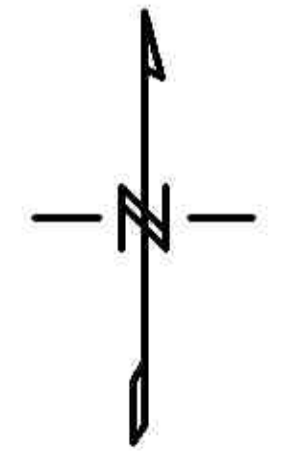
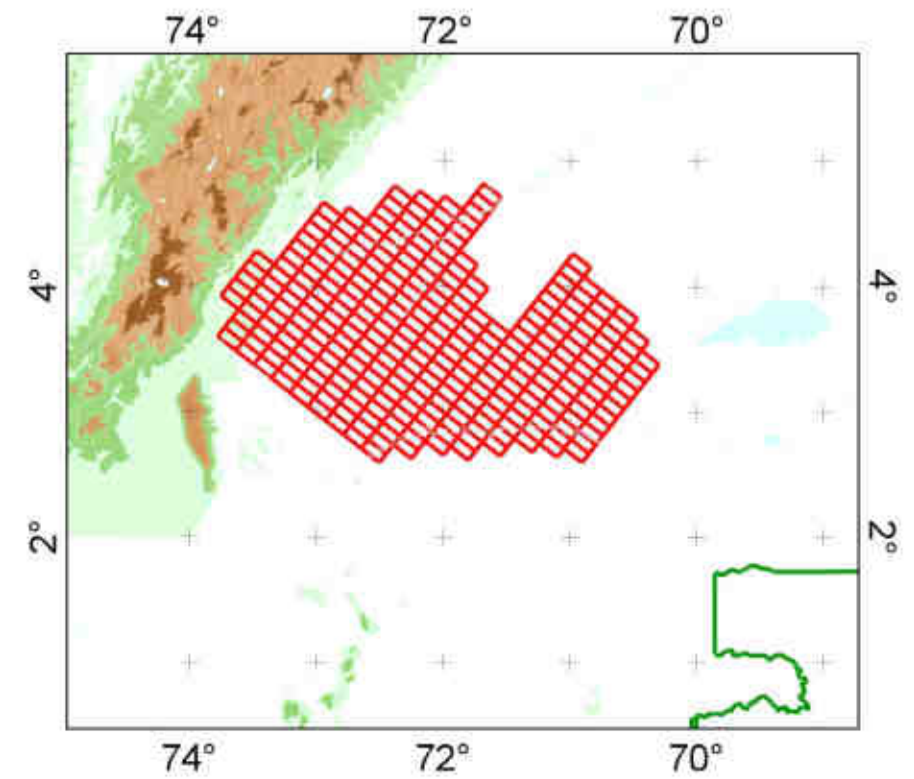
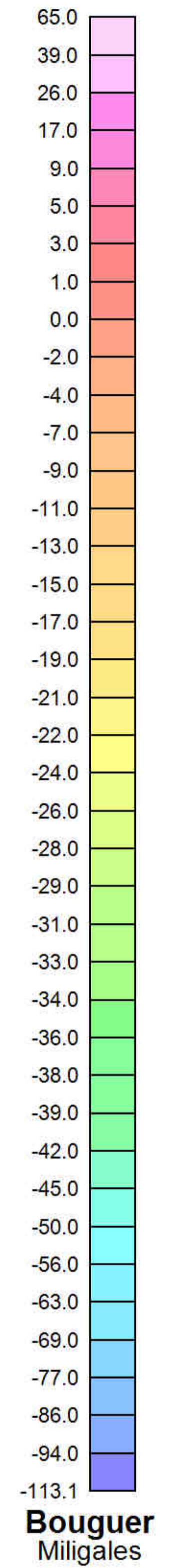
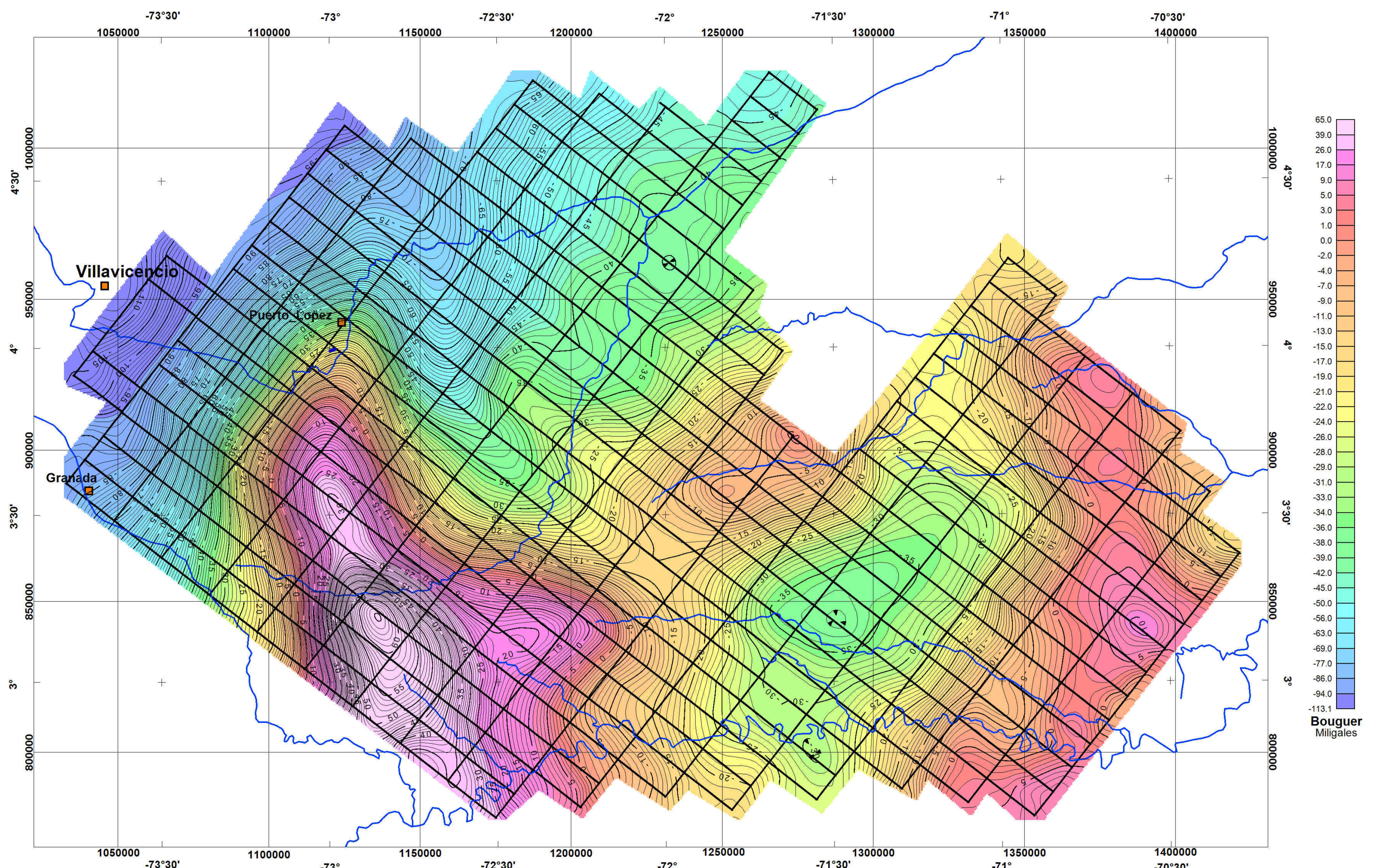
TOPCr16
Punto de Control



Rios

Figura 16

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS <small>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS COLOMBIA</small>	
INTERPRETACION ESTRUCTURAL TOPE DEL PALEOZOICO Referencia NMM	
Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007	
CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)	
	



Scale 1:500000





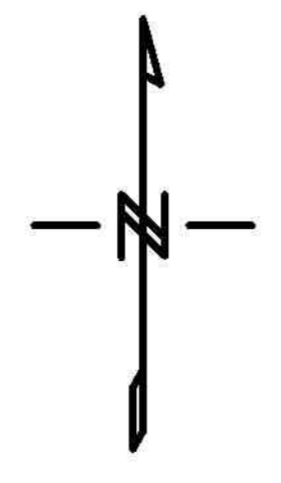
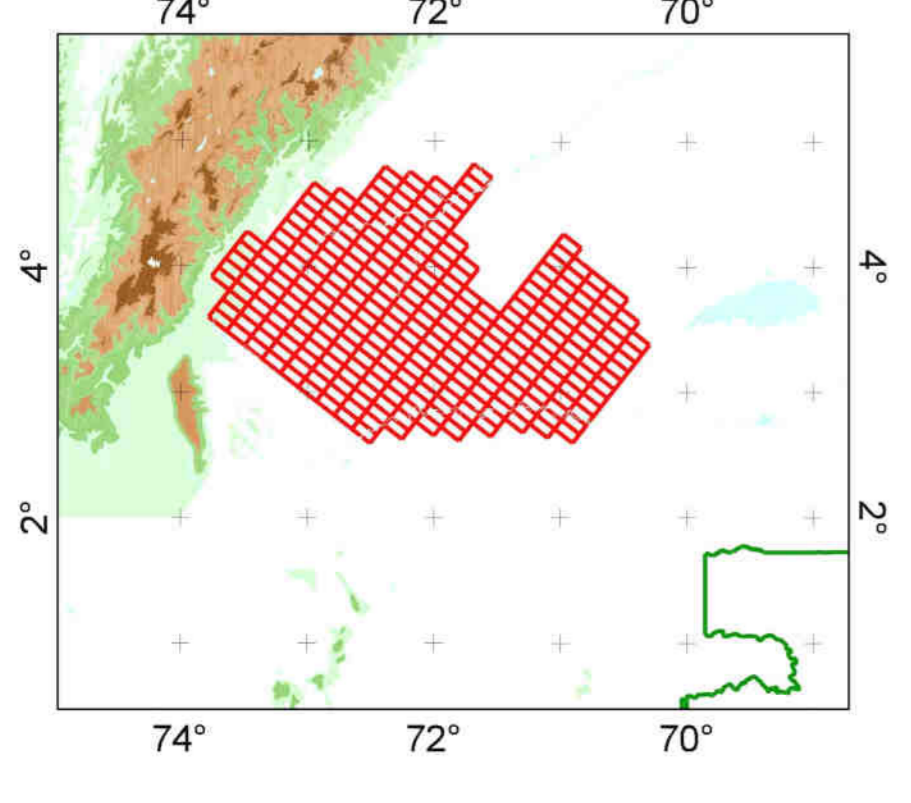
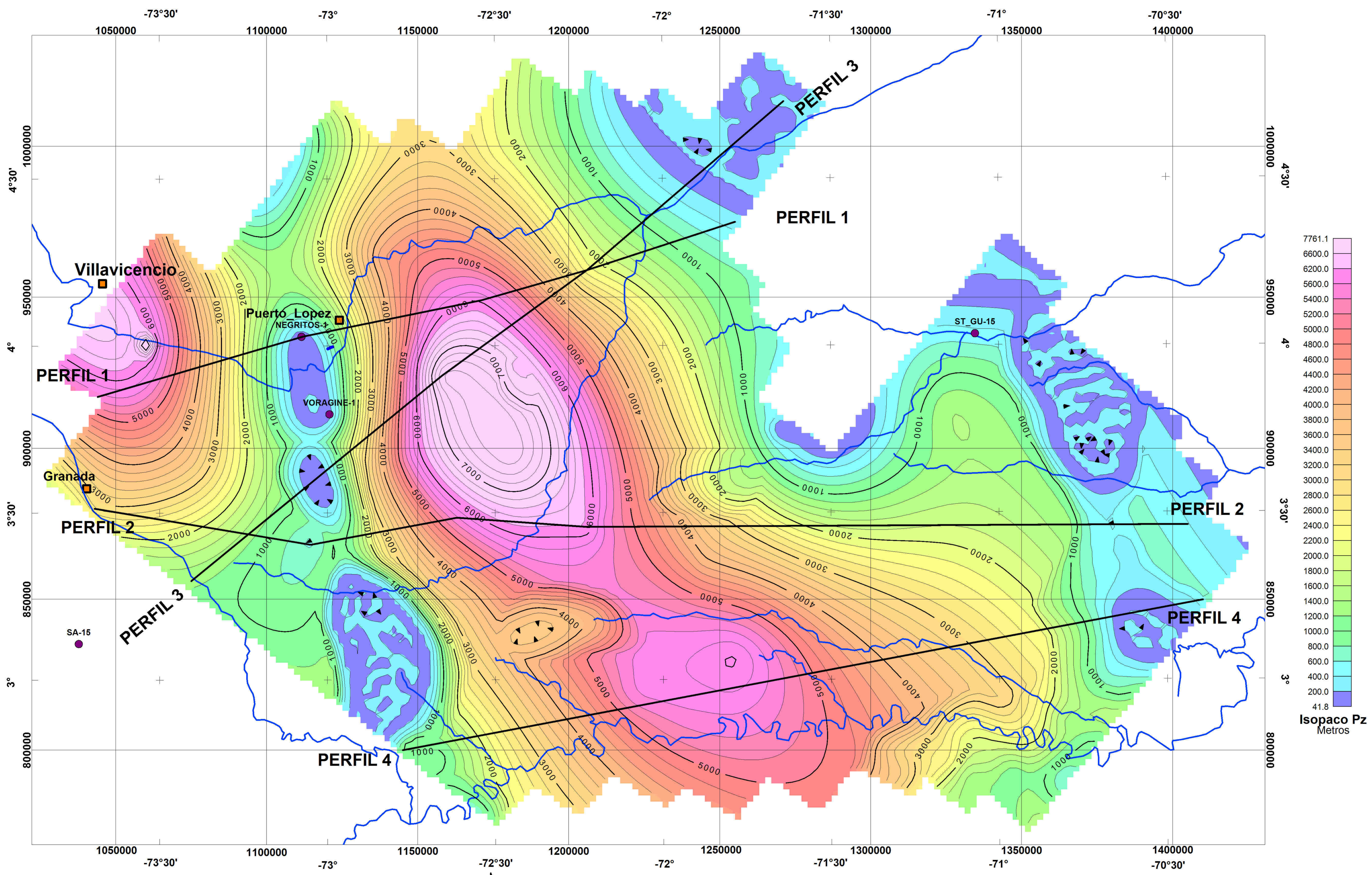
Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



CONVENCIONES
 Ciudades
 Punto de Control
 Rios

Figura 2


AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS ANOMALIA DE BOUGUER (p=2.30 Grs/cc)
Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007
CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA) 



Scale 1:500000

Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone




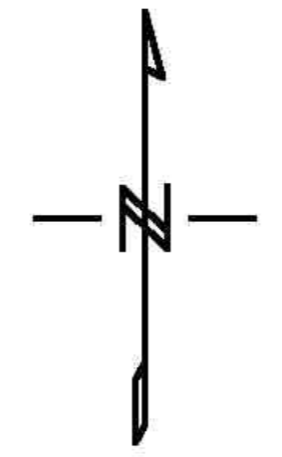
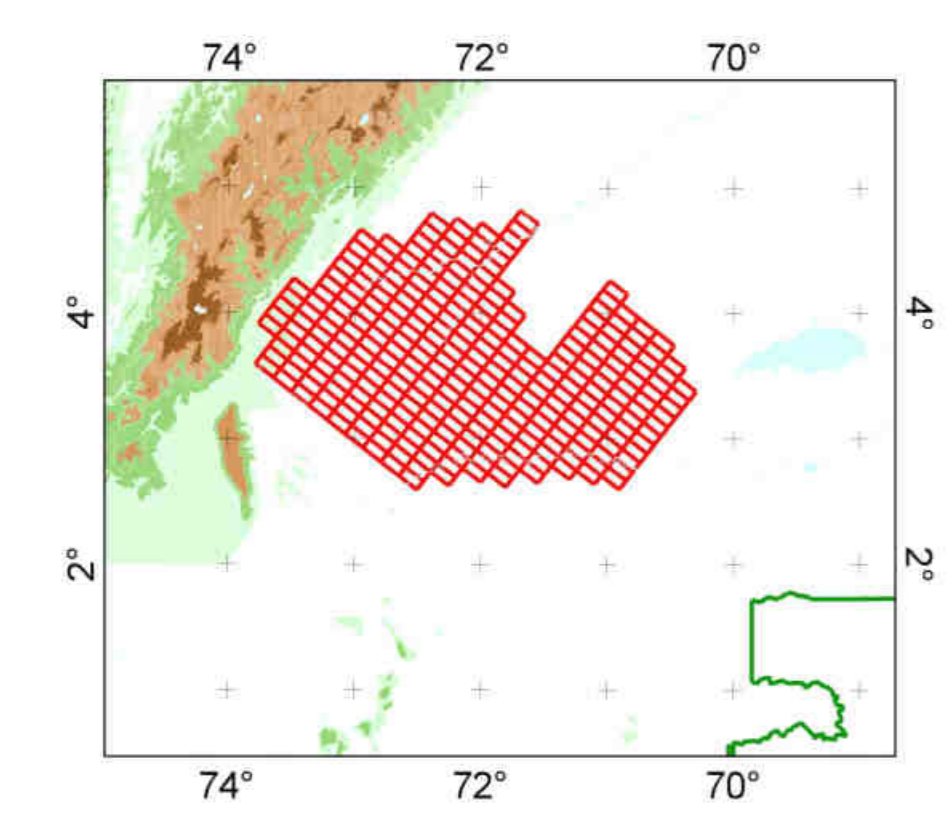
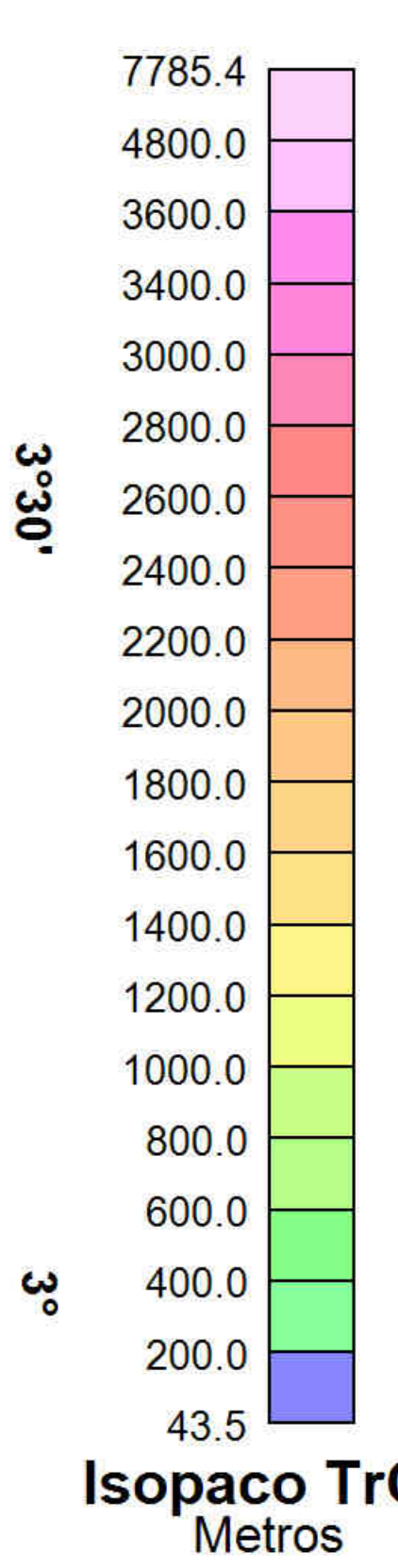
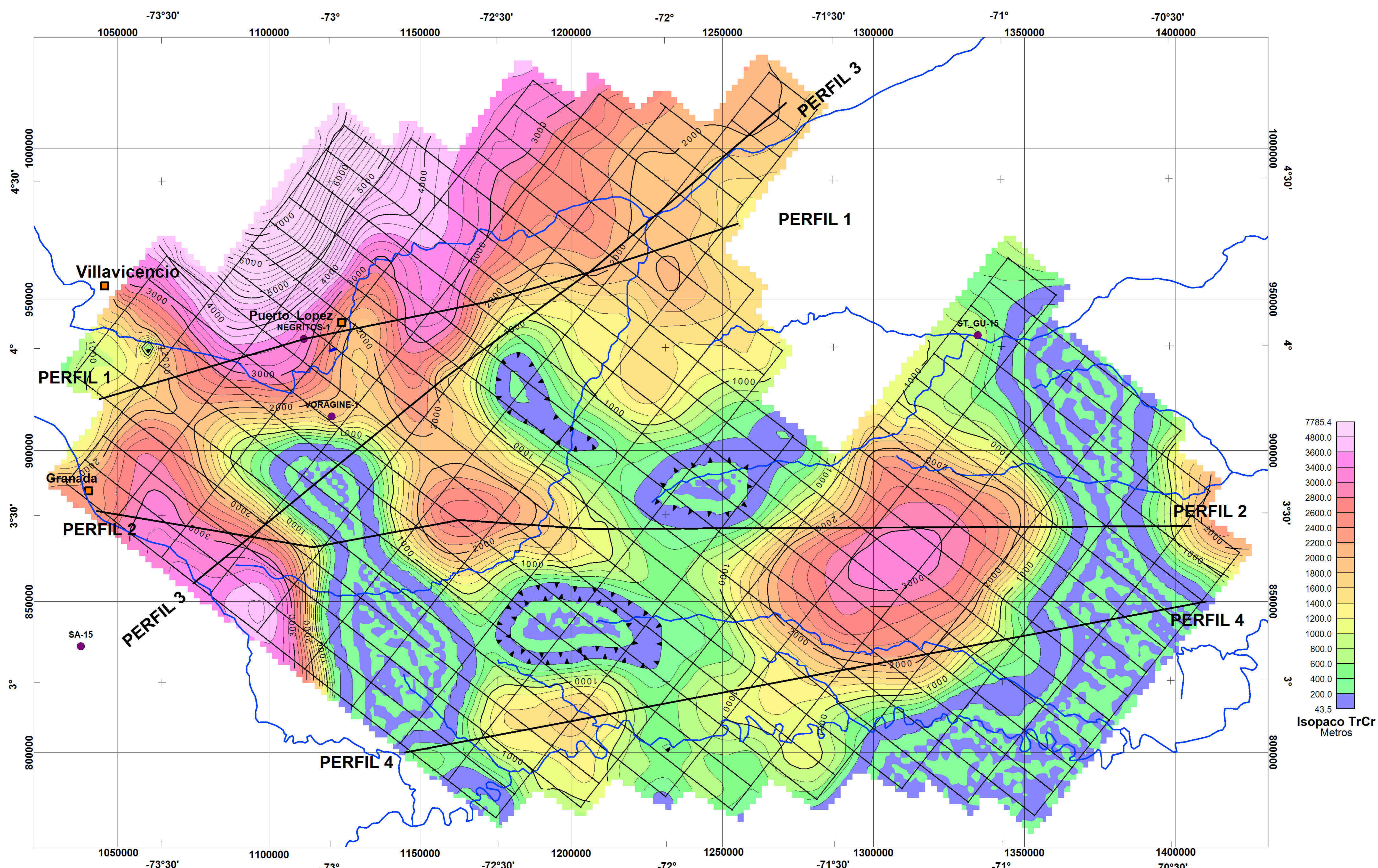
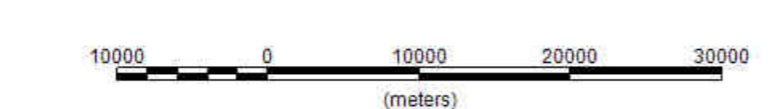
- CONVENCIONES**
-  Ciudades
 -  Punto de Control
 -  Rios

Figura 21

<p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS</p> <p style="font-size: small;">Interpretación Aeromagnetogravimétrica de la Cuenca de los Llanos Orientales</p> <p>ISOPACO DE SEDIMENTOS PALEOZOICOS</p> <p>Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas</p> <p>Fecha: Octubre del 2007</p> <p>CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)</p>	 
---	--



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



CONVENCIONES
 Ciudades
 Punto de Control
 Rios

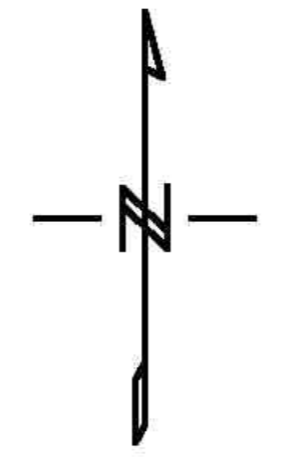
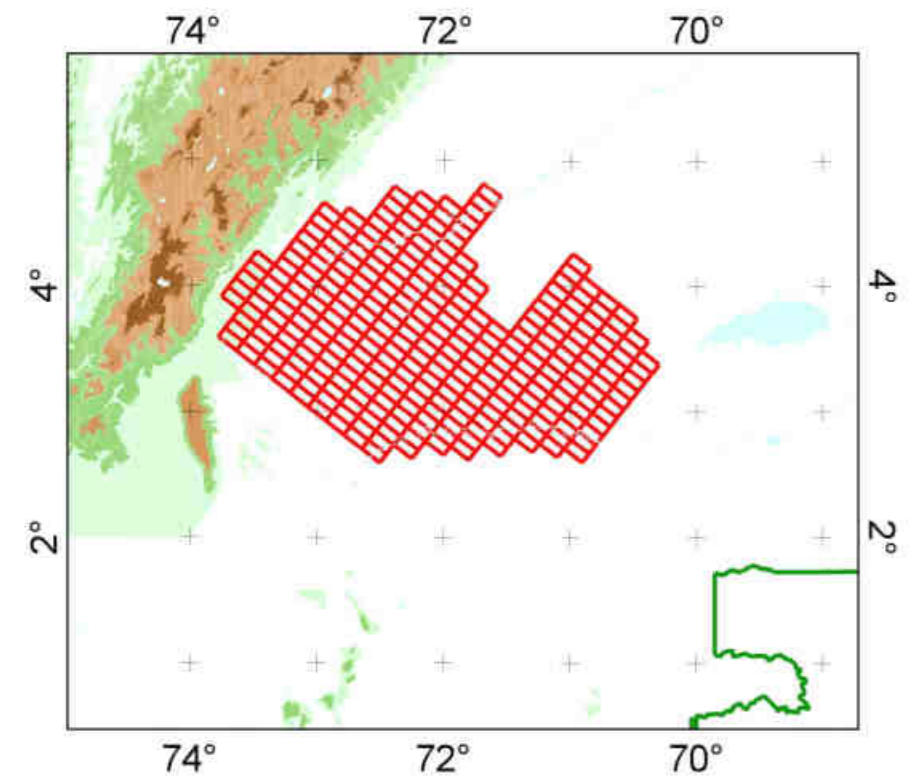
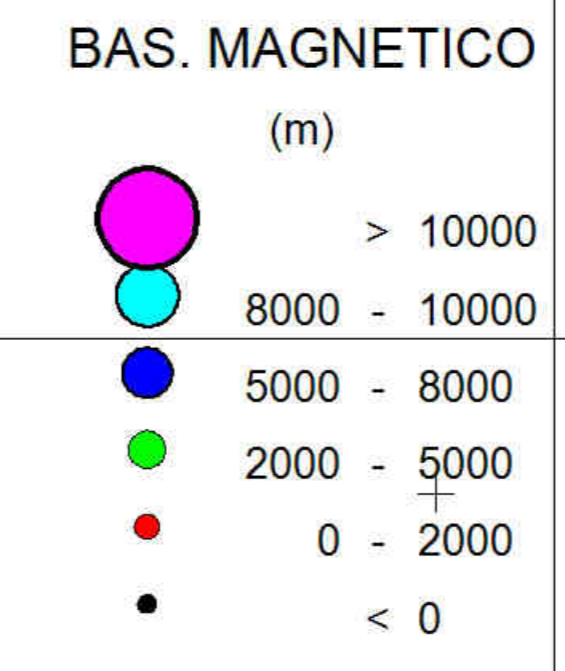
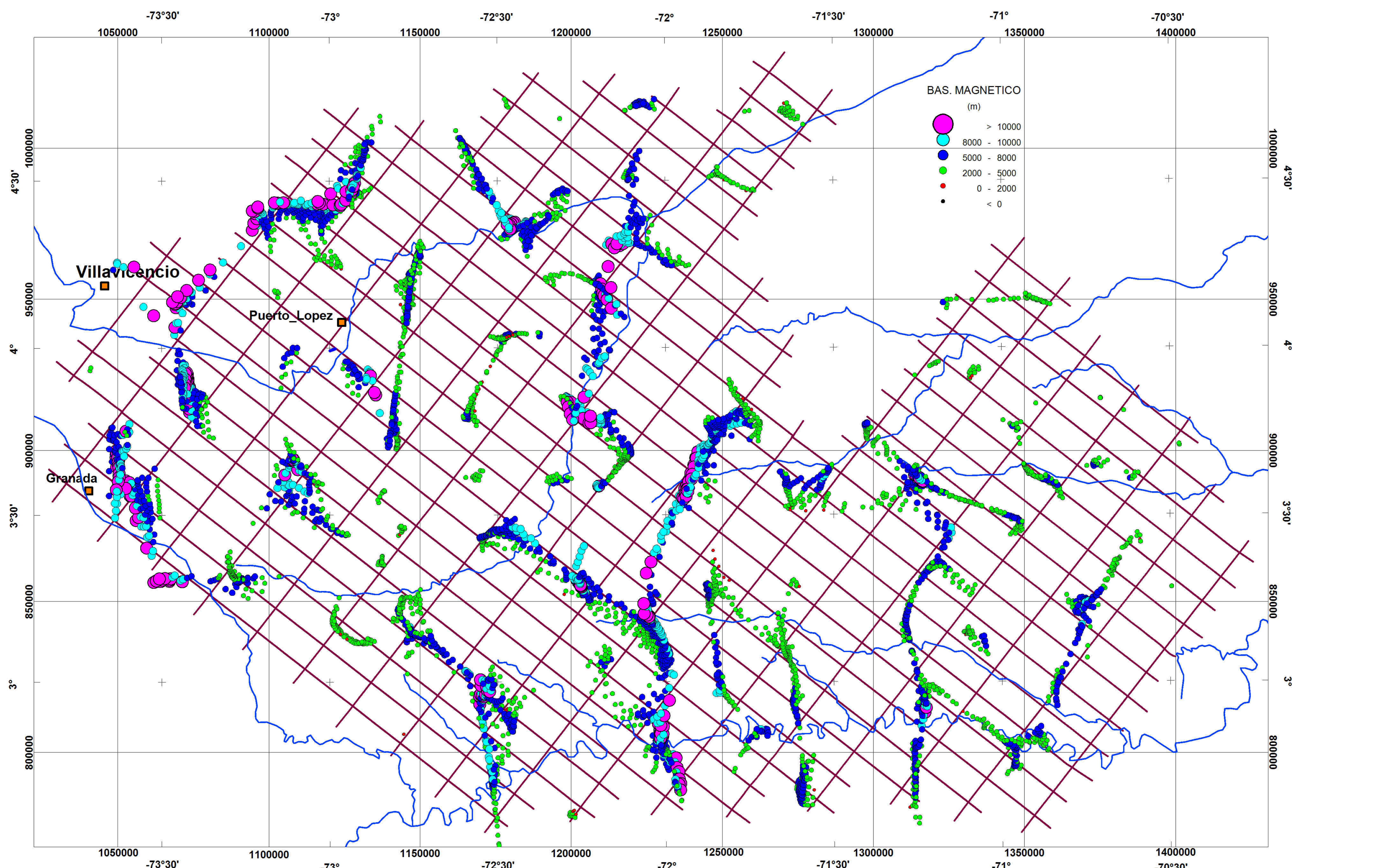
Figura 22

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS
 ANH
 AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS
 COLOMBIA

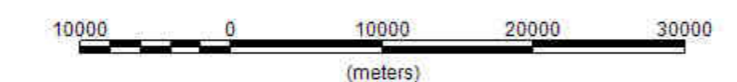
ISOPACO DE SEDIMENTOS TERCIARIOS Y CRETACICOS

Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas
 Fecha: Octubre del 2007

CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)
 CARSON
 HELICOPTERS INC.



Scale 1:500000



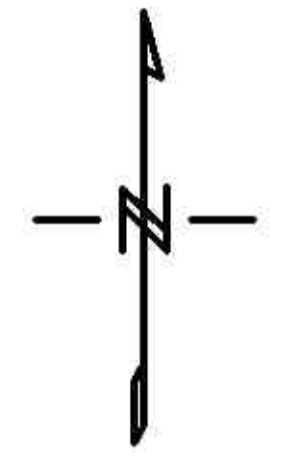
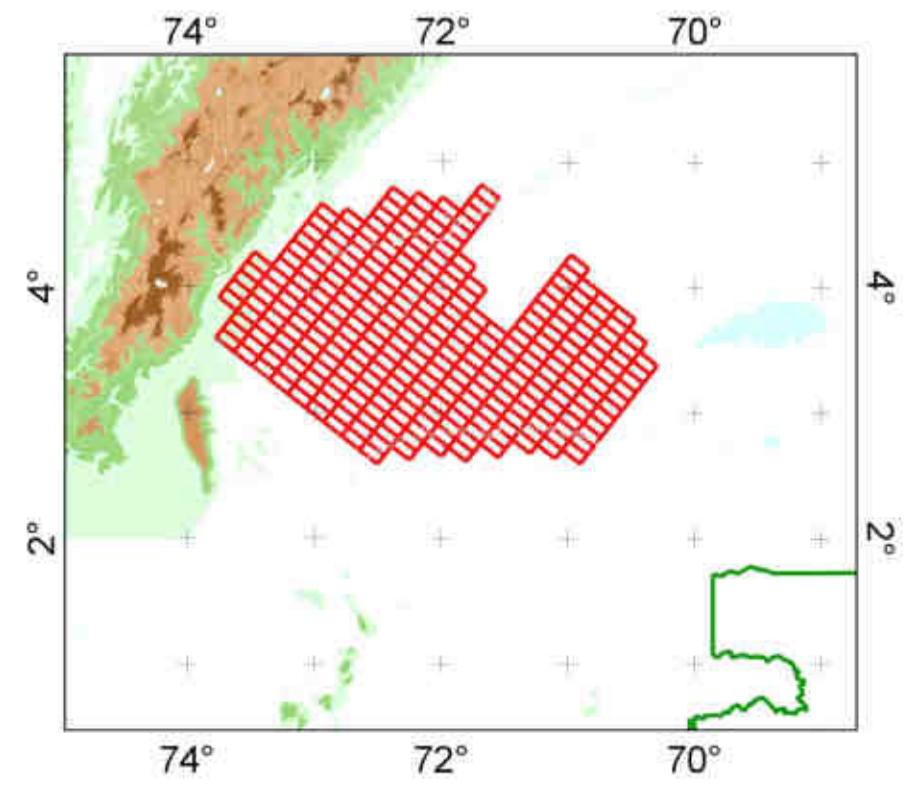
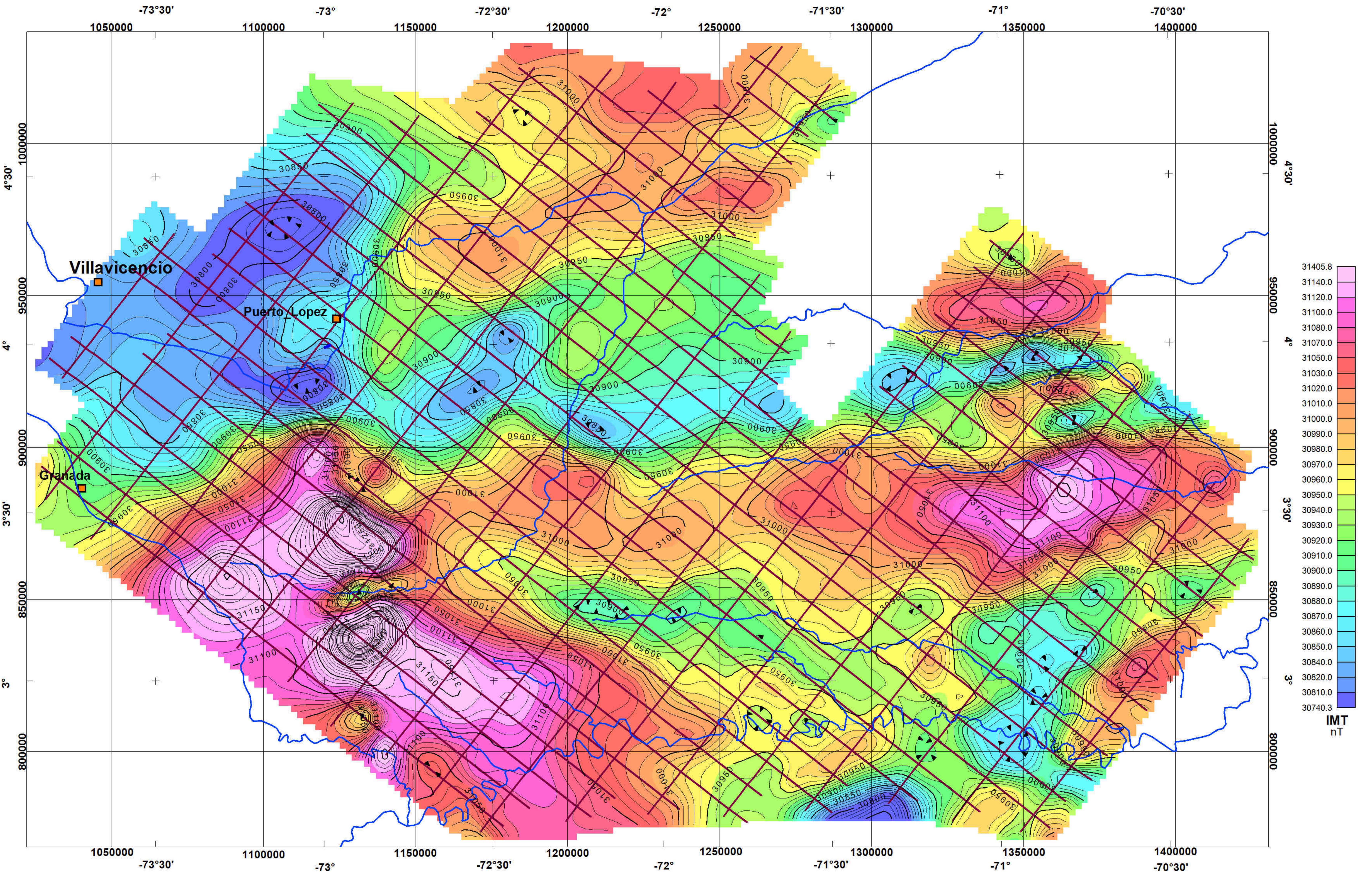
Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



- CONVENCIONES**
- Ciudades
 - PUNTO Cr16
 - Rios

Figura 23

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS <small>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS COLOMBIA</small>
BASAMENTO MAGNETICO Soluciones de Euler - SI=0.0 - Contacto Magnético
Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007
CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)



Scale 1:500000





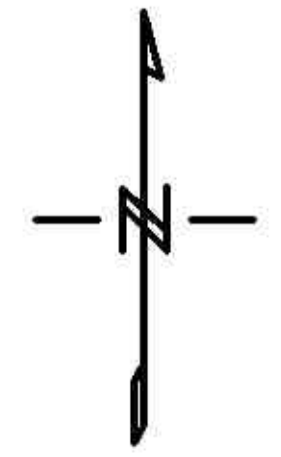
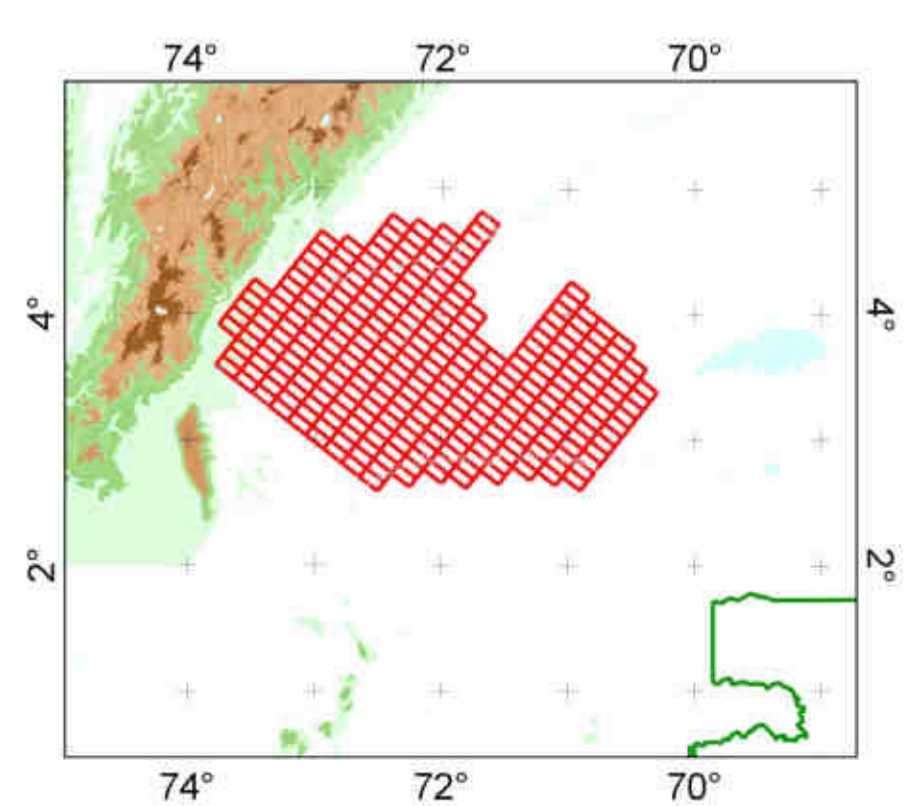
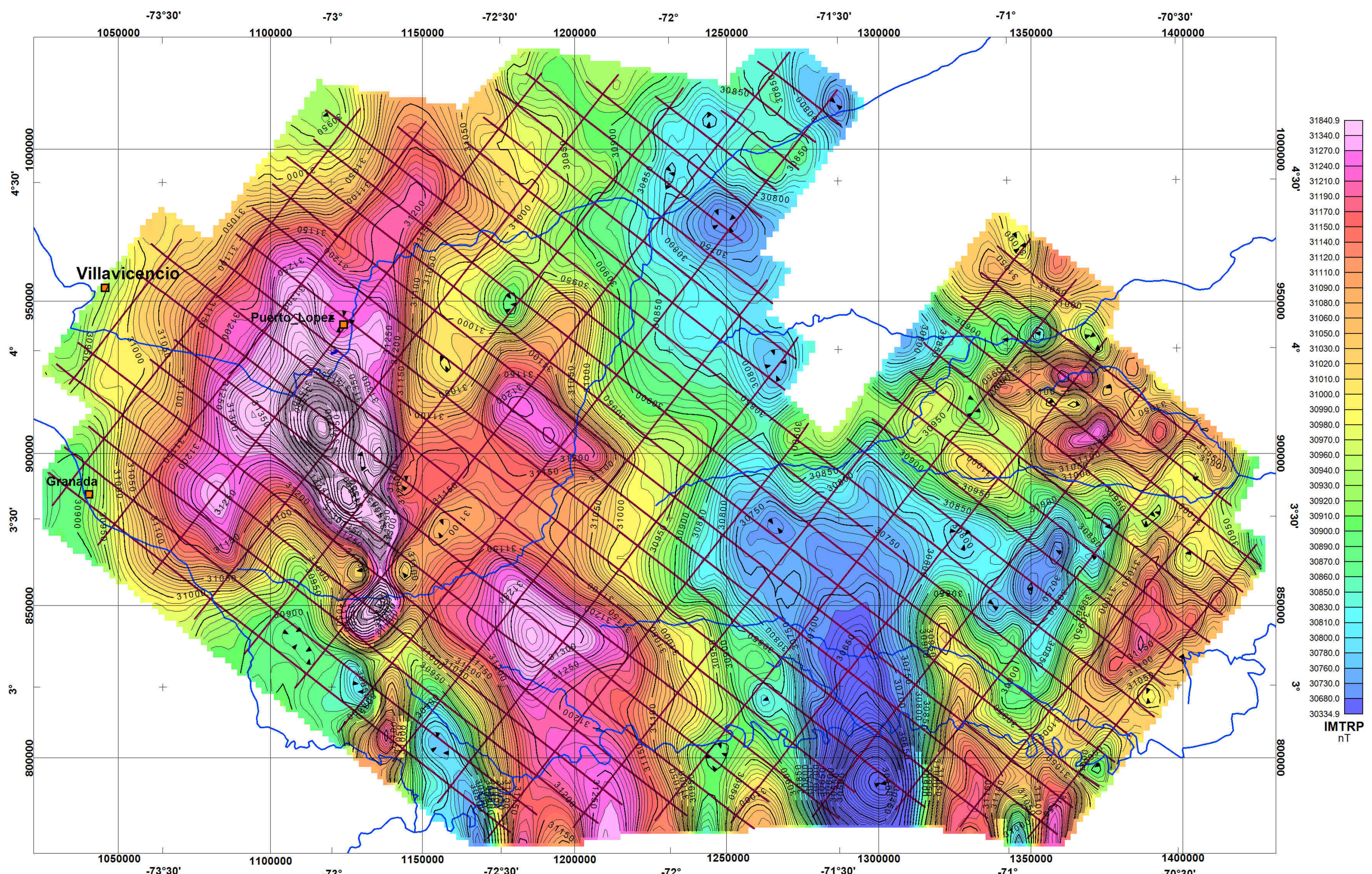
Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



CONVENCIONES
 Ciudades
 Punto de Control
 Rios

Figura 3


AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS INTENSIDAD MAGNETICA TOTAL (IMT)
Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007
CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA) 



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone








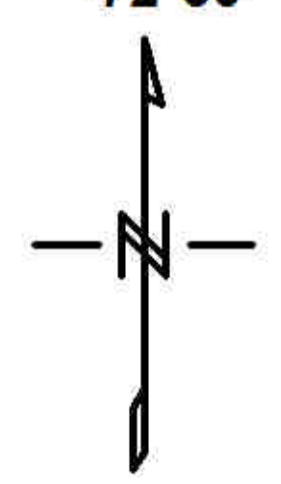
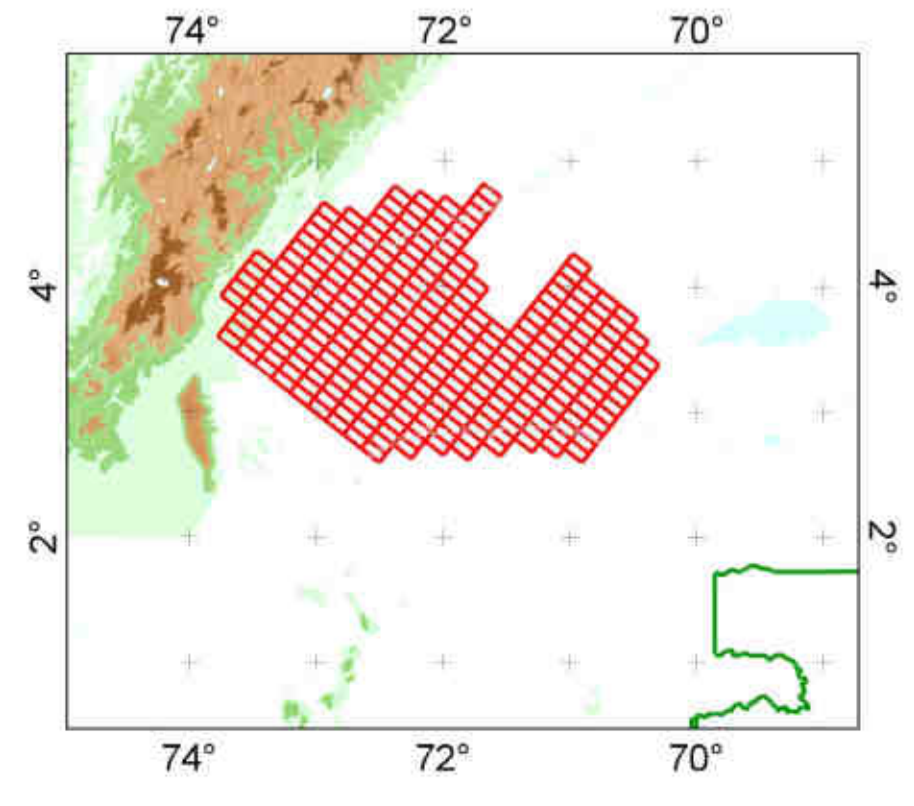
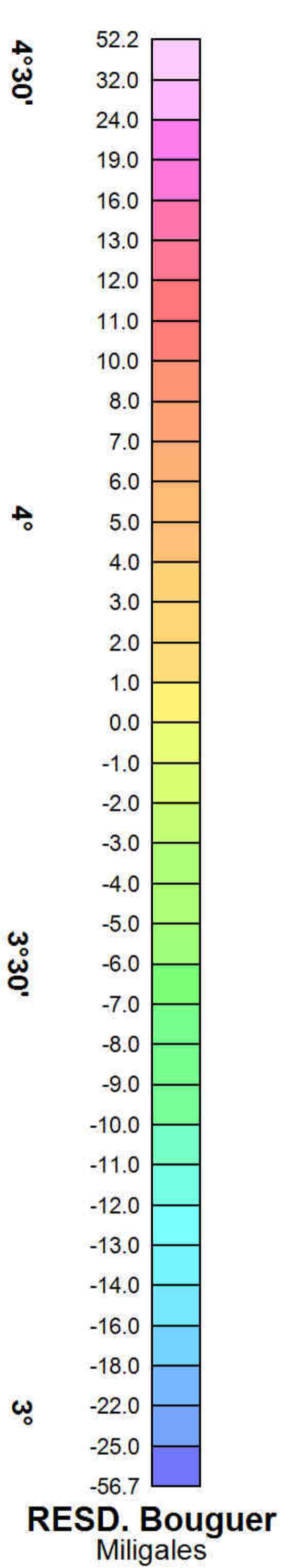
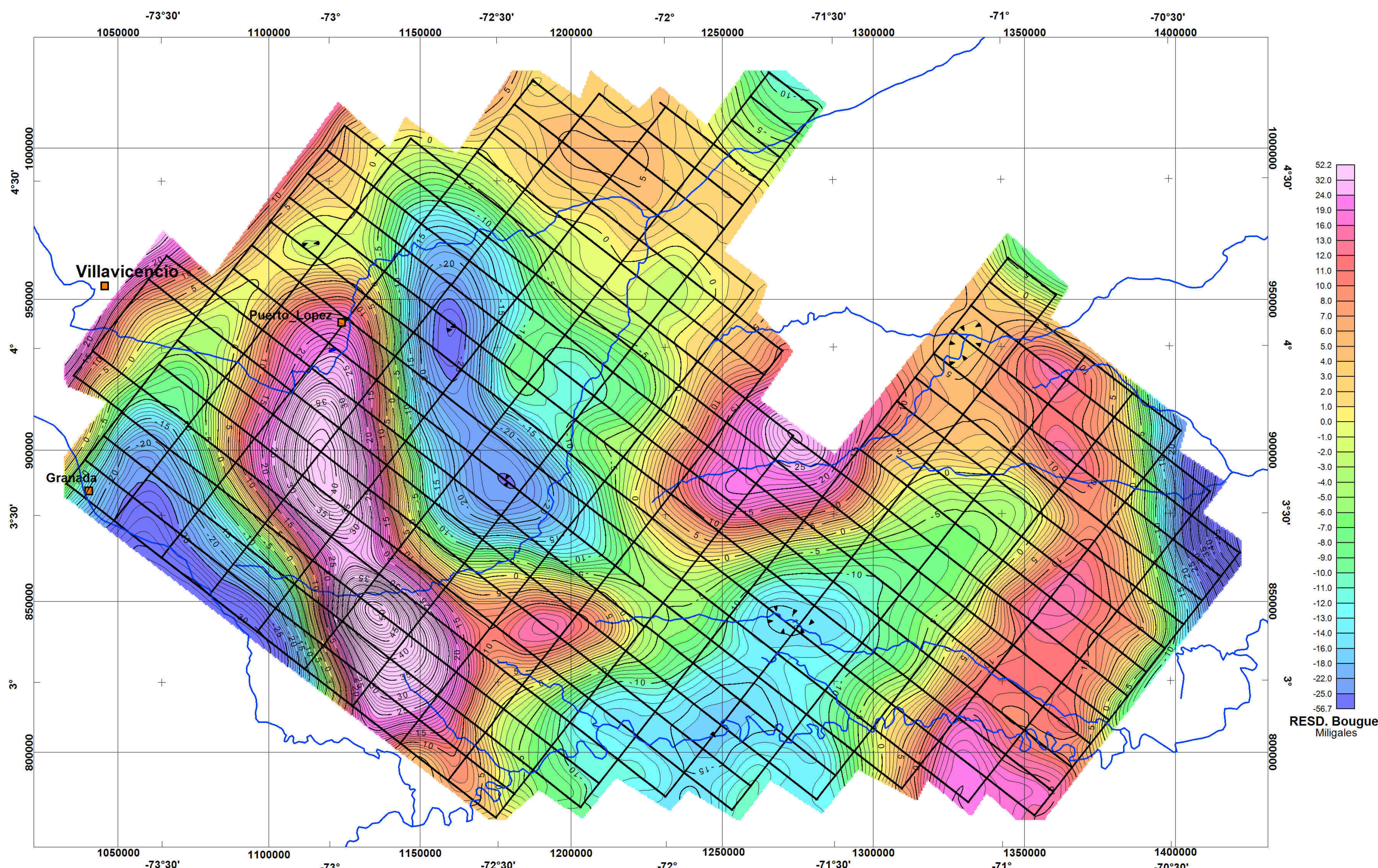
- CONVENCIONES
-  Ciudades
 -  Punto de Control
 -  Ríos

Figura 4

 AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS <small>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS COLOMBIA</small>
INT. MAGNETICA TOTAL REDUCIDA AL POLO (IMTRP)
Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007
CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA) 



Scale 1:500000



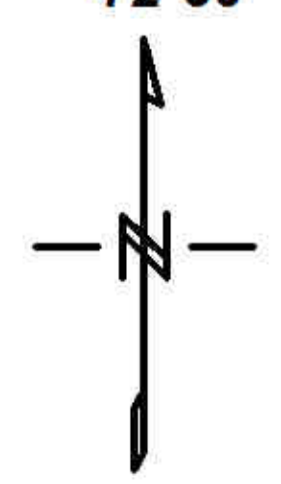
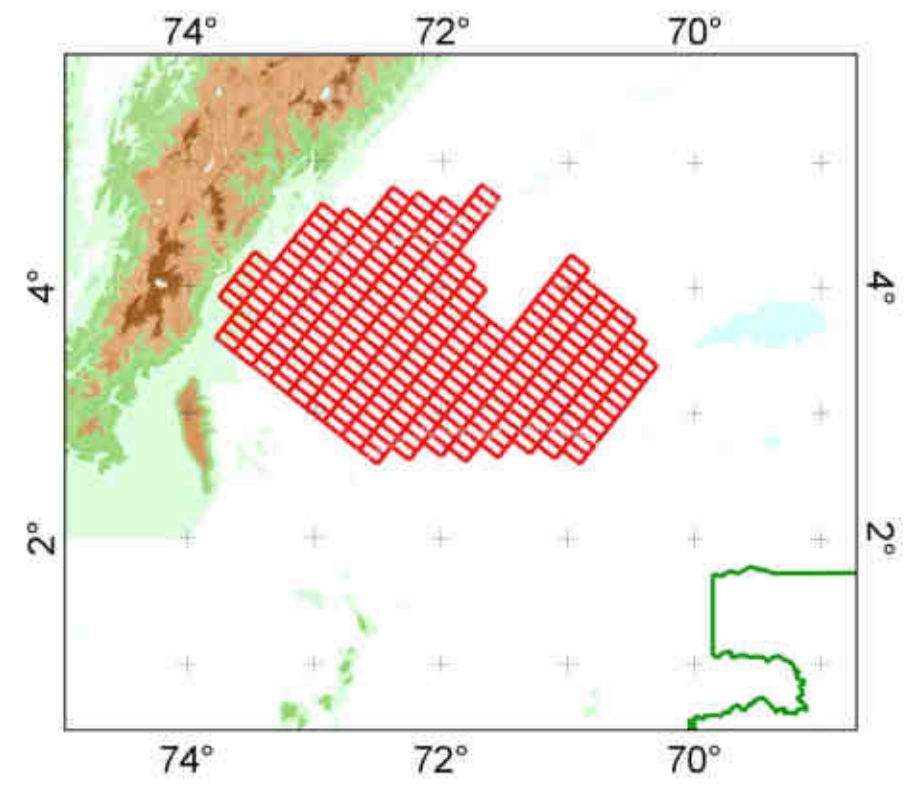
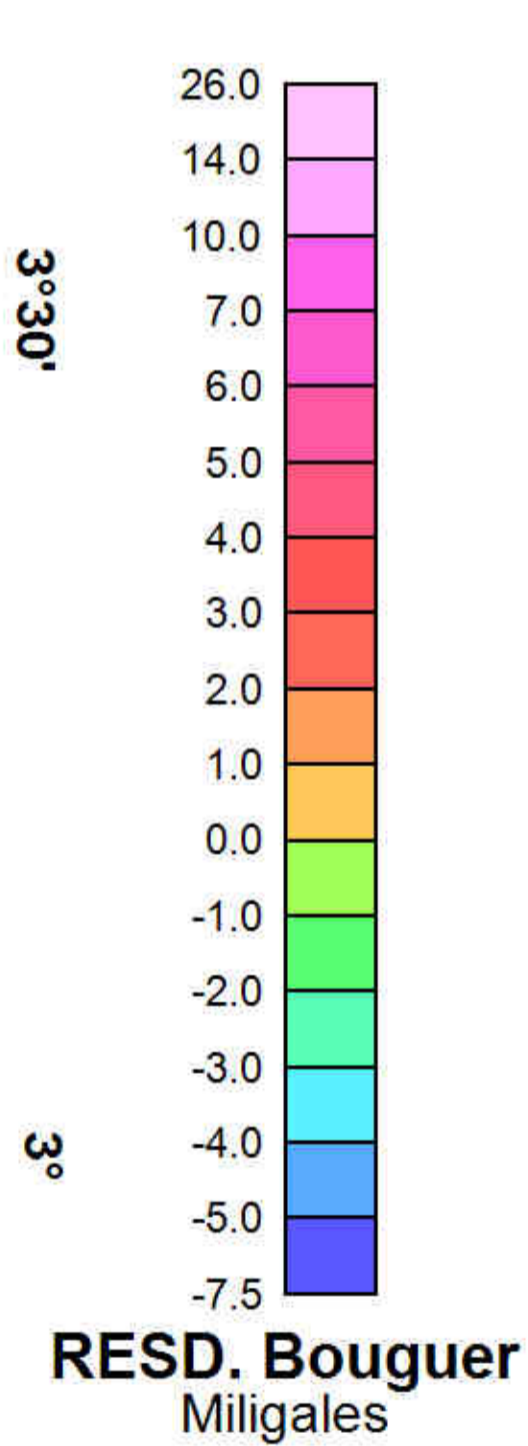
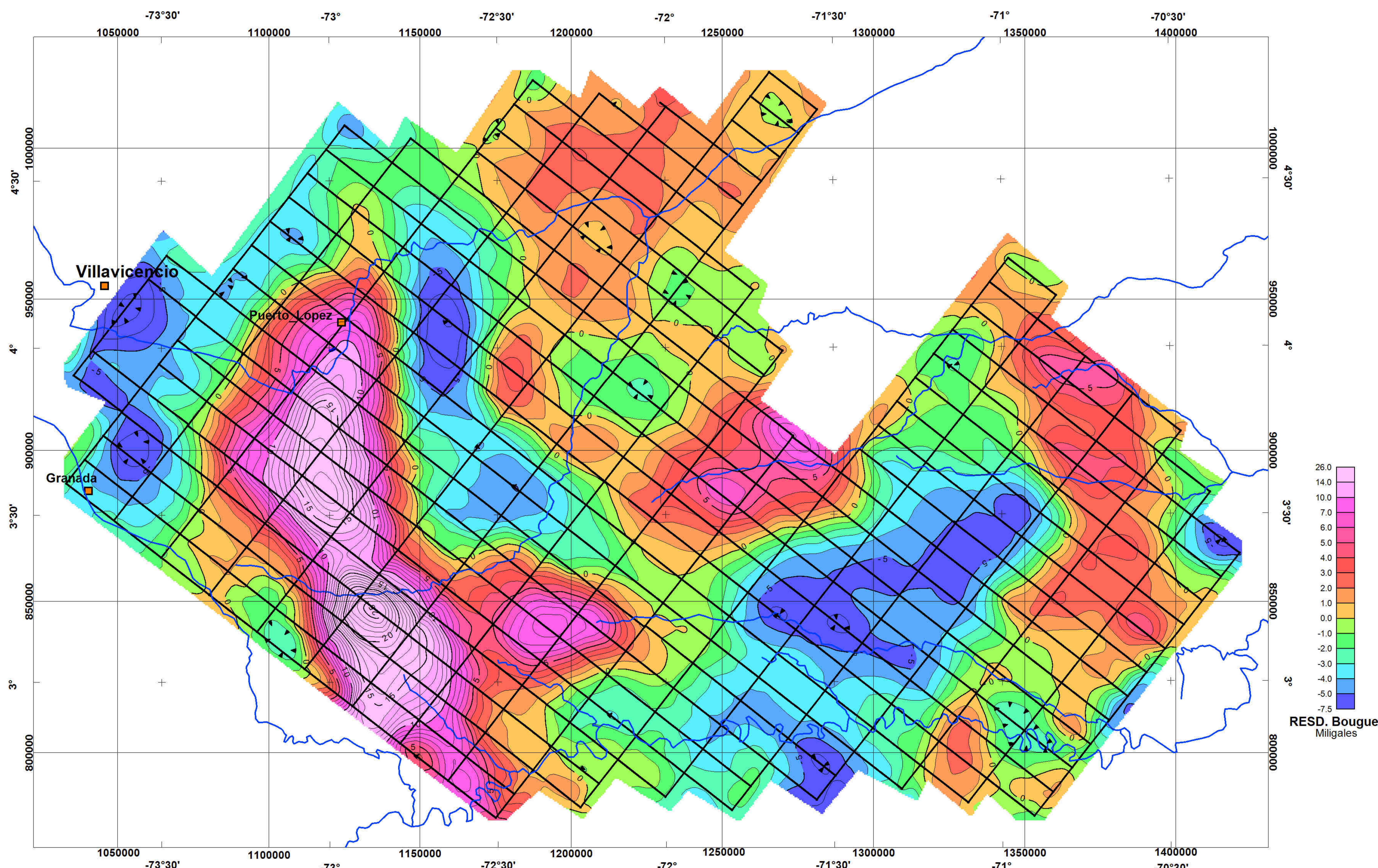
Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



CONVENCIONES
 Ciudades
 Punto de Control
 Rios

Figura 5

BOUGUER RESIDUO POLINOMICO DE GRADO 3
Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007
CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)





Scale 1:500000

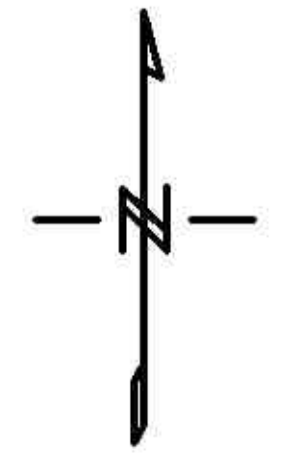
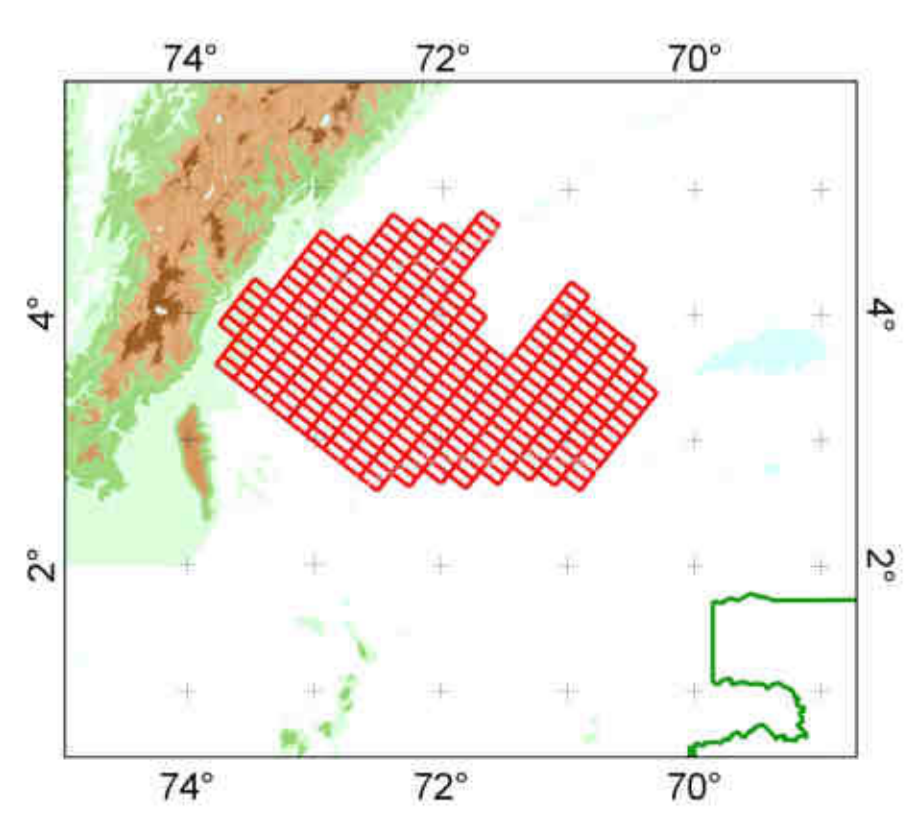
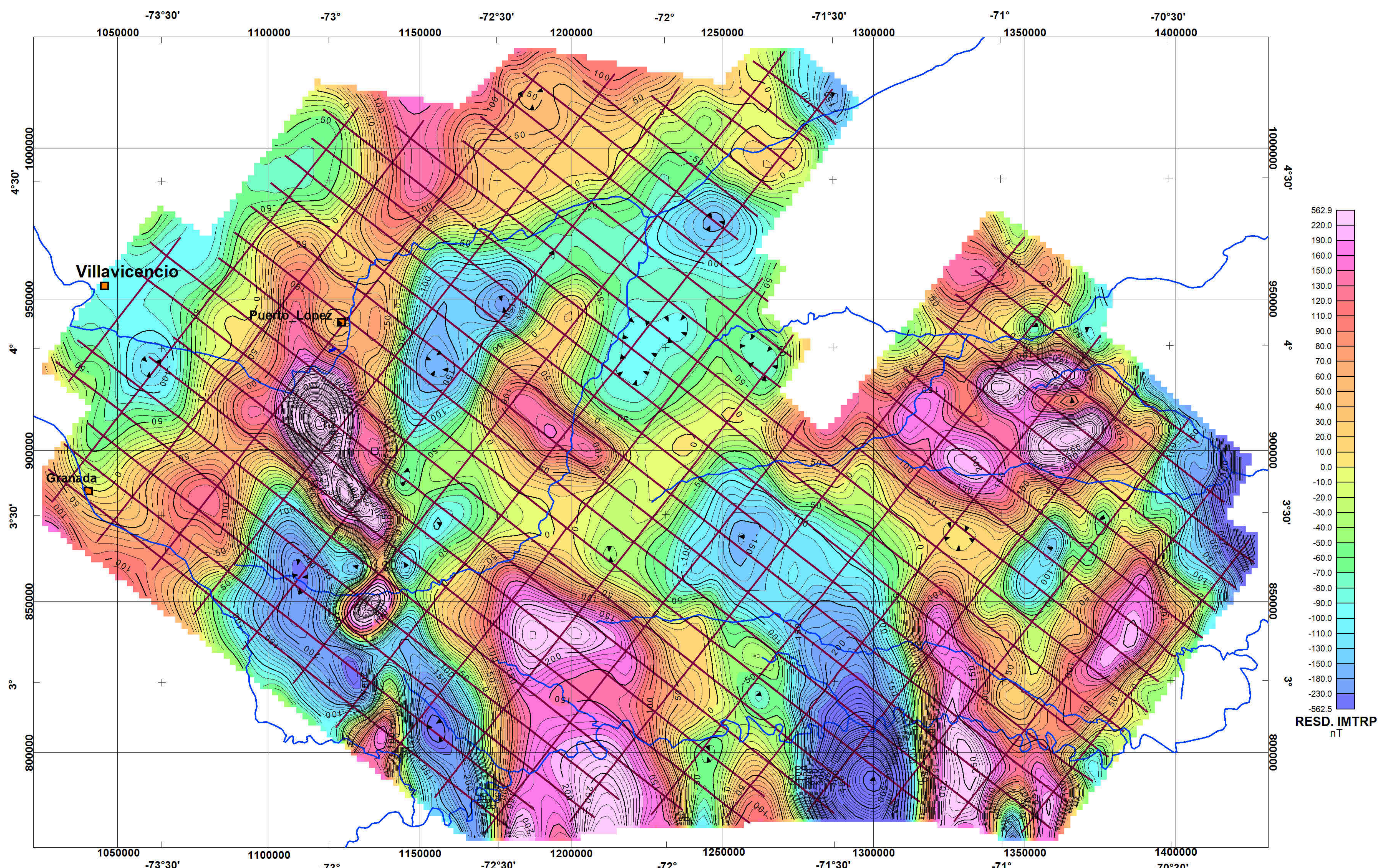


Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

- CONVENCIONES
-  Ciudades
 -  PUNTO Cr16
 -  Rios

Figura 6

 AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS <small>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS COLOMBIA</small>
BOUGUER RESD. CONT. DE CAMPO ARRIBA 6.0 Km
Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007
CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA) 





Scale 1:500000

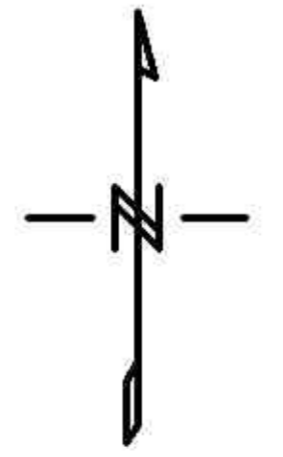
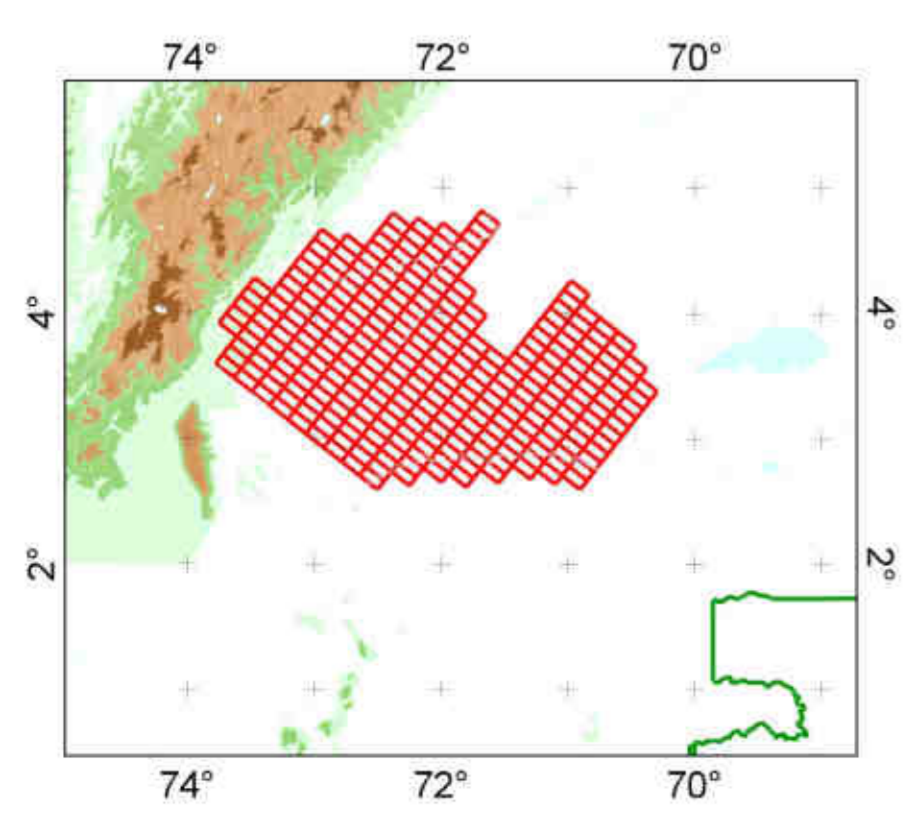
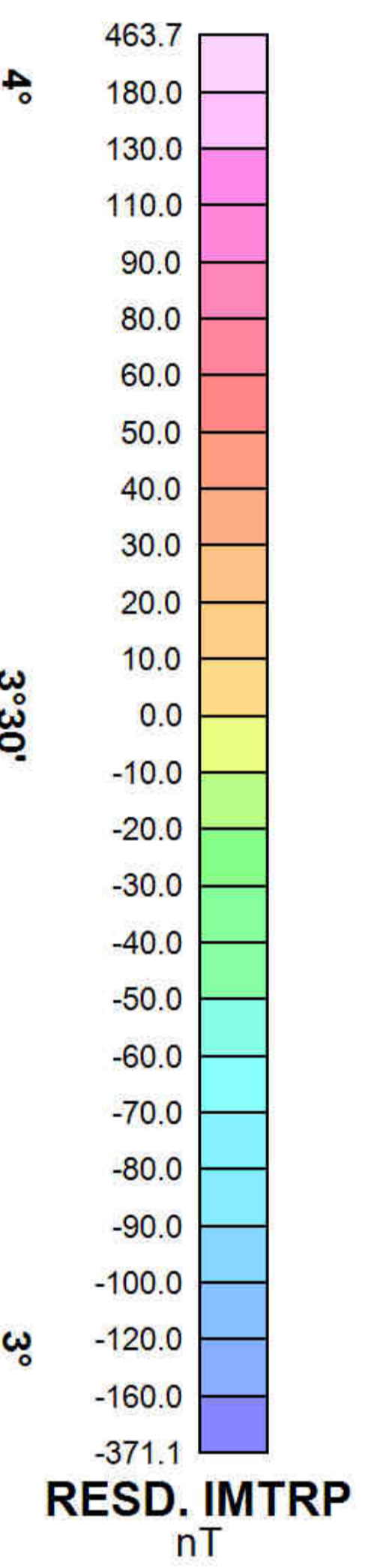
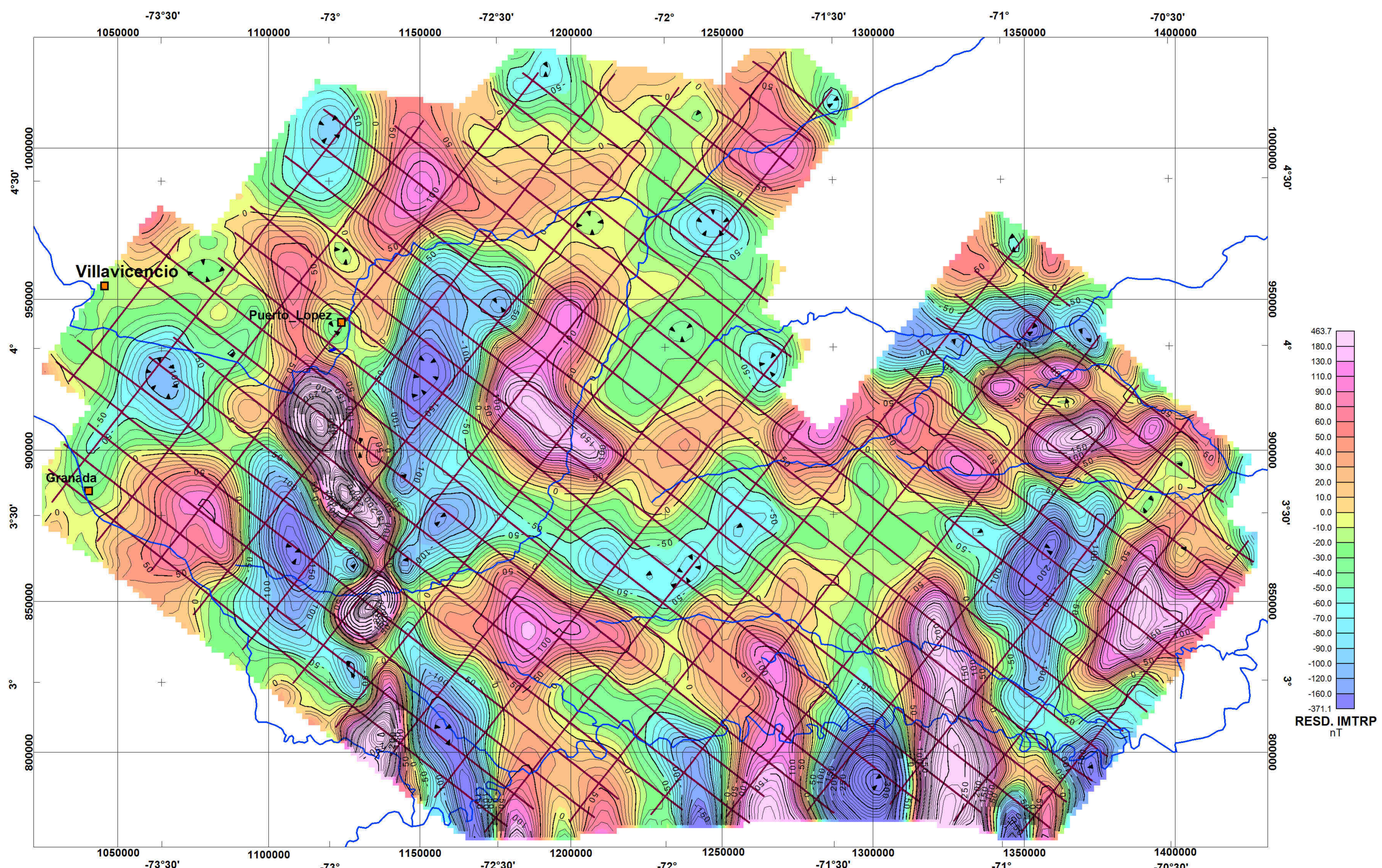


Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone

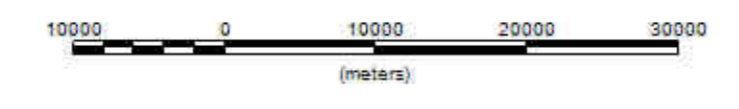
- CONVENCIONES
-  Ciudades
 -  PUNTO Cr16
 -  Rios

Figura 7

 <p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS</p>
<p>IMTRP RESIDUO POLINOMICO DE GRADO 3</p>
<p>Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007</p>
<p>CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)</p> 



Scale 1:500000



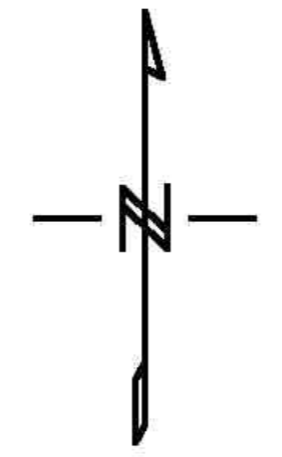
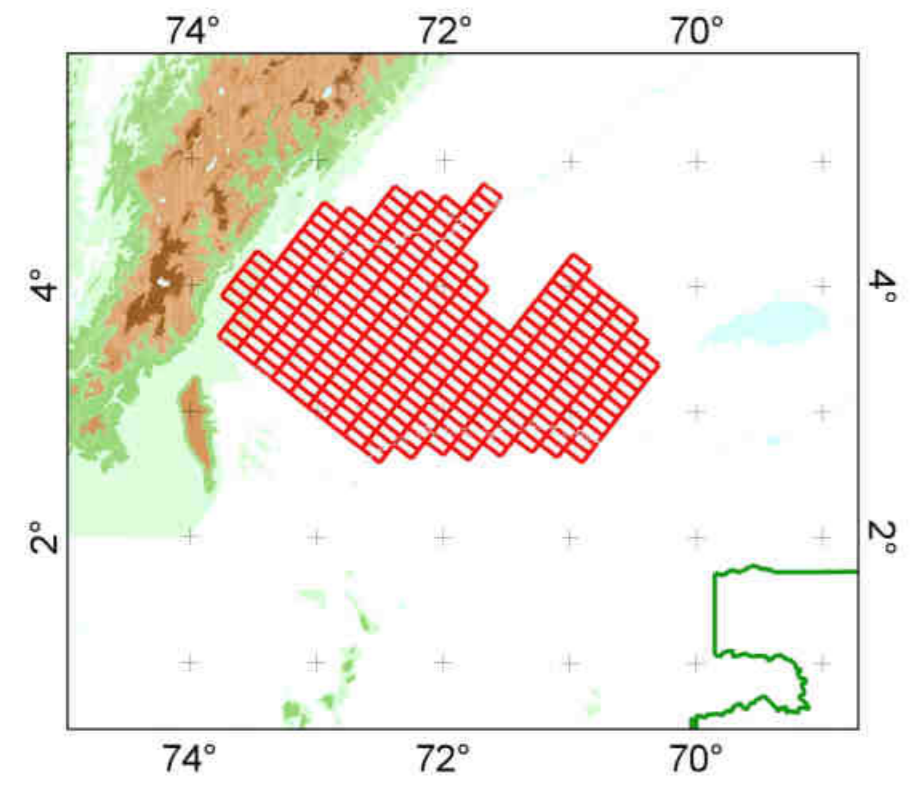
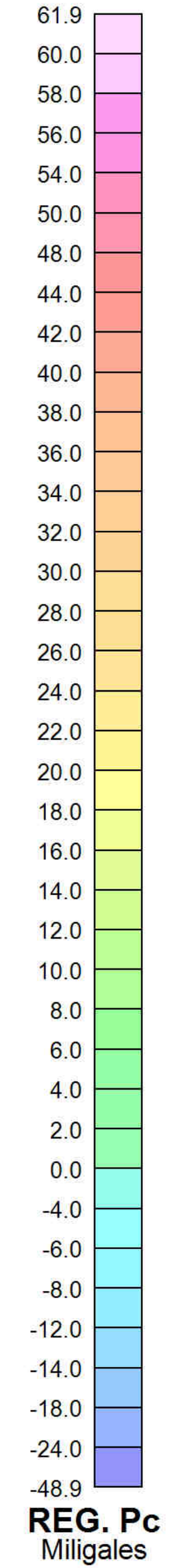
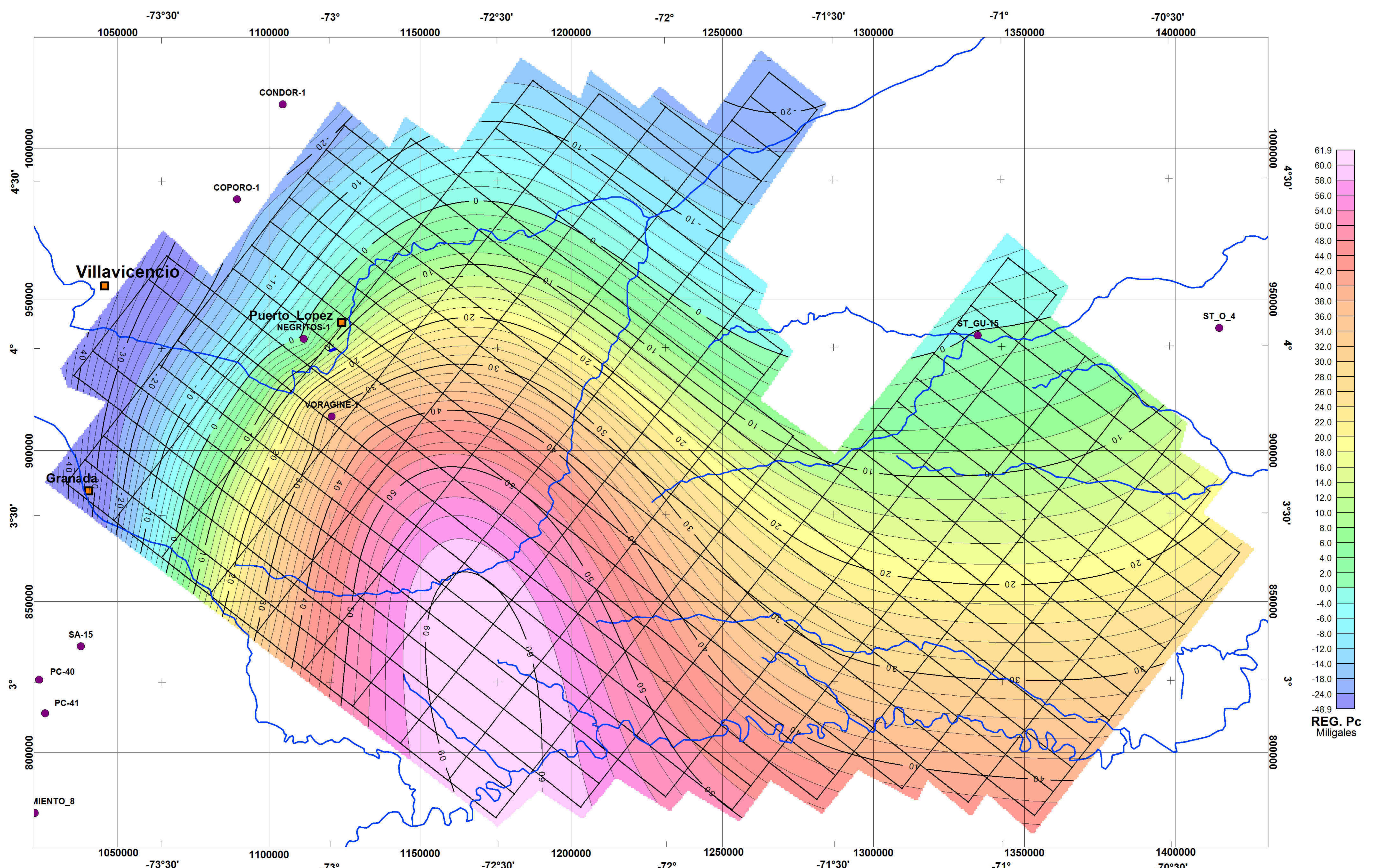
Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone



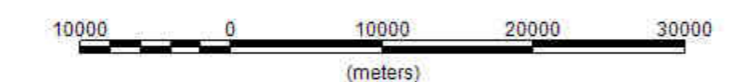
CONVENCIONES
 Ciudades
 Punto de Control
 Rios

Figura 8

<p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS</p>
<p>IMTRP RESIDUO PASOBANDA 10Km-100Km</p>
<p>Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007</p>
<p>CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)</p>



Scale 1:500000



Bogota MAGNA / Colombia Bogota zone





CONVENCIONES

Ciudades

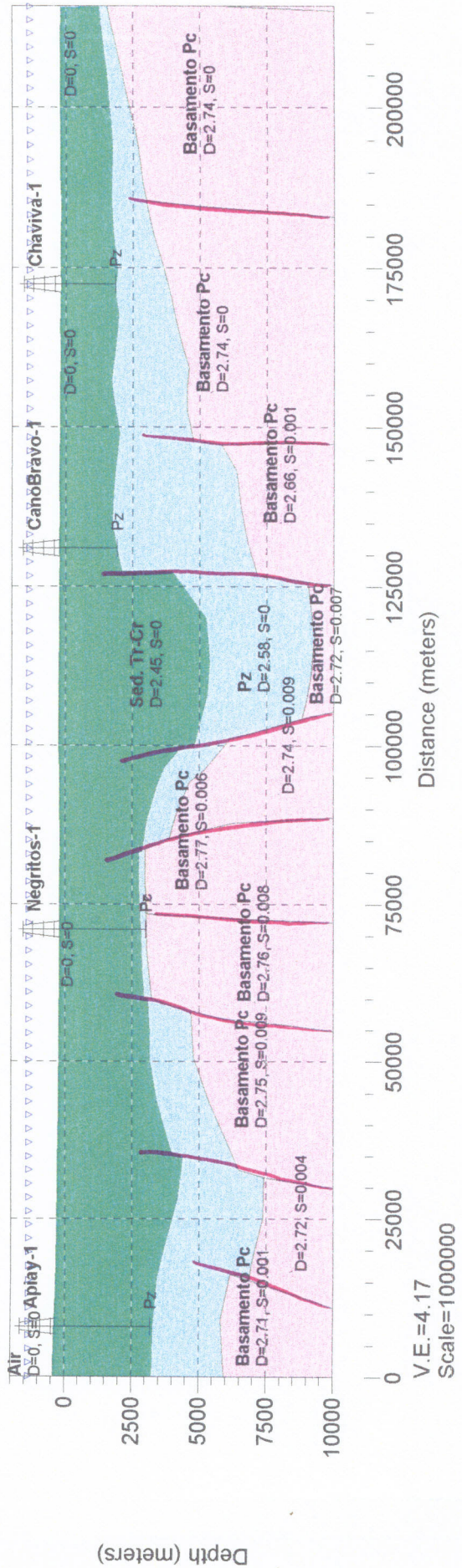
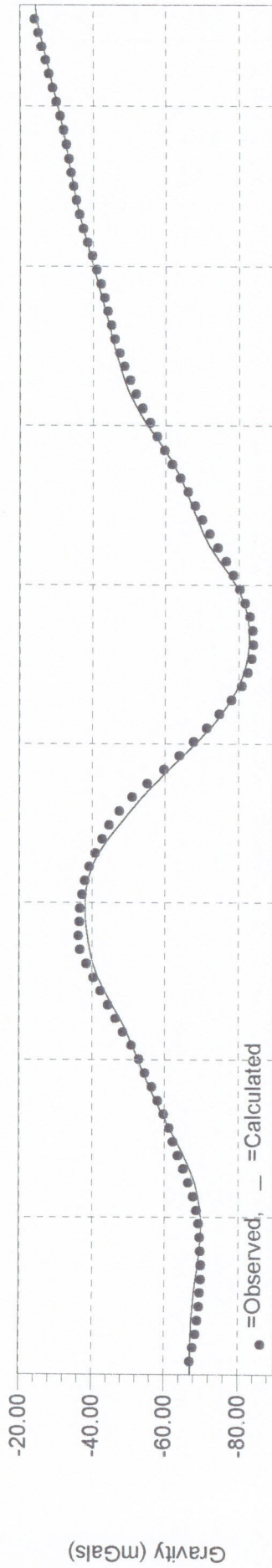
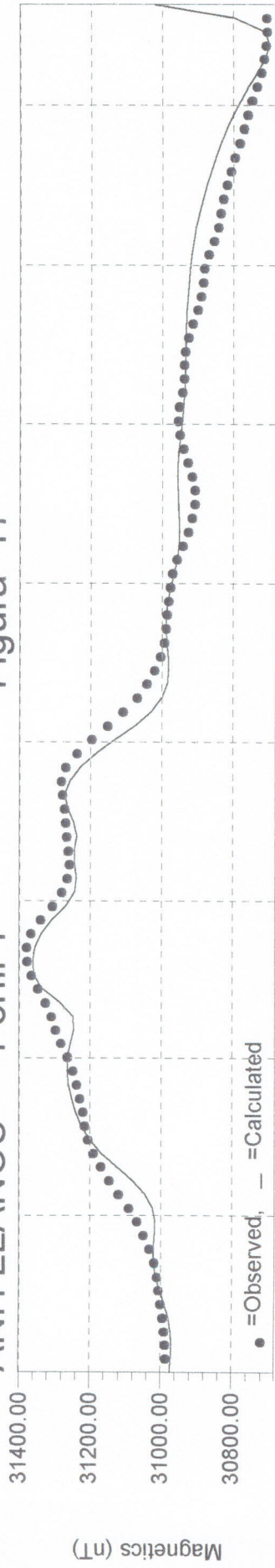
Punto de Control

Rios

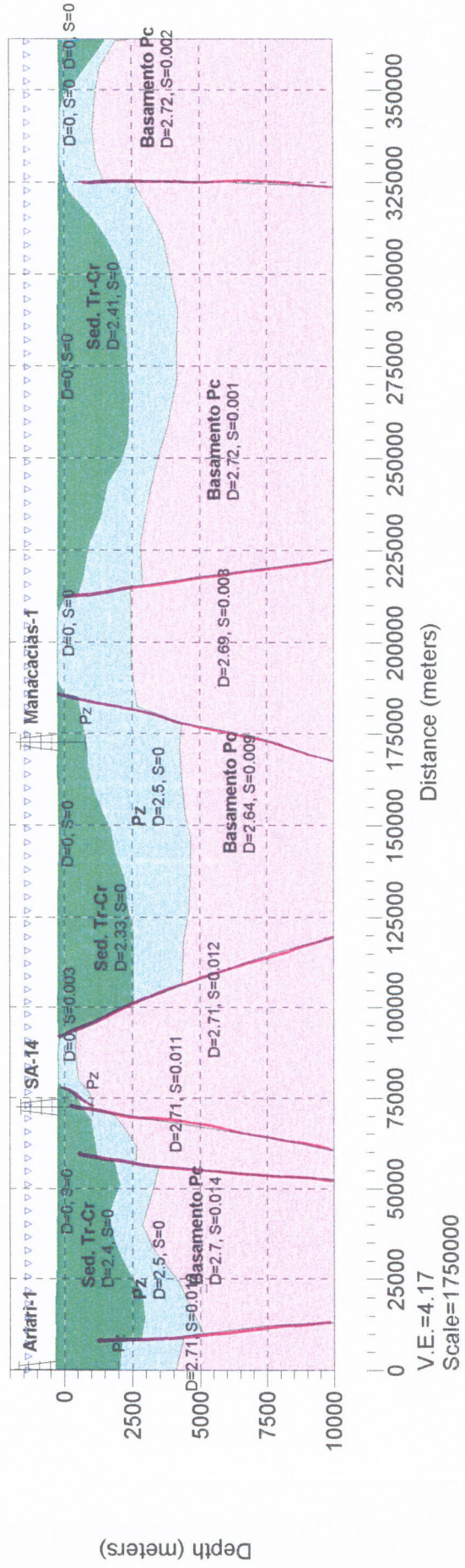
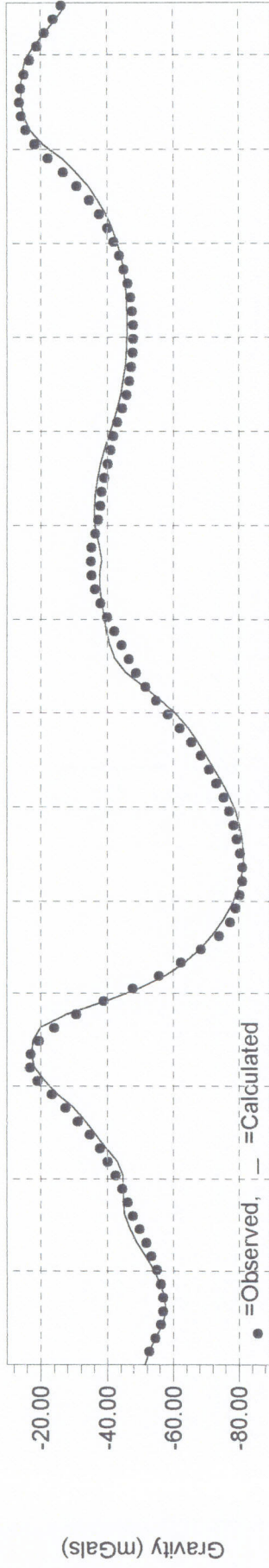
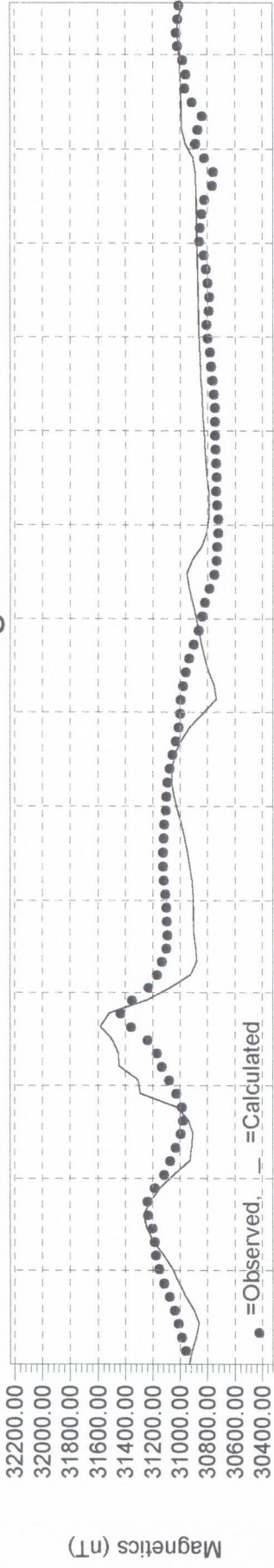
Figura 9

 <p>AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS COLOMBIA</p>
<p>REGIONAL CONTROLADO Tope del Basamento Precámbrico - Referencia 1214m Arriba del NMM</p>
<p>Interpretación: V. Grarerol y A. Vargas Fecha: Octubre del 2007</p>
<p>CARSON HELICOPTERS Inc.(COLOMBIA)</p> 

ANH LLANOS Perfil 1 Figura 17

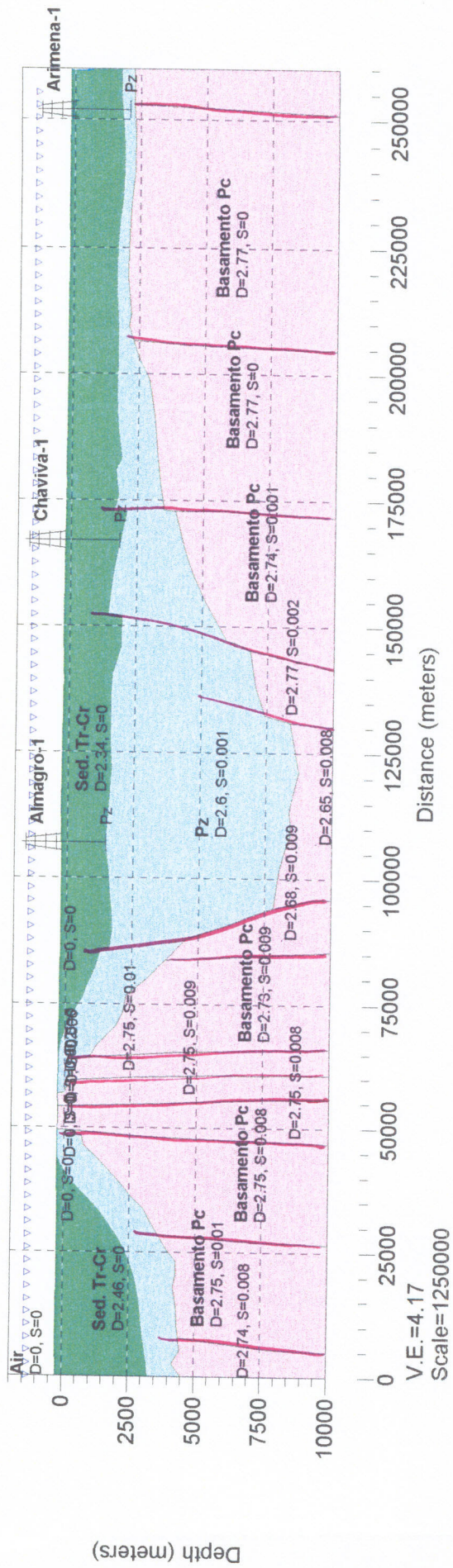
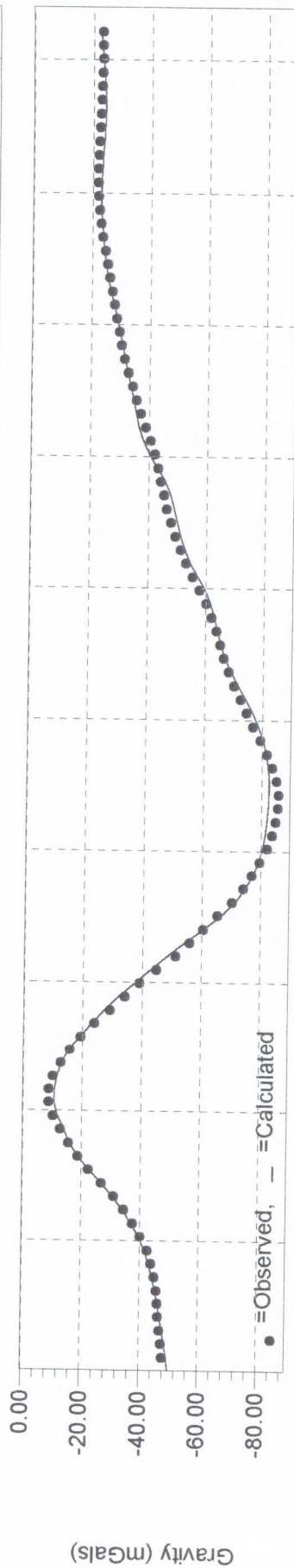


ANH LLANOS Perfil 2 Figura 18



ANH LLANOS Perfil 3

Figura 19



ANH LLANOS Perfil 4

Figura 20

